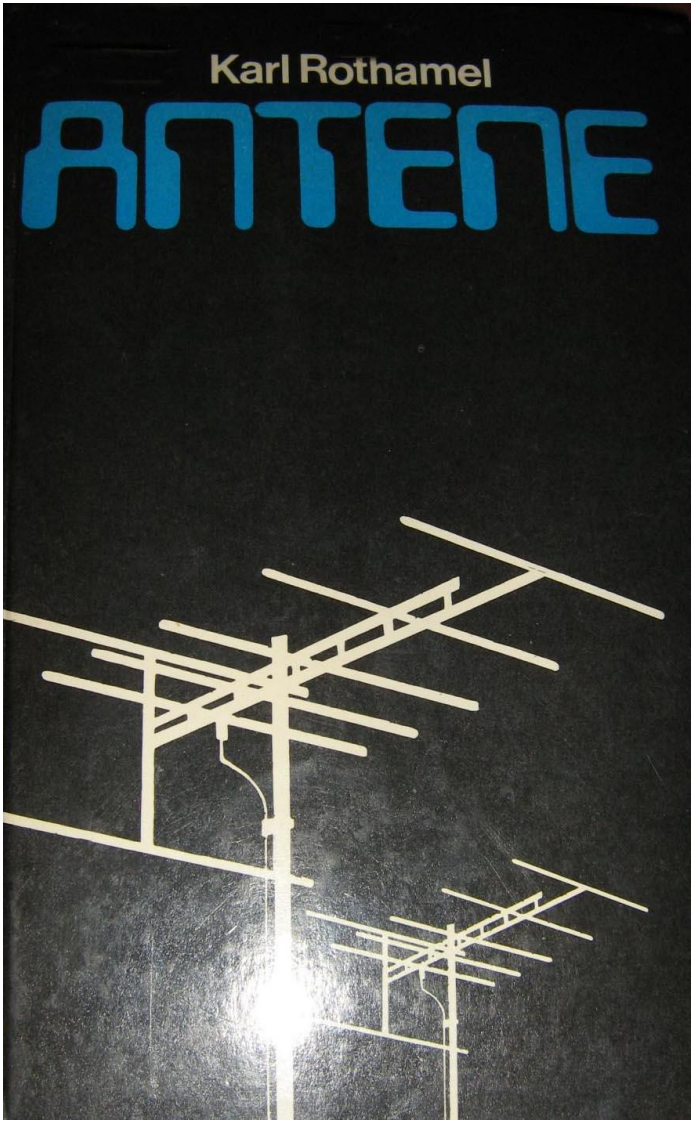


NASLOV DELA U ORIGINALU

KARL ROTHAMMEL DM 2 ABK
ANTENNENBUCH
9. erweitetre Auflage

© Militärverlag
der Deutschen Demokratischen Republik

UDK 621.396.67

ROTHAMEL, KARL
ANTENE / Karl Rothamel, prevela sa nemačkog Miroslava Perić. – Beograd : Vojnoizdavački zavod, 1983 (Beograd : Naučna knjiga). – 603 str. ; 24 cm. – (Vojna biblioteka. Savremena vojna misao. Inostrani pisci ; knj. 154). – Prevedeno prema : Antennenbuch. – Tiraž 5000.

Knjiga Antene je delo koje bismo mogli nazvati: »Sve o radio-amaterskim antenama«, a umesto definicije bi mogli napisati posvetu: »Neiskusnom da nauči, a iskusnom da se potvrdi«. To je delo uspelog spoja minimuma teorije i velikog, višestrukog, proverenog praktičnog iskustva.

Knjiga, između ostalog, pored dva predgovora, obuhvata sledeća poglavlja: prostiranje elektro-magnetnih oscilacija, način rada i karakteristike antena sa opisima pojedinih vrsta antena; oblici polutalasnih antena; dugačke žičane antene; aperiodične antene; kombinacije dipola sa pobudom u fazi (horizontalne antene); dipoli sa uzdužnim zračenjima; usmerene antene sa jednotalasnim petljama; obrtne usmerene antene sa parazitnim usmeravajućim elementima; usmerene antene sa skraćenim elementima; usmerene antene za više opsega; kratkotalasne antene sa vertikalnom polarizacijom; antene za ultrakratke talase; antene sa uzdužnim zračenjem za opseg od 2 m; grupne antene za opseg od 2 m; jagi-antene; antene sa kružnim zračenjem: za VVF I UVF; specijalni oblici VVF i UVF antene; amaterske antene za korišćenje u pokretu; antene za TV i radio prijem; propisi za izgradnju antena, itd.

Knjiga je namenjena svim radio-amaterima i svim čitaocima zainteresovanim za probleme radioveza, kako u JNA tako i u strukturama teritorijalne odbrane i civilne zaštite.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Predgovor srpskohrvatskom izdanju

Kada bismo umesto autora definisali posvetu ove knjige napisali bismo: »Neiskusnom da nauči, a iskusnom da se potvrdi«, a nazvali bismo je: »Sve o radio-amaterskim antenama«. Iako bi se moglo prigovoriti da bi takav naslov previše obećavao, ipak će se svako ko ovo delo pročita saglasiti da je u njemu sažeto dosta iscrpnih saveta i informacija neophodnih za izgradnju i eksploataciju radio-amaterskih antena. U njemu je ostvaren sretan spoj minimuma teorije i velikog, višestrukog, proverenog praktičnog iskustva.

Izložena materija omogućava radio-amateru da odabere antenu koja će odgovarati njegovim potrebama i mogućnostima, daje mu recepte za njenu izradu i postavljanje, savetuje ga kako će je najjednostavnije prilagoditi na napojni vod ili predajnik, upozorava ga na smetnje koje bi njegova antena, napojni vod i predajnik mogli izazvati u obližnjim TV i radio-prijemnicima i daje mu uputstva kako da ih smanji na najmanju meru.

Materija je prvenstveno namenjena čitaocima koji se bave samostalnom izradom, jer im daje uputstva kako se od materijala koji se može naći u prodaji, uz manje ili više truda, veštine i izdataka, može izgraditi svaki tip antene koji je opisan u knjizi.

S obzirom na to da je poželjno da se pre, a i nakon postavljanja, izvrši optimalno podešavanje većine antena, data su uputstva za njihovo podešavanje pomoću priručnih instrumenata čiji su konstrukcija i način izrade opisani.

Takođe, dat je dovoljno jasan prikaz prostiranja radio-talasa i zavisnost daljine dometa od stanja u jonosferi, uz savete u kojim se jonosferskim uslovima, odnosno u kojim se periodima dana i godine može očekivati da će se na pojedinim amaterskim opsezima ostvariti veze na veoma velikim udaljenostima.

Na kraju su citirane i najbitnije odredbe istočno-nemačkih stručnih standarda koji regulišu pitanje izrade antena otpornih na jake udare vetra i sa pravilnim rešenjem gromobranske zaštite. Sve to je dopunjeno tabelarno sređenim podacima koji omogućavaju da se bez dopunskog proučavanja, drugih priručnika ili kataloga prikupe i ostali najčešće potrebni podaci.

Očigledno je da će većina čitalaca koristiti savete i preporuke date za izradu, podešavanje ili proveru karakteristika sopstvenih antena. Međutim, ti saveti mogu poslužiti i za definisanje i izradu improvizovanih kratkotalasnih i ultrakratkotalasnih antena u

roku ili za prilagođenje postojećih antena na neke novonabavljene ili stečene tipove radio-prijemnika ili radio-predajnika.

Ova knjiga ima širi značaj, jer se pored užeg kruga zainteresovanih entuzijasta njome mogu koristiti i sve strukture Teritorijalne odbrane i civilne zaštite zainteresovane i zadužene za uspostavljanje pouzdanih i kvalitetnih kratkotalasnih i ultrakratkotalasnih veza.

Predgovor devetom nemačkom izdanju

Radio-amateri se godinama interesuju za ovakvu knjigu, koja je uvrštena u amatersku literaturu kao »Knjiga recepata za antene«. Od priručnika iz pedesetih godina razvilo se obimno stručno delo namenjeno za praksu, koje je doživelo brojna izdanja i na nemačkom i na stranim jezicima.

Da bi izlaganja bila svima pristupačna, teoretski deo je svesno pojednostavljen, a praktični opširno obrađen, tako da i čitaoci koji nemaju tehničko predznanje mogu lako izgraditi opisane antene. Međutim, knjiga »Antene« pružiće i iskusnim poznavaocima nešto novo: pobudiće ih na sopstvena istraživanja, daće im pregled međunarodnog stanja antenske tehnike sa radio-amaterskog gledišta. Potražnja za izdanjima koja su do sada objavljena ukazuje na to da ovaj način prenošenja znanja, blizak praksi, nije zainteresovao samo radio-amatere.

Neke antene koje su imale samo regionalni značaj postale su internacionalno poznate tek nakon što su opisane u amaterskoj literaturi. Podaci o njima postali su značajna stavka u razmeni iskustava radio-amatera širom sveta i doživeli dalji razvoj. Najbolji primer za to su **kvad***-antene sa svojim brojnim varijantama. Knjiga »Antene« je vezni element u toj razmeni iskustava, jer velikom krugu zainteresovanih omogućava da upozna manje poznata konstruktivna rešenja i novosti u razvoju antena.*

Autor smatra da je obavezan da svako novo izdanje temeljno preradi i dopuni prema trenutnim saznanjima. Sugestije i želje čitalaca neophodna su pomoć i uzeće se u obzir sa zahvalnošću, a za opštu korist.

Ovo izdanje je prošireno po obimu i sadržaju, opremljeno je novim, preglednim tabelama i dati su obimni aktuelni literaturni podaci. Ono sadrži, pre svega, nove antene za više opsega kratkih talasa i dalji razvoj antena od 2 m na bazi dvostrukih **kvad***-elemenata. Poglavlje o prostiranju radio-talasa prerađeno je i prošireno prema novijim saznanjima. Dopunjeno je i, za radio-amatere uvek aktuelno, pitanje smetnji pri TV i radio-prijemu koje su izazvane radom njihovih predajnika. Zato su obrađene i poboljšane antene sa smanjenim zračenjem smetnji, koje ne ometaju rad obližnjih elektronskih uređaja za zabavu.*

Autor se posebno zahvaljuje svima koji su stavili na raspolaganje dokumentaciju i informacije i koji su kritikom doprineli poboljšanju knjige.

Karl Rothammel
DM2ABK

1. Elektromagnetne oscilacije

Antena predajnika zrači energiju koja se širi u prostoru u vidu *elektromagnetnih talasa.*

Taj proces možemo uporediti sa mirnom površinom vode, na kojoj su bacanjem nekog predmeta izazvani talasi. Nastalo talasno kretanje ne odvija se u vidu strujanja, voda dakle ne teče. Dokaz za to predstavljaju mali predmeti koji plivaju na površini vode i pod pretpostavkom da nema vetra uvek ostaju na istom mestu, uzdižući se i spuštajući se u ritmu talasa. Talasi se šire kružno, pri čemu se površina vode ne kreće.

Stvoreni niz talasa definiše se pomoću sledećih pojmova:

talasna dužina λ – najmanje međusobno rastojanje dve tačke, koje se nalaze u istom stanju talasanja. U ovom slučaju to je udaljenost između dva susedna vrha talasa ili dna talasa;

frekvencija f – broj talasa (talasnih dužina) koji se stvore u jednoj sekundi;

brzina prostiranja c – brzina širenja talasa od izvora energije.

Odnos ova tri pojma izražava se obrascem

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad (1.1)$$

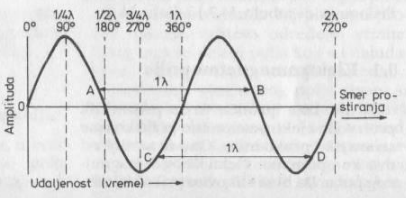
($c = 3.10^8$ m/s)

Odnosi prikazani na primeru oscilovanja vodene površine mogu se analogno primeniti i na prostiranje elektromagnetnih talasa.

I elektromagnetni talasi poseduju određenu talasnu dužinu λ, koja se u području kratkih i ultrakratkih talasa meri u metrima.

Elektromagnetne oscilacije su talasnog oblika, što se naslućuje već iz samog naziva elektromagnetni talasi. Talasna dužina je razmak između dva talasa iste faze (sl. 1.1). Na slici je na uobičajen način prikazana sinusoida naizmenične struje, koja istovremeno predstavlja trenutno stanje neprigušenog elektromagnetnog talasa. Trenutna vrednost amplitude menja se po vrednosti i polaritetu u funkciji vremena (udaljenosti) u vidu sinusne krive. Ucrtane linije A–B i C–D pokazuju da se talasna dužina može meriti ne samo na nultoj liniji, već i između svih proizvoljnih međusobno susednih tačaka iste faze.

Uobičajeno je da se faza izražava u stepenima, pri čemu je jedna potpuna oscilacija (jedna talasna dužina) uvek jednaka 360°. Na taj način omogućeno je jednostavno upoređivanje faza i označavanje faznih pomaka.



Sl. 1.1. Vremenska karakteristika elektromagnetnog talasa

Merna jedinica za frekvenciju je herc (Hertz = Hz):

1 Hz = 1 oscilacija u 1 sekundi
1 kHz (1 kiloherc) = $1 \cdot 10^3$ Hz,
1 MHz (1 megaherc) = 1000 kHz = $1 \cdot 10^6$ Hz,
1 GHz (1 gigaherc) = 1000 MHz = $1 \cdot 10^9$ Hz.

Brzina prostiranja elektromagnetnih talasa u slobodnom prostoru iznosi 300,000.000 m/s, što znači da odgovara brzini svetlosti. Kada se govori o brzini prostiranja u slobodnom prostoru, podrazumeva se potpuno prazan prostor, idealno stanje koje ne postoji u stvarnosti. Ni kosmos nije potpuno prazan. Ako se elektromagnetni talasi ne prostiru u praznom prostoru, onda je njihova brzina prostiranja nešto manja od 300.000 km/s. Smanjenje brzine zavisi od sredine u kojoj se prostiru talasi. U atmosferskom vazduhu smanjenje brzine prostiranja je tako malo da se u praksi može skoro zanemariti.

U visokofrekventnoj tehnici računa se, sa vrednošću c = 300.000 km/s. ako se ona uvrsti u obrazac (1.1) dobija se

$$\lambda\,(\mathrm{m}) = \frac{3 \cdot 10^8}{f\,(\mathrm{Hz})}$$

ili

$$\lambda\,(\mathrm{m}) = \frac{3 \cdot 10^5}{f\,(\mathrm{kHz})}$$

Iz istog obrasca dobije se i

$$f\,(\mathrm{kHz}) = \frac{3 \cdot 10^5}{\lambda\ (\mathrm{m})}$$

Tabele za preračunavanje frekvencije u talasnu dužinu i obrnuto nalaze se u Prilogu (vidi tabelu 34.7 i tabelu 34.8).

1.1. Elektromagnetno polje

Struje koje protiču kroz provodnik proizvode elektromagnetno polje koje se stvara oko provodnika. Ono se sastoji od dve komponente: električnog i magnetnog polja. Da bi se slikovito prikazao proces stvaranja elektromagnetnog polja koriste se linije sile – silnice.

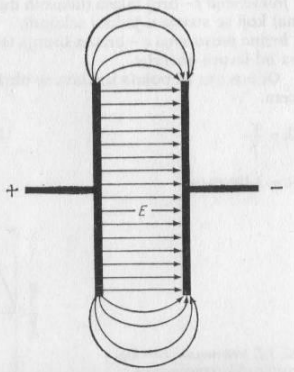
Polje sile (elektromagnetno polje) je određeno jačinom i smerom sila koje se menjaju od mesta do mesta. Smer ucrtanih silnica odgovara smeru sile koja deluje, dok međusobni razmak silnica, tj. njihova gustina, grafički predstavlja jačinu sile.

Polje u kome je sila po jačini i smeru svuda jednaka naziva se *homogeno* polje. Ako se smer i jačina sile menjaju (neravnomeran raspored silnica) polje je *homogeno.*

1.1.1. Električno polje

Ako se dva predmeta sa različitim električnim nabojem, npr., kugle ili ploče, nalaze na određenom međusobnom rastojanju, onda se u prostoru između njih stvara elektrostatičko polje. Budući da se ne menja naboj, a time ni polje, govorimo o *elektrostatičkom polju.*

Na slici 1.2. prikazan je kondenzator čije su ploče suprotno nabijene. Smer i jačina elektrostatičkog polja prikazani su silnicama koje se nazivaju i *električne linije polja.* Na ovom dvodimenzionalnom prikazu, ploče kondenzatora date su u preseku. Jačinu električnog polja odre-



Sl. 1.2. Električno polje kondenzatora

đuju razlika napona između ploča kondenzatora i njihovo međusobno rastojanje. Pri tome, jačina polja proporcionalna je razlici napona, a obrnuto proporcionalna udaljenosti ploča. Napon u homogenom električnom polju izražava se u odnosu na jedinicu dužine i označava kao *jačina električnog polja.* Ona je jednaka razlici potencijala po jedinici dužine duž jedne silnice. Jačina polja daje se u voltima po metru (V/m) ili u izvedenim jedinicama (mV/m, μV/m).

Primer

Dve ploče kondenzatora nalaze se jedna prema drugoj na rastojanju od 0,2 m. Napon na pločama iznosi 10 V. Jačina električnog polja je

$$\frac{10\ \mathrm{V}}{0{,}2\ \mathrm{m}} = 50\ \mathrm{V/m}.$$

Ako se na ploče kondenzatora dovede naizmeničan napon, smer i jačina električnog polja menjaju se u taktu naizmeničnog napona. Stalno promenljivi tok naboja na ploče može se meriti u vodovima pomoću kojih je generator priključen na ploče kao *naizmenična struja.*

1.1.2. Magnetno polje

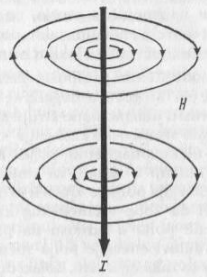
Oko svakog provodnika kroz koji protiče struja stvara se magnetno polje. Ako je to jednosmerna struja, magnetno polje je po smeru i jačini konstantno, pa bi se moglo nazvati i *magnetostatičko polje. Magnetne linije polja* predstavljaju koncentrične krugove oko provodnika kao što je prikazano na slici 1.3, u primeru pravog provodnika. U svakom slučaju, magnetne linije polja zatvaraju se same od sebe.

Ako kroz provodnik teče naizmenična struja, smer i jačina magnetnog polja se menjaju u taktu naizmenične struje.

1.1.3. Međusobne zavisnosti električnog i magnetnog polja

Napon stvara električno polje, a svaki protok struje stvara magnetno polje. Struja može teći samo kada postoji razlika potencijala, dakle napon. Iz toga sledi da *magnetnom* polju uvek pripada i *električno polje.* Svako proticanje struje mora da stvori *elektromagnetno* polje.

Obe komponente elektromagnetnog polja, električne i magnetne linije polja, uvek su okomite jedna prema drugoj.



Sl. 1.3. Magnetno polje provodnika kroz koji teče struja

1.1.4. Naizmenično elektromagnetno polje

Zračenje elektromagnetnih talasa može se objasniti na osnovu ponašanja elektromagnetnog polja proizvedenog naizmeničnom strujom. Svako polje poseduje energiju koja potiče od generatora za napajanje. Određeno vreme posle uključenja generatora provodnik počinje da zrači energiju u svoju okolinu. To znači da se stvorilo elektromagnetno polje (»određeno vreme posle« zbog toga što se električna energija ne prostire beskonačno brzo, već »samo« brzinom svetlosti). Kada se generator isključi, elektromagnetno polje nestaje, tj. energija polja se vraća u provodnik. Taj povratni proces, takođe, zahteva određeno vreme. Zbog toga se delovi polja koji su najudaljeniji od provodnika vraćaju poslednji.

Nestajanje magnetnog polja stvara u provodniku napon koji ponovo izaziva nastajanje električnog polja. U svakodnevnom životu često srećemo napon izazvan prekidanjem električnog strujnog kola. Na primer, prilikom otvaranja kon-

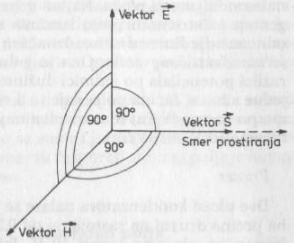
takta razvodnika u sistemu električnog paljenja vozila taj napon izaziva stvaranje varnice.

Elektromagnetno polje miruje kada kroz provodnik protiče jednosmerna struja. Ono se menja samo pri uključivanju (stvaranje polja) i pri isključivanju (nestajanje polja). Ako kroz provodnik protiče naizmenična struja, onda se u skladu sa frekvencijom stalno ponavljaju procesi uključivanja i isključivanja.

Pod određenim pretpostavkama o kojima će još biti govora, događa se sledeće: pri porastu naizmenične struje stvara se – uz malo vremensko kašnjenje – naizmenično elektromagnetno polje. Kada se struja smanji u skladu sa sinusnim tokom, energija polja se vraća u provodnik. Budući da zbog vremenskog kašnjenja promene polja u odnosu na promenu struje delovi energije polja stižu u provodnik sa zakašnjenjem, dolazi do potpuno izmenjene raspodele struje. Ta nova struja stvara novo polje koje odbija povratne delove starog polja od provodnika. Na taj način »isključene« linije električnog polja stvaraju zatvorene petlje oko kojih se zatvaraju linije magnetnog polja. Budući da se taj proces stalno ponavlja u skladu sa periodičnošću naizmenične struje, prostire se elektromagnetni talas koji, po frekvenciji i talasnoj dužini, tačno odgovara pobudnoj naizmeničnoj struji. On se od provodnika udaljava u prostor brzinom svetlosti.

Obrazovanje elektromagnetnih talasa u slobodnom prostoru uslovljeno je pretpostavkom da generator stalno menja smer proticanja struje i da su raspodela i vreme proticanja struje jednog smera jednaki raspodeli i vremenu proticanja struje drugog smera. To sprečava da se zaostale linije polja vrate u provodnik i prisiljava ih da se šire u prostor.

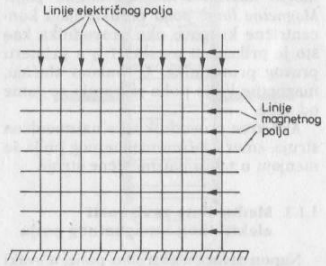
Smer prostiranja elektromagnetnih talasa u slobodnom prostoru upravan je na elektromagnetno polje. Na sl. 1.4 ta zavisnost prikazana je vektorski. Vektor $\vec{E}$ predstavlja jačinu električnog polja, a vektor $\vec{H}$ jačinu magnetnog polja. Pointingov vektor $\vec{S}$ određuje prenos energije u smeru prostiranja. On je upravan na vektore $\vec{E}$ i $\vec{H}$ i karakteriše količinu energije koja u toku 1 sekunde struji kroz površinu od 1 m², postavljenu upravno na smer prostiranja.



Sl. 1.4. Položaj vektora jačine polja i smer prostiranja u slobodnom prostoru

1.1.5. Ravanski talasi

Elektromagnetni talasi koje tačkasti izvor zrači u slobodni prostor, šire se u svim smerovima ravnomerno i istom brzinom. Taj proces može se zamisliti kao da se oko izvora zračenja stvaraju omotači kugle koji stalno rastu. Ako bi ti omotači kugle bili vidljivi, onda bi se u blizini izvora zračenja mogao uočiti njihov kuglasti oblik (mali poluprečnik kugle). Međutim, nama uočljiva površina kugle (veoma velikog i udaljenog poluprečnika) izgledala bi kao ravna površina (kao pri posmatranju zemljine površine, čiji



Sl. 1.5. Vertikalno polarizovani ravan front talasa

kuglasti oblik ne zapažamo). Zato i elektromagnetne talase koji su dovoljno daleko od izvora zračenja smatramo za ravanske talase. Na sl. 1.5 prikazano je trenutno polje ravanskog talasa sa njegovim električnim i magnetnim linijama polja. Strelice pokazuju trenutni smer polja ovoga talasa koji se prostire frontalno na površinu slike (talas »kreće prema posmatraču«). Zbog toga se govori i o ravnom frontu talasa. U toku sledeće poluperiode oscilovanja, smer električnih i magnetnih linija polja okreće se za 180° (ucrtane strelice se obrnu). Pri tome se ne menja smer prostiranja, on je uvek upravan na front talasa.

1.1.6. Jačina polja

Jačina elektromagnetnog polja, kratko nazvana jačina polja, definiše se naponom koji vlada na jedinici dužine duž linije polja u ravni fronta talasa. Budući da se napon odnosi na određenu dužinu jačina polja E izražava se u voltima po metru (V/m), odnosno mV/m ili μV/m. U slobodnom prostoru jačina polja *E* opada linearno sa rastojanjem. Sa povećanjem udaljenosti, jedna određena vrednost energije mora se podeliti na veću površinu, pa se tako »razređuje«. Na primer, ako izvor zračenja u slobodnom prostoru stvara na udaljenosti od 1 km jačinu polja *E* od 1000 μV po metru, onda će jačina polja na udaljenosti od 10 km biti 100 μV/m, na 100 km biće 10 μV/m i na 1000 km biće 1 μV/m. Budući da na zemlji ne postoje idealni uslovi za prostiranje radio-talasa kao u slobodnom prostoru, slabljenje jačine polja u zavisnosti od udaljenosti biće još veće.

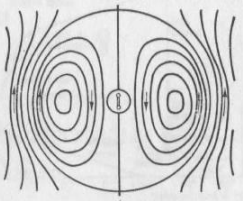
1.1.7. Polarizacija elektromagnetnih talasa

Smer *električne* komponente polja elektromagnetnog talasa određuje njegovu polarizaciju. Razlikuju se dve glavne grupe, *linearna* polarizacija i *eliptična*, odnosno *kružna* polarizacija.

Kod eliptične polarizacije smer nije fiksiran, već se menja kontinualno u eliptičnom obliku. Ako se promena odvija po krugu, onda govorimo o *kružnoj* ili *cirkularnoj* polarizaciji. Prema smeru kruženja razlikuje se *desna* i *leva* polarizacija. U oblasti kratkih talasa eliptična, odnosno cirkularna polarizacija nije značajna, ali u višim frekventnim područjima ona se sve više koristi, naročito za kosmička istraživanja (npr., radio-astronomija).

Kod linearne polarizacije električne linije polja su pravolinijske i zauzimaju određeni smer u odnosu na Zemljinu površinu kao referentnu ravan. Prema smeru električnih linija polja u odnosu na Zemljinu površinu razlikuje se *horizontalna* polarizacija (električne linije polja su horizontalne u odnosu na Zemljinu površinu) i *vertikalna* polarizacija (električne linije polja su vertikalne u odnosu na Zemljinu površinu). Na primer front talasa prikazan na sl. 1.5 vertikalno je polarizovan, jer su linije električnog polja vertikalne. Međutim, talasi se mogu polarizovati u bilo kom položaju između horizontalnog i vertikalnog (npr., pod nagibom od 45°). Linearna polarizacija pod nagibom od 45° koristi se pojedinačno kod UKT radio-predajnika (npr. u Velikoj Britaniji), jer se takvo zračenje može primati i sa horizontalno polarizovanim antenama nepokretnih prijemnika i sa vertikalno polarizovanim štap-antenama (npr., antene na automobilu). Već su izrađene predajne antene sa kružnom polarizacijom koje uspešno obavljaju oba zadatka. Na sl. 1.6 prikazan je izgled električnog polja polutalasnog dipola sa vertikalnom polarizacijom.

U kratkotalasnom području često se javljaju promene polarizacije zbog neprа-



Sl. 1.6. Hercov prikaz linija polja vertikalnog dipola u trenutku kada je t = 0

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

vilnosti jonosfere. One prouzrokuju pojavu nestajanja, tzv. polarizacioni feding. Na obrtanje polarizacije mogu uticati i prepreke na putu prostiranja.

Uopšte, može se reći da horizontalno postavljena antena zrači horizontalno polarizovane talase. Takođe, vertikalno postavljeni antenski provodnik daje vertikalno polarizovani talas. Međutim, kod nekih oblika antena ne može se odrediti polarizacija na osnovu položaja provodnika, npr., kod antena sa prorezom ili kod kubnog kvada. Za eliptičnu polarizaciju ne može se, takođe, postaviti opštevažeće pravilo.

1.1.8. **Refleksija, refrakcija i difrakcija**

Pod zajedničkim pojmom *radio-talasi* podrazumeva se područje visokih frekvencija od 30 kHz do 300 GHz, što odgovara talasnom području od 10 km do 1 mm. Elektromagnetni talasi ne obuhvataju samo radio-talase, već se protežu preko svetlosnih talasa do kosmičkih zračenja. Razlika između radio-talasa i svetlosnih talasa je samo u talasnoj dužini, pa se zato, kao i svetlost, i radio-talasi reflektuju, lome i savijaju.

Kod *refleksije* razlikujemo *usmerenu* refleksiju (ogledanje), koja nastaje na ravnim površinama i *difuznu* refleksiju, koja se javlja na neravnim površinama. Kod usmerene refleksije, reflektovani zrak se nalazi u istoj ravni sa upadnim zrakom i njegovom vertikalom. Upadni ugao i ugao refleksije su jednaki, a oba se mere prema vertikali. Stepen refleksije (koeficijent refleksije) zavisi od provodljivosti, dielektrične konstante i permeabiliteta predmeta od koji se vrši refleksija.

Refrakcija (lomljenje) elektromagnetnih talasa nastupa prilikom prelaza u sredinu sa drugom dielektričnom konstantom. Ova pojava je naročito značajna za širenje ultrakratkih talasa. Brzina prostiranja elektromagnetnih talasa zavisi od dielektrične konstante sredine kroz koju se talasi prostiru. Ako se promeni sredina, menja se i brzina. Promena brzine utiče na promenu smera–refrakciju. I atmosferski vazduh u zavisnosti od gustine i relativne vlažnosti ima različite dielektrične konstante. Pojam refrakcije može se uspešno predočiti optičkim eksperimentom: štap koso uronjen do polovine u zdelu sa vodom izgleda kao da je prelomljen.

Difrakcija (savijanje) elektromagnetnih talasa javlja se na rubovima koji se nalaze na putu prostiranja. Zahvaljujući difrakciji često je moguć prijem radio-talasa i u oblastima radio-senke, npr., iza brda ili zgrada. Difrakcija zavisi od frekvencije; ona opada sa porastom frekvencije.

2.1. Zemljina atmosfera

Zemljina atmosfera ima značajnu ulogu u prostiranju elektromagnetnih talasa. Ovaj gasovit omotač Zemlje doseže do visine od 2000 do 3000 km i sastoji se pretežno od azota, kiseonika, ugljenog dioksida i vodene pare.

Atmosfera se deli na tri glavne oblasti: *troposferu, stratosferu* i *jonosferu.*

2.1.1. **Troposfera**

Troposferom se naziva deo Zemljine atmosfere koji se proteže od Zemljine površine do visine od oko 11 km. Ona se naziva i vremenska sfera, jer se u njoj odigravaju meteorološki procesi koji prvenstveno određuju naše vremenske prilike. Troposfera sadrži približno 75% svih materija naše atmosfere. Na sl. 2.1 dat je pregled slojeva i temperatura u donjoj atmosferi.

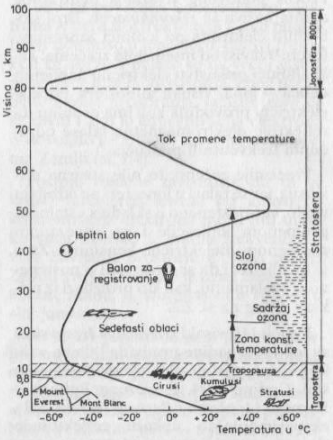
Temperatura troposfere opada sa povećanjem visine, i to za 6 do 8° C, pri povećanju visine za 1000 m. Na gornjoj granici, tzv. *tropopauzi*, temperatura dostiže minimum od prosečno -50°C. Visina tropopauze – prelazne oblasti između troposfere i stratosfere – varira. Na geografskim širinama NDR-a najniža je u martu – prosečno na 9,7 km, a najviša u julu – na 11,1 km.

Stanje troposfere je naročito značajno za prostiranje ultrakratkih talasa.

2.1.2. **Stratosfera**

Stratosfera se proteže na visini od 11 do 80 km. To je područje bez uobičajenih meteoroloških pojava i za njega je karakteristično da uopšte ne sadrži vodenu paru. U stratosferi je temperatura vazduha skoro konstantna do visine od oko 20 km (zona konstantne temperature). Iznad visine od 20 km temperatura stalno raste i na visini od 50 km dostiže približno +50°C. Ova oblast porasta temperature naziva se i ozonsko područje, jer vazduh sadrži relativno visok procenat ozona. Za razvoj i opstanak života na Zemlji značajan je sloj ozona, jer on apsorbuje veliki deo ultraljubičastog zračenja Sunca, koje razara bakterije i ćelije.

Iznad visine od 50 km temperatura ponovo opada sa visinom, da bi konačno na visini od 80 km – na prelazu u jonosferu – ponovo počela da raste.



Sl. 2.1. Slojevitost i promene temperature u donjoj atmosferi

2.1.3. **Jonosfera**

Iznad visine od oko 80 km nalazi se *jonosfera*. Ona doseže do visine od oko 800 km, a zatim postepeno prelazi u međuzvezdani prostor. Prelazna oblast prema međuzvezdanom prostoru naziva se *eksosfera*. U jonosferi se nalazi veliki broj delića sa električnim nabojem – jona i elektrona. Oni nastaju usled cepanja neutralnih molekula vazduha (jonizacija). Jonizaciju izaziva pre svega ultraljubičasto i rentgensko zračenje Sunca. U stvaranju jonizacije učestvuju kosmičko zračenje i struje meteora koje neprestano sagorevaju u Zemljinoj atmosferi (nekoliko desetina milijardi delića meteora u toku 24 h).

Zračenje visoke atmosfere sadrži dovoljno energije da oslobodi elektrone iz atomske veze prisutnih gasova. Atom iz koga je izbijen elektron sa preostalim elektronima, predstavlja pozitivno nabijeni jon. Slobodni elektron prilazi neutralnom atomu ili molekulu i na taj način stvara negativni jon. Slobodni elektron može se sjediniti sa pozitivnim jonom, pri čemu ponovo nastaje neutralni atom. Proces ponovnog stvaranja neutralnog atoma naziva se *rekombinacija*. Broj slobodnih elektrona po jedinici zapremine (e/cm³) zavisi od intenziteta zračenja. Zahvaljujući prisustvu električno nabijenih delića – jona, visoka atmosfera postaje električni provodnik koji ima osobinu da reflektuje elektromagnetne talase određenih frekventnih područja.

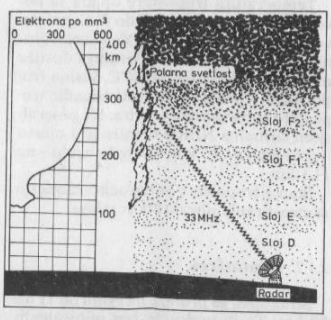
Preciznije rečeno, to nije stvarna refleksija, jer se talasi u jonosferi ne odbijaju naglo, već postepeno u skladu sa stalnom promenom jonizacije i sa povezanom promenom dielektrične konstante. Zato je tačnije reći da se ovde radi o postepenom prelamanju, kao što proizilazi iz prikaza datog na sl. 2.3.

Keneli i Hevisajd (*Kennely i Heavyside*) su još 1900. godine predvideli da na velikoj visini postoji električno provodljiv sloj. Godine 1924, Englezima Epltonu i Barnetu (*Appleton i Barnett*) uspelo je da eksperimentalno dokažu reflektujuće slojeve u gornjoj atmosferi, čime je potvrđena Keneli-Hevisajdova teorija. Kasnije je na principu eholota dokazano da u visokoj atmosferi ne postoji samo jedan, tzv. *Keneli-Hevisajdov sloj*, već ceo niz slojeva. Saznanja o do sada poznatim karakteristikama jonosfere dopunjena su i preciznije definisana mernim vrednostima sa SPUTNIKA i geofizičkih raketa.

Kao što se vidi na sl. 2.2, u jonosferi se javlja nekoliko maksimalnih koncentracija elektrona. Na visini od oko 50 do 80 km, danju se stvara tzv. sloj D koji se noću gubi. Kod sledećeg *sloja E* (*Keneli-Hevisajdov sloj*), maksimalna koncentracija elektrona nalazi se na visini od oko 110 do 130 km. Iznad njega se nalazi *sloj F* (*Epltonov sloj*), koji se u toku leta – danju – razdvaja na slojeve F_1 i F_2. Maksimalna jonizacija *sloja* F_1 nalazi se na visini 200 do 230 km, a *sloja* F_2 250 do 400 km. Jonizacija se povećava iz sloja u sloj i dostiže maksimum u *sloju* F_2, na visini od oko 400 km. Iznad *sloja* F_2 jonizacija postaje sve manja i konačno sasvim nestaje.

Na osnovu novijih istraživanja sastava jonosfere ne bi se više smelo govoriti o sistemu slojeva, jer su prelazi između oblasti različite koncentracije elektrona postepeni. Međutim, hipoteza o slojevitom sastavu atmosfere postala je određen pojam, pa je zbog toga i dalje zadržavamo.

Jonosfera je podvrgnuta stalnim promenama stanja, pa se stoga podela atmosfere prikazana na sl. 2.2 ne sme shvatiti kao kruti sistem slojeva koji se nalaze jedan iznad drugog. Stepen jonizacije se



Sl. 2.2. Podela gornje atmosfere



Sl. 2.3. Prostorni i površinski talas kao načini prostiranja elektromagnetnih talasa

stalno menja u zavisnosti od godišnjeg doba i od doba dana, od cikličnih promena Sunčeve aktivnosti, od geografske širine i dr. Navedene pojave biće opširnije opisane u tački 2.3.2.

2.2. Površinski talas i prostorni talas

Kada se predajnik i prijemnik nalaze na Zemlji, radio-talasi se mogu prostirati na dva načina:

– kroz troposferu duž Zemljine površine, kao površinski ili prizemni talas;

– refleksijom u jonosferi, kao prostorni talas.

Na sl. 2.3 prikazana su ova dva načina prostiranja.

2.2.1. **Prostiranje površinskog talasa**

Površinski talas sledi zaobljenje Zemlje, pa je zbog toga izložen uticaju apsorpcije Zemljine površine preko koje se širi. Apsorpcija se povećava sa porastom frekvencije. Zbog toga se na niskim frekvencijama (npr., najduži talasi) pomoću prizemnog talasa postižu veliki dometi. Na površinski talas utiču električna provodljivost i struktura zemljišta (građevine, rastinje itd.), a domet mu zavisi od snage zračenja.

Kratki talasi imaju mali domet površinskog talasa. Ako se uzme amaterski radio-predajnik srednje snage, u području od 80 m može se računati sa dometom pomoću prizemnog talasa od oko 100 km; pri istoj snazi zračenja on u području od 10 m opada na oko 15 km. Kada je naročito važno da se postigne veliki domet prizemnim talasom, treba koristiti antene sa vertikalnom polarizacijom.

U UKT području mogu se premostiti veća rastojanja pomoću savijanja, lomljenja i rasipanja u troposferi. Ove pojave biće opisane u odeljku 2.4.

2.2.2. **Prostiranje prostornog talasa**

Uspostavljanje veze na najvećim udaljenostima na Zemlji u KT području omogućava prostorno zračenje. Pri tom se prostorni talasi reflektuju od jonosfere. U jonosferi v_i brzina prostiranja talasa je nešto veća od brzine u troposferi i zavisi od koncentracije elektrona N (= e/cm³) i od frekvencije f. Iz izraza

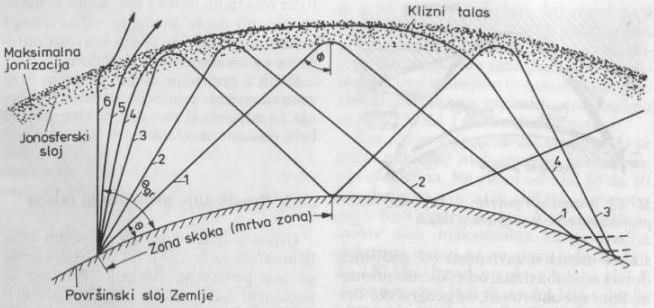
$$v_i = \frac{3.10^8 \text{ m/s}}{\sqrt{1 - k_i \cdot \left[\frac{N}{f^2}\right]}} \qquad (2.1)$$

(k_i – konstantan faktor)

proizlazi da se brzina prostiranja povećava ako se povećava koncentracija elektrona N pri datoj frekvenciji f. Ako talasni front uđe koso u jonosferu, delovi fronta koji su »brži« i nalaze se na većoj visini, prestići će niže delove fronta. Zbog te razlićite brzine prostiranja, talasni front će se saviti i ako je koncentracija elektrona N dovoljno jaka, može se reflektovati prema Zemlji (sl. 2.4).

Postoje sledeće zavisnosti: da bi se kratki talasi reflektovali od jonosfere, koncentracija elektrona mora biti utoliko veća ukoliko je radna frekvencija f viša. Savijanje prostornog talasa prema Zemlji sve je lakše, što je ugao zračenja Θ antene manji, tj. što talas uđe »pliće« u sloj jonosfere.

Na sl. 2.4 prikazano je, u pojednostavljenom obliku, dejstvo ovih zakonitosti na prostiranje prostornog talasa u KT području. Talas 1 koji predajna antena zrači pod malim uglom Θ, ulazi pod uglom φ relativno »plitko« u jonosferu i reflektuje se tako da tek na velikoj udaljenosti ponovo stigne na Zemljinu površi-



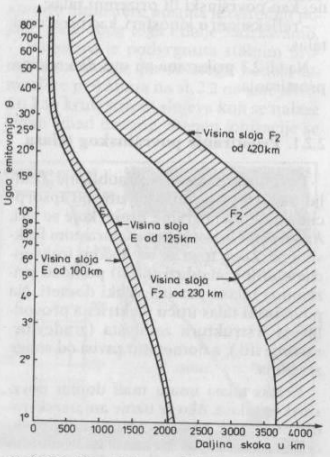
Sl. 2.4. Uticaj ugla refleksije na savijanje u jonosferi; Θ = granični ugao, φ = upadni ugao

nu (mali ugao zračenja Θ = veliki »skok«). *Udaljenost »skoka«* je utoliko veća što je veća visina reflektujućeg sloja. U najvišoj oblasti jonosfere, u *sloju* F_2, maksimalna daljina »skoka« iznosi nešto više od 4000 km, a u *sloju E* postiže se maksimalno oko 2000 km. Na sl. 2.5 prikazana je zavisnost između ugla zračenja Θ, visine sloja i daljine »skoka«. Jasno je od kolikog je značaja za prostiranje kratkih talasa da se ugao zračenja Θ antene (naziva se i *vertikalni ugao elevacije*) odabere tako da bude što je moguće manji.

Između polaznog mesta talasa i mesta na kome ponovo stigne na Zemljinu površinu nalazi se *mrtva zona* prijema. Preciznije rečeno, ona se proteže od mesta nestanka površinskog talasa do tačaka na kojima reflektovani prostorni talas ponovo dosegne Zemljinu površinu. Ukoliko se zanemari domet površinskog talasa, koji je inače veoma mali kod kratkih talasa, *mrtva zona* može da se izjednači sa daljinom »skoka«.

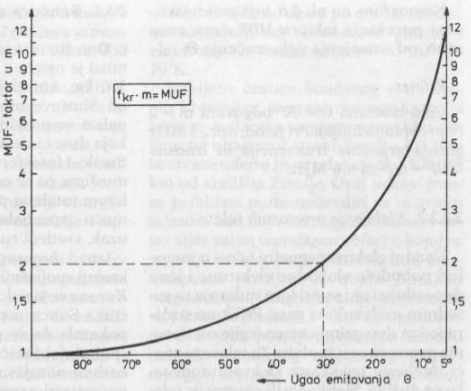
Talas se reflektuje od Zemljine površine prema jonosferi i tamo može da dođe do refleksije po drugi put, pod pretpostavkom da postoji sloj odgovarajuće jonizacije. Proces se često ponavlja više puta, pa se čak događa da talas više puta obiđe Zemljinu kuglu. Mehanizam *višestrukih »skokova«* talasa veoma je komplikovan, jer se stanje jonosfere menja od mesta do mesta, pri čemu se talas ponekad reflektuje već od *sloja E*, zatim opet od *sloja F* ili skače između ova dva sloja.

Ugao zračenja talasa 2 je veći, pa on prodire nešto dublje u refleksioni sloj i daljina njegovog »skoka« je znatno manja. Talas 3 emituje se već prilično »strmo«. On mora da prodre skoro do oblasti maksimalne jonizacije, pre nego što se reflektuje prema Zemljinoj površini, pa



Sl. 2.5. Daljina skoka za refleksije od sloja E i F_2 *u zavisnosti od ugla zračenja Θ i visine sloja*

Sl. 2.6. Zavisnost između kritične frekvencije F_{kr} *i gornje granične frekvencije od ugla zračenja Θ, prikazana kao faktor MUF (m)*



su mu potrebna dva »skoka« da bi postigao približno daljinu »skoka« talasa 1. Talas 4 je poseban primer. On prodire do donje ivice zone sa maksimalnom koncentracijom elektrona i dugo se kreće duž ivice, pre nego što se usled nehomogenosti, reflektuje prema zemlji. On se naziva *klizeći* talas ili »super mode«.

Talasi 5 i 6 emituju se veoma strmo i samo malo reflektuju od jonosferskog sloja. Oni zbog toga prodiru kroz zonu maksimalne jonizacije i više ne skreću prema Zemlji. Međutim, ako se pretpostavi da je ucrtani sloj u stvari *sloj E*, onda bi se talasi 5 i 6 još uvek mogli reflektovati od *sloja F* koji se nalazi iznad njega. Talasi 1 do 4 bili bi, u ovom slučaju, odvojeni od *sloja F slojem E*. Ovakvo odvajanje ili prekrivanje pri prostiranju kratkih talasa je nepoželjna pojava.

Ugao zračenja talasa 5 označen je kao granični ugao Θ_{gr}. To znači da je talas emitovan pod ovim uglom prvi koji probija sloj nagore.

2.2.2.1. *Kritična frekvencija i MUF*

Kritičnom frekvencijom f_{kr} naziva se najviša frekvencija, pri kojoj se talas koji vertikalno upada u jonosferu još reflektuje od datog sloja. Kritična frekvencija se određuje pomoću cholota, pri čemu se iz vremena putovanja mernog signala istovremeno izračunava i visina refleksionog sloja. Rezultat je *virtuelna visina* (prividna visina). U stvarnosti, donja ivica refleksionog sloja je nešto niža od virtuelne visine, jer prilikom merenja vremena putovanja mernog signala nije uzeto u obzir da se unutar jonizovanog sloja elektromagnetni talas prostire manjom, tj. drugačijom brzinom.

Kritična frekvencija važi za ugao zračenja Θ od 90°, pri čemu se talas ponovo vraća na mesto polaska. Tek kada se Θ smanji, javlja se daljina »skoka«, odnosno mrtva zona i istovremeno se, u zavisnosti od Θ, povećava frekvencija koja se još reflektuje. Ona se naziva *gornja granična frekvencija* ili *MUF**. *MUF* je povezana sa kritičnom frekvencijom f_{kr} *zakonom sekansa:*

$$MUF = f_{kr} \cdot \sec \varphi \qquad (1.2)$$

Budući da je $\sec \varphi = 1/\cos \varphi$ i $\cos \varphi = \sin \Theta$, može se izvesti:

$$MUF = f_{kr} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} = f_{kr} \cdot \frac{1}{\sin v}$$

Izlazi $1/\cos \varphi$, odnosno $1/\sin \Theta$ predstavljaju faktor *MUF*.

*Skraćenica *MUF* je izvedena od početnih slova engleskog izraza: Maximum Usable Frequency.

Nomogram na sl. 2.6 prikazuje zavisnost povećanja faktora *MUF* označenog sa m, od smanjenja ugla zračenja Θ.

Primer

Uglu zračenja Θ = 30° odgovara m = 2 (isprekidana linija). Pri f_{kr} od, npr., 3 MHz gornja granična frekvencija bi iznosila $MUF = f_{kr} \cdot m = 6$ MHz.

2.2.2.2. *Slabljenje prostornih talasa*

Upadni elektromagnetni talasi u jonosferi pobuđuju slobodne elektrone i jone da osciluju i oni se pri tom sudaraju sa susednim molekulima gasa. Prilikom sudara jedan deo primljene energije oscilovanja pretvara se u toplotu. Za talase to znači *slabljenje* koje raste sa kvadratom talasne dužine. Slabljenje ili *apsorpcija* talasa povećava se sa gustinom nosilaca; što se više slobodnih elektrona, jona i molekula gasa nalazi u jedinici zapremine, oni će se češće sudarati, pri čemu dolazi do pretvaranja energije. Osim toga, apsorpcija će biti utoliko veća, ukoliko je duži put koji elektromagnetni talas prevali u jonosferskom sloju.

Indirektna mera slabljenja u jonosferi je *LUF**. Ona se naziva i *frekvencijom slabljenja*, a u području kratkih talasa predstavlja najnižu frekvenciju, koja se još može koristiti za ostvarenje veze pomoću prostornih talasa. Korisno frekventno područje ograničava sa gornje strane *MUF*, a sa donje strane *LUF*.

2.3. Prostiranje kratkih talasa i njihove specifičnosti

Mogućnost uspostavljanja veze na kratkim talasima pomoću prostornih talasa zavisi od stanja jonosfere. Njen sastav je već kratko opisan u tački 2.1.3. Budući da stanje jonosfere neposredno zavisi od Sunčeve aktivnosti, prvo treba ispitati kako Sunčeva aktivnost podstiče promene jonosfere.

* Skraćenica *LUF* je izvedena od početnih slova engleskog izraza: Lowest Usable Frequency.

2.3.1. Sunčeva aktivnost

Ono što mi vidimo kao Sunce, u stvarnosti je njegova *fotosfera*, sloj debeo oko 300 km, koji deli Sunčevu unutrašnjost od Sunčeve atmosfere. Iznad fotosfere nalazi se providna oblast – *hromosfera*, koja doseže do visine od oko 10.000 km. Svetlost fotosfere potpuno obasjava hromosferu, pa se ona može videti samo prilikom totalnog pomračenja Sunca ili pomoću specijalnih instrumenata, kao uzak, svetleći rub ružičaste boje.

Iznad *hromosfere* širi se *korona* kao krajnji spoljašnji sloj Sunčeve atmosfere. *Korona* se širi do udaljenosti od više prečnika Sunca, a poslednja istraživanja su pokazala da se putanja Zemlje nalazi u spoljašnjoj Sunčevoj *koroni*. Budući da i *koronu* obasjava *fotosfera*, ona se može posmatrati samo u vreme totalnog pomračenja Sunca, kao svetleći prsten oko Sunca.

Sunčeva energija je proizvod nuklearnih procesa koji se dešavaju u za nas nevidljivoj unutrašnjosti Sunca. Ona se prenosi prema spoljašnjosti i zrači iz Sunčeve atmosfere. Celokupno Sunčevo zračenje sastoji se od elektromagnetnih talasa i od zračenja čestica (korpuskularnog zračenja). Gubitak Sunčeve mase iznosi pri tome 5,300.000 tona u sekundi, od čega se elektromagnetnim zračenjem gubi 4,300.000 tona, a korpuskularnim zračenjem 1,000.000 tona. Za naše pojmove zaliha Sunčeve energije je neiscrpna, jer ono, pri istoj snazi zračenja tek posle 10 milijardi godina gubi manje od 0,1% svoje mase.

2.3.1.1. *Solarno zračenje elektromagnetnih talasa*

Najveći deo Sunčeve energije dolazi iz fotosfere, kao svetlosno zračenje talasnih dužina između 400 i 800 nm, pri čemu je maksimalni intenzitet na 470 nm. Emitovanje elektromagnetnih talasa obuhvata ceo spektar od gama-zračenja, preko rentgenskog, ultraljubičastog, svetlosnog i infracrvenog zračenja sve do radio-talasa. Na sastav i stanje naše jonosfere, ipak, najviše utiču samo rentgensko i ultraljubičasto zračenje Sunca.

Rentgensko zračenje potiče od *korone* koja uglavnom jonizuje Zemljinu atmosferu na visinama između oko 50 km i 150 km *(slojevi D i E)*.

Ultraljubičasto zračenje potiče od hromosfere. Ono utiče, pre svega, na stvaranje *sloja F*. Takođe malim delom jonizuje oksid azota koji se nalazi u *sloju D*.

Pri prodoru u Zemljinu atmosferu, ultraljubičasta i rentgenska zračenja jonizuju atome i molekule. Trošenje energije zračenja na jonizaciju predstavlja i apsorpciju ovog zračenja.

Slabljenje, odnosno apsorpcija zračenja srazmerno je gustini Zemljine atmosfere. Kako se ova gustina povećava sa približavanjem površini Zemlje, to će niži slojevi atmosfere sve intenzivnije *apsorbovati* onaj deo energije zračenja koji u njih dopire. Zato se u delovima atmosfere neposredno iznad Zemljine površine ne može uočiti jonizujuće zračenje vredno pomena.

Stvaranje slojeva u atmosferi objašnjava se apsorpcijom određenih talasnih dužina ultraljubičastog i rentgenskog zračenja u određenim vrstama atoma ili molekula (npr., O, O_2, N_2, NO). Taj proces se odigrava na različitim visinama.

2.3.1.2. *Sunčev vetar*

Korpuskularno zračenje malo utiče na jonosferu. Danas se ovo zračenje čestica pogodnije naziva *Sunčevim vetrom*, jer se radi o stalnom strujanju materije iz Sunčeve korone koje se odvija prema zakonima magnetogasne dinamike. Kosmičke letelice kao što su LUNJIK, MARINER II i EKSPLORER X prvi put su konstatovale i izmerile Sunčev vetar, pri čemu se pokazalo da su njegova brzina i turbulencija zavisne od Sunčeve aktivnosti.

Temperatura Sunčeve korone iznosi oko jedan milion kelvina (10^6 K). Čestice u koroni nalaze se u stanju plazme i kreću se termičkim brzinama od preko 600 km/s. Te čestice su uglavnom protoni (jezgra atoma vodonika). Pritisak gasa veoma vruće materije korone je veći od privlačne sile Sunca. Zbog toga se javlja stalno strujanje materije koja se odvaja od Sunca u svim pravcima a prema međuplanetarnom prostoru. Brzina *Sunčevog vetra* iznosi u proseku 320 km/s, pri gustini čestica od oko 5 po cm^3. U suštini, on se sastoji od vodonikove plazme i elektrona sa temperaturom od 10^4 do 10^5K.

Nabijene čestice Sunčevog vetra svojim kretanjem stvaraju magnetska polja koja se sudaraju sa geomagnetskim poljem na obasjanoj strani Zemlje. Pri tom se stvara *udarni front* udaljen oko 100.000 km od središta Zemlje. Ovaj *udarni front* se približno može uporediti sa udarnim talasom kod nadzvučnog leta. Sunčev vetar stiže zatim u *prelaznu oblast* u kojoj se stvaraju vrtlozi, pa je konačno kod *magnetopauze* prisiljen da obiđe Zemljinu *magnetosferu*. *Magnetopauza* je granični sloj između *prelazne oblasti* i *magnetosfere* u kojem postoji ravnoteža između energije Zemljinog magnetnog polja i energije kretanja Sunčevog vetra. Zbog toga, *Sunčev vetar* ne može da prodre u magnetosferu ili se to događa samo na određenim mestima i uz posebne pretpostavke.

Pod uticajem Sunčevog vetra komprimuje se Zemljino magnetno polje na obasjanoj strani Zemlje. Suprotno tome, linije polja iznad neobasjane strane Zemlje izdužuju se u dugački otvoreni rep, koji se pruža daleko iza Mesečeve putanje. Na rastojanju od 130.000 km od središta Zemlje formiraju se dva međusobno paralelna, ali suprotno usmerena magnetna polja iste jačine koja su odeljena *neutralnim slojem*. *Neutralni sloj* je okružen *slojem plazme* solarnog porekla. To su čestice Sunčevog vetra koji je prodro kroz otvoreni kraj repa u magnetosferu. Sloj plazme širi se na neobasjanoj strani Zemlje do njene atmosfere i uliva se u prstenastu zonu – *polarnu svetlost*. Međutim, solarna plazma može da se ulije u atmosferu i sa obasjane strane Zemlje i to u *neutralnim tačkama*, koje se nalaze u graničnoj oblasti između otvorenih i zatvorenih linija polja uz magnetopauzu.

»*Normalni*« stalni Sunčev vetar koji potiče od »mirnog« Sunca veoma malo utiče na prostiranje kratkih talasa, jer ne pobuđuje nikakve specijalne događaje u jonosferi. Smetnje prostiranju javljaju se tek kada Sunce emituje dodatne struje čestica usled određenih centara aktivnosti, o kojima će kasnije biti reči.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

2.3.1.3. *Sunčeve pege*

Do sada opisane pojave Sunčeve aktivnosti poticale su od »mirnog« Sunca, što ni u kom slučaju nije normalno stanje, već u najboljem slučaju kratkotrajna pojava u periodu dok su Sunčeve pege *minimalne*. U većini slučajeva mora se računati sa povećanom Sunčevom aktivnošću, koja je neposredno povezana sa pojavom Sunčevih pega. *Galilej* je još pre skoro 400 godina posmatrao te tamne Sunčeve mrlje, čiji se broj i vek trajanja registruje već više od 200 godina (1749). Sunčeve pege se javljaju pojedinačno i u grupama. Njihov vek trajanja je nekoliko dana do više meseci, već prema njihovoj veličini. One su grupisane u oblasti između 20° severno i 20° južno od Sunčevog ekvatora i kreću se sa Suncevom rotacijom. To znači da će posmatrač sa Zemlje posle 27 dana ponovo na istom mestu videti dugovečne pege.

Zbog jedinstvenosti rezultata posmatranja, definisana je učestanost pega pomoću *relativnog broja Sunčevih pega* R:

$$R = k \cdot (10\,g + f),$$

gde je:

k = redukcioni faktor paralelnih posmatranja ($k \approx 1$),

g = broj grupa pega,

f = broj pojedinačnih pega.

Na osnovu redovnih posmatranja Sunčevih pega uskoro se pokazalo da se njihov relativni broj menja periodično u toku, prosečno, 11 godina, što predstavlja *ciklus Sunčevih pega*. To je prosečna vrednost koja se pojedinačno menja između 7 i 17 godina. Do sada još nije pronađeno objašnjenje za ciklus Sunčevih pega, a i same Sunčeve pege su velika zagonetka za nauku.

Relativni broj Sunčevih pega dostigao je u maju 1947. godine rekordnu vrednost od 200. Takva vrednost stoleća nije uočena. Sledeći maksimum Sunčevih pega pojavio se u martu 1958. godine, a relativni broj je bio još veći. Nasuprot tome, maksimum iz 1968. godine popriimio je ponovo prosečnu vrednost (relativni broj 110).

Pojave pega smatraju se vidljivim znacima izrazito jakih magnetnih polja, pri čemu se susedne pege često različitog polariteta (unipolarna i bipolarna polja pega). Jačina magnetnih polja iznosi do 0,45 tesla (radi upoređenja: magnetsko polje Zemlje iznosi $0{,}5 \cdot 10^{-4}$T).

Temperatura Sunčevih pega niža je za oko 1200 K od temperature *fotosfere* koja ih okružuje i za koju je određeno 5670 K. Sunčeve pege predstavljaju, ipak, samo mali prostorni i vremenski isečak snažnog centra aktivnosti, koji se nalazi ispod fotosfere, pa se zbog toga ne može direktno posmatrati.

Uz spoljašnju granicu Sunčeve pege javljau se tzv. *iskričave oblasti*, koje se mogu posmatrati u svetlosti određenih spektralnih linija. *Iskre* su svetlije, a to znači vrelije od njihove okoline, one su ogromnih dimenzija i javljaju se kako u fotosferi tako i u hromosferi.

U iskričavim oblastima u hromosferi često se javljaju erupcije koje izazivaju iznenadno »iskrenje« uz istovremeno povećavanje iskričavih površina. Takve erupcije nazivaju se *Sunčeve baklje*. One imaju različitu jačinu svetlosti, različitu veličinu i nejednako traju. *Sunčeve baklje* zaplamte, to traje nekoliko minuta, a zatim ponovo izgube jačinu svetlosti u toku 30 do 60 minuta. Mogući su i znatno kraći ili duži vremenski periodi. Nastajanje *sunčevih baklji* pripisuje se, takođe, intenzivnim magnetskim poljima. Kao posledica *Sunčevih erupcija* nastaju svi oblici elektromagnetnog zračenja; kod većih erupcija javlja se i povećano *korpuskularno zračenje*.

Na kraju treba dodati da svetlosna jačina Sunca (vidljiva svetlost koja potiče iz fotosfere) ne menja bitno svoj intenzitet u toku promenljive aktivnosti Sunca. Može se pretpostaviti da je ona konstantna.

2.3.2. **Sunčeva aktivnost i jonosfera**

Jonosfera bi se menjala u toku dana i sa godišnjim dobom čak i kada ne bi postojala posebna Sunčeva aktivnost. Te promene bi se odvijale sasvim pravilno, pa bi se za svako mesto na Zemlji i za svako vreme mogao izraditi optimalan plan radnih frekvencija za sve moguće kratkotalasne veze na Zemlji. Međutim, dugoročno nepredvidljiva promenljiva aktivnost Sunca, veoma smanjuje sigurnost takvih prognoza. Na osnovu posmatranja različitih pokazatelja u radio-saobraćaju, radio-amater može veoma brzo uočiti većinu jonosferskih smetnji, pa se može njima prilagoditi. Zbog toga se znanje o jonosferi, koja je kratko opisana u tački 2.1.3, mora malo dopuniti i proširiti.

2.3.2.1. *Sastav i karakteristike neometane jonosfere*

Kada Sunčevo ultraljubičasto i rentgensko zračenje prodre u gornji deo Zemljine atmosfere, oba zračenja poseduju najviše energije. Međutim, u tom delu gustina atmosfere još je izrazito mala. To znači da se tu nalazi samo mali broj molekula gasa koje se mogu jonizovati. Što zračenje prodire dublje u atmosferu, ona postaje gušća, pa se može stvarati sve više slobodnih elektrona. Ali, zbog toga i energija zračenja sve više slabi. Konačno, zračenje dospeva u oblast atmosfere, u kojoj je gustina molekula gasa baš tolika da je preostala energija zračenja dovoljna da molekule potpuno jonizuje. Na taj način stvara se oblast sa maksimalnim brojem slobodnih elektrona. Ona se naziva i Čempenov *(Chapman)* sloj, prema naučniku koji je ovaj proces prvi put objasnio.

Visina Čepmenovog sloja zavisi od dva faktora: raspodele gustine atmosfere po visini i njene sposobnosti da apsorbuje Sunčevo zračenje. Ovo poslednje znači da određene vrste atoma i molekula (vodonik, azot, kiseonik, vodena para i dr.) apsorbuju različite talasne dužine ultraljubičastog i rentgenskog zračenja, pri čemu se apsorpcija odigrava u skladu sa raspodelom ovih materija na različitim visinama. Intenzitet solarnog zračenja ne utiče na visinu sloja, već na gustinu elektrona u sloju. On je maksimalan pri vertikalnom upadu Sunčevog zračenja. Sa povećanjem nagiba Sunca gustina elektrona postaje sve slabija, nastupa pojačana rekombinacija, dok se jonizovani sloj konačno potpuno ne izgubi.

Sloj F

Postanak *sloja* F_2, koji je na visini od 250 km do najviše 400 km, ne može se potpuno objasniti *Čepmenovom teorijom*. On predstavlja široki maksimum gustine elektrona sa oko jedan milion slobodnih elektrona po cm^3 i najjače je jonizovan od svih slojeva.

Najveći broj kratkotalasnih veza na velikim udaljenostima (DX) ostvaruje se pomoću refleksije od *sloja* F_2. Rekombinacija se odvija veoma sporo, tako da *sloj* F_2 postoji i u toku noći, u više ili manje oslabljenom obliku. Neposredno pre izlaska Sunca javlja se minimum gustine elektrona. Posle izlaska Sunca jonizacija se povećava i za jedan do dva sata dostiže prosečan dnevni nivo. U toku leta, *sloj* F_2 nalazi se, danju, na visini od oko 400 km; zimi se sloj, noću, spušta na visinu od 250 km do 300 km.

Sloj F_2 odlikuje se *anomalijama. Dnevna anomalija* ispoljava se u tome što se, na primer, maksimalna gustina elektrona ne javlja kada je Sunce u najvišem položaju; dnevna anomalija se najčešće javlja u ranim popodnevnim časovima. *Noćna anomalija* ispoljava se u tome što se jonizacija u toku noći može još povećati, mada više nema Sunčevog zračenja. *Kod polarne anomalije* zapaža se *sloj* F_2 iznad oblasti u kojima vlada polarna noć, uprkos tome što ne postoji Sunčevo zračenje u toku dužeg perioda. Konačno, nije objašnjena ni *anomalija godišnjih doba*, koja se ispoljava u tome što je gustina elektrona veća zimi nego leti. Osim toga, uočeno je da se letnji maksimum jonizacije ne javlja kada je Sunce u najvišem položaju, već ubrzo posle ravnodnevnice (ravnodnevnica je dan u godini sa podjednakom dužinom dana i noći; prolećna ravnodnevnica je 21. marta; jesenja ravnodnevnica je 23. septembra). Kada se u ravnodnevnici Sunce nalazi iznad ekvatora, jonizacija je najjača iznad severnih i južnih geografskih širina. Obe oblasti velike gustine elektrona međusobno su odvojene prstenom minimalne jonizacije, koji se proteže duž magnetnog ekvatora. To se naziva *anomalija Zemljinog magnetizma*.

Sloj F_1 formira se samo danju na visini od oko 200 km do 230 km. On je leti češći nego zimi. *Sloj* F_1 odvaja od donje granice *sloja* F_2 oblast smanjene koncentracije elektrona, koja je široka oko 50 km. *Sloj* F_1 nastaje po Čepmenovoj teoriji i sadrži maksimalno oko 400.000 slobodnih elektrona po cm^3. *Sloj* F_1 je nepoželjan za prostiranje kratkih talasa, jer svojom apsorpcijom otežava prostiranje preko *sloja* F_2. *Sloj* F_1 može da nastane jedino u vezi sa *slojem* F_2. Zbog toga oba sloja zajedno predstavljaju jedan kompleks, *sloj F*.

Sloj E

U *sloju E* maksimalna koncentracija elektrona nalazi se na visini od oko 110 km do 130 km. Pretpostavlja se da se on formira u skladu sa Čepmenovom teorijom. Uz srednju koncentraciju elektrona – oko 100.000 po cm^3 – u njemu je jonizovano samo oko 0,1% postojećih atoma. *Sloj E* se formira iznad obasjane strane Zemlje; ubrzo po izlasku Sunca jonizacija se povećava brzo, oko podneva postiže maksimum, a zatim polagano opada do zalaska Sunca. Posle zalaska Sunca odvija se brza rekombinacija, tako da *sloj E* potpuno nestane već posle jednog sata. Ponekad *sloj E* postoji još i u toku noći, ali sa veoma malom gustinom jona, zbog toga što nema Sunčevog zračenja. Kritična frekvencija f_{k_E} za dnevni *sloj E* iznosi skoro uvek između 2 MHz i 4 MHz, ona je viša u doba *maksimuma* nego u toku *minimuma Sunčevih pega*.

Sporadični sloj E (sloj E_s*)* predstavlja čestu pojavu u jonosferi koja, ni u kom slučaju nije, redovna. Struktura *sloja* E_s nije slojevita, već više liči na oblake. *Sloj* E_s ubraja se u jonosferske smetnje, pa će se o njemu govoriti u podtački 2.3.2.2.

Sloj D

Sloj D je najniži jonosferski sloj i nalazi se na oko 50 km do 90 km iznad Zemljine površine, u relativno gustom delu atmosfere. Gustina elektrona u *sloju D* je veoma mala (vidi sl. 2.2), pa se zbog toga o nju mogu reflektovati samo veoma dugi talasi. Kratki talasi prodiru kroz *sloj D* uz manje ili veće slabljenje, a u ekstremnom slučaju apsorbuju se potpuno. Apsorpcija je zavisna od frekvencije i smanjuje se sa kvadratom kada se frekvencija povećava. Zbog toga normalno *sloj D* skoro i ne predstavlja prepreku za širenje prostornih talasa od 10 m, 15 m i 20 m; za talas od 40 m slabljenje je znatno, a najugroženije je korišćenje talasa od 80 m. Osim toga, apsorpcija je utoliko veća, ukoliko je manji ugao zračenja Θ, pod kojim talas ulazi u *sloj D* (vidi sl. 2.4) i ukoliko je veća gustina elektrona u *sloju D*.

Budući da se *sloj D* može formirati samo pod Sunčevim zracima i da je proces rekombinacije veoma brz, on nestaje za nekoliko minuta posle zalaska Sunca. *Slabljenje sloja D* prouzrokuje relativno male domete u toku dana u području od 80 m i delimično i u području od 40 m. *Sloj D* ne može doprineti prostiranju kratkih talasa na većoj udaljenosti pomoću refleksije. On predstavlja samo prigušujući sloj koji ometa širenje prostornih talasa.

2.3.2.2. *Jonosferske smetnje*

Jonosferske smetnje javljaju se skoro uvek, u više ili manje jakom obliku. One su posledica povećane Sunčeve aktivnosti koja se uočava, pre svega, po učestanosti Sunčevih pega. Sastav jonosfere zavisi skoro isključivo od solarnog ultraljubičastog i rentgenskog zračenja, pa natprosečno jaka zračenja ove vrste prouzrokuju i jonosferske smetnje odgovarajuće jačine. Budući da su to elektromagnetne oscilacije, prostiranje se vrši brzinom svetlosti, pa njihovo putovanje do Zemlje traje oko 8 minuta.

Prilikom intenzivnog izbijanja elektromagnetnog zračenja najčešće dolazi i do erupcije Sunčeve materije – korpuskularnog zračenja, koje tako reći »osveži« stalni *Sunčev vetar*. Korpuskularno zračenje je znatno sporije od elektromagnetnog zračenja, tj. čestice tek posle 15 do 40 minuta stižu u Zemljinu atmosferu, već prema brzini čestica. Smetnje usled korpuskularnog zračenja povezane su sa smetnjama usled pojačanog ultraljubičastog i rentgenskog zračenja, ali su vremenski pomerene u odnosu na njih.

SID (Iznenadne jonosferske smetnje)*

Oznakom SID* obeležavaju se sve iznenadne jonosferske smetnje koje su prouzrokovane povećanim ultraljubičastim i rentgenskim zračenjem. Jonosfera apsorbuje zračenje koje pospešuje dodatnu jonizaciju. Jonizacija se naročito ispoljava u *sloju D*. Usled povećane koncentracije elektrona u *sloju D* raste i njegova sposobnost apsorpcije kratkih talasa, što može dovesti do njihovog potpunog prigušenja. Taj ekstremni slučaj naziva se *Megel-Delingerov efekt (MDE)*, a ponekad i SWF**. Za vreme trajanja *MDE* prekinute su sve kratkotalasne veze na obasjanoj strani Zemlje. *MDE* obično traje manje od 15 minuta, retko do 45 minuta, a u iznimnim slučajevima do 2 sata. Sa njim je povezano poboljšanje prijema dugih talasa, uz istovremeno povećanje atmosferskih smetnji u ovom području. Iznenadne jonosferske smetnje mogu se smatrati prvom reakcijom Zemljine atmosfere na pojavu *sunčevih baklji*. Pri tom obično ne dolazi do efekta *MDE*, već se više ili manje burno povećava apsorpcija kratkih talasa u jonosferi uz istovremeno smanjenje sposobnosti refleksije, tj. naglo se smanjuju *MUF* i f_{k_E}. Međutim, u slučaju *MDE*, prijemnik može postati sasvim »mrtav«, tako da se može pomisliti da se pokvario.

SID su najčešće u toku maksimuma Sunčevih pega, a javljaju se samo na obasjanoj strani Zemlje.

Jonosferske oluje

Kao što je već opisano u podtački 2.3.1.2, na obasjanoj strani Zemlje, a na udaljenosti od više poluprečnika Zemlje, između Zemljinog magnetnog polja i solarne plazme dolazi do komplikovanih uzajamnih dejstava, koja izazivaju poremećaje Zemljinog magnetnog polja. Ti poremećaji se stalno mere i registruju. Registrovani zapisi poremećaja, takozvani *magnetogrami* se zatim procenjuju. Veoma pojačano korpuskularno zračenje izražava se u magnetogramu kao naročito veliki poremećaj Zemljinog magnetnog polja. Tako velike poremećaje nazivamo oluja *Zemljinog magnetizma* ili *kratko magnetna oluja*. Pri tom, solarna plazma koju skrene Zemljino magnetno polje, raznim putevima višestruko prodire u Zemljinu atmosferu, gde prouzrokuje *jonosfersku oluju*.

Budući da solarna plazma, sastavljena od elektrona i protona (na čije izbijanje ukazuje intenzivna sunčana baklja), putuje do Zemlje 20 do 40 časova, može se predvideti da će za jedan do tri dana posle efekta *MDE* ili intenzivnog *SID-a* doći do *magnetne oluje* praćene jonosferskom olujom, koje će trajati znatno duže od *SID-a* (više dana).

Glavne karakteristike *jonosferske oluje* su smanjenje kritične frekvencije *sloja* F_2 na oko polovinu normalne vrednosti i povećanje *apsorpcije sloja D*. Za to vreme veoma je sužen spektar, još uvek korisnih, kratkotalasnih frekvencija, sa gornje strane niskom f_{k_D}, a sa donje jakom *apsorpcijom sloja D*, koja potpuno slabi duže kratke talase. U toku perioda oluje, koja varira po intenzitetu i trajanju, primljeni kratkotalasni signali su veoma slabi i često sa *nestalim fedingom*. U toku jače jonosferske oluje mogu nastupiti i *prekidi prijema* (engleski *Blackouts*), u toku čijeg trajanja u mnogim oblastima Zemlje nisu moguće veze na većim udaljenostima (DX). Vredno je zapaziti da je uočeno da neposredno pre *prekida prijema* postoje naročito dobre veze na velikim udaljenostima. Radio-amater može iskoristiti ovu činjenicu ako u danima posle *SID* i *MDE* naročito često radi na DX-opsezima.

Jonosferske oluje deluju i danju i noću. One su intenzivnije pri maksimumu, ali traju kraće nego u minimumu Sunčevih pega.

Jonosferske smetnje koje su povezane sa poremećajima Zemljinog magnetizma prate i sporedne pojave koje, više ili manje, utiču na prostiranje kratkih talasa, naročito kada smetnje dostignu jačinu oluje. *Polarna svetlost*, koja se naziva i *au-*

* Skraćenica *SID* je izvedena od početnih slova engleskog naziva: Sudden Ionospheric Disturbance.

** Skraćenica *SWF* je izvedena od početnih slova engleskog izraza: Short Wave Fadeout.

rora, predstavlja optički upečatljivu pojavu ove vrste. Ona se često javlja na višim geografskim magnetskim širinama, a samo retko na srednjim širinama. Izaziva ju čestice *polarne svetlosti* sa energetskim nivoom od oko 10^4 eV (eV = elektronvolt; 1 eV predstavlja energiju koju dobije elektron pri ubrzanju naponom od 1 V). Kada one uđu u jonosferu, dolazi do udarne jonizacije koja znatno povećava gustinu elektrona, tako da u oblasti *sloja E* dostiže vrednosti do preko 10^6 e/cm^3. Zbog toga se u jonizovanim oblastima znatno povećava električna provodljivost, pa pod uticajem električnih polja nastaju snažni sistemi struja, koje prati pojava polarne svetlosti.

U okolini *polarne svetlosti*, u *radio-polarnoj svetlosti*, može doći do povratnog raspršivanja kratkih talasa. Međutim, ako je stepen smetnji Zemljinog magnetizma previsok, onda dolazi do jakog slabljenja kratkih talasa u *apsorpcionoj oblasti aurore*, koja se javlja u području polarne svetlosti. Kada su izrazito jake smetnje Zemljinog magnetizma, apsorpciona oblast može da se proširi do srednjih geografskih širina i tada jako ometa jonosfersko prostiranje kratkih talasa.

Radio-polarna svetlost javlja se danju i noću sa izraženim maksimumima učestanosti, kako između 01.00 i 03.00 tako i između 17.00 i 19.00 časova po lokalnom vremenu. Najčešće se javlja u proleće i u jesen. Najjača polarna svetlost očekuje se u toku maksimuma Sunčevih pega.

Uspostavljanje veze na kratkim talasima pomoću povratnog rasipanja o *polarnu svetlost* nema veliki značaj u radu radio-amatera.

U vreme minimuma sunčevih pega oni mogu uspostaviti neke veze ako rade na opsezima 10 m, 15 m i delimično 20 m. Međutim, amateri koji rade u opsegu od 2 m, očekuju uslove aurore kao svečani događaj (vidi odeljak 2.4).

Prilikom neuobičajeno jakih Sunčevih erupcija javlja se pojačano ultrazračenje, koje se sastoji, prvenstveno, od protona i alfa-čestica (atoma helijuma). To su brze čestice sa energijama iznad 10^9 eV, koje se još označavaju kao »visinsko zračenje« ili »kosmičko zračenje«. One prodiru u Zemljinu atmosferu preko magnetskih polova, nakon putovanja od 15 minuta do nekoliko časova.

Usled toga javlja se povećana jonizacija *sloja D* iznad oblasti na velikim geomagnetskim širinama, koja prouzrokuje jaku apsorpciju kratkih talasa. Ovi efekti (često označeni kao PCA*) traju u proseku 2 do 3 dana, a retko do 10 dana.

Sporadični sloj E (sloj E_s)

Glavna karakteristika ovog *sloja E* je da se on javlja sasvim sporadično i da se u pogledu širenja i oblika u kome se javlja, bitno razlikuje od normalnih jonosferskih slojeva. Budući da se on javlja na visinama *sloja E*, zbog razlike nazivamo ga sporadični *sloj E* ili kratko *sloj* E_s. O uzrocima nastajanja *sloja* E_s postojale su razne teorije, ali one do sada nisu potpuno objašnjene.

U zavisnosti od geografskih širina u kojima se nalaze, razlikuju se dva glavna oblika *sloja* E_s. Prvi oblik stvara se u oblasti polarne svetlosti, kao i na nekoliko stepeni geomagnetske širine severno i južno od nje. Zbog razlikovanja oblika, on se naziva *sloj* E_s polarne svetlosti. On je u međusobnoj vezi sa smetnjama Zemljinog magnetizma i polarnom svetlošću. Što se više povećavaju smetnje Zemljinog magnetizma, utoliko se *sloj* E_s polarne svetlosti više pomera prema ekvatoru. On je intenzivno jonizovan i prekriva sve slojeve na većim visinama.

Nasuprot *sloju* E_s polarne svetlosti, na srednjim geografskim širinama javlja se *sporadični sloj E* koji, očigledno, nije povezan sa smetnjama Zemljinog magnetnog polja ili njihovim pratećim pojavama. Zbog njegove strukture često se naziva i oblaci E_s. Oblaci E_s javljaju se veoma nepravilno i lokalno ograničeno, kao intenzivne koncentracije elektrona u vidu oblaka, na visinama između oko 100 km i 130 km. Slično meteorološkim oblacima, oni su vrlo promenljivi i razlikuju se po veličini, kretanju, brzini i gustini jonizacije. Konstatovano je da se na srednjim geografskim širinama kreću prvenstveno

* Izvedeno od početnih slova engleskog izraza: Polar Cap Absorption.

prema ekvatoru, a u blizini ekvatora skreću prema zapadu. Ostala posmatranja u vezi sa pojavom oblaka E_s na srednjim geografskim širinama pokazala su da se: oblaci E_s javljaju danju i noću; najčešći su u kasno pre podne (oko 10.00 časova po lokalnom vremenu) i u ranim večernjim časovima (oko 19.00 časova po lokalnom vremenu). U vezi sa godišnjim dobom najčešći su u letnjim mesecima. Veruje se da je utvrđeno da se pri poremećenom Zemljinom magnetnom polju, u srednjim širinama smanjuje pojava visokojonizovanih oblaka E_s. Osim toga, izgleda i da su intenzivniji u periodu minimuma nego u vreme maksimuma Sunčevih pega.

Pri refleksijama od *sloja* E_s maksimalna daljina »skoka« može iznositi oko 2000 km. Događaju se i višestruki »skokovi«. Kada su kritične frekvencije veoma niske, tako da su DX opsezi »mrtvi«, često se sa određenim oblastima neočekivano uspostave veze na relativno kratkim udaljenostima (od oko 500 km), koje se nazivaju šort skips (engleski: short skip = kratak skok). One se pripisuju refleksijama od oblaka E_s.

Gustina jonizacije oblaka E_s veoma često je dovoljno velika da omogući refleksije do 30 MHz. Kada je jonizacija neobično jaka mogu se reflektovati još i talasi od 2 m, ali to se retko događa. Ponekad se javljaju i izrazito veliki dometi televizijskih VVF signala, koji su, takođe, posledica refleksija od sloja E_s.

2.3.3. Opštevažeća pravila prostiranja u kratkotalasnim amaterskim opsezima

Radio-amater nema mogućnosti da meri stanje jonosfere, koje je odlučujuće za prostiranje kratkih talasa, a on ne bi mogao ni da bira frekvenciju koja je najpovoljnija za optimalan prenos, jer je ograničen na pojedine amaterske opsege. Međutim, na osnovu čestog posmatranja opsega i malo znanja o mehanizmu prostiranja, on može razviti »osećaj« kakve su mogućnosti prostiranja određenog kratkotalasnog opsega u određenom trenutku. Dugoročne prognoze i pravila o mogućnostima korišćenja kratkotalasnih amaterskih opsega ne mogu zameniti praktično iskustvo, jer oni polaze od »normalne« jonosfere bez većih smetnji, pa zbog toga uvek podležu faktoru nesigurnosti zbog Sunčeve aktivnosti, koja se stalno menja.

2.3.3.1. *Prostiranje u amaterskom opsegu od 80 metara*

Po danu se može uspostaviti veza samo na relativno malim udaljenostima, jer je talas od 80 m gotovo potpuno apsorbovan od sloja D. Zimi su dnevni dometi nešto veći nego leti, a maksimalno mogu da iznose oko 400 km.

Kada se sloj D rasformira, što nastupa posle zalaska Sunca, smanjuje se slabljenje, a povećavaju dometi. U toku noćnih časova može se uspostaviti veza i na udaljenosti većoj od 1000 km, ukoliko to ne ometaju bliske stanice u veoma gusto zaposednutom opsegu i visoki nivo atmosferskih smetnji u toku leta.

U zimskim mesecima, naročito u vreme minimuma Sunčevih pega, često je u prvim jutarnjim časovima (pre izlaska Sunca), moguć interkontinentalni radiosaobraćaj. Pri tom se javlja mrtva zona daljine skoka od oko 1000 km, prouzrokovana činjenicom da evropske stanice mogu da ometaju prijem samo unutar dometa njihovog prizemnog talasa.

2.3.3.2. *Prostiranje u amaterskom opsegu od 40 metara*

Slabljenje usled dnevnog sloja D intenzivno je i u opsegu od 40 metara, mada se postižu skoro normalni dnevni dometi od 1000 km, koji se, pri povoljnim uslovima prostiranja, mogu povećati i na 2000 km. U toku dana mrtva zona iznosi oko 100 km.

Već u kasnim popodnevnim časovima, naročito u doba minimuma Sunčevih pega, često postoji mogućnost za uspostavljanje interkontinentalnih veza, ali se retko može iskoristiti zbog ometajućeg dejstva bliskih stanica. Noću – naročito u zimskim mesecima – povećava se daljina skoka, čiji je maksimum oko ponoći. Bu-

duci da se tada Evropa nalazi u mrtvoj zoni, moguće je ostvariti radio-vezu bez smetnji sa svim kontinentima. Najmanje slabljenje, a time i najveći dometi javljaju se kada se ukupna trasa veze nalazi na neosvetljenoj strani Zemlje (nema apsorbujućeg sloja D).

Atmosferske smetnje su manje nego u opsegu od 80 m, ali naročito leti one mogu znatno ugroziti mogućnosti radiosaobraćaja.

2.3.3.3. *Prostiranje u amaterskom opsegu od 20 metara*

Amaterski opseg od 20 metara predstavlja tradicionalni DX opseg (DX = veza na velikim, interkontinentalnim udaljenostima). Ovaj opseg se, skoro uvek, može koristiti za veze sa drugim kontinentima. Jedino u vreme minimuma Sunčevih pega, opseg od 20 m je otvoren samo po danu, u zoru i sumrak, dok noću ne postoji mogućnost uspostavljanja veze.

Skoro uvek postoji mrtva zona čija daljina skoka, po danu u vreme smanjene Sunčeve aktivnosti, iznosi oko 1000 km; u vreme maksimuma Sunčevih pega daljina skoka se smanjuje na 400 km ili manje. U letnjim mesecima mrtva zona ponekad više ne postoji.

Nastupanjem sumraka mrtva zona se brzo proširi, pa noćna daljina skoka može da iznosi maksimalno 4000 km. Uslovi su naročito povoljni kada se jedan deo putanje prostiranja nalazi na neobasjanoj strani Zemlje.

Za evropske veze opseg od 20 m može se, uslovno, koristiti samo u toku leta, pri maksimumu Sunčevih pega, kada se atmosferske smetnje skoro ne javljaju.

2.3.3.4. *Prostiranje u amaterskom opsegu od 15 metara*

Uslovi prostiranja veoma zavise od ciklusa Sunčeve aktivnosti. U vreme maksimuma Sunčevih pega, opseg je skoro stalno otvoren za DX saobraćaj. Pri tom se, zbog malog slabljenja, malim snagama zračenja mogu premostiti veoma velika rastojanja.

U vreme minimuma Sunčevih pega opseg se u najboljem slučaju može koristiti danju u toku letnjih meseci i najčešće samo kratkotrajno. Noću ne postoje mogućnosti za uspostavljanje veze na velikim udaljenostima, a u zimskim mesecima opseg se uopšte ne može koristiti.

Povremeno se javljaju refleksije od *sporadičnog sloja E*, pa su tada mogući kontakti na rastojanjima od oko 2000 km. Atmosferske smetnje ne utiču na opseg od 15 m.

2.3.3.5. *Prostiranje u amaterskom opsegu od 10 metara*

Opseg se može koristiti samo u vreme jake Sunčeve aktivnosti za veze pomoću refleksije prostornog talasa. Tada danju postoje odlične mogućnosti za DX veze i pri tome se mogu uspostaviti veze na velikoj udaljenosti čak i veoma malim snagama predajnika. Treba uzeti u obzir da postoji mrtva zona od 4000 km. Putanja prostiranja talasa mora se nalaziti na obasjanoj strani Zemlje, tj. u jutarnjim časovima treba prvo uspostaviti vezu sa stanicama na Dalekom istoku. Leti, pri maksimalnoj Sunčevoj aktivnosti, opseg se može koristiti do kasnih večernjih časova. Zavisnost od Sunčeve aktivnosti je ekstremna.

U vreme minimuma Sunčevih pega na opsegu od 10 m, uopšte se ne mogu uspostavljati veze na velikim udaljenostima. Samo se povremeno javljaju kratkotrajne mogućnosti veze na srednjim rastojanjima zahvaljujući refleksiji od sporadičnog sloja E.

2.4. Prostiranje ultrakratkih talasa i njihove specifičnosti

Ultrakratki talasi u spektru elektromagnetnih oscilacija zauzimaju područje od 10 m do 1 m, što odgovara frekventnom području od 30 MHz do 300 MHz. Ultrakratki talasi (UKT) internacionalno se obeležavaju kao VHF.*

* Izvedeno od početnih slova engleskog izraza: Very High Frequencies

Prostiranje ultrakratkih talasa veoma je slično prostiranju svetlosti. Zbog toga se nazivaju i *kvazioptički* (slični svetlosti) *talasi*. Međutim, od celokupnog područja, kao kvazioptički mogu se označiti samo opsezi decimetarskih, centimetarskih i milimetarskih talasa, dok dužetalasni deo ultrakratkih talasa predstavlja prelaznu oblast prema talasima koji su slični svetlosti.

2.4.1. Kvazioptičko prostiranje ultrakratkih talasa

U ovom području radio-amatera naročito interesuje opseg od 2 m (144 MHz do 146 MHz). U ovom frekventnom području, jonosferska refleksija više nije moguća, osim u retkim, izuzetnim, slučajevima.

Ultrakratki talasi su naročito pogodni za premošćavanje udaljenosti unutar teoretski moguće vidljivosti do optičkog horizonta. Unutar tog rastojanja praktično se ne javljaju nikakva kolebanja jačine polja, pa se, čak i najmanjim snagama predajnika, može ostvariti pouzdana radio-veza, nezavisna od jonosferskih ili meteoroloških uticaja.

Stvarni dometi, koji se u svako doba mogu ostvariti pomoću talasa od 2 m, veći su za 15% od optičkog horizonta. Novija istraživanja objašnjavaju ovo savijanje ultrakratkih talasa prema Zemljinoj površini kao posledicu smanjenja koeficijenta prelamanja vazduha sa visinom. On je određen sadržajem vodene pare, pritiskom i temperaturom troposfere. Povećanje sigurnog UKT dometa iznad optičkog horizonta određuje se približnim obrascem

$$d_{(km)} = 4{,}13 \cdot (\sqrt{h_{1(m)}} + \sqrt{h_{2(m)}}), \qquad (2.3)$$

gde je

d – siguran domet u opsegu od 2 m,
h_1 – visina antene predajnika iznad tla;
h_2 – visina antene prijemnika iznad tla;

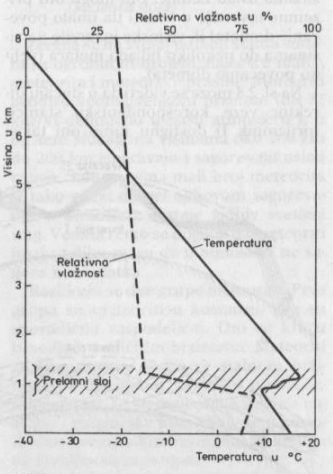
Ovaj obrazac zasniva se na tzv. *četiri trećinskom radijusu Zemlje*, što znači da se ne računa sa stvarnim srednjim radijusom Zemlje od 6370 km, već sa za jednu trećinu povećanim *efektivnim radijusom Zemlje* od oko 8500 km.

2.4.2. Povećani dometi ultrakratkih talasa

U UKT području ponekad se javljaju povećani dometi (od 1000 km i više), koji se ne mogu objasniti normalnim prostiranjem iza horizonta. Takvi posebni slučajevi mogu biti prouzrokovani različitim pojavama, ali najčešće su uslovljeni posebnim stanjima troposfere.

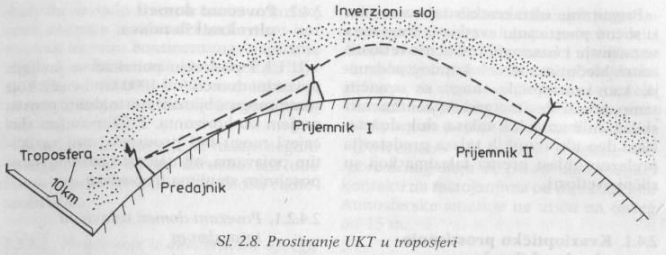
2.4.2.1. *Povećani dometi uslovljeni troposferom*

U opštem slučaju, temperatura troposfere opada sa porastom visine za 6°C do 8°C na svakih hiljadu metara porasta visine (vidi sl. 2.1). Međutim, zbog kretanja vazduha i ostalih meteoroloških uticaja, promena temperature vazduha, kao i relativne vlažnosti, može se menjati veoma skokovito, tako da odstupa od normalnog ponašanja (sl. 2.7). Takva *inverzija temperature* znači i promenu gustine vazduha. Topao vazduh je ređa sredina od hladnog vazduha.



Sl. 2.7. Primer toka temperature i relativne vlažnosti u slučaju stvaranja inverzije u troposferi

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



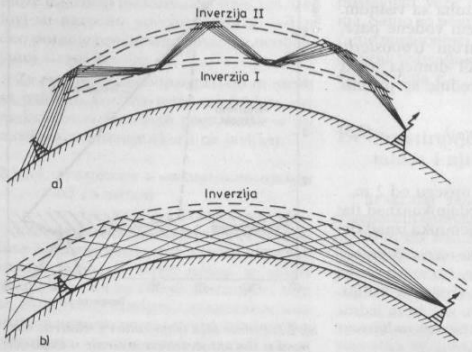
Sl. 2.8. Prostiranje UKT u troposferi

Zakon optičkog prelamanja kaže da se svetlosni zrak, pri prelazu iz optički gušće u optički ređu sredinu, prelama od vertikale, a nasuprot tome, pri ulasku iz ređe u optički gušću sredinu, prelama se ka vertikali.

Ultrakratki talasai ponašaju se isto kao svetlosni zraci prilikom promene gustine sredine kroz koju se prostiru. Pri ulasku u inverzioni sloj, talasni front se savija prema površini Zemlje (sl. 2.8). Inverzioni slojevi nalaze se na relativno malim visinama iznad Zemlje. Oni mogu biti prizemne inverzije u blizini tla (malo povećanje dometa) ili visinske inverzije na visinama do nekoliko hiljada metara (veliko povećanje dometa).

Na sl. 2.8 može se videti da u slučaju direktne veze, korespondentsku stanicu (prijemnik I) dostignu samo oni talasi koji su emitovani pod što je moguće pličim uglom, približno tangencijalno na površinu Zemlje. Ukoliko stanje troposfere omogućava savijanje talasa, a time i povećanje dometa, onda je opet potreban veoma mali ugao zračenja (putanja prostiranja do prijemnika II). Iz toga proizilazi da su za postizanje velikih dometa naročito pogodne antene sa dobrim karakteristikama usnopljavanja u ravni H (H – vektor magnetnog polja).

Poseban fenomen je troposfersko prenošenje između inverzionih slojeva. Ono se javlja kada se više inverzionih slojeva nalazi jedan iznad drugog. Radio-talas koji dospe između dva takva sloja reflektuje se od jednog do drugog sloja tako dugo dok u donjem sloju ne naiđe na »rupu« (sl. 2.9a). Ovakav slučaj karakterističan je po tome što omogućava usposta-



Sl. 2.9. Troposferski prenos između inverzionih slojeva: a – prenos između dva inverziona sloja, b – prenos između Zemljine površine i prizemnog inverzionog sloja

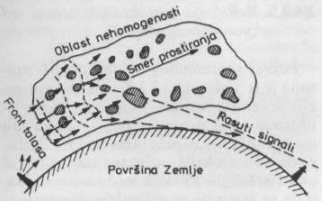
tavljanje veze samo sa veoma udaljenim stanicama u prostoru koji je često sasvim ograničen. U međuprostoru nalazi se zona koja je mrtva za prijem. Prenos između inverzionih slojeva može se ostvariti i između površine Zemlje i veoma širokog prizemnog inverzionog sloja (sl. 2.9b).

Za ovu vrstu prenosa kao kroz cev karakteristično je da na celoj putanji prostiranja talasa nema mrtvih zona za radio prijem. Ako je indeks prelamanja u troposferi tako veliki da se talasi emitovani paralelno sa Zemljinom površinom ponovo reflektuju prema Zemljinoj površini, javlja se *super–refrakcija*. Pri tom se vrši totalna refleksija od inverzionog sloja, slično pojavi koja se odvija u jonosferi kada se kratki talasi reflektuju od slojeva.

2.4.2.2. *Povećani dometi usled prenosa raspršenim zračenjem – Sketer (Scatter)*

U višim delovima troposfere, naročito na visini od oko 10 km, javljaju se intenzivna vertikalna kretanja vazduha, tzv. procesi izjednačavanja. Mešanje vazdušnih struja različitih temperatura prouzrokuje stalno vrtloženje. Tada nastaju parazitne nehomogenosti, koje se razlikuju od okolnih čestica vazduha u pogledu temperature, pritiska i vlažnosti (sl. 2.10).

Kada talasni front prolazi kroz područje tih nehomogenosti, mali deo zračenja rasipa se difuzno. Budući da se rasuti talasi razilaze u različitim smerovima, jedan njihov deo iza granice direktne vidljivosti stigne ponovo na površinu Zemlje. Jačina ovog ostatka polja je izvanredno mala, ali veoma konstantna.



Sl. 2.10. Rasipanje visokofrekventnih talasa u troposferi

Kod *troposferskog prenosa rasipanjem* (engleski: Tropospheric Scatter) koriste se frekvencije između oko 100 MHz i 1000 MHz (prvenstveno oko 500 MHz). Pri tom se može ostvariti radio-domet do 800 km (ponekad i 1000 km). Kvalitet prijema nije naročito dobar, a javlja se i smanjenje širine opsega prenošenog signala. Smanjenje širine opsega posledica je nepravilnih faznih pomaka talasa, koji stižu do prijemnika iz različitih oblasti rasipanja. Osim toga, usled promene položaja nehomogenih elemenata koji vrše rasipanje, u troposferi nastaju veća ili manja slabljenja – fedinzi.

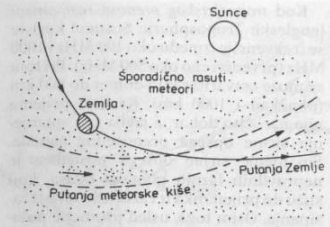
Stabilne radio-veze postižu se prenosom pomoću *jonosferskog rasipanja.*** U tom slučaju koristi se sigurnije rasipanje na donjim slojevima jonosfere na visini od oko 100 km. Tada se koriste frekvencije između 25 MHz i 60 MHz. Domet radio-veze iznosi 1000 km do 2500 km. Na udaljenostima manjim od 1000 km naglo opada jačina polja raspršenog zračenja.

2.4.2.3. *Refleksija ultrakratkih talasa od meteorskih putanja – Meteorsketer (Meteorscatter)*

Zemlja se na svojoj putanji stalno sudara sa ogromnim brojem, najčešće malih, meteorita i meteorske prašine. Meteoriti prodiru veoma velikom brzinom (do 72 km/s) delimično u našu atmosferu i, u opštem slučaju na visinama oko 100 km do 200 km isparavaju i sagorevaju usled trenja. Samo veoma mali broj meteorita je tako veliki da pri njihovom sagorevanju u atmosferi nastaje vidljiv svetleći trag. Veoma retko se događa da meteoriti imaju toliku masu da u atmosferi ne sagore bez ostatka.

Razlikuju se dve grupe meteorita. Prva grupa su meteoriti u kosmosu, gde su sporadično raspodeljeni. Oni se kreću besciljno, različitim brzinama. Meteoriti iz druge grupe kreću se stalnom brzinom, po određenoj putanji i u određenom smeru. To su meteorske struje – nazvane i meteorske kiše – koje se u periodičnim vremenskim razmacima ukrštaju sa Zemljinom putanjom.

Meteor koji sagoreva u atmosferi ne ostavlja iza sebe samo svetleći trag: pre



Sl. 2.11. Struja meteora i putanja Zemlje

nego što konačno ispari proizvodi i jonizacioni kanal. Taj jonizovani rep održi se veoma kratko, jer se brzo širi u retkoj atmosferi i time rasprši. Međutim, u stanju koncentracije javlja se tako intenzivna jonizacija da se ultrakratki talasi mogu reflektovati od jonizacionog kanala. Što je meteor koji pada veći njegov jonizacioni kanal je snažniji i dugotrajniji.

Radio-veze pomoću refleksije na meteorima komercijalno se koriste u kanadskom postupku *Dženet (Janet)*. Ovim načinom uspostavljanja veze bave se i amateri koji rade u opsegu od 2 m. Pri tome oni se ne oslanjaju na slučajne uspehe koje mogu prouzrokovati sporadični meteori, već koriste jata meteora koja nailaze periodično. Budući da su njihova putanja i brzina najvećim delom poznati, može se prilično tačno unapred izračunati trenutak u kome se putanja Zemlje ukršta sa putanjom meteorita (sl. 2.11).

Meteorskom refleksijom mogu se uspostaviti samo kratkotrajne veze, jer se reflektujući jonizacioni kanali meteorskih putanja zadržavaju kratko. Tek kada veliki broj upadajućih meteorita stvara stalno nove reflektujuće jonizacione kanale, nastupaju kratki intervali dobre veze tzv. »bersts« *(bursts)* koji traju od više sekudni do oko 2 minuta. Veoma retko je moguće uspostavljanje duže veze.

2.4.2.4. *Refleksija ultrakratkih talasa od polarne svetlosti*

U podtački 2.3.2.2. opisan je mehanizam nastajanja polarne svetlosti. Radio-polarna svetlost, koja se javlja oko vidljive polarne svetlosti, često je toliko jonizovana da može da reflektuje još i talase od 2 m. *Sloj E polarne svetlosti* vrši refleksiju na prosečnoj visini većoj od 100 km (vidi sl. 2.2), pri čemu mora biti zadovoljen *uslov vertikalnosti*. On je zadovoljen kada dvometarski talas, pod upadnim uglom od $90° \pm 2° \ldots 3°$, nailazi na jonizacione centre u *sloju E polarne svetlosti*.

Struktura *sloja E polarne svetlosti* veoma je nehomogena, pa se refleksija vrši potpuno difuzno. Zbog toga su signali u toku *»aurora–veze«* nepredvidljivo grubi i sa dosta brujanja, praćenog šuštanjem i hučanjem. Zato se ova veza može koristiti samo za telegrafiju, a uslovno i SSB. Za vreme postojanja radio-polarnog svetla menjaju se u intervalima uslovi *«aurora–prostiranja«*.

U srednjoj Evropi, južnije od 50° geografske širine ne postoje izgledi za uspostavljanje *»aurora–veza«*. Sa povećanjem geografske širine mogućnost se povećava, pa su takve veze veoma česte u skandinavskim zemljama. U toku dana, maksimalan broj veza ostvaruje se između 17.00 i 19.00 časova po lokalnom vremenu, a drugi manje izraženi maksimum mogućnosti ostvarivanja veza nastupa oko ponoći. U vezi sa godišnjim dobima, najpogodniji meseci su mart i april i septembar i oktobar. Uočena je sklonost ka ponavljanju povoljnih mogućnosti posle oko 27 dana i nakon 27 časova. Prvo ponavljanje je posledica Sunčeve rotacije, jer se posle tog vremena dugotrajne oblasti erupcije opet nađu na istom mestu Sunca. U vreme maksimuma Sunčevih pega, *radio-polarna svetlost* je najčešća i najintenzivnija.

2.4.2.5. *Refleksija ultrakratkih talasa od sporadičnog sloja E*

Pojava *sporadičnog oblaka sloja E* opisana je u podtački 2.3.2.2. Gustina jonizacije je veoma različita i samo u retkim, izuzetnim slučajevima toliko velika da može reflektovati još i talas od 2 m. Budući da se refleksija odigrava na visini od oko 100 km do 150 km, može se izračunati da se zračenje vraća na Zemljinu površinu približno 900 km do 2000 km daleko od predajnika.

Slabljenje koje se javlja kod veze pomoću E_s je tako malo da se ona može ostvariti sa malim snagama predajnika i jednostavnim antenama. Pošto se oblaci E_s kreću sporije ili brže, veze su sasvim slučajne i kratkotrajne. Kada se kod VVF TV i kod UKT radio-veze pojave veoma povećani dometi, postoje izgledi i za E_s veze na talasima od 2 m.

2.4.2.6. *Prostiranje UKT pomoću refleksija od meseca i satelita*

ZMZ* put prostiranja UKT signala zasnovan je na činjenici da ultrakratki talasi probijaju jonosferske slojeve koji okružuju našu planetu i šire se dalje u kosmos. Još 1946. godine, pomoću jednog prepravljenog radarskog uređaja, uspešno su primljeni impulsi frekvencije 111,5 MHz, reflektovani od Meseca. Prva dvosmerna amaterska veza pomoću refleksije od Meseca ostvarena je 21 jula 1960. godine, između *W6HB* (San Karlos, Kalifornija) i *WIBU* (Medfild, Masačusets) na frekvenciji od 1296 MHz. Na obe strane korišćeni su parabolični reflektori, kao antene, i VF predajnici sa snagom od 400 W. Obe stanice su bile međusobno udaljene 4320 km, a veze su uspostavljene zaobilaznim putem od 768.000 km. U toku 1964. godine, u opsezima od 2 m i od 70 cm, ostvaren je čitav niz uspešnih amaterskih eksperimenata kojima je uspostavljeno više ZMZ veza između Evrope i američkog kontinenta.

Uspostavljanje ZMZ veza zahteva visok nivo tehničke opremljenosti, što je veoma skupo. Za neke komercijalne primene, vreme putovanja signala od oko 5 s relativno je dugo.

Zemljini sateliti otvorili su velike perspektive prenosa u VVF području. Oni se uvode u unapred proračunate putanje kao veštački pratioci naše Zemlje. Pored radio-satelita koji služe za naučna istraživanja (npr., OSKAR), postoje i sateliti za interkontinentalni prenos TV emisija (MOLNIJA I, TELSTAR, SINKOM).

U novije vreme, VVF opseg gubi značaj u oblasti komercijalnih radio-veza preko veštačkih Zemljinih satelita; sve više se prelazi na više frekvencije u UVF i SVF području (300 MHz do 3000 MHz, odnosno 3 GHz do 30 GHz). U ovim područjima može da se radi sa većim širinama opsega, što omogućava istovremenu međusobnu vezu povećanog broja korespondenata.

Pasivni radio-sateliti pretežno se sastoje od velikih balona čija je spoljašnja strana metalizovana (npr., balon EKOU). Time se postiže povoljna mogućnost za refleksiju kvazioptičkih talasa, pa oni deluju kao pasivni reflektor. Aktivni radio-sateliti su veštački pratioci Zemlje, koji pomoću elektronskih uređaja primaju radio-signale sa Zemlje i emituju ih na nekoj drugoj frekvenciji. Aktivni radio-sateliti delimično rade i sa elektronskim memorijama. Memorisani radio-signali emituju se tek posle isteka određenog vremena.

* ZMZ = Zemlja–Mesec–Zemlja.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 2

Grupa autora: electronicum, str. 112 do 124, Deutscher Militaerverlag, Berlin, 1967

Beckmann, B.: Ausbreitung elektromagnetischer Wellen, 2. Izdanje, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig KG, Leipzig 1948

Beckmann, P.: Die Ausbreitung der Ultrakurzwellen, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig KG, Leipzig 1963

Boelte, D.: Die Ausbreitung der Funkwellen im UKW–Bereich. Funkamateur 25 (1976), sveska 12, str. 613 do 615, Militaerverlag der DDR, Berlin

Czechowsky, P.: Rueckstreuung von Radio-Wellen an Polarlichtern, cq–DL, Baunatal 45 (1974), sveska 10 i 11, str. 601 do 605, 666 do 669

Hueter, w.: Die Ionosphaere, Methoden und Ergebnisse ihrer Erforschung, Handbuch fuer Hochfrequenz – und Elektrotechniker, deo III, Berlin 1954

Kochan, H.: Einfluss der solar–terrestrischen Beziehungen auf die Rueckstreuausbreitung im 2–m und 10–m Band, cq–DL, Baunatal 45 (1974), sveska 6 i 7, str. 346 do 350, 386 do 391

Krueger, A./Richter, G.: Radiostrahlung aus dem All, Urania-Verlag Leipzig – Jena – Berlin 1968

Lange, H.: IQSV – Internationale Jahre der ruhigen Sonne, Elektronisches Jahrbuch, Deutscher Militaerverlag, Berlin 1966

Lange – Hesse, G.: Die Ionosphaere und ihr Einfluss auf die Ausbreitung kurzer elektrischer Wellen, »DL-QTC«, 1955, sveske 9 do 12; 1956 sveske 1 do 3, W. Koerner-Verlag, Stuttgart

Morgenroth, O.: Radioastronomie, Elektronisches Jahrbuch, Deutscher Militaerverlag, Berlin 1966

Peuker, H.: UKW-Funkamateure benutzen den Mond als Reflektor fuer Funkwellen, Elektronisches Jahrbuch, Deutscher Militaerverlag, Berlin 1966

Rothammel, K.: Die Ultrakurzwellen, Reihe »Der praktische Funkamateur« deo 15, Deutscher Militaerverlag, Berlin 1961

Streng, K.-K.: Transkontinentales Fernsehen ueber Synchronsatelliten, Elektronisches Jahrbuch, Deutscher Militaerverlag, Berlin 1966

Zadatak antene je da uzme energiju iz postojećeg elektromagnetnog polja (prijemna antena) ili da u vidu elektromagnetnih talasa zrači energiju koju daje visokofrekventni generator – predajnik (predajna antena). U skladu sa teorijom reciprociteta, ista antena može da se koristi za prijem i za predaju, pri čemu njene karakteristične osobine ostaju iste u oba slučaja. Zbog toga se govori o *recipročnim* antenama. Radi jasnijeg prikazivanja, u toku daljeg izlaganja pretežno će se govoriti o predajnoj anteni.

3.1. Polutalasni dipol

U tehnici antena najjednostavniji i istovremeno najrasprostranjeniji rezonantni oblik je tzv. *polutalasni dipol*. On predstavlja osnovni sastavni deo skoro svih oblika antena i upotrebljava se kao referentna antena za uporedno definisanje pojačanja antene. Da bi se razumele karakteristike i način rada antena, prvo treba proučiti teoriju polutalasnog dipola.

Kao što već sam naziv kaže, polutalasni dipol je provodnik čija dužina odgovara polovini talasne dužine ($\lambda/2$) radne frekvencije. U tom slučaju, dipol se nalazi u rezonanci sa talasnom dužinom (sl. 3.1). Izraz dipol znači dvopol i ukazuje na to da je polutalasna antena odvojena u svojoj geometrijskoj sredini. Tako su nastala »dva pola«, na čije se tačke napajanja »xx« može priključiti vod za napajanje, odnosno predajnik ili prijemnik.



Sl. 3.1. Polutalasni dipol

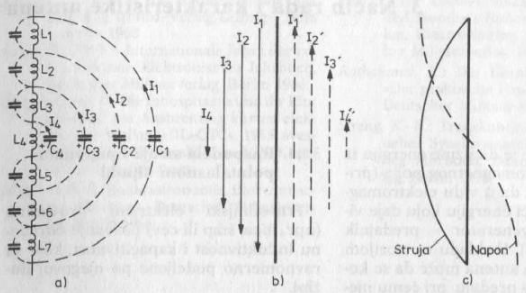
3.1.1. Raspodela struje i napona u polutalasnom dipolu

Pravolinijski električni provodnik (npr., žica, štap ili cev) poseduje određenu induktivnost i kapacitivnost, koje su ravnomerno podeljene po njegovoj dužini.

Na slici 3.2 to je prikazano tako što su ucrtane ravnomerno raspodeljene induktivnosti L_1 do L_7 sa pripadajućim kapacitetima, kao i podeljeni kapaciteti u provodniku C_1 do C_4. Pretpostavlja se da su u određenom trenutku svi kondenzatori nabijeni (naponski potencijal). Kondenzatori se zatim prazne preko induktivnosti u svojoj okolini. Pri tom uvek protiče struja, pa nastaje odgovarajuće magnetno polje. Pražnjenje C_4 preko L_4 prouzrokuje struju I_4; C_3 se prazni preko L_3, L_4 i L_5 strujom I_3; C_2 izjednačuje svoj naboj preko L_2 do L_6, pri čemu teče struja I_2. Kondenzator C_1 prazni se, konačno, preko L_1 do L_7 strujom I_1. Iz toga proizilazi da u sredini antene protiče najveća struja, zbir I_1 do I_4. Struja se smanjuje prema krajevima antene i na samim krajevima struja više ne teče. Radi boljeg objašnjenja, na sl. 3.2b prikazane su još jedanput (ali u drugom obliku) struje I_1 do I_4. Usled proticanja struje, oko induktivnosti se stvaraju magnetska polja koja prouzrokuju novo punjenje kondenzatora, ali u ovom slučaju suprotnog polariteta. Predznak napona se promenio. Proces se ponavlja, ali u obrnutom smeru, kao što je prikazano na sl. 3.2b, strujama I_1 do I_4.

Na osnovu ovog pojednostavljenog prikaza može se izvesti raspodela napona i struje u polutalasnom dipolu, kao što je to dato na sl. 3.2c.

Između napona i struje postoji fazni pomak od 90°, dok fazna razlika napona na krajevima dipola iznosi 180°. Iz raspodele struje i napona u polutalasnom di-



Sl. 3.2. Raspodela struje u polutalasnom dipolu

polu može se zaključiti da je struja maksimalna u sredini dipola (trbuh struje) i da tu istovremeno napon prolazi kroz nulu (čvor napona). Na krajevima dipola odnosi su obrnuti: maksimum napona poklapa se sa nultom vrednošću struje. Dalje, iz raspodele napona jasno je zbog čega se polutalasni dipoli u njihovoj geometrijskoj sredini često spajaju direktno sa uzemljenim nosačem antene. Jasno je da se pričvršćenje vrši u nultoj vrednosti napona, pa nije potrebna izolacija. Zbog toga se polutalasni dipoli mogu uzemljiti u njihovoj geometrijskoj sredini. Ipak, treba napomenuti da, zbog otpora zračenja napon u sredini dipola nije potpuno jednak nuli. Slično se ponaša i struja na krajevima dipola, koja ne nestaje potpuno zbog tzv. *efekta krajeva*. Zbog toga je pogodnije govoriti o *minimumu napona* i *minimumu struje*.

3.1.2. Impedanca antene

Raspodela struje i napona u anteni pruža istovremeno i pregled odnosa otpornosti. Iz Omovog zakona je poznato da se iz poznatih vrednosti napona i struje može izračunati odgovarajuća otpornost:

$$\frac{\text{napon}}{\text{struja}} = \text{otpornost}$$

Zbog toga se kod date snage može definisati impedanca (prividni otpor) rezonantne antene za svaku tačku njene dužine pomoću odnosa napona i struje u toj tački. U slučaju rezonance taj otpor je realan, a izvan rezonance sadrži reaktivni deo (induktivna ili kapacitivna reaktanca). Analizom sl. 3.2c mogu se izvesti sledeće važne konstatacije:

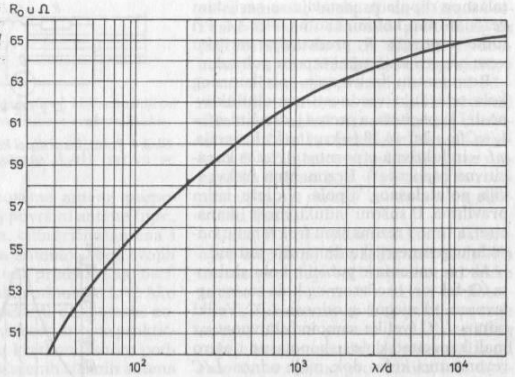
krajevi antene – veliki napon pri maloj struji = velika impedanca;

sredina antene (kod polutalasnog dipola) – mali napon pri velikoj struji = mala impedanca.

Mada se impedanca antene može odrediti za svaku proizvoljnu tačku na njenoj površini, u opštem slučaju, kao impedanca antene označava se njena otpornost u tački napajanja (otpornost u tački priključka antene). Kod polutalasnog dipola tačka napajanja se nalazi u trbuhu struje, pa je zbog toga otpornost mala (oko 60 Ω).

Ulazna otpornost polutalasnog dipola iznosi 73 Ω kada se računa teoretski. Međutim, ova vrednost se odnosi na beskonačno tanak provodnik (odnos λ/d = beskonačno), koji se, pored toga, nalazi beskonačno visoko iznad Zemlje. Kao što se vidi na sl. 3.3, ulazna otpornost polutalasnog dipola zavisi od odnosa talasne dužine prema prečniku antenskog provodnika.

Odnos λ/d naziva se stepen vitkosti, pri čemu vrednosti λ i d moraju biti izražene u istim mernim jedinicama. U oblasti kratkih i ultrakratkih talasa prečnik antene ne iznosi manje od 2 mm, pa se za ulaznu otpornost polutalasnog dipola u toj oblasti uvek može uzeti manje od 65 Ω.



Sl. 3.3. Ulazna otpornost R_0 polutalasnog dipola u zavisnosti od odnosa talasna dužina/prečnik λd

3.1.3. Otpornost zračenja

Otpornost zračenja je proračunska vrednost iz koje se može izvesti više različitih karakteristika antene. Ona se izračunava u odnosu na maksimum struje (trbuh struje) i predstavlja ekvivalentnu otpornost, na kojoj bi se utrošila emitovana snaga. U slučaju rezonance, ulazna otpornost antene je aktivna otpornost i kod antene koja je pobuđena u trbuhu struje (npr., polutalasnog dipola) ona odgovara zbiru otpornosti zračenja R_z i otpornosti gubitaka R_g. Otpornost gubitaka R_g nastaje, uglavnom, usled površinske otpornosti antenskog provodnika i usled dielektričnih gubitaka u izolatorima. U opštem slučaju, otpornost gubitaka može biti mala u odnosu na otpornost zračenja. Na otpornost zračenja utiču, kako okolina antene (visina iznad tla, konfiguracija zemljišta, susedne zgrade itd.), tako i mehaničke dimenzije antene (stepen vitkosti).

Ako se poznaje vrednost emitovane snage P_z i maksimalna vrednost struje u anteni I_{max}, može se izračunati otpornost zračenja iz obrasca:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{R_g}{R_z}} \qquad (3.2)$$

Iz odnosa otpornosti zračenja prema otpornosti gubitaka dobija se stepen korisnog dejstva antene. On se obeležava sa η i izračunava iz obrasca:

$$R_z = \frac{P_z}{I^2_{max}} \qquad (3.1)$$

3.1.4. Polutalasni dipol kao oscilatorno kolo

U radio-tehnici uobičajeno oscilatorno kolo sadrži koncentrisane sastavne delove, pa se induktivnost predstavlja zavojnicom, a kapacitivnost kondenzatorom. Pravolinijski provodnik, takođe, poseduje induktivnost i kapacitivnost, ali ne u koncentrisanom obliku, već ravnomerno podeljene po njegovoj dužini. Ako je provodnik u rezonanci sa frekvencijom koja ga pobuđuje, može se posmatrati kao oscilatorno kolo. Ekvivalentna šema polu-

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

talasnog dipola predstavlja se serijskim rezonantnim kolom, kao na slici 3.4. Pri tome otpornik R predstavlja serijsku vezu otpora zračenja i otpora gubitaka.

Rezonantnu frekvenciju oscilatornog kola određuju vrednosti samoinduktivnosti i kapaciteta, a prema jednačini $\omega L = 1/\omega C$ ($\omega = 2\pi f = 6{,}28\,f$ = kružna frekvencija, ωL = induktivna otpornost, $1/\omega C$ = kapacitivna otpornost). Rezonantna frekvencija polutalasnog dipola podleže istim pravilima. U suštini induktivnost i kapacitet, a time i rezonantnu frekvenciju određuju geometrijske dimenzije antene.

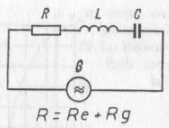
Ako se zanemare gubici u kolu, dobrota (Q-faktor) oscilatornog kola zavisi uglavnom od njegovog odnosa L/C. Veliki odnos L/C (velika samoinduktivnost uz mali kapacitet) daje uskopojasno i oštro rezonantno kolo, dok mali odnos L/C (mala samoinduktivnost uz veliki kapacitet) daje širokopojasno i manje oštro rezonantno kolo. Širina frekventnog opsega rezonantnog kola koja zavisi od dobrote kola dobija se iz rezonantne krive (sl. 3.5).

Iste rezonantne krive mogu se dobiti i za polutalasni dipol kada se on nalazi u homogenom elektromagnetnom polju (slučaj prijema). Pri istoj vrednosti jačine polja menja se frekvencija, pa se svaki put utvrdi napon antene U. Maksimalna vrednost napona javlja se pri rezonantnoj frekvenciji antene f_o. On se izjednačava sa vrednošću 1,0. Oznake f_1 i f_2 predstavljaju frekvencije ispod i iznad f_o na kojima napon opadne na vrednost 0,7 (= 3 dB). Apsolutnu širinu opsega O predstavlja tada $f_2 - f_1$. Relativna širina opsega o predstavlja odnos širine opsega O i rezonantne frekvencije f_o i izračunava se iz obrasca:

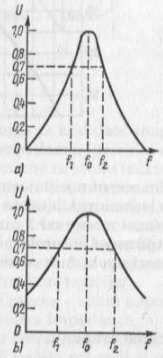
$$o = \frac{O}{f_o} \qquad (3.3)$$

Rezonantna kriva na sl. 3.5a odgovara kolu sa velikim odnosom L/C, odnosno dipolu sa malom širinom opsega O, a kriva sl. 3.5b odgovara malom odnosu L/C, odnosno dipolu sa velikom širinom opsega.

Sada treba ispitati na koji način geometrijske dimenzije antene određuju njen odnos L/C i time širinu opsega. Polutalasni dipol sa relativno tankim provodnikom poseduje određenu induktivnost L i određenu kapacitivnost C.

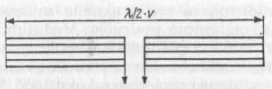


Sl. 3.4. Polutalasni dipol kao serijsko rezonantno kolo (ekvivalentna šema za slučaj rezonance)



Sl. 3.5. Rezonantna kriva antene u zavisnosti od odnosa L/C, širina opsega $O = f_2 - f_1$: a – širina opsega kod velikog odnosa L/C, b – širina opsega kod malog odnosa L/C

Na primer, ako se poveže pet takvih istih provodnika paralelno u »debeli« dipol (sl. 3.6), onda se zbrajaju kapaciteti svakog pojedinog provodnika na 5 C, a induktivnosti u paralelnom spoju smanje se na ukupno 1/5 L. Već iz ovog jednostavnog razmatranja proizilazi da debeli dipol karakteriše manji odnos L/C, a time i veća širina opsega nego kod tankog dipola. Pri tome se mora uvek voditi računa i o talasnoj dužini. Odnos talasna



Sl. 3.6. Debeli polutalasni dipol, koji se sastoji od pet pojedinačnih provodnika u svakom kraku

dužina/prečnik antene (λ/d) naziva se stepen vitkosti.

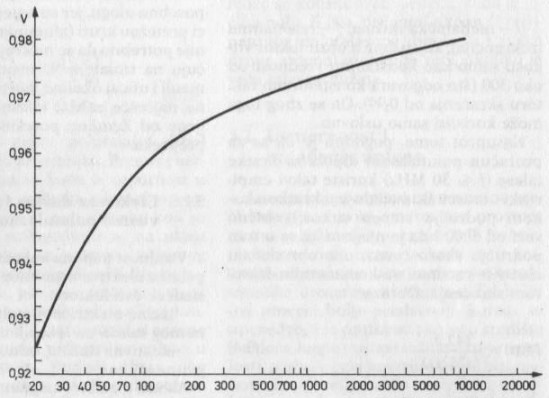
Izrazite širokopojasne antene prepoznaju se po velikoj površini antene (npr., površinska antena, cilindrična antena i dvostruka konična antena). Zbog svojih velikih kapaciteta one predstavljaju oscilatorno kolo sa malim odnosom L/C. Ako se zanemare navedene širokopojasne antene, onda stepen vitkosti antene praktično nema značaja u kratkotalasnom području, jer kod uobičajenih žičanih antena odnos λ/d iznosi 5000 i više.

3.1.5. Faktor skraćenja

U dosadašnjim razmatranjima nije pravljena razlika između električne i mehaničke dužine antene. U stvari, električna i mehanička dužina antene bile bi jednake samo ako bi uspelo da se izradi beskonačno tanak antenski provodnik uz pretpostavku da se on nalazi u slobodnom prostoru. Međutim, svaki praktično izvedeni antenski provodnik ima određenu debljinu, mora se mehanički učvrstiti držačima i nalazi se na konačnoj udaljenosti od Zemljine površine i drugih objekata. Ove činjenice uslovljavaju da se mehanička dužina, koja je potrebna za rezonancu, mora skratiti u odnosu na električnu dužinu.

Uticaj faktora vitkosti na faktor skraćenja V biće jasniji ako se zamisli da debela antena poseduje veći kapacitet od tanke antene iste dužine. U svakom oscilatornom kolu rezonantna frekvencija postaje manja, ako se poveća kapacitet. Zbog toga je i rezonanca debele antene niža od rezonance tankog provodnika iste dužine. Da bi se obe antene dovele na istu rezonantnu frekvenciju, veći kapacitet deblje antene treba izjednačiti skraćenjem njegove dužine. Prema tome, za istu rezonantnu frekvenciju, deblja antena mora biti kraća od tanke antene.

Na sl. 3.7 prikazan je faktor skraćenja V polutalasnih dipola kao funkcija stepena vitkosti λ/d.



Sl. 3.7. Faktor skraćenja V polutalasnog dipola u funkciji njegovog odnosa talasna dužina/prečnik λ/d

Primer

Treba odrediti mehaničku dužinu polutalasnog dipola za 144 MHz. Koristiće se aluminijumska cev prečnika d = 25 mm.

Frekvenciji od 144 MHz odgovara talasna dužina od oko 208 cm. Na osnovu toga izračunava se odnos λ/d kao

208 cm : 2,5 cm ≈ 80

Iz krive (sl. 3.7), pri stepenu vitkosti 80, dobije se faktor skraćenja V = 0,955.

Prema tome, mehanička rezonantna dužina polutalasnog dipola iznosi

$$\frac{\lambda}{2} \cdot V = \frac{208\text{ cm}}{2} \cdot 0{,}955 = 99{,}3\text{ cm}$$

Ako bi se za isti dipol koristila cev od samo 10 mm prečnika, dužina bi morala biti oko 100 cm (λ/d ≈ 200, iz toga V = 0,964). Za proračun polutalasnog dipola u području većem od 30 MHz često se daje empirijski obrazac

$$l\,(\text{m}) = \frac{141}{(\text{MHz})\,f}$$

(l – mehanička dužina, f – rezonantna frekvencija), koji uzima u obzir faktor vitkosti samo kao konstantnu vrednost od oko 300 (što odgovara konstantnom faktoru skraćenja od 0,94). On se zbog toga može koristiti samo uslovno.

Nasuprot tome, pogodno je da se za proračun polutalasnih dipola za kratke talase ($f \leqslant 30$ MHz) koriste takvi empirijski obrasci. Budući da je u kratkotalasnom području stepen vitkosti obično veći od 5000 i da je njegova kriva u tom području skoro ravna, u ovom slučaju može se računati sa konstantnim faktorom skraćenja. Obrazac

$$l\,(\text{m}) = \frac{142{,}2}{f\,(\text{MHz})} \qquad (3.4)$$

ili

$$l\,(\text{m}) = \frac{142200}{f\,(\text{kHz})} \qquad (3.5)$$

zadovoljava sve praktične zahteve u kratkotalasnom području. Međutim, on važi samo za polutalasne dipole.

Navedeni obrazac za proračun zasniva se na faktoru skraćenja od oko 0,955. Pretpostavljenom stepenu vitkosti od 5000 u kratkotalasnom području, prema sl. 3.7, odgovarao bi faktor skraćenja od oko 0,98. Očigledno je da je radi boljeg prilagođavanja praktičnim uslovima u ovom slučaju uračunato dodatno skraćenje. Dodatni faktor skraćenja kompenzuje i tzv. efekat krajeva. Poznato je da se žičane antene – a one se pretežno koriste u kratkotalasnom području – svojim krajevima pričvršćuju na keramičke izolatore. Izolatori, zajedno sa petljama antenske žice kojima se ona na njih pričvršćuje, predstavljaju dodatno kapacitivno opterećenje krajeva, koje treba uravnotežiti dodatnim skraćenjem provodnika. Osim toga, naročito kod kratkotalasnih antena, javljaju se nepredvidljiva kapacitivna opterećenja. Ona nastaju zbog male udaljenosti antenskog provodnika od površine Zemlje (ta udaljenost najčešće iznosi samo nekoliko delova talasne dužine), kao i zbog blizine zgrada, vazdušnih vodova i ostalih prepreka.

Kod UKT antena efekat krajeva nema posebnu ulogu, jer su antenski provodnici pretežno kruti (aluminijumska cev), pa nije potrebno da se na krajevima pričvršćuju na izolatore. U ovom području je manji i uticaj okoline, pošto su UKT antene, najčešće, za više talasnih dužina udaljene od Zemjine površine i od drugih prepreka.

3.1.6. Efektivna dužina (efektivna visina) polutalasnog dipola

Vrednost napona koju antena može da primi iz elektromagnetnog polja zavisi od sledeća dva faktora:

– jačine električnog polja elektromagnetnog talasa na lokaciji antene,

– efektivne dužine, odnosno visine prijemne antene.

Ako se u elektromagnetno polje postavi provodnik, npr., polutalasni dipol, u njemu će se indukovati napon. Nezavisno od talasne dužine taj napon će biti utoliko veći, ukoliko je antenski provodnik duži.

Struja se raspodeljuje sinusoidno u dipolu koji se nalazi u rezonanci. Najjače zrači onaj deo provodnika na kome se nalazi maksimum struje. Zbog toga i efektivna dužina dipola nije jednaka njegovoj mehaničkoj dužini. Efektivna dužina L_{ef} polutalasnog dipola iznosi

$$L_{ef} = \frac{\lambda}{\pi} \qquad (3.6)$$

gde su L_{ef} i talasna dužina λ izražene u istim mernim jedinicama, a π je konstanta = 3,14. Ako se talasna dužina λ zameni frekvencijom f, dobija se

$$L_{ef}\,(\text{m}) = \frac{95{,}5}{f\,(\text{MHz})} \qquad (3.7)$$

Iz jačine električnog polja E, na mestu antene i efektivne dužine L_{ef} prijemnog dipola, može se izračunati napon U, koji se u njemu indukuje $U = E \cdot L_{ef}$ (3.8)

Iz toga sledi

$$U\,(\mu\text{V}) = 95{,}5 \cdot \frac{E\left(\frac{\mu\text{V}}{\text{m}}\right)}{f\,(\text{MHz})} \qquad (3.9)$$

i

$$U\,(\mu\text{V}) = 95{,}5 \cdot 10^3 \cdot \frac{E\left(\frac{\mu\text{V}}{\text{m}}\right)}{f\,(\text{kHz})} \qquad (3.10)$$

Napon koji primi polutalasni dipol vodi se dalje do prijemnika. Prenos energije je maksimalan kada je otpornost u tački napajanja jednaka ulaznoj otpornosti prijemnika. U tom slučaju, koji se naziva slučaj prilagođavanja, na ulazu prijemnika nalazi se polovina ukupnog napona indukovanog u dipolu. Drugu polovinu napona ponovo zrači antena u vidu elektromagnetnih talasa. To se zasniva na činjenici da se otpornost antene i ulazna otpornost prijemnika nalaze u paralelnom spoju. Budući da su obe vrednosti otpornosti jednake, ukupni napon se ravnomerno deli na obe otpornosti, pa je na svakom pojedinom otporu polovina ukupnog napona.

Napon na ulazu prijemnika, u slučaju prilagođenog polutalasnog dipola, izračunava se prema obrascu

$$U = E \cdot \frac{\lambda}{2\pi}, \qquad (3.11)$$

U – napon na ulazu prijemnika

Ako se λ zameni frekvencijom dobije se

$$U\,(\mu\text{V}) = 47{,}75 \cdot \frac{E\left(\frac{\mu\text{V}}{\text{m}}\right)}{f\,(\text{MHz})} \qquad (3.12)$$

Svi proračuni prijemnog napona odnose se na efektivnu dužinu antene.

Do sada nije bilo govora o efektivnoj visini antene zbog toga što su efektivna dužina i efektivna visina računski identične. One se razlikuju samo po načinu posmatranja, pa se kod simetričnih antena govori o njihovoj efektivnoj dužini, a kod nesimetričnih antena koristi se pojam efektivne visine. Efektivna visina antene nema nikakve veze sa visinom postavljanja antene iznad zemlje, odnosno sa dužinom jarbola koji nosi antenu.

Na osnovu napred navedenih obrazaca može se konstatovati sledeće: kada je jačina polja E ista, prijemni napon U rezonantnog polutalasnog dipola (a i svake druge antene) utoliko je veći, ukoliko je veća talasna dužina.

3.2. Usmerenost i pojačanje antena

Antena koja potpuno ravnomerno zrači energiju u svim smerovima prostora naziva se *tačkasti izvor zračenja* ili *izotropna antena*. Sam izraz »tačkasti izvor zračenja« ukazuje na to da su njegove karakteristike usmerenosti sferične. Da bi se ovi procesi bolje predstavili, koristi se uporeñenje sa optikom: ako se u središte staklene kugle postavi tačkasti izvor svetlosti, onda će cela površina kugle biti ravnomerno osvetljena. To znači da će u svakoj proizvoljnoj tački na površini kugle gustina svetlosti (gustina zračenja) biti ista. Činjenica je da se takav tačkasti izvor

zračenja ne može praktično izraditi. Dakle, on postoji samo u teoriji i koristi se za upoređivanje. To znači da zračenje ni jedne praktično izvedene antene nikada ne može da bude iste gustine u svim smerovima prostora. Zbog toga, svaka antena zrači usmereno, što se može opisati njenom *karakteristikom usmerenosti*. Da bi se precizno prikazala karakteristika usmerenosti antene, to bi se moralo izvesti trodimenzionalno (prostorno). Budući da se na ravnoj površini ne može prikazati prostorna raspodela gustine zračenja zadovoljavamo se, u opštem slučaju, karakteristikom usmerenosti antene u horizontalnoj i u vertikalnoj ravni.

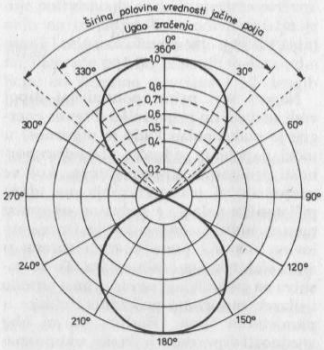
Karakteristika usmerenosti i pojačanje antene međusobno su direktno povezani, što se može dobro objasniti, takođe, upoređivanjem sa staklenom kuglom. Ako se uz centralni izvor svetlosti postavi reflektor (npr., parabolično ogledalo), onda će se raspoloživo svetlosno zračenje usnopiti (usmeriti). To znači da će, u zavisnosti od oštrine usmeravanja sada biti osvetljen samo ograničen deo površine kugle. Međutim, gustina zračenja na tom ograničenom delu površine kugle biće mnogo veća, jer je celokupno zračenje, koje je ranije pri istoj snazi ravnomerno osvetljavalo celu površinu kugle, sada koncentrisano na ograničen deo površine kugle. Gustina zračenja je utoliko veća, ukoliko je zračenje oštrije usmereno. Zbog toga pojačanje gustine zračenja – u odnosu na sferično osvetljenje – zavisi direktno od karakteristike usmerenosti. I pojačanje i karakteristika usmerenosti izražavaju koncentraciju zračenja u određenim smerovima.

3.2.1. Karakteristika zračenja

Za opisivanje karakteristika zračenja antena koriste se približno slični pojmovi. Ako se govori o *karakteristici zračenja* ili o *karakteristici usmerenosti*, onda se misli na prikazivanje osobina zračenja u prostornom koordinatnom sistemu. Uprkos tome, ponekad se još razlikuju prostorna i površinska karakteristika zračenja. Površinska karakteristika zračenja označava se i kao *kriva usmerenosti*. *Dijagram zračenja* ili *dijagram usmerenosti* predstavlja presek karakteristike zračenja ravnom površinom. Oba pojma su identična sa karakterističnom krivom usmerenosti.

Dijagrami usmerenosti antena predstavljaju se u polarnom koordinatnom sistemu, odnosno pomoću njegovih isečaka ili u pravougaonom koordinatnom sistemu. Polarne koordinate sastoje se od mreže koncentričnih krugova i pravolinijskih zraka, koje prolaze iz centara krugova (sl. 3.8). Svakom koncentričnom krugu odgovara određeni napon, a centru krugova pripisuje se napon nulte veličine. Zrake određuju uglove, odnosno smerove. Pri tom je uobičajeno da se glavni smer zračenja (glavni smer prijema) označi sa uglom 0°. Od prvog pravila odstupa se često kod prikazivanja dijagrama usmerenosti u vertikalnoj ravni (vertikalnih dijagrama).

Prikazivanje dijagrama usmerenosti u pravouglim koordinatama nije toliko očigledno kao što se vidi na sl. 3.9. Budući da su snopovi zračenja karakteristike usmerenosti uopšte veoma simetrični, kod ovog načina predstavljanja zadovoljava često samo isečak od 180°, a maksimalnom zračenju dodeljuje se ugao 0°. Stepeni od 0° do 180° nanose se na horizontal-

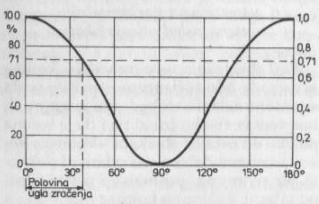


Sl. 3.8. Normirani dijagram horizontalnog zračenja vodoravnog polutalasnog dipola (E – ravan, horizontalni ugao zračenja je 80°)

nu osu (apscisu), a na vertikalnu osu (ordinatu) nanose se vrednosti 0 do 100%, odnosno vrednosti odnosa napona U/U_{max}. Maksimalna izmerena jačina polja antene, tj. njeno glavno zračenje izjednačava se sa 1, odnosno sa 100% i odgovara uglu od 0°. Svi sledeći prijemni naponi, koji se mere u toku obrtanja za 180°, prikazuju se kao odnos prema maksimalnom naponu i ucrtavaju se na odgovarajućem uglu prema glavnom zračenju. Kada se pojedine merne tačke spoje, dobije se usmerena kriva koja predstavja karakteristike zračenja.

Kod antena sa nesimetričnim snopovima dijagrama zračenja, pascisa se može produžiti za 360° i karakteristika usmerenosti prikazati po celom krugu. Kod crtanja dijagrama zračenja horizontalno polarizovanih antena u vertikalnoj ravni, najčešće je dovoljno obuhvatiti uglove od 0° do 90°. Na sl. 3.8 i sl. 3.9 dati su, kao primer, horizontalni dijagrami vodoravnih polutalasnih dipola.

Iz dijagrama usmerenosti može se uočiti nekoliko važnih karakteristika posmatrane antene. Širina zračenja antene u glavnom smeru naziva se *ugao zračenja*. Da bi se on odredio, tačka sa najvećim naponom (glavni smer prijema) obeleži se sa vrednošću 1,0, pa se na obe strane snopa zračenja pronađu dve tačke u kojima je napon opao na 0,71 maksimalnog napona. Taj pad napona odgovara smanjenju snage na 50% odnosno za – 3 dB (0,71 = $1/\sqrt{2}$). Kao što je prikazano na sl. 3.8, iz centra se povuče po jedna prava linija kroz dobijene tačke, koje odgovaraju



Sl. 3.9. Normirani dijagram horizontalnog zračenja vodoravnog polutalasnog dipola u pravouglim koordinatama (uglovi ograničeni na 180°)

0,71% od maksimalnog napona. Te prave predstavljaju krake traženog ugla zračenja. Ugao zračenja se ponekad naziva i *širina polovine snage*, jer gustina zračenja (snaga) sa obe strane maksimuma opadne na polovinu vrednosti (0,71 napona odgovara polovini snage). U pravougaonom koordinatnom sistemu ugao zračenja određuje se na isti način. Budući da se dijagram usmerenosti obično daje za horizontalnu i za vertikalnu ravan, razlikuje se i horizontalni od vertikalnog ugla zračenja.

Ponekad se naiđe i na pojam *širina polovine vrednosti jačine polja*. On se odnosi na tačke sa obe strane glavnog maksimuma, u kojima je napon opao na polovinu maksimalne vrednosti. Polovina jačine polja odgovara četvrtini snage, što znači smanjenju od –6 dB. Širina polovine vrednosti jačine polja ucrtana je tačkasto na sl. 3.8. *Odnos direktnog smera prema njemu suprotnom smeru zračenja*, nazvan i *slabljenjem u suprotnom smeru*, predstavlja odnos između maksimalnog napona pri uglu od 0° i napona pri uglu od 180° koji su očitani na dijagramu zračenja. Odnos se izražava u decibelima (vidi poglavlje 3.3).

Ređe se javlja pojam *odnos zračenja u direktnom smeru prema zračenju u bočnom smeru*. On predstavlja odnos napona pod uglom od 0° i od 90°, odnosno pod uglom od 0° i od 270°.

Tačke dijagrama zračenja u kojim je napon praktično jednak 0, označavaju se kao *nulta mesta*. Njihov značaj dolazi do izražaja kada na primer, prilikom prijema televizijskog signala, treba da se izbegne neki predajnik koji prouzrokuje smetnje na istom kanalu. U tom slučaju, antena se okreće tako da nulto mesto dijagrama zračenja bude usmereno prema ometajućem predajniku, čak ako se pri tome i odustane od maksimalnog prijemnog napona željenog predajnika.

Dijagram zračenja često sadrži, pored glavnog snopa, manje ili više izražene *sporedne snopove*. Oni su najčešće nepoželjni, jer štetno utiču na efekat usmerenosti. Odnos maksimalnog napona (glavni smer zračenja) prema naponu sporednog snopa naziva se *slabljenje sporednog snopa*. Za sporedni snop koji je tako

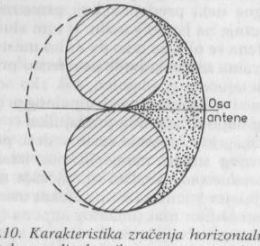
karakterisan mora se navesti i smer u stepenima u odnosu na glavni smer zračenja (0°).

Ako je maksimalni napon U_{max} u glavnom smeru zračenja izjednačen sa vrednošću 1 (100%) i ako su sve ostale vrednosti napona U za pojedine smerove unesene u dijagram kao odnos prema U_{max}, tj. U/U_{max}, dijagram usmerenosti naziva se *normiranim* (vidi sl. 3.8 i sl. 3.9).

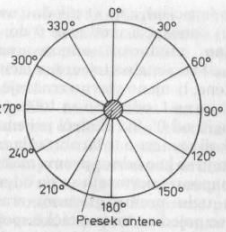
3.2.2. Karakteristike zračenja polutalasnog dipola

Prostorna karakteristika zračenja može se zamisliti kao torus čija je osa simetrije kolinearna sa smerom provodnika dipola (sl. 3.10).

U ovom slučaju osa antene je vodoravna, pa je zbog toga dipol horizontalno polarizovan. Da bi se karakteristika bolje prikazala na sl. 3.10 ucrtan je vodoravni presek torusa duž ose antene. Šrafirani preseci predstavljaju horizontalni dijagram koji odgovara sl. 3.8. Vidi se da se glavno zračenje polutalasnog dipola, u slobodnom prostoru, prostire uvek pod pravim uglom prema osi provodnika. Ova konstatacija važi i kada se dijagram usmerenosti posmatra iza neke druge ravni. Na primer, ako se posmatra upravno na presek antenskog provodnika i torus preseče radijalno, dobiće se dijagram zračenja kao pun krug, u čijem se središtu nalazi prečnik provodnika antene (sl. 3.11). Taj presek predstavlja vertikalni dijagram vodoravnog polutalasnog dipola



Sl. 3.10. Karakteristika zračenja horizontalnog polutalasnog dipola prikazana u prostoru (prikazan je presek torusa)



Sl. 3.11. Vertikalni dijagram vodoravnog polutalasnog dipola (ravan H, vertikalni ugao zračenja 360°)

u prostoru. Ako bi dipol bio vertikalno polarizovan, onda bi kružni dijagram na sl. 3.11 predstavljao horizontalni dijagram, a dijagram sa dva kruga na sl. 3.8 bio bi vertikalni dijagram vertikalnog dipola.

Da bi se ovaj, malo komplikovan, način označavanja pojednostavio i karakteristike prikazale jasnije, često se koriste oznake *ravan E* i *ravan H*. Pri tom se ravan *E* odnosi na tok linija *električnog* polja u ravanskom talasnom frontu, a ravan *H* na linije njegovog *magnetnog* polja (vidi tačku 1.1.5). Kod linearno polarizovanih antena dužina antenskog provodnika odgovara smeru vektora jačine *električnog* polja *E*, pa na primer, karakteristika usmerenosti na sl. 3.8 predstavlja uvek *E–dijagram*, nezavisno od toga da li je dipol polarizovan horizontalno, vertikalno ili pod uglom. Takođe, sl. 3.11 predstavlja *H–dijagram*, jer se dijagram odnosi na ravan vektora jačine *magnetnog* polja *H*.

3.2.2.1. *Promene karakteristike usmerenosti horizontalnih antena usled uticaja okoline*

Kod dijagrama usmerenosti o kojima je do sada bilo reči, pretpostavljalo se da se antena nalazi u slobodnom prostoru ili bar veoma visoko iznad tla i da je veoma daleko od ostalih objekata. »Veoma visoko« i »veoma daleko« su relativni pojmovi, jer se moraju posmatrati u zavisnosti od talasne dužine na kojoj se radi. Na primer, može se smatrati da je antena za amaterski opseg od 2 m pričvršćena na jarbol visine 10 m, postavljena već visoko iznad tla, jer se nalazi na visini koja, u ovom slučaju, iznosi 5 talasnih dužina. Ako bi antenu za opseg od 40 m trebalo postaviti na visinu od 5 talasnih dužina od tla, morali bi je montirati na visinu od 200 m, jer bi visina od 10 m, u ovom slučaju, iznosila samo jednu četvrtinu talasne dužine. Iz toga proizlazi da se kratkotalasne antene – bar one amaterske – ne mogu postaviti na takve visine i na tako veliko odstojanje od ostalih objekata da se mogu zanemariti uticaji okoline.

Kada se antena nalazi blizu tla, njene karakteristike se menjaju kao posledica refleksije o tlo. To se naročito odnosi na otpornost zračenja, faktor skraćenja i usmerenost. U kojoj će meri nastupiti promene karakteristika, zavisi od visine postavljanja antene (u odnosu na talasnu dužinu), njenog smera prema tlu i od električnih osobina tla.

Talasi koje antena zrači upravno ili pod oštrim uglom prema tlu odbiće se od njega. Ti reflektovani delovi zračenja, na svom povratku, prolaze kroz strukturu antene i pri tom indukuju struju u antenskom provodniku. Fazni položaj i jačina indukovane struje zavise od visine antene iznad reflektujućeg tla. Zbog toga se rezultantna antenska struja sastoji od dve komponente. Amplituda glavne komponente određena je snagom predajnika i otpornošću zračenja. Druga komponenta sastoji se od reflektovanog zračenja od tla prema antenskom provodniku. U zavisnosti od udaljenosti između antene i tla, ona će biti više ili manje u fazi sa glavnom komponentom. Kada su u fazi, struje se sabiraju. Ako nisu u fazi, rezultantna antenska struja jednaka je razlici obeju komponenata. Budući da je snaga P koja se prenosi od predajnika do antene konstantna, a kako se zbog reflektovane komponente promenila antenska struja I, mora se promeniti i impedanca antene u skladu sa odnosom

$$P = I^2 \cdot R$$

Zbog toga, otpor na priključku antene postavljene blizu tla ne odgovara više teoretskoj vrednosti.

Na sl. 3.12 prikazano je kako na vertikalni dijagram zračenja horizontalnog dipola utiče vrednost odnosa udaljenosti ovog dipola iznad Zemlje i njegove talasne dužine.

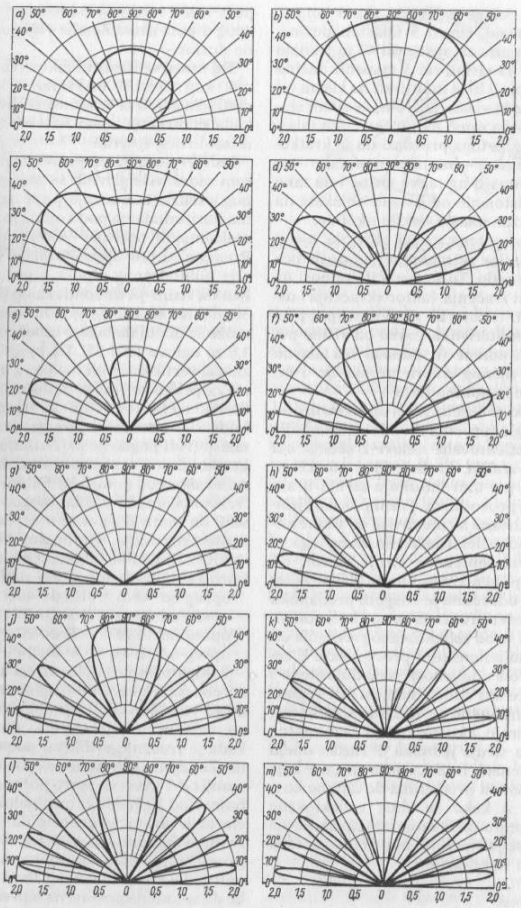
Taj uticaj se izražava faktorom množenja, koji dostiže maksimalno moguću vrednost 2,0. Ova vrednost se javlja uvek kada su direktni talas i reflektovani talas u fazi i istog smera.

Usled refleksija od tla vertikalni dijagram sadrži više glavnih snopova povećanog intenziteta zračenja, pa se uglovi prema horizontalama pod kojima je zračenje maksimalno, nazivaju i *elevacioni uglovi*. Prema sl. 3.12d ugao elevacije vodoravnog polutalasnog dipola, koji je postavljen na visini $\frac{1}{2}\lambda$ iznad idealnog tla, iznosi 30° (faktor množenja je 2,0). Na istoj slici može se uočiti da faktor množenja iznosi 1,0 za uglove 10° i 55°. Da bi se objasnio značaj vertikalnog elevacionog ugla antene za praktičan radio-saobraćaj na velikim udaljenostima (DX saobraćaj), neophodno je razmotriti širenje prostornog talasa (vidi poglavlje 2). Poznato je da se kratkotalasne veze širom sveta ostvaruju refleksijom od jonosfere. Sa povećanjem frekvencije, da bi se talas mogao reflektovati, on mora dospevati sve pliće do jonosferskog sloja. Optimalni elevacioni uglovi za pojedine amaterske opsege približno su određeni kao što sledi:

opseg od 40 m	12° do 40°,
opseg od 20 m	10° do 25°,
opseg od 15 m	7° do 20°,
opseg od 10 m	5° do 14°.

Iz toga proizlazi da energija koju zrači antena sa elevacionim uglovima većim od 40° i manjim od 5° nije efikasna za veze na velikim udaljenostima. Osim toga, kada je zračenje približno tangencijalno na Zemljinu površinu (elevacioni ugao manji od 5°), ona ga skoro potpuno apsorbuje. Kod navedenih optimalnih uglova elevacije uzeto je u obzir da jonosfera podleže stalnim promenama. Sa svakom promenom stanja jonosfere menja se i optimalni elevacioni ugao. Uvek je najbolje da se antena postavi na najveću moguću visinu, ali već kod visine antene od 12 m u amaterskim opsezima od 10 m, 15 m i 20 m, mogu se očekivati dobre DX veze. Za opseg od 40 m antena se ne sme nalaziti na visini manjoj od 15 m. Minimalne visine su za antene čija je okolina slobod-

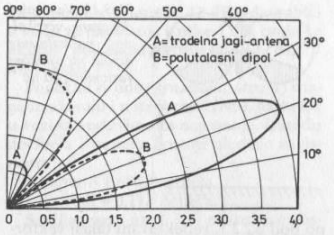
YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



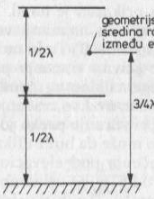
Sl. 3.12. Elevacioni ugao horizontalnih polutalasnih dipola u zavisnosti od visine postavljanja iznad idealnog tla: a – visina 1/8 λ iznad idealnog tla, b – visina 1/4 λ iznad idealnog tla, c – visina 3/8 λ iznad idealnog tla, d – visina 1/2 λ iznad idealnog tla, e – visina 5/8 λ iznad idealnog tla, f – visina 3/4 λ iznad idealnog tla, g – visina 7/8 λ, h – visina 1 λ, j – visina 1 1/4 λ, k – visina 1 1/2 λ, l – visina 1 3/4 λ, m – visina 2 λ

na. Obližnji objekti koji mogu reflektovati emitovano zračenje smanjuju efektivnu visinu antene i izazivaju promene karakteristike usmerenosti. Horizontalno polarizovane antene naročito su osetljive na vazdušne vodove svih vrsta, na oluke od metala za odvod kišnice sa krovova i na vodoravne provodnike gromobrana na krovovima. Međutim, uticaj takvih objekata može se zanemariti ako su njihove dimenzije znatno manje od polovine talasne dužine koja odgovara radnoj frekvenciji antene. Na primer, uobičajene TV antene ne pogoršavaju karakteristike zračenja kratkotalasnih antena koje se nalaze u blizini. Zračenje vertikalnih antena najviše ometaju vertikalni objekti kao što su metalni stubovi svih vrsta.

Važno je da sve horizontalno polarizovane antene poseduju isti vertikalni elevacioni ugao kao horizontalni polutalasni dipol koji se nalazi na istoj relativnoj visini iznad tla. To znači da, na primer, trodelna *jagi*–antena (yagi) postavljena na visini od 3/4 talasne dužine iznad idealnog tla, ima elevacioni ugao od 20° i veći od 60°, kao i polutalasni dipol postavljen na istoj visini. Razlike se javljaju samo kod faktora množenja za pojedine listove dijagrama zračenja (sl. 3.13). Zbog karakteristike usmerenosti *jagi*–antene, zračenje pod elevacionim uglovima većim od 60° biće veoma oslabljeno, dok će zračenje pod uglom od 20° biti znatno veće. Ova koncentracija zračenja pod nižim elevacionim uglovima naročito je efikasna za veze na velikim udaljenostima. I antene sa horizontalnom polarizacijom, koje su vertikalno postavljene jedna iznad druge (etažne antene), podležu gornjem pravilu. U ovom slučaju treba voditi računa o tome da se kao tačka za određivanje visine antene iznad tla uzme srednje rastojanje etaža.



Sl. 3.13. Vertikalni dijagrami horizontalne trodelne jagi-antene (A) i horizontalnog dipola (B) na visini 3/4 λ iznad idealnog tla



Sl. 3.14. Primer određivanja efektivne visine iznad idealnog tla u slučaju vertikalno-etažne horizontalne antene

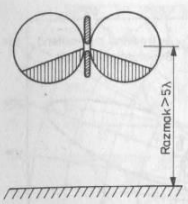
Primer

Na sl. 3.14 prikazana je dvostruka, horizontalna, usmerena antena, čija se donja ravan nalazi na udaljenosti $\frac{1}{2}\lambda$ od tla. Razmak obe etaže, takođe iznosi $\frac{1}{2}\lambda$. Iz toga se izračunava efektivna visina antene 3/4λ.

3.2.2.2. *Promene karakteristike usmerenosti vertikalnih antena usled uticaja okoline*

Vertikalno polaritovane antene retko se koriste u amaterskom radu na kratkim talasima – osim tzv. *graundplejn*–antena (engleski: Ground Plane, vidi poglavlje 19.4.1). U amaterskom opsegu od 2 m vertikalna polarizacija postaje značajna u vezi sa FM relejima.

Kod vertikalno polarizovane antene deformiše se dijagram usmerenosti u ravni *E* koji, u ovom slučaju, predstavlja vertikalni dijagram, što je posledica refleksije od tla. Na sl. 3.15 prikazan je vertikalni dijagram vertikalnog dipola, u slučaju kada se dipol nalazi visoko iznad zemlje. Donji šrafirani deo dijagrama zračenja označava područje uglova, čije će se zračenje reflektovati nagore ako se dipol približi zemlji. Kao što je već navede-



Sl. 3.15. Vertikalni dijagram vertikalnog polutalasnog dipola na velikom rastojanju od tla

no pod 3.2.2.1, reflektovani talasi vektorski se sabiraju sa direktnim talasima u zavisnosti od visine antene u λ. Visina se računa od sredine provodnika. Rezultat za vertikalne polutalasne dipole na različitim visinama prikazan je na sl. 3.16. Pri tom pada u oči da najmanji vertikalni ugao elevacije iznosi 0°. To bi moglo značiti da će se glavno zračenje prostirati približno tangencijalno na Zemljinu površinu. Na žalost, ovakvo zračenje koje je povoljno za prostiranje preko jonosfere, samo uslovno može da bude efikasno, jer se delovi zračenja pod elevacionim uglom manjim od 5° gube usled apsorpcije na površini zemlje. Ti gubici usled uticaja tla prikazani su isprekidanom linijom na sl. 3.16.

3.2.3. **Pojačanje antene**

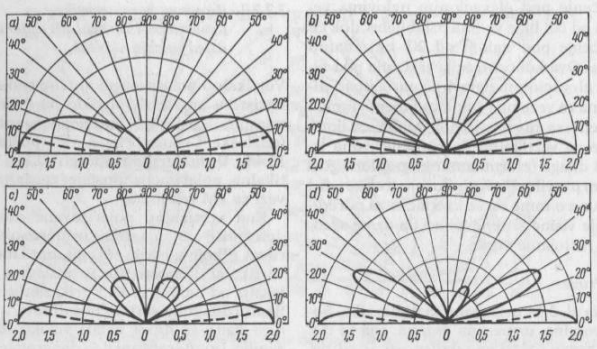
Pojačanje antene je relativna vrednost koja se dobija upoređenjem sa pogodnom antenom (referentna antena). Obe antene treba da se nalaze u istom elektromagnetnom polju i da su usmerene tako da primaju maksimalnu snagu koja se može dobiti. Ako ništa drugo nije navedeno, broj koji izražava pojačanje antene predstavlja pojačanje u smeru njenog glavnog lista na dijagramu zračenja.

Pojačanje antene izražava se kao brojčani odnos ili kao logaritamski odnos. Pri tom se uvek jasno navodi vrsta referentne antene i definicija pojačanja.

3.2.3.1. *Definicija pojačanja*

Pojačanje antene izražava se kao odnos snaga. Pojačanje snage karakteriše porast snage koju poseduje usmerena antena u odnosu na referentnu antenu. Ako P_1 predstavlja snagu koju antena daje potrošaču, i ako P_2 predstavlja snagu prilagođene referentne antene u istom elektromagnetnom polju, brojčana vrednost pojačanja G određuje se prema obrascu

$$G = \frac{P_1}{P_2} \qquad (3.13)$$



Sl. 3.16 Vertikalni dijagrami vertikalnih polutalasnih dipola. Kao visina postavljanja uzima se rastojanje geometrijske sredine dipola od zemlje: a – srednja visina 1/4 λ iznad idealnog tla, b – srednja visina 3/4 λ iznad idealnog tla, c – srednja visina 1/2 λ iznad idealnog tla, d – srednja visina 1 λ iznad idealnog tla.

Radi sprovođenja uporednih računskih operacija povoljnije je da se pojačanje snage izrazi kao logaritamski odnos u decibelima (dB). To je 10-struka vrednost logaritma (za bazu 10) proizvoljnog odnosa snaga

$$G\,(\mathrm{dB}) = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \qquad (3.14)$$

Iz odnosa $P = U^2/R$ proizlazi da se pojačanje može posmatrati i kao odnos napona, ukoliko je kod obe antene jednaka otpornost potrošača R. Tada se brojčano pojačanje dobija iz obrasca

$$G = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2, \qquad (3.15)$$

a kao logaritamski odnos

$$G\,(\mathrm{dB}) = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} \qquad (3.16)$$

Ponekad se antensko pojačanje navodi i kao faktor usmerenosti D (engleski: Directivity). Između pojačanja G i faktora usmerenosti D postoji zavisnost $G = D \cdot \eta$. Pomoću η označava se koeficijent korisnog dejstva antene ($\eta \leqq 1$). To znači da G uključuje gubitke u anteni, dok D ne obuhvata te gubitke.

Računanje sa decibelima je pogodnije, jer se vrednosti u decibelima jednostavno sabiraju i oduzimaju. Pretpostavimo da je pojačanje antene 12 dB i da gubici u vodu za napajanje iznose 7 dB, onda će ukupno pojačanje iznositi samo 12 dB – 7 dB = 5 dB.

Ponekad se odnosi napona, struja i snaga izražavaju i u neperima (Np), najčešće u vezi sa vodovima za napajanje. Između decibela i nepera postoje sledeće zavisnosti:

1 neper = 8,686 decibela,
1 decibel = 0,116 nepera.

Sa dijagrama na sl. 3.17 može se, na osnovu brojčane vrednosti odnosa napona, struja i snaga, odrediti vrednost pojačanja u decibelima.

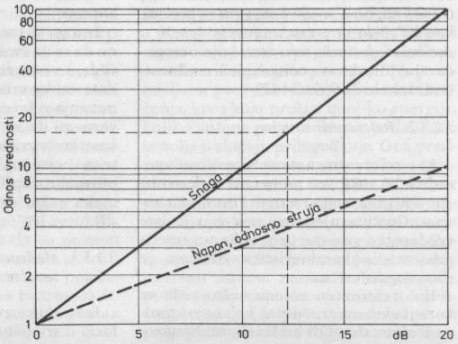
Primer

Jednostavan dipol daje koristan napon od 50 μV na ulaz prijemnika. Ako je potreban koristan napon od, na primer 200 μV, dipol se mora zameniti snažnijom usmerenom antenom sa 4-strukim pojačanjem napona (u odnosu na dipol). Rezultat je

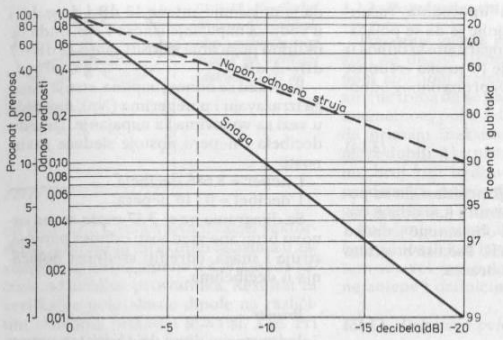
$$G = 20 \lg \frac{200\ \mu\mathrm{V}}{50\ \mu\mathrm{V}} = 12\ \mathrm{dB}$$

Isti rezultat može se brže dobiti iz dijagrama na sl. 3.17, na kojoj je ovaj primer ucrtan isprekidanom linijom. Sa dijagrama se može odrediti i odnos snaga (16-struki).

Budući da se u oblasti antena mora računati i sa slabljenjima, na sl. 3.18 dat je



Sl. 3.17. Pojačanje kao odnos struja, napona i snaga u decibelima



Sl. 3.18. Slabljenje u decibelima u zavisnosti od odnosa struja, napona i snaga

dijagram slabljenja u decibelima, u zavisnosti od odnosa napona, struja i snaga u funkciji decibela.

Primer

TV antena za opseg III priključuje se pomoću 60-omskog koaksialnog kabla tipa 2,3/10, dužine 100 m. Na osnovu podataka o karakteristikama ovakvog kabla, njegovo slabljenje iznosi 6,8 dB. Iz dijagrama na sl. 3.18 dobije se podatak da će do prijemnika stići samo oko 0,45 ≙ 45% napona antene, odnosno 0,2 ≙ 20% snage antene (primer je prikazan na sl. 3.18 isprekidanim linijama).

U Prilogu su date tabele: *Relativni odnos napona, struja i snaga u decibelima; Odnos napona, struja i snaga u neperima,* kao i *Tabela za preračunavanje nepera u decibele i decibela u nepere,* koje omogućavaju direktno očitavanje vrednosti (vidi tabele 34.9 do 34.12).

3.2.3.2. *Referentne antene*

Kao referentna antena za naučno upoređivanje služi već pomenuti tačkasti izvor zračenja, koji se naziva i *izotropna antena.* Gustina njegovog zračenja je iste vrednosti u svakom proizvoljnom smeru prostora, a karakteristika zračenja je zbog toga sferična.

Kao referentna antena nešto ređe se koristi elementarni dipol, koji se još naziva Hercov dipol ili kratki dipol. Njegova električna dužina iznosi $\lambda/8$. Za upoređivanje koristi se kružni dijagram u ravni H (ravni magnetne jačine polja). Zbog toga se elementarni dipol označava i kao magnetni dipol. Budući da karakteristika elementarnog dipola nije sferična, već ispoljava skoro usmereno dejstvo, njegovo pojačanje iznosi 1,5, odnosno 1,76 dB u odnosu na izotropsku antenu.

Poznati polutalasni dipol najčešće se koristi kao referentna antena, pa se tada naziva i normalni dipol. Njegova prednost je u tome što se može lakše predstaviti i što se u rezonantnom obliku može bez teškoća prilagoditi potrošaču, odnosno generatoru. Njegovo pojačanje iznosi $G = 1{,}64 = 2{,}14$ dB u odnosu na izotropsku antenu.

Iz toga se može sagledati koliko je važno da se uz svaki podatak o pojačanju navede i vrsta referentne antene. Ako su date velike vrednosti pojačanja bez imenovanja referentne antene, može se poverovati da se pojačanje odnosi na tačkasti izvor zračenja. Kako se u oblasti antena pojačanje određuje u odnosu na normalni dipol, zbog nedovoljnih podataka mogu se pojaviti razlike i do 2,14 dB.

3.2.3.3. *Međusobna zavisnost pojačanja i usmerenosti*

Izotropski izvor zračenja, koji bi se nalazio u središtu zamišljene kugle, ravnomerno bi obasjavao površinu kugle, tj. u svakoj proizvoljnoj tački na površini kugle postojala bi ista gustina zračenja Z_k. Ako se tačkasti izvor zračenja zameni usmerenom antenom, onda bi u skladu sa karakteristikom usmerenosti (uz dovođenje iste snage) bio ozračen samo deo površine kugle. Snaga bi se tada koncentrisala na manju površinu i prouzrokovala veću gustinu zračenja S_{max}. Odnos Z_{max}/Z_k izražava pojačanje Z_k usmerene antene u odnosu na tačkasti izvor zračenja. Gustina zračenja Z_k predstavlja količnik emitovane energije P_s i površine kugle ($4\pi r^2$)

$$Z_k = \frac{P_s}{4\pi r^2} \tag{3.17}$$

Na žalost, gustina zračenja usmerene antene ne može se lako izračunati, jer ona nije ravnomerno podeljena kao kod tačkastog izvora zračenja. Ako bi ozračenu površinu mogli učiniti vidljivom, onda ona ne bi izgledala kao ograničena osvetljena površina, već kao manja ili veća svetlosna mrlja bez izražene granice između svetlosti i senke. Zbog toga se ozračena površina definiše kao površina koja je ograničena horizontalnim i vertikalnim uglom zračenja usmerene antene. Ugao zračenja antene (vidi 3.2.1) obuhvata onaj deo karakteristike usmerenosti u kome se snaga smanji na polovinu vrednosti i to sa obe strane maksimalne vrednosti zračenja (–3 dB). Kod većine praktično izvedenih antena može se pretpostaviti da je ozračena površina elipsa, čiju veliku i malu osu određuju uglovi zračenja α_e u ravni E i α_H u ravni H

Budući da se sva raspoloživa energija zračenja ne nalazi u »ozračenoj« površini usmerene antene, ne mogu se jednostavnim upoređivanjem površina ili upoređivanjem gustina zračenja (u odnosu na tačkasti izvor zračenja) navesti realni podaci o pojačanju. Međutim, pomoću jednostavnih približnih obrazaca mogu se dobiti praktično primenljivi rezultati. Pri tome se pretpostavlja da su poznati uglovi zračenja usmerene antene u ravni E i u ravni H. Brojčana vrednost pojačanja snage G_k (u odnosu na izotropski izvor zračenja) izračunava se tada prema obrascu

$$G_k = \frac{44300}{\alpha_{E/°} \cdot \alpha_{H/°}}, \tag{3.18}$$

gde je α_E ugao zračenja u ravni E, α_H ugao zračenja u ravni H. Ako pojačanje kao što je uobičajeno, treba da se izrazi u odnosu na polutalasni dipol, tada je

$$G_{\lambda/2} = \frac{27000}{\alpha_{E/°} \cdot \alpha_{H/°}} \tag{3.19.}$$

Pojačanje u odnosu na polutalasni dipol dobija se u decibelima prema obrascu

$$G_{\lambda/2} = 10 \lg \frac{27000}{\alpha_{E/°} \cdot \alpha_{H/°}} - \text{dB} \tag{3.20}$$

Na sl. 3.19 prikazan je nomogram, koji je konstruisan na osnovu navedenog približnog obrasca. Kada su poznati uglovi zračenja on omogućava direktno očitavanje pojačanja u decibelima. Ako je poznato pojačanje i samo jedan ugao zračenja, iz nomograma se može odrediti i drugi nepoznati ugao zračenja.

U obrascima i u nomogramu nisu uzeti u obzir gubici. Oni nastaju zbog konačne provodljivosti antenskog materijala, usled dielektričnih gubitaka i zbog neprilagođenja (lošeg prilagođenja). Osim toga, pretpostavljeno je da je povratno slabljenje i slabljenje sporednih snopova u dijagramu usmerenosti veće od 10 dB.

Karakteristike usmerenosti antene mogu se opisati i pojmom *apsorpcione površine* ili *efektivne površine.* To je zamišljena površina okomita na smer zračenja, kroz koju prolazi onoliko energije, koliko antena prijemnika može da uzme iz polja u slučaju prilagođenja. Ona predstavlja oblast dejstva antene iz koje antena uzima prijemnu energiju. Efektivna površina ne odgovara geometrijskim dimenzijama antene, ona može biti manja ili veća, u zavisnosti od vrste antene. Odnos apsorpcione prema geometrijskoj površini antene naziva se iskorišćenje površine. Apsorpciona površina A i pojačanje proizvoljne antene međusobno su proporcionalni. To proizlazi iz relacija

$$A = \frac{\lambda^2 G_k}{4\pi} \tag{3.21}$$

i

$$G_k = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \tag{3.22}$$

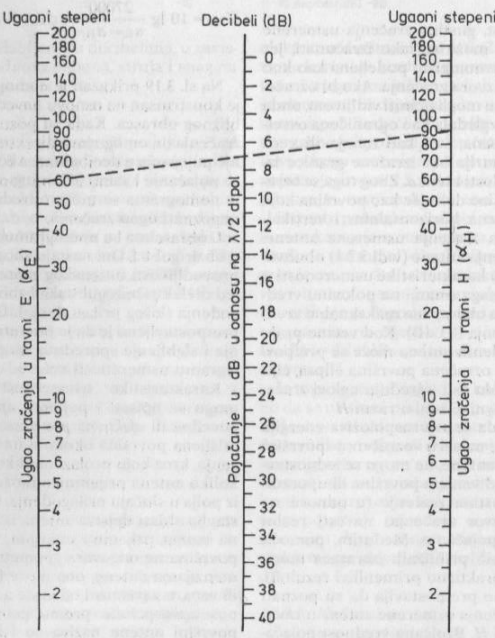
Za G_k unosi se numeričko pojačanje u odnosu na tačkasti izvor zračenja.

Efektivna površina polutalasnog dipola – izraženog u λ – iznosi

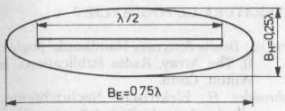
$$A = \frac{G_k}{4\pi}\lambda^2 = \frac{1{,}64}{4\pi}\lambda^2 = 0{,}1305\,\lambda^2 \tag{3.23}$$

U ovom slučaju, za G_k uvrštava se 1,64, jer pojačanje polutalasnog dipola, u odnosu na tačkasti izvor zračenja, iznosi 1,64 (vidi podtačku 3.2.3.2). Apsorpciona površina polutalasnog dipola je elipsa sa osama od oko 0,25 λ i 0,75 λ (sl. 3.20)

Budući da se pojačanje G, izražava u odnosu na polutalasni dipol, često je jednostavnije da se efektivna površina izračunava prema tako određenom pojačanju. Kao što je utvrđeno, efektivna površina polutalasnog dipola iznosi oko 0,13 λ^2. Zbog toga je dovoljno da se numeričko pojačanje bilo koje antene u odnosu na



Sl. 3.19. Nomogram za određivanje pojačanja usmerenih antena u odnosu na polutalasni dipol, kada je poznat ugao zračenja u ravni E i u ravni H; primer (isprekidana linija): za $\alpha_E = 60°$, $\alpha_H = 90°$ dobije se $G = 7$ dB.



Sl. 3.20. Efektivna površina polutalasnog dipola

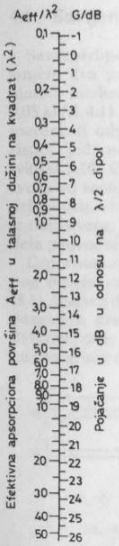
polutalasni dipol pomnoži vrednošću 0,13, pa da se dobije aktivna površina A.

$$A = 0{,}13 \cdot G \cdot \lambda^2 \tag{3.24}$$

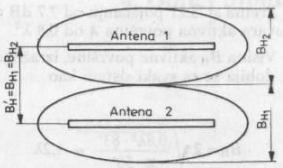
Primer

Data je antena sa pojačanjem snage od 7 dB, što odgovara numeričkoj vrednosti pojačanja od oko 5,0. Pojačanje se odnosi na polutalasni dipol. Aktivna površina A iznosi $5{,}0 \cdot 0{,}13 \cdot \lambda^2 = 0{,}65\,\lambda^2$

Radi bržeg dobijanja aktivne površine A bilo koje antene, čije je pojačanje u odnosu na polutalasni dipol dato u dB, koristi se nomogram na sl. 3.21.



Sl. 3.21. Aktivna površina A_{ef} proizvoljne antene u zavisnosti od njenog pojačanja u dB u odnosu na polutalasni dipol



Sl. 3.22. Optimalno odstojanje dveju antena uzimajući u obzir njihove aktivne površine

Aktivna površina postaje značajna kada, na primer, treba postaviti više usmerenih antena jednu iznad druge ili jednu pored druge i tako formirati grupe antena. U tom slučaju važi pravilo da se aktivne površine pojedinačnih antena ne smeju preklapati, jer bi se time smanjilo pojačanje. Zbog toga odstojanja, po mogućnosti treba birati, tako da se aktivne površine dodiruju (sl. 3.22).

Na primer, ako treba postaviti dve horizontalne *jagi*-antene jednu iznad druge, onda vertikalno odstojanje B_H između obe ravni mora biti najmanje toliko koliko iznosi visina aktivne površine u ravni H.

Širina aktivne površine B_H u ravni H i B_E u ravni E – izražena u talasnim dužinama λ – izračunava se kod aktivnih površina u obliku elipse ili kruga prema obrascima

$$B_H = 2\sqrt{\frac{A\alpha_H}{\pi\alpha_E}} \tag{3.25}$$

i

$$B_E = 2\sqrt{\frac{A\alpha_E}{\pi\alpha_H}} \tag{3.26}$$

Primer

Jagi-antena ima uglove zračenja $\alpha_E = 58°$ i $\alpha_H = 83°$. Treba postaviti dva ovakva horizontalno polarizovana sistema jedan iznad drugog. Koliko je njihovo najpovoljnije odstojanje?

Prema sl. 3.19 za $\alpha_E = 58°$ i $\alpha_H = 83°$ dobija se pojačanje od 7,7 dB u odnosu na polutalasni dipol.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Prema sl. 3.21 pojačanju od 7,7 dB odgovara aktivna površina A od 0,8 λ^2.

Visina B_H aktivne površine, izražene u λ, dobija se za svaki sistem kao

$$B_H = 2\sqrt{\frac{0{,}8\lambda^2 \cdot 83^\circ}{\pi \cdot 58^\circ}} \approx 1{,}2\lambda$$

Najpovoljnije odstojanje etaža u pogledu pojačanja iznosi 1,2 λ.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 3

Orr, W.: Beam Antenna Handbook, poglavlje II, The Array, Radio Publications, Inc. Wilton, Conn.

Schroeder, H.: Elektrische Nachrichtentechnik, deo 1, poglavlje 1, Antennen, Verlag fuer Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin 1967

Spillner, F.: Die UKW–Amateurantenne als L/C–Kreis, Funkschau, Muenchen, 48(1976) sveska 2, strana 63 do 66

Spillner, F.: Der Wirkungsgrad eines Amateur–Dipols, Funkschau, Muenchen, 48(1976), sveska 23, strana 106 do 108

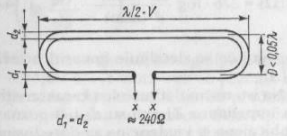
Karakteristične osobine dipola mogu se menjati izborom odgovarajućeg oblika. To se naročito odnosi na otpornost na priključku antene i na širinu opsega. Ponekad se, pored željenih električnih karakteristika, određenim oblikom dipola postižu poboljšanja i u pogledu mehaničkog pričvršćavanja ili zaštite od groma, kao kod savijenog dipola.

Iz mehaničkih razloga, specijalni oblici dipola koriste se pretežno u oblasti ultrakratkih i decimetarskih talasa.

4.1. Savijeni dipoli

Savijeni dipol nastao je paralelnim spajanjem dva polutalasna provodnika na malom međusobnom rastojanju $D (D < 0{,}05\ \lambda)$ (sl. 4.1). Karakteristika njegove usmerenosti odgovara, u suštini, karakteristici jednostavnog pruženog dipola (vidi sl. 3.10). On se razlikuje od njega, pre svega po većoj otpornosti na antenskom priključku, a i relativna širina opsega mu je nešto veća. Za faktor skraćenja V oba dela provodnika važi sl. 3.7.

Otpornost zračenja običnog polutalasnog dipola izračunava se po jednačini (3.1). Budući da savijeni dipol nastaje dodavanjem drugog paralelnog dela iste debljine, tako da se antenska struja deli na dve grane dipola. Kod savijenog dipola, pri istoj snazi zračenja P_s, struja u tački priključka biće upola manja od struje kod pruženog dipola. Za izračunavanje otpornosti na antenskom priključku R_z savijenog dipola, mora se izmeniti jednačina 3.1 na sledeći način:



Sl. 4.1. Savijeni dipol

$$R_z'' = \frac{P_z}{\left(\frac{I}{2}\right)^2} \qquad (4.1)$$

Iz ovog obrasca za obični polutalasni dipol dobija se

$$P_z = R_z \cdot I^2,$$

a za savijeni dipol

$$P_z = R_z'' \cdot \left(\frac{I}{2}\right)^2$$

Kako je snaga zračenja P u oba slučaja jednaka, izrazi se mogu izjednačiti:

$$R_z \cdot I^2 = R_z'' \cdot \left(\frac{I}{2}\right)^2;$$

$$R_z \cdot I^2 = R_z'' \cdot \frac{I^2}{4};$$

$$R_z'' = 4\ R_z.$$

Iz toga sledi da je otpornost na antenskom priključku savijenog dipola četiri puta veća nego kod pruženog dipola. Zbog toga se kod savijenog dipola može računati sa otpornošću na priključku antene od 240 Ω do 280 Ω.

Varijanta savijenog dipola je dvostruki savijeni dipol u vidu dvostruke petlje

(sl.4.2). Ako su prečnici provodnika isti, struja antene će se deliti na tri polutalasna dipola; to znači da će u svakoj grani dipola teći samo 1/3 ukupne struje. Zbog toga, ulazna otpornost R_z dvostruko savijenog dipola iznosi

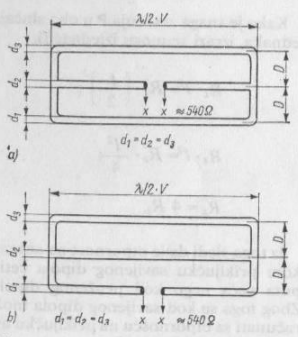
$$R_z''' = \frac{P_z}{\left(\frac{I}{3}\right)^2} \qquad (4.2)$$

i devet puta je veća od otpornosti na antenskom priključku običnog polutalasnog dipola (540 Ω do 630 Ω).

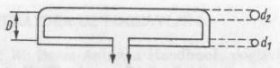
Za funkcionisanje dvostruko savijenog dipola nije važno da li se tačka napajanja bira prema sl. 4.2a ili prema sl. 4.2b. Iz mehaničkih razloga pogodnije je napajanje u donjoj grani, jer se tada srednji provodnik može iskoristiti za pričvršćenje na nosač antene.

Broj paralelnih polutalasnih delova n može se povećati do cilindričnog oblika. Za otpornost na priključku antene i tada važi pravilo: ako su provodnici istog prečnika i ako je njihovo međusobno odstojanje $D < 0{,}05\ \lambda$, onda je faktor k za množenje otpornosti na priključku antene – u odnosu na otpornost pruženog polutalasnog dipola – približno jednak kvadratu broja provodnika n

$$k = n^2$$



Sl. 4.2. Dvostruko savijeni dipol
a – srednji provodnik prekinut zbog napajanja
b – donji provodnik prekinut zbog napajanja



Sl. 4.3. Savijeni dipol sa različitim prečnicima provodnika

Kod dvostruko savijenog dipola, kao na slici 4.2 postoje tri paralelna polutalasna dela (n = 3), faktor $k = 3^2 = 9$, što odgovara otpornosti na priključku antene od oko $9 \times 60\ \Omega = 540\ \Omega$.

Još jedna često korišćena mogućnost promene otpornosti antenskog priključka sastoji se u tome što se odaberu različiti prečnici polutalasnih delova (sl. 4.3). Ako je prečnik d_2 neprekinutog polutalasnog dela veći od prečnika dipola d_1, onda će se povećati ulazna otpornost. Postaće veća od otpornosti normalnog savijenog dipola. Obrnuto, ako je prečnik d_1 napajanog dipola veći od prečnika d_2, onda se smanjuje otpornost antenskog priključka. U oba slučaja faktor k zavisi i od odstojanja D.

Na sl. 4.4 prikazana je ulazna otpornost savijenog dipola sa različitim prečnicima provodnika ($d_2 > d_1$).

Faktor k dobije se računski iz odnosa koji je dao Roberts (*RCA Review, juni 1947. godine*) po kome je

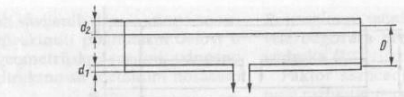
$$k = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \qquad (4.3)$$

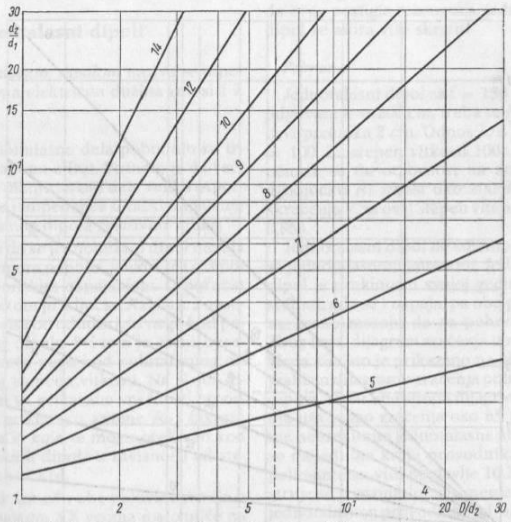
Faktor k se odnosi na obican polutalasni dipol. Z_1 predstavlja karakterističnu impedancu dvožičnog voda prečnika provodnika d_1 koji se nalaze na rastojanju D. Karakteristična impedanca Z dvožičnog voda sa vazdušnom izolacijom iznosi

$$Z\ (\Omega) = 276 \cdot \log \frac{2D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})} \qquad (4.4)$$

i o njoj će se detaljnije govoriti u tački 5.1.1.

Na isti način definiše se i karakteristična impedanca Z_2 ako su d_2 i D poznati. Uobičajena je i jednačina za određivanje faktora k





Sl. 4.4. Ulazna otpornost savijenog dipola sa različitim prečnicima provodnika u odnosu na običan polutalasni dipol. Primer (isprekidana linija):

$$\frac{d_2}{d_1} = 3 \qquad \frac{D}{d_2} = 6$$

odakle proizlazi da je odnos impedanci jednak 6, što je 6-struka vrednost običnog dipola (360 Ω do 420 Ω).

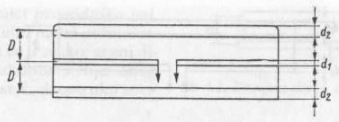
$$k = \left(\frac{\lg \frac{4D^2}{d_1 \cdot d_2}}{\lg \frac{2D}{d_2}}\right)^2 \qquad (4.5)$$

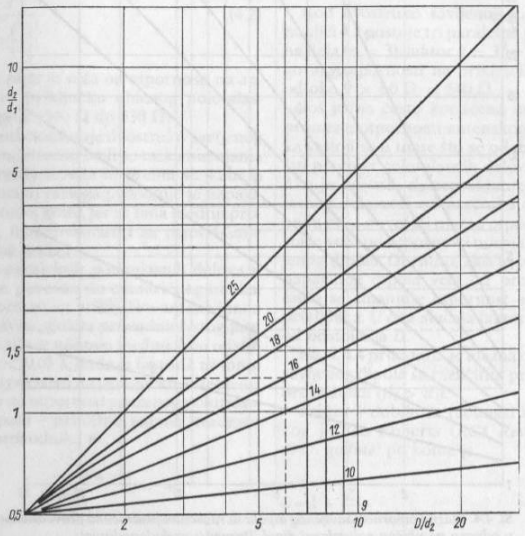
Oslanjajući se na jednačine 4.3 i 4.5 dobiju se računski odnosi za ovaj slučaj:

$$k = 1 + \left(\frac{2Z_1}{Z_2}\right)^2 \qquad (4.6.)$$

I kod dvostruko savijenog dipola mogu se menjati otpornosti, ako se prečnik d_1 prekinutog dipola razlikuje od prečnika d_2 oba paralelna polutalasna dela. Njihova međusobna zavisnost prikazana je dijagramom na sl. 4.5.

$$k = \left(\frac{\lg \frac{4D^3}{d_1^2 \cdot d_2}}{\lg \frac{D}{d_2}}\right)^2 \qquad (4.7)$$

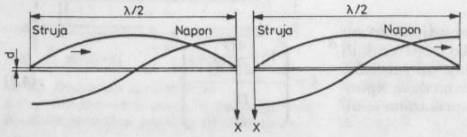




Sl. 4.5. Ulazna otpornost dvostruko savijenog dipola sa različitim prečnicima u odnosu na obični polutalasni dipol. Primer (ucrtan isprekidanom linijom):

$$\frac{d_2}{d_1} = 1{,}25; \qquad \frac{D}{d_2} = 6$$

iz čega se dobija odnos impedanci 16, tj. 16-struka vrednost običnog dipola (960 Ω do 1120 Ω).



Sl. 4.6. Jednotalasni dipol

Kod svih savijenih dipola mogu se uzemljiti neprekinuti polutalasni delovi u njihovoj geometrijskoj sredini, odnosno povezati direktno sa metalnim nosačem antene.

4.2. Jednotalasni dipoli

Jednotalasnim dipolom naziva se dipol čija ukupna električna dužina iznosi 1 λ (sl. 4.6).

Oba polutalasna dela pobuđuju se trbuhom napona u fazi. Poznato je da veći napon uz manju struju daje veliku otpornost, pa je i impedanca u tački napajanja jednotalasnog dipola relativno velika.

Budući da se jednotalasni dipol napaja maksimumom napona, govori se i o dipolu sa naponskim napajanjem. Otpornost na antenskom priključku R_0 i širina opsega više zavise od odnosa λ/d nego kod polutalasnog dipola. Pri tom je širina opsega uvek veća nego kod polutalasnog dipola istog stepena vitkosti. Na sl. 4.7 dijagramom su prikazane vrednosti otpornosti na priključku antene R_0 i faktora skraćenja V, koje se mogu očekivati kod jednotalasnih dipola u zavisnosti od stepena vitkosti λ/d.

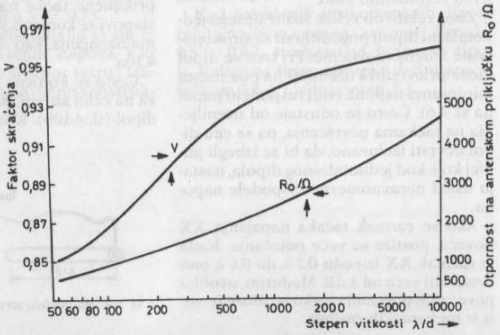
Razmak između obe polovine dipola u tački napajanja XX veoma malo utiče na otpornost R_0. Vrednosti date na sl. 4.7 za R_0 utoliko su tačnije, ukoliko razmak XX više odgovara prečniku antenskog provodnika D.

Faktor skraćenja V jednotalasnog dipola razlikuje se od faktora skraćenja polutalasnog dipola istog stepena vitkosti; da bi se postigla rezonanca, jednotalasni dipol se mora više skratiti.

Primer

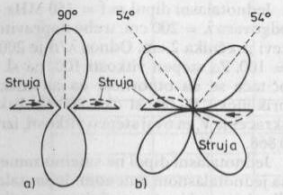
Jednotalasni dipol za f = 150 MHz, što odgovara λ = 200 cm, treba napraviti od cevi prečnika 2 cm. Odnos λ/d je 200 : 2 = 100. Za stepen vitkosti 100, na sl. 4.7 očitaće se da otpornost na antenskom priključku R_0 iznosi oko 800 Ω. Faktor skraćenja V, za ovaj stepen vitkosti, iznosi 0,868.

Jednotalasni dipol ne smemo zameniti sa jednotalasnom antenom. Jednotalasni dipol je prekinut u svojoj geometrijskoj sredini, gde se i napaja, pa obe polutalasne grane moraju da se pobude u fazi. Zbog toga, dijagram zračenja u ravni E izgleda kao što je prikazano na sl. 4.8a. On je sličan dijagramu zračenja polutalasnog dipola, ali su oba snopa dijagrama zračenja uža (ugao zračenja oko 65°). Napajanje neprekinute jednotalasne antene vrši se na jednom kraju provodnika (tzv. cepelin-antena, vidi poglavlje 10.2.1). Smer struje se, u ovom slučaju, menja u sredini jednotalasnog provodnika (sl. 4.8b), pa se oba polutalasna dela pobuđuju u protiv-



Sl. 4.7. Otpornost na antenskom priključku antene R_0 i faktor skraćenja V jednotalasnog dipola, u zavisnosti od odnosa talasne dužine i prečnika antenskog provodnika λ/d (približne vrednosti)

fazi. Zbog toga je dijagram usmerenosti u ravni E podeljen na 4 glavna smera zračenja, pri čemu se maksimumi zračenja javljaju pod uglom od 54° u odnosu na uzdužnu osu antene. Dok pojačanje jednotalasnog dipola iznosi oko 1,8 dB – u odnosu na polutalasni dipol – kod jednotalasne antene sa napajanjem na kraju ono je samo oko 1,2 dB.



Sl. 4.8. Dijagram usmerenosti u ravni E i raspodela struje kod jednotalasnih antena: a – jednotalasni dipol, obe polovine pobuđuju se u fazi (isti smer struje), smer glavnog zračenja pod 90° u odnosu na uzdužnu osu dipola; b – neprekinuta jednotalasna antena (npr., sa napajanjem na kraju), zbog toga se pobuđuje u protivfazi (suprotan smer struje), glavni smerovi zračenja 54° u odnosu na uzdužnu osu antene

Polutalasnom dipolu pripisuju se osobine serijskog rezonantnog kola, a jednotalasni dipol, u slučaju rezonance i i pri promeni frekvencije, ponaša se kao paralelno rezonantno kolo.

Zbog relativno velike širine opsega jednotalasni dipoli pogodniji su za širokopojasne antenske sisteme. Pri tom se dipol može pričvrstiti i uzemljiti na oba mesta minimuma napona (vidi raspodelu napona sl. 4.6). Često se odustaje od uzemljenja na tačkama učvršćenja, pa se ceo dipol učvrsti izolovano, da bi se izbegli gubici koji, kod jednotalasnog dipola, nastaju usled neravnomerne raspodele napona.

Ako se razmak tačaka napajanja XX poveća, postiže se veće pojačanje. Kada je razmak XX između 0,2 λ do 0,6 λ ono može biti veće od 3 dB. Međutim, ovoliko povećanje pojačanja teško se može izvesti iz mehaničkih razloga.

4.3. Širokopojasni dipoli

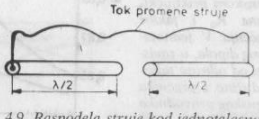
Ulazna impedanca dipola je u slučaju rezonance čista aktivna otpornost. Kada se dipol pobuđuje frekvencijama, koje su različite od njegove rezonantne frekvencije, ulazna otpornost dobija induktivne ili kapacitivne reaktivne komponente.

Što je dipol vitkiji, brže rastu reaktivne komponente pri razdešavanju iz rezonantne frekvencije, pa je manja širina njegovog frekventnog opsega. Ako treba da se postigne velika širina frekventnog opsega, koriste se dipoli sa malim stepenom vitkosti λ/d (tzv. debeli dipoli). Debeli dipoli izrađuju se kao polutalasni dipoli i kao jednotalasni dipoli. U pogledu širine opsega, povoljniji su jednotalasni dipoli, jer je kod njih, pri istom stepenu vitkosti, širina opsega veća 1,3 puta nego kod polutalasnog dipola.

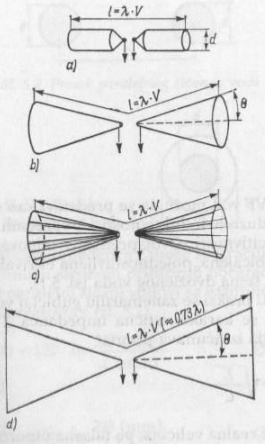
Raspodela struje kod debelog dipola nije više sinusna, već je zaravnjena, slično kao što je prikazano na sl. 4.9. Zbog toga je u tački napajanja jednotalasnog debelog dipola struja relativno velika, čime se objašnjava smanjenje otpora na priključku antene, kada se smanjuje stepen vitkosti.

Ako se širokopojasni dipol sastoji od debelih cevi ili štapova, kao na slici 4.9, onda površina preseka štapova u tački napajanja poseduju veliku međusobnu kapacitivnost. Na mestu priključenja napojnog voda iznenada se javlja velika promena preseka. Da bi se dobile definisane priključne tačke napojnog voda, debeli štapovi se konično stanjuju prema tačkama napajanja, kao što je prikazano na sl. 4.10a.

Često se konična konstrukcija zadrža va na celoj anteni, pa nastaje dvokonični dipol (sl. 4.10b). Kod njega otpornost na



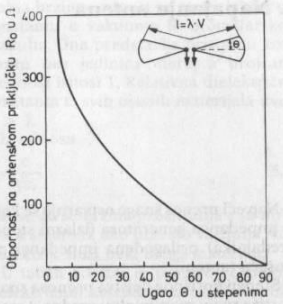
Sl. 4.9. Raspodela struje kod jednotalasnog debelog dipola



Sl. 4.10. Varijante širokopojasnih dipola: a – debeli jednotalasni dipol od cilindričnih štapova, stanjen u tački napajanja konično; b – dvokonični jednotalasni dipol izrađen od limenih konusa; c – dvokonični jednotalasni dipol u obliku skeleta, izrađen od pojedinačnih štapova; d – površinski dipol u obliku leptira

antenskom priključku zavisi od veličine ugla, kao što se vidi na sl. 4.11. Zbog velike širine frekventnog opsega ovakvih dipola, određivanje faktora skraćenja V nije naročito kritično, pa se često računa sa srednjom vrednošću V = 0,73.

Skeletna konstrukcija antene sa što je moguće više pojedinačnih štapova, kao na sl. 4.10c, pruža manji otpor vetru i lakša je. I pored pojednostavljene konstruk-



Sl. 4.11. Otpornost R_0 dvokoničnog dipola u funkciji ugla Θ

cije, antena zadržava sve karakteristike dvokoničnog dipola. Konačno, može se sasvim odustati od glomaznog koničnog oblika i dipole konstruisati samo kao površine. Da bi se zadržale definisane tačke za priključak napojnog voda, površinski dipoli izrađuju se pretežno sa trouglastim krilima (vidi sl. 4.10d). Zbog toga se nazivaju i leptir-dipoli. Ako se površine izrade od guste mreže ili od bušenog lima, onda se smanji težina i otpor vetru, pri čemu se ne pogoršavaju karakteristike antene. I kod jednotalasnog leptir-dipola računa se sa prosečnim faktorom skraćenja V od 0,73. Širokopojasne površinske antene detaljno su opisane u odeljku 26.1.

Kod navedenih širokopojasnih dipola relativna širina opsega o iznosi između 0,5 f_0 i 0,8 f_0 što zavisi od dimenzija dipola. Relativna širina opsega o definisana je tačkom 3.1.4. i jednačinom 3.3.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

5. Napajanje antena

Najveći prenos snage ostvaruje se kada je impedanca generatora (izlazni stepen predajnika) prilagođena impedanci potrošača (anteni).

Stepen korisnog dejstva prenosa snage postiže svoju maksimalnu vrednost samo kada potrošač predstavlja čistu aktivnu otpornost za generator. To znači da se u tački napajanja antene ne smeju javljati induktivne ili kapacitivne reaktivne komponente. Taj slučaj nastupa kada se antena nalazi u rezonanci sa frekvencijom predajnika.

Između predajnika i antene najčešće se nalazi vod za prenos energije (vod za napajanje), pa i on mora imati takve karakteristike da ne ometa prilagođenje, odnosno rezonancu između predajnika i antene. Ova razmatranja važe i u slučaju prijemne antene, s tim što tada antena postaje generator, a prijemnik potrošač.

5.1. Vodovi za napajanje

Zadatak vodova za napajanje je da VF energiju dovode sa najmanjim gubicima i da pri tome sami ne zrače. Uobičajeni vodovi za napajanje antena sastoje se pretežno od dva međusobno paralelna provodnika, čije su karakteristike definisane geometrijskim dimenzijama preseka voda i vrstom dielektrika između provodnika.

5.1.1. Karakteristična impedanca

Kod VF vodova važnu veličinu predstavlja njihova karakteristična impedanca Z. Ova impedanca vodova dobija se iz odnosa napona U i struje I na beskonačno dugom vodu.

VF vod može da se predstavi kao spoj uzdužnih induktivnosti i poprečnih kapacitivnosti. Ovoj predstavi odgovara i uobičajena, pojednostavljena ekvivalentna šema dvožičnog voda (sl. 5.1).

U praksi se zanemaruju gubici u vodu, pa se karakteristična impedanca Z VF voda izračunava prema

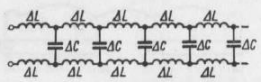
$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad (5.1)$$

Z je realna veličina, pa talasna otpornost ne zavisi od frekvencije i dužine voda.

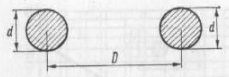
Iz jednačine (5.1) proizlazi, da velika sopstvena induktivnost L i mala kapacitivnost C daju veliku karakterističnu impedancu Z. U praksi to znači da tanki provodnici (velika L) na većem međusobnom rastojanju (mala C) poseduju veliku karakterističnu impedancu Z, a nasuprot tome, da debeli provodnici (mala L) na malom međusobnom rastojanju (velika C) ispoljavaju malu karakterističnu impedancu Z. Karakteristična impedanca Z određena je prvenstveno geometrijskim dimenzijama preseka voda.

Kod antena se pretežno koriste paralelni žičani vodovi, kao što je prikazano u preseku na sl. 5.2 i koaksijalni vodovi kao na sl. 5.3. U sledećim tačkama biće detaljnije opisana njihova konstrukcija.

Pod pretpostavkom da se kao dielektrik između oba provodnika nalazi vazduh (dielektrična konstanta $\varepsilon = 1$, karak-



Sl. 5.1. Ekvivalentna šema paralelnog žičanog voda



Sl. 5.2. Presek paralelnog žičanog voda



Sl. 5.3. Presek koaksijalnog voda

teristična impedenca Z može se izračunati pomoću sledećih približnih obrazaca:

a) paralelni žičani vodovi sa vazduhom kao izolatorom (sl. 5.2)

$$Z\,(\Omega) = 120 \cdot \ln \frac{2D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})} \qquad (5.2)$$

ili

$$Z\,(\Omega) = 276 \cdot \lg \frac{2D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})} \qquad (5.3)$$

b) koaksijalni vodovi sa vazduhom kao izolatorom (sl. 5.3)

$$Z\,(\Omega) = 60 \cdot \ln \frac{D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})} \qquad (5.4)$$

ili

$$Z\,(\Omega) = 138 \cdot \lg \frac{D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})} \qquad (5.5)$$

ln – prirodni logaritam, lg – dekadni logaritam. Veličine D i d prikazane su na sl. 5.2 odnosno 5.3.

Karakteristična impedanca Z VF vodova različitih preseka može se jednostavnije izračunati korišćenjem dijagrama datih na slikama 5.4 do 5.7. Vrednosti u dijagramima važe za vazduh kao izolator.

5.1.1.1. *Dielektrik VF vodova*

Brzina prostiranja elektromagnetnog talasa V definisana je sredinom kroz koju se talas prostire. Ako je ta sredina atmosferski vazduh, onda ona iznosi $v = c = 3 \cdot 10^8$ m/s (brzina svetlosti). Ta »maksimalna brzina« odnosi se na dielektričnu konstantu ε vakuuma ili atomsferskog vazduha. Ona predstavlja prirodnu konstantu bez jedinica mere, a brojčana vrednost iznosi 1. Relativna dielektrična konstanta ε_r svih ostalih materijala uvek je > 1.

Iz odnosa

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (5.6)$$

vidi se da se brzina prostiranja c (u m/s) mora smanjiti, ako umesto vazduha, kao dielektrik služi neki drugi materijal.

U tabeli 5.1 dat je pregled relativnih dielektričnih konstanti za različite izolacione materijale. Kod industrijski proizvedenih VF vodova koriste se izolacioni materijali između pojedinačnih provodnika. To utiče na brzinu prostiranja duž voda, a takođe i na vrednost karakteristične impedance. Zbog toga, jednačine 5.2 do 5.5 moraju se, proširiti na sledeći način:

a) trakasti vod sa plastičnom izolacijom

$$Z\,(\Omega) = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \ln \frac{2\,D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})} \qquad (5.7)$$

ili

$$Z\,(\Omega) = \frac{276}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \lg \frac{2\,D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})} \qquad (5.8)$$

b) koaksijalni kabl sa dielektrikom od plastične mase

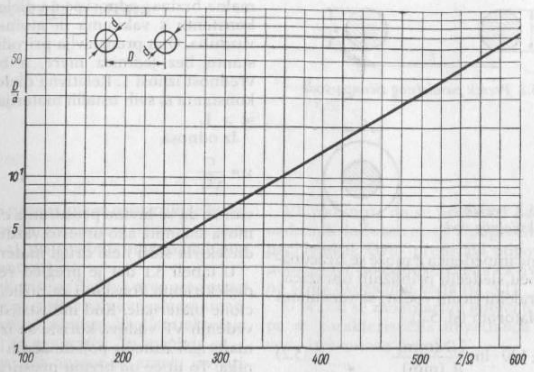
$$Z\,(\Omega) = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \ln \frac{D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})} \qquad (5.9)$$

ili

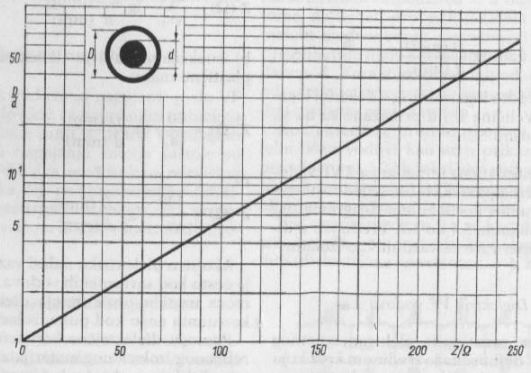
$$Z\,(\Omega) = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \lg \frac{D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})} \qquad (5.10)$$

Ako se u dielektriku nalazi vazduh, što je često kod savremenih vodova, onda se mora uzeti u obzir manja dielektrična konstanta nego kod pune izolacije.

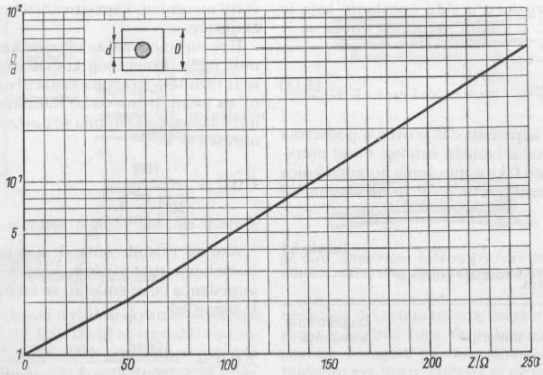
Pomoću dielektrične konstante upotrebljenog izolacionog materijala može se odrediti faktor skraćenja V voda. On se dobija iz odnosa brzine prostiranja duž voda prema brzini prostiranja u slobod-



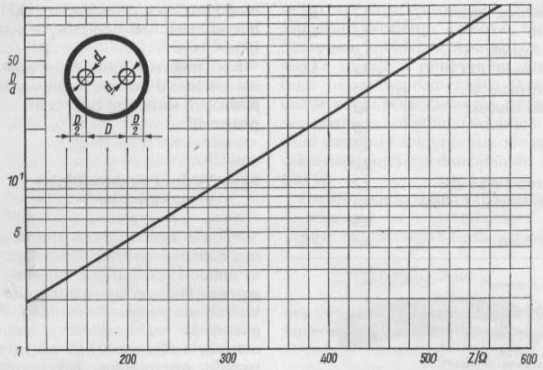
Sl. 5.4. Karakteristična impedanca Z paralelnog žičanog voda sa vazduhom kao izolatorom u zavisnosti od odnosa rastojanja provodnika D prema prečniku provodnika D



Sl. 5.5. Karakteristična impedanca Z koaksijalnog voda sa vazduhom kao izolatorom, u zavisnosti od odnosa unutrašnjeg prečnika spoljašnjeg provodnika D prema spoljašnjem prečniku unutrašnjeg provodnika d



Sl. 5.6. Karakteristična impedanca Z voda sa vazduhom kao izolatorom, čiji je unutrašnji provodnik okruglog, a spoljašnji kvadratnog oblika



Sl. 5.7. Karakteristična impedanca Z oklopljenog, simetričnog dvožičnog voda sa vazduhom kao izolatorom

nom prostoru u vidu konstante koja je uvek < 1. Faktor skraćenja dobija se iz odnosa

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (5.11)$$

Faktor skraćenja dat je uvek u podacima o VF vodu. Između ostalog, on je potreban i kao faktor množenja pomoću kojeg se može odrediti rezonantna dužina VF voda.

Tabela 5.1

DIELEKTRIČNE KONSTANTE RAZLIČITIH IZOLACIONIH MATERIJALA

Izolacioni materijal	Dielektrična konstanta
Amenit	3,5
Kalit	6,5
Epoksidna smola	3,5
Staklo	4,0 ... 10
Liskun	4,0 ... 8,0
Tvrdi papir	4 ... 6
Izolacioni papir	2,2
Vazduh	1,0
Lupolen	2,3
Mipolam	3,4
Pertinaks	5,6 ... 6,5
Piakril (Pleksiglas)	3,0 ... 3,6
Polietilen	2,3
Poliizobutilen, opanol	2,2 ... 2,6
Polistirol	2,2 ... 2,6
Pena polistirola	1,05
Polivinilhlorid (PVC)	3,1 ... 3,5
Porculan, tehnički	6,5
Silikonski kaučuk	4,2
Steatit	6,0
Stirofleks	2,5
Teflon	2,0
Transformatorsko ulje	2,2
Triafol (triacetatna folija)	4,3
Trolitul	2,4
Ultraporculan	6,3 ... 7,5

5.1.1.2. *Određivanje karakteristične impedance jednostavnim merenjima*

Provera karakteristične impedance vodova sa vazdušnom izolacijom može se izvršiti merenjem kapacitivnosti po jedinici dužine.

U tu svrhu odredi se ukupna kapacitivnost tačno izmerenog komada voda, pa se iz rezultata izračuna kapacitivnost C u pF za 1 cm dužine voda. Karakteristična impedanca Z u Ω dobija se dosta tačno iz obrasca

$$Z\,(\Omega) \approx \frac{100}{3C\left(\frac{\text{pF}}{\text{cm}}\right)} \qquad (5.12)$$

Ako se vazduh zameni nemagnetnim izolacionim materijalom, karakteristična impedanca će se smanjiti za faktor $1/\sqrt{\varepsilon_r}$. Iz toga sledi

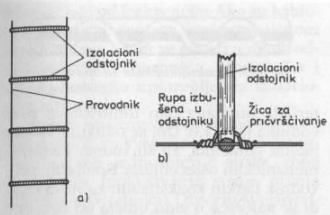
$$Z\,(\Omega) \approx \frac{100\sqrt{\varepsilon_r}}{3 \cdot C\left(\frac{\text{pF}}{\text{cm}}\right)} = \frac{100}{3} \cdot \frac{1}{C\left(\frac{\text{pF}}{\text{cm}}\right) \cdot V}$$

Ako amater poseduje most za merenje L i C, onda se pomoću njega može odrediti karakteristična impedanca bilo kog izolovanog simetričnog voda ili koaksijalnog kabla. Radi toga se odmota što duži komad kabla i na otvorenom kraju izmeri kapacitivnost C između srednjeg provodnika i oklopa. Zatim se srednji provodnik i oklop međusobno spoje na suprotnim krajevima, pa se izmeri induktivnost L između srednjeg provodnika i oklopa. Dobijene vrednosti unesu se u jednačinu (5.1).

Kod trakastih kablova se postupa na isti način, ali oni ne treba da budu na podu, već slobodno rastegnuti u mernoj prostoriji.

5.1.2. Vodovi sa paralelnim provodnicima

VF vod sa vazduhom kao izolatorom ima najmanje gubitke. Zbog toga, naročito amateri na kratkim talasima koriste napojne vodove, koje sami grade od slobodnih paralelnih provodnika. Pomoću odstojnika od kvalitetnog izolacionog materijala održava se konstantan razmak između provodnika. Takvi vodovi se uopšte nazivaju fideri (engleski feeder), a u nemačkom govornom području amateri ih nazivaju vrlo adekvatno »*kokošije lestvice*« (sl. 5.8). Da bi se izgradio vod željene karakteristične impedance, mora se očitati (na sl. 5.4), a zatim i ostvariti željeni odnos između međusobnog razmaka i prečnika oba provodnika (D/d). Iz mehaničkih razloga karakteristična impedanca Z najčešće je ograničena na 500 Ω do 600 Ω. Kod manjih karakterističnih impedanci dužine odstojnika postaju premale, pa se ne može ostvariti dovoljna stabilnost voda.

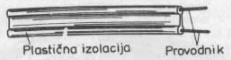


Sl. 5.8. »Kokošije lestvice« (otvoren dvožični vod):
a – konstrukcija
b – predlog učvršćenja odstojnika

Trakasti kablovi su dve paralelne žice smeštene u izolacioni materijal. To su uobičajeni jeftini i lagani kablovi za UKT područje (sl. 5.9). Kao dielektrik najčešće se upotrebljava polietilen. Trakasti kablovi u komercijalnoj prodaji imaju karakterističnu impedancu od 120, 240 i 300 Ω.

Slabljenje i gubici novih trakastih kablova su manji nego kod koaksijalnih kablova. Međutim, utvrđeno je da dugo izlaganje trakastog kabla atmosferskim uticajima znatno pogoršava vrednost njegovog slabljenja, budući da ultraljubičasto zračenje Sunca, s vremenom, pogoršava električne karakteristike dielektrika. U novije vreme taj uticaj Sunčevog zračenja na stvaranje pokušava se otkloniti ili bar smanjiti pigmentiranjem izolacionog materijala čađu i drugim materijalima.

Kiša, inje i magla takođe mnogo utiču na promenu karakteristika trakastih kablova jer se tada oko njih stvara vodeni sloj koji izaziva nekontrolisane promene karakteristične impedance, a pored toga povećava i slabljenje. Na promenu karakteristične impedance utiče i približavanje kabla delovima zgrada, metalnim masama itd. Zbog toga se trakasti kablovi moraju polagati, po mogućnosti, u slobodnom prostoru, s tim da se ne pomeraju u odnosu na okolinu.



Sl. 5.9. Trakasti kabl (trakasti UKT kabl)



Sl. 5.10. Simetričan kabl sa kružnim presekom spoljnjeg izolacionog omotača

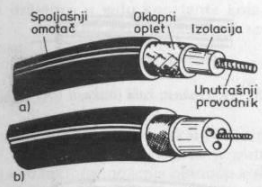
Simetrični kablovi u plaštu (omotaču), čiji spoljnji izolacioni omotač u vidu creva obuhvata oba provodnika, nisu toliko osetljivi na atmosferske uticaje. Dielektrik kod kablova sa omotačem obično sadrži dosta vazduha (penaste materije), pa je kod njih slabljenje manje nego kod odgovarajućih trakastih vodova (sl. 5.10).

Oklopljeni simetrični dvožilni kablovi, kao na sl. 5.11, veoma se retko koriste. Pored toga što su skuplji, slabljenje im je nešto veće nego kod odgovarajućih neoklopljenih dvožičnih kablova. Međutim, oklopljeni kablovi su otporniji na atmosferske uticaje i njihove karakteristike duže ostaju nepromenjene. Osim toga, oni se mogu položiti sasvim proizvoljno, bez obzira na okolinu. Oklopljeni simetrični dvožilni kablovi proizvode se sa karakterističnim impedancama od 120 Ω i 240 Ω.

Dvožilni simetrični, VF kablovi standardizovani su u standardom NDR-a TGL 11576. Skraćene tipske oznake kab-



Sl. 5.11. Oklopljeni dvožilni kabl



Sl. 5.12. Koaksijalni kabl: a – kabl sa punom izolacijom, b – kabl sa dielektrikom sa vazdušnim prostorima

lova formiraju se prema preporukama *Međunarodne komisije za elektrotehniku (IEC)*. One su objašnjene u tački 5.1.6.

5.1.3. Koaksijalni kablovi

Koaksijalni kablovi konstruisani su aksijalno simetrično. Zato se može reći da su nesimetrični u odnosu na zemlju. Koaksijalni kablovi sastoje se od unutrašnjeg provodnika koji je koncentrično okružen dielektrikom, od spoljašnjeg provodnika i od spoljašnjeg zaštitnog omotača (sl. 5.12). Unutrašnji provodnik je najčešće gola bakarna žica, a ređe bakarna uzica izrađena od više tankih žica (licna). Kao dielektrik koriste se VF izolacioni materijali sa malim gubicima (polietilen, polistirol i dr.). Postoje puni dielektrici (sl. 5.12a) i dielektrici sa vazdušnim među prostorima (sl. 5.12b).

Kabl sa punim dielektrikom odlikuje se nepromenljivim mehaničkim, a samim tim i električnim karakteristikama, neosetljivim na mehaničke uticaje. Puna izolacija povećava probojnu čvrstoću i obezbeđuje određenu zaštitu od prodiranja vlage. Kablovi sa šupljim dielektrikom odlikuju se malim slabljenjem, ali se moraju veoma brižljivo zaštiti od prodiranja vlage. Kao izolatori naročito su pogodni penasti materijali na bazi veštačkih masa, jer oni objedinjuju prednosti pune izolacije i izolacije sa vazdušnih prostorima (šupljinama). Naročito velike vazdušne prostore poseduju kablovi kod kojih za izolaciju unutrašnjeg od spoljašnjeg provodnika služi spirala od izolacionog materijala omotana oko unutrašnjeg provodnika (sl. 5.13). Oni se odlikuju veoma malim gubicima, ali su veoma podložni mehaničkim oštećenjima. Spoljašnji provodnik tankih koaksijalnih kablova izvodi se najčešće u vidu opleta od bakarne žice; za deblje kablove često se koristi oplet od bakarne trake. Kod kablova za velike snage primenjuje se bakarna folija sa žlebovima ili neka druga proizvedena na specijalni način.



Sl. 5.13. Koaksijalni kabl sa spiralnim dielektrikom

Spoljašnju zaštitu koaksijalnog kabla predstavlja omotač od plastične mase kao što je polivinilhlorid (PVC).

Njegov je zadatak da zaštiti kabl od prodiranja vlage i od mehaničkih oštećenja. Specijalni kablovi, npr., za podzemno polaganje, često imaju još jedan oplet od čelične žice, preko koga dolazi drugi plastični omotač.

Budući da se kod novih koaksijalnih kablova sa punom izolacijom najčešće koriste izolacioni materijali čije je $\varepsilon_r = 2{,}3$ dovoljno je da se podaci iz dijagrama na sl. 5.5 pomnože sa $1/\sqrt{2{,}3} \approx 0{,}66$. U ovom slučaju faktor skraćenja V, u odnosu na vod sa vazduhom kao dielektrikom, iznosi 0,66. Kod kablova sa dielektrikom sa vazdušnim prostorima, faktor skraćenja, uopšte iznosi, 0,8 do 0,9. Kod starijih koaksijalnih kablova često se sreće izolacija pomoću perlica od kalita. Dielektrična konstanta kalita je $\varepsilon_r = 6{,}5$. U ovom slučaju množi se sa $1/\sqrt{6{,}5} \approx 0{,}39$.

U NDR koaksijalni VF kablovi standardizovani su prema TGL 11575. Često se koriste koaksijalni kablovi sa karakterističnom impedancom od 60 Ω. Radi usklađivanja sa međunarodnim zahtevima potreban je prelaz na impedance od 50 Ω, odnosno 75 Ω, jer to odgovara Preporuci 96-2 IEC-a.

5.1.4. Slabljenje VF kablova

Slabljenje VF kabla zavisi od frekvencije i raste sa njenim povećanjem a karakteristična impedanca i faktor skraćenja nisu zavisni od frekvencije. Ako su kablovi zaključeni svojom karakterističnom impedancom, onda su gubici u njima određeni samo otpornošću provodnika i uglom gubitaka upotrebljenog izolacionog materijala.

Otpornost provodnika je znatno veća kod visokih frekvencija nego njihova otpornost kod jednosmerne struje, zbog skin-efekta (potiskivanja struje prema površini provodnika). Otpornost provodnika koja zavisi od frekvencije može se za uobičajene dimenzije vodova sa bakarnim provodnicima izračunati pomoću sledeće približne forme:

$$R\left(\frac{\Omega}{\text{km}}\right) = \frac{8{,}4}{d\,(\text{cm})} \cdot \sqrt{f\,(\text{MHz})} \qquad (5.13)$$

Otpornost za ukupnu dužinu voda dobije se sabiranjem otpornosti provodnika u polaznom i povratnom smeru. Ako provodnici nisu glatke žice ili cevi, otpornost se povećava, i to kod provodnika od bakarne uzice (licne) za oko ½ dok se kod ostalih opleta, uobičajenih za spoljašnje provodnike koaksijalnih kablova, može očekivati dvostruka ili trostruka otpornost.

Podaci proizvođača sadrže skoro uvek i vrednost slabljenja za čitav niz mernih frekvencija. Prigušenje se daje često u neperima po kilometru (Np/km). Podaci su ponekad i u decibelima na 100 m (dB/100m). U anglosaksonskim zemljama koristi se još i decibel na 100 stopa (db/100ft). Budući da ostaje najčešće koristi samo kratke provodnike, za njega je najpogodnija karakteristika slabljenja u db/100 m. Zbog toga su u tabeli 5.2 dati faktori za preračunavanje različitih vrsta podataka o slabljenju.

Tabela 5.2.

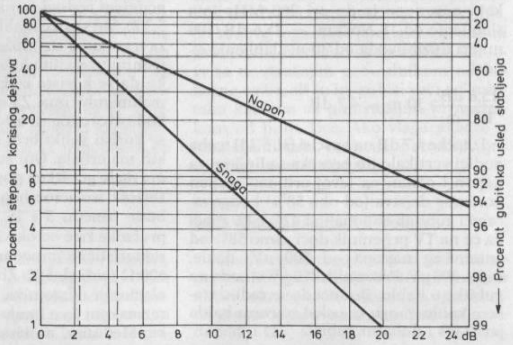
FAKTORI ZA PRERAČUNAVANJE PODATAKA O SLABLJENJU

1 Np · 8,686	= 1dB
1 dB · 0,1151	= 1Np
1 Np/km · 0,867	= 1dB/100 m
1 dB/100 m · 153	= 1Np/km
1 Np/km · 0,2645	= 1dB/100 ft
1 dB/100ft · 3,78	= 1 Np/km

Čisti gubici usled slabljenja kod visokofrekventnog voda mogu dostići velike vrednosti. Preporučuje se da se izradi energetski bilans antenskog postrojenja, naročito kada se moraju koristiti duži provodnici. Dijagram na sl. 5.14 omogućava da se pri poznatom slabljenju u decibelima vrlo brzo i jednostavno odredi procenat stepena korisnog dejstva, odnosno gubitaka snage i napona. Dva primera prikazaće kako se ovaj dijagram primenjuje u praksi.

Primer

UKT predajnik izlazne VF snage od 100 W, pri frekvenciji od 145 MHz treba da napaja predajnu antenu pomoću



Sl. 5.14. Dijagram za izračunavanje gubitaka napona i snage

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

koaksijalnog kabla dužine 25 m, 60 Ω, tipa 60–7–1. Za ovaj tip kabla dat je podatak da pri 145 MHz slabljenje voda iznosi 10,5 Np/km, što odgovara 9,1 dB/100 m. Budući da dužina voda iznosi samo 25 m, stvarno slabljenje voda iznosiće $\frac{1}{4}$ vrednosti slabljenja na 100 m, tj. 9,1 dB: 4 ≈ 2,3 dB. Na spascisi (sl. 5.14) potražićemo tačku od 2,3 dB, pa odatle podići vertikalu do preseka sa linijom snage. Na levoj ordinati očitaćemo da se pri slabljenju od 2,3 dB raspolaže još sa 60 % postojeće snage, jer se 40 % gubi usled slabljenja (desna ordinata) u koaksijalnom kablu. To znači da se od VF snage od 100 W u kablu gubi već 40 W.

Ako bi se u ovom slučaju upotrebio visokokvalitetni kabl, npr., tipa 60 – 10 – 3, onda bi odnosi bili znatno povoljniji. Pri slabljenju snage od oko 1,1 dB, stepen korisnog dejstva iznosi oko 78 %, pa se u našem primeru, gubici snage smanjuju na 22 W.

Primer 2

TV prijemnik priključen je na TV antenu trakastim VF kablom od lošeg izolacionog materijala (PVC), dužine 30 m. Antena je podešena na kanal 8 III opsega sa srednjom frekvencijom od oko 200 MHz. U tački napajanja antene izmeren je korisni napon od 500 μV. Treba odrediti slabljenje napona prouzrokovano trakastim kablom. U podacima za trakasti VF kabl navedeno je da pri 200 MHz ima slabljenje od 18 Np/km = 15,6 dB/100 m. Pri dužini voda od 30 m slabljenje iznosi:

$$\frac{15{,}6 \text{ dB}}{100 \text{ m}} \cdot 30 \text{ m} \approx 4{,}7 \text{ dB}$$

Iz tačke 4,7 dB na apscisi (sl. 5.14) treba podići vertikalu do preseka sa linijom za napon i očitati na levoj ordinati stepen korisnog dejstva (od oko 58%) i odgovarajući gubitak napona (od 42%). To znači da će na TV prijemnik doći samo 58% od antenskog napona od 500 μV, dakle, samo 290 μV. Preostalih 210 μV otpada na gubitke u kablu. Budući da se radi o starom kablu, mogu se usled starenja kabla javiti još i dodatni gubici.

Visokokvalitetni trakasti kabl od 240 Ω, npr., sa kružnim presekom spoljašnje izolacije, može da stvori povoljnije odnose. Slabljenje takvog kabla na 200 MHz iznosi 6,7 dB/100 m, a dužini kabla od 30 m odgovara oko 2 dB. Prema sl. 5.14, za 2 dB dobije se slabljenje napona od samo 20%, tj. TV prijemnik bi raspolagao sa ulaznim naponom od 400 μV.

Oba primera prikazana su isprekidanom linijom na sl. 5.14. Iz toga se može zaključiti da, naročito na području UKT, slabljenje kabla može dostići velike vrednosti. Zbog toga treba voditi računa da vodovi za napajanje budu što je moguće kraći i veoma kvalitetni.

Često se zbog lošeg prilagođavanja javljaju znatni gubici zračenja koji se sabiraju sa slabljenjem voda. Time se još više pogoršava stepen korisnog dejstva antene. Gubici usled lošeg prilagođenja određeni su u tački 5.2.2.

Tabele sa karakterističnim podacima standardizovanih VF kablova date su u Prilogu knjige (tabele 34.16 do 34.22).

5.1.5. Uputstva za korišćenje VF vodova

Otvoreni dvožični vod (»kokošije lestvice«) opravdano postoji i danas u radioamaterstvu. U kratkotalasnom području nema zamenu, naročito kada su potrebni *podešeni* vodovi za napajanje (vidi tačku 5.3.2). Što se tiče malih gubitaka, ovaj vod za napajanje ne može se uporediti ni sa jednim trakastim kablom, uz pretpostavku da se koriste izolacioni odstojnici sa malim gubicima. Za održavanje razmaka kod otvorenog dvožičnog voda može da se koristi veliki broj savremenih veštačkih materijala. Oni su lagani, imaju veoma male gubitke i pogodni su za obradu. Dužina izolacionih odstojnika treba da bude između 5 i 15 cm. Uz uobičajene prečnike žice od oko 2 mm postižu se karakteristične impedance između 480 Ω i 600 Ω (vidi sl. 5.4). Zbog većih dužina izolacionih odstojnika, vodovi sa velikim razmakom žice imaju veoma male gubitke. Međutim, na visokim frekvencijama

(npr., 28 MHz) postoji opasnost da »široki« vodovi i sami malo zrače. Zračenje izaziva gubitke, a može da stvori i smetnju u radio i TV prijemu (tzv. BCI i TVI). Odstojnici dužine od oko 10 cm mogu se uspešno koristiti za sve amaterske kratkotalasne opsege. Ne treba štedeti odstojnike za održavanje rastojanja, jer će tada vod i na vetru ostati još dovoljno krut.

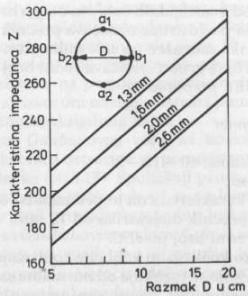
Pri postavljanju provodnika »kokošijih lestvica« treba izbegavati nagle promene smera. Naročito treba voditi računa o tome da se ovi vodovi ne postave paralelno sa drugim provodnicima. Ukoliko se ne može izbeći postavljanje u blizini oluka i ostalih većih metalnih delova, treba ih od njih udaljiti najmanje za tri širine voda.

Malo poznati četvorožilni vod za napajanje predstavlja skoro idealan paralelni žičani vod. On se sastoji od 4 paralelno vođena pojedinačna provodnika koji su na ravnomernom rastojanju učvršćeni po obimu kružne ploče ili na 4 temena kvadrata. Plastične ploče (to mogu da budu i odstojnici u vidu krsta) imaju isti zadatak kao i odstojnici »kokošijih lestvica«. Ove ploče treba da obezbede isti razmak između sva četiri provodnika koji su na taj način vođeni kao četiri podjednako udaljene šibe jednog cilindričnog kaveza.

Na početku i na kraju ovog voda povezuju se po dva međusobno suprotna provodnika (a_1 sa a_2, i b_1 sa b_2, sl. 5.15). Time se postiže električna funkcija simetričnog dvožičnog voda. I u ovom slučaju, prečnik pločica, odnosno udaljenost provodnika treba da bude između 5 i 15 cm. Četvorožični vodovi ovakve vrste imaju manju karakterističnu impedancu od jednostavnih dvožičnih vodova sa istim razmakom između provodnika (Z je između 180 Ω i 280 Ω). Njihova karakteristična impedanca Z u Ω izračunava se prema

$$Z\ (\Omega) = 138 \lg \frac{D\ (\text{mm})}{d\ (\text{mm})}$$

Takav vod poseduje izvanrednu simetriju i male gubitke usled zračenja. Osim toga, u poređenju sa njemu odgovarajućim dvožičnim vodom, on nije toliko osetljiv na uticaje okoline. Na sl. 5.15 pri-



Sl. 5.15. Karakteristična impedanca Z četvorožičnog napojnog voda u zavisnosti od dijagonalnog razmaka D za različite prečnike provodnika (parametar)

kazan je dijagram karakterističnih impedanci koje se mogu očekivati kod četvorožičnih vodova sa različitim prečnicima provodnika, u zavisnosti od dijagonalnog razmaka provodnika.

Zbog prethodno navedenih mana radio-amateri samo izuzetno treba da koriste trakaste UKT kablove (npr., kod prenosnih uređaja).

Iako je najskuplji, koaksijalni kabl je za radio-amatera najbolji vod za napajanje. Već su navedene električne prednosti koaksijalnog kabla. On se može montirati kao mrežni kabl, a ako mu spoljašnji zaštitni omotač nije oštećen, sme se položiti i na tlo. Treba izbegavati oštro savijanje, jer se zbog toga može pomeriti unutrašnji provodnik. Naročito su fleksibilni kablovi sa unutrašnjim provodnikom od bakarne uzice, ali su im gubici veći od gubitaka kablova sa unutrašnjim provodnikom od pune žice. Ako vlaga prodre u koaksijalni kabl, on je neupotrebljiv, jer se vlaga ne može izvući.

5.1.6. Označavanje VF vodova

Kratka tipska oznaka voda formira se prema *IEC publikaciji 78*. U tom novom načinu skraćenog označavanja prva brojna grupa označava karakterističnu impedancu u Ω.

Kod koaksijalnih kablova druga brojna grupa posle crtice označava prečnik dielektrika zaokružen na cele milimetre. Treća brojna grupa označava redni broj prema *IEC preporuci 96-2*.

Primer

Tip kabla: 60 – 10 – 3
gde su:
60 – karakteristična impedanca od 60 Ω,
10 - prečnik dielektrika od 10 mm,
3 – redni broj po *IEC*.

Ako koaksijalni kabl ima spoljašnju zaštitu koja se razlikuje od normalne sa jednostavnim PVC omotačem, onda se označava tačkom (koja se stavlja iza treće brojne grupe) kao i četvrtom brojnom grupom koja sledi iza te tačke. Pri tome je:

.0 – izvedba bez zaštitnog omotača;
.3 – izvedba sa plastičnim zaštitnim omotačem i oklopom;
.4 – izvedba sa zaštitnim plastičnim omotačem, oklopom i spoljašnjim zaštitnim plastičnim omotačem;
.40 – izvedba sa zaštitnim plastičnim omotačem, zaštitnim opletom i spoljašnjim zaštitnim omotačem.

Kod simetričnih VF vodova, posle vrednosti karakteristične impedance (prva brojna grupa) sledi slovo koje označava oblik preseka.

Oznake slovima znače:

A – neokopljen simetrični VF vod sa tankom dielektričnom vezom između oba izolovana provodnika;
B – neokopljen simetrični VF vod sa dielektrikom iste debljine oko oba provodnika;
C – neokopljeni simetrični VF vod sa spoljašnjim izolacionim omotačem u vidu cevi;
D – okopljeni simetrični VF vod.

Posle slova za oznaku preseka, kod neokopljenih simetričnih VF vodova, sledi broj koji predstavlja razmak između oba provodnika, dok kod okopljenih simetričnih VF vodova, kao i kod koaksijalnih kablova, taj broj označava prečnik dielektrika.

Na kraju sledi redni broj i oznaka spoljašnje zaštite, kao kod koaksijalnih VF kablova.

Primer

VF vod 300A7 – 1 gde je:
300 – karakteristična impedanca od 300 Ω;
A – neokopljen simetričan VF vod sa tankim dielektričnim spojem između oba izolovana provodnika;
7 – razmak provodnika oko 7 mm;
1 – redni broj po IEC.

5.1.7. Jednožilni talasovod (*Goubauov vod*)

Za prenos visokih frekvencija na veće udaljenosti uz male gubitke delimično se koristi jednožilni talasovod. On se naziva po njegovom pronalazaču, fizičaru *dr Georgu Goubau* i poznat je kao *Goubauov* vod.

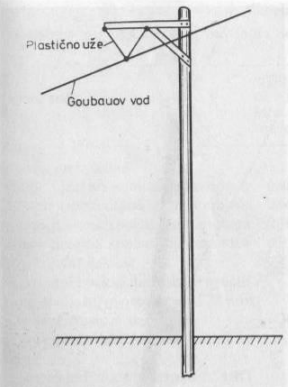
Površinski talasovod je neverovatno jednostavan. On se sastoji od metalnog provodnika obavijenog tanjim ili debljim slojem izolacionog materijala (sl. 5.16).

Izolacioni materijal koji obavija provodnik pospešuje koncentraciju elektromagnetnog polja oko provodnika. Poznato je da je brzina prostiranja visoko frekventnih talasa u dielektriku od izolacionog materijala manja nego u okolnom vazduhu. Zbog toga se može zamisliti da izolacioni omotač oko provodnika zadržava elektromagnetno polje u svojoj blizini. U dielektriku omotača od veštačke mase dalje se širi samo veoma mali deo energije polja; najveći deo energije kreće se u vazduhu koji opkoljava vod.

U zavisnosti od načina izrade voda (prečnika metalnog unutrašnjeg provodnika, kao i vrste i prečnika obavijenog dielektrika od veštačke mase), energija polja se prostire kroz cilindrični vazdušni prostor oko voda čiji poluprečnik iznosi oko 2 do 3 talasne dužine. Jačina polja oko voda vrlo brzo opada prema spoljaš-



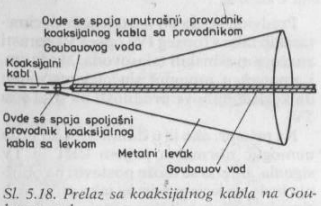
Sl. 5.16. Konstrukcija Goubauovog voda sa stanovišta upotrebljenog materijala



Sl. 5.17. Svrsishodno pričvršćenje Goubauovog voda

njosti, tako da oko 90% prenošene energije struji u vazdušnom prostoru oko provodnika čiji je poluprečnik 0,7 λ. Prenošenje energije u okolnom vazdušnom prostoru vrši se praktično bez zračenja, pa zbog toga *Gaubauov* vod ima izrazito malo slabljenje, pod uslovom da se u prostoru oko ovog voda ne nalaze metalni ili veći dielektrični predmeti. Prečnik prostora u kome se prenosi 90% ukupne energije, naziva se granični prečnik.

Gaubauove vod treba položiti, po mogućnosti, pravolinijski. Promene smera dozvoljene su do ugla savijanja od 20°. Površinski talasovod postavlja se na drvene stubove sa poprečnim nosačem, kao na sl. 5.17.



Sl. 5.18. Prelaz sa koaksijalnog kabla na Goubauov vod

Vod visi na plastičnom užetu koje je, radi obezbeđenja određenog rastojanja od nosača, savijeno u vidu slova V.

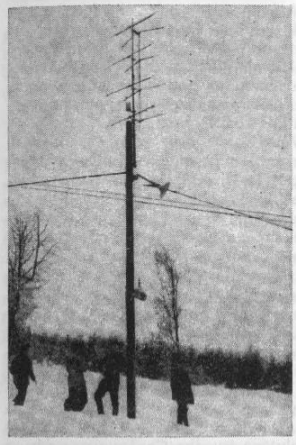
Gaubauov vod predstavlja nesimetričan sistem, pa postoji mogućnost da se veza sa izvorom energije ostvari pomoću kratkog koaksijalnog kabla.

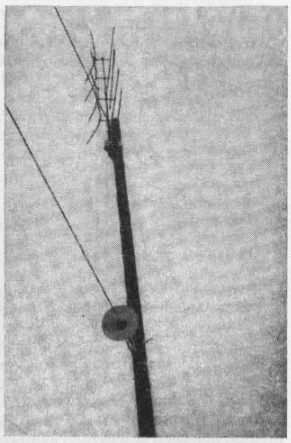
Veza *Gaubauovog* voda sa koaksijalnim kablom ostvaruje se pomoću metalnog levka (sl. 5.18). Spoljašnji provodnik koaksijalnog kabla zalemi se na levak, a unutrašnji provodnik se u dnu levka poveže sa *Gaubauovim* vodom. Gubici usled spajanja su mali, ako dimenzije levka nisu premale. Naročito dobri rezultati se postižu sa levkom dužine od 1 λ i njegovim prečnikom od oko λ/2.

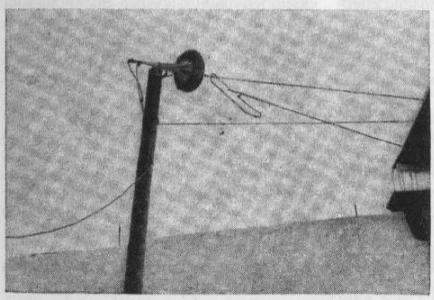
Dobro su se pokazali i eksponencijalni levci pomoću kojih se postižu manji gubici na spoju nego pomoću normalnog levka. Eksponencijalni oblik obezbeđuje optimalan prelaz sa koaksijalnog kabla na *Goubauov* vod. Na sl. 5.19 prikazana je praktična izvedba *Goubauovog* voda sa eksponencijalnim levkom. Sistem na slici obezbeđuje TV prijem u selu koje se nalazi u dolini između planina. Prijemna antena smeštena je na brdo, pa se primljeni TV signal pojačava u pojačavaču na antenskom stubu, pa se zatim *Goubauovim* vodom dovodi pojedinim korisnicima. Prijem signala vrši se veoma jednostavno pomoću dipola spregnutog sa Goubauovim vodom.

Korisno je uporediti vrednosti slabljenja *Goubauovog* voda sa vrednostima slabljenja komercijalnih koaksijalnih kablova i simetričnih vodova sa izolacijom od plastične mase. Iz tabele 5.3 vidi se da su gubici *Goubauovih* vodova najmanji. Proizvode se dva tipa jednožilnih talasovoda. Oni pretežno služe za povezivanje udaljenih prijemnih TV antena sa grupama TV prijemnika u mestima sa nepovoljnim uslovima za prijem. Tip 2/5 koristi se u predelima sa normalnim klimatskim uslovima; tip 4/10 pogodniji je za viša područja, gde se mogu očekivati led i inje. Karakteristike navedenih jednožilnih talasovoda date su u tabeli 5.4.

Navedeno slabljenje važi samo za jednožilni talasovod, jer nije uzet u obzir levak za spregu. Ako na vodu ima vlage, odnosno leda i inja, slabljenje je veće. Proiz-







Sl. 5.19 Praktična izvedba Goubauovog voda sa eksponencijalnim levcima

vođač preporučuje da prečnik otvora konične levka za spregu bude najmanje 68% od graničnog prečnika.Trenutno u praksi se koristi veći broj *Goubauovih* vodova dužine do 20 km. Oni pretežno služe za dovod TV programa u udaljene planinske oblasti.

Goubauov vod se pokazao naročito pogodan i za dovod energije od UKT predajnika do predajnih antena koje su smeštene na visokim stubovima.

Predviđa se da će u području decimetarskih talasa (opseg IV i opseg V) porasti značaj površinskih talasovoda. Međutim, i amateri, u mnogim slučajevima mogu da koriste njihove prednosti na UKT i za TV.

Na primer, ako je u dolini između brda nemoguć normalan prijem UKT ili TV signala, antena se može postaviti na obližnje brdo na kojem postoji jako polje ovih signala, pa uz relativno male troškove,

Tabela 5.3.

VREDNOSTI SLABLJENJA RAZLIČITIH VODOVA ZA NAPAJANJE

Vrsta voda	Slabljenje na 200 MHz u Np/km
Goubauovi vodovi	
25 mm prečnik spoljašnjeg omotača	0,25
10 mm prečnik spoljašnjeg omotača	0,60
8 mm prečnik spoljašnjeg omotača	0,70
5 mm prečnik spoljašnjeg omotača	0,92
Koaksijalni kablovi	
Kvalitetni koaksijalni kabl sa prečnikom spoljašnjeg omotača od 22 mm i sa šupljikastom izolacijom	4,30
Dobar koaksijalni kabl sa punom izolacijom	9 . . . 15
VF trakasti vodovi (trakasti UKT kablovi) Oklopljeni simetrični vodovi	9 . . . 30

Gaubonovim vodom dugim više stotina metara povezati antenu sa UKT primopredajnikom ili TV prijemnikom.

Osim toga, danas se jednožilni talasovod koristi i za prenos signala (uz male gubitke) sa UKT i TV predajnika u opsezima II, III i IV. Naročito je interesantna primena *Gaubauovog* voda kao veštačke antene. Ako se jednožilni talasovod, dužine najmanje 20 talasnih dužina, postepeno približava dielektriku sa velikim gubicima, nastupiće potpuna apsorpcija površinskog talasa. Dielektrici sa velikim gubicima su, na primer, beton, zid, šljunak, belutak, glina ili zemlja crnica.

Kao izolacioni materijal *Goubauovih* vodova koristi se *polietilen*. Odnos prečnika metalnog provodnika prema spoljašnjem prečniku omotača od izolacionog materijala približno je 1 : 2,5. Budući da *polietilen* pod dužim uticajem Sunčevog zračenja stari, taj materijal se često boji čađu, što predstavlja efikasnu zaštitu od atmosferskih uticaja. Ova mera pogoršava dielektrične karakteristike *polietilena*, pa se povećava slabljenje voda. Zbog toga se, u novije vreme, čađ dodaje samo u spoljašnji sloj *polietilenskog* omotača, čime jednožilni talasovod postaje otporniji na atmosferilije, s tim što mu slabljenje nije povećano. Amater za eksperimente može koristiti obične bakarne žice sa izolacijom od veštačke mase. Ovako improvizovani *Goubauovi* vodovi imaju veoma široko rasipno polje i veće slabljenje.

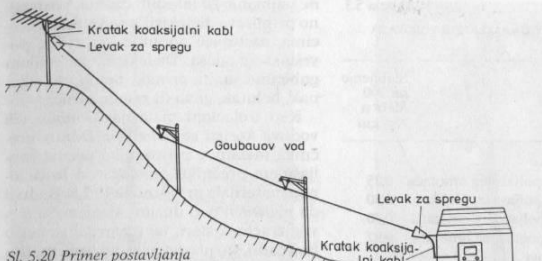
5.2. Fizičke osobine VF vodova

Najveća snaga prenosi se samo onda kada je impedanca generatora R_i (npr., izlazni stepen predajnika) prilagođena im-

Tabela 5.4.

JEDNOŽILNI TALASOVODI

Jednožilni talasovodi	Tip 2/5	Tip 4/10
Provodnik	Okrugla bakarna žica, prečnik 2 mm	Okrugla bakarna žica, prečnik 4 mm
Dielektrik	Polietilen, prečnik 5 mm	Polietilen, prečnik 10 mm
Srednje slabljenje na:		
150 MHz	0,77 Np/km	0,50 Np/km
200 MHz	0,95 Np/km	0,63 Np/km
250 MHz	1,10 Np/km	0,76 Np/km
500 MHz	2,00 Np/km	1,40 Np/km
Granični prečnik na:		
150 MHz	2,3 m	2,1 m
200 MHz	1,6 m	1,5 m
250 MHz	1,3 m	1,2 m
500 MHz	0,6 m	0,56 m



Sl. 5.20 Primer postavljanja Goubauovog voda

pedanci potrošača R_a (npr., antena). Vod za napajanje koji služi za prenos energije mora, takođe, zadovoljiti uslove prilagođenja. Njegova karakteristična impedanca Z mora biti jednaka R_i i R_a:

$$R_i = Z = R_a \qquad (5.14)$$

U slučaju prilagođenja, gubici usled prenosa svode se samo na gubitke u bakru provodnika i na dielektrične gubitke.

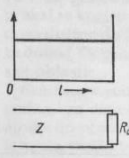
5.2.1. Raspodela napona duž dvožičnog voda

Ako je kraj dvožičnog voda zaključen otporom opterećenja R_a čija vrednost odgovara karakterističnoj impedanci voda Z, onda će sva snaga koja teče prema otporu R_a biti utrošena u njemu. Pri tom se napon (a samim tim i struja) raspodeljuje tako da u svim tačkama voda ima istu vrednost.

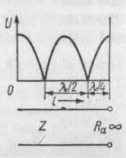
Na sl. 5.21 prikazan je ovakav primer prilagođenja.

Ako se odvoji zaključni otpornik, otvoreni kraj voda predstavlja beskonačnu otpornost proticanju struje ($R_a \infty$). Talas koji je krenuo od predajnika prema kraju voda ne nailazi na potrošač, pa se u potpunosti reflektuje prema svojoj polaznoj tački (sl. 5.22). Na taj način u vodu nastaje polazni i povratni talas. Zbog konačnog vremena prostiranja javlja se superpozicija polaznog i povratnog talasa. Ona prouzrokuje maksimume i minimuje napona, koji se raspoređuju po dužini voda za napajanje, pri čemu se na otvorenom kraju voda uvek nalazi maksimum napona, kao što je prikazano na sl. 5.22. Isto važi i za raspodelu struje. Na otvorenom kraju voda ne može da teče struja, pa je tu minimum struje (odnosno 0 struje). To znači da se na mestu maksimuma napona nalazi minimum struje i obratno. Budući da se radi o talasnom kretanju, kaže se da su napon i struja fazno pomereni za 90°. Na razmaku od $\lambda/4$, u skladu sa sinusnim tokom, smenjuju se maksimumi napona i maksimumi struje. Ovakve talasne raspodele struje i napona na vodu nazivaju se *stojeći talasi*.

Stojeći talasi javljaju se na vodu uvek kada postoje reflektovani talasi. Tada je napon u svakoj datoj tački voda jednak vektorskoj sumi napona polaznog i povratnog talasa. Vektorsko prikazivanje



Sl. 5.21. Raspodela napona na VF vodu u slučaju prilagođenja ($R_a = Z$)



Sl. 5.22. Raspodela napona na VF vodu sa otvorenim krajem (prazan hod, $R_a = \infty 0$

zasniva se na vremenskom toku prostiranja elektromagnetnih talasa (vidi sl. 1.1). Raspodela struje i napona stojećih talasa formira se u skladu sa trenutnim faznim odnosima u toku prostiranja polaznih i reflektovanih talasa. Impedanca u svakoj tački voda za napajanje jednaka je odnosu napona i struje koji kroz njega prolaze.

Talasnost voda izražava se *odnosom stojećih talasa*, odnosno faktorom talasnosti s. To je odnos najvećeg napona na vodu prema najmanjem

$$s = \frac{U_{max}}{U_{min}} \quad s \text{ je uvek} \geqq 1 \qquad (5.15)$$

U slučaju prilagođenja, na vodu postoji samo polazni talas, jer na završnom otporniku R_a nema refleksije. Zbog toga, ne postoji ni talasnost, pa faktor talasnosti iznosi $s = 1$.

Recipročna vrednost faktora talasnosti s predstavlja faktor prilagođenja m

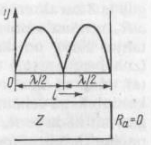
$$m = \frac{U_{min}}{U_{max}} \quad m \text{ je uvek} \leqq 1 \qquad (5.16)$$

Iz toga proizilazi jednostavna zavisnost

$$m = \frac{1}{s} \text{ i } s = \frac{1}{m}$$

Kod voda koji je na kraju kratko spojen, maksimumi i nule napona pomeraju se samo za $\lambda/4$ u odnosu na otvoren vod, jer se na kratkom spoju ($R_a = 0$) ne može stvoriti napon (sl. 5.23).

Prazan hod i kratak spoj predstavljaju dva ekstremna slučaja završavanja voda. Oni se mogu prepoznati po tome što se na vodu, na svakih $\lambda/2$ raspodele napona, javljaju izrazite nule.



Sl. 5.23. Raspodela napona na VF vodu čiji je kraj kratko spojen (kratak spoj, $R_a = 0$)

Sada treba ispitati kakva je raspodela napona kada završni otpornik R_a nije ni nula (kratak spoj) ni beskonačan (prazan hod). Na sl. 5.24a prikaz je napon u slučaju kada je završni otpor R_a veći od karakteristične impedance voda Z. Sada ne dolazi do potpune refleksije, jer se manji ili veći deo energije troši u otporu opterećenja. Samo »preostali« delovi, koje otpornik R_a ne može više da potroši zbog neprilagođenja ($R_a > Z$), reflektuju se prema početku voda i prouzrokuju stojeće talase. Odnos maksimuma napona prema minimumu napona – talasnost – puno je manji nego u slučaju kratkog spoja ili praznog hoda, a ne postoje ni mesta na kojima je napon jednak nuli.

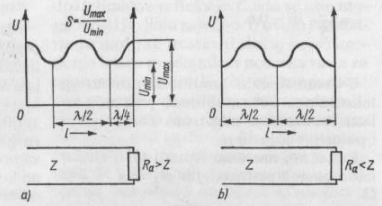
Na sl. 5.24b prikazan je primer kada je $R_a < Z$. Na kraju voda javlja se minimum napona, dok je na sl. 5.24a na kraju voda maksimum napona ($R_a > Z$). Pri tome, koeficijent refleksije, r definiše intenzitet reflektovanog dela signala.

On se dobija iz izraza

$$r = \frac{\frac{R_a}{Z} - 1}{\frac{R_a}{Z} + 1} \qquad (5.17)$$

ili

$$r = \frac{R_a - Z}{R_a + Z}, \qquad (5.18)$$



Sl. 5.24. Raspodela napona u slučaju neprilagođenja na kraju voda; a – $R_a > Z$, b – $R_a < Z$

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

gde je Z karakteristična impedanca voda, a R_a završna otpornost voda. Ako je u pitanju čisto omska završna otpornost (znači ne postoje reaktivne komponente), tada ni koeficijent refleksije r nije kompleksna veličina. Ako je $R_a > Z$, a negativan kada je $R_a < Z$, iz navedene jednačine dobije se pozitivan rezultat.

Primer

Vod karakteristične impedance $Z = 240\ \Omega$ zaključen je predajnom antenom čija je otpornost na priključku R_a realna i iznosi 480 Ω.

Koeficijent refleksije izračunava se prema obrascu (5.17)

$$r = \frac{\frac{480\ \Omega}{240\ \Omega} - 1}{\frac{480\ \Omega}{240\ \Omega} + 1} = \frac{2-1}{2+1} = \frac{1}{3}$$

ili

$$r = +0{,}33$$

Prema tome amplituda reflektovanog talasa iznosi $\frac{1}{3}$ ili 0,33 od amplitude polaznog talasa i istog je polariteta (predznak +, $R_a > Z$). Ako kod istog napojnog voda završni otpor iznosi samo 60 Ω, onda je koeficijent refleksije

$$r = \frac{\frac{60\ \Omega}{240\ \Omega} - 1}{\frac{60\ \Omega}{240\ \Omega} + 1} = \frac{0{,}25 - 1}{0{,}25 + 1} = \frac{-0{,}75}{1{,}25} =$$

$$= \frac{-3}{5} \text{ ili } -0{,}6.$$

U ovom slučaju, amplituda povratnog talasa iznosi 60% amplitude polaznog talasa. Predznak je negativan. Zbog toga je i polaritet suprotan.

Konačno, možemo ispitati još i slučaj kada postoji prilagođenje $R_a = Z = 240\ \Omega$.

$$r = \frac{\frac{240\ \Omega}{240\ \Omega} - 1}{\frac{240\ \Omega}{240\ \Omega} + 1} = \frac{1-1}{1+1} = \frac{0}{1} = 0$$

Kada je koeficijent refleksije jednak nuli, to znači da ne postoji reflektovani talas i da nema talasnosti.

Između faktora m, r i s koji su bez dimenzija, postoje još sledeći odnosi iz kojih se vidi njihova međusobna zavisnost

$$s = \frac{1+r}{1-r}, \tag{5.19}$$

kao i

$$m = \frac{1-r}{1+r}, \tag{5.20}$$

i

$$r = \frac{1-m}{1+m}, \tag{5.21}$$

Ako je $R_a < Z$ dobije se

$$s = \frac{Z}{R_a} \tag{5.22}$$

i

$$m = \frac{R_a}{Z} \tag{5.23}$$

Ako je $R_a > Z$ dobija se

$$s = \frac{R_a}{Z} \tag{5.24}$$

i

$$m = \frac{Z}{R_a} \tag{5.25}$$

Ako se vod završi čistom reaktivnom otpornošću, kao što je kapacitivnost ili induktivnost, onda je raspodela napona ista kao u slučaju praznog hoda ili kratkog spoja, jer reaktivna otpornost ne troši nikakvu snagu, već je reflektuje. Kriva raspodele napona pomeri se duž voda samo toliko koliko odgovara padu napona koji se javlja na kraju voda na kondenzatoru ili na zavojnici.

I generator i potrošač, pored aktivne otpornosti, poseduju i reaktivne komponente. Reaktivne otpornosti označavaju se simbolom X i one mogu biti pozitivne (induktivna reaktanca, označava se i sa X_L) ili negativne (kapacitivna reaktanca, označava se i sa X_C). Reaktivne otpornosti onemogućavaju prilagođenje, jer izazivaju refleksije i time smanjuju stepen korisnog dejstva pri prenošenju snage. Reaktivne komponente u izlaznom stepenu predajnika mogu se otkloniti odgovarajućim merama podešavanja. Reaktivne komponente otpornosti na antenskom priključku javljaju se kada antena nije u rezonanci sa frekvencijom koja je pobuđuje. U tom slučaju, antena se mora dovesti u rezonancu promenom njene dužine ili se mora izvršiti kompenzacija kapacitivne reaktance pomoću induktiviteta i obratno. Puno prilagođenje može se izvršiti tek kada se otklone reaktivne komponente ili kada se izvrši njihova kompenzacija.

5.2.2. Dodatni gubici snage zbog stojećih talasa

Svaki VF vod ima određeno slabljenje po jedinici dužine. Slabljenje zavisi od frekvencije i posledica je gubitaka u provodnicima (gubici u bakru) i u dielektriku između provodnika (dielektrični gubici), kao što je već objašnjeno u tački 5.1.4. Ovo slabljenje se ne može izbeći ni kod jednog provodnika i naziva se slabljenjem voda. Ako je vod za napajanje zaključen i na strani predajnika i na antenskom kraju sa karakterističnom impedancom Z, tj. ako je prilagođen, javlja se samo slabljenje voda. Na primer, ako slabljenje voda iznosi 3 dB, do antene će stići samo polovina VF snage koju daje predajnik (tabela 34.9), a druga polovina pretvoriće se u toplotne gubitke voda za napajanje. Budući da se za industrijski proizvedene VF kablove uvek navodi slabljenje, u slučaju prilagođenja mogu lako izračunati gubici. Ako vod nije prilagođen, u provodnicima se javljaju dodatni gubici. Radi objašnjenja dodatnih gubitaka u provodnicima polazi se od činjenice da danas većina amaterskih predajnika radi sa prilagođenim vodovima za napajanje (vidi tačku 5.3.1). U većini slučajeva, za napojne vodove koriste se koaksijalni kablovi sa karakterističnom impedancom od 50 do 75 Ω. Osim toga, savremeni amaterski predajnici poseduju kolo za prilagođenje izlaznog stepena kojim se, putem promene vrednosti njegovih promenljivih suštinskih delova, vrši prilagođenje izlaza predajnika na priključeni koaksijalni kabl. Ako je antena u rezonanci sa frekvencijom predajnika, predajnik će biti opterećen aktivnom otpornošću; pri tome se još zahteva da realna otpornost na antenskom priključku bude jednaka karakterističnoj impedanci kabla. To je idealan slučaj koji se retko javlja u praksi. Ne može se izbeći rad antene i izvan rezonance, jer se radna frekvencija predajnika menja unutar celog dozvoljenot amaterskog opsega. To znači da se u tački napajanja antene javlja reaktivna otpornost usled promene frekvencije predajnika, koja može biti kapacitivna ili induktivna. Budući da se u reaktivnoj otpornosti ne troši snaga, antena više ne predstavlja aktivno opterećenje pa se veći ili manji deo snage reflektuje nazad prema početku voda za napajanje. U vodu za napajanje vrši se superpozicija »polaznog« talasa sa »povratnim« (reflektovanim) talasom, pa se u njemu stvaraju stojeći talasi, kao što je opisano u tački 5.2.1. Reaktivne komponente koje se iz voda za napajanje prenose na izlaz predajnika, mogu se kompenzovati postojećim elementima za podešavanje ili dodatnim sklopovima za prilagođenje.

Druga mogućnost nastajanja stojećih talasa javlja se kada je otpornost u tački napajanja priključene antene realna, ali po vrednosti ne odgovara karakterističnoj impedanci voda Z, tako da opet dolazi do delimične refleksije. Često se obe mogućnosti javljaju zajedno. U ovom razmatranju može se izostaviti slučaj neprilagođenja izlaza predajnika i početka voda za napajanje, jer uvek postoji mogućnost ostvarivanja prilagođenja, bilo podešavanjem predajnika, bilo uključivanjem sklopa za prilagođenje. Ako je ostvareno prilagođenje na strani predajnika, neće doći do gubitaka na samom izlazu predajnika, bez obzira na faktor talasnosti u

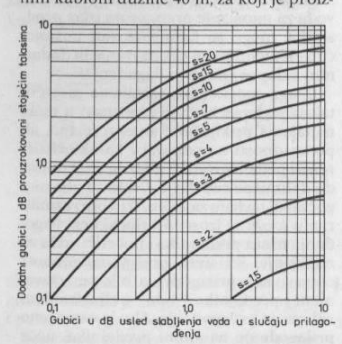
vodu za napajanje. Ta činjenica se često gubi iz vida.

Kada na vodu postoje stojeći talasi sa porastom faktora talasnosti s povećava se njegovo slabljenje. To je posledica činjenice da sa porastom faktora talasnosti s dolazi do povećanja efektivnih vrednosti struje i napona. Jača efektivna struja povećava omske gubitke u vodu (»gubici u bakru«), a veći efektivni napon povećava dielektrične gubitke. Na taj način povećava se ukupno slabljenje voda. Taj proces može se još jasnije zamisliti ako se pretpostavi da reflektovani deo mora još jedanput proći kroz vod za napajanje i pri tom se opet vrši slabljenje u vodu.

Pomoću dijagrama na sl. 5.25 mogu se odrediti ukupni gubici (u decibelima) koji se javljaju u neprilagođenom vodu za napajanje. Date su krive za sve faktore talasnosti s koji se javljaju u praksi, a međuvrednosti se mogu odrediti interpolacijom. Mnogi amateri precenjuju uticaj dodatnih gubitaka usled neprilagođenja na bilans snage antene, pa ćemo na praktičnim primerima, pomoću dijagrama datog na sl. 5.25, detaljnije ispitati stvarno stanje.

Primer 1

Predajna antena čija je rezonantna frekvencija 3.600 kHz napaja se koaksijalnim kablom dužine 40 m, za koji je proizvođač naveo podatak da za datu frekvenciju ima slabljenje od 2 dB/100 m. Ostvareno je prilagođenje, pa ne postoje stojeći talasi. Ukupni gubici za dužinu voda od 40 m iznose (40 m/100 m) · 2 db = 0,8 dB. Ako se frekvencija predajnika unutar amaterskog opsega promeni tako da na tački napajanja antene izmereni odnos stojećih talasa naraste najviše do $s = 3$, na sl. 5.25 očitače se dodatni gubitak usled stojećih talasa od 0,45 dB. Dodatni gubitak biće ispod 1 dB, čak ako je $s = 5$. Na osnovu praktičnih iskustava utvrđeno je da se smanjenje snage $\leqslant 1$ dB uopšte ne zapaža kao smanjenje jačine zvuka na prijemniku korespodenta.



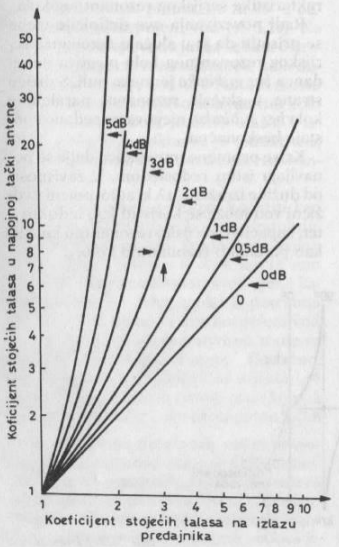
Sl. 5.25. Dodatni gubici u VF vodu usled neprilagođenja

Primer 2

Predajna antena je dimenzionisana za neku rezonantnu frekvenciju u opsegu od 90 m i napaja se koaksijalnim kablom dužine 15 m, za koji je proizvođač naveo podatak da za datu frekvenciju ima slabljenje od 2,8 dB/100 m. U slučaju prilagođenja, slabljenje kabla iznosi (15 m/100 m · 2,8 dB = 0,42 dB. Ako antena radi sa $s = 2$, dodatni gubitak usled neprilagođenja očitan na dijagramu na slici 5.25 biće 0,1 dB; za $s = 3$ to biće 0,25 dB, za $s = 5$; iznosiće oko 0,55 dB, a tek kod $s = 8$ dostićiće »granicu od 1 dB«.

Iz primera koji se mogu proizvoljno proširiti vidi se da u većini slučajeva nije opravdano ulagati velike napore za postizanje što manjeg odnosa stojećih talasa. Zbog toga, ni u kom slučaju nije potrebno posmatrati faktor talasnosti kao merodavnu vrednost o upotrebljivosti antene.

U vezi sa tim treba još napomenuti da se »pravi« odnos stojećih talasa može meriti samo tamo odakle potiče – na priključnoj tački napajanja antene. U praksi često nije moguće izvršiti takvo merenje ili je to teško izvesti. Zbog toga se instrument za merenje stojećih talasa najčešće uključuje između izlaza iz predajnika i početka voda za napajanje, gde je očitavanje vrednosti jednostavno. U tom slučaju, instrument prikazuje bolji odnos stojećih talasa nego što je on u stvarnosti. Usled gubitaka u vodu za napajanje dolazi do slabljenja stojećih talasa na njihovom putu od mesta nastajanja do mernog mesta, pa se na instrumentu očitava manja talasnost u zavisnosti od vrednosti slabljenja u vodu za napajanje. Na sl. 5.26 prikazana je greška koja nastaje prilikom merenja. Na nju treba naročito obratiti pažnju u VVF i UVF opsegu, gde je slabljenje u koaksijalnim kablovima relativno veliko. Za obične komercijalne koaksijalne kablove slabljenje iznosi oko 7 do 10 dB/100 m na frekvenciji od 145 MHz, tako da, na primer, za dužinu kabla od 30 m slabljenje može biti 3 dB. Ako se u ovom slučaju na početku voda izmeri odnos stojećih talasa $s = 2$, stvarni odnos u tački napajanja antene iznosiće skoro $s = 5$ (vidi sl. 5.26). Međutim, ako postoji mogućnost da se navedeni kabl sa relativno velikim gubicima zameni kvalitetnijim kablom čiji gubici iznose, na primer, samo 0,5 dB, onda će »stvarni« faktor talasnosti u tački napajanja antene i dalje biti $s = 5$, ali izmerena vrednost odnosa stojećih talasa na početku voda, prema slici 5.26, iznosiće $s = 4$ a ne $s = 2$, kao što je bilo ranije.



Sl. 5.26. Različite indikacije vrednosti odnosa stojećih talasa u tački napajanja antene i na izlazu predajnika (početak voda za napajanje) u zavisnosti od slabljenja kabla u dB

5.2.2.1. *Gubici snage usled zračenja napojnog voda*

Dvožični vodovi koji prenose signale visoke frekvencije mogu i sami da deluju kao antena. Zračenje u njihovoj okolini ne doprinosi povećanju dejstva na daljinu; naprotiv, kada se ukrsti polje koje potiče od zračenja voda za napajanje sa poljem predajne antene, nastaju nepoželjna usmeravanja i gubici. Kao što je već napomenuto, zračenje vodova za napajanje može da izazove smetnje radio i TV prijema. Ovo ometanje je obično neprijatnije od malog gubitka zračenja.

Nepoželjno zračenje napojnih vodova zavisi, sa jedne strane, od stepena neprilagođenosti voda i ono se povećava sa porastom talasnosti, sa druge strane, i kod potpuno prilagođenog voda za napajanje postoji određeno zračenje.

Dvožični vod je simetričan prema zemlji, oba provodnika su istog preseka i u istom su odnosu prema zemlji. Zbog toga u oba provodnika teče struja iste jačine, ali suprotnog smera. Na isti način, i magnetna polja koja proizvode ove struje međusobno su suprotna. Oba polja bi se međusobno poništila, ako bi oba provodnika bila prostorno na istom mestu, što se praktično ne može ostvariti. Između provodnika uvek postoji prostorni razmak, pa se polja ne mogu potpuno poništiti. Kod dvožičnog voda gubitak usled zračenja raste proporcionalno sa kvadratom rastojanja provodnika i radne frekvencije. To znači da za veće frekvencije, razmak između provodnika treba da bude manji.

U tački 5.1.5 data su praktična uputstva za izgradnju i pravilno vođenje paralelnih žičanih vodova, uzimajući u obzir gubitke usled zračenja.

Koaksijalni kablovi imaju manje gubitke zračenja, jer kod njih, zbog aksijalnosimetrične konstrukcije, skoro da i nema zračenja prema spoljašnjosti. Doduše, i u ovom slučaju mogu da se jave tzv. *talasi*

oklopa kabla. To su struje izjednačenja, koje se stvaraju u spoljašnjem provodniku kabla, usled čega oklop kabla zrači. Ovi talasi nastaju zbog nesimetričnosti, na primer, kada se simetrična antena napaja direktno nesimetričnim koaksijalnim kablom ili kada su antena i koaksijalni kabl u rezonanci sa pobudnom frekvencijom (rezonanca na harmoniku) i zbog toga zrače kao celina. U ovom slučaju, može da pomogne promena dužine kabla.

5.2.3. Dvožični vod kao element za podešavanje

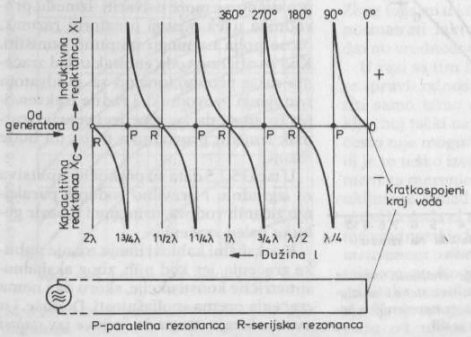
Već je konstatovano da se na vodu koji nije zaključen svojom karakterističnom impedancom Z stvaraju stojeći talasi. Oni predstavljaju maksimume struje i napona koji su međusobno fazno pomereni. Zbog toga se može odrediti impedanca (količnik napona i struje) u svakoj tački voda. Fazni pomak između napona i struje pored omskog otpora uslovljava pojavu reaktivnog otpora. U zavisnosti od smera faznog pomaka, reaktivna otpornost može biti induktivna (X_L) ili kapacitivna (X_C).

Na sl. 5.27 date su krive promene impedance kratkospojenog dvožičnog voda u zavisnosti od dužine voda u λ. Induktivne komponente nanesene su kao što je uobičajeno, iznad nulte linije (+), a kapacitivne rektance ispod nulte linije(–). Polazeći od kratko spojenog kraja voda, impedanca raste u induktivnom području i, na razmaku od $\lambda/4$, postaje skoro beskonačna. Budući da se, u suprotnom smeru, u toj tački nalazi isto tolika kapacitivna reaktanca, velika impedanca nije ni induktivna ni kapacitivna, nego čisto omska. Može se reći da je, na udaljenosti $\lambda/4$ od kratkog spoja, induktivna reaktanca X_L paralelno spojena sa isto tolikom kapacitivnom rekatancom X_C. Takva veza predstavlja poznato paralelno rezonantno kolo, pa kratko spojeni četvrtalasni deo voda poseduje sve karakteristike paralelnog rezonantnog kola.

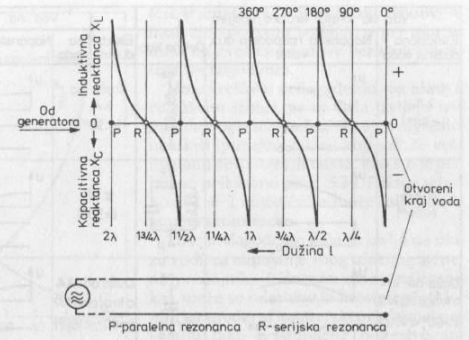
Kapacitivna reaktanca između $\lambda/4$ i $\lambda/2$ dostiže nultu liniju kod $\lambda/2$ i postaje opet čisto omska, ali u iznosu koji je teoretski ravan nuli. Kratkospojenom polutalasnom vodu mogu se pripisati sve karakteristike serijskog rezonantnog kola.

Radi povezivanja ove definicije treba se prisetiti da je u slučaju rezonance serijskog rezonantnog kola njegova impedanca *bez gubitaka* jednaka nuli. S druge strane, u slučaju rezonance paralelnog kola *bez gubitaka*, njegova impedanca postaje beskonačna.

Krive promene impedance dalje se ponavljaju istim redosledom. U zavisnosti od dužine izražene u λ kratkospojeni dvožični vod može se koristiti kao induktivitet, kapacitet, serijsko rezonantno kolo ili kao paralelno rezonantno kolo.



Sl. 5.27. Impedanca dvožičnog voda, koji je na kraju kratko spojen, kao funkcija dužine voda (l izražene u λ)



Sl.5.28. Impedanca otvorenog dvožičnog voda kao funkcija dužine voda l (izražene u λ)

Slično se ponaša i dvožični vod koji je na kraju otvoren. Kod njega su promene impedance samo pomerene za 90° u odnosu na kratkospojeni vod (sl. 5.28). Na otvorenom kraju voda javlja se skoro beskonačna kapacitivna reaktanca, koja dolazi do nulte linije kod $\lambda/4$. Na tom mestu vod predstavlja serijsko rezonantno kolo (prividna otpornost je čisto omska). Između $\lambda/4$ i $\lambda/2$ reaktanca je induktivna, kod $\lambda/2$ javlja se opet paralelna rezonanca itd.

Delovi voda koji se mogu koristiti kao prilagodni elementi u kolima (induktivnost, kapacitivnost ili rezonantno kolo), obično imaju dužinu $\leqslant \lambda/4$, jer se tom dužinom mogu realizovati sve željene karakteristike. Na primer, ako je potrebna induktivnost, uzme se kratkospojeni vod $< \lambda/4$. Ako je taj isti vod otvoren, može se koristiti kao kapacitivnost. Konačno, kratkospojeni vod električne dužine $\lambda/4$ predstavlja paralelno rezonantno kolo, a kada je otvoren serijsko rezonantno kolo.

Na sl. 5.29 na pregledan način još jedanput je prikazano kako se delovi otvorenih i kratkospojenih dvožičnih vodova mogu iskoristiti umesto diskretnih komponenata ili kola za podešavanje prilagođenja. Oblast primene ovakvih vodova je veoma raznovrsna. Oni se mogu koristiti, npr., za kompenzaciju reaktanci i za transformaciju izpedanci, kao što će kasnije biti prikazano.

Kada se odsečak voda koristi kao reaktanca, njena vrednost zavisi od električne dužine voda l i od njegove karakteristične impedance Z. Pod pretpostavkom da je vod bez gubitaka ili da su oni sasvim mali, za zatvoren vod kraći od $\lambda/4$ dobija se induktivna reaktanca X_L u Ω iz:

$$X_L = Z \operatorname{tg} l \qquad (5.26)$$

Pri tome se dužina l izražava u ugaonim stepenima (vidi sl. 1.1). Iz ovog odnosa dobija se važna konstatacija: budući da je $\operatorname{tg} 45° = 1$, to je X_L na udaljenosti $45°(\lambda/8)$ od kratkog spoja uvek jednaka karakterističnoj impedanci voda Z.

Analogno se dobija kapacitivna reaktanca X_C otvorenog voda kraćeg od $\lambda/4$ iz:

$$X_C = Z \operatorname{ctg} l \qquad (5.27)$$

Kako je $i \operatorname{ctg} 45° = 1$, X_C je na udaljenosti $\lambda/8$ od otvorenog kraja voda, takođe, jednaka z.

Na osnovu jednačina 5.26 i 5.27 može se iz sl. 5.30 izračunati vrednost reaktanci odsečaka vodova manjih od $\lambda/4$ (u zavisnosti od električne dužine l izražene u ugaonim stepenima) kao odnos X/Z za otvorene (X_C) i zatvorene (X_L) odsečke voda.

Primer

Za kratkospojeni odsečak voda karakteristične impedance $Z = 400\ \Omega$ i električne dužine $\lambda/12 = 30°$ treba odrediti in-

Vod na kraju kratko spojen			Vod na kraju otvoren		
Električna dužina voda	Naponska raspodela duž voda	Deluje kao	Električna dužina voda	Naponska raspodela duž voda	Deluje kao
Kraća od $\lambda/4$ ($<90°$)	U, a, b	a, b	Kraća od $\lambda/4$ ($<90°$)	U, a, b	a, b
$\cong \lambda/4$ ($=90°$)	U, a, b	a, b	$\cong \lambda/4$ ($=90°$)	U, a, b	a, b
Duža od $\lambda/4$ a kraća od $\lambda/2$ ($>90°, <180°$)	U, a, b	a, b	Duža od $\lambda/4$ a kraća od $\lambda/2$ ($>90°, <180°$)	U, a, b	a, b
$\cong \lambda/2$ ($=180°$)	U, a, b	a, b	$\cong \lambda/2$ ($=180°$)	U, a, b	a, b

Sl. 5.29. Ponašanje kratkospojenih i otvorenih VF vodova dužine do λ/2

duktivnu otpornost X_L. Polazeći vertikalno nagore od tačke 30° koja se nalazi na apscisi do preseka sa krivom X_L, na istoj visini na ordinati očitaće se vrednost X/Z od oko 0,6. Iz toga se određuje X_L kao $400\ \Omega \cdot 0{,}6 = 240\ \Omega$.

Da je vod bio otvoren, pomoću tačke preseka sa krivom X_C kojoj odgovara $X/Z = 1{,}75$, odredili bi kapacitivnu reaktancu X_C kao: $X_C = 400\ \Omega \cdot 1{,}75 = 700\ \Omega$.

Jasno je da se krive mogu koristiti i u obrnutom smeru. Na primer, ako je potreban odsečak voda čija je reaktanca unapred zadata, prvo se odredi količnik X/Z i ta vrednost pronađe na ordinati. Polazeći odatle do preseka sa odgovarajućom krivom, na apscisi se određuje potrebna dužina voda l u ugaonim stepenima.

Iz induktivne ili kapacitivne reaktance mogu se izračunati njima ekvivalentne induktivnosti i kapacitivnosti.

One se mogu izračunati iz poznatih obrazaca:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \qquad (5.28)$$

i

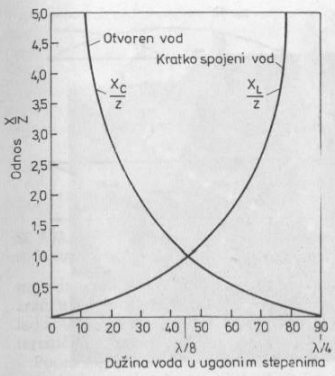
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \qquad (5.29)$$

ili očitati iz odgovarajućih nomograma (npr., na sl. 6.19 i 6.20).

5.3. Vrste napajanja

U opštem slučaju, antene se postavljaju na što je moguće veću visinu i u slobodan prostor, pa se po pravilu mora predvideti duži ili kraći vod za prenos energije između predajnika, odnosno prijemnika i antene. Samo u izuzetnim slučajevima nije potreban vod za napajanje, na primer, prenosnih radio-telefonskih uređaja i kod prijemnika za »lov na lisice«.

Radio-amater može koristiti dve vrste vodova za napajanje antene: vod čija je karakteristična impedanca jednaka impedanci antene prilagođen vod i vod čija je impedanca podešena na impedancu antene. U nekim slučajevima povoljno



Sl. 5.30. Nomogram za određivanje reaktance otvorenih i kratkospojenih vodova (kraćih od λ/4) u funkciji od karakteristične impedance voda Z i dužine voda u ugaonim stepenima

je da se koriste kombinacije podešenih i prilagođenih vodova; tada bi se moglo govoriti o mešovitom napajanju.

5.3.1 Vod za napajanje čija je karakteristična impedanca jednaka impedanci antene (prilagođeni vod)

Ako je kod voda za napajanje ispunjen uslov prilagođenosti prema jednačini 5.14, onda se napon i struja raspodele ravnomerno po vodu, kao što je prikazano na sl. 5.21. Budući da se ni na jednom mestu na vodu ne javlja talasnost, prilagođeni vod može biti proizvoljne dužine. Tada se, kao što je to uvek slučaj kod koaksijalnih kablova javlja samo neizbežno slabljenje voda koje zavisi od frekvencije (vidi tačku 5.1.4). Kod simetričnih neoklopljenih dvožičnih vodova mora se računati i sa malim gubicima usled zračenja, kao što je već objašnjeno u podtački 5.2.2.1. Tačno prilagođen vod za napajanje, u principu, uvek omogućava prenos snage sa manjim gubicima ako su ostali uslovi jednaki.

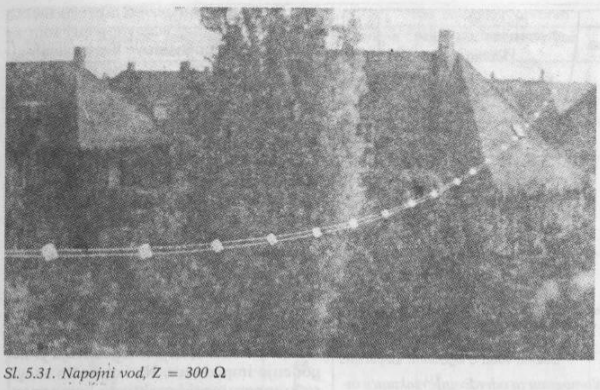
Talasi koji se prostiru prilagođenim vodom nazivaju se i *progresivni (putujući) talasi*. U amaterskom jeziku takvi vodovi se nazivaju »*pljosnati vodovi*«, a pri tom se misli na dvožične vodove bez stojećih talasa (prilagođene).

Male greške u prilagođenju nije moguće sasvim izbeći, pa se tada javljaju tzv. *pseudoprogresivni talasi*. To su progresivni talasi (putujući talasi) koji sadrže veći ili manji deo stojećih talasa, kao što je približno prikazano na sl. 5.24. Faktor talasnosti $s = 2$ najčešće se može tolerisati u amaterskom radu.

Loše prilagođenje koje se javlja na ulazu voda za napajanje zbog izlaznog stepena predajnika (odnosno ulaza prijemnika), može se relativno jednostavno otkloniti, jer moderni amaterski predajnici poseduju lako pristupačne podesive antenske elemente, koji omogućavaju prilagođenje impedance. Na isti način mogu se kompenzovati i reaktivne komponente koje se prenose od tačke napajanja antene preko napojnog voda do izlaza predajnika. Ukoliko podešivi elementi predajnika nisu dovoljni, neophodno je uključiti dodatni sklop za prilagođenje. Na taj način, u svim slučajevima, moguće je obezbediti čisto aktivno opterećenje predajnika. Povezivanje vodova za napajanje sa predajnikom opisano je u poglavlju 8. Znatno je teže ili u najmanju ruku neprijatnija kompenzacija lošeg prilagođenja u najčešće teško pristupačnoj tački napajanja antene. Nikakve manipulacije na kraju voda na strani predajnika, ne mogu uticati, niti otkloniti talasnost u vodu za napajanje. Zbog toga se loša prilagođenja prouzrokovana antenom moraju otkloniti na samoj anteni. U tu svrhu služe elementi za prilagođenje i transformaciju, koji su opisani u poglavlju 6. Prilagođenje otpornosti može biti uspešno samo ako se pri tom otklone i postojeće induktivne ili kapacitivne reaktivne komponente. One se uvek javljaju kada antena nije sasvim u rezonanci sa pobudnom frekvencijom. Kako se vrši kompenzacija reaktivnih komponenti objašnjeno je, takođe, u poglavlju 6. Kao što je već rečeno u tački 5.2.2, nije uvek najpogodnije da se neprilagođenje u tački napajanja antene sasvim otkloni. Osim toga, u toj tački uvek

* Flat-line, engl. = pljosnati vod

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 5.31. Napojni vod, Z = 300 Ω

dolazi do neprilagođenja zbog reaktivnih komponenata, jer se frekvencija predajnika menja unutar amaterskog opsega.

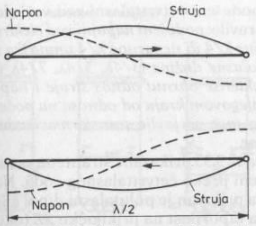
Sve vrste dvožičnih vodova mogu se koristiti kao prilagođeni vodovi za napajanje, pa i »kokošije lestvice« sopstvene izrade sa definisanom karakterističnom impedancom. Najsvrsishodniji su koaksijalni kablovi koji se na simetrične antene (npr., dipole) priključuju preko transformatora za simetriranje (vidi poglavlje 7).

U području ultrakratkih i decimetarskih talasa radi se isključivo sa prilagođenim vodovima za napajanje. I na kratkim talasima, prilagodni vod predstavlja optimalno rešenje kod antena za jedan opseg. Kod predajnih antena koje rade na više opsega pomoću pobude na harmonicima, može se koristiti samo uslovno prilagođeni vod za napajanje. Kao što će kasnije biti objašnjeno, pri pobudi na harmonicima menja se otpornost na priključku antene i rezonanca, pa se dobro prilagođenje može ostvariti samo za jedan amaterski opseg. Na svim ostalim opsezima ne posjoji prilagođenje i javljaju se reaktivne komponente. Na sl. 5.31 prikazan je praktičan primer voda koji je amater sam izgradio; vod ima karakterističnu impedancu od 300 Ω.

5.3.2. Vod za napajanje čija je impedanca podešena na impedancu antene

U tački 5.2.3 objašnjeno je na koji način deluje odsečak voda kao element za podešavanje. Na slikama 5.27, 5.28. i 5.29 prikazano je kako impedanca podešenog voda postaje realna u svakom strujnom i naponskom čvoru. Strujni i naponski čvorovi stvaraju se naizmenično na rastojanju od električnih λ/4 na vodu. Zbog toga, vod se naziva *podešenim* ako njegova dužina iznosi λ/4 ili cele umnoške od λ/4 (2 × λ/4, 3 × λ/4 itd.). Mada se na takvom vodu nalaze stojeći talasi, njegove impedance na ulazu i na izlazu su realne (čisto omske).

Na sl. 5.32 prikazana je raspodela napona i struje duž podešenog dvožičnog voda čija električna dužina iznosi λ/2. Strelice označavaju da struje teku u provodnicima u obrnutim smerovima, što se može uočiti i po položaju trbuha struje. Zbog toga se, kao što je već objašnjeno, polja u velikoj meri međusobno poništavaju, pa je i zračenje voda veoma smanjeno. Zračenje je utoliko manje, ukoliko je manji razmak provodnika i ukoliko je viša frekvencija. Kako malo rastojanje provodnika znači istovremeno i malu karakterističnu impedancu, može se zaključiti da vod sa manjom karakterističnom



Sl. 5.32. Stojeći talasi na paralelnom žičanom vodu čija je električna dužina λ/2

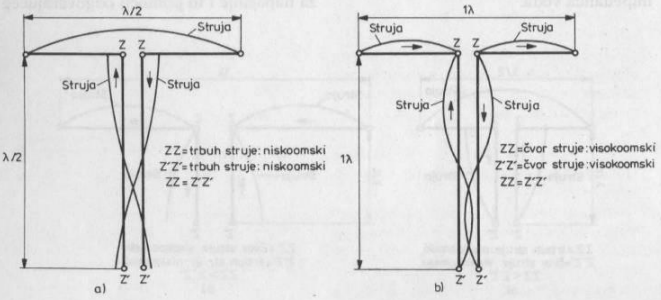
impedancom, na datoj frekvenciji, manje zrači u svoju okolinu (manji su gubici usled zračenja) nego vod sa velikom karakterističnom impedancom.

Pored toga, na sl. 5.32 vidi se da na ulazu i na izlazu polutalasnog voda vlada ista impedanca, jer količnik napona i struje ima u oba slučaja istu vrednost. Fazni pomak napona od 180° nema značaja za ovo razmatranje. Iz navedenih saznanja mogu se izvesti sledeća pravila za praksu: podešeni vod za napajanje električne dužine λ/2 ili celobrojnog umnoška polovine talasne dužine (2 × λ, 3 × λ itd.) uspostavlja na svom kraju ponovo isti odnos struje i napona kao na početku voda. Impedanca antene prenosi se zbog toga na početak voda u odnosu 1 : 1.

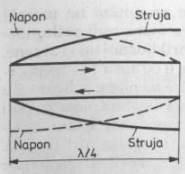
To znači da se na anteni ne moraju preduzeti nikakve mere radi prilagođenja otpornosti u priključnoj tački antene, jer se ona prenosi u odnosu 1 : 1 na početak voda, bez obzira na njenu veličinu. Tu se jednostavnim sredstvima može izvršiti prilagođenje na impedancu izlaznog stepena predajnika ili ulaza prijemnika. Podešeni vod može se koristiti i za antene koje se pobuđuju harmonicima i služe za rad na više opsega, što je samo uslovno izvodljivo pomoću prilagođenog napojnog voda. Ovakav slučaj prikazan je na sl. 5.33.

Tu se polutalasni dipol pobuđuje preko podešenog polutalasnog voda, a rezonantna frekvencija mu je, na primer, 7 MHz (sl. 5.33a).

Otpornost od oko 60 Ω na antenskom priključku ZZ polutalasnog dipola prenosi se polutalasnim vodom – čija karakteristična impedanca, u ovom slučaju, nema nikakvog uticaja – u odnosu 1 : 1 kao Z′ Z′ na početak voda. Ako bi se isti dipol pobuđivao dvostrukom frekvencijom (14 MHz), to bi bio jednotalasni dipol sa velikom otpornošću na priključku ZZ (vidi odeljak 4.2). Od polutalasnog voda za napajanje nastao je jednotalasni vod (2 × λ/2), kao što je prikazano na sl. 5.33b. Visokoomska ulazna otpornost antene ZZ prenosi se sa istom vrednošću na



Sl. 5.33. Dipoli sa podešenim napojnim vodom: a – sa podešenim napojnim vodom od λ/2, ulazna otpornost ZZ javlja se na donjem kraju napojnog voda kao Z′Z′ sa istom vrednošću; b – isti dipol koji se sada pobuđuje dvostrukom frekvencijom – od prvobitnog polutalasnog dipola nastao je celotalasni dipol. Dužina napojnog voda sada je 1 λ, Z′Z′ je opet jednaka ZZ



Sl. 5.34. Raspodela struje i napona na četvrttalasnom dvožičnom vodu

na početak voda kao Z′Z′, pa se mora prilagoditi izlazu predajnika.

Poznato je da su ulazna i izlazna impedanca paralelnog žičanog voda realne već kod električne dužine od λ/4 (vidi tačku 5.2.3). To znači da se četvrttalasni vod, takođe, može koristiti kao podešeni vod. Na sl. 5.34 prikazana je raspodela struje i napona duž četvrttalasnog voda. Odnosi struje i napona su obrnuti na početku i na kraju voda. Iz toga se može zaključiti da se visokoomska impedanca sa početka voda javlja na kraju voda kao niskoomska otpornost i obrnuto. Zbog toga se četvrttalasni vod naziva i *četvrttalasni transformator* (detaljno opisan u poglavlju 6). Kod četvrttalasnog voda važnu ulogu ponovo ima karakteristična impedanca Z, jer ona određuje odnos transformacije prema jednačini

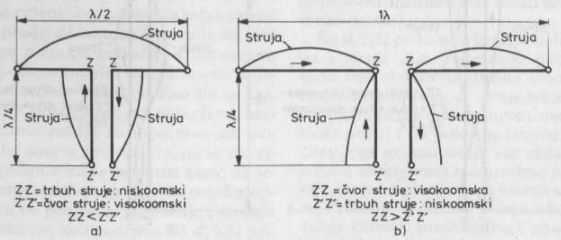
$$Z = Z_u \cdot Z_i \qquad (5.30)$$

Z_u – ulazna impedanca voda, Z_i – izlazna impedanca voda.

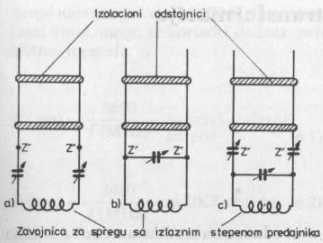
Za podešeni četvrttalasni vod važi sledeće pravilo: *podešeni napojni vod električne dužine λ/4 ili neparnog λ/4 umnoška radne talasne dužine (3/4λ, 5/4λ, 7/4λ itd.), karakteriše obrnut odnos struje i napona na njegovom kraju od odnosa na početku. Zbog toga se javlja transformacija impedance.*

Na sl. 5.35 prikazane su antene sa napajanjem preko četvrttalasnog voda. Na sl. 5.35a prikazan je polutalasni dipol čija se mala otpornost na priključku ZZ (oko 60 Ω) u skladu sa jednačinom 5.30 javlja kao visokoomska impedanca Z′Z′ na kraju voda. Na sl. 5.35b pokazano je da se visokoomska otpornost na priključku jednotalasnog dipola ZZ javlja na kraju voda kao niskoomska otpornost Z′Z′, što proizilazi i iz raspodele struje.

Podešeni vod za napajanje može da se posmatra kao produženje antene koje ne zrači. Vod za napajanje i antena ne moraju biti u rezonanci kao jedna celina. To znači da deo koji zrači i deo koji ne zrači ne mogu biti u rezonanci ako se posmatraju odvojeno, ali da se rezonanca postiže kada se međusobno spoje. Kada je antena prekratka ili predugačka, mogu produžavanjem ili skraćivanjem kraja napojnog voda koji nije uz antenu, mogu se eliminisati reaktivne komponente nastale zbog lošeg dimenzionisanja antene. U praksi se ne vrši mehaničko, nego električno produžavanje ili skraćivanje voda za napajanje i to pomoću odgovarajućeg



Sl. 5.35. Dipoli sa podešenim vodom za napajanje: a – polutalasni dipol sa podešenim četvrttalasnim vodom za napajanje, niskoomska ulazna otpornost antene ZZ javlja se u tački napajanja kao velika impedanca Z′Z′; b – jednotalasni dipol sa podešenim četvrttalasnim vodom za napajanje, visoka ulazna otpornost antene prenosi se u tačku napajanja kao impedanca male vrednosti Z′Z′.



Sl. 5.36. Sprega voda za napajanje: a – sprega voda za napajanje sa predajnikom, Z′Z′ je niskoomska (strujna sprega); b – sprega voda za napajanje sa predajnikom, Z′Z′ je visokoomska (naponska sprega); c – univerzalni sklop za strujnu ili naponsku spregu

sklopa za antensku spregu vezanog na kraju voda za napajanje (sl. 5.36).

Pri tom mora se prvo utvrditi da li je kraj voda visokoomski (čvor struje) ili niskoomski (trbuh struje). Kod strujne sprege koristi se serijsko napajanje kao na sl. 5.36a, a kod naponske sprege (visokoomska) paralelno napajanje kao na sl. 5.36b. Kod antena za više opsega pogodno je primeniti univerzalni sklop za spregu kao na slici 5.36c, jer se on može upotrebiti po želji za strujnu i za naponsku spregu. Takođe, veoma su pogodni simetrični π filtri (*Kolinsovi* filtri). Takvi sprežni sistemi biće opisani u posebnom poglavlju.

Treba napomenuti da se podešeni vod za napajanje ne dimenzioniše geometrijski tačno za rezonancu, jer se u tom slučaju mogu pojaviti istofazni talasi prema Zemlji (tzv. *Markonijev efekt*). Tada sam podešeni vod deluje kao antena i intenzivno zrači. Zbog toga se preporučuje da dužina podešenog voda uvek bude nešto veća ili manja od njegove rezonantne dužine, pa da se pomoću sklopa za antensku spregu naknadno podesi tačna rezonanca.

Mešovito napajanje koje predstavlja kombinaciju podešenog i prilagođenog voda za napajanje opisano je u poglavlju 8.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 5

Huber, F.R. (*Neubauer, H.*: Die Goubau–Leitung im praktishen Einsatz, Rhode & Schwarz–Mitteilungen, 1960

6. Elementi za prilagođenje i transformaciju

Primena elemenata za prilagođenje i transformaciju na priključnoj tački antene ograničena je na priključak prilagođenih vodova za napajanje, jer je samo kod njih potrebno prilagođavanje impedance. Podešeni vodovi, sami za sebe predstavljaju element za transformaciju.

Iz električnih i mehaničkih razloga, antena bez elemenata za prilagođenje uvek je bolje rešenje. Neki elementi za transformaciju poseduju i nepoželjnu osobinu da sužavaju širinu opsega antene. Zbog toga je uvek pogodnije da se koriste antene takve konstrukcije kod kojih otpornost u priključnoj tački već odgovara karakterističnoj impedanci predviđenog voda za napajanje. U UKT području to je relativno jednostavno, jer se pokazalo da je u tom pogledu savijeni dipol najbolji. Kod njega se odgovarajućom izvedbom može ostvariti praktično svaka željena otpornost na priključku antene (vidi odeljak 4.1). U kratkotalasnom području, iz mehaničkih razloga, ne mogu se izvesti savijeni dipoli.

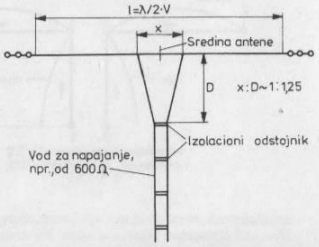
Elementi za prilagođenje i transformaciju ne koriste se samo u tački priključka antene, već često i kao elementi za povezivanje više dipola.

6.1. Delta-prilagođenje

Delta-prilagođenje, koje je prikazano na sl. 6.1, često se koristi kada kratkotalasni dipol treba prilagoditi na dvožični vod sopstvene izrade, sa karakterističnom impedancom između 400 i 600 Ω. Analogno raspodeli struje i napona kod polutalasnog dipola i impedanci koja je rezultat te raspodele, priključivanje delta-prilagođenja vrši se u dve tačke, koje su simetrične u odnosu na sredinu antene i u kojima impedanca odgovara karakterističnoj impedanci voda za napajanje. Budući da je proširenje napojnog voda slično grčkom slovu delta, ovaj način priključivanja nazvan je *delta-prilagođenje*.

Priključak voda deluje kao produženje provodnika antene, pa se rezonanca antene pomera prema nižim frekvencijama. Zbog toga se na radnoj frekvenciji, za koju je antena dimenzionisana bez delta-prilagođenja, u tački napajanja antene javlja veća ili manja induktivna reaktanca, tj. duž voda za napajanje mora se uzeti u obzir određena talasnost. Ako se dužina antenskog provodnika dimenzioniše za malo višu frekvenciju od željene radne frekvencije (provodnik se još malo skrati), stojeći talasi mogu da se smanje ili potpuno otklone. Posledica toga je kapacitivna reaktivna komponenta antene, koja se u velikoj meri može kompenzovati induktivnom reaktivnom komponentom delta-prilagođenja.

Uopšte, može se reći da odnos dužine $X : D$ treba da iznosi 1 : 1,25. Za prilago-



Sl. 6.1. Delta-prilagođenje

đenje napojnog voda od 600 Ω na polutalasni dipol, mogu se koristiti sledeće, približne, formule:

$$X\ (\text{cm}) = \frac{3600}{f\ (\text{MHz})} \quad \text{za kratkotalasne antene} \qquad (6.1)$$

$$X\ (\text{cm}) = \frac{3450}{f\ (\text{MHz})} \quad \text{za UKT antene} \qquad (6.2)$$

$$D\ (\text{cm}) = \frac{4510}{f\ (\text{MHz})} \qquad (6.3)$$

Delta-prilagođenje odlikuje se mehaničkom prednošću, jer se provodnik antene ne mora odvojiti u geometrijskoj sredini, što je inače obično potrebno kod polutalasnog dipola. Sredina antene može da se uzemlji bez razmišljanja, odnosno da se spoji sa metalnom nosećom konstrukcijom.

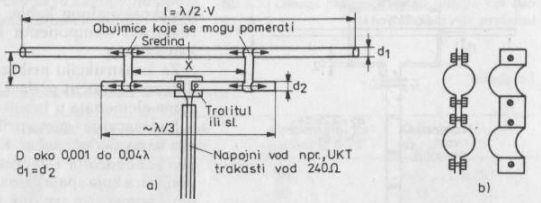
6.2. T–prilagođenje

T–prilagođenje prikazano na slici 6.2 proizašlo je iz delta-prilagođenja. Ono predstavlja mehanički krutu varijantu delta-prilagođenja, pa je naročito pogodno za antene sa cevastim provodnicima. To znači da se T-prilagođenje koristi uglavnom u UKT području. T-prilagođenje koristi se i kod obrtnih kratkotalasnih usmerenih antena, ali u malo izmenjenom i električno poboljšanom obliku (gama i omega-prilagođenje).

U UKT području, T-prilagođenje nema drugih prednosti u odnosu na savijeni dipol, osim što se ostvaruje manja ušteda materijala. Naprotiv, priključci na anteni prouzrokuju reaktivne komponente, isto kao i kod delta-prilagođenja. Reaktivna komponenta može biti i veća nego kod delta-prilagođenja, zbog paralelnog vođenja provodnika na malom rastojanju do antene. Ovi problemi mogu se prevazići ako se koristi odgovarajuće dimenzionisani savijeni dipol, što je napomenuto već na početku poglavlja.

Kada razmak X iznosi 0,475 dužine dipola l, otpornost na priključku T-prilagođenja, prema slici 6.2, jeste realna otpornost. Pri tom se pretpostavlja da je D = 0,33 λ, pri čemu treba da bude $d_1 = d_2$, a faktor vitkosti λ/d_1 oko 150. Pod ovim uslovima, u tački napajanja T-elementa vlada realna ulazna impedanca od oko 650 Ω, ukoliko je antena jednostavan polutalasni dipol. Otpornost na priključku normalnog polutalasnog dipola iznosi između 60 Ω i 70 Ω, pa se T-prilagođenjem, dimenzionisanim na ovaj način, postiže odnos transformacije impedance od 1 : 10. Svi drugi mogući odvodi na anteni prouzrokovaće kompleksne otpornosti u tački napajanja. Reaktivne komponente mogu se otkloniti samo ako se istovremeno smanji dužina antene. U tom slučaju, pomoću T-prilagođenja mogu se ostvariti realne otpornosti antenskog priključka čije se vrednosti kreću između 270 i 680 Ω.

Pod napred navedenim uslovima dobija se $X = 0{,}5\ l$ odnos transformacije otpornosti od oko 1 : 6, pri čemu je, kao referentna vrednost, uzeta otpornost na



Sl. 6.2. T – prilagođenje: a – predlog praktičnog rešenja, b – predlog izvedbe obujmica koje se mogu pomerati

priključku ravnog polutalasnog dipola (oko 400 Ω). Potrebna dužina antene l izračunava se u ovom slučaju iz odnosa

$$l\ (\text{mm}) = \frac{138.250}{f\ (\text{MHz})} \qquad (6.4)$$

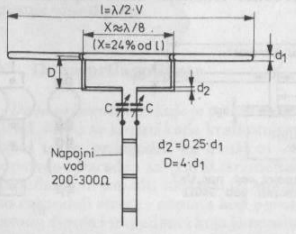
Ovim obrascem je obuhvaćeno i potrebno dodatno skraćenje antene pri stepenu vitkosti λ/d od 150.

Ako je $X = 0{,}7\ l$, onda odnos transformacije otpornosti iznosi oko 1 : 4,5 (oko 300 Ω), a l se izračunava prema obrascu

$$l\ (\text{mm}) = \frac{130.580}{f\ (\text{MHz})} \qquad (6.5)$$

Poželjno je da se predvidi mogućnost da se mesta T-priključaka menjaju u granicama malog raspona (vidi sl. 6.2).

Normalno T-prilagođenje nema pogodan oblik kada se koristi u visokofrekventnim amaterskim opsezima kratkotalasnog područja. U tom slučaju je povoljnije da smanji prečnik d_2 i razmak D. Praktične vrednosti za otpornost antenskog priključka od 300 Ω date su na sl. 6.3. U ovom slučaju, prečnik d_2 iznosi $d_2 = \frac{1}{4} d_1$, a razmak $D = 4\ d_1$. Razmak između priključaka treba da bude oko λ/8, što odgovara oko 24% dužine l. Nije predviđeno dodatno skraćivanje antene, reaktivna komponenta kapacitivno se kompenzuje pomoću dva redno vezana kondenzatora u tački napajanja. Na osnovu iskustva smatra se da maksimalni kapacitet svakog promenljivog kondenzatora



Sl. 6.3. Prilagođenje pomoću T-elementa sa kapacitivnom kompenzacijom

treba da iznosi 8 pF po jednom metru talasne dužine. Za amaterski opseg od 10 m maksimalni kapacitet kondenzatora treba da bude 80 pF. Preporučuje se da se, posle izvršenog podešavanja pomoću promenljivih kondenzatora, tačno izmeri podešena vrednost kapaciteta, pa zatim promenljivi kondenzatori zamene odgovarajućim nepromenljivim kondenzatorima. Radi zaštite od atmosferskih uticaja kondenzatore treba smestiti u zalepljena vodonepropusna plastična kućišta.

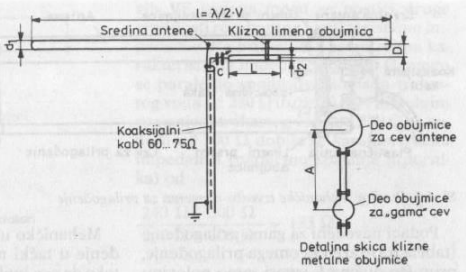
6.3. Gama-prilagođenje

Gama-prilagođenje se koristi u kratkotalasnom području kada simetričnu antenu treba direktno napajati koaksijalnim kablom bez specijalnog transformatora za simetriranje. Ono se naročito koristi kod obrtnih usmerenih antena. Istovremeno, kao i u slučaju T-prilagođenja, time se postiže i prilagođenje otpornosti, jer gama-element, u stvari, predstavlja polovinu T-elementa (sl. 6.4). Ovakvo rešenje ne izgleda besprekorno sa električnog stanovišta, jer se može očekivati da obe grane dipola neće biti ravnomerno pobuđene. Međutim, gama-prilagođenje se dobro pokazalo u praksi, pa ga inostrani industrijski proizvođači amaterskih antena vrlo često koriste za prilagođenje obrtnih usmerenih antena. Kod tih antena u KT području mora se računati sa otpornostima od 20 do 30 Ω u tački priključka napajanog polutalasnog elementa, pa se gama-prilagođenje izvodi za transformaciju otpornosti u odnosu 1 : 3. Na taj način dobija se povoljna mogućnost za zaključivanje komercijalnog koaksijalnog kabla. U tom slučaju, reaktivna komponenta kompenzuje se kapacitivno.

Za konstrukciju prikazanu na slici 6.4 dati su praktični podaci o dimenzijama gama-elemenata u tabeli 6.1.

Podešavanje gama-prilagođenja obavlja se na sledeći način. Kada je promenljivi kondenzator zatvoren, klizna limena obujmica koja spaja gama-element na antenu pomera se sve dok se na koaksijalnom kablu ne postigne minimum stojećih talasa. Zatim se odgovarajućom pro-

Sl. 6.4. Gama-element za prilagođenje delova antene od cevi na proizvoljan koaksijalan kabl



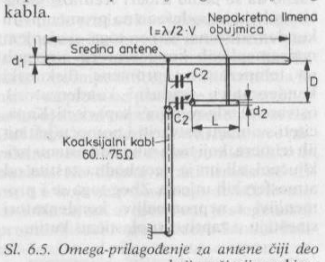
menom obrtnog kondenzatora odstrani reaktivna komponenta, a time i preostala talasnost

6.4. Omega-prilagođenje

Dalje poboljšanje gama-prilagođenja, poznato pod nazivom *omega-prilagođenje*, ima prednosti naročito kod onih kratkotalasnih antena, kod kojih je previše komplikovano ili opasno pomerati kliznu obujmicu gama-elementa na stubu koji se njiše. Kod omega-prilagođenja limena obujmica se ne pomera, već se montira fiksno. Ukupno podešavanje prilagođenja vrši se pomoću dva promenljiva kondenzatora smeštena blizu sredine antene. U slučaju potrebe, vrši se daljinsko podešavanje tih kondenzatora, i to povlačenjem privremeno postavljenih gajtana (gajtane pokreće lice koje stoji na tlu odmah ispod antene).

Sledeća prednost omega-prilagođenja je u tome što je cev za prilagođenje upola kraća od cevi kod gama-elementa. Pored uštede u materijalu, kraća cev doprinosi mehaničkoj čvrstoći sistema za prilagođenje.

Na sl. 6.5 prikazano je preporučivo omega-prilagođenje. Kao i kod gama-elementa, promenljivi kondenzator C_1 služi za kompenzovanje induktivne reaktivne komponente. Kondenzator C_2 preuzeo je zadatak kliznog držača. Pomoću C_2 može se brzo i precizno podesiti vrednost impedance, koja odgovara karakterističnoj impedanci upotrebljenog koaksijalnog kabla.



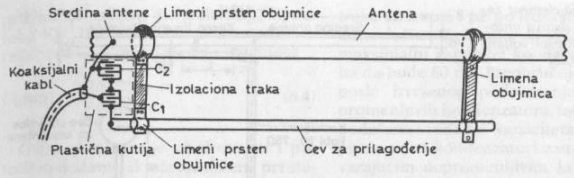
Sl. 6.5. Omega-prilagođenje za antene čiji deo koji zrači nije prekinut

Tabela 6.1

DIMENZIJE GAMA–PRILAGOĐENJA (PRIBLIŽNE VREDNOSTI)

	Dužina L cevi za prilagođenje u cm	Razmak D u cm	Maksimalni kapacitet C u pF	Odnos $d_2 : d_1$
Opseg od 10 m	80	10	50	0,15 ... 0,25
Opseg od 15 m	120	14	80	0,33
Opseg od 20 m	170	16	150	0,15

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

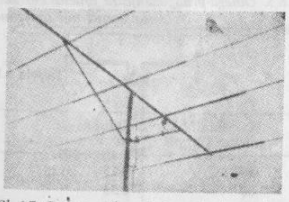


Sl. 6.6. Predlog mehaničke izvedbe elementa za prilagođenje

Podaci navedeni za gama-prilagođenje (tabela 6.1) važe i za omega-prilagođenje, osim što dužina L iznosi samo polovinu dužine gama-elementa. Dodatni promenljivi kondenzator C_2 treba da ima, približno, sledeće krajnje kapacitete:

Za opseg od 10 m 20 pF
Za opseg od 15 m 25 pF
Za opseg od 20 m 30 pF

Kondenzatori C_1 i C_2 mogu biti sasvim obični sa malim razmakom između ploča, jer se na priključnoj tački antene ne javljaju veliki naponi. Nakon izvršenog podešavanja, promenljivi kondenzatori mogu se zameniti nepromenljivim kondenzatorima istog kapaciteta. Pri tom je važno da se tačno izmeri vrednost kapaciteta koja je podešena na promenljivim kondenzatorima. Nakon toga, spajanjem nepromenljivih kondenzatora otpornih na temperaturne promene (liskunski kondenzatori, vazdušni kondenzatori), ostvare se odgovarajući kapaciteti. Kapaciteti se mogu ostvariti i pomoću jeftinijih trimera, koji tada mogu da ostanu priključeni, ali im je neophodna zaštita od atmosferskih uticaja. Zbog toga se i promenljivi i nepromenljivi kondenzatori smeštaju u zaptivenu plastičnu kutiju.



Sl. 6.7. Omega-prilagođenje na jagi-anteni sa 5 elemenata

Mehaničko učvršćenje cevi za prilagođenje u tački napajanja mora se izvesti tako da cev bude izolovana od antene. Za to se koriste jednostavni izolatori za održavanje razmaka ili cevaste obujmice, koje se međusobno povezuju izolacionom trakom. Na sl. 6.6 prikazan je predlog mehaničke izvedbe omega-elementa, a na sl. 6.7 primer omega-prilagođenja na jagi-antenu sa pet elemenata.

Odluka da li će se primeniti omega-prilagođenje zavisi u prvom redu od toga kakve su temperaturne karakteristike primenjenih kondenzatora.

6.5. Četvrttalasni transformator (Q-prilagođenje)

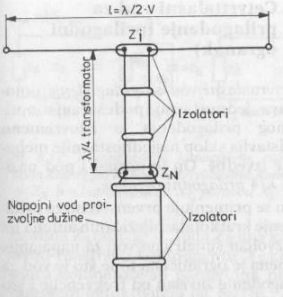
Između karakteristične impedance Z dvožičnog voda električne dužine $\lambda/4$, njegove ulazne impedance Z_u i njegove izlazne impedance Z_i, prema jednačini 5.30, postoji odnos

$$Z = \sqrt{Z_u \cdot Z_i}$$

To znači da talasna dužina $\lambda/4$ voda uvek mora da odgovara geometrijskoj sredini impedanci Z_i i Z_u koje treba prilagoditi. Iz tog odnosa dobije se i

$$Z_i = \frac{Z^2}{Z_u} \qquad (6.6)$$

Ako se za Z_u uvrsti impedanca postojećeg voda za napajanje, a za Z_i otpornost u priključnoj tački antene, onda se iz napred navedenih obrazaca može izračunati karakteristična impedanca Z četvrttalasnog voda za transformaciju koja je potrebna za tačno prilagođenje.



Sl. 6.8. Četvrttalasni transformator (Q-prilagođenje)

Na sl. 6.8 prikazan je takav četvrttalasni transformator, koji se naziva i Q-prilagođenje.

Ovakav vod za transformaciju može se koristiti za prilagođenje svih antenskih sistema sa simetričnim napajanjem na sve vrste simetričnih vodova za napajanje, pod uslovom da je vrednost karakteristične impedance voda za transformaciju Z takva da se mehanički još može realizovati. To je praktično moguće za karakteristične impedance između 50 i 600 Ω.

Primer

Simetrični dvožični vod karakteristične impedance 280 Ω treba da napaja antenski sistem čija je otpornost na priključku 120 Ω. Kolika treba da bude karakteristična impedanca Z četvrttalasnog voda za transformaciju potrebnog za prilagođenje

$$Z = \sqrt{120\ \Omega \cdot 280\ \Omega} = \sqrt{33600\ \Omega} \approx 183\ \Omega$$

Dvožični vod za $Z = 183$ Ω može se, prema sl. 5.4 realizovati ako je odnos razmaka provodnika prema prečniku provodnika 2,5 : 1 i ako je vazduh izolator.

Za izradu takvog $\lambda/4$ voda za transformaciju mogu se upotrebiti i komercijalni VF vodovi, ukoliko njihova karakteristična impedanca odgovara zahtevanoj vrednosti i ukoliko se tolerišu nešto veći gubici. Osim toga, paralelnim spajanjem takvih VF vodova mogu se postići druge vrednosti rezultantne karakteristične impedance. Na primer, ako je potrebna karakteristična impedanca od 140 Ω, mogu se paralelno spojiti dva komada trakastog voda od 280 Ω dužine $\lambda/4$. Paralelnim spajanjem trakastog voda od 240 Ω sa vodom od 300 Ω dobija se karakteristična impedanca (paralelno spajanje otpornika) od

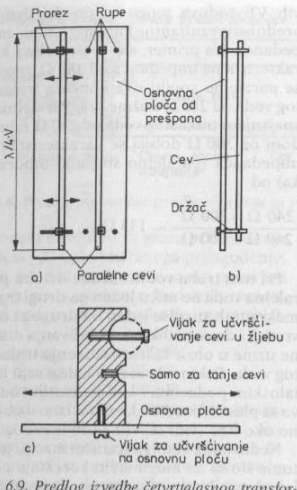
$$\frac{240\ \Omega \cdot 300\ \Omega}{240\ \Omega + 300\ \Omega} \approx 133\ \Omega$$

Pri tom treba voditi računa da oba paralelna voda ne utiču jedan na drugi (razmaknuti ih što više jedan od drugog i učvrstiti) i da se prilikom određivanja dužine uzme u obzir faktor skraćenja trakastog voda. Faktor skraćenja nalazi se u katalоškim podacima i kod trakastih vodova sa plastičnim dielektrikom iznosi obično oko 0,82 (vidi tabelu 34.20 u Prilogu).

Nedostatak voda za transformaciju je u tome što se ne mogu vršiti korekcije prilagođenja. U tu svrhu morala bi postojati mogućnost da se karakteristična impedanca voda menja u granicama malog raspona.

Uz malo truda oko mehaničke izrade, u UKT području mogu se izraditi četvrttalasni transformatori promenljive karakteristične impedance (sl. 6.9). Potrebna je osnovna ploča od plastične mase, na čijoj se levoj strani naprave poprečni prorezi. Oni služe za vođenje oba držača leve paralelne cevi koji se mogu pomicati kontinualno. Na desnoj strani izrade se tri rupe u koje se pričvršćuju držači desne cevi. Na taj način ostvarena je stepenasta promenljivost razmaka cevi. Sami držači izrađeni su od plastične mase otporne na atmosferske uticaje i sa malim dielektričnim gubicima. Na njima se nalaze dva ili više polukružnih žljebova u koje se mogu učvrstiti cevi različitih prečnika. Na taj način je omogućeno da se radi sa paralelnim cevima različitih prečnika. Pomoću opisane konstrukcije mogu se ostvariti karakteristične impedance između oko 150 i 500 Ω.

Q-prilagođenje može se izvesti i nesimetrično i koristiti za prilagođenje koaksijalnog kabla na nesimetričnu antenu



Sl. 6.9. Predlog izvedbe četvrttalasnog transformatora promenljive karakteristične impedance: a – prednji izgled, b – bočni izgled, c – detalj držača

(npr. Graundplejn). Često nije moguće naći koaksijalni kabl čija karakteristična impedanca odgovara zahtevanoj karakterističnoj impedanci četvrttalasnog transformatora, pa amater mora sam napraviti koaksijalni $\lambda/4$ vod (vidi sl. 5.5 i 5.6). Tu se javljaju mehaničke poteškoće, pa se zato kod amatera retko sreću koaksijalni četvrttalasni transformatori.

Treba još napomenuti da vodovi čija električna dužina iznosi neparan umnožak $\lambda/4$ (3/4, 5/4, 7/4 itd.) pokazuju iste karakteristike transformacije kao četvrttalasni transformator.

6.6. Četvrttalasni vod za prilagođenje (prilagodni ogranak)

Četvrttalasni vod za prilagođenje omogućava jednostavno podešavanje optimalnog prilagođenja, a istovremeno predstavlja sklop najjednostavnije mehaničke izvedbe. On je poznat i pod nazivom $\lambda/4$ *prilagodni ogranak.**

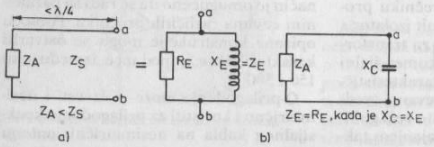
On se primenjuje prvenstveno za prilagođenje kratkotalasnih žičanih antena na proizvoljan simetričan vod za napajanje. Primena je ograničena time što je vod za prilagođenje zavisan od frekvencije i što u određenim granicama smanjuje širinu opsega antene. Zbog toga je besmisleno da se ugrađuje na širokopojasne antene.

U tački 5.2.3 opisan je način podešavanja dvožičnih vodova i zaključeno je da deo voda $<\lambda/4$ uvek deluje kao čista reaktanca kod zatvorenog voda. Ta reaktanca je induktivnog karaktera (X_L), a kod otvorenog voda kapacitivnog karaktera (X_C), kao što proizilazi prema sl. 5.29.

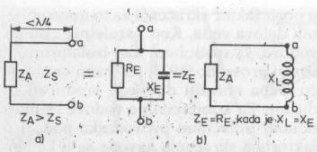
Ako se vod dužine manje od $\lambda/4$ zaključi sa realnom otpornošću Z_A, čija je vrednost manja od karakteristične impedance voda Z_S, onda će se na drugom kraju voda pojaviti Z_E kao paralelan spoj aktivne otpornosti R_E i reaktance X_E. Na sl. 6.10a prikazana je ekvivalentna šema ovog primera. Kako je Z_A manje od Z_S, reaktanca X_E je induktivna. Da bi se zadržala realna Z_S induktivna komponenta reaktance mora se kompenzovati kapacitivnom reaktancom iste vrednosti. To se vrši paralelnim spajanjem kapaciteta kao na sl. 6.10b.

Obrnut slučaj je kada je završna otpornost Z_A veća od karakteristične impedan-

* Matching stub, engl.



Sl. 6.10. Kompenzacija induktivne reaktance voda kraćih od $\lambda/4$: a – ekvivalentna šema za $Z_A < Z_S$, B – kompenzacija X_E pomoću X_C



Sl. 6.11. Kompenzacija kapacitivne reaktance voda kraćeg od $\lambda/4$: a – ekvivalentna šema za $Z_A > Z_S$, b – kompenzacija X_E pomoću X_L

ce voda Z_S (sl. 6.11a). Tada Z_E ima kapacitivnu reaktivnu komponentu X_E koja se mora kompenzovati paralelnim priključivanjem induktiviteta (sl. 6.11b).

Time je ulazna impedanca Z_E svedena još samo na realni deo R_E. Prema dužini voda, vrednost $R_E = Z_E$ može biti između Z_A (kada je dužina voda =) i Z_S^2/Z_A (vod električne dužine $=\lambda/4$).

Četvrttalasni vod za prilagođenje predstavlja praktičnu primenu navedenih saznanja. Kao što je prikazano na sl. 6.12, vod za napajanje karakteristične impedance Z_S priključen je direktno u tačku napajanja antene Z_A, koja je predstavljena otpornikom. Ako Z_S nije jednaka Z_A, prilagođenje ne postoji, pa se javljaju stojeći talasi. Faktor talasnosti s određuje se direktno iz odnosa Z_A i Z_S ($s = Z_A/Z_S$, odnosno $s = Z_S/Z_A$).

Na rastojanju C od tačke napajanja Z_A, impedanca odgovara karakterističnoj impedanci napojnog voda, ali ona sadrži i reaktivnu komponentu. Ako se na tom mestu pomoću prilagodnog ogranka, izvrši kompenzacija reaktivne komponente, tada će Z poprimiti realnu vrednost i vladaće prilagođenje, tj. na vodu za napajanje neće više biti stojećih talasa.

Ako je vrednost Z_A manja od vrednosti Z_S, onda se kompenzacija mora izvršiti pomoću otvorenog ogranka (sl. 6.12a, kapacitet). Međutim kada je Z_A veće od Z_S primenjuje se zatvoreni ogranak (induktivnost) kao što je prikazano na sl. 6.12b.

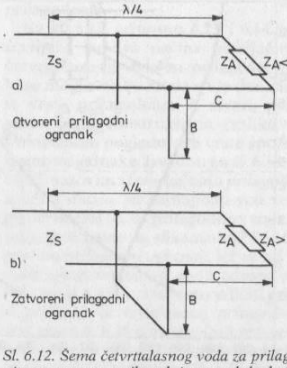
Iz toga proizilazi da se prvo mora znati je li Z_A veće ili manje od Z_S. Ovo nije teško utvrditi, jer je uvek tačno poznata karakteristična impedanca Z_S napojnog voda (vidi tačku 5.1.1), a otpornost na priključku antene Z_A najčešće je data u opisu uobičajenih kratkotalasnih antena ili se može proceniti sa dovoljnom tačnošću. Uopšte, može se reći da je otpornost u priključnoj tački antene malih vrednosti ako se napajanje vrši u trbuhu struje (npr., kod polutalasnog dipola), pa je zbog toga u ovom slučaju praktično uvek $Z_A < Z_S$. Kod antene koja se napaja naponski (npr., jednotalasni dipol ili antena koja se napaja na kraju), impedanca u tački napajanja je velika ($Z_A > Z_S$).

Rastojanje C između tačke napajanja antene Z_A i priključnih tačaka ogranka, a takođe i dužina prilagodnog ogranka, zavise od karakterističnih impedanci voda za napajanje i prilagodnog ogranka, odnosno od odnosa Z_A i Z_S. Budući da Z_A/Z_S odnosno Z_S/Z_A istovremeno predstavlja faktor talasnosti, razmak C i dužina B su funkcija faktora talasnosti s. Kada je karakteristična impedanca voda za napajanje jednaka karakterističnoj impedanci prilagodnog ogranka, onda u slučaju zatvorenog ogranka ($Z_A > Z_S$) važe odnosi

$$\operatorname{tg} C = \sqrt{s} \qquad (6.7)$$

i

$$\operatorname{ctg} B = \frac{s-1}{\sqrt{s}} \qquad (6.8)$$



Sl. 6.12. Šema četvrttalasnog voda za prilagođenje: a – otvoren prilagodni ogranak kada je $Z_A < Z_S$, b – zatvoren prilagodni ogranak kada je $Z_A > Z_S$

Kada je $Z_A < Z_S$ (otvoreni ogranak), dužine se izračunavaju prema obrascima

$$\operatorname{ctg} C = \sqrt{s} \qquad (6.9)$$

i

$$\operatorname{tg} B = \frac{s-1}{\sqrt{s}} \qquad (6.10)$$

Dužine C i B izražene su u ugaonim stepenima. Za preračunavanje služi odnos

Dužina u stepenima = 360 · dužina u λ. (6.11)

Na osnovu gornjih jednačina nastale su krive na sl. 6.13 i 6.14. Uz njihovu pomoć mogu se, bez velikog računanja, odrediti vrednosti za A, B i C ($A = B + C$), u zavisnosti od odnosa stojećih talasa, odnosno od faktora talasnosti s.

Pri tom se pretpostavlja, da je karakteristična impedanca prilagodnog voda Z_L jednaka karakterističnoj impedanci Z_S. Osim toga, otpornost u priključnoj tački antene Z_A ne sme sadržavati reaktivne komponente. To znači da antena mora biti u rezonanci sa radnom talasnom dužinom.

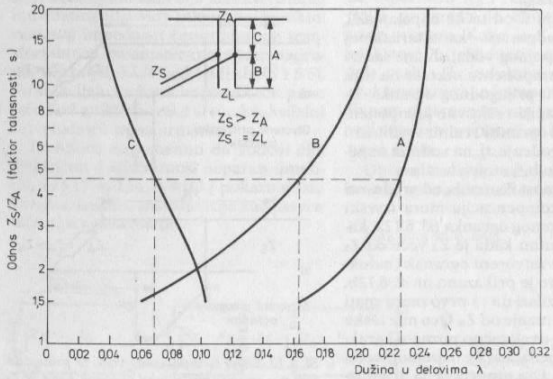
Budući da je četvrttalasno prilagođenje vrsta podešenog voda, mora se uzeti u obzir faktor skraćenja za to upotrebljenih delova voda. Kod paralelnih žičanih vodova, sa vazduhom kao izolatorom, V iznosi prosečno 0,975, pa ovom vrednošću treba množiti dobijene vrednosti za dužine. Za komercijalne vodove sa plastičnom izolacijom provodnika podaci o faktorima skraćenja navode se u katalozima.

Primer

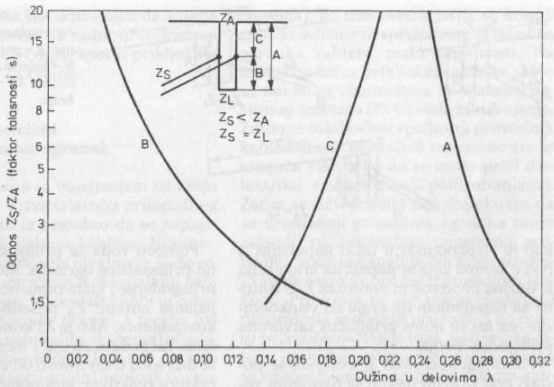
Otpornost u priključnoj tački polutalasnog dipola za opseg od 40 m iznosi 65 Ω (rezonantna frekvencija 7025 kHz, što odgovara talasnoj dužini od oko 42,7 m). Treba izvršiti prilagođenje na simetrični dvožični vod (karakteristična impedanca $Z_S = 300\ \Omega$, faktor skraćenja $V = 0{,}8$) i to pomoću četvrttalasnog voda istog tipa.

Prvo treba ustanoviti da je karakteristična impedanca Z_S (= 300 Ω) veća od otpornosti u priključnoj tački antene Z_A (= 65 Ω). Zbog toga se mora upotrebiti otvoreni komad voda, pa su važeće krive date na sl. 6.13.

Talasnost s dobija se iz $Z_S : Z_A = 300 : 65 \approx 4{,}6$. Na ordinati se pronađe tačka 4,6 i odatle vodoravno produži do preseka sa krivom C. Od presečne tačke spusti se



Sl. 6.13. Dužina otvorenog četvrttalasnog prilagođenja B i dužine C i A, u zavisnosti od faktora talasnosti. Dužine su date u λ.



Sl. 6.14. Dužina zatvorenog četvrttalasnog prilagođenja B i dužine C i A u zavisnosti od faktora talasnosti s. Dužine su date u λ.

vertikala do apscise, gde se, za dužinu C, očita vrednost od 0,068 λ. Tačka preseka sa krivom B daje vrednost za dužinu ogranka B od 0,165 λ. Određivanje ukupne dužine A pomoću krive A nije potrebno, jer se ona dobija iz $B + C = 0{,}233$ λ.

Izračunavanje dužina za talasnu dužinu 42,7 m daje sledeće:

$C = 42{,}7\ \text{m} \cdot 0{,}068 = 2{,}9036\ \text{m},$

$B = 42{,}7\ \text{m} \cdot 0{,}165 = 7{,}0455\ \text{m}.$

U obzir treba uzeti i faktor skraćenja voda od 0,8:

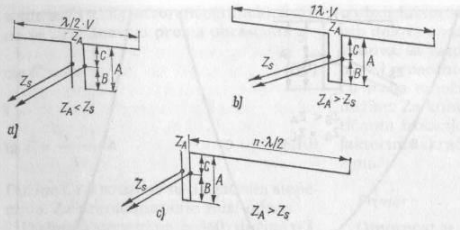
$C = 2{,}9036\ \text{m} \cdot 0{,}8 = 2{,}32288\ \text{m},$

$B = 7{,}0455\ \text{m} \cdot 0{,}8 = 5{,}63640\ \text{m}.$

Iz toga proizilazi da će se prilagođenje ostvariti ako se, na udaljenosti 2,32 m od tačke napajanja antene (dužina C) na napojni vod priključi komad otvorenog voda dugačak oko 5,64 m (dužina B) i to od istog trakastog voda. Ovaj primer je ucrtan isprekidanom linijom na sl. 6.13.

Najbolji rezultati prilagođenja dobiju se kada se raspolaže instrumentom za merenje stojećih talasa. Antena se prvo direktno spoji sa predviđenim napojnim vodom (*bez* dodatog komada voda), pa se izmeri postojeći odnos stojećih talasa. Merenjem se dobije tačna vrednost faktora talasnosti, pa se prema sl. 6.13, odnosno 6.14 mogu dobiti i tačne vrednosti za B i C. Napojni vod se ne mora više odvajati, već se na rastojanju C od priključne tačke antene zalemi vod za prilagođenje B na napojni vod, čime je ostvareno prilagođenje.

Na sl. 6.12, odnosno 6.13 i 6.14 predstavljena su dva načina priključivanja četvrttalasnog voda za prilagođenje, pa bi se moglo zaključiti da su to dve različite vrste prilagođenja. U stvari, postoji samo mala konstruktivna razlika, a u električnom pogledu obe vrste spoja potpuno su jednake. Izvedbu na sl. 6.13, 6.14 i 6.15, nazovimo *četvrttalasno prilagođenje u užem smislu*, jer se napojni vod vezuje na određenu tačku prilagodnog voda. Rešenje prikazano na slikama 6.12 i 6.16 nazovimo *prilagodni ogranak*, jer se od pravolinijskog napojnog voda odvaja ogranak. Na sl. 6.15 nacrtani su različiti primeri primene četvrttalasnog prilagođenja, dok su na sl. 6.16 prikazani isti primeri sa prilagodnim ogrankom koji su električno adekvatni primerima na sl. 6.15. Na slikama se uvek pod *a* prikazuje poznati polutalasni dipol, pod *b* jednotalasni dipol,



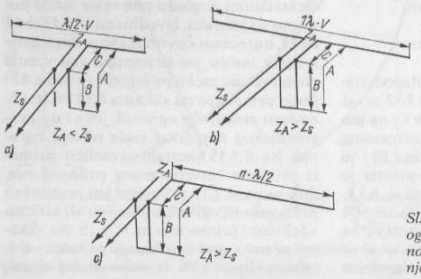
Sl. 6.15. Primer primene četvrttalasnog prilagođenja: a – polutalasni dipol, b – jednotalasni dipol, c – antena sa napajanjem na kraju

koji je visokoomski u tački napajanja, a pod c antena koja se napaja na kraju i čija je dužina proizvoljan umnožak λ/2. Antene sa napajanjem na kraju su visokoomske, pa im se mora priključiti zatvorena prilagodna petlja.

Po mogućnosti, vod B treba da se postavi pod pravim uglom sa napojnim vodom. U skladu sa ovim zahtevom, prema mesnim uslovima treba odlučiti, da li će se λ/4 vod za prilagođenje konstruktivno izvesti prema sl. 6.15 ili će biti povoljniji prilagodni ogranak kao na sl. 6.16.

Na svim podešenim vodovima postoje stojeći talasi. Da bi se izbegli veći gubici delove voda B i C treba napraviti od što je moguće debljih provodnika i koristiti kvalitetne izolatore, i to naročito u slučaju kada je odnos $Z_A : Z_S$ odnosno $Z_S : Z_A$ veoma veliki (veliki odnos stojećih talasa). Međutim, čak i ako je korišćena tanja žica i izolacija srednjeg kvaliteta, do stepena talasnosti $s = 5$ ne treba voditi računa o gubicima. U takvim slučajevima može se koristiti komercijalni UKT trakasti vod.

Pomoću voda za prilagođenje, odnosno prilagodnog ogranka, može se postići prilagođenje i kada otpornost u tački napajanja antene Z_A poseduje reaktivnu komponentu. Ako je Z_A kompleksna veličina, raspodela struje i napona pomera se duž voda u zavisnosti od vrednosti i karaktera reaktivne komponente. Pomeranje se sastoji u tome što strujni i naponski maksimumi, odnosno minimumi stojećih talasa na vodu nisu više pomereni od priključne tačke antene tačno za električnih λ/4 (odnosno n · λ/4), kao kada je otpornost na priključku antene realna. Zbog toga se, počevši od priključka antene, odgovarajućim instrumentom mora pronaći prvi strujni čvor ili trbuh struje na vodu. Polazeći od te tačke prema predajniku (odnosno prijemniku) određuju se dužine C i B. Kada se prvo naiđe na trbuh struje (minimum napona), C i B se izračunava prema sl. 6.13, a ako je strujni čvor (maksimum napona) uzet kao referentna tačka, izračunava se prema sl. 6.14. Ovu metodu ne mogu koristiti amateri koji nemaju odgovarajući merni instrument.



Sl. 6.16. Primeri primene prilagodnog ogranka: a – polutalasni dipol, b – jednotalasni dipol, c – antena sa napajanjem na kraju

Uostalom, uvek treba nastojati da antena bude u rezonanci sa radnom frekvencijom, jer je tada i otpornost u priključnoj tački antene Z_A realna.

6.6.1. Nesimetrični prilagodni ogranak

Ako se antena sa napajanjem na kraju vezuje preko četvrttalasnog prilagodnog voda, naročito je pogodno da se napajanje vrši koaksijalnim kablom. Nesimetrična tačka napajanja idealno se slaže sa, takođe nesimetričnim, koaksijalnim kablom. Osim toga, koaksijalni kabl je otporan na atmosferske uticaje, a njegov oklop sprečava nepoželjna zračenja (ometanje TV i radio-emisija). Jasno je da se u ovom slučaju i prilagodni ogranak i napojni vod izvode od istog tipa koaksijalnog kabla. Prethodna razmatranja važe u potpunosti i za koaksijalno četvrttalasno prilagođenje.

Budući da se na otvorenom kraju podešenog antenskog provodnika dužina λ/2 (ili n · λ/2) uvek nalazi maksimum napona, i tačka napajanja antene mora biti visokoomska. Naprotiv, karakteristična impedanca koaksijalnog kabla je oko 60 Ω. Zbog toga je Z_A mnogo veća od Z_S. Iz toga proizilazi da se mora upotrebiti zatvoreni prilagodni ogranak, pa se dimenzije C i B dobijaju prema sl. 6.14. U svim slučajevima može se računati sa faktorom talasnosti s od 20, jer je impedanca u tački napajanja antena ovog tipa uvek veća od 1000 Ω. To znači, da se tačka priključenja ogranka voda (dužina C) nalazi na udaljenosti od oko 0,216 λ od tačke napajanja i da se u njoj priključuje ogranak zatvorenog voda dužine 0,034 λ.

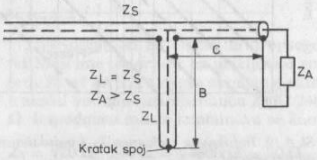
Pri izračunavanju potrebnih dužina kabla i mesta za priključak ogranka, treba uzeti u obzir faktor skraćenja koaksijalnog kabla. Budući da on prosečno iznosi 0,66 (vidi spisak kablova u Prilogu), izračunate vrednosti treba pomnožiti sa ovim faktorom.

Komad koaksijalnog kabla za ogranak voda seče se tako da njegova električna dužina iznosi 0,034 λ. Na donjem delu odsečenog komada kabla zalemi se unutrašnji provodnik sa spoljašnjim (zatvoren ogranak); na tom mestu javlja se kratak spoj. Pravljenje besprekornog priključka ogranka zahteva malo umešnosti. Na mestu budućeg priključka ogranka skine se nekoliko centimetara spoljašnjeg zaštitnog omotača (PVC) voda za napajanje. Zatim se oslobođeni spoljašnji provodnik kabla (žičana pletenica) razmakne što je moguće više, tako da se može prići dielektriku (najčešće od poliizobutilena). Zatim se odvoji toliki deo dielektrika da se unutrašnji provodnik ogranka može zalemiti na oslobođeni unutrašnji provodnik voda za napajnje. Na kraju se mesto spoja mora dobro zaliti pogodnim lepkom. Pri tome se ne smeju dodirnuti unutrašnji i spoljašnji provodnik na mestu priključenja. Posle toga, pažljivo se zalemi spoljašnja žičana pletenica ogranka sa spoljašnjom žičanom pletenicom kabla za napajanje. Da bi se obezbedila vodonepropustivost celo mesto priključka mora se na kraju dobro obmotati lepljivom plastičnom »izolir« trakom. Na sl. 6.17 prikazan je koaksijalni prilagodni ogranak.

Idealno rešenje u mehaničkom i električnom pogledu, ali ne baš jeftino, dobija se kada se u tački priključka montira T-razvodnik za koaksijalni kabl. Uz to su potrebna još i tri odgovarajuća koaksijalna konektora.

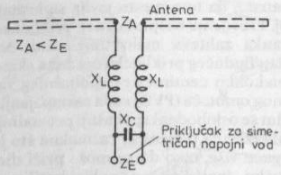
Deo kabla koji slobodno visi može se zamotati u omču, a sam kabl za napajanje može da se proizvoljno položi, jer on više ne podleže nikakvim spoljašnjim uticajima.

Koaksijalni prilagodni ogranci se veoma često primenjuju za prilagođenje četvrttalasnih antena koje su postavljene vertikalno iznad mreže na zemlji ili iznad protivtegova (tzv. graundplejn antena). I u tom slučaju, tačka napajanja je nesimetrična, a otpornost u tački priključka antene je oko 30 Ω (vidi tačku 19.4.1).



Sl. 6.17. Koaksijalni prilagodni ogranak

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 6.18. Prilagođenje sa koncentrisanim sastavnim delovima

6.7. Prilagođenje sa koncentrisanim sastavnim delovima

Električno dejstvo četvrttalasnog prilagođenja (6.5) može se postići i odgovarajućim povezivanjem zavojnica i kondenzatora. Takva šema prilagođenja data je na sl. 6.18.

Pod pretpostavkom da je otpornost na priključku antene Z_A manja od karakteristične impedance Z_E simetričnog napojnog voda, potrebne induktivne reaktance zavojnice X_L izračunavaju se prema obrascu

$$X_L = \frac{Z_A}{2}\sqrt{\frac{Z_E}{Z_A} - 1}$$

Primer

$Z_A = 30\ \Omega$

$Z_E = 300\ \Omega$

$$X_L = \frac{30\ \Omega}{2}\sqrt{\frac{300\ \Omega}{30\ \Omega} - 1} = 15\sqrt{9}\ \Omega = 45\ \Omega$$

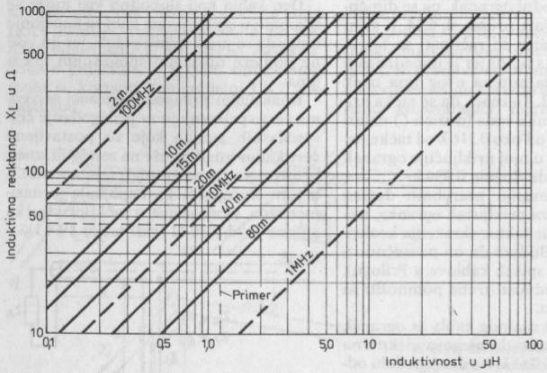
Indukativna reaktanca zavojnica X_L iznosi po 45 Ω. Kapacitivna reaktanca dobije se iz

$$X_C = \frac{Z_E}{\sqrt{\frac{Z_E}{Z_A} - 1}}$$

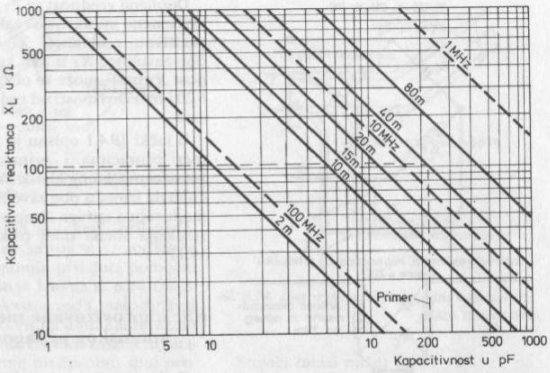
Sa vrednostima iz primera dobija se

$$X_C = \frac{300\Omega}{\sqrt{\frac{300\ \Omega}{30\ \Omega} - 1}} = \frac{300\ \Omega}{\sqrt{9}} = 100\Omega$$

Kapacitivna reaktanca kondenzatora mora biti 100 Ω. Radi određivanja praktičnih vrednosti za zavojnice u μH i za kondenzatore u pF morala bi se izračunati induktivnost, koja odgovara utvrđenoj induktivnoj reaktanci, i kapacitivnost, koja odgovara utvrđenoj kapacitivnoj reaktanci na predviđenoj radnoj frekvenciji. Korišćenjem nomograma (sl. 6.19 i sl. 6.20) može se izbeći taj pomalo komplikovani proračun; rezultat je dovoljno tačan za praksu. U našem primeru induktivna reaktanca iznosila je 45 Ω, a prema sl. 6.19 za opseg od 40 m odgovara vrednost induktivnosti od oko 1 μH (ucrtano isprekidanom linijom). Za X_C dobijena je kapacitivna reaktanca od 100 Ω. Na sl. 6.20 vidi se da za radnu frekvenciju u opsegu od 40 m, zahtevanoj kapacitivnoj reaktanci odgovara kondenzator od 225 pF. I ovaj primer ucrtan je na sl. 6.20.



Sl. 6.19. Induktivna reaktanca X_L i induktivnost zavojnice u zavisnosti od frekvencije



Sl. 6.20. Kapacitivna reaktanca X_C i kapacitet kondenzatora u zavisnosti od frekvencije

Amateri vrlo retko koriste ovu metodu prilagođenja. Ona je naročito pogodna u kratkotalasnom području, jer se kondenzator i obe zavojnice mogu komotno smestiti u vodonepropusnu plastičnu kutiju. Ona se pričvrsti direktno u tački napajanja antene. Povoljno je da kondenzator bude promenljiv u određenim granicama (obrtni kondenzator ili kondenzator sa paralelno spojenim trimerima); na taj način može se vršiti i fino podešavanje na najmanji odnos stojećih talasa.

6.7.1. *Bušeroov* most kao element za prilagođenje

Promena impedance može se ostvariti i kombinacijom zavojnica i kondenzatora vezanih u vidu *Bušeroovog* mosta (*Boucherot*). Na sl. 6.21 prikazana je principijelna šema i praktičan primer njene izvedbe.

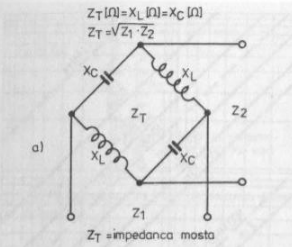
Proračun potrebnih vrednosti sastavnih delova vrlo je jednostavan. Prvo se odredi potrebna impedanca mosta Z_T. Ona se izračunava kao $Z_T = Z_1 \cdot Z_2$.

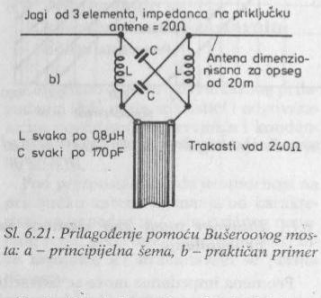
Budući da je $Z_T = X_L = X_C$, impedanca Z_T predstavlja istovremeno vrednost i induktivne reaktance X_L i kapacitivne reaktance X_C. Prema sl. 6.19 za željenu radnu frekvenciju može se odrediti vrednost X_L u μH. X_C u pF dobija se prema sl. 6.20, u zavisnosti od frekvencije.

Primer

Jagi-antena od tri elementa u opsegu od 20 m ima otpornost na priključku antene Z_1 od 20 Ω. Za njeno napajanje služi trakasti vod čija je impedanca $Z_2 = 240$ Ω. Impedanca mosta izračunava se kao

$$Z_T = \sqrt{20\ \Omega \cdot 240\ \Omega} = \sqrt{4800\ \Omega} \approx 70\ \Omega$$





Sl. 6.21. Prilagođenje pomoću Bušeroovog mosta: a – principijelna šema, b – praktičan primer

Budući da je $Z_T = X_L = X_C$, induktivna reaktanca zavojnica X_L iznosi po 70 Ω, a isto toliko i kapacitivna reaktanca X_C svakog kondenzatora. Na sl. 6.19 vidi se da za opseg od 20 m i $X_L = 70\ \Omega$ induktivnost iznosi 0,8 μH, dok se na sl. 6.20 za opseg od 20 m i $X_C = 70\ \Omega$ očitava kapacitet od 170 pF.

6.7.2. Zefridov transformacioni član

Zefridov (Seefried) transformacioni član je još jedan prilagodni sklop izgrađen od koncentrisanih sastavnih delova. On se može primeniti uvek kada nesimetričan napojni vod treba da se prilagodi na nesimetričnu antenu (npr., četvrttalasnu štap antenu, graundplejn-antenu itd.). Na sl. 6.22 prikazana je šema ovog sklopa sastavljenog od dve jednake zavojnice i jednog kondenzatora.

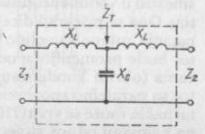
Potrebna impedanca transformacionog člana Z_T izračunava se prema već poznatom obrascu $Z_T = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}$.

Dobijena vrednost za Z_T predstavlja istovremeno induktivnu reaktancu X_L i kapacitivnu reaktancu X_C. Induktivnost obe zavojnice X_L u μH, kao i kapacitivnost X_C u pF, može se očitati na sl. 6.19 i 6.20 i to u zavisnosti od radne talasne dužine.

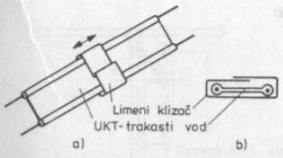
U tački 19.4.1 opisan je praktičan primer proračuna i primene *Zefridovog* transformacionog člana. Treba voditi računa da između obe zavojnice ne postoji međusobna sprega. Preporučuje se konstrukcija slična onoj prikazanoj na sl. 19.11.

6.8. Improvizovane metode antenskog prilagođenja

Kada amater ne poseduje odgovarajuće merne instrumente, prinuđen je da antenu samo približno tačno podesi na ulaz prijemnika. Zato su u ovom odeljku opisane improvizovane metode za korekciju prilagođenja i kompenzaciju reaktance. Poznat je kapacitivni klizač koji se pričvršćuje na pogodno mesto na UKT trakastom vodu. On se sastoji od limene trake obavijene oko trakastog voda tako da se njeni krajevi preklapaju, ali ne dodiruju, kao što je prikazano na sl. 6.23. Za frekventno područje od 100 do 250 MHz širina limene trake može biti oko 2 do 4 cm. U području od 30 do 100 MHz traka se proširuje na 5 do 10 cm. Kapacitivni klizač se pomera po trakastom vodu sve dok se ne pronađe mesto na kome je prijem najbolji, odnosno na kome je najbolji kontrast TV slike. Na tom mestu se učvrsti metalna traka. Bolje je, ali i mnogo komplikovanije, da dimenzije napojnog voda budu nešto duže nego što to prostor zahteva, pa da se na kraju koji je uz prijemnik skraćuju centimetar po centimetar, sve dok se ne podesi najbolji prijem, odnosno najbolja slika.



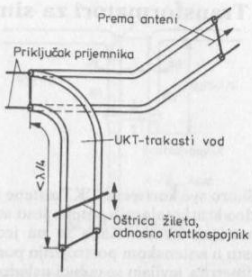
Sl. 6.22. Zefridov transformacioni član



Sl. 6.23. Improvizovano prilagođenje pomoću kapacitivnog klizača

Sledeća metoda korekcije prilagođenja napojnog voda sastoji se u tome što se na ulazu u prijemnik priključi pomoćni prilagodni ogranak kao na sl. 6.24. Odseče se komad trakastog voda, malo duži od $\lambda/4$ i ostavi otvoren na dnu. Zatim se, na raznim dužinama, žiletom zaseca izolacija i tako ostvaruje međusobni spoj provodnika trakastog voda i to sve dok se ne pronađe mesto najboljeg prijema. Na tom mestu zalemi se kratkospojeni most.

Navedene improvizovane korekcije na ulazu prijemnika jesu rešenja za slučaj nužde. Ona ne mogu zameniti tehnički besprekorno prilagođenje u tački napajanja antene, jer se njima ne mogu otkloniti stojeći talasi u vodu za napajanje. Ona samo utiču na to da se napojni vod ponaša kao podešen vod (vidi tačku 5.3.2).



Sl. 6.24. Improvizovani prilagodni ogranak na ulazu prijemnika

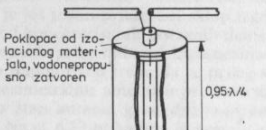
Stojeći talasi mogu da se pojave i na pravilno prilagođenom paralelnom žičanom vodu i to zbog nepravilnog vođenja ovog voda, npr., kada vod dodiruje druge provodnike (oluke itd.) ili kada, na malo j udaljenosti, ide paralelno sa njima. Usled toga, na takvim mestima smanjuje se karakteristična impedanca napojnog voda, pa se stvaraju stojeći talasi. Takvi slučajevi su česti i kod njih se mogu uspešno primeniti improvizovane korekcione mere, ali time se ne otklanja uzrok zla.

7. Transformatori za simetriranje

Skoro sve korišćene UKT antene i veliki deo kratkotalasnih antena jesu antene simetrične izrade. Kada se na jednom mestu u antenskom postrojenju poremeti simetrija, javljaju se gubici usled zračenja. Simetrični su, takođe, UKT trakasti vodovi, oklopljeni simetrični dvožični vodovi i svi dvožični vodovi sopstvene izrade, pa su zato pogodni za napajanje simetričnih antena.

Međutim, u mnogim slučajevima pogodno je da se za napajanje upotrebe nesimetrični koaksijalni kablovi, jer oni mogu dati niz prednosti, kao što je objašnjeno u tački 5.1.3.

Ako se simetrična antena napaja koaksijalnim kablom, ona je nesimetrično opterećena, čak i kada su otpornost na priključku antene i karakteristična impedanca kabla međusobno jednake. Kao posledica toga, javljaju se struje izjednačenja u omotaču kabla; one prouzrokuju gubitke usled zračenja. Neravnomerno pobuđivanje antene izobličava karakteristiku usmerenosti antene i pospešuje »razrokost« antene. Ostali nenamerni efekti usmeravanja i poništavanja zračenja mogu da se jave i zbog interferencije talasa, koje zrači oklop kabla, sa zračenjem antene.



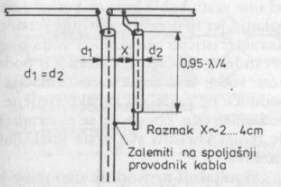
Sl. 7.1. Četvrtalasni lanac za simetriranje

Kod napajanja simetričnih antena ne treba se odreći prednosti koaksijalnih kablova, jer postoji nekoliko mogućnosti da se priključci kablova na antenu izvedu simetrično u odnosu na zemlju. Takvi uređaji poznati su pod zajedničkim pojmom *elemenata za simetriranje* ili *transformatora za simetriranje*.

7.1. Četvrttalasni lonac za simetriranje

Klasičan element za simetriranje je *četvrttalasni lonac za simetriranje*, prikazan na sl. 7.1.

Iz mehaničkih razloga simetriranje $\lambda/4$ loncem prikazane izvedbe ograničeno je na područje UKT i decimetarskih talasa. Dužina spoljašnje metalne cevi iznosi 0,95 $\lambda/4$. Prečnik D nije naročito kritičan i obično iznosi 25 do 40 mm kada se koriste komercijalni koaksijalni kablovi (odnos prečnika spoljašnje cevi i koaksijalnog kabla treba da bude oko 3 : 1 do 4 : 1). Sa donje strane, lonac je zatvoren metalnom pločicom. Napojni kabl ulazi kroz centralni otvor u unutrašnjost cevi, s tim što mu je na dužini $\lambda/4$ skinut zaštitni plastični omotač. Tako oslobođen spoljašnji provodnik zalemi se sa dnom lonca na ulazu u lonac. Iz mehaničkih razloga, otvor lonca prema anteni zatvoren je poklopcem od izolacionog materijala, a u njegovoj sredini nalazi se otvor za koncentrično provođenje napojnog kabla. Poklopac lonca mora dobro da zaptiva unutrašnjost lonca od kiše. Ne sme se štedeti zaptivna masa. Otpaci trolitula rastvoreni u hloroformu daju dobar zaptivni kit. Na dnu lonca predvideti mali otvor za odvod vode.

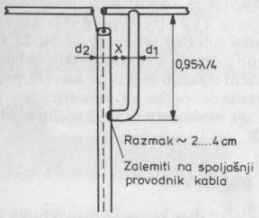


Sl. 7.2. Pozijev element za simetriranje

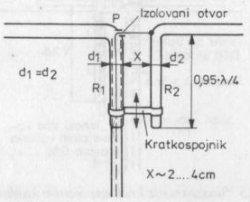
7.2. *Pozijev* element za simetriranje

Pozijev (Powsey) element za simetriranje (sl. 7.2) veoma je jednostavan, a može da se koristi i u kratkotalasnom području. Za njegovu izradu dovoljan je komad koaksijalnog kabla bilo koje karakteristične impedance (dužine 0,95 $\lambda/4$). Unutrašnji provodnik kabla nije potreban, pa se može upotrebiti čak i kabl koji je postao neupotrebljiv zbog uticaja vode.

Značajan je samo spoljašnji provodnik kabla, čiji prečnik mora da bude jednak prečniku napojnog kabla. Donji kraj kabla dužine $\lambda/4$ lemi se na spoljašnji provodnik napojnog kabla. Razmak X nije kritičan i može da bude 2 do 4 cm. Četvrttalasni kabl može se zameniti komadom cevi ili okruglom šipkom iste dužine, kao što je naznačeno na sl. 7.3, pri čemu je način delovanja isti a postiže se i isti uspeh. Spoljašnji prečnik upotrebljenog komada dužine $\lambda/4$ mora opet odgovarati spoljašnjem prečniku koaksijalnog kabla.



Sl. 7.3. Mehanička varijanta Pozijevog elementa za simetriranje



Sl. 7.4. EMI-petlja

7.3. *EMI* petlja

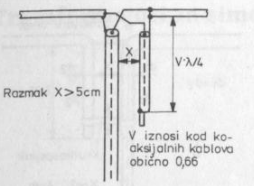
Na sl. 7.4 prikazana je tzv. *EMI* petlja, u kojoj će pažljivi čitalac odmah prepoznati normalni *Pozijev* element za simetriranje. Kod EMI petlje poboljšana je samo mehanička konstrukcija (*EMI* naziv engleske firme).

Sa koaksijalnog kabla za napajanje skida se odgovarajuća dužina (nešto više od $\lambda/4$) izolacionog spoljašnjeg zaštitnog omotača i ogoljeni kraj ugura u levu cev R_1. Na taj način spoljašnji provodnik napojnog kabla dolazi u kontakt sa cevi R_1. Unutrašnji provodnik kabla ne sme doći u dodir sa spoljašnjim provodnikom, ni sa cevi R_1. On se u tački P izvuče kroz izolovani otvor i zalemi na cev R_2. Radi tačnog podešavanja, kratkospojnik na dnu EMI petlje izvede se tako da se može pomerati. Taj pomični klizni kratkospojnik, u određenim granicama omogućava i kompenzaciju reaktivnih komponenti antenske impedance.

7.4. Simetriranje kratkospojenim kablom

Na sl. 7.5 prikazan je veoma jednostavan način simetriranja, koji se može dobro izvesti i u kratkotalasnom području.

To je komad koaksijalnog kabla, koji je na svom donjem kraju kratko spojen (unutrašnji provodnik je zalemljen na spoljašnji) i čija je električna dužina $\lambda/4$. Treba uzeti u obzir faktor skraćenja; on iznosi kod komercijalnih koaksijalnih kablova prosečno 0,66. Geometrijska dužina komada kabla dobija se, kada se $\lambda/4$ pomnoži sa faktorom 0,66. Razmak četvrttalasnog komada kabla od napojnog kabla treba da bude najmanje 5 cm. Na priključku antene kabl za napajanje i provodnik za simetriranje spajaju se unakrsno paralelno (vidi sl. 7.5).



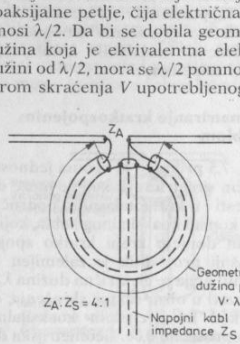
Sl. 7.5. Simetriranje kratkospojenim kablom dužine λ/4

Do sada opisani elementi za simetriranje ne menjaju odnose između otpornosti u priključnoj tački antene. Oni su delimično poznati samo pod imenom bazuka (*Bazooka*). Ogranak za simetriranje pogodan je za kratkotalasne opsege; ali se ne preporučuje za VVF i UVF.

7.5. Polutalasna koaksijalna petlja za simetriranje

Polutalasna koaksijalna petlja za simetriranje ima karakteristike elementa za transformaciju (sl. 7.6).

Ovaj način simetriranja sastoji se od koaksijalne petlje, čija električna dužina iznosi $\lambda/2$. Da bi se dobila geometrijska dužina koja je ekvivalentna električnoj dužini od $\lambda/2$, mora se $\lambda/2$ pomnožiti faktorom skraćenja V upotrebljenog kabla.



Sl. 7.6. Element za simetriranje i transformaciju u vidu polutalasne koaksijalne petlje

Petlja za simetriranje može se napraviti od one vrste kabla koja se koristi i za napajanje, jer to pojednostavljuje postupak. Karakteristična impedanca voda nije od presudnog značaja, jer se radi o podešenom vodu, kod koga transformacija impedance ne zavisi od karakteristične impedance voda. Zbog toga se za izradu petlje mogu koristiti sve vrste koaksijalnih kablova.

Spoljašnji provodnik napojnog kabla spaja se sa spoljašnjim provodnikom petlje, kao što se vidi na sl. 7.6. Međutim, ne postoji spoj između spoljašnjih provodnika oba kabla i antene. Način spajanja unutrašnjih provodnika oba kabla sa antenom prikazan je, takođe, na sl. 7.6.

Odnos transformacije polutalasne petlje iznosi 1 : 4. To znači da se koaksijalni kabl karakteristične impedance Z_S od 60 Ω može priključiti uz pomoć polutalasne petlje na ulaznu otpornost antene Z_A od 240 Ω, pri čemu je ostvarena simetrija prema tlu, a zadovoljeni su i uslovi o priključivanju impedance. Ista koaksijalna petlja može se primeniti i za odnos impedanci 50/200 Ω ili 70/280 Ω, odnosno 73/300 Ω, a da se pri tome ne mora ništa promeniti na vodu.

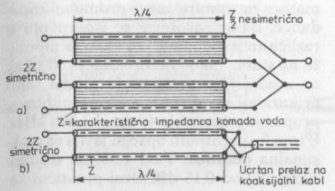
Ovakva petlja naziva se još i balun-transformator ili kratko samo balun (engleska skraćenica za balanced-unbalanced). Relativna širina opsega b iznosi oko 0,3, pa je pogodna za svaku praktičnu primenu u radio amaterstvu.

Petljasti oblik ovog zaobilaznog voda nije obavezan, pa se, prema zahtevima, deo kabla za simetriranje može saviti u više namotaja ili položiti u bilo kojoj drugoj formi.

Impedanca industrijski proizvedenih antena za VVF i UVF opseg skoro uvek je simetrična i ima vrednost od 240 Ω. Ove antene mogu se direktno priključiti na simetrični trakasti vod ili se na njih, preko polutalasne petlje za simetriranje, priključuje nesimetrični koaksijalni kabl od 60 Ω.

7.6. Balun-vod

Kada se dva komada provodnika iste vrste i iste dužine povežu paralelno na jednom kraju, a serijski na suprotnom kraju, takođe dolazi do transformacije otpornosti povezane sa simetriranjem, kao kod polutalasne petlje. Kod balun-vodova (sl. 7.7), karakteristična impednca Z javlja se na paralelno vezanom kraju, i to sa vrednošću $Z/2$ nesimetrično. Na suprotnom kraju redno vezani kraj voda je simetričan i priključna impedanca jednaka je dvostrukoj karakterističnoj impedanci balun-voda ($2Z$). Odnos transformacije impedance koja je povezana sa transformisanjem simetričnosti iznosi 1 : 4.

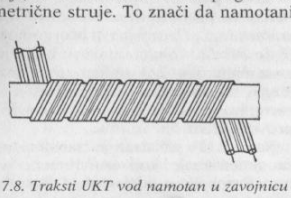


Sl. 7.7. Balun vod: a – za trakasti vod, b – za koaksijalni kabl

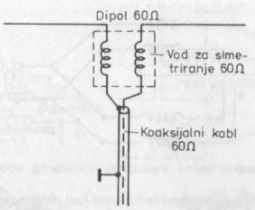
Dužina oba komada voda iznosi $\lambda/4$. Na sl. 7.7 prikazan je balun-vod za koaksijalni kabl i za UKT trakasti vod. Pravilnim korišćenjem balun-voda mogu se uspešno rešiti problemi prilagođenja koji u početku izgledaju teški.

7.7. Namotani dvožični vod kao transformator za simetriranje

Ako se dvožični vod namota u zavojnicu sa odgovarajućim brojem namotaja, ona će u veoma velikom frekventnom opsegu pokazivati sledeće karakteristike: delovaće kao prigušnica nesimetričnih struja, ali će samo neznatno prigušivati simetrične struje. To znači da namotani dvožični vod predstavlja transformator za simetriranje koji je skoro nezavisan od frekvencije. Na sl. 7.8 prikazano je kako se komad UKT trakastog voda odgovarajuće karakteristične impedance namotava u zavojnicu. Postupak je jednostavan, a zavojnica ne zauzima mnogo prostora. Dužina namotnog dvožičnog voda nije kritična; optimalno je da bude $\lambda/4$, ali ona se može menjati između $\lambda/10$ i $\lambda/8$. Priključak ovakvog voda za simetriranje na dipol prikazan je na sl. 7.9.



Sl. 7.8. Traksti UKT vod namotan u zavojnicu



Sl. 7.9. Namotani vod kao element za simetriranje

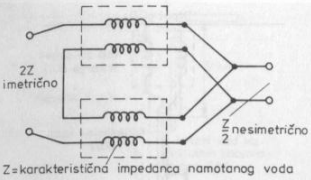
Karakteristična impedanca namotanog voda mora biti jednaka priključnoj impedanci, jer se kod prikazanog oblika transformatora za simetriranje ne javlja pretvaranje impedance.

Postoje raznovrsne mogućnost za korišćenje ovog aperiodičnog transformatora za simetriranje. Na primer, ako se između priključka antene i napojnog kabla priključi namotani trakasti vod od 60 Ω (sl. 7.9), simetrični dipol čija je otpornost na priključku 60 Ω, može se napajati nesimetričnim koaksijalnim kablom čija je karakteristična impedanca 60 Ω. Nesimetrični jednotaktni izlazni stepen ili Kolinsov filtar mogu se, takođe, priključiti na simetrični dvožičan vod, ako se između njih uključi namotani dvožični vod.

7.7.1. Namotani dvožični vod kao transformator za simetriranje i promenu impedance

Ako se upotrebe dva namotana dvožična voda u istom serijsko-paralelnom spoju kao balun-vod (7.6), onda će taj sklop

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

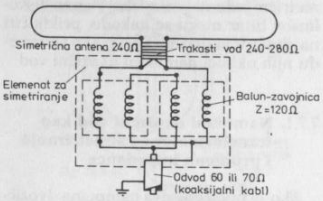


Sl. 7.10. Namotani balun-vod kao element za prilagođenje i simetriranje

imati iste električne osobine: pretvaraće impedancu 4 : 1 i obezbeđivaće prelaz sa simetričnog na nesimetrični sistem, odnosno obrnuto. Osim toga, balun-zavojnica odlikuje se još velikim frekventnim opsegom, a ne zauzima mnogo prostora (sl. 7.10). I u ovom slučaju važi isto pravilo kao kod balun-voda: Karakteristična impedanca Z namotanog voda javlja se na paralelno spojenoj strani kao nesimetrično $Z/2$, a na drugom, serijski spojenom kraju kao simetrično 2 Z.

Takav balun-spoj zavojnica može se primeniti za međusobno spajanje savijenog dipola od 240 Ω na koaksijalni napojni vod od 60 Ω i da pri tom impedance budu pravilno priključene (sl. 7.11). Karakteristična impedanca balun-zavojnica, u ovom slučaju, mora biti 120 Ω ($Z/2 = 60$ Ω, $2Z = 240$ Ω.

Ako amater upotrebi simetrični trakasti vod od 120 Ω ($2 \times 0{,}4$ Cu), nije teško da sam izradi balun-zavojnice, koje se preporučuju za korišćenje u kratkotalasnom području. Međutim, kod korišćenja balun-zavojnica za VVF i UVF antene, jednostavnije i jeftinije je kada amater upotrebi industrijski proizvedene transformatore za simetriranje i promenu impedance. Balun-zavojnice se isporučuju u različitim izvedbama, i to kako za montažu na stubu, tako i za direktan priključak na uređaj. One se izrađuju prema šemi prikazanoj na sl. 7.11, a širina njihovog propusnog opsega je 40 do oko 800 MHz. U tom frekventnom opsegu javlja se maksimalna talasnost s od 1,35, uz srednje slabljenje od 0,15 dB. Ovaj praktični sastavni deo razvijen je radi ispravnog priključivanja simetričnih antena sa standardizovanom otpornošću na priključku od 200 do 300 Ω na koaksijalni kabl karakteristične impedance 50 do 75 Ω.



Sl. 7.11. Praktičan primer korišćenja balun-zavojnice

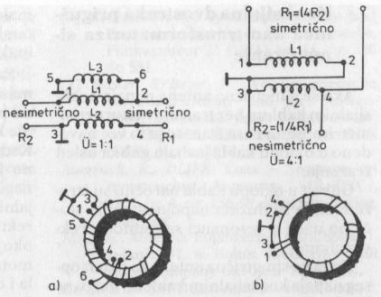
7.7.2. Balun-transformator sa prstenastim jezgrom

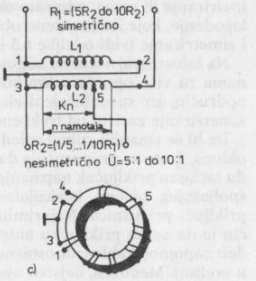
Namotavanjem balun-zavojnica na prstenasto feritno jezgro dobije se transformator za simetriranje u kratkotalasnom području. On je lagan i omogućava uštedu materijala. Širina opsega prstenastih balun-transformatora je velika i, kada se upotrebi pogodan ferit, iznosi od oko 3 MHz do 30 MHz (1 : 10). Oni su naročito pogodni za kratkotalasne antene sa više opsega.

Prema potrebi, transformatori za simetriranje mogu se izraditi sa odnosima transformacije 1 : 1, 4 : 1 i 5 : 1 do 10 : 1. Zavojnice L_1 i L_2 izvode se kao bifilarni namotaji, koji se rasporede po obimu prstenastog jezgra, kao što je prikazano na sl. 7.12. Potrebno je 6 do 10 namotaja, već prema permeabilitetu prstenastog jezgra. Za zavojnice mogu da se upotrebe lakirana bakarna žica, izolovana bakarna pletenica ili dvožilni provodnik preseka žile ≥ 1 mm^2. Na sl. 7.12a prikazana je principijelna šema i način izrade namotaja za široko pojasni transformator za simetriranje sa prenosnim odnosom 1 : 1. Zavojnice L_1, L_2 i L_3 imaju isti broj namotaja (6 do 10). L_1 i L_2 namotane su bifilarno i zauzimaju oko 2/3 obima prstenastog jezgra; na slobodnu trećinu smeštena je zavojnica L_3, koja je namotana jednim provodnikom.

Na sl. 7.12b prikazan je transformator za simetriranje koji istovremeno vrši transformaciju u odnosu 4 : 1. Potreban

Sl. 7.12. Širokopojasni balun-transformator sa prstenastim jezgrom: a – principijelna šema i način motanja namotaja za prenosni odnos $\dot{U} = 1 : 1$; b – principijelna šema i način motanja za $\dot{U} = 4 : 1$; c – principijelna šema i način motanja za $\dot{U} = 5 : 1$ do $10 : 1$





je samo jedan bifilarni namotaj, koji se sastoji od L_1 i L_2 i koji je raspoređen po obimu prstenastog jezgra. Spajanjem krajeva 2 i 3 nastaje serijsko-paralelna veza; zahvaljujući toj vezi impedanca simetričnog priključka R_1 (1 – 4) transformiše se u odnosu 4 : 1 na nesimetričnom priključku (3 – 4), tj. $R_2 = \frac{1}{4} R_1$.

Ako se na zavojnici L_2 naprave izvodi, mogu se u zavisnosti od položaja izvoda 5, postići prenosni odnosi od 5 : 1 do 10 : 1 (sl. 7.12c, literatura pod [1]. Položaj izvoda 5 izračunava se iz odnosa

$$R_1 = 4 \cdot \frac{R_2}{K^2} \qquad (7.1)$$

U tabeli 7.1 date su izračunate vrednosti za položaj izvoda 5, izražene u decimalnim brojevima ($K_n : n$) i kao broj namotaja između izvoda 3 – 5 za n = 8 namotaja i n = 7 namotaja.

Kao materijal za izradu prstenastog jezgra pogodni su, pre svega, Ni–Zn feriti (npr., *MANIFER* iz grupe *MF 300* odnosno *FERROXCUBE 4*), a mogu se upotrebiti i Mn-Zn feriti (npr., *MANIFER* iz grupe *MF 100* odnosno *FERROXCUBE 3*). Za snage koje su dozvoljene za amaterske predajnike uvek je dovoljan spoljašnji prečnik D prstenastog jezgra od 60 mm. Za VF snage do 20 W dovoljan je D od 25 mm (literatura pod [2]); Za D = 40 mm snaga predajnika može biti do 200 W. Ako nema prstenastih feritnih jezgara mogu se upotrebiti i antenski feritni štapovi kao nosači namotaja.

Tabela 7.1

POLOŽAJ IZVODA 5 U ZAVISNOSTI OD PRENOSNOG ODNOSA $R_1 : R_2$ ZA BALUN–TRANSFORMATORE PREMA sl. 7.12c

Prenosni odnos ($R_1 : R_2$)	Izvod 5 ($K_n : n$)	Broj namotaja K_n za $n = 8$ namotaja	Broj namotaja K_n za $n = 7$ namotaja
5 : 1	0,9	7,2	6,3
6 : 1	0,82	6,5	5,7
7 : 1	0,76	6,1	5,3
8 : 1	0,71	5,6	5,0
9 : 1	0,67	5,3	4,7
10 : 1	0,64	5,1	4,5

Ostala uputstva o izradi širokopojasnih transformatora za simetriranje i promenu impedance data su u literaturi pod [2], a pod [3] navode se opšti podaci o feritnim sastavnim delovima i o njihovoj primeni.

7.8. Koaksijalna dvostruka prigušnica kao transformator za simetriranje

Ako se simetrična antena napaja koaksijalnim kablom bez transformatora za simetriranje, tada se, kao što je to već navedeno u oklopu kabla javljaju gubici usled zračenja.

Gubici u oklopu kabla naročito su izraženi kada se dužina napojnog kabla slučajno nađe u rezonanci sa radnom frekvencijom.

Kada se simetrična antena za jedan opseg napaja koaksijalnim kablom, mogu se koristiti napred opisani elementi za simetriranje ili gama, odnosno omega-prilagođenje, koje istovremeno obezbeđuje i simetriranje (vidi odeljke 6.3 i 6.4).

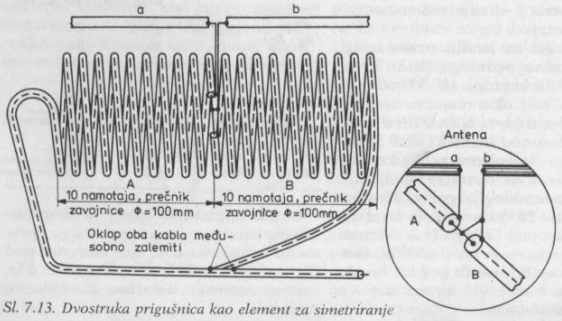
Na žalost, ovaj način ne odgovara antenama za više opsega u kratkotalasnom području, jer su uobičajeni elementi za simetriranje zavisni od frekvencije.

Da bi se smanjili gubici usled zračenja oklopa, često se preporučuje da se između tačke za priključak napajanja antene i spoljašnjeg oklopa koaksijalnog kabla priključi prigušnica. Najprimitivniji način je da se na priključku antene jedan deo napojnog kabla jednostavno namota u svežanj. Međutim, dejstvo ove mere je malo. Nešto je povoljnije kada se kraj koaksijalnog kabla do antene namota u pravilnu zavojnicu sa 10 do 12 namotaja, čiji je prečnik 120 mm, i to bez razmaka među namotajima. Na taj način može se malo više smanjiti nesimetričnost u amaterskom opsegu od 10, 15 i 20 m, ali to je, ipak, nepotpuno, pomoćno rešenje.

Koaksijalna dvostruka prigušnica prema sl. 7.13 predstavlja efikasniji i električno povoljniji transformator za simetriranje kratkotalasnih antena sa više opsega. Kada se koristi takva prigušnica potrebno je oko 8 m koaksijalnog kabla više nego kod direktnog priključka. Koaksijalni napojni kabl se ne prekida, jer on direktno prelazi u dvostruku prigušnicu na oko 8 m od kraja kod antene. Posle 10 namotaja skine se spoljašnji provodnik kabla i dielektrik na dužini od 2 do 5 cm, pri čemu se ne sme povrediti unutrašnji provodnik. Kasnije se na to mesto priključi antena kao što je prikazano na detalju. Zatim se u istom smeru namota 10 namotaja (B). Preostali rep kabla kratko se spoji na kraju (poveže se unutrašnji provodnik sa spoljašnjim), pa se zalemi na spoljašnji provodnik dovodnog kabla. Tačku spajanja odabrati tako da dužina B (između kraja zavojnice i priključne tačke antene) bude jednaka dužini A (između početka zavojnice i priključne tačke antene).

Sistem je širokopojasan i može se koristiti za tri amaterska kratkotalasna opsega. Dvostruka prigušnica za simetriranje u velikoj meri otklanja gubitke usled zračenja oklopa.

Dodatni gubici u vodu iznose najviše 0,5 dB i uopšte nisu značajni, jer je poboljšan stepen korisnog dejstva antene.



Sl. 7.13. Dvostruka prigušnica kao element za simetriranje

Koaksijalna dvostruka prigušnica je relativno teška za napojnu tačku antene i na koaksijalnom kablu ima više priključnih mesta, koja moraju biti dobro zaptivena od prodora vlage. Balun-transformator sa prstenastim jezgrom je lakši i ima manje dimenzije, a kao što je rečeno u tački 7.7.2, odlikuje se širim opsegom. Koaksijalna dvostruka prigušnica često se koristi kada nema odgovarajućeg feritnog prestenastog jezgra.

LITERATURA ZA POGLAVLJE 7

[1] ... The ARRL Antenna Book, 13. izdanje 1974, str. 103, Newington, Conn.

[2] *Rohlaender, W.*: Symmetriewandler und Breitbanduebertrager fuer Kurzwelle, Funkamateur 25 (1976), br. 11, str. 550 do 551

[3] *Becker, E/Beyer, P.*: Weichmagnetische Ferritbauelemente und ihre Anwendung, amaterska serija »electronica«, vol. 124 i 125, Militaerverlag der DDR (VEB), Berlin 1974.

Auerbach, R., DLIFK: Coax – Speisung symmetrischer Antennen, »DL–QTC«, 1961, br. 4, str. 156, W. Koerner–Verlag, Stuttgart

Jasik, H.: Antenna Engineering Handbook, 1. izdanje, 31. 6. Balun, McGraw – Hill Book Company Inc. New York 1961.

Orr, W.I. W6SAI Beam Antenna Handbook, 2. izdanje, str. 58, Radio Publications Inc., Wilton, Conn.

8. Sprega napojnog voda sa izlaznim stepenom predajnika

Da bi postigli maksimalni prenos snage od izlaznog stepena predajnika, preko napojnog voda, do antene, treba obratiti pažnju na dva osnovna uslova:

a – potrošač (antena) mora predstavljati za generator (izlazno kolo predajnika) čistu aktivnu otpornost bez kapacitivnih ili induktivnih reaktivnih komponenata;

b – impedanca potrošača mora biti prilagođena impedanci generatora.

Prvi uslov ispunjava se uvek kada je rezonantna frekvencija antene jednaka rezonantnoj frekvenciji izlaznog stepena predajnika. Budući da su antena i generator obično povezani vodom za prenos energije (napojnim vodom), karakteristike ovog voda moraju biti takve da on ne ometa rezonantne odnose između generatora i potrošača.

Taj uslov biće zadovoljen ako se na kraju *podešenog* napojnog voda kod predajnika nalazi strujni trbuh (strujna sprega) ili naponski trbuh (naponska sprega), što znači da su napojni vod i antena istovremeno rezonantni. *Prilagođen* napojni vod odgovara uslovu ako na njemu nema stojećih talasa.

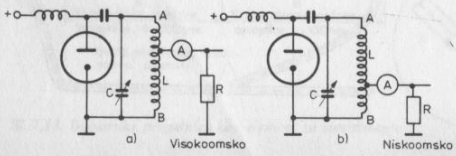
Impedanca izlaznog stepena predajnika je, uopšte, reda veličine od nekoliko hiljada oma, dok je impedanca podešenog napojnog voda visokoomska (naponska sprega) ili niskoomska (strujna sprega).

Nasuprot tome karakteristična impedanca nepodešenog amaterskog napojnog voda kreće se uvek između 50 i 600 Ω. U poglavlju 5 već je detaljno obrađeno prilagođenje napojnog voda na impedancu u tački napajanja antene. Zbog toga će se u daljim razmatranjima pretpostaviti da je, u skladu sa zahtevom pod a, potrošač (antena) čisto aktivno opterećenje kola izlaznog stepena. Tu aktivnu otpornost treba prilagoditi na impedancu generatora, i to postupkom koji je, u principu, jednak prilagođenju zvučnika ili slušalica (potrošača) izlaznoj impedanci niskofrekventnog pojačavača (generatora).

Najjednostavniji način prilagođenja otpornosti prikazan je na sl. 8.1. Treba naglasiti da se ovaj način ne preporučuje za praktičnu primenu, jer on služi samo za objašnjenje principa. Da bi se dobila maksimalna snaga svaka izlazna cev mora biti opterećena određenom impedancom Z_R. Impedanca Z_R navodi se u podacima o cevi, ali ona može i da se izračuna iz odnosa anodnog napona U_a i anodne struje I_a.

Za predajnik sa elektronskim cevima dovoljno je tačan obrazac

$$\text{Za rad u klasi A: } Z_R = \frac{U_A}{I_A \cdot 1{,}3}, \qquad (8.1)$$



Sl. 8.1. Najjednostavniji način sprezanja antene: a – otpornost potrošača je visokoomska (antene sa naponskom spregom); b – otpornost potrošača je niskoomska (antene sa strujnom sprgom i nepodešeni napojni vodovi)

$$\text{Za rad u klasi B: } Z_R = \frac{U_A}{I_A \cdot 1{,}57}, \qquad (8.2)$$

$$\text{Za rad u klasi C: } Z_R = \frac{U_A}{I_A \cdot 2{,}3}, \qquad (8.3)$$

Za rad u klasi C u protutaktu

$$Z_R = \frac{U_A}{I_A \cdot 1{,}15}, \qquad (8.4)$$

Kada određenu impedancu Z_E treba prilagoditi na anodnu impedancu Z_R, potreban prenosni odnos ü može se izračunati iz obrasca

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{Z_R}{Z_E}} \qquad (8.5)$$

U šemi na sl. 8.1 $\ddot{u}$ može se odnositi direktno na broj namotaja n zavojnice u anodnom kolu kao $n/\ddot{u}$.

Primer

Impedanca sklopa prikazanog na sl. 8.1 iznosi Z_R = 6000 Ω. Treba odrediti na kome mestu će se radi prilagođenja na impedancu Z_E od 60 Ω, napraviti izvod na zavojnici u anodnom kolu.

Prenosni odnos ü iznosi

$$\sqrt{\frac{6000\ \Omega}{60\ \Omega}} = \sqrt{100} = 10$$

Zbog toga se izvod nalazi na

$$\frac{n}{\ddot{u}} = \frac{20}{10} = 2 \text{ namotaja}$$

Da bi se postiglo prilagođenje, Z_E se mora priključiti posle dva namotaja od »hladnog kraja« *B* zavojnice.

Ako je prilagođenje optimalno, na ampermetru će se očitati maksimalna struja u anteni. Jačina struje u anteni nije uvek najbolji pokazatelj snage koja se zrači, jer je kod strujne sprege (trbuh struje) ona jako velika, a kod naponske sprege (trbuh napona) tako mala da se često više ne može meriti uobičajenim VF ampermetrima.

Kod antenske sprege, koja je prikazana na sl. 8.1 zrače se i svi viši i bočni harmonici, koji se nalaze u izlaznom kolu predajnika.

Kod amaterskih radio-veza glavni problem je izbegavanje TV i radio-smetnji, pa će se u daljem tekstu govoriti samo o takvim vrstama sprege, koje što je moguće jače potiskuju nedozvoljena parazitna zračenja.

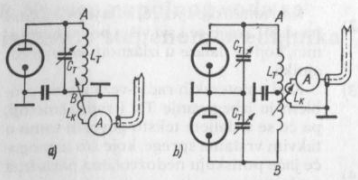
U vezi sa izvedbom anodnog kola predajnika treba napomenuti da moderni amaterski predajnici uvek poseduju nesimetričan, niskoomski izlaz za direktan priključak koaksijalnog napojnog kabla (karakteristične impedance 50 do 75 Ω). To je amaterski standard prihvaćen na osnovu komercijalnog standarda, pa ga treba uzeti u obzir kada se gradi predajnik. O prednostima ovakvog tehničkog rešenja govoriće se kasnije.

8.1. Sprega prilagođenih napojnih vodova sa izlaznim stepenom predajnika

Savremene kratkotalasne antene za rad na jednom opsegu pobuđuju se skoro uvek, a ultrakratkotalasne antene isključivo prilagođenim napojnim vodovima. Oni su najsigurnija zaštita od pojave neprijatnih smetnji pri TV i radio prijemu. Pri napajanju UKT antena koriste se dve vrste vodova: koaksijalni kablovi sa karakterističnim impedansama od 50 Ω i 75 Ω (često i 60 Ω) i UKT trakasti vodovi sa karakterističnim impedancama od 240 do 300 Ω. U kratkotalasnom području, pored koaksijalnog kabla značajan je i prilagođeni, otvoreni dvožični vod (»kokošije lestvice«) sa karakterističnim impedancama od oko 300 do 600 Ω, jer je istovremeno najjeftiniji i sa najmanje gubitaka.

8.1.1. Sprega koaksijalnih kablova

Najjednostavniji način sprezanja koaksijalnog kabla sa izlaznim stepenom predajnika prikazan je na sl. 8.2, i to za jednotaktnu šemu na sl. 8.2a, a za protivtaktnu šemu na sl. 8.2b.



Sl. 8.2. Sprega koaksijalnog kabla: a – na jednotaktni stepen, b – na protutaktni stepen

Kod ovog načina sprezanja dobrota (Q–faktor) izlaznog kola mora biti najmanje 10, jer najčešće nije dovoljna čvrsta sprega između L_K i zavojnice u izlaznom kolu L_T. Induktivna reaktanca zavojnice za spregu L_K na radnoj frekvenciji mora biti jednaka karakterističnoj impedanci koaksijalnog kabla.

Položaj zavojnice L_K može se menjati u odnosu na L_T, da bi se mogao podesiti najpovoljniji stepen sprege. Sprega se uvek vrši na »hladnom« kraju L_T. Radi što većeg smanjenja kapacitivne sprege između ove dve zavojnice – uzemljena strana L_K – treba da bude što bliže kraju *A* zavojnice L_T. Kod protivtaktnog kola L_K se spreže preko sredine zavojnice, jer se tu nalazi nulti potencijal, kao što je prikazano na sl. 8.2b. Ovde nije važno na kojoj se strani nalazi uzemljeni kraj zavojnice L_K, jer su i tačka A i tačka B »vruće«. Približne, orijentacione vrednosti za broj namotaja zavojnice za spregu L_K su:

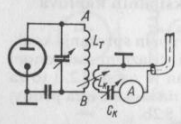
Za opseg od 80 m – 4 do 5 namotaja,

Za opseg od 40 m i od 20 m – 3 namotaja,

Za opseg od 15 m i od 10 m – 2 namotaja.

Poteškoće prilikom sprezanja mogu se smanjiti ako se promenljivi kondenzator C_K veže na red sa L_K i ako se kolo $L_K - C_K$ podesi na radnu frekvenciju. Ovo rezonantno kolo unosi dodatnu selektivnost i time doprinosi potiskivanju zračenih smetnji (sl. 8.3).

Dobrota (Q–faktor) kola za spregu obično iznosi 2 do 4. Što je Q manje, sprega između L_K i L_T mora biti čvršća. Optimalna sprega postiže se najčešće već kod faktora dobrote Q = 2, a kolo je još toliko širokopojasno da se C_K ne mora naknadno podešavati u celoj širini jednog amaterskog opsega. Veći faktori dobrote pojednostavljuju spregu tako što se L_K/L_T mogu slabije spregnuti, ali širina frekventnog opsega kola postaje manja, pa se u datom slučaju, i prilikom promene frekvencije u okviru jednog amaterskog opsega, mora korigovati podešenost C_K.



Sl. 8.3. Poboljšana šema sprege za koaksijalni kabl

Za pojedine KT amaterske opsege na tabeli 8.1 navedene su maksimalne vrednosti C_K koje su dobijene za uobičajene karakteristične impedance kabla i za dobrotu Q = 2.

Induktivnosti L_K potrebne za rezonancu moraju se izračunati ili uzeti iz uobičajenih nomograma za oscilatorna kola.

Prilikom praktičnog podešavanja kola za spregu sa priključenim napojnim vodom, prvo se ostvari slaba sprega između L_K i L_T, tako da se pri podešavanju C_K dobije jasno povećanje anodne struje izlaznog stepena. C_K se ostavi u položaju u kojem je postignuto maksimalno povećanje struje. Zatim se L_K i L_T opet spregnu tako

Tabela 8.1

VREDNOSTI KAPACITETA U KOLIMA ZA SPREGU ZA Q = 2

Amaterski opseg od	Maksimalni kapacitet C_K kada karakteristična impedanca napojnog kabla iznosi:		
	50 Ω	60 Ω	75 Ω
80 m	450 pF	400 pF	300 pF
40 m	230 pF	200 pF	150 pF
20 m	115 pF	100 pF	75 pF
15 m	80 pF	70 pF	50 pF
10 m	60 pF	55 pF	40 pF

jako da izlazna cev uzima punu ulaznu snagu na anodi, pri čemu se ranije utvrđeni položaj C_K ne menja.

Poznato je da se dobrota kola Q poboljšava povećanjem odnosa L/C. Zbog toga se, po potrebi, mora C_K smanjiti a L_K povećati.

U električnom pogledu svejedno je da li se promenljivi obrtni kondenzator C_K ubaci između zavojnice za spregu L_K i unutrašnjeg provodnika kabla (kao što je prikazano na sl. 8.3) ili se priključi na drugi kraj zavojnice. Ova druga mogućnost koristi se kada rotor kondenzatora C_K treba da bude na nultom potencijalu. Pošto se na njemu javljaju mali naponi, C_K može da bude normalni promenljivi obrtni kondenzator iz prijemnika, pod uslovom da se ne pređu dozvoljene snage amaterskih predajnika.

Anodno kolo izlaznog stepena mnogih predajnika izvedeno je kao NF π filtar (NF filtar – filtar propusnik niskih frekvencija). U takvim slučajevima nije potrebno posebno kolo za spregu, pa se koaksijalni kabl može priključiti direktno na izlaz predajnika. Ovakav NF – filtar (često se naziva *Kolinsov* filtar) kao transformator za prilagođenje predstavlja sklop, koji naročito dobro slabi više harmonike (filtar propusnik niskih frekvencija), pa je u pogledu potiskivanja TV i radio-smetnji pogodniji od sprege prikazane na sl. 8.3. U sledećoj podtački navode se jednostavne osnove proračuna takvog NF filtra.

8.1.1.1. *Proračun Kolinsovog filtra*

Na sl. 8.4 prikazan je nesimetričan *Kolinsov* filtar povezan sa anodnim kolom predajnika. Anodna impedanca Z_R izračunava se prema jednačinama od 8.1. do 8.4. Ako se π – filtar želi potpuno spregnuti sa anodnim kolom (u tački A, kao na sl. 8.4a) onda ulazna impedanca filtra Z1 mora biti jednaka Z_R. Međutim, *Kolinsov* filtar se obično priključuje kapacitivno na izvod zavojnice u anodnom kolu, kao na sl. 8.4 ili induktivno preko zavojnice za spregu (sl. 8.4b). Tada se Z_1 dobije iz zavisnosti od prenosnog odnosa i prema obrascu

$$Z_1 = \frac{Z_R}{\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2} \qquad (8.6)$$

Za n_1 i n_2 treba uneti odgovarajuće brojeve namotaja zavojnice.

Karakteristike filtra treba da budu: sa jedne strane, velika dobrota kola Q (veliki odnos L/C, a sa druge strane, kapaciteti ne smeju da budu premali, jer oni treba da predstavljaju dobar odvod za više harmonike. Faktor dobrote Q kreće se u praksi između 10 i 15, a uopšte se uzima da je Q = 12.

Kapacitet C_2 određuje se prema formuli

$$C_2 = \frac{Q}{\omega\, Z_1}, \qquad (8.7)$$

gde je

ω = kružna frekvencija = $2\pi \cdot f = 6{,}28\ f$,

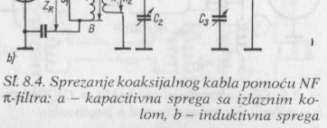
f = srednja frekvencija opsega.

Za proračun je jednostavnije da se koristi približni obrazac koji daje dovoljno tačne rezultate.

$$C_2\,(\text{pF}) = \frac{2000}{f\,(\text{MHz})\ Z_1\,(\text{k}\Omega)} \qquad (8.8)$$

Iz odnosa

$$C_3 = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \cdot C_2 \qquad (8.9)$$



Sl. 8.4. Sprezanje koaksijalnog kabla pomoću NF π-filtra: a – kapacitivna sprega sa izlaznim kolom, b – induktivna sprega

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

može se izračunati vrednost kapaciteta $C_3 \cdot Z_2$ predstavlja izlaznu impedancu filtra i ona je jednaka karakterističnoj impedanci koaksijalnog kabla (uopšte 60 Ω).

Treba još odrediti induktivnost L_2:

$$L_2 = \frac{QZ_1 + \omega C_3 Z_1 Z_2}{\omega (Q^2 + 1)} \qquad (8.10)$$

Iz toga se može izvesti sledeća približna formula:

$$L_2\,(\mu H) \approx 13 \cdot \frac{Z_1\,(k\Omega)}{f\,(MHz)} \qquad (8.11)$$

Približne formule važe ako je $Z_1 \geqslant 10 \cdot Z_2$ i $Q \geqslant 10$.

Za podešavanje NF π–filtra važi sledeće kratko uputstvo:

Kada nije priključen π–filtar, uz pomoć C_1 podesiti anodno kolo predajnika na rezonancu (minimum anodne struje). Zatim, na predajnik, spregnuti filtar sa priključenim vodom za napajanje, odnosno antenom. C_3 se nalazi u srednjem položaju, a sa C_2 podešava se anodna struja na maksimum. Ovaj postupak treba ponavljati, menjajući položaj C_3, sve dotle dok anodna struja ne postigne svoju najveću moguću vrednost. Tada je postignuta rezonanca i prilagođenje. U toku ovog podešavanja ne sme se menjati anodno kolo predajnika (C_1), on ostaje uvek u svom prvobitnom položaju u kome je postignuta rezonanca, a naknadno se podešava samo pri promeni frekvencije.

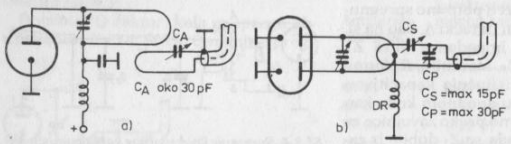
8.1.1.2. *Sprega koaksijalnih kablova sa UKT izlaznim stepenima*

Sprega UKT antena sa prilagođenim koaksijalnim kablom na izlazni stepen predajnika izvodi se malo drugačije. Na sl. 8.5 dato je nekoliko primera.

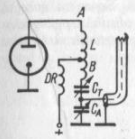
Na sl. 8.5a prikazana je uobičajena šema koja se najčešće koristi. Ona odgovara šemi na sl. 8.3 i koristi se za jednotaktne i protivtaktne stepene. Na sl. 8.5b prikazana je ista šema, ali za simetrična izlazna kola. U ovom slučaju paralelno sa petljom za spregu vezan je i dodatni obrtni kondenzator C_P. Pomoću C_P i u vezi sa C_S mogu se kompenzovati eventualne reaktivne komponente.

U UKT području (145 MHz) veći kapacitet cevi u izlaznom stepenu predstavlja veliki deo ukupnog kapaciteta u kolu. Zbog toga se pomoću normalne šeme kao na sl. 8.5a ne može postići adekvatan odnos L/C. To uslovljava manju dobrotu izlaznog kola, pa se najčešće ne može ostvariti dovoljno čvrsta sprega, jer se zavojnica za spregu mora postaviti utoliko bliže zavojnici izlaznog kola, ukoliko je manja dobrota kola Q. Kod izlaznih stepena u protivtaktu ređe se javlja ova teškoća, jer se u tom slučaju izlazni kapaciteti cevnih sistema nalaze u rednoj vezi sa oscilatornim kolom. Kod jednotaktnih stepena, naprotiv, izlazni kapacitet cevi vezan je paralelno sa kolom.

Veće faktore dobrote kola, a time i povoljnije odnose sprege, omogućava šema na sl. 8.6. Po izgledu ona je slična serijskom rezonantnom kolu; međutim, to je paralelno rezonantno kolo, kod koga su kapaciteti cevi serijski vezani na kapacitete C_T i C_A. Na taj način, ukupan kapacitet kola postaje veoma mali, a dobrota kola velika. Da bi se, sa gledišta impedance, izvršila pravilna sprega koaksijalnog kabla, kapaciteti C_T i C_A predstavljaju kapacitivni delitelj napona. Podešavanjem odnosa deljenja (odnosno odnosa kapaciteta) lako je ostvariti prilagođenje između karakteristične impedance koaksijal-



Sl. 8.5. Sprega koaksijalnog kabla sa UKT izlaznim stepenom: a – uobičajena šema, b – poboljšana sprega za rad u protivtaktu



Sl. 8.6. Sprega koaksijalnog kabla preko kapacitivnog delitelja

nog kabla i impedance izlaznog kola. Smatra se da je ovo stanje postignuto kada teče najveća moguća anodna struja.

Budući da su C_A i C_T delovi izlaznog kola, nakon svake primene C_A, C_T se uvek naknadno mora podesiti opet na rezonancu.

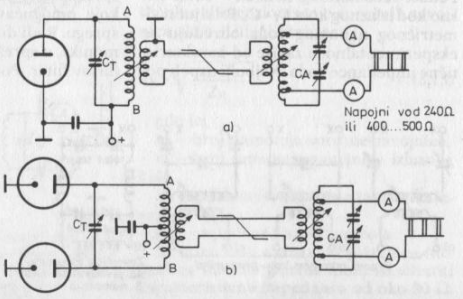
8.1.2. Sprega simetričnih, prilagođenih napojnih vodova za napajanje

Kod sprezanja simetričnih napojnih vodova svejedno je da li se radi o UKT trakastom vodu karakteristične impedance 240, odnosno 300 Ω ili o otvorenom dvožičnom vodu sa karakterističnom impedancom od 400 do 600 Ω.

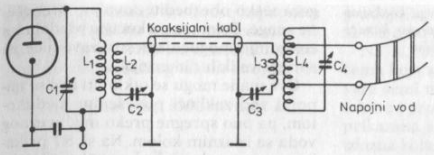
Takvi vodovi bi se mogli jednostavno induktivno spregnuti sa zavojnicom izlaznog stepena. Karakteristična impedanca od 240 do 600 Ω već je prilično velika, pa bi broj namotaja zavojnice za spregu morao iznositi, približno, polovinu broja namotaja zavojnice u kolu. Napon indukovan prema zavojnici za spregu relativno je malih vrednosti, pa je ovakvom spregom teško obezbediti dovoljno prenešene snage. Osim toga u kućište predajnika često nije moguće smestiti zavojnice za spregu velikih dimenzija.

Ove mane mogu se otkloniti ako se napojni vod zaključi podešenim međukolom, pa ono spregne preko međuveznog voda sa izlaznim kolom. Na sl. 8.7 prikazane su pogodne šeme za jednotaktne i protivtaktne izlazne stepene.

Radi podešavanja, međuvezne zavojnice se prvo veoma labavo spregnu sa zavojnicama kola, pa se C_T podesi na rezonancu (minimum anodne struje). Zatim se izvodi zavojnice u međukolu postave na neku srednju vrednost, simetrično prema sredini zavojnice, pa se međukolo dovede u rezonancu menjanjem C_A (maksimum anodne struje). Skoro se uvek može utvrditi da je promenom C_A narušena rezonancija izlaznog oscilatornog kola. Zato je potrebno da se novom, manjom promenom C_T ono ponovo dovede u rezonanciju. Zatim se malo po malo povećava stepen sprege međuvezne zavojnice, s tim što se pri svakoj promeni stepena sprege ponavlja podešavanje rezonance izlaznog i međuveznog kola. Pravilnu podešenost pokazuje činjenica da promena C_A više ne pomera rezonancu izlaznog kola, već samo prouzrokuje smanjenje anodne struje sa obe strane položaja u kome je rezonanca. Time je prilagođenje otpornosti potpuno omsko. Ako se ne može odmah postići ovakvo stanje, postupak treba ponavljati menjajući izvode međuveznog kola.



Sl. 8.7. Poboljšana sprega nepodešenog, simetričnog dvožičnog voda: a – jednotaktni izlazni stepen, b – protivtaktni izlazni stepen



Sl. 8.8. Šema za spregu proizvoljnih, prilagođenih simetričnih vodova

Spojni vod između obe međuvezne zavojnice može biti proizvoljne dužine, a za njega se može upotrebiti trakasti vod, običan mrežni kabl ili, najbolje, komad koaksijalnog kabla. Na sl. 8.8 prikazana je još jedna, poboljšana šema, kod koje se međuvezne zavojnice mogu podešavati, a veza između njih izvedena je koaksijalnim kablom. Sprežno kolo kod predajnika $L_2 - C_2$ ima iste podatke kao podešeno sprežno kolo na sl. 8.3.

Induktivnost L_3 dobija se iz obrasca

$$L_2\,(\mu H) = \frac{Z_K\,(\Omega)}{\pi \cdot f\,(MHz)} \qquad (8.12)$$

gde je Z_K – karakteristična impedanca koaksijalnog kabla, koji spaja L_2 i L_3.

Primer

$f = 14$ MHz,
$Z_K = 60\ \Omega$,

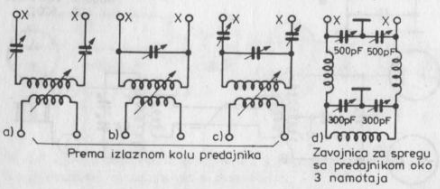
$$L_3 = \frac{60}{\pi \cdot 14}\,\mu H = 1{,}36\ \mu H$$

C_3 treba odabrati tako da se sa L_3 postigne rezonanca na radnoj frekvenciji. Podaci rezonantnog kola $L_4 - C_4$ su isti kao kod izlaznog kola $L_1 - C_1$. Priključci simetričnog napojnog voda određuju se eksperimentalno, a zavise od karakteristične impedance voda. Najbolji uspeh postiže se pomoću reflektometra koji se uključi u spojni koaksijalni kabl. Promenom izvoda na L_4 i naizmeničnim podešavanjem C_4 i C_3 nastoji se da se postigne faktor talasnosti $s = 1$. Zatim se pomoću C_2 podesi optimalno opterećenje izlaznog stepena.

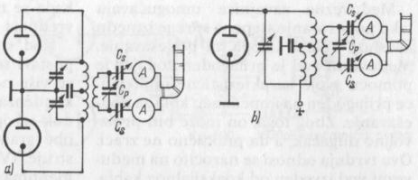
Šeme sprege za podešene napojne vodove, koji su opisani u sledećem odeljku, pogodne su i za prilagođavanje prilagođenih simetričnih vodova.

8.2. Sprega podešenih napojnih vodova sa izlaznim stepenom predajnika

Kod sprezanja podešenog napojnog voda sa izlaznim stepenom predajnika treba prvo utvrditi da li je kraj voda visokoomski (trbuh napona) ili niskoomski (trbuh struje). Za strujnu spregu koristi se serijsko napajanje prema sl. 8.9a, a kod naponske sprege paralelno napajanje kao na sl. 8.9b. Antene sa podešenim napojnim vodom koriste se skoro uvek za više opsega, pa se preporučuje da se odmah upotrebi univerzalno podesivo sprežno kolo koje je prikazano na sl. 8.9c, koje omogućava i naponsku i strujnu spregu. Radi dobrog slabljenja višiih harmonika, u sprežno kolo se ugrađuje i *Kolinsov* filtar. Podešeni vodovi su, uopšte,



Sl. 8.9. Šeme za spregu podešenih napojnih vodova sa izlaznim stepenom predajnika: a – strujna sprega (serijsko napajanje), b – naponska sprega (paralelno napajanje, c – univerzalna sprega (strujna i naponska sprega), d – simetrični Kolinsov filtar

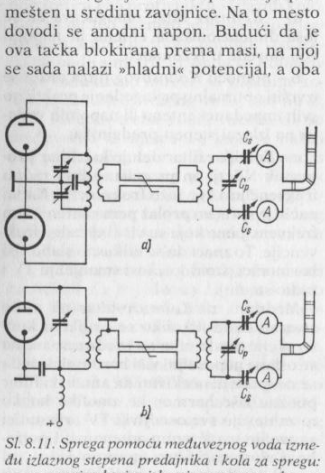


Sl. 8.10. Sprega podešenog napojnog voda na: a – protivtaktni izlazni stepen, b – jednotaktni izlazni stepen

simetrični prema zemlji, pa i korišćen π – filtar mora biti simetričan (sl. 8.9d). ova sprežna kola dozvoljavaju da se sistem antena – napojni vod, kao celina, dovede u rezonancu sa radnim frekvencijom, što je kod antena za više opsega uvek potrebno.

Podešeni napojni vod je simetričan u odnosu na zemlju, pa je jednostavna i njegova sprega sa takođe simetričnim protivtaktnim stepenom. Ovaj slučaj prikazan je na sl. 8.10a.

Ako je potrebna sprega simetričnog napojnog voda sa jednotaktnim izlaznim stepenom, onda se izlazno kolo može izvesti simetrično u odnosu na zemlju, kao na sl. 8.10b, gde je VF nulti potencijal premešten u sredinu zavojnice. Na to mesto dovodi se anodni napon. Budući da je ova tačka blokirana prema masi, na njoj se sada nalazi »hladni« potencijal, a oba kraja zavojnice su »vruća«. Na taj način je jednotaktno kolo postalo simetrično u odnosu na zemlju, pri čemu se mora imati u vidu da će i rotor kondenzatora za podešavanje sada biti na VF potencijalu. Zbog toga je povoljnije upotrebiti dvostruki obrtni kondenzator, čiji se rotori mogu zajednički uzemljiti, a statori povezati sa po jednim krajem zavojnice.



Sl. 8.11. Sprega pomoću međuveznog voda između izlaznog stepena predajnika i kola za spregu: a – sa protivtaktnim izlaznim stepenom, b – sa jednotaktnim izlaznim stepenom

Induktivna sprega između zavojnice u izlaznom kolu i zavojnice za spregu treba da bude promenljiva. Iz toga često proizlaze poteškoće oko prostora za smeštaj u izlaznom stepenu predajnika. Zato je često svrsishodnije, a i električno povoljnije, da se antenska sprega prostorno odvoji od izlaznog stepena i da se sa njim spoji međuveznom spregom (sl. 8.11).

Međuvezni vod može biti izveden od dvožilne pletenice (licne) sa što je moguće većim prečnikom provodnika, od mrežnog gajtana ili, što je najpovoljnije, od koaksijalnog kabla. On može biti proizvoljne dužine, a na oba kraja se zaključuje sprežnim zavojnicama. Potreban broj namotaja n_k (sprežnih) zavojnica utvrđuje se eksperimentalno, a u opštem slučaju zadovoljavaju tri namotaja. Za optimalno dimenzionisanje sprežnih zavojnica služi sledeći obrazac:

$$n_k = \sqrt{\frac{n_i \cdot Z_1}{Z_R}} \qquad (8.13)$$

gde je:

n_k – broj namotaja sprežne zavojnice,

n_i – broj namotaja zavojnice izlaznog kola,

Z_1 – karakteristična impedanca međuveznog voda,

Z_R – impedanca anodnog kola.

Za upredene vodove od pletenice (licne) i za mrežne gajtane može se uvrstiti karakteristična impedanca od oko 80 Ω.

Međuvezne zavojnice omogućavaju lako podešavanje stepena sprege između izlaznog kola i sklopa za podešavanje. Međuvezni vod je prilagođen vod, jer je pomoću svoje karakteristične impedance prilagođen na impedancu kola za podešavanje. Zbog toga, on može biti proizvoljno dugačak, a da praktično ne zrači. Ova tvrdnja odnosi se naročito na međuvezni vod izveden od koaksijalnog kabla. Taj primer označen je u tački 5.3.2 kao mešovito napajanje: podešeni vod prelazi u prilagođeni vod, koji je praktično bez zračenja. Zato ovaj prilagođeni međuvezni vod može imati bilo koju dužinu i može se voditi bilo kojim putem do predajnika unutar zgrade.

Sklop za podešavanje antene može se postaviti na neko lako pristupačno mesto, u blizini antenskog uvodnika ili izvan zgrade, s tim što tada mora da se obezbedi elementima za zaštitu od groma. U većini slučajeva, ovakav način montaže ima više prednosti, pa se može prihvatiti mala neudobnost, koju predstavlja potreba da se podešavanje prilikom promene frekvencije vrši na drugoj lokaciji. Kako na podešenom međuveznom vodu koji je sproveden kroz zgradu ne postoje stojeći talasi i kako je ovaj vod niskoomski, ne postoji opasnost da on zrači i u mrežnoj instalaciji indukuje neželjene smetnje koje bi se manifestovale kao smetnje pri TV ili radio-prijemu.

Antenski sistem prikazan na sl. 8.11 podešava se sledećim redosledom:

a – kolo izlaznog stepena podesi se na rezonancu bez priključene antene, pri čemu se, eventualno može smanjiti anodni napon. Ovo stanje zadržava se u toku celog procesa podešavanja;

b – kod naponske sprege, oba kondenzatora C_S postave se na maksimalnu vrednost kapaciteta i ostave u tom položaju. Zatim se podešava pomoću C_P sve dok oba instrumenta za merenje antenske struje A ne pokažu maksimalnu vrednost. Kod naponske sprege, struja antene je veoma mala, pa se ponekad naponski maksimum mora utvrditi pomoću tinjalice, koja se smesti u blizini kondenzatora C_S.

Stepen sprege između obe zavojnice i položaj C_P menjaju se samo do momenta kada se na oba ampermetra izmeri ista vrednost maksimalne antenske struje.

Kod strujne sprege, kondenzator C_P postavi se na minimalnu vrednost, koja se više ne menja. Podešava se pomoću kondenzatora C_S i menjanjem sprege, sve dok se opet ne dobiju maksimalne, i u obe grane jednake vrednosti antenske struje. (Voditi računa o mernim instrumentima, jer kod strujne sprege teče veoma velika antenska struja!).

Tek kada se postigne stvarni optimum, treba pokušati da se malim i pažljivim ponovnim podešavanjem izlaznog kola postigne dalje poboljšanje.

Kolinsov–filtar je skoro idealan sklop za podešavanje antena i on se nalazi u antenskom sistemu mnogih radio-amatera koji rade na KT talasima. Međutim, kod takvog antenskog filtra često se javlja zračenje pomoćnih žica, koje su boljeg ili lošijeg kvaliteta.

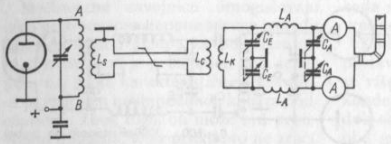
Poznati π–filtar, o čijim je osnovama govoreno u podtački 8.1.1.1, odlikuje se brojnim prednostima. Zbog toga ni jedan drugi sklop nije mogao da ga zameni. Njegove prednosti su:

a) – *Kolinsov* filtar omogućava da se loše dimenzionisana antena ili napojni vod dovede u rezonancu;

b – pomoću *Kolinsovog* filtra može se izvršiti optimalno prilagođenje praktično svih impedanci antena ili napojnih vodova na izlazni stepen predajnika;

c – *Kolinsov* filtar deluje kao filtar propusnik NF, tj. on propušta samo radnu frekvenciju i sve niže frekvencije. Na taj način je sprečen prolaz pema anteni svim frekvencijama koje su više od radne frekvencije. To znači da se efikasno slabe viši harmonici, što doprinosi smanjenju TV i radio-smetnji.

Međutim, ni *Kolinsov*–filtar ne može stvarati čuda. Ukoliko se prilikom konstrukcije predajnika ne preduzme sve da se oslabe nepoželjni viši harmonici, onda se ne može ni očekivati da antenski filtar potisne više harmonike, onoliko koliko to zahtevaju sve osetljiviji TV prijemnici sa svojim usmerenim antenama. Upotreba *Kolinsovog*–filtra je samo jedna od neophodnih mera za potiskivanje viših harmonika.



Sl. 8.13. Sprega simetričnog Kolinsovog filtra sa nesimetričnim izlaznim kolom

Ako se antenske struje razlikuju u obe grane, mora se menjati sprega između *Kolinsovog* filtra i izlaznog kola dok oba instrumenta za merenje antenske struje ne pokažu iste vrednosti. U tom položaju zavojnica treba još jedanput ponoviti radnje pod b i c.

Pod pojmom Z–prilagođenje podrazumeva se širokopojasni sklop za prilagođenje koji je naročito povoljan za prilagođavanje podešenih simetričnih napojnih vodova na predajnik sa izlazom za koaksijalni kabl. Kao što se vidi na sl. 8.14 on ima simetrične ulaze za sve amaterske opsege kratkih talasa. Obrtni kondenzator C_1 mora se montirati izolovano, jer njegov rotor ne sme biti spojen sa masom. C_2 je obrtni kondenzator sa podeljenim statorom od 2 · 250 pF, ali on se može zameniti normalnim dvostrukim obrtnim kondenzatorom. Parovi zavojnica L_1/L_2 i L_3/L_4 ne smeju biti međusobno spregnuti; zbog toga su njihove ose postavljene okomito jedna prema drugoj.

Sve zavojnice se motaju bakarnom žicom čiji je prečnik ≥ 2 mm. Podaci za motanje su sledeći:

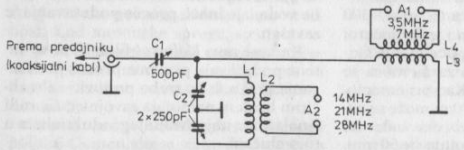
L_1 – 5 zavojaka sa prečnikom zavojnice od 65 mm,

L_2 – 5 zavojaka sa prečnikom zavojnice od 75 mm,

L_3 – 8 zavojaka sa prečnikom zavojnice od 65 mm,

L_4 – 6 zavojaka sa prečnikom zavojnice od 75 mm.

Razmak namotaja iznosi 6 mm za sve zavojnice. L_2 se nalazi iznad L_1, a L_4 iznad L_3, tako da su zavojnice koje pripadaju jedna drugoj čvrsto spregnute.

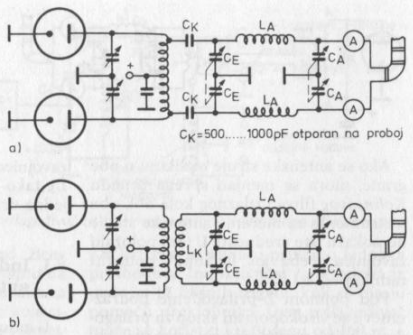


Sl. 8.14. Širokopojasno Z-prilagođivač za prilagođenje simetričnih napojnih vodova na niskoomski izlaz predajnika

8.3. Industrijski proizvedeni antenski prilagođivači

U industriji se proizvode različite vrste antenskih prilagođivača. Njihove šeme se skoro ne razlikuju međusobno, ali se koriste određeni specijalni sastavni delovi koji omogućavaju naročito jednostavno i sigurno rukovanje. Pri izradi šema industrijskih antenskih prilagođivača polazi se od činjenice da je kod savremenih amaterskih predajnika izlaz nesimetričan prema zemlji i da je predviđen za priključak koaksijalnog napojnog kabla sa karakterističnom impedancom od 50 do 75 Ω. Izlazno kolo predajnika najčešće je izvedeno kao π–filtar (*Kolinsov*–filtar) i dimenzionisano je tako da se može prilagoditi na impedance između 25 Ω i 100 Ω. Ako se priključna impedanca nalazi izvan ovih granica, nije više moguće izvršiti direktno prilagođenje između izlaza predajnika i početka napojnog voda. Na primer, to se dešava uvek kod jednožičnih vodova (L i T–antene, jednožične *Vindomove* antene), kao i kod podešenih napojnih vodova. To znači da je dovoljno da se šema prilagođivača napravi tako da ulazna impedanca iznosi oko 50 Ω, a da se izlazna impedanca može podešavati u širokom rasponu (od oko 25 Ω do 8000 Ω), pa

Sl. 8.12. Simetrični Kolinsov filtar za antene sa podešenim napojnim vodom: a – kapacitivna sprega sa anodnim kolom, b – induktivna sprega sa anodnim kolom



Za antene sa podešenim napojnim vodom treba koristiti samo simetrične π–filtre. Na sl. 8.12 prikazano je kako se simetrični *Kolinsov* filtar priključuje na protivtaktni izlazni stepen. Ako treba jednotaktni izlazni stepen priključiti na simetrični π–filtar, onda se izvrši simetriranje izlaznog kola, kao na sl. 8.10b, i tada se ono tretira kao protivtaktno izlazno kolo. Ako se ne želi menjati jednotaktno izlazno kolo, a uprkos tome, napojni vod treba da bude simetričan, onda se *Kolinsov* filtar induktivno spreže sa izlaznim kolom preko međuveznog voda, kao na sl. 8.13. Pri tom treba voditi računa da se međuvezna zavojnica L_S, koja se nalazi kod predajnika, mora uzemljiti na onom kraju koji je okrenut prema »vrućem« kraju A zavojnice izlaznog kola. Sprega između zavojnice L_S i zavojnice izlaznog kola predajnika, kao i između zavojnica L_C i L_K mora biti vrlo čvrsta.

U KT opsezima L_S i L_C imaju dva do tri namotaja. L_K je jednaka L_C ili je i nešto veća. Zavojnice L_C i L_S treba da budu pokretljive, jer se malim promenama položaja često može poboljšati simetrija.

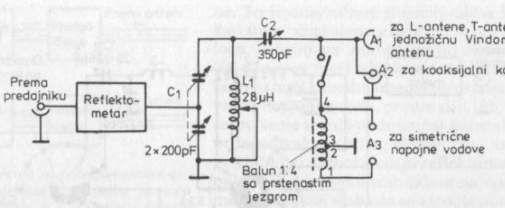
Uobičajene vrednosti za C_E su 2 · 300 pF, a za C_A 2 · 500 pF. Važno je da početni kapacitet bude što je moguće manji. Odgovarajući broj namotaja za L_A mora se proveriti za svaki opseg. Kao orijentaciona vrednost za opseg od 80 m može se usvojiti: 30 namotaja posrebrene bakarne žice od 3 mm, prečnik zavojnice je 50 mm. U amaterskoj literaturi nalaze se detaljni podaci o zavojnicama za prelaz na *Kolinsov* filtar. Podešavanje se vrši sledećim redosledom:

a – izlazno kolo odvojiti od *Kolinsovog* filtra i podesiti ga na rezonancu sa željenom radnom frekvencijom. Prethodno treba eventualno smanjiti anodni napon i napon rešetke cevi pojačavača snage. Podešena rezonanca izlaznog kola ne sme se ni u kom slučaju menjati;

b – *Kolinsov* filtar sa spregnutom antenom spregnuti na izlazno kolo cevi. Time je izlazno kolo predajnika razdešeno iz rezonance. Odgovarajućim variranjem C_E ponovo se uspostavi rezonanca izlaznog kola. Pri tom se C_A nalazi približno u srednjem položaju;

c – sada se C_A menja stepenasto u malim granicama i svaki put ponovo podešava rezonanca izlaznog kola pomoću C_E. Pri tom se odmah može ustanoviti na koju stranu treba menjati C_A da bi se postiglo povećavanje antenske struje. Na taj način se brzo pronađe položaj C_A i C_E u kome se postiže maksimalna antenska struja. Kada se vrednost struje u obe grane voda izjednači, proces podešavanja je završen.

Kada se novi *Kolinsov* filtar ili nove antene podešavaju prvi put, proces podešavanja pod a, b i c treba ponoviti sa različitim brojem namotaja zavojnice L_A, radi iznalaženja najpovoljnijeg induktiviteta u tom slučaju.



Sl. 8.15. Univerzalni prilagođivač za sve vrste napojnih vodova tipa »Transmatch«

da se svaki proizvoljni »komad žice« može prilagoditi. Obično je dovoljno da se na izlazu predvidi više priključaka za napojne vodove različitih vrsta: koaksijalne kablove, jednožične vodove i simetrične napojne vodove. Za poslednje mora da se upotrebi balun–transformator sa prstenastim jezgrom 1 : 4 (vidi tačku 7.7.2), jer su antenski prilagođivači nesimetrični prema zemlji.

U većinu industrijskih antenskih prilagođivača ugrađen je reflektometar, koji pokazuje optimalno prilagođenje.

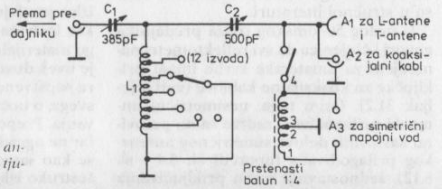
Na sl. 8.15 prikazana je principijelna šema antenskog prilagođivača tipa *TRANSMATCH* koji proizvodi firma *JOHNSON*. Uređaj se bez prekopčavanja može koristiti za amaterske opsege od 3,5 MHz do 28 MHz. To omogućava kontinualno promenljiva induktivnost L_1, čija se vrednost menja obrtnim točkićem sa ručicom koji je povezan sa numeričkim indikatorom. Za priključak simetričnih napojnih vodova ugrađen je balun-transformator sa prstenastim jezgrom i prenosnim odnosom 1 : 4, koji odgovara šemi na sl. 7.12b. (isti brojevi na priključcima). U uređaju se nalazi reflektometar.

Na sl. 8.16 prikazan je LC antenski prilagođivač tipa 160–10 AT (firme *DENTRON*), čija je šema u principu jednaka prethodnoj. Induktivnost L_1 izvedena je ovde sa 12 fiksnih izvoda koji se biraju pomoću preklopnika. Ovaj prilagođivač može se koristiti i u opsegu od 160 m.

Antensko prilagođenje tipa Matchbox MN–4 firme *DRAKE* (sl. 8.17) radi na principu *Kolinsovog* filtra (NF π–filtar). Poseban preklopnik uključuje istovremeno izvode zavojnce L_2 i nepromenljive kondenzatore C_6 do C_{10}, već prema uključenom amaterskom opsegu. C_{12} služi za kompenzaciju reaktanci koje se javljaju na početku napojnog voda. I u ovaj uređaj ugrađen je reflektometar.

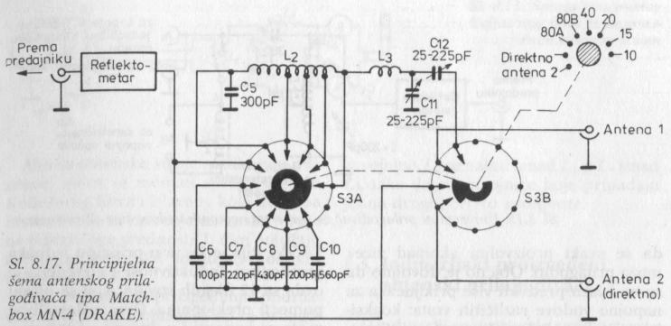
8.4. Opšte preporuke o korišćenju antenskih prilagođivača

U slučaju kvara predajnika, radi bezbednosti anodni jednosmerni napon ne sme dospeti u antensko kolo. Ova opasnost postoji uvek kada je antenski priključak kapacitivno spregnut sa anodnim kolom predajnika (npr., kao na sl. 8.4a i 8.12a). Probijanje najopterećenijeg sprežnog kondenzatora dovelo bi ceo antenski sistem pod visoki napon. Zbog toga je potrebno da se između napojnog voda i pri-



Sl. 8.16. Principijelna šema LC – antenskog prilagođivača (prilagodni tjuner) tipa 160–10 AT (DENTRON)

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 8.17. Principijelna šema antenskog prilagođivača tipa Matchbox MN-4 (DRAKE).

ključka uzemljenja uvek ugradi dobra VF prigušnica (npr., na sl. 8.4a paralelno sa C_3). Prigušnica ne predstavlja paralelan put za visoku frekvenciju, ali odvodi povećani jednosmerni napon do uzemljenja u time utiče na reagovanje anodnog osigurača koji mora biti tačno dimenzionisan. Prigušnica istovremeno sprečava statičke naboje antene.

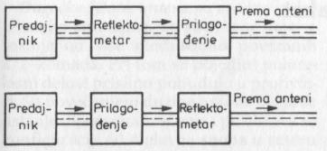
Kada amater sam izrađuje predajnik, treba uvek da se pridržava »amaterskog standarda« i da izlaz predajnika izvede za priključak koaksijalnog kabla impedance 50 do 75 Ω. Kao što se da videti iz priručnih uputstava za izgradnju predajnika, izlazno oscilatorsko kolo se najčešće izvodi u obliku π–filtra.

Kod tranzistorskih predajnika može se, takođe, ispuniti ovaj »amaterski standard«. Dok kod predajnika sa elektronskim cevima impedanca anodnog kola iznosi nekoliko kΩ, pa se mora transformisati na oko 50 Ω, u tranzistorskim izlaznim stepenima impedanca kolektorskog kola je reda veličine 5 Ω, pa se mora transformisati nagore. Adekvatne šeme date su u stručnoj literaturi.

U prilog 50–omskog izlaza predajnika govori i činjenica da svi reflektometri namenjeni za amaterske svrhe imaju priključke za koaksijalne kablove (vidi odeljak 31.2). Osim toga, nesimetrični antenski prilagođivači sadrže samo polovinu sastavnih delova simetričnog antenskog prilagođivača (uporedi sl. 8.4 i sl. 8.12). Jednostavniji način priključivanja koaksijalnih kablova sprečava da u prostoriji predajnika dođe do neželjenog VF zračenja (što se često dešava pri priključivanju simetričnih vodova).

Veliki broj antena prilagođen je za napajanje koaksijalnim kablom. One se mogu direktno priključiti na koaksijalni izlaz predajnika. Mala neprilagođenja i manje rekativne komponente mogu se podesiti u predajniku. Antenski prilagođivač potreban je samo kada su neprilagođenje i reaktivna komponenta veći od opsega podešavanja predajnika ili kada treba prilagoditi antene sa simetričnim napojnim vodom ili proizvoljnim jednožičnim vodovima (vidi sl. 8.15 i 8.16). Očigledno je da su koaksijalni kablovi tehnički optimalno i ekonomski najpovoljnije rešenje prenosa energije između predajnika i antene.

Radio-amater ne sme ni u kom slučaju da se odrekne reflektometra. To je najvažniji, a istovremeno i najjednostavniji instrument sa kojim se podešava i kontroliše optimalno prilagođenje antene na izlaz predajnika. Nije teško napraviti takav instrument, a nije potrebno ni mnogo materijala (vidi odeljak 31.2). U praksi je uvek dovoljna preciznost reflektometra sopstvene izrade, jer ovde se radi, pre svega, o uočavanju tendencije prilagođavanja. Preporučuje se da se reflektometar ne ugradi u antenski prilagođivač, jer se kao samostalan instrument može višestruko iskoristiti.



Sl. 8.18. Način merenja sa reflektometrom: a – očitavanje prilagođenosti predajnika pomoću antenskog prilagođenja, b – očitavanje faktora talasnosti s na napojnom vodu

Na sl. 8.18a prikazan je način priključivanja reflektometra kada služi za stalnu kontrolu rada. On je ovde smešten između izlaza predajnika i antenskog prilagođivača. Predajnik i antenski prilagođivač treba u ovom slučaju podesiti tako da se indicira maksimalna snaga u direktnom smeru i nikakva snaga u reflektovanom smeru. To znači da je antenski prilagođivač optimalno prilagodio antenu na izlaz predajnika. Stoga, na izlazu predajnika nema ni reflektovane energije ni reaktivnih komponenti, pa predajnik može svoju punu snagu predati antenskom sistemu.

Ovako pravilno podešen rad ne govori ništa o stvarnom odnosu stojećih talasa na ulazu antenskog prilagođivača sa antenske strane. On je interesantan kada treba ustanoviti ukupne gubitke pri prenosu energije između predajnika i antene. To je onaj odnos stojećih talasa koji kao što je objašnjeno u tački 5.2.2, bez razloga zabrinjava mnoge radio-amatere. Taj odnos se meri tako što se reflektometar priključi između antenskog prilagođivača i napojnog voda, prema sl. 8.18b, pri čemu se ne menja podešenost antenskog prilagođivača (prilagođenje na izlaz predajnika). U tom slučaju reflektometar pokazuje odnos stojećih talasa na napojnom vodu koji treba da se »sredi« pomoću sledećeg prilagođivača. Ako se odnos stojećih talasa izmeri na tom mestu, može se izračunati, prema tački 5.2.2, koji deo energije predajnika »sagoreva« u napojnom vodu, odnosno koji se deo energije zrači. Posle obavljenih provera reflektometar se može ponovo vratiti u svoj radni položaj, prema sl. 8.18a, gde služi za trajnu kontrolu pravilnog prilagođenja. Prilikom promene frekvencije predajnika, antenski prilagođivač se mora tako podesiti da reflektometar opet meri maksimalnu direktnu snagu i nultu reflektovanu snagu.

U vezi sa navedenim, treba naglasiti da antenski prilagođivač pruža velike prednosti i u toku prijema, jer prilagođenje omogućava da se na ulaz prijemnika dovede najveći mogući prijemni napon. Antenski prilagođivač se, u ovom slučaju, podešava na najveći ulazni šum predajnika. On je naročito koristan pri prijemu u opsegu od 40 m, jer svojim selektivnim osobinama potiskuje fantom-signale.

9. Kratkotalasne antene u praksi

Radio-amater početnik se sreće sa velikim brojem antenskih oblika, čija su imena manje ili više tajanstvena. Ko će mu dati savet pri izboru antene koja će najbolje odgovarati njegovim potrebama? Put najčešće vodi do najbližeg amatera koji radi na kratkim talasima i koji je već postigao uspeh. Ne znači da će kod njega dobiti dobar savet, jer će »komšija« često reći da žica koju baš koristi kao predajnu antenu najviše utiče na kvalitet antene.

Čak i iskusni amateri još uvek delimično veruju u čudotvorne antene, što znači da se nalaze na istom nivou saznanja kao oni TV korisnici, koji kupe neonsku cev zbog toga što je neko izjavio da je neonska cev najbolja antena za TV prijem na prvom TV opsegu.

Samo amater koji je detaljnije savladao osnove antenske tehnike (npr., poglavlja 1 do 5), može sagledati, zatim i sam proceniti karakteristike i efikasnost antena definisane fizičkim zakonima.

Sledeća izlaganja treba da srede prividnu zbrku nastalu zbog velikog broja vrsta antena: način izlaganja prilagođen je početniku.

Prvo ćemo razmotriti veliku grupu *polutalasnih antena*. Njihova električna dužina iznosi $\lambda/2$ i one prvenstveno zrače u smeru vertikalnom na njihovu uzdužnu osu. U jednostavne polutalasne antene spadaju:

– *Vindomova* antena,
– Y–antena,
– polutalasni dipol sa uporednim napojnim vodom,
– savijeni dipol,
– dipol sa napajanjem pomoću kabla,
– svi širokopojasni polutalasni dipoli.

Uslovno, ovde se mogu uvrstiti i antene sa više opsega, kao što su: cepelin–antena, antena amatera *W3DZZ*, antena za više opsega po amateru *G5RV* i svi ostali dipoli za više opsega.

Efikasnost svih oblika antena je ista: antene se razlikuju samo po načinu napajanja, koji može malo uticati na dijagram usmerenosti.

Pod pretpostavkom da je svaka antena optimalno prilagođena, nema razlike u pogledu efikasnosti.

Savijanjem horizontalnih polutalasnih provodnika u horizontalnoj ravni može se promeniti horizontalni dijagram usmerenosti (dijagram – *E*), a naginjanjem u vertikalnoj ravni menja se vertikalni elevacioni ugao.

Nenamerne promene dijagrama usmerenosti nastaju usled parazitnog zračenja bližih objekata (oluka na krovu, vazdušnih vodova itd.), a kod nisko postavljenih antena i usled uticaja raspodele potencijala u tlu. Poslednji faktori najviše utiču na različitu ocenu antena iste vrste. Navedene polutalasne antene znatno se razlikuju i u pogledu njihovog delovanja kao izvora TV i radio-smetnji.

Tačno prilagođene antene sa niskoomskim napajanjem prouzrokuju, u principu, najmanje smetnje pri TV i radio-prijemu; treba napomenuti da ometajuće više harmonike i bočne harmonike ne stvara antena, već predajnik. Mere za njihovo suzbijanje moraju se prvo tamo preduzeti. Preostale nesuzbijene smetnje, preko napojnog voda i antene, mogu intenzivno zračiti u okolinu (npr., *Vindomove* antene), ali one se mogu efikasno oslabiti niskoomskim vodom. Zbog toga se u gusto naseljenim stambenim oblastima preporučuje korišćenje dipola koji se napaja pomoću kabla antene, za sve opsege po amateru *W3DZZ*, polutalasnih dipola sa upredenim napojnim vodom i savijenog dipola. Ove antene su međusobno ravnopravne; samo antena amatera *W3DZZ*, za sve opsege radi sa većim pojačanjem u opsezima od 20 m, 15 m i 10 m.

Dugačke žičane antene su srodne polutalasnim antenama. To su antene koje se sastoje od više međusobno povezanih $\lambda/2$–komada. Pri tom se pojedini polutalasni delovi prisilno pobuđuju u protivfazi. Sa povećanjem dužine antene javlja se listanje dijagrama zračenja i približava se konfiguraciji od 4 glavna snopa u smeru zatezanja. U dugačke žičane antene spadaju:

– dugačke žičane antene u užem smislu
– antene za sve opsege po amateru *DL7AB*,
– V–antene,
– romb–antene.

Dugačke žičane antene pokazuju veoma izraženo usmereno dejstvo, pa se njima mogu postići odlični rezultati u 4 glavna smera zračenja. Osim toga, širina njihovih opsega je relativno velika, a njihovo dimenzionisanje nije kritično.

Dugačke žičane antene nisu skupe za izgradnju, ali zahtevaju mnogo prostora, pa ih obično mogu koristiti samo amateri koji žive na selu.

Najpreporučljivija je žičana antena u obliku V–zvezde, jer je to antena za sve opsege, koja istovremeno obuhvata i sve smerove zračenja. Pojačanje antene i oštrina usmeravanja rastu sa povećanjem dužine antene.

U sledeću grupu spadaju *antene sa širokim bočnim zračenjem*. Te antene zrače oštro usnopljeno, okomito na smer zatezanja. One su kombinacija polutalasnih dipola sa pobudom u fazi. Neki od ovih dipola su delimično i vertikalno postavljeni jedan iznad drugog. Najjednostavniji predstavnik ove vrste antena je jednotalasni dipol sa napajanjem u fazi. Savršenije antene iz ove grupe nazivaju se *lejzi ejč*, (Lazy H), usmerena antena po amateru *W8JK*, kvadratna antena (*biskver*), jednostrano usmerena specijalna ZL–antena, jednostrano usmerena antena po amateru *HB9CV* (švajcarska) antena. Sve se odlikuju ravnim zračenjem (mali elevacioni ugao u ravni *H*), daju veliko antensko pojačanje, zauzimaju relativno mali prostor i mogu se izgraditi bez velikih troškova. Njihova mana je što deluju samo u jednom glavnom pravcu zračenja. Povoljnija je antena *lejzi ejč*, jer deluje na dve strane.

Obrtne usmerene antene imaju približno isto pojačanje u glavnom smeru. One se odlikuju neprocenjivom prednošću što mogu prebrisavati sve strane sveta, a pri tom zauzimaju malo prostora. Međutim, mehanička izrada im je dosta skupa. Najjeftiniji, a pri tom najefikasniji oblik obrtne usmerene antene danas je *kjubikal kvad*, jer za njegovu izgradnju nije potreban skupi cevni materijal, a sa dva elementa postiže snagu kao *jagi*–antena sa tri elementa.

Konačno, postoje i *vertikalne antene*, koje kao obične štap–antene zauzimaju najmanji prostor a zrače kružno. Najpoznatija, a i najpovoljnija forma izgradnje je *graundplejn*–antena. Uprkos kružnom zračenju ona, ukoliko je pravilno izgrađena, može imati i pojačanje koje je posledica njenog veoma plitkog zračenja. Polutalasne vertikalne antene treba da budu dvostruko više od *graundplejn*–antena. Međutim, poseduju približno iste osobine, samo znatno jače.

Nabrojani su najvažniji oblici u kojima se antene izgrađuju. Ove antene imaju najpovoljnije karakteristike i mogućnosti primene.

Pri izgradnji antene, često se svi potrebni zahtevi ne mogu ispuniti zbog sledećih realnih činjenica:

a – mesni uslovi kao što su građevine, položaj i smer vazdušnih vodova i površine javnog saobraćaja; mogućnost postavljanja antenskih nosača, pogodnost mesta i vlasnički odnosi; postojeći gromobranski uređaji i mogućnosti uzemljenja; gledišta u vezi sa urbanističkim rešenjima i oblikovanjem;

b – nastali troškovi, u koje se ponekad moraju uračunati i plaćanje stručnjaka (npr., krovopokrivača) i bezbednosni uređaji (konstrukcije, bezbednosna užad itd.);

c – mogućnost nabavke materijala;

d – lične sposobnosti-amatera za majstorisanje.

Iz svega se može zaključiti da je neophodno brižljivo planiranje.

U sledećim poglavljima biće opisan veliki broj antenskih sistema, koji su se dobro pokazali u radio-amaterstvu. To bi trebalo da podstakne amatera i da mu pomogne da pronađe onaj oblik antene koji najviše odgovara njegovim uslovima.

10. Oblici polutalasnih antena

Polutalasne antene koje se koriste u kratkotalasnom području uglavnom se razlikuju po načinu napajanja i poseduju karakteristike, koje su detaljno opisane u odeljku 3.1. Polutalasne antene mogu se podeliti prema njihovoj nameni na:
- antene za jedan opseg,
- antene za više opsega,
- dipole koji zauzimaju malo prostora.

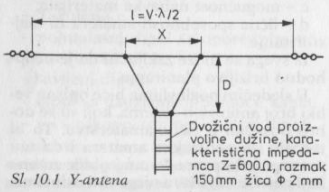
Ovi poslednji pretežno rade sa mehanički skraćenim provodnikom.

10.1. Dipoli za jedan opseg

Kao što sâm naziv kaže, zbog načina njihovog napajanja (prilagođeni vodovi) ovi dipoli nisu pogodni za pobuđivanje višim harmonicima. To znači da se oni mogu koristiti samo za jedan amaterski opseg.

10.1.1. Y–antena

Polutalasni dipol sa prilagođenim napojnim vodom je i tzv. *Y–antena*. Priključak napojnog voda izveden je u obliku delta prilagođenja opisanog u odeljku 6.1. Dužina antene uvek iznosi $\lambda/2$ umanjeno za faktor skraćenja, pa se (kao i kod svih polutalasnih antena u kratkotalasnom području) može izračunati prema obrascu:



Sl. 10.1. Y-antena

$$l\,(\mathrm{m}) = \frac{142500}{f\,(\mathrm{kHz})} \qquad (10.1)$$

Prema sl. 10.1 razmak X između priključnih tačaka za delta–prilagođenje, koje se nalaze simetrično u odnosu na sredinu antene, iznosi

$$X\,(\mathrm{m}) = \frac{36000}{f\,(\mathrm{kHz})}, \qquad (10.2)$$

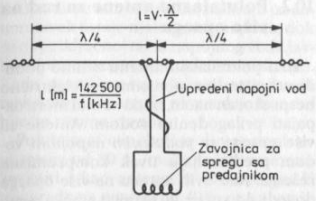
a dužina iznosi

$$D\,(\mathrm{m}) = \frac{45100}{f\,(\mathrm{kHz})} \qquad (10.3)$$

Karakteristična impedanca nepodešenog napojnog voda iznosi 600 Ω i može se izvesti kao dvožični vod sa vazdušnom izolacijom (»kokošije lestvice«), koji je prikazan na sl. 5.4, i čiji se pojedinačni provodnici prečnika 2 mm nalaze na međusobnom rastojanju od 150 mm. Dijagram zračenja Y–antene, kao polutalasne antene, prikazan je na sl. 3.10.

10.1.2. Polutalasni dipol sa upredenim napojnim vodom

Kod polutalasnog dipola sa upredenim napojnim vodom (sl. 10.2) kao vod za napajanje koristi se dvožilni upredeni gumeni kabl. Takvi kablovi se proizvode kao mrežni kablovi i njihov izbor je veliki. Karakteristična impedanca ovakvih kablova obično iznosi 80 do 100 Ω. Slabljenje takvih nenamenskih mrežnih kablova



Sl. 10.2. Dipol sa uporednim napojnim vodom

naročito je veliko u visokofrekventnim amaterskim opsezima. Zbog toga se ovakav vod može koristiti samo za antene u opsegu od 80 m i od 40 m, a njegova dužina treba da bude što kraća.

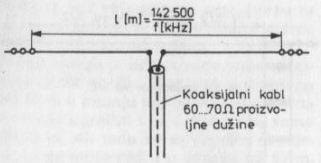
U pogledu gubitaka u vodu povoljniji su dvožilni vodovi sa paralelno vođenim provodnicima koji se često koriste. Kao izolacioni materijal služi plastična masa na bazi PVC, koja ima manje gubitke i postojanija je na atmosferilije od gume. Poznato je da je kod polutalasnog dipola otpornost na priključku oko 65 Ω. Karakteristična impedanca upredenog napojnog voda je nešto veća, pa se napojni vod prilagođava na antenu na taj način što se priključci simetrično odmiču od sredine antene na obe strane, sve dok ne nestanu stojeći talasi na prilagođenom vodu (vidi sl. 10.2).

10.1.3. Dipol sa napajanjem pomoću kabla

Koaksijalni kabl predstavlja idealan napojni vod i u kratkotalasnom području. Polutalasni dipol se napaja na najjednostavniji način kada se, kao na sl. 10.3 priključi direktno na proizvoljni dugačak koaksijalni kabl.

Pažljiv čitalac uočiće da se u ovom slučaju simetrična antena napaja nesimetričnim kablom. U praksi se pokazalo da je to izvodljivo bez većih poteškoća, naročito u kratkotalasnom području, ukoliko dužina kabla nije slučajno u rezonanci sa radnom frekvencijom (talasi u oklopu).

Zbog nesimetričnog pobuđivanja grana dipola treba očekivati malo izobličenje karakteristike zračenja. Simetriranje se može izvršiti na najjednostavniji način, dodavanjem komada kratko spojenog kablovskog ogranka (vidi odeljak 7.4) ili pomoću balun-transformatora sa prstenastim jezgrom prema tački 7.7.2.



Sl. 10.3. Polutalasni dipol sa napajanjem pomoću koaksijalnog kabla od 60 Ω

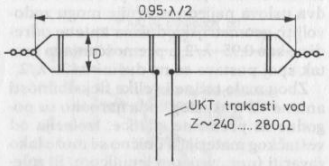
10.1.4. Savijeni dipol

Savijeni dipol dominira u UKT području, ali može se koristiti i kao kratkotalasna antena. Njegov opseg je nešto širi nego kod pruženog dipola. On se upotrebljava, pre svega, zbog toga što mu je otpornost na antenskom priključku 240 Ω, pa se može napajati direktno komercijalnim UKT trakastim vodom. Po svim ostalim karakteristikama savijeni dipol odgovara pruženom polutalasnom dipolu.

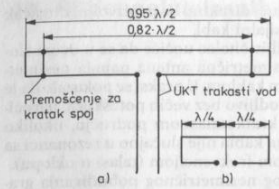
Savijeni dipol može da se koristi isključivo za rad na jednom opsegu. Njegov faktor skraćenja V iznosi 0,95, pa je prema tome malo duži od pruženog dipola (sl. 10.4)

Razmaci D između oba paralelna antenska provodnika približno iznose:

20 cm	za	3,5 MHz,
15 cm	za	7 MHz,
10 cm	za	14 MHz,
8 cm	za	21 MHz,
5 cm	za	28 MHz.



Sl. 10.4. Savijeni dipol kao kratkotalasna antena



Sl. 10.5. Savijeni dipol napravljen od UKT trakastog voda

Savijeni dipol za kratke talase može se izraditi i samo od UKT trakastog voda (sl. 10.5).

Pri tom treba razmotriti sledeće: između dva paralelna polutalasna provodnika antene nalazi se izolacioni materijal trakastog voda. Ako se savijeni dipol posmatra kao paralelan spoj dva polutalasna komada provodnika, onda dielektrična konstanta izolacionog materijala ne utiče mnogo na faktor skraćenja V. On iznosi 0,95. Savijeni dipol može se istovremeno posmatrati i kao redna veza dva kratko spojena četvrttalasna komada provodnika (sl. 10.5b). Kada su u pitanju dva voda, značajna je dielektrična konstanta sredine koja se nalazi između njih, pa bi se morao koristiti faktor skraćenja za trakasti vod od oko $V = 0{,}82$. Kada je dužina antene $0{,}95 \cdot \lambda/2$, antena je u rezonanci, ali četvrttalasni komadi provodnika su predugački, pa prouzrokuju dodatne induktivne reaktivne komponente. Ako se za faktor skraćenja odabere $V = 0{,}82$ i dužina antene adekvatno skrati, onda antena više nije u rezonanci, pa se na priključku antene opet javlja reaktanca. Na sl. 10.5 prikazano je kako se ova dva uslova najjednostavnije mogu zadovoljiti: geometrijska dužina antene određi se kao $0{,}95 \cdot \lambda/2$, a premošćenja za kratak spoj postave se na dužini $0{,}82 \cdot \lambda/2$.

Zbog male težine i velike fleksibilnosti antene od trakastog voda naročito su pogodne za prenosne stanice. Izolacija od veštačkog materijala obično se može lako zavariti (npr., vrućom lemilicom) ili zalepiti. Na taj način se lako može ostvariti veza između napojnog voda i antene.

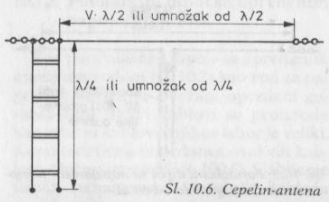
10.2. Polutalasne antene za rad na više opsega

Ako polutalasnu antenu želimo pobuđivati višim harmonicima na električno besprekoran način, onda se ona mora napajati prilagođenim vodom. Antene za više opsege sa *podešenim* napojnim vodom predstavljaju uvek kompromisna rešenja. Rad ovih antena na više opsega dovodi do većeg ili manjeg zračenja napojnog voda a ima i druge nedostatke.

10.2.1. Cepelin–antena

Klasična *cepelin-antena*, kratko se naziva samo cep, jeste jednostavna polutalasna antena, koja se na jednom kraju (trbuh napona) napaja podešenim dvožičnim vodom (sl. 10.6). Jedan provodnik napojnog voda vezan je sa antenom, a drugi ostaje slobodan, ali izolovan.

Dužina napojnog voda iznosi $\lambda/4$ ili njen umnožak sa celim brojem. Ako su dužine napojnog voda $2 \cdot \lambda/4$, $4 \cdot \lambda/4$, $6 \cdot \lambda/4$ itd., dakle, ako je dužina napojnog voda umnožak parnog broja sa četvrttalasnom dužinom, onda je raspodela struje i napona na početku napojnog voda ista kao na njegovom kraju. Kada se napojni vod dimenzioniše tako da mu dužina bude $1 \cdot \lambda/4$, $3 \cdot \lambda/4$, $5 \cdot \lambda/4$ itd., znači neparan broj puta $\lambda/4$, onda je raspodela struje i napona na kraju napojnog voda obrnuta raspodeli na njegovom početku. Na krajevima antene stvara se maksimum napona. Ako se napajanje vrši pomoću voda dužine $2 \cdot \lambda/4$, onda će se na donjem kraju voda, takođe, nalaziti maksimum napona, pa se kaže da je ostvarena *naponska sprega*. Ako je dužina napojnog voda samo $\frac{1}{2}\lambda$ (3/4, 5/4, 7/4λ itd.), tada se odnosi obrću; na kraju uz antenu uvek ostaje maksimum napona, dok se na priključnoj tački napojnog voda javlja minimum napona (maksimum struje). Kada se ovakav napojni vod spregne sa maksimumom struje na predajniku, dobije se *strujna sprega*.



Sl. 10.6. Cepelin-antena

Polutalasni cep, koji je dimenzionisan za opseg od 80 m, može se istovremeno koristiti i kao antena za sve opsege. U toku rada na opsegu od 40 m ona postaje jednotalasni cep, a na 20 m, 15 m i 10 m ona je žičana antena od 2–λ, 3–λ ili 4–λ sa cepelin–napajanjem. Ako je dužina napojnog voda, na primer, 40 m, odnosno $2 \cdot \lambda/4$ od talasne dužine od 80 m, onda će na svim ostalim opsezima postojati naponska sprega. Kada je, naprotiv, dužina napojnog voda samo 20 m (što odgovara $\lambda/4$ u opsegu od 80 m), onda će na 3,5 MHz postojati strujna sprega, a na svim ostalim amaterskim opsezima naponska sprega.

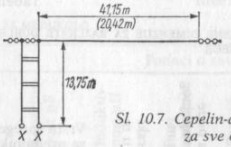
Sprega podešenog napojnog voda sa izlaznim stepenom predajnika *uvek* zahteva odgovarajuću antensku spregu. U vezi sa tim data su uputstva u tački 5.3.2. Pogodne antenske sprege opisane su u odeljku 8.2.

Preporučljivo je da se dužina napojnog voda ne dimenzioniše tačno na $\lambda/4$ ili na umnožak celog broja i $\lambda/4$, jer se, zbog nepoželjnih talasa iste faze prema zemlji, mogu pojaviti smetnje koje izazivaju pojačano zračenje napojnog voda. Dužine vodova između 12,50 i 14 m povoljne su za antene za sve opsege. One izbegavaju pomenute smetnje na svim opsezima, a pomoću antenskog sprežnika mogu se lako dovesti u rezonancu.

10.2.1.1. *Cepelin–antena za sve opsege*

Na sl. 10.7 prikazana je cep–antena za sve opsege, koja je konstruisana prema navedenim razmišljanjima.

Ova antena je strujno spregnuta za opsege od 80, 40, 20 i 15 m, dok je u opsegu od 10 m u pitanju naponska sprega. Ona se može izgraditi i sa dužinom od samo 20,42 m. Ali tada se sa cepelin–napajanjem ne može raditi u opsegu od 80 m. Kao pomoćno rešenje može se napojni vod kratko spojiti na kraju uz predajnik i



Sl. 10.7. Cepelin-antena za sve opsege

spregnuti preko *kolinsovog* filtra. Tada se antena može koristiti i u opsegu od 80 m i to kao jednostavna L–antena.

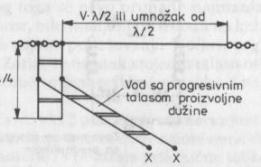
Kada se antena sa napajanjem na kraju koristi samo na jednom radnom opsegu, onda je bolje da se kraj antene zaključi pomoću zatvorenog $\lambda/4$–voda, a da se napaja prilagođenim dvožičnim vodom, kao na sl. 10.8.

O načinu rada i dimenzionisanju prilagodnog voda detaljno je govoreno u odeljku 6.6. Kao vod sa progresivnim talasom može se koristiti UKT trakasti vod ili dvožični vod sopstvene izrade.

10.2.1.2. *Dupli cepelin*

Najbolja karakteristika usmerenosti dobije se sa antenom koja se simetrično pobuđuje u sredini. Takva antena sa centralnim napajanjem pomoću podešenog voda može se nazvati dupli cepelin. Simetrično napajane antene sa podešenim vodom internacionalno se nazivaju dublet (Doublet). Dublet se može koristiti za rad na svim opsezima (sl. 10.9).

Ako je dužina napojnog voda i priključene polovine antene jednaka umnošku $\lambda/2$ sa celim brojem, i kod ove vrste antena mogu da se jave *ometajući* talasi iste faze prema zemlji. Zbog toga se i u ovom slučaju ne preporučuje da napojni vod bude u rezonanci. U tabeli 10.1 date su



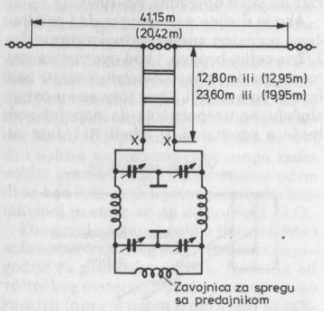
Sl. 10.8. Antena sa napajanjem na kraju pomoću nepodešenog voda

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Tabela 10.1

PROVERENE DIMENZIJE ZA RAZLIČITE DUBLETE ZA SVE OPSEGE

Ukupna dužina antene u m	Dužina podešenog napojnog voda u m	Amaterski opseg u m	Vrsta sprege sa predajnikom
		80	Naponska sprega
		40	Naponska sprega
41,15	12,80	20	Naponska sprega
		15	Naponska sprega
		10	Strujna sprega
		80	Naponska sprega
		40	Naponska sprega
41,15	23,60	20	Naponska sprega
		15	Naponska sprega
		10	Naponska sprega
		80	Strujna sprega
		40	Naponska sprega
20,42	12,95	20	Naponska sprega
		15	Naponska sprega
		10	Naponska sprega
		80	Naponska sprega
		40	Strujna sprega
20,42	19,95	20	Naponska sprega
		15	Strujna sprega
		10	Naponska sprega



Sl. 10.9. Antena za sve opsege sa centralnim napajanjem pomoću podešenog voda (dupli cep).

proverene dimenzije različitih dubleta, čije su dužine napojnog voda dimenzionisane tako da se izbegnu talasi iste faze.

U odeljku 8.2 detaljno je opisano kako se vrši podešavanje napojnog voda i njegova sprega sa izlaznim stepenom predajnika.

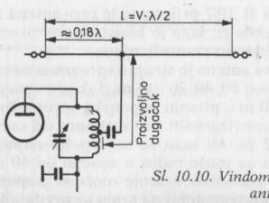
Ako se dublet koristi isključivo kao antena za rad u jednom opsegu, tada se, u skladu sa odeljkom 6.6, pomoću četvrttalasnog voda za prilagođenje, može preći na proizvoljno dugačak i nepodešen napojni vod.

Kod antena čija je dužina najmanje 1 · λ ili umnožak λ sa celim brojem (trbuh napona u tački napajanja) koristi se zatvoreni četvrttalasni vod za prilagođenje; ako je dužina antene λ/2 ili umnožak neparnog broja sa λ/2 u obzir dolazi otvoren četvrttalasni vod za prilagođenje.

10.2.2. Vindomova antena

Pre mnogo godina Loren Windom, *W8GZ*, razvio je antenu, koja je po njemu dobila naziv *Vindomova* antena. To je polutalasna antena sa proizvoljno dugim, prilagođenim, jednožičnim vodom za napajanje.

Prilagođeni jednožični vod za napajanje je posledica činjenice da jednožični provodnik iznad dobro provodljivog tla ima karakterističnu impedancu od oko 500 Ω, ako je prečnik žice 1,5 do 2 mm. Ako se na anteni pronađe tačka u kojoj impedanca iznosi 500 Ω, moguće je da se na tu tačku priključi jednožični napojni vod i tako ostvari željeno prilagođenje. Kod polutalasne žičane antene ta tačka je udaljena oko 0,18 λ od kraja antene (sl. 10.10).



Sl. 10.10. Vindomova antena

Za besprekoran rad *Vindomove* antene neophodno je da tlo bude dobro provodljivo, jer ono praktično predstavlja drugi provodnik napojnog voda. Osim toga što veća dužina (deo jednožičnog voda mora biti vertikalna na uzdužnu osu antenskog provodnika. Treba izbegavati i oštro savijanje jednožičnog voda.

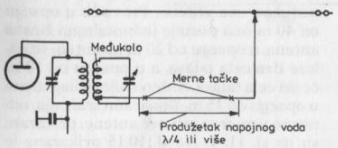
Obrasci za izračunavanje dužine antene l i udaljenosti priključne tačke A od kraja antene su:

$$l\ (\mathrm{m}) = \frac{143000}{f\,(\mathrm{MHz})} \qquad (10.4)$$

i

$$A\ (\mathrm{m}) = \frac{54000}{f\,(\mathrm{MHz})} \qquad (10.5)$$

Najjednostavnija metoda određivanja tačnog mesta priključne tačke A sastoji se u tome što se jednožični napojni vod odseče najmanje λ/4 duži nego što je potrebno, pa se produžetak razapne tako da bude lako pristupačan. Zatim se na različitim tačkama duž produžetka napojnog voda meri VF struja koja protiče (ili prisutni VF napon). Odgovarajućim pomeranjem priključne tačke na anteni mora se postići da vrednost VF struje (odnosno VF napona) bude jednaka na svim mernim tačkama. Vrednost merene struje može biti proizvoljna, ali treba voditi računa da se podešavanje ne vrši na maksimum struje (odnosno maksimum napona). Kada kroz sve merne tačke teče ravnomerna VF struja iste jačine, onda više ne postoji talasnost na vodu, jer je on prilagođen. Posle izvršenog prilagođenja odseći nepotrebnu dužinu napojnog voda (sl. 10.11).



Sl. 10.11. Vindomova-antena sa međukolom i produžetkom napojnog voda

Tabela 10.2

PODACI ZA MEĐUKOLO

Amaterski opseg	Kapacitivnost pF	Induktivnost μH	Podaci o zavojnici: Broj namotaja	Podaci o zavojnici: Prečnik zavojnice mm
80 m	200	15	20	60
40 m	100	10	16	50
20 m	50	3,5	9	50
15 m	50	1,5	6	50
10 m	50	1,0	5	50

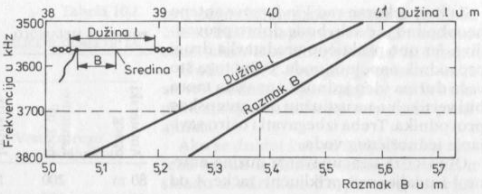
Još jednostavnije je da se napon na produženom delu voda meri VF cevnim voltmetrom (sonda), pošto se tada vod ne mora odvajati. Prilagođenje je postignuto kada se na svim mernim tačkama izmeri ista vrednost VF napona.

Kod srednjih do velikih snaga predajnika dovoljno je da se kao indikator VF napona upotrebi obična tinjalica koja se povlači duž voda. Ona na svim mestima mora da svetli istom jačinom. Ako se jednožični vod kapacitivno priključi direktno na jedan izvod anodnog kola predajnika (sl. 10.10) onda se neometano mogu emitovati svi postojeći viši harmonici. Zbog toga bi trebalo uvek ubaciti međukolo kao na sl. 10.11. Još je bolje ako se uključi *Kolinsov* filtar (vidi podtačku 8.1.1.1), kao što je prikazano na sl. 10.14. Proverene vrednosti za međukolo date su u tabeli 10.2.

Kod kapacitivne sprege sa izlaznim kolom (sl. 10.10), i kod međukola izvod na zavojnici kola mora se odabrati tako da napojni vod sa svojom karakterističnom impedancom od oko 500 Ω bude pravilno priključen u pogledu impedance. Zbog toga se prvo pronađe najmanja talasnost, bilo menjanjem izvoda na kolu ili variranjem podešavanja *Kolinsovog* filtra. Zatim se ostatak stojećih talasa otkloni pomeranjem priključne tačke A na anteni.

Na sl. 10.12 prikazani su merenjem dobijeni dijagrami za dimenzionisanje dužine antene l i položaja priključne tačke B, računajući od sredine antene, za *Vindomovu* antenu u opsegu od 80 m. Ako pre-

Sl. 10.12. Geometrijska dužina l Vindomove-antene za opseg od 80 m i razmak B priključka napojnog voda računat od sredine antene u zavisnosti od frekvencije



čnik jednožilnog voda iznosi 1,5 do 2 mm i ako postoji dobra provodljivost tla, onda se može računati sa prilično dobrim prilagođenjem.

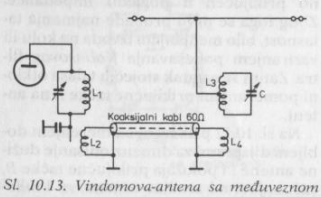
Primer

Za *Vindomovu* antenu, čija je rezonantna frekvencija 3.700 kHz, treba odrediti dužinu l i razmak B od sredine antene.

Dužina antene l dobije se kada se od date frekvencije povuče horizontalna linija do preseka sa linijom za dužinu l i na gornjoj ivici slike očita odgovarajuća dužina od 39,18 m (ucrtano isprekidanom linijom). Razmak B tačke priključka od geometrijske sredine antene očita se na donjoj skali u iznosu od 5,38 m (desno dole ucrtano isprekidanom linijom).

Do sada prikazani oblici sprege *Vindomove* antene primenjuju se samo kada je predajnik u neposrednoj blizini antenskog uvodnika. Ako se napojni vod mora još dalje voditi kroz prostoriju, treba računati da će visokofrekventni signali putem indukcije prodreti u električnu instalaciju, pa se zbog toga mogu pojaviti smetnje pri TV i radio-prijemu.

Približavanjem jednožilnog napojnog voda zidovima itd. menja se njegova karakteristična impedanca i javljaju se jaki stojeći talasi, naročito unutar prostorija.



Sl. 10.13. Vindomova-antena sa međuveznom spregom

Zbog toga, kod prenosa energije u kući treba uvek upotrebiti međuvezni vod prema sl. 10.13. Podaci o kolu L_3–C (međukolo) mogu se uzeti iz tabele 10.2. Dimenzionisanje međuveznog voda detaljno je opisano u poglavlju 8.

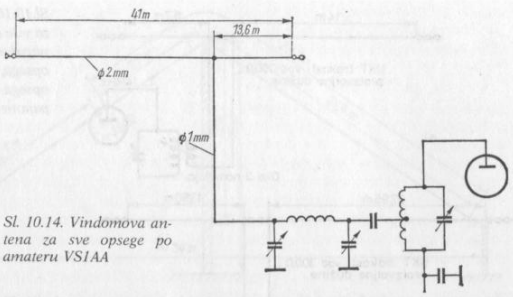
10.2.3. Vindomove antene za više opsega

Amater *VS1AA* opisao je *Vindomovu* antenu za više opsega, koja se naziva i *kompromisnom Vindomovom* antenom. Kod ove antene prečnik žice napojnog voda manji je od prečnika žice antene. Ako je prečnik žice antene 2 mm, onda se za prečnik napojnog voda bira 1 mm (odnos prečnika oko 2 : 1).

Na sl. 10.14 prikazana je takva kompromisna *Vindomova* antena prema *VS1AA* sa potrebnim podacima. Ona se može koristiti na svim amaterskim opsezima; međutim, uvek se mora računati sa određenim neprilagođenjem.

Na početku voda nalazi se *Kolinsov* filtar, čiji je zadatak da uvek omogući podešavanje na rezonancu. Na taj način jednožilni vod je priključen između prilagođenog i podešenog voda. To nije loše rešenje prilagođenja.

Kompromisna *Vindomova* antena radi u opsegu od 80 m kao polutalasna antena, a glavni smer zračenja je upravan na uzdužnu osu antene. Pri radu u opsegu od 40 m ona postaje jednotalasna žičana antena, u opsegu od 20 m na anteni se nalaze dva cela talasa, a u opsegu od 10 m četiri cela talasa. Antena nije prilagođena u opsegu od 15 m. Dijagrami zračenja, odnosno usmerenosti ove antene, prikazani su na sl. 11. 1. Na sl. 10.15 prikazana je *Vindomova* antena za sve opsege, ali sa manjom dužinom.



Sl. 10.14. Vindomova antena za sve opsege po amateru VS1AA

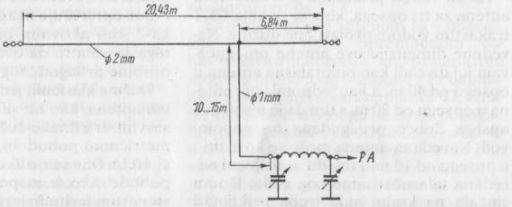
Kod ove antene dužina napojnog voda treba da iznosi 10 do 15 m. Njena sprega mora se izvesti preko *Kolinsovog* filtra. Međutim, u opsegu od 80 m ona ne radi kao *Vindomova* antena, jer jednožični napojni vod, u ovom slučaju deluje kao vertikalna četvrttalasna antena čija se mala dužina kompenzuje sa horizontalnim delom antene koji služi kao produžni kapacitet. *Kolinsov* filtar tada stupa u rezonancu sa radnom talasnom dužinom. U opsegu od 40 m antena postaje polutalasna *Vindomova* antena sa poznatim dijagramom u vidu osmice, dok se u opsezima od 20, 15 i 10 m (1λ, 1,5λ i 2λ) može opet računati sa odgovarajućim horizontalnim dijagramima usmerenosti kao na sl. 11.1.

Za rad u opsegu od 15 m sa opisanom *Vindomovom* antenom za više opsega mora se ukazati na ograničenje da se za ovaj opseg na mestu priključka na izvodu zavojnice nalazi impedanca od više hiljada oma. Iz toga sledi veliko neprilagođenje sa njegovim negativnim posledicama.

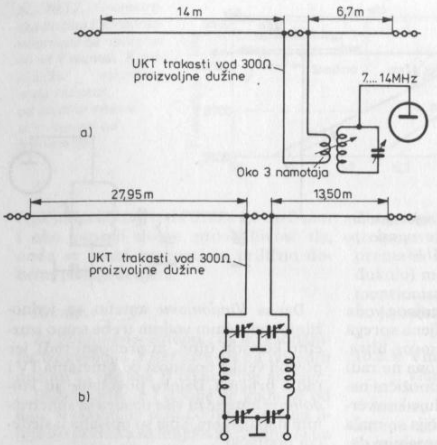
Danas *Vindomovu* antenu sa jednožilnim napojnim vodom treba samo izuzetno koristiti (npr., za prenosni rad), jer postoji velika opasnost od ometanja TV i radio prijema. Daleko povoljnije su *Vindomove* antene za više opsega sa simetričnim napajanjem, koje su opisane u sledećoj podtački.

10.2.3.1. *Vindomove antene za više opsega sa simetričnim napajanjem*

Po teoriji jednožilni napojni vod *Vindomove* antene ima karakterističnu impedancu od 600 Ω. Međutim, u praksi je moguće da u zavisnosti od okoline i visine postavljanja antene dođe do smanjenja karakteristične impedance napojnog voda i impedance *Vindom*–izvoda na zavojnici. Ako se pođe od *Vindomove* antene amatera *FD4* (literatura pod [1]), kod koje se radi najboljeg prilagođenja na koaksijalni kabl ubacuje transformator impedance sa odnosom 6 : 1, doći će se do



Sl. 10.15. Vindomova antena za sve opsege smanjene dužine



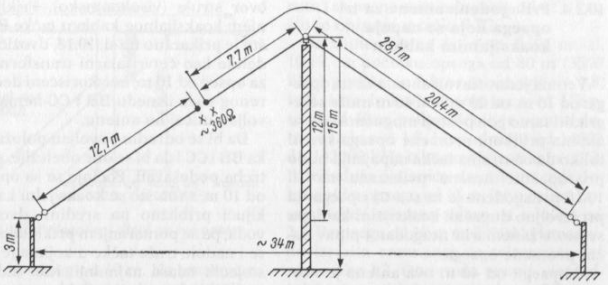
Sl.10.16. Vindomove antene za više opsega sa simetričnim napajanjem: a – antena za tri opsega, b – antena za četiri opsega sa prilagođenim napajanjem

toga da će, na uobičajenim visinama postavljanja ovih antena, njihova impedanca u tački napajanja biti između 300 i 400 Ω. Prema tome *Vidomova* antena za više opsega mogla bi se, uz podnošljivo neprilagođenje, napajati i direktno trakastim vodom od 300 Ω. Nasuprot jednožilnom napojnom vodu, takav trakasti vod obezbeđuje simetriju, duž cele svoje dužine, poseduje tačno definisanu karakterističnu impedancu, a pri tom je njegovo sopstveno zračenje relativno malo. *Vindomove* antene za više opsega sa napajanjem trakastim vodom znatno su povoljnije u pogledu stvaranja smetnji pri TV i radio-prijemu, nego *Vidnomove* antene sa jednožilnim napajanjem.

Na sl. 10.16a prikazana je *Vindomova* antena za tri opsega, koja se napaja UKT trakastim vodom proizvoljne dužine. Navedene dimenzije ove antene omogućavaju joj da radi kao polutalasna antena u opsegu od 40 m, a kao jednotalasna antena u opsegu od 20 m, s tim da je u oba ova opsega dobro prilagođena na napojni vod. Navedena antena može se koristiti i u opsegu od 10 m, s tim da se prihvati određena talasnost napojnog voda. U tom slučaju na kraju voda treba priključiti *Kolinsov* filtar, kao što je prikazano na sl. 10.16b. *Kolinsov* filtar omogućava rad sa ovom antenom i u opsegu od 80 m. Za to je potrebno da se kraj trakastog voda kratko spoji i da se simetrični *Kolinsov* filtar pretvori u nesimetrični. Antena u tom slučaju radi kao vertikalna antena sa produžnim kapacitetom.

Još jedna antena za više opsega sa napajanjem preko prilagođenog UKT trakastog voda radi na *Vindomovom* principu u opsezima od 10 m, 20 m, 40 m i 80 m (sl. 10.16b). I kod ovog kompromisnog rešenja nalazi se manji ili veći deo stojećih talasa u napojnom vodu. To zahteva da se – kao što je već navedeno – antena spregne sa predajnikom pomoću simetričnog *Kolinsovog* filtra. On ne uklanja stojeće talase, ali dovodi ceo sistem u rezonancu i time opterećuje izlazni stepen predajnika čistim aktivnim opterećenjem. Zbog toga se smatra da ovaj napojni vod ima osobine prilagođenog i podešenog voda.

Dužine klasičnih jednožičnih *Vindomovih* antena, kao na slikama 10.14 i 10.15, sasvim su jednake dužinama antena sa simetričnom pobudom, izrađenim kao na sl. 10.16. One se razlikuju samo po načinu pobude. Ako se raspolaže pogodnim prstenastim feritnim jezgrima, svaka *Vindomova* antena može se poboljšati i to tako



Sl. 10.17. Vindomova antena za četiri opsega sa zakošenim krakovima, napajanja koaksijalnim kablom

što se u odvojene tačke napajanja na anteni priključi balun–transformator sa prstenastim jezgrom, a zatim napaja proizvoljno dugačkim koaksijalnim kablom. Već prema karakterističnoj impedanci kabla, prenosni odnos transformatora sa prstenastim jezgrom iznosi 5 : 1 (kabl od 75 Ω) do 7 : 1 (kabl od 50 Ω). Izrada takvih balun–transformatora sa prstenastim jezgrom opisana je detaljno u tački 7.7.2.

Vindomova antena sa zakošenim krakovima, prikazana na sl. 10.17, po horizontali zauzima oko 35 m, a u visinu se pruža 12 m do 15 m. Ona je predviđena za rad na četiri opsega, pa u opsegu od 80 m predstavlja polutalasni dipol pune dužine, u opsegu od 40 m jednotalasni dipol, u opsegu od 20 m antenu od 2λ, dok je u opsegu od 10 m njena dužina 4λ. Dimenzije date na slici proverio je amater *DL7KM*, koji je pomoću antene takvih dimenzija dobio faktor talasnosti *s* od 1,3 na sva četiri opsega. Dimenzije po dužini malo odstupaju od dimenzija na sl 10.16b, ali to se, zbog manje visine postavljanja, može pripisati većem kapacitivnom opterećenju, povezanom sa zakošavanjem krakova antene u odnosu na zemlju. Antena se ne zakošava radi uštede jednog uporišta, već namerno, radi poboljšanja karakteristika zračenja (vidi i sl. 10.29 i sl. 11. 17).

U tački prekida *X–X* antena bi se mogla pobuđivati direktno vodom od 300 Ω proizvoljne dužine, pri čemu neprilagođenje ostaje u podnošljivim granicama. Ipak, povoljnije je napajanje pomoću koaksijalnog kabla. Njegov vek trajanja je duži od veka trakastog voda a on sprečava i zračenje TV smetnji. Osim toga, većina amaterskih predajnika ima priključak za koaksijalne kablove. Da bi se koaksijalni kabl od 60 Ω, u pogledu simetrije i impedance, mogao pravilno priključiti u tački napajanja *X–X*, mora se ubaciti element za transformaciju, koji je u velikoj meri nezavisan od frekvencije i koji transformiše ulaznu otpornost antene u odnosu 6 : 1 i istovremeno uspostavlja simetriju. Budući da se radi o anteni za više opsega, element za transformaciju mora posedovati i dobre karakteristike u pogledu širine opsega. Sve ove zahteve ispunjava balun–transformator sa prstenastim jezgrom, kao što je opisano u tački 7.7.2. U datom slučaju treba odabrati balun–transformator izrađen kao na sl. 7.12c. Ako se koristi koaksijalni kabl od 50 Ω, treba odabrati prenosni odnos od 7 : 1 do 8 : 1, dok je za kabl od 75 Ω pravilan prenosni odnos 5 : 1.

Sa *Vindomovom* antenom za 4 opsega, kao na sl. 10.17, opremljenom balun–transformatorom sa prstenastim jezgrom prenosnog odnosa 6 : 1 i napajanim koaksijalnim kablom od 60 Ω, amater *DL7KM* je, u opsegu od 80 m, postigao faktor talasnosti *s* od 1,2; u opsegu od 40 m $s = 1{,}1$ dok je *s* u opsegu od 20 m bilo skoro 1,0. Ova *Vindomova* antena manje je pogodna za opseg od 15 m ($s \geq 2{,}5$), dok je u opsegu od 10 m ponovo dobro prilagođena.

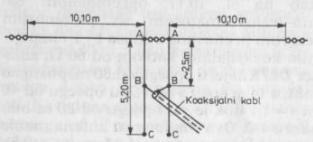
10.2.4. Prilagođena antena za tri opsega koja se napaja koaksijalnim kablom

Veoma jednostavna antena za tri opsega: od 10 m, od 20 m i od 40 m može se izgraditi tamo gde postoji mogućnost da se antena prilikom promene opsega spusti toliko da centralna tačka napajanja bude pristupačna. Antena prikazana na sl. 10.18 prilagođena je za sva tri opsega na proizvoljno dugačak koaksijalni kabl, pa se može zanemariti nezgodan i pipav način promene opsega.

U opsegu od 40 m ova antena je normalni polutalasni dipol čiji su krakovi dugi 10,10 m. Koaksijalni kabl se priključuje u tačkama *AA*, koje odgovaraju opsegu od 40 m, i tu je otpornost na priključku oko 60 Ω. Otvoreni dvožični vod (dužine 5,20 m) koji polazi iz tačaka AA, ne utiče značajno na rezonancu ili na karakteristiku zračenja.

Ako se antena želi koristiti u opsegu od 20 m, koaksijalni kabl treba priključiti na tačke CC na kraju otvorenog dvožičnog voda. U ovom slučaju, obe grane antene su simetrični jednotalasni dipol, čija je otpornost na priključku, kao što je poznato, visokoomska (trbuh napona). Dvožični vod dužine 5,20 m predstavlja, u opsegu od 20 m, četvrttalasni transformator (vidi odeljak 6.5), koji u tačkama CC, vrši promenu impedance na oko 60 Ω. Za simetrični dvožični vod bira se karakteristična impedanca između 500 i 600 Ω. Ova impedanca može se ostvariti, na primer, provodnicima prečnika 1,5 mm i razmakom između provodnika od 70 mm (vidi sl. 5.4).

Kada se radi u opsegu od 10 m, na anteni se nalaze 4 polutalasa, a raspodela struje je takva da se u tačkama AA nalazi



Sl. 10.18. Simetrična antena za tri opsega koja se napaja pomoću koaksijalnog kabla

čvor struje (visokoomsko). Priključivanjem koaksijalnog kabla u tačke BB kao što je prikazano na sl. 10.18, dvožični vod deluje kao četvrttalasni transformator i za opseg od 10 m; neiskorišćeni deo otvorenog voda između BB i CC nema nepovoljan uticaj na antenu.

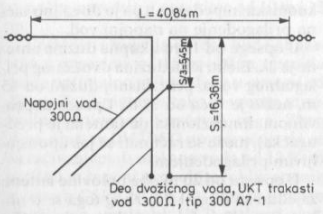
Da bi se odredio povoljan položaj tačaka BB i CC i da bi se one obeležile, antenu treba podešavati. Počinje se sa opsegom od 10 m, s tim što se koaksijalni kabl priključi približno na sredinu dvožičnog voda, pa se pomeranjem priključka nagore i nadole traže tačke u kojima je odnos stojećih talasa najmanji. Kao indikator stojećih talasa služi reflektometar spregnut sa koaksijalnim kablom. Zatim se na isti način podešava u opsegu od 20 m, pri čemu se pomeraju priključci koaksijalnog kabla u tačkama CC. Optimum se obično nalazi malo iznad kraja voda.

Budući da je prelaz sa simetričnog antenskog sistema na nesimetrični koaksijalni kabl izvršen bez transformatora za simetriranje, u koaksijalnom kablu mogu se javiti talasi, pa postoji mogućnost ometanja TV i radio-prijema. U takvim slučajevima često može pomoći produžavanje ili skraćivanje koaksijalnog kabla za 1 do 2 m.

10.2.5. Prilagođeni dipol za sve opsege

Kod do sada navedenih antena korišćena je mogućnost da se na antenskom provodniku pronađe tačka u kojoj je impedanca približno ista za više opsege. Antena se u tom mestu prekine i priključi napojni vod, čija je karakteristična impedanca približno jednaka jedinstvenoj impedanci antene za više opsega.

Isti princip može se primeniti i na otvoreni deo četvrttalasnog voda. Polutalasnom dipolu koji je dimenzionisan za najnižu radnu frekvenciju u centralnoj tački napajanja dodaje se otvoreni četvrttalasni vod (sl. 10.19). Ako je polutalasni dipol u rezonanci u opsegu od 80 m, onda će i u opsezima od 40, 20 i 10 m postojati približna rezonanca harmonika. Otvoreni četvrttalasni vod predstavlja istovremeno polutalasni vod za opseg od 40 m, jednotalasni vod za opseg od 20 m i



Sl. 10.19. Prilagođeni dipol za sve opsege

2λ–vod za opseg od 10 m. Na otvorenom dvožičnom vodu može se pronaći tačka u kojoj je impedanca oko 300 Ω za sve navedene amaterske opsege (vidi odeljak 6.6). U tu tačku može se priključiti proizvoljno dugačak napojni vod sa karakterističnom impedancom od 300 Ω, što znači da bi se antena u pogledu impedance približno pravilno napajala na svim opsezima. Na osnovu teorije i prakse pokazalo se da se ta tačka nalazi na jednoj trećini dužine dvožičnog voda od priključne tačke antene.

Deo dvožičnog voda i napojni vod mogu se izraditi od UKT trakastog voda. U tom slučaju, prilikom određivanja dužine četvrttalasnog voda, treba uzeti u obzir faktor skraćenja za trakasti vod. Kod komercijalnih UKT trakastih vodova sa karakterističnom impedancom od 240 Ω, računa se da je $V = 0{,}8$ (dužina dela voda = $0{,}8 \cdot \lambda/4$).

Napojni vod od 300 Ω može se zameniti koaksijalnim kablom, s tim što se u tački priključka odsečka voda ubaci balun–transformator sa prstenastim jezgrom i sa prenosnim odnosom od 6 : 1, kao što je opisano u tački 7.7.2.

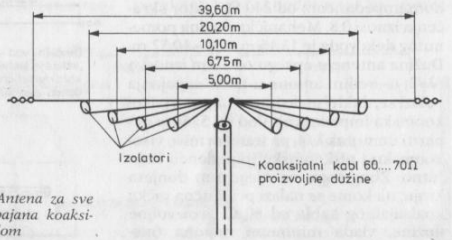
Sa dimenzijama koje su date na sl. 10.19, na početku opsega od 80 m (3500 kHz) postiže se faktor talasnosti $s = 1{,}8$, koji raste do kraja opsega na $s = 4$. U opsegu od 40 m prilagođenje je veoma dobro i tu je $s \leq 1{,}5$. I u području od 14000 do 142000 kHz talasnost *s* je manja od 2. Iznenađuje činjenica da antena radi dobro još i u opsegu od 15 m, jer u celom opsegu nije izmerena talasnost *s* lošija od 2,5. U opsegu od 10 m na 29000 kHz nastupa izrazita rezonanca sa talasnošću od samo oko 1,2. Ona raste prema visokofrekventnom kraju opsega do $s = 2{,}5$, a na početku ovog opsega $s = 3$.

Antene za sve opsege sa prilagođenim napojnim vodom predstavljaju uvek kompromisna rešenja. Izgleda da je opisana antena naročito uspeo kompromis.

10.2.6. Antena za sve opsege napajanja koaksijalnim kablom

Na sl. 10.20 prikazana je antena za sve opsege, koja se napaja pomoću koaksijalnog kabla. Na slici se vidi da se ne radi o »pravoj« anteni za sve opsege, jer se za svaki opseg koristi poseban polutalasni dipol. Ona je veoma skupa, a i sama mehanička izrada vezana je sa izvesnim poteškoćama. Samostalna izrada ove antene je složena i teška. Osim toga, ova vrsta antene ima veliki proves (ugib sredine zbog sopstvene težine).

Industrijski proizvedene antene ovog tipa su izrađene od specijalnog antenskog provodnika, pri čemu je najduži di-



Sl. 10.20. Antena za sve opsege napajana koaksijalnim kablom

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

pol od čelične legure sa malim koeficijentom istezanja. Zadatak tog dipola je da nosi sve ostale kraće dipole. Oni su uzdužno poređani i zaliveni u zajednički dielektrik.

Prikazana antena je u rezonanci na svim harmonicima, pa se nepoželjni harmonici obavezno moraju potisnuti *Kolinsovim* ili nekim drugim pogodnim NF filtrom.

10.2.7. Antena za više opsega po amateru *G5RV*

Ova antena se rado koristi jer se može jednostavno izraditi, a zahteva malo prostora. Međutim, ona ne ispunjava velike nade amatera u pogledu efikasnosti, jer se radi o kompromisnom rešenju, koje samo u opsezima od 10 i 15 m obezbeđuje malo pojačanje u odnosu na normalni dipol.

Na sl. 10.21 date su dimenzije ove antene. Dvožični vod dužine 12,90 m ima električnu dužinu od 5/4λ, pri čemu λ odgovara talasnoj dužini od 10 m (5/4λ · faktor skraćenja). Karakteristična impedanca ovog voda nije veoma kritična i može biti 300 do 400 Ω. Ako se dvožični deo voda izradi od trakastog voda iste električne dužine i sa karakterističnom impedancom od 240 Ω, gubici će nešto porasti. Pri tome, mora se uzeti u obzir faktor skraćenja trakastog voda. Kada se, na primer, upotrebi UKT trakasti vod od 240 Ω, geometrijska dužina voda od 5/4λ izračunava se na sledeći način: za opseg od 10 m, delu voda od 5/4λ odgovara dužina od 13,15 m, ne uzimajući u obzir faktor skraćenja. Za trakasti vod sa karakterističnom impedancom od 240 Ω, faktor skraćenja iznosi 0,8. Mehanička dužina pomenutog dela voda je 13,15 m · 0,8 = 10,52 m. Dužina antene u opsegu od 10 m iznosi 6 · λ/2; u sredini antene u tački napajanja nalazi se, dakle, maksimum napona (visokoomska impedanca). Vod od 5/4λ je neparni umnožak λ/4, pa transformiše visokoomsku i niskoomsku impedancu i obratno. Zbog toga, na njegovom donjem kraju, na kome se nalazi priključna tačka koaksijalnog kabla od 60 Ω proizvoljne dužine, vlada minimum napona (niskoomska impedanca), pa je dovoljno tačno prilagođenje na napojni vod.

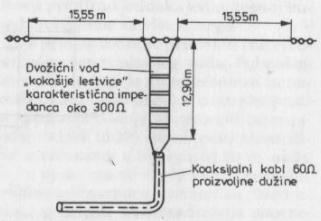
U opsegu od 15 m ukupna dužina antene je 2λ. Električna dužina dvožičnog prilagodnog voda, pri talasnoj dužini od 15 m, nešto je veća od 3/4λ. Uprkos nepravilnom dimenzionisanju (antena je predugačka), može se računati sa još upotrebljivim prilagođenjem.

U opsegu od 20 m obe polovine antene zajedno su duge 1,5 λ; zbog toga se u njihovoj sredini dobija niskoomska tačka napajanja. Budući da je priključeni deo prilagodnog voda, pri talasnoj dužini od 20 m, duži od λ/2, javlja se neprilagođenje kabla od 60 Ω. Antena ne radi optimalno u opsegu od 20 m, jer talasnost napojnog voda izaziva gubitke usled zračenja.

U opsegu od 40 m rezonantni uslovi su dosta neodređeni, jer je antena predugačka za polutalasni dipol, a prekratka za jednotalasnu rezonancu. Vod za prilagođenje deluje tada kao deo antene i produžava je na odgovarajući način. Ovakvom iznuđenom rezonancom antena amatera *G5RV* postaje pomoćna antena za opseg od 40 m.

Odnosi su još nepovoljniji u opsegu od 80 m. I u ovom slučaju paralelni žičani vod mora bar donekle obezbediti dovođenje celog sistema u rezonancu. Usled znatnog neprilagođenja javljaju se i veliki gubici u napojnom kablu.

Za prilagođenje ove antene na izlazni stepen predajnika, kao i kod svih kompromisnih rešenja, mora se upotrebiti π–filtar. Ona tada, uz dobar položaj postavljanja, može da radi na zadovoljavaju-



Sl. 10.21. Antena za više opsega po amateru G5RV

ći način, naročito u opsezima od 10 m i 15 m.

Često je važnije da antena bude efikasnija u opsezima od 15 m i 20 m, nego da bude optimalno prilagođena u opsegu od 10 m. To je sigurno tako u vreme minimalne aktivnosti Sunčevih pega. Zbog toga, amater *DM2DGO* preporučuje da se skraćivanjem dvožičnog voda od 12,90 m na 9,60 m izmeni provobitni oblik antene amatera *G5RV* (sl. 10.21). Ako se umesto dvožičnog upotrebi UKT trakasti vod, onda je njegova dužina 8,50 m. Uzimajući u obzir faktor skraćenja, ova dužina voda odgovara polutalasnoj dužini opsega od 20 m i tričetvrttalasnoj dužini opsega od 15 m.

Pod uslovom da se odustane od dobre efikasnosti u opsegu od 10 m, u opsezima od 15 i 20 m antena po amateru *G5RW* povoljno je prilagođena na koaksijalni kabl.

10.2.8. Antena za sve opsege po amateru *W3DZZ*

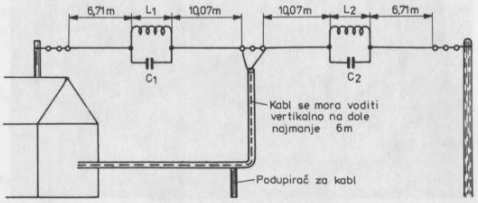
Naročitu pažnju zaslužuje antena za sve opsege po amateru *W3DZZ*. Ona se napaja prilagođenim koaksijalnim kablom. Zato se svakom radio-amateru koji želi izraditi jeftinu i dobru antenu nesumnjivo može preporučiti ovaj tip antene (sl. 10.22).

Pri održavanju veze na kratkotalasnim amaterskim opsezima može se konstatovati da se antena za sve opsege po amateru *W3DZZ* mnogo upotrebljava i da skoro pripada standardnoj opremi kratkotalasnih amatera.

Ova antena prepoznaje se po spoljašnjem izgledu zbog zaprečnih kola, ubačenih u antenski provodnik. Antena zauzima malo prostora. U toku rada na opsezima od 10, 15 i 20 m antena *W3DZZ* daje osetno pojačanje u odnosu na jednostavni dipol. Ukoliko se amater pridržava dimenzija datih na slici 10.22, nisu potrebne naknadne korekcije. U Engleskoj je ista antena poznata kao dipol za više opsega po amateru *G8KW*.

Induktivnost zavojnica u oba zaprečna kola L_1 i L_2 je po 8,3 μH, a kapacitivnost kondeznatora C_1 i C_2 iznosi po 60 pF. Iz toga proizlazi da rezonantna frekvencija kola $L_1 - C_1$ i $L_2 - C_2$ iznosi 7050 kHz. Kao orijentacione vrednosti za izradu zavojnica L_1 i L_2 mogu poslužiti sledeći podaci: prečnik zavojnice 50 mm, dužina zavojnice 80 mm, broj namotaja je 19. Zavojnicu treba podesiti tako da se, zajedno sa nepromenljivim kondenzatorom od 60 pF, dobije rezonantna frekvencija od 7050 kHz. Merenje rezonantne frekvencije može se vršiti izbaždarenim grid-dip metrom.

Kvalitet zaprečnih kola najviše utiče na kvalitet antene amatera *W3DZZ*. Ova kola moraju imati, ne samo veliki faktor dobrote, nego i veliku temperaturnu konstantnost. Uvek se mora uzeti u obzir, da su u otvorenom prostoru zaprečna kola izložena veoma jakim temperaturnim promenama, koje više ili manje deluju na rezonantnu frekvenciju. Tako se može dogoditi da antena po amateru *W3DZZ* radi samo u određenom opsegu spoljašnje temperature, a da otkazuje pri većim promenama temperature. Zbog toga se pre konačne ugradnje kola podvrgavaju temperaturnoj kompenzaciji. Kompenzira se tako što se sa zavojnicom koja, u opštem slučaju, pokazuje lagano pozitivno menjanje vrednosti sa temperaturom, paralelno spoji kondenzator sa suprot-



Sl. 10.22. Antena po amateru W3DZZ

nim, dakle lagano negativnim temperaturnim koeficijentom. Radi postizanja odgovarajuće temperaturne kompenzacije često se moraju koristiti kombinacije kondenzatora sa različitim vrednostima temperaturnog koeficijenta. Pri tom se uvek mora voditi računa o tome da rezultantni kapacitet mora iznositi 60 pF. Uspeh temperaturne kompenzacije može se proveriti naizmeničnim grejanjem i hlađenjem zaprečnog kola. Pri tom treba uvek ponovo meriti rezonantnu frekvenciju i korigovati temperaturne promene na odgovarajući način.

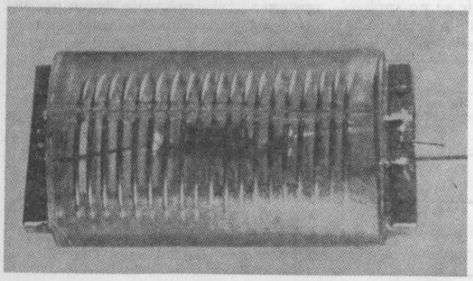
Na zaprečnim kolima javljaju se visoki naponi. Zbog toga se preporučuje da se upotrebljavaju kondenzatori sa što je moguće većim probojnim naponom. Potpuno je opravdano da se i pored većih troškova upotrebe kondenzatori sa ispitnim naponom od 3 kV. Naročito kvalitetna zavojnica dobije se od posrebrene žice prečnica 2 mm bez nosača. Radi zaptivanja od vlage, kondenzator se mora smestiti u cevčicu od polistirola (zaptivanje izvršiti lepkom za polistirol). Celo zaprečno kolo može se smestiti u izolovano zaštitno kućište. Za to su delimično pogodne plastične kutije kojih ima u izobilju na tržištu. Na sl. 10.23 prikazan je predlog izrade. Iskorišćen je cilinder od piakrila ukupne dužine 135 mm i spoljašnjeg prečnika 65 mm. Za namotaj su korišćeni podaci amatera, *DM2AKN*: 20 namotaja bakarne žice od 1,5 mm, prečnik zavojnice 50 mm. Kao dielektrik za kondenzatore od 60 pF odabran je materijal Tempa S.

Rezonantne frekvencije za antenu amatera *W3DZZ* su 3,7 MHz, 7,05 MHz, 14,1 MHz, 21,2 MHz i 28,4 MHz. U opsegu od 80 m antena radi kao polutalasni dipol. Na prvi pogled izgleda da je ukupna dužina žice od 33,56 m prekratka za izradu polutalasnog dipola sa talasnom dužinom od 80 m. Međutim, kako na ovoj frekvenciji induktivne impedance zaprečnih kola deluju kao električno produženje, rezonantna frekvencija iznosi 3700 kHz.

U opsegu od 40 m oba dodata kola deluju kao zaprečna kola sa rezonantnom frekvencijom od 7050 kHz. Zbog velike rezonantne otpornosti ovih kola u opsegu od 40 m, kao antena deluju samo dva komada žice dužine 10,07 m. Dakle, antena amatera *W3DZZ* i u opsegu od 40 m deluje kao polutalasni dipol.

Za opseg od 20 m električna dužina antene je 1,5 λ, za 15 m 2 λ i za 10 m 3 λ. Geometrijski posmatrano, antena je »predugačka« za ova tri opsega. Međutim, i ovde dolazi do rezonance, jer se iznad njihove rezonantne frekvencije oba LC kola ponašaju kapacitivno, pa deluju na električno skraćenje.

Kada se radi na 80 m, 40 m i 20 m pobuđivanje antene vrši se u trbuhu struje, pa se, za opsege od 80 m i 40 m, u napojnoj tački, može očekivati impedanca od oko 60 Ω. U opsegu od 20 m ona iznosi oko 100 Ω (vidi sl. 11.2). Ako se amater ograniči samo na ova tri opsega, antena se može pobuđivati direktno koaksijalnim kablom proizvoljne dužine.



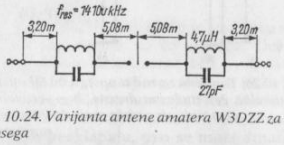
Sl. 10,23. Primer izvedbe zaprečnog kola za antenu za sve opsege amatera W3DZZ prema amateru DM2AKN

Odnosi su drugačiji kada se radi u opsezima od 15 m i 10 m. Tada se antena pobuđuje u trbuhu napona, pa je impedanca u tački napajanja visokoomska. To znači da napojni kabl više ne predstavlja prilagođen vod, pa se mora posmatrati kao podešeni vod: dužina voda ne može se više slobodno birati. Zbog toga se u opisu antena često navode određene dužine kabla.

Kao što je već opisano u tački 5.3.2, vod čija je električna dužina λ/4 radne talasne dužine, obrće odnose napon–struja. Odnosno, ako se u tački napajanja nalazi trbuh napona (visokoomska impedanca), na udaljenosti od λ/4 nalaziće se trbuh struje (niskoomska impedanca). Isto važi i za sve umnoške neparnih brojeva sa λ/4. Ovim dužinama, na izlaz predajnika može se dovesti željeno niskoomsko opterećenje. To se može tačno izvesti samo za opseg od 15 m ili od 10 m, jer neparan umnožak λ/4 ne stvara rezonancu za istu vrednost. Računski se mogu dobiti povoljna kompromisna rešenja; ako je vod opseg od 15 m dugačak 11 × λ/4 ili 17 × λ/4, tada postoji približna rezonanca za opseg od 10 m na 15 × λ/4, odnosno 23 × λ/4. Uzimajući u obzir faktor skraćenja koaksijalnog kabla (V = 0,66), dobiju se mehaničke dužine napojnog voda od 26 m, odnosno 40 m.

Rad u opsezima od 10 m i 15 m samo je pomoćno rešenje čije se pojačanje, izračunato na osnovu dužine antene, potpuno izgubi usled gubitaka. To znači da je na strani predajnika neophodno upotrebiti *Kolinsov* filtar (vidi poglavlje 8). Odnosi su povoljniji ako se napajanje vrši simetričnim kablom od 120 Ω.

Još jedna antena za više opsega, slična anteni amatera *W3DZZ* ima ukupnu dužinu od samo 17 m i može se koristiti u opsezima od 40 m, 20 m i 10 m (sl. 10.24). Dužine dva dela provodnika uz tačku napajanja iznose po 5,08 m. Zatim, sa obeju strana slede zaprečna kola, na koja se priključuju obe spoljašnje grane dipola dužine od po 3,20 m. Rezonantna frevencija oba zaprečna kola iznosi 14,1 MHz, a kola se sastoje od zavojnice induktiviteta 4,7 μH i kondenzatora od 27 pF. Pri radu na opsegu od 40 m, ova LC kola deluju kao zavojnice za produženje i obezbeđuju da se, uprkos prekratkoj žici, pojavi polutalasna rezonanca. Kada se antena pobuđuje u opsegu od 20 m, oba LC kola deluju kao zaprečna kola na rezonanci od 14,1 MHz; na taj način se isključuju obe spoljašnje sekcije antene. U ovom slučaju, antenu stvarno sačinjavaju samo obe unutrašnje grane dipola od po 5,08 m koje su u polutalasnoj rezonanci. U opsegu od 10 m antena konačno postaje dipol električne dužine 1,5 λ, jer se LC kola ponašaju kapacitivno i time utiču na električno skraćenje antene.



Sl. 10.24. Varijanta antene amatera W3DZZ za tri opsega

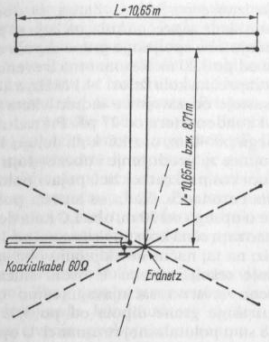
Napajanje i izgradnja su isti kao kod antene amatera *W3DZZ*. Upute date za nju važe i za ovu varijantu.

U zaključku može se reći da je modernizovana *Vindomova* antena za sve opsege sa balun-transformatorom sa prstenastim jezgrom, izvedena prema tački 10.2.3, po vrednosti jednaka anteni za sve opsege po amateru *W3DZZ*, s tim što je ovo poslednja jeftinija.

10.3. Dipol antene koje omogućavaju uštedu prostora

Lokalne mogućnosti za montažu ograničavaju želje većine radio-amatera za izgradnju efikasnijih antenskih sistema.

Na krovu kuće često se nađe još toliko mesta da se može izgraditi efikasna antena, bar za VF amaterske opsege. Iskustvo je pokazalo da mladi radio-amater obično počinje svoju aktivnost »igrajući se« na omiljenom opsegu od 80 m. Budući da su za ovaj opseg potrebne antene velike dužine, pitanje antene često predstavlja problem. Amater koji se bavi ovom temom, ipak će i pod težim uslovima pronaći mogućnost za izradu dobre antene. Međutim, zbog razlike lokalnih uslova, ne može se preporučiti neko opšteprihvatljivo najbolje rešenje.



Sl. 10.25. T-antena za dva opsega

Dalje opisane konstrukcije antena za opsege od 80 m i 40 m, koje omogućavaju uštedu u prostoru, poslužiće kao podsticaj i daće uputstva za rešenje problema njihove izrade čak i u slučaju da nije moguća direktna izrada prema ovde datim opisima.

10.3.1. T–antena za dva opsega

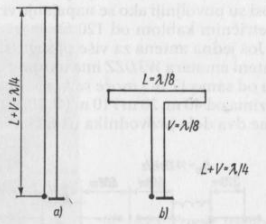
T–antena prikazana na sl. 10.25 ima veoma kompaktan oblik koji doprinosi uštedi prostora. Uprkos tome, to je kompletna antena za opseg od 80 m i 40 m.

Pri radu u opsegu od 80 m, antena deluje kao vertikalno polarizovana dvožična antena sa efektivnom dužinom od $\lambda/4$. Na sl. 10.26 objašnjen je način rada ove antene u opsegu od 80 m. Prikazana je vertikalna četvrttalasna antena, ostvarena u obliku polovine savijenog dipola (sl. 10.26a). Na sl. 10.26b prikazana je ista antena, sa tom razlikom što je njena gornja polovina vertikalno zbijena. Na taj način nastaje T–oblik, pri čemu se ukupna VF snaga zrači sa vertikalnog dela antene, dok horizontalni deo preuzima funkciju produžnog kapaciteta. Druga četvrttalasna dužina koja dopunjava antenu, nalazi se u zemlji i simetrična je kao u ogledalu (*Markonijeva* antena). Za dobro funkcionisanje antene u ovom opsegu od presudnog su značaja povoljni uslovi uzemljenja. Zbog toga se naročito pažljivo moraju proučiti preporuke date u odeljku 19.1.

Kada antena radi u opsegu od 40 m, njen vertikalni deo je dugačak $\lambda/4$. On zbog toga deluje kao četvrttalasni transformator (vidi odeljak 6.5), koji prilagođava niskoomski napojni kabl (koaksijalni kabl) na visokoomsku priključnu tačku antene u horizontalnom delu.

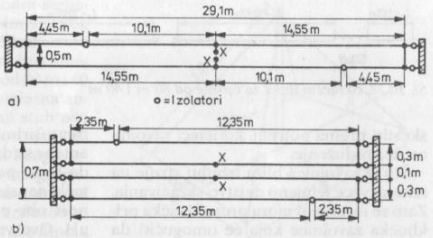
Deo antene L dugačak je 10,65 m, a njegova konstrukcija odgovara savijenom dipolu. Razmak provodnika nije kritičan i on se za oba dela antene može dimenzionisati tako da karakteristične impedance budu između 300 i 500 Ω (vidi sl. 5.4). I vertikalni deo V dugačak je 10,65 m, ako je izrađen od dvožičnog voda sa vazduhom kao izolatorom (»kokošije lestvice«). Međutim, može se upotrebiti i komercijalni trakasti UKT vod karakteristične impedance 300 Ω. Pri tome se mora uzeti u obzir faktor skraćenja ovog voda, koji obično iznosi 0,8. Iz toga proizlazi dužina V od samo 8,71 m. Zbog toga se ukupna visina antene smanjuje skoro za 2 m, što je u mnogim slučajevima poželjno.

Budući da antena u opsegu od 80 m radi kao vertikalno polarizovana četvrttalasna antena, važno je da se donji deo, po mogućnosti, vodi vertikalno. On se završava u neposrednoj blizini tla tako da se priključak na mrežu protivtega koja je



Sl. 10.26. T-antena za rad u opsegu od 80 m: a – vertikalna četvrttalasna antena, b – vertikalno skraćenje uz zadržavanje četvrttalasne rezonance

Sl. 10.27. Paralelno složeni horizontalni dipoli za opsege od 80, 40 i 15 m: a – podaci o dimenzijama za dvožičnu verziju, b – prostorno skraćena četverožična verzija



prostrta na zemlji može izvesti bez zaobilaska. Neposredno uz priključak protivtega priključuje se drugi (neuzemljeni) krak antenskog dovoda na unutrašnji provodnik koaksijalnog kabla od 60 Ω. On može biti proizvoljno dug i može se položiti i ispod površine zemlje.

Antena je svojim vodom direktno uzemljena, pa nisu potrebne posebne mere zaštite od groma.

10.3.2. Dipoli sa paralelno složenim horizontalnim žicama za opsege od 80, 40 i 15 m

Na sl. 10.27a skicirana je antena za tri opsega od 80, 40 i 15 m, čija je horizontalna dužina samo 29,1 m. Ona se može pobuđivati direktno koaksijalnim kablom od 50 Ω. I za opseg od 80 m ovde je ostvarena ukupna dužina provodnika odgovarajućeg polutalasnog dipola. Time su izbegnuti gubici usled mehaničkog skraćenja antene. Savijanje žice na kraju antene i njeno vraćanje prema sredini antene samo malo utiče na osobine zračenja u opsegu od 80 m, jer se kod svakog polutalasnog dipola maksimum zračenja nalazi u trbuhu struje (u sredini antene). Rezultati u praksi potvrđuju ovu činjenicu. »Složeni« polutalasni dipol od 40 m predstavlja istovremeno dipol od 1,5 λ za opseg od 15 m.

Na sl. 10.27b prikazana je još kraća verzija ovog dipola za tri opsega. Dužina ovog dipola iznosi samo 14,7 m. U ovom slučaju dipol za opseg od 80 m podeljen je na 4 paralelna komada žice. Međutim, zbog četvrttalasnih sekcija koje se međusobno preklapaju, ovo se može smatrati samo kompromisnim, ali još upotrebljivim rešenjem.

Označene dužine žica su samo orijentacione vrednosti. Tačne rezonantne dužine zavise od okoline antene; one su kraće što je antena bliža zemlji ili okolnim zgradama. Budući da se ni na jednom kraju žice koji se priključuje na izolatore, ne nalazi maksimum napona, u slučaju potrebe, ovi izolatori se mogu izostaviti. Podupirači za održavanje razmaka mogu se izraditi, na primer, od komada drške za metlu, koji se impregniraju i probuše da bi se u njih smestila žica.

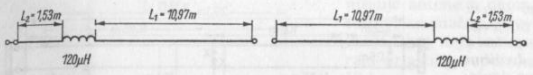
Može se računati da će otpornost antenskog priključka u centralnoj tački napajanja (XX) iznositi oko 50 Ω. To znači da se ova antena može napajati direktno koaksijalnim kablom od 50 Ω. Zato se u većini slučajeva transformator za simetriranje može izostaviti. Budući da je to antena za više opsega, može se koristiti samo balun–transformator sa prstenastim jezgrom (sl. 7.12a).

Na istom principu, međusobnim slaganjem paralelnih provodnika može se izraditi antena za 5 opsega, koja zauzima malo prostora i koja je opisana u literaturi pod [2]*.

10.3.3. Skraćeni dipoli za opsege od 80 i 40 m

U većini slučajeva teško je naći dovoljno slobodnog prostora za razapinjanje polutalasnog dipola za opseg od 80 m. U takvim slučajevima dužina žice može se

* Podatak o literaturi.



Sl. 10.28. Skraćeni dipol za opsege od 80 m i 40 m

skratiti prema potrebi, koristeći zavojnice za produženje.

Što je zavojnica bliža trbuhu struje na anteni, veće je njeno dejstvo skraćivanja. Zato se na anteni mora pronaći tačka priključka zavojnice koja će omogućiti da antena bude rezonantna za dve frekvencije od koje je jedna harmonik druge. Međutim, ovde je nezgodno što skraćivanje antenskog provodnika povećava uskopojasnost antene.

To znači da će kod antene za opsege od 80 i 40 m, opseg od 40 m, u svakom slučaju, biti potpuno pokriven, jer za ovu radnu frekvenciju antena ima približno punu dužinu.

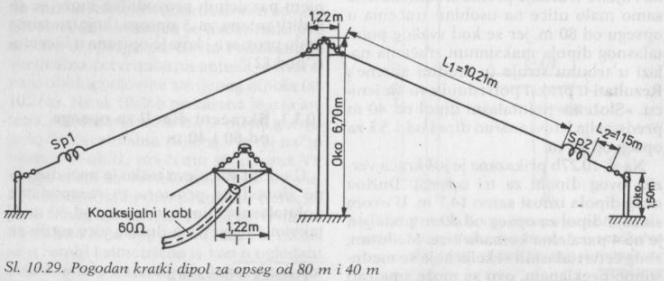
Nasuprot tome, širina opsega od 80 m iznosi samo oko 80 kHz, jer je antena veoma skraćena.

Svaka antena koja se geometrijski skrati uključivanjem zavojnica za produženje, ima tri promenljive veličine: dužinu antene, položaj zavojnice za produženje i njenu induktivnost. Eksperimenti su pokazali da su zavojnice sa induktivnošću od 120 μH naročito pogodne za skraćivanje dipola, koji treba da bude rezonantan za opsege od 40 m i 80 m. Na sl. 10.28 prikazan je dipol, koji je dimenzionisan za rad sa telegrafijom na opsegu od 80 m, dok u opsegu od 40 m poseduje punu širinu opsega. Ukupna dužina ove antene za dva opsega iznosi 26 m. Budući da je to polutalasni dipol, otpornost u tački napajanja iznosi oko 60 Ω. Induktivnost obe produžne zavojnice je po 120 μH. Ova vrednost se dobije ako se na plastičnu cevčicu prečnika oko 26 mm gusto namota 200 namotaja bakarne žice prečnika 1 mm. Kao nosač namotaja pogodna je PVC cev debljine 3/4 cola (vodovodna cev). Površina namotaja mora se zaštititi dobrim izolacionim lakom.

Ako rezonancu na 80 m treba pomeriti više prema visokofrekventnom kraju opsega, dužine L_2 mogu se malo skratiti (npr., na 1,25 m).

Na sl. 10.29 prikazana je antena iste vrste, ali u obliku kosog skraćenog dipola. Za nju su potrebni srednji stub od oko 7 m i dva mala stuba–držača od po 1,50 m. Upada u oči da dipol nije prekinut na sredini. Koaksijalni kabl priključuje se preko delta–prilagođenja (vidi odeljak 6.1).

Rezonanca ove antene na 80 m nalazi se u telefonskom delu ovog opsega (oko 3700 kHz). Podaci o zavojnicama za produženje identični su podacima datim na sl. 10.28. Antena se ne nalazi na velikoj visini, pa zemlja intenzivno utiče na nju. Zbog toga, rezonancu treba obavezno proveravati pomoću grid–dip metra. Obe



Sl. 10.29. Pogodan kratki dipol za opseg od 80 m i 40 m

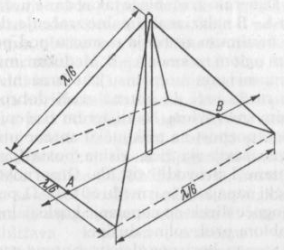
antene treba prilagoditi izlaznom stepenu predajnika pomoću nesimetričnog *Kolinsovog* filtra (vidi tačku 8.1.1).

Ako se pod pravim uglom prema smeru zatezanja antene za opsege od 80 m i 40 m postavi još jedna kosa polutalasna antena za opseg od 20 m, srednji stub ove antene može se potpuno iskoristiti i istovremeno dodatno zategnuti. Druga antena se, samo iz mehaničkih razloga, postavlja pod uglom od 90°; obe antene mogu se postaviti tako da međusobno obrazuju oštar ugao. Dužina kraka dipola za opseg od 20 m iznosi 5,04 m; po potrebi mogu se postaviti i dipoli za opsege od 15 m i 10 m. Međutim, srednji stub može nositi i vertikalnu antenu, što je, svakako, povoljnije rešenje za visokofrekventne amaterske opsege.

10.3.4. Žičana piramida

U godinama kada je aktivnost Sunčevih pega minimalna, oživljava opseg od 80 m, jer se opsezi od 10 m i od 15 m ne mogu koristiti ili se retko koriste. Stručnjaku za DX veze ponekad se, baš u vreme minimalne aktivnosti Sunčevih pega, pružaju dobre mogućnosti ostvarivanja DX veza opsegu od 80 m. Da bi ih mogao iskoristiti, neophodna je dobra antena.

Dobroj anteni za opseg od 80 m potrebno je, na žalost, mnogo mesta i visoke tačke vešanja. Minimalan zahtev je da to bude polutalasna antena, čija je dužina najmanje 40 m i koja se mora postaviti u slobodnom prostoru na visinu od najmanje 20 m iznad zemlje. Čak i tada ne može se uvek očekivati pogodno zračenje, jer na antenu mogu uticati prepreke iz njene okoline (naročito horizontalno postavljeni žičani vodovi, oluci, metalne konstrukcije itd.). Javljaju se apsorpcije i refleksije, koje se ne mogu kontrolisati. Zbog toga je električna visina antene često mnogo smanjena u odnosu na njenu geometrijsku visinu. Otpornost na priključku takvog polutalasnog dipola, ni u kom slučaju nije jednaka teorijskoj vrednosti od 60 do 70 Ω, već je znatno manja. Antena za opseg od 80 m, sa dobrim karakteristikama zračenja, dosta retko se nalazi kod radio-amatera.



Sl. 10.30. Skica žičane piramide

Amateri se često svesno zadovoljavaju skraćenim pomoćnim antenama i trude se da gubitke usled zračenja nadoknade povećanjem snage.

Žičana piramida je do sada manje poznat oblik antene (sl. 10.30). Za njenu izgradnju dovoljna je površina od oko 14 m · 14 m i samo jedan stub visine oko 13 m. Uprkos tome, to je kvalitetna antena sa dobrim karakteristikama zračenja. Naročito je pogodna za rad u opsegu od 80 m.

Ukupna dužina žice piramide iznosi 1 λ. Antenske žice deluju istovremeno kao mehaničko učvršćenje središnjeg stuba. Način postavljanja antenskog provodnika i njegove tačke napajanja prikazane su posebno na sl. 10.31. Na slici se može uočiti da antenski provodnik gradi dva jednostranična trougla čija je dužina stranice $\lambda/6$. Način napajanja prouzrokuje takav tok struja da su one u fazi u 4 kosa dela antene (vidi strelice na sl. 10.31). U oba horizontalna dela antene koji su najbliži zemlji struje teku u protivfazi, pri čemu se na njihovoj sredini (tačke A i B) javlja maksimum napona. Zaključak je da horizontalne žice veoma malo učestvuju u zračenju.



Sl. 10.31. Šema provodnika sa smerom struje za žičanu piramidu

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Dijagram zračenja je takav da se u smeru A – B nalazi maksimalno zračenje, dok je minimum zračenja u smeru pod pravim uglom na smer A – B. Međutim, maksimumi i minimumi nisu jako izraženi, pa se može reći da antena zrači dobro u svim smerovima. Na dijagram zračenja i na otpornost na priključku antene utiče ugao savijanja žica, visina postavljanja antene i provodljivost tla. Otpornost u tački napajanja je između 60 i 100 Ω, pa je moguće direktno napajanje koaksijalnim kablom proizvoljne dužine.

Stepen korisnog dejstva antene raste sa povećanjem visine na koju se ona postavlja. Najmanje što se može zahtevati je da visina srednjeg stuba bude 13 m, a uzdignutost horizontalnih delova žice 3 m iznad tla. Piramida ima prilično oštru rezonancu (uskopojasnost). Budući da se antena pobuđuje prilagođenim napojnim vodom, ne postoji mogućnost da se dovede u rezonancu pomoću elementa za spregu antene. Ako na krajevima opsega snaga previše opadne, može se, prema potrebi, relativno jednostavno promeniti rezonanca i tako povećati snaga zračenja. U tom slučaju, rezonanca antene odredi se bliže VF kraju opsega (npr. 3750 kHz), a zatim se ta rezonantna frekvencija, prema potrebi, smanji prikopčavanjem komada žice u tačke A i B (srednje tačke horizontalnih delova antene). Kao iskustveno pravilo važi sledeće: produženje od 45 cm smanjuje rezonantnu frekvenciju za 50 kHz. U opštem slučaju, dovoljno je da se antena dimenzioniše za rezonantnu frekvenciju od 3700 kHz.

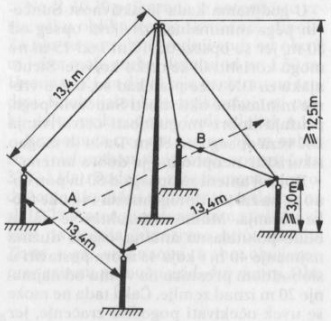
Tada se veza telefonijom može dobro održavati u području od 3600 do 3800 kHz. Za rad telegrafijom antena se ponovo podešava na frekvenciju od 3550 kHz. Radi toga, u tačke A i B priključi se komad žice dužine 135 cm pomoću »krokodil«–štipaljke. Ako je nekome stalo do lepog izgleda i stabilnih odnosa, može postaviti fiksan vod između središnjeg stuba i tačke A, odnosno B; vod je isprekidan izolatorima na svakih 45, odnosno 90 cm. Premoštavanjem izolatora rezonanca se može menjati u intervalima od 50 kHz, odnosno 100 kHz.

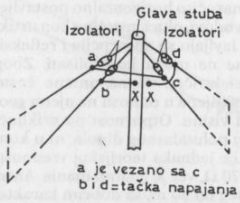
Pristalice automatizacije mogu ostvariti prekopčavanje pomoću releja iz prostorije u kojoj se nalazi radio-stanica. Budući da u tačkama A i B postoji maksimum napona, moraju se upotrebiti veoma kvalitetni izolatori. Rezonantna frekvencija meri se pomoću grid-dip metra i to preko zavojnice za spregu na napojnom kablu kod predajnika. Dimenzije date na sl. 10.32 izračunate su za rezonancu od 3700 kHz.

Radi poboljšanja stabilnosti treba podupreti 4 spoljašnja stuba u smeru zatezanja. Preporučuje se da dužina koaksijalnog kabla bude $\lambda/2$. Ako se radi o kablu od 60 Ω sa faktorom skraćenja od 0,66, geometrijska dužina kabla iznosi 26,75 m.

Simetriranje nije neophodno. Postavljeni središnji stub može se koristiti još i za druge antenske sisteme.

Treba istaći da je prednost žičane piramide i u tome što je sprega kosih žica antene sa susednim horizontalnim mrežama ili telekomunikacijskim vazdušnim



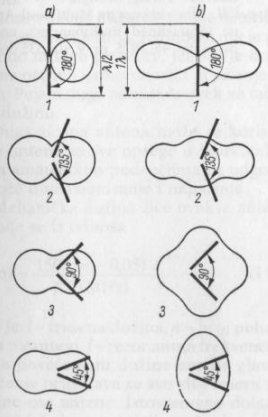


Sl. 10.32. Konstrukcija i dimenzije žičane piramide (rezonantna frekvencija 3700 kHz)

vodovima znatno manja nego kod horizontalnih antena. Na taj način znatno se smanjuje uticaj okoline na antenu.

10.4. Ugaoni dipoli sa kružnim zračenjem

U mnogim slučajevima veoma su poželjne antene sa horizontalnom kružnom karakteristikom, kao npr., u opsegu od 80 m i kod radio-stanica namenjenih radiodifuziji. Vertikalno postavljeni dipoli imaju kružni dijagram zračenja u horizontalnoj ravni. Na žalost, vertikalni dipoli se praktično ne mogu realizovati za »dugotalasne« amaterske opsege, jer bi antena za opseg od 80 m morala biti visoka najmanje 40 m. Čak i četvrttalasna antena iznad zemlje, kao što je *graundplejn* ili *Markonijeva* antena, morala bi biti visoka najmanje 20 m.



Sl. 10.33. Horizontalni dijagrami vodoravnih ugaonih dipola: a - polutalasni dipoli: 1 – pruženi $\lambda/2$ dipol, 2 – $\lambda/2$ dipol pod uglom od 135°, 3 – $\lambda/2$ dipol pod uglom od 90°, 4 – $\lambda/2$ dipol pod uglom od 45°; b – jednotalasni dipoli: 1 – pruženi 1 λ dipol, 2 – 1 λ dipol pod uglom od 135°, 3 – 1 λ dipol pod uglom od 90°, 4 – 1 λ dipol pod uglom, od 45°

Manje truda je potrebno da se postavi horizontalna žičana antena, koja u određenom obliku ima približnu kružnu karakteristiku zračenja u ravni *E*. Kao što se vidi na sl. 10.33, menja se dijagram zračenja horizontalnih dipola, ako se oni postave pod određenim uglom u horizontalnoj ravni. Minimumi zračenja pruženog dipola, koji su na dijagramu dati u obliku osmice (sl. 10.33a1 i b1), nestaju ako se dipol postavi pod nekim uglom čime se dijagram zračenja više ili manje približava kružnom zračenju (sl. 10.33a2–a4 i b2–b4). Nakon proučavanja ovih dijagrama mogu se konstruisati ugaoni dipoli koji zadovoljavaju najrazličitije želje.

Jedina mana ugaonih dipola je u tome što se ni pod jednim uglom ne javlja čisto kružni dijagram zračenja. U praksi se radio-amateri koji rade na kratkim talasima zadovoljavaju njima, jer kod ovih konstrukcija ne postoje izraziti minimumi u karakteristici zračenja.

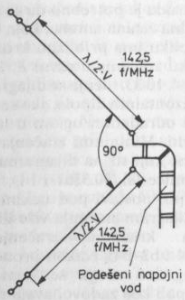
10.4.1. Jednotalasni ugaoni dipol

Jednostavna horizontalna žičana antena, čiji su krakovi postavljeni pod 90° (vidi sl. 10.33 b3), može se označiti kao jednotalasni ugaoni dipol. Ona zrači približno kružno u horizontalnoj ravni, a njena prednost je što se može koristiti kao antena za sve opsege.

Na sl. 10.34 prikazan je jednotalasni ugaoni dipol postavljen pod uglom od 90°. Amaterski krugovi nisu se do sada zainteresovali za ovu antenu, mada je ona sasvim »dobrog porekla«. Ona pripada grupi U–antena, kvadratnih antena i njihovih savremenijih varijanti, koje su uobičajene kao predajne antene u UKT i TV području.

Dužina svakog kraka je $V \cdot \lambda/2$ (V = faktor skraćenja). Podaci o izračunatim dužinama mogu se naći i u tabeli 34.5 u prilogu.

Ako se jednotalasni dipol, postavljen pod 90°, dimenzioniše za opseg od 40 m, onda je on istovremeno polutalasni dipol za 80 m. U tom slučaju važi horizontalni dijagram (sl. 10.33a3), koji nema izrazito kružno zračenje, ali ni izražene minimu-



Sl. 10.34. Jednotalasni ugaoni dipol sa kružnim zračenjem

me zračenja kao kod ispruženog dipola. Ova antena može se istovremeno koristiti i za DX opsege od 20,15 i 10 m. U ovim opsezima antena postaje V–antena sa izraženim usmerenim dejstvom. Pri tom je glavno zračenje na obe strane, u smeru simetrale ugla.

Rad na svim opsezima zahteva pobudu podešenim napojnim vodom. Kada se radi samo na jednom opsegu, može se izvršiti prilagođenje na proizvoljan nepodešeni napojni vod pomoću zatvorenog četvrttalasnog prilagođenja.

Treba još napomenuti i horizontalne dipole sa kružnim zračenjem (ukršteni dipoli, antene u vidu lista deteline itd.), koji su zbog dimenzija nepogodni u kratkotalasnom području. Oni su opisani u poglavlju o UKT antenama.

LITERATURA ZA POGLAVLJE 10

1 *Spillner, F.:* Die FD4–Windom–Antenne, QRV, 25. dec. 1971, str. 13 do 20, W. Koerner Verlag, Stuttgart

2 *Appel, H.:* Eine verkuerzte Multiband–Antenne (Squashned multibander), cq–DL, Baunatal, 46, 1975, pr. 9, str. 535 do 538.

11. Dugačke žičane antene

U amaterskim vezama na kratkim talasima često se kao predajna antena koristi *dugačka žičana antena*. Izrazom *dugačka žičana antena* naglašava se da je antena duža od jedne talasne dužine. To znači da se antena pobuđuje na njenoj harmoničnoj rezonanci (višim harmonicima). Naziv dugačke žičane antene zavisi od vrste napajanja i ostalih konstruktivnih karakteristika, pa se može zvati i *Fuksova* antena (Fuchs), V–antena, romb–antena itd. Sve dugačke žičane antene podležu istim opštim zakonitostima koja ćemo prvo obraditi.

Konstrukcija dugačke žičane antene je jednostavna i jeftina. Jedino, za nju je potrebno mnogo prostora, jer što je duža, njena oštrina usmerenosti i pojačanje su veći. Pojam duga odnosi se uvek na talasnu dužinu.

Duga žičana antena može se koristiti kao antena za sve opsege u kratkotalasnim amaterskim područjima uz odgovarajuće dmenzionisanje i napajanje.

Mehanička dužina žice ovakve antene dobije se iz odnosa

$$l\,(\mathrm{m}) = \frac{150 \cdot (n - 0{,}05)}{f\ (\mathrm{MHz})} \qquad (11.1)$$

gde je: l = tražena dužina, n = broj polutalasa na anteni, f = rezonantna frekvencija.

Sa povećanjem dužine antene glavno zračenje približava se sve više smeru uzdužne ose antene. Istovremeno dolazi i do sve jače koncentracije zračenja u glavnim smerovima, pri čemu se sa povećanjem dužine povećava broj sporednih snopova dijagrama zračenja. Na sl. 11.1 prikazani su takvi *E*–dijagrami za žičane antene različitih dužina.

Odmah se uočava da se bočni snopovi u dijagramu zračenja javljaju istovremeno sa povećanjem dužine antene. Stvaranje bočnih snopova u dijagramu zračenja nije izrazita mana, jer žičana antena na taj način dobija manje ili više dobru kružnu karakteristiku, pa se u smeru bočnih snopova postižu skoro isti rezultati kao sa polutalasnom antenom. U glavnim smerovima zračenja postiže se još i značajno pojačanje, koje raste sa povećanjem dužine antene. Osim toga, žičana antena se odlikuje i zračenjem površinskog talasa (mali elevacioni ugao u ravni *H*), koji je veoma poželjan za premošćavanje velikih udaljenosti.

Na sl. 11.2 prikazano je koje se teoretsko pojačanje antene u dB može očekivati kod različitih dužina antene (kriva I) i pod kojim se uglom, u odnosu na uzdužnu osu antene, javljaju glavni snopovi maksimalnog zračenja (kriva III). Kriva II predstavlja promenu otpora zračenja žičane antene u zavisnosti od dužine antene.

Primer

Treba da se izgradi žičana antena za rad u amaterskom opsegu od 20 m. Lokalni uslovi omogućavaju da se u smeru istok–zapad primeni žičana antena dužine do 85 m.

Treba odrediti:

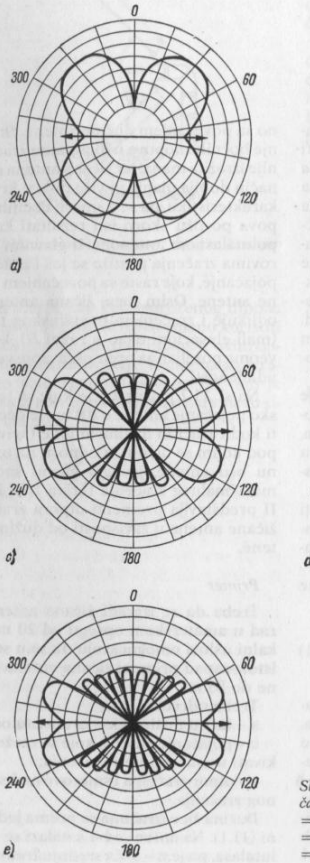
a – tačnu dužinu žice za antenu od 4 λ;

b – pojačanje antene, koje se može očekivati u maksimumu zračenja;

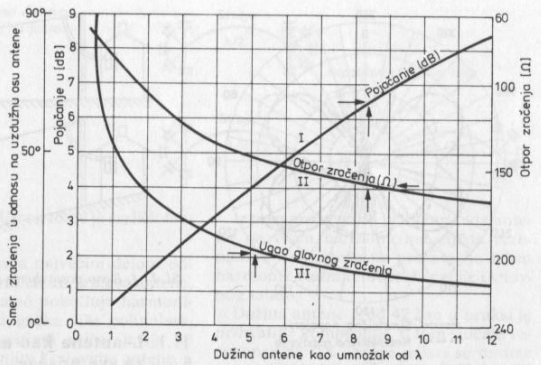
c – otpor zračenja i smerove maksimalnog zračenja.

Dužina žice izračuna se prema jednačini (11.1). Na anteni od 4 λ nalazi se 8 polutalasa, pa je n = 8. Za srednju frekvenciju opsega od 20 m uvrstiće se 14,1 MHz:

$$l\,(\mathrm{m}) = \frac{150 \cdot (8 - 0{,}05)}{14{,}1\ (\mathrm{MHz})} \approx 84{,}57\ \mathrm{m}$$



Sl. 11.1. Horizontalni dijagrami vodoravnih žičanih antena različite dužine: a – dužina antene = 1λ, b – dužina antene = 2 λ, c – dužina antene = 3 λ, d – dužina antene = 4 λ, e – dužina antne = 5 λ



Sl. 11.2. Pojačanje, otpornost zračenja i ugao glavnog zračenja žičane antene u zavisnosti od električne dužine antene
– Kriva I: teoretsko pojačanje snage u zavisnosti od dužine žice merene u umnošcima talasne dužine
– Kriva II: otpornost zračenja u trbuhu struje u zavisnosti od dužine žice merene u umnošcima talasne dužine
– Kriva III: ugao glavnog zračenja, u odnosu na uzdužnu osu antene, u zavisnosti od dužine žice izražene u umnošcima talasne dužine

Dužina žice iznosi 84,57 m. Iz dijagrama na sl. 11.2 vidi se da se za dužinu antene od 4 λ može očekivati pojačanje od oko 3 dB u glavnim smerovima zračenja (presek sa krivom I).

Otpornost zračenja odredi se iz krive II i ona iznosi 130 Ω, a to je istovremeno i otpornost u tački napajanja ako se ono vrši u *trbuhu struje*.

Iz krive III odredi se da glavni ugao zračenja, u odnosu na uzdužnu osu antene ima vrednost od 26°. Ako je antena razapeta u smeru istok–zapad, što iznosi 270°, na osnovu sl. 11.1d, glavni smerovi zračenja su:

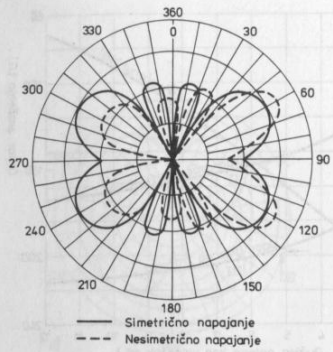
270° + 26° = 296°,
270° – 26° = 244°,
90° + 26° = 116°,
90° – 26° = 64°.

Na osnovu ovih podataka, sa geografske karte sveta su neizobličenom ugaonom mrežom, mogu se odrediti predeli Zemlje sa kojima će ova antena ostvarivati najbolje veze. (Izobličena ugaona mreža je u Merkatorovoj projekciji).

Dijagrami usmerenog zračenja koji su predstavljeni na sl. 11.1 idealizovani su, pa podležu manjim ili većim promenama. Uočljive promene dijagrama zračenja javljaju se uvek kada se antena napaja na jednom svom kraju, dakle, nesimetrično. Kao primer, na sl. 11.3 prikazan je horizontalni dijagram zračenja žičane antene dužine 2 λ sa simetričnim i sa nesimetričnim napajanjem.

Može se uočiti da je kod nesimetričnog napajanja na kraju (dijagram ucrtan isprekidanom linijom) i karakteristika zračenja nesimetrična. Maksimumi zračenja pomeraju se prema otvorenom kraju žice, dok snopovi dijagrama zračenja, okrenuti prema tački napajanja, istovremeno pokazju smanjenje glavnog zračenja. Ove pojave javljaju se kod svih antena sa nesimetričnim napajanjem. To znači da žičana antena sa napajanjem na kraju maksimalno zrači u smeru svog slobodnog kraja.

Još jedna promena karakteristike usmerenosti javlja se kada je žica razapeta pod uglom prema zemlji ili kada je ante-

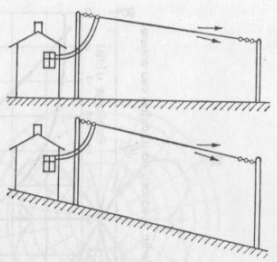


Sl. 11.3. Horizontalni dijagram zračenja antene od 2 λ sa simetričnim i nesimetričnim napajanjem

na postavljena na strmom zemljištu. To utiče na vertikalni elevacioni ugao zračenja u ravni *H* (sl. 11.4).

Kada je slobodni kraj antena zakošen nadole ili kada je zemljište strmo i spušta se u istom smeru (sl. 11.4), mogu se postići izuzetno dobri rezultati kod DX veza u kratkotalasnim amaterskim opsezima, i to u smeru glavnog zračenja označenom strelicama.

Vertikalni elevacioni ugao glavnog zračenja antene naročito je značajan za premošćavanje velikih udaljenosti. Od njega zavisi daljina skoka kod jonosferske refleksije. Već je napomenuto da je za DX veze naročito povoljno ako je zračenje »plitko«, dakle, ako je vertikalni ugao elevacije mali u dijagramu *H*. Žičane antene zrače »plitko«, naročito ako je visina njihovog postavljanja velika. Visina 2 λ iznad zemlje daje najmanji vertikalni elevacioni ugao zračenja od 10°. Ako je žičana antena postavljena na visinu od samo 0,5 λ iznad zemlje, onda se mora računati sa oko 35°. Ako se antena postavlja na manje visine, njenim zakošenjem može se postići smanjenje vertikalnog elevacionog ugla zračenja, kao što je napred navedeno, a time i bolji rezultat pri uspostavljanju DX veza na kratkotalasnim amaterskim opsezima.



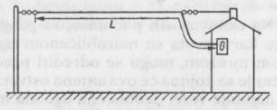
Sl. 11.4. Koso postavljena antena i antena na strmom zemljištu

11.1. L–antena kao antena za sve opsege

L–antena može se nazvati najprimitivnijim oblikom kratkotalasne antene. Po spoljašnjem izgledu ne razlikuje se od uobičajenih srednjetalasnih radio-antena (sl. 11.5).

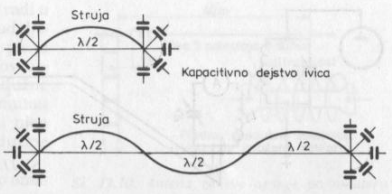
Ukupna dužina žice *L* do antenske utičnice priključenog uređaja treba da iznosi najmanje λ/2 puta faktor skraćenja. L–antena je antena za sve opsege ukoliko je dimenzionisana kao polutalasna antena za opseg od 80 m. Ona tada radi u opsegu od 40 m kao jednotalasna antena, u opsegu od 20 m kao antena dužine 2 λ, u opsegu od 15 m kao antena dužine 3 λ i u opsegu od 10 m kao antena dužine 4 λ.

Ovo računanje nije potpuno tačno. Ako se prema jednačini (11.1) izračuna mehanička dužina polutalasne antene za f_{rez} = 3500 kHz, ona iznosi 40,71 m. Po istom obrascu izračunaće se da dužina žice jednotalasne antene za frekvenciju od 7,0 MHz (što je harmonik 3,5 MHz) iznosi od 41,78 m. To znači da je prvobitno izračunata antena kraća za 1 m. Ove razlike se ne javljaju samo kod L–antene, već kod svih antena koje rade na harmonicima frekven-



Sl. 11.5. L-antena

Sl. 11.6. Kapacitivno dejstvo ivica i njegov uticaj na faktor skraćenja antene



cije predajnika. Uzrok tome je različit faktor skraćenja.

Faktor skraćenja najvećim delom određuju kapacitivni efekti krajeva antene. Kod antene koja se pobuđuje harmonikom i koja je dugačka više polutalasa, skraćujući kapacitivni uticaj javlja se samo na spoljašnjim krajevima antene, a ne utiče na polutalasne delove unutar antene (sl. 11.6). Kapacitivno dejstvo ivice mora se kompenzovati skraćivanjem antene, jer taj uticaj deluje na njeno produženje. Iz sl. 11.6 proizlazi da antena čija dužina iznosi više polutalasa može da bude izložena kapacitivnom dejstvu ivica samo na njenim krajevima. Zbog toga je faktor skraćenja dugotalasne antene manji od faktora skraćenja polutalasne antene.

Sledeće izlaganje objasniće da je polutalasna antena, koja je pravilno dimenzionisana za 3500 kHz, prekratka ako radi na harmonicima ove osnovne frekvencije.

Rezonantna frekvencija	Dužina antene
3500kHz = 0,5 λ	40,71 m
7000 kHz = 1,0 λ	41,78 m
14000 kHz = 2,0 λ	42,32 m
21000kHz = 3,0 λ	42,50 m
28000 kHz = 4,0 λ	42,60 m

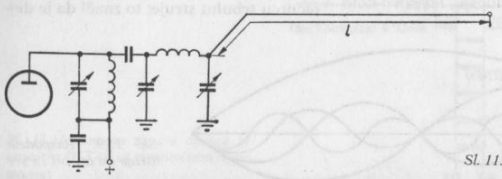
Iz toga proizlazi da prilikom rada antene na višim harmonicima, njena rezonantna frekvencija ne predstavlja tačan harmonik rezonantne frekvencije osnovnog talasa.

Dužina antene L od 42,2 m u praksi je prihvatljiv kompromis. U tom slučaju rezonanca za DX opsege nalazi se unutar opsega (14040, 21140 i 28230 kHz), a dužina antene je veća za opsege od 40 m i 80 m.

Postoji velika opasnost da L–antena prouzrokuje radio-smetnje, jer ona zrači celom dužinom (nema napojnog voda). Zbog toga nije preporučljivo da se ona koristi u gusto naseljenim oblastima. Međutim, nema prepreke da se ona koristi kao prijemna antena za kratkotalasne prijemnike.

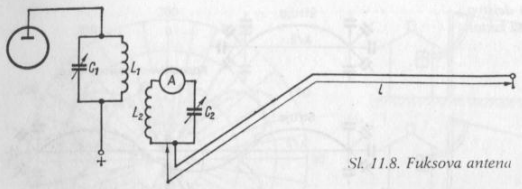
Ako se L–antena uvek priključuje na izlazni stepen predajnika preko nesimetričnog *Kolinsovog* filtra (sl. 11.7), potisnuće se zračenje na višim harmonicima i istovremeno uspostaviti podešenost rezonance za sve amaterske opsege. Dimenzionisanje takvog filtra propusnika NF opisano je u podtački 8.1.1.1.

L–antena sa Kolinsovim filtrom omiljena je radi toga što se može univerzalno koristiti. Njom se mogu postići dobri rezultati ako je najmanje 80% njene ukupne dužine postavljeno na što veću visinu.



Sl. 11.7. Sprega L-antene preko Kolinsovog filtra

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 11.8. Fuksova antena

11.2. *Fuksova* antena

Dok je radio-amaterstvo bilo u začetku, austrijski radio-amater Fuks popularisao je antenu koja je po njemu dobila ime. Ona je dugo bila jedna od najomiljenijih KT predajnih antena, ali sada više nije značajna. Ona predstavlja normalnu L–antenu, koja je karakteristična samo po naročitoj vrsti sprege sa izlaznim kolom predajnika.

Kao što je prikazano na sl. 11.8, *Fuksova* antena radi sa međukolom, koje je induktivno spregnuto sa »hladnim krajem« zavojnice anodnog kola. Poželjno je da međukolo ima veliki odnos L/C (veliki faktor dobrote), a podaci o njemu dati su u tabeli 10.2. U ovom kolu javljaju se velike struje i pri malim snagama predajnika. Da bi gubici bili što manji, zavojnica treba da bude od što je moguće deblje žice ili cevi. Ampermetar A je instrument sa grejnom niti ili neki drugi merni instrument pogodan za VF struje. U slučaju nužde, za pokazivanje struje može se upotrebiti i mala tinjalica sa odgovarajućim šantom.

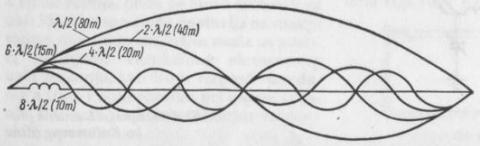
Rezonantna frekvencija međukola L_2 C_2 odgovara željenoj radnoj frekvenciji, a dužina antene l izračunava se prema jednačini (11.1). Iz toga sledi da i *Fuksova* antena može raditi na harmonicima i da se zbog toga može koristiti kao antena za više opsega. U tom slučaju, *Fuksovo* kolo se mora svaki put prekopčati na odgovarajuću radnu frekvenciju.

Antene sa direktnim napajanjem (L–antena i *Fuksova* antena) zrače po celoj svojoj dužini. Dovod koji zrači uzrokuje gubitke usled apsorpcije, koje izazivaju njemu bliski vazdušni vodovi, delovi zgrada, metalne konstrukcije itd. Pored gubitaka usled zračenja, dovodni vod u susednim TV i radio prijemnicima izaziva veće ili manje »divlje« visokofrekventne smetnje.

11.3. Antena za sve opsege po amateru *DL7AB*

Amater *DL7AB* predložio je relativno jednostavan način za izradu žičane antene koja bi bila rezonantna za sve opsege. Njegova osnovna ideja je da se uključivanjem zavojnice u antenu može povećati električna dužina antene. Efekat produžavanja je najveći kada se zavojnica nalazi u trbuhu struje, a opada približavanjem zavojnice čvoru struje. Na sl. 11.9 prikazana je raspodela maksimuma struje na polutalasnoj anteni za opseg od 80 m koja se koristi kao antena za sve opsege.

Ako se na odstojanju 2,5 m od kraja antene priključi produžna zavojnica, ona će se u toku rada na opsegu od 10 m nalaziti tačno u trbuhu struje; to znači da je dejstvo produžavanja najjače. Kada se radi u opsegu od 15 m, zavojnica je malo udaljena od mesta maksimuma struje, pa je njen uticaj nešto oslabljen. Sa povećanjem talasne dužine, položaj produžne zavojnice primiče se sve više minimumu struje; istovremeno, smanjuje se i njen uticaj na produženje električne dužine antene.

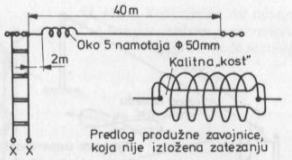


Sl. 11.9. Raspodela struje na anteni za sve opsege

Ako se za antenu za sve opsege po amateru *DL7AB* usvoji dužina od 40 m, onda je njena dužina prekratka za polutalasnu antenu opsega od 80 m. Mada se zavojnica za produženje nalazi skoro u strujnom čvoru, njen uticaj je ipak dovoljan da antenu dovode u rezonancu u opsegu od 80 m. Za rad u opsegu od 40 m antena je kraća za oko 1,7 m, ali produžna zavojnica se nalazi nešto bliže trbuhu struje, pa izjednačava skraćenje. U opsegu od 20 m nedostaje dužina od 2,3 m, a u opsegu od 15 m antena je kraća za 2,5 m i u opsegu od 10 m nedostaje već 2,6 m. Međutim, sa povećanjem frekvencije zavojnica za produženje sve se više približava trbuhu struje i svaki put dovodi antenu u rezonancu. Različitim dejstvom zavojnice na električno produženje postiže se da antena ima pravilnu električnu dužinu u svim amaterskim opsezima.

Ne mogu se dati tačni podaci o položaju i veličini produžne zavojnice, jer svaka antena podleže različitim uticajima zemlje, visine postavljanja, okoline i načina napajanja. Kao dobre orijentacione vrednosti mogu poslužiti podaci dati na sl. 11.10.

Jasno je da se i kod bilo koje druge dugačke žičane antene može iskoristiti metoda amatera *DL7AB* radi obezbeđenja rezonance na svim opsezima. Na sl. 11.11



Sl. 11.10. Antena za sve opsege po amateru DL7AB sa cepelin napajanjem

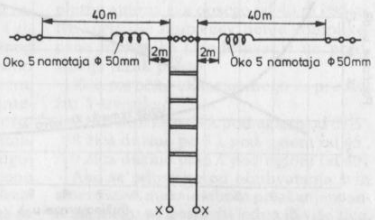
prikazana je antena za sve opsege sa simetričnim napajanjem; ona već u opsegu od 80 m radi kao jednotalasni dipol.

Prednost metode amatera *DL7AB* sastoji se u tome što se u toku rada na više opsega ne javljaju reaktivne komponente u napojnoj tački antene. Zbog toga bi se mogli koristiti prilagođeni napojni vodovi, uprkos radu na više opsega. Međutim, kako se antena *DL7AB* uvek napaja u trbuhu napona (visokoomski), skoro uvek se mora vršiti prilagođenje otpornosti na napojnom vodu. U budućnosti se može očekivati interesantan razvoj *Vindomove* antene za više opsega sa produžnom zavojnicom prema metodi amatera *DL7AB*.

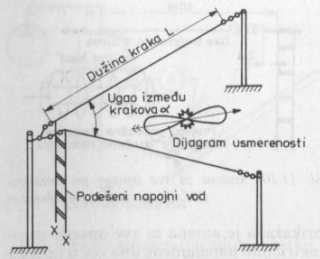
Iako antena amatera *DL7AB* nije do sada naročito značajna kao amaterska antena; po njenoj ideji su koncipirani savremeni tipovi obrtnih usmerenih antena za više opsega.

11.4. V–antena

Ako se dve horizontalne dugačke žičane antene postave u oblik V, može se postići veća oštrina i bolje pojačanje antene. Tada nastaje usmerena antena, koja delu-



Sl. 11.11. Antena za sve opsege po amateru DL7AB sa simetričnim napajanjem



Sl. 11.12. Skica usmerene V-antene

je u dva pravca i čije je pojačanje za 3 dB veće od pojačanja jedne žice iste dužine, pod pretpostavkom da je ugao α optimalno odabran (sl. 11.12).

Pojačanje antene u glavnom smeru zračenja i njena usmerenost rastu sa povećanjem dužine kraka L. Glavno zračenje je u smeru simetrale ugla pod kojim su postavljene žice antene. Optimalna vrednost ugla α zavisi od dužine kraka L; ona se smanjuje sa porastom dužine kraka.

Na sl. 11.13 može se očitati pojačanje antene u dB; koje se može postići (kao i optimalni ugao) u zavisnosti od dužine kraka L izražene u λ. Zbog malog vertikalnog elevacionog ugla zračenja u dijagramu H, V–antena je naročito pogodna za održavanje DX veza u visokofrekventnim amaterskim opsezima.

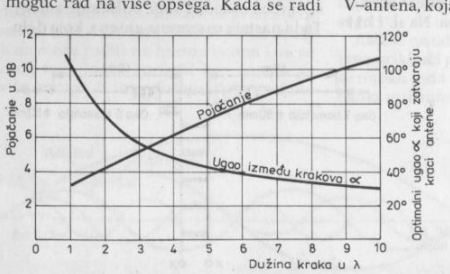
V–antena se napaja u trbuhu struje, pa je njena impedanca u tački napajanja visokoomska. Najčešće se napaja podešenim napojnim vodom, jer je u tom slučaju moguć rad na više opsega. Kada se radi samo na jednom opsegu, povoljnije je da se nepodešen napojni vod prilagodi na antenu pomoću zatvorenog četvrttalasnog voda. Kod velike dužine krakova L, otpornost u tački napajanja je reda veličine 600 Ω, pa se V–antena može direktno napajati prilagođenim vodom od 600 Ω.

Dužina kraka L usmerene V–antene nije mnogo kritična i može se izračunati pomoću jednačine (11.1). Zbog toga ova antena radi u relativno širokom frekventnom opsegu. Nasuprot tome, postavljanje krakova antene pod optimalnim uglom α, veoma je kritično naročito kod većih dužina kraka, jer on utiče na to da se fazno podudare glavni snopovi dijagrama zračenja koji potiču od obe grane antene.

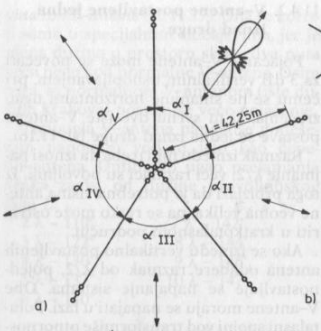
Za opseg od 15 m optimalne dimenzije V–antene su α = 47°, dužina kraka L po 63,05 m (L = 4,5 λ, pojačanje 6,5 dB). Istovremeno, sa ovom antenom radi se i u opsegu od 10 m (L = 6 λ), sa približno istim pojačanjem, i u opsegu od 20 m (L = 3 λ), sa smanjenim pojačanjem od 5 dB. Ugao između krakova antene nije optimalan za opsege od 20 m i 10 m, pa se zbog toga u njima ne postiže maksimalno pojačanje u odnosu na dužinu krakova. U opsezima od 40 m i 80 m dobija se sasvim malo pojačanje. Povećanje vertikalnog elevacionog ugla glavnog zračenja, usled premalog ugla između krakova, nije nedostatak ovih frekvencija.

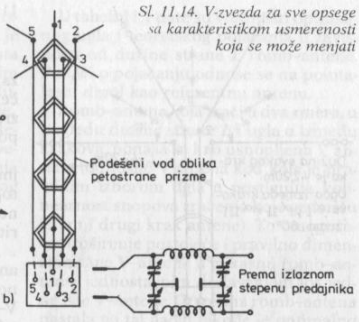
11.4.1. V–zvezda

Kada ima mnogo prostora, može se izgraditi veoma efikasna kombinacija V–antena, koja ne samo da se može koris-



Sl. 11.13. Približno pojačanje i optimalni ugao za usmerenu V-antenu u zavisnosti od dužine kraka izražene u umnošcima radne talasne dužine λ





Sl. 11.14. V-zvezda za sve opsege sa karakteristikom usmerenosti koja se može menjati

Dužina svakog kraka L po 42,25m, svaki ugao između krakova α_I do α_V po 72°

titi u svim amaterskim opsezima, već poseduje veliko pojačanje u svim smerovima (sl. 11.14).

Od srednjeg stuba visine najmanje 10 m radijalno polazi 5 žica (svaka dužine 42,25 m) prema 5 spoljašnjih stubova, pri čemu žice međusobno zaklapaju ugao od 72° (sl. 11.14a). Spoljašnji stubovi mogu biti niži, jer se tada dobija plići vertikalni elevacioni ugao glavnog zračenja. Ovaj efekt javlja se samo u smeru prema V–otvoru, dok je u suprotnom smeru elevacioni ugao istovremeno postao veći.

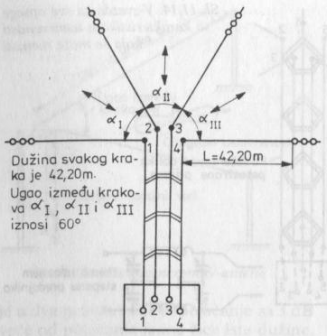
Podešen vod za napajanje u obliku ivica omotača pravilne petostrane prizme, vodi se od srednjeg stuba do prostorije u kojoj se nalazi stanica. Ivice omotača pravilne petostrane prizme sačinjava 5 pojedinačnih provodnika, na međusobnom rastojanju 10 do 15 cm (sl. 11.14b). Po dva susedna provodnika čine podešeni napojni vod V–antene koja je priključena na njegovom gornjem kraju. Odabiranje željene V–antene vrši se jednostavno i sigurno: svaki od 5 provodnika napojnog voda pojedinačno je povezan na jedno gnezdo (»buksnu«) petopolne priključne pločice. Izlaz sklopa za prilagođenje antene vezan je za dva kratka savitljiva provodnika završena »banana« utikačima. Uticanjem ovih »banana« utikača u odgovarajuća gnezda izvršen je i izbor željene V–antene. U prikazanom slučaju V–zvezda se sastoji od 5 V–antena. Zbog toga se može, po izboru, uključiti 5 pojedinačnih V–antena, koje su ravnomerno raspoređene po smerovima ruže kompasa. Kako svaka V–antena ima dvosmeran snop zračenja, time je ostvareno 10 glavnih smerova zračenja. Od svakog pojedinačnog glavnog snopa zračenja može se očekivati horizontalna širina zračenja od 36°. Prema tome prikazana V–zvezda omogućava usmereno zračenje, koje se može pomerati kružno (360°) i čiji se smer može proizvoljno birati. Međusobno spajanje pojedinih V krakova može se slobodno birati, pa se mogu eksperimentalno dobiti kombinacije antena, naročito za rad u opsezima od 40 m i 80 m, koje daju ili približno kružno zračenje ili posebno usmereno dejstvo. Pri tome treba podsetiti da je u odeljku 10.4 objašnjeno pod kojim se uslovima može očekivati karakteristika kružnog zračenja.

Prednost V–zvezde u odnosu na obrtnu usmerenu antenu izrađenu od cevi od lakog metala je u tome što je ona kompletna antena i za opsege od 40 m i 80 m. Ne koristi se skupa cev, nema komplikovane mehanike i podešavanje ne predstavlja težak posao.

Kao naročito efikasne mogu se predložiti V–zvezde:

7 žica dužine po 4 λ pod uglom od 51,5°,
8 žica dužine po 5 λ pod uglom od 45°,
9 žica dužine po 6 λ pod uglom od 40°.

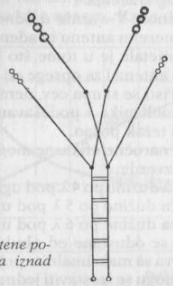
Ako se odustane od obuhvatanja svih smerova sa maksimalnim pojačanjem antene, mogu se izostaviti jedna ili više žica.



Sl. 11.15. Pojednostavljena V-zvezda

Na sl. 11.15 prikazana je antena za opseg od 15 m koja se sastoji od 4 kraka dužine po 3 λ, a kod koje su kraci postavljeni pod međusobnim uglom od 60°.

Veoma je pogodno da se dužina krakova i ugao između krakova V-zvezde za sve opsege dimenzionišu za opseg od 15 m. Budući da se za rad u svim opsezima koristi podešeni napojni vod pomoću antenske sprege sa predajnikom, uvek se mogu korigovati nepreciznosti dimenzionisanja antene i napojnog voda. Dužine žica antene izračunavaju se po jednačini (11.1), koja je data za dimenzionisanje žičanih antena. Jednostavnije je očitati odgovarajuće vrednosti iz tabele u prilogu.



Sl. 11.16. V-antene postavljene jedna iznad druge

11.4.2. V–antene postavljene jedna iznad druge

Pojačanje V–antene može se povećati za 3 dB vertikalnim usnopljavanjem, pri čemu se ne smanjuje horizontalni ugao zračenja. U tu svrhu dve iste V–antene postave se jedna iznad druge (sl. 11.16).

Razmak između njih treba da iznosi najmanje λ/2; veći razmaci su povoljniji. Iz toga proizlazi da je potrebna visina antene veoma velika, pa se retko može ostvariti u kratkotalasnom području.

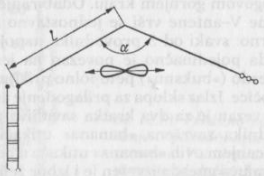
Ako se između vertikalno postavljenih antena odabere razmak od λ/2, pojednostavljuje se napajanje sistema. Obe V–antene moraju se napajati u fazi. Polutalasni spojni vod transformiše otpornosti u odnosu 1 : 1, ali on obrće fazu dovedenog napona za 180°. Da bi se obe antene napajale u fazi, moraju se ukrstiti žice ovog spojnog voda (sl. 11.16).

U komercijalnim antenskim postrojenjima koriste se još i dve horizontalne V–antene – jedna pored druge – tako da nastaje oblik W. Osim toga, iza V–antene, na rastojanju od λ/4 može se postaviti još jedna V–antena kao reflektor. Ako se obe ove antene napajaju sa faznim pomakom od 90°, zračenje je samo u jednom smeru.

Takva obimna i komplikovana antenska postrojenja nisu namenjena amaterima; ona su navedena samo radi potpunosti izlaganja.

11.4.3. Jednopolna V–antena sa krakama savijenim pod tupim uglom.

Varijanta V–antene je i jednopolna antena kod koje je krak prelomljen pod tupim uglom, zato bi se mogla nazvati *polovina romb–antene* (sl. 11.17). Ona se koristi samo u specijalnim slučajevima, jer je njena dužina u prostoru skoro dva puta veća nego kod normalne V–antene. Osim toga, sa normalnom V–antenom (iste dužine krakova) postiže se veće pojačanje.



Sl. 11.17. Jednopolna V-antena sa krakom pod tupim uglom

Tupougla V–antena napaja se podešenim napojnim vodom isto kao cepelin–antena. Optimalni ugao prelamanja kraka zavisi od dužine pravolinijskog dela *L*:

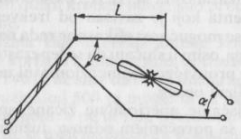
2 λ – 110°	7 λ – 142°,
3 λ – 122°,	8 λ – 144°,
4 λ – 130°,	9 λ – 146°,
5 λ – 137°,	10 λ – 147°.
6 λ – 140°,	

11.5. Otvorena romb–antena

Povezivanjem dve V–antene nastala je romb–antena, koja je najefikasnija žičana usmerena antena, a odgovara sredstvima kojim raspolažu amateri. Romb–antena ima veću širinu opsega od V–antene iste ukupne dužine.

Na sl. 11.18 prikazana je skica jednostavne *otvorene* romb–antene. Ona je otvorena na kraju krakova, nasuprot poznatijoj zatvorenoj romb–anteni, koja je u poglavlju 12 opisana kao aperiodična širokopojasna antena.

Kao što proizlazi prema sl. 11.18 otvorena romb–antena zrači u dva smera. Njeno pojačanje je veće od pojačanja odgovarajuće V–antene. Na primer, teoretsko pojačanje romb–antene čija stranica *L* ima dužinu od 3 λ je oko 8,5 dB (vidi tabelu 11.1), dok je teoretsko pojačanje V–antene sa $L = 6\ \lambda$ (prema sl. 11.13) samo 7,8 dB. U oba slučaja potrebna je ista dužina žice. Osim toga, dijagram usmerenosti romb–antene manje zavisi od frekvencije nego kod V–antene.



Sl. 11.18. Romb-antena sa zračenjem u dva smera

U tabeli 11.1 date su vrednosti optimalnog ugla i teoretskog pojačanja u zavisnosti od dužine strane *L* romb–antene. Podaci o pojačanju odnose se na polutalasni dipol kao referentnu antenu.

Romb–antena koja zrači u dva smera, u pogledu dužine strane *L* i ugla α između krakova, ponaša se kao usnopljena V antena (odnosno V antena kod koje je pravilnim izborom ugla α postignuta kolinearnost snopova zračenja koje generišu jedan i drugi krak antene). To omogućava proširenje postojeće i pravilno dimenzionisane V–antene u efikasnu romb–antenu, jednostavnim dodavanjem još jedne iste V–antene. Otvorena romb–antena nastala na taj način takođe je optimalno dimenzionisana. Pojačanje antene biće za više od 3 dB veće od pojačanja prvobitne V–antene, a povećaće se i širina opsega.

Tabela 11.1

OPTIMALNI UGAO IZMEĐU DVA KRAKA I TEORETSKO POJAČANJE OTVORENIH ROMB–ANTENA U ZAVISNOSTI OD DUŽINE STRANE *L*

Dužina strane *L* u λ	Ugao između krakova u stepenima	Teoretsko pojačanje antene u dB
1,0	105	6,5
1,5	85	7,0
2,0	73	7,5
2,5	64	8,0
3,0	58	8,5
3,5	54	9,0
4,0	50	9,5
4,5	48	10,0
5,0	45	10,5

LITERATURA UZ POGLAVLJE 11

Baez, B. DL7AB: Die DL7AB – Antenne, Funk-Technik, strana 576, Verlag fuer RADIO–Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin 1949

Baez, B., DL7AB: Die Langdrahtantenne im Amateurfunk, Funk–Technik 8, strana 216; Funk-Technik 9, strana 236, Verlag fuer Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin 1952

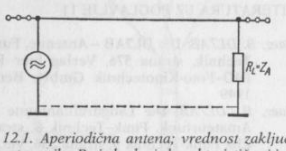
12. Aperiodične antene

Antene zaključene otpornikom nazivaju se aperiodične ili zaključene antene (sl. 12.1). Vrednost otpornosti opterećenja – ona se naziva i apsorpciona otpornost – jednaka je karakterističnoj impedanci antene Z_A i mora biti realna za radnu frekvenciju.

Na anteni zaključenoj svojom karakterističnom impedancom ne stvaraju se stojeći talasi kao u rezonantnoj, nezaključenoj anteni. Energija koja stigne do kraja antene pretvara se u toplotu u opteretnom otporniku. Zaključena antena može se teoretski posmatrati kao vod čiji je drugi provodnik zemlja. Prenosni vod je zaključen opteretnim otpornikom, koji je jednak karakterističnoj impedanci Z_A. Stvaraju se progresivni talasi za koje je karakteristično da je struja iste jačine u svim tačkama voda.

U opštem slučaju smatra se da vod zaključen svojom karakterističnom impedancom ne zrači ili zrači vrlo malo. Kod zaključene antene oba provodnika (žica antene i zemlja) toliko su udaljeni jedan od drugog da se suprotna magnetna polja ne potiru, Sistem zbog toga može da zrači, pa se upotrebljava kao predajna i prijemna antena.

Ulazna otpornost aperiodične antene uglavnom ne zavisi od frekvencije; zato je ona prava širokopojasna antena. Ovu prednost često poništava nedostatak što se u zaključnom otporniku jedan deo VF energije pretvara u beskorisnu toplotu.



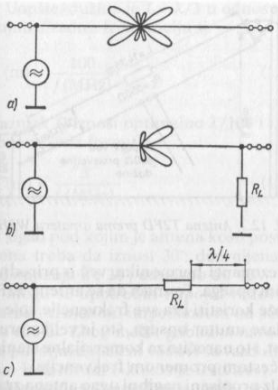
Sl. 12.1. Aperiodična antena; vrednost zaključnog otpornika R_L jednaka je karakterističnoj impedanci antene Z_A

12.1. Zaključene dugačke žičane antene (antene progresivnih talasa)

Dijagram usmerenosti zaključene dugačke žičane antene sličan je dijagramu podešene žičane antene približno iste dužine, sa tom razlikom što kod aperiodične antene nema snopova dijagrama zračenja u smeru prema tački napajanja (sl. 12.2). To znači da podešena antena iste vrste deluje u dva smera, dok zaključena antena deluje samo u jednom smeru (na jednu stranu). Može se sa grubom približnošću reći da u apsorpcionom otporniku zaključene antene »izgori« energija nestalih snopova koji su zračili u potisnutom smeru.

Budući da zaključena dugačka žičana antena koristi zemlju kao drugi provodnik, površina tla mora biti dobro provodljiva. Kako se retko može obezbediti dobra provodljivost tla, neophodno je da se duž njegove površine položi protivteg i da se on koristi kao zamena za zemlju. Jeftinije je ako se zemlja zameni žicom dugačkom λ/4 kao protivtegom, kao što je prikazano na sl. 12.2c. Uključivanjem elementa koji je zavisan od frekvencije gubi se mogućnost efikasnog rada na više opsega, osim u slučaju da se lepezasto postave protivtegovi dimenzionisani za svaki željeni opseg.

Pojačanje aperiodične žičane antene raste sa povećanjem odnosa dužine žice prema radnoj talasnoj dužini. Karakteristična impedanca antene zavisi od prečnika žice i od visine na koju je antena postavljena, a iznosi prosečno 500 do 600 Ω. Zaključni otpornik mora imati istu vrednost otpornosti. Kada antena radi kao predajna antena, zaključni otpornik treba da bude tako dimenzionisan da može podneti polovinu raspoložive VF snage i pri tom ne sme imati reaktivne otpornosti. Ako se koristi četvrttalasni protivteg snaga koja će se trošiti na zaključnom otporniku opada sa povećanjem dužine žice. Ako je žica antene dugačka 2 λ dovoljno je da otpornik bude dimenzionisan na 25% VF snage predajnika.



Sl. 12.2. Upoređenje horizontalnih dijagrama: a – podešena žičana antena dužine 2 λ, b – zaključena žičana antena iste dužine (idealizovan dijagram zračenja), c – zaključena dugačka žičana antena sa protivtegom od λ/2

Veoma dugačke zaključene žičane antene postavljene na relativno maloj visini iznad zemlje poznate su pod komercijalnim nazivom *beveridž*–antene (Beverage). One se upotrebljavaju uglavnom u oblasti dužih kratkih talasa kao prijemne antene.

Dužina žice *beveridž*–antene koja se može koristiti u amaterskim opsezima od 80 m i 40 m ne sme da bude manja od 100 m. Dužina od 500 m mogla bi se nazvati normalnom, a ne bi bilo preterano čak i 1000 m. Iz toga proizlazi da se ova antena može postaviti samo u retko naseljenim predgrađima ili na selu. Ovoj anteni ne smetaju retke šume, voćke, žbunovi i pojedinačne zgrade. Međutim, veoma je važno da se zaključni otpornik veže na besprekorno VF uzemljenje (vidi odeljak 19.1). Za postavljanje antene nije potrebna naročito velika visina, dovoljno je da ona bude između 3 m i 10 m.

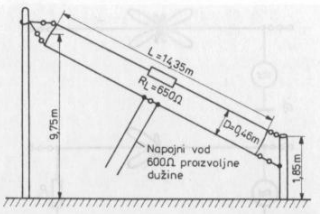
Beveridž je izvrsna DX prijemna antena, ali ona nije pogodna za predajnu antenu. Ova tvrdnja prividno se ne slaže sa teoremom o reciprocitetu, koja kaže da karakteristične osobine i veličine antene u slučaju prijema i u slučaju predaje ostaju iste. Razlika je u tehničkim uslovima rada. Kao što je opštepoznato, amaterski opsezi od 80 m i 40 m izloženi su jakim smetnjama različitog porekla. Zato je čudno da su pod takvim uslovima uopšte još moguće DX veze. Velika osetljivost prijemnika pod ovim uslovima može samo pogoršati stanje. Potrebno je, dakle, već kod antene povećati razliku između nivoa DX signala i nivoa smetnji.

Iskustvo je pokazalo da većina radioamatera poseduje antene za opseg od 80 m. Te antene su obično horizontalni polutalasni dipoli, L–antene ili T–antene, a ređe vertikalne četvrttalasne antene (koje su mehanički delimično skraćene). Horizontalne antene su skoro uvek postavljene suviše nisko u odnosu na radnu talasnu dužinu, pa je glavno zračenje usmereno strmo nagore. Posledica toga je pojačan prijem bliskih stanica i jak prijem lokalnih smetnji, pa slabi DX signali nestanu u smetnjama. Vertikalne četvrttalasne antene su odlične predajne antene za DX veze, naročito ako poseduju veliku i gustu mrežu na zemlji (radijalna mreža). Njihova mana je što kao prijemne antene prikupljaju veliki nivo signala smetnji, što je prouzrokovano činjenicom da je ova antena horizontalni kružni izvor zračenja sa vertikalnom polarizacijom. Ona dobro prima iz *svih* smerova, a naročito dobro prima vertikalno polarizovane lokalne smetnje.

Beveridž–antena nije naročito efikasna; tome doprinose zaključni otpornik, neizbežni gubici uzemljenja, omski gubici u relativno tankoj i dugačkoj antenskoj žici, dielektrični gubici u mnogobrojnim

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

potpornim izolatorima i mala visina na koju je antena postavljena. Zbog toga se pri predaji mora računati sa gubicima daleko većim od 50%. Pri proceni osobine zračenja *beveridž*–antene u slučaju prijema, pokazaće se da je reč o jednostrano usmerenoj, horizontalno polarizovanoj i oštro usnopljenoj karakteristici usmerenosti sa plitkim elevacionim uglom. To znači da se efikasno mogu potisnuti sva zračenja koja ne dolaze iz glavnog smera prijema. Zbog toga, znatno opada nivo evropskih QRM i lokalnih smetnji, a selektivna usmerenost smanjuje čak i nivo atmosferskih smetnji. DX signali koji upadaju pod malim elevacionim uglom su veoma pojačani pa se postiže veliki odnos signal/šum (signal/smetnja), koji je važan samo kod prijema na opsezima od 80 m i 40 m. Osim toga, može se očekivati da *beveridž*–antena ublažuje ili čak sasvim otklanja određene pojave fedinga.



Sl. 12.3. Antena T2FD prema amateru W3HH

12.2. Antena T2FD (zaključeni kosi savijeni dipol)

Zaključeni kosi savijeni dipol poznat je pod nazivom *antena T2FD*. Rado je koriste i komercijalne službe i amateri. Antena se često označava i kao antena *T2FD* (engleski: Terminated Folded Dipole = zaključeni savijeni dipol). Ponekad je nazivaju i antena amatera *W3HH*, jer ju je razvio i propagirao amater *W3HH*.

Na sl. 12.3 prikazana je antena T2FD, čija dužina iznosi samo $\lambda/3$ u odnosu na najnižu radnu frekvenciju. Postavljanjem antene koso pod uglom od oko 30° uštеđeno je još malo prostora. Osim toga, za montažu je potreban samo jedan stub visine oko 10 m i kratki stub od 1,85 m.

Ova antena ima veoma privlačnu kombinaciju dve dobre osobine: veliku širinu opsega aperiodične antene i odnos frekvencija od 1 : 5. Ako se antena dimenzioniše, npr., za najnižu frekvenciju od 7000 kHz, širina opsega iznosi 14,35 m, pa se antena može upotrebiti za amaterske opsege od 40 m, 20 m, 15 m i 10 m. T2FD–antena za 80 m može se koristiti sa istim uspehom i za 40 m i 20 m. Pri tom se ne radi o rezonanci harmonika, već o prirodnoj širini opsega. To znači da se antena T2FD može koristiti i za sve frekvencije koje se nalaze unutar opsega, što je velika prednost, i to naročito za komercijalne stanice sa čestom promenom frekvencije.

Uz propisani nagibni ugao antena zrači efikasno u svim smerovima. Dijagram zračenja nije kružnica, ali nema ni jednoznačni glavni smer zračenja. On se sastoji od nekoliko širokih i mnogo bočnih snopova, ali bez izraženih nula. Zbog toga antena T2FD može da radi skoro u svim smerovima sa približno istim rezultatom. Ona je na isti način pogodna i kao prijemna antena.

Do sada još nisu utvrđene konkretne vrednosti apsolutnog pojačanja antene T2FD. Međutim, postoje uporedne vrednosti (dobijene i od komercijalnih korisnika) na osnovu kojih se može zaključiti da se njeno pojačanje može uporediti sa pojačanjem polutalasnog dipola, odnosno dubleta. U mnogim slučajevima pokazalo se da je signal za dva i više stepena gustine zračenja (vidi podtačku 3.2.3.3) bolji od signala podešene uporedne antene. Takvi rezultati za sada se ne mogu teorijski objasniti. Ova konstatacija, ipak, ne treba da odvrati radio-amatera od isprobavanja antene T2FD.

Antena T2FD prikazana je na sl. 12.3 sa dimenzijama koje je naveo amater *W3HH*. Ona je dimenzionisana za opseg od 40 m, širina opsega obuhvata 7 MHz do 35 MHz (1 : 5). Uz mali gubitak snage antena radi dobro i na opsegu od 80 m. Ako je pri radu na 80 m potrebna puna snaga, dužine i razmaci dati na sl. 12.3 mogu se udvostručiti.

Uopšte, dužina je $L = \lambda/3$ u odnosu na najnižu radnu frekvenciju tj.

$$L\ (\mathrm{m}) = \frac{100}{f\ (\mathrm{MHz})} \qquad (12.1)$$

Razmak D iznosi optimalno $\lambda/100$ i izračunava se iz formule

$$D\ (\mathrm{m}) = \frac{3}{f\ (\mathrm{MHz})} \qquad (12.2)$$

Ugao pod kojim je antena koso postavljena treba da iznosi 30°; dozvoljena su odstupanja do 20°, odnosno do 40°.

Mogu se upotrebiti napojni vodovi sa karakterističnom impedancom od 300 Ω do 600 Ω. Zbog malih gubitaka naročito su povoljni dvožični vodovi sa vazduhom kao izolatorom (»kokošije lestvice«). Karakteristična impedanca ovih vodova može se odrediti pomoću slike 5.4. Takođe, može se primeniti UKT trakasti vod.

Zaključni otpornik je najvažniji deo antene, ali on se najteže nabavlja. On ne sme sadržavati induktivnost, a kapacitivnost mora biti veoma mala. To znači da unutar opsega radnih frekvencija otpornik ne sme ispoljavati reaktivne komponente vredne pomena. Zbog toga se ne mogu upotrebiti žičani otpornici. Kada antena radi kao predajna antena, na otporniku će se pretvoriti u toplotu najmanje 35% izlazne snage predajnika. Kod predajnika od 100 W treba odabrati tip otpornika koji se može opteretiti sa 35 W. Ako se antena koristi samo za prijem, otpada zahtev o mogućnosti opterećenja, pa se može iskoristiti bilo koji slojni otpornik odgovarajuće vrednosti.

Vrednost zaključnog otpornika jednaka je karakterističnoj impedanci napojnog voda proizvoljne dužine. Vod od 600 Ω zahteva zaključni otpornik, takođe, od 600 Ω. Ipak, praktični eksperimenti su pokazali da je povoljnije ako zaključni otpornik ima malo veću vrednost.

Ne preporučuje se korišćenje napojnog voda sa karakterističnom impedancom manjom od 300 Ω, jer je tada veoma kritična optimalna vrednost zaključnog otpornika.

Prilagođeni napojni vod može se pomoću zavojnice direktno spregnuti sa izlaznim stepenom predajnika. Napojni vod od 600 Ω zahteva 6 namotaja za rad u opsezima od 40 m i 80 m, a za rad u opsegu od 20 m samo 3 namotaja. Radi smanjenja smetnji, pogodnije je da se odabere selektivna šema sprege, jer zbog velike širine frekventnog opsega antena T2FD zrači i sve više i bočne harmonike. Sprega prema sl. 8.8 može se primeniti kod svih prilagođenih simetričnih vodova, pa se naročito preporučuje i u ovom slučaju. Antena T2FD može se napajati koaksijalnim kablom proizvoljne dužine, ako se u tački napajanja ugradi balun–transformator sa prstenastim jezgrom i odnosom transformacije 8 : 1, kao što je opisano u tački 7.7.2.

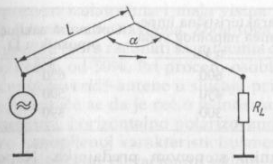
Radi mehaničke stabilnosti i radi održavanja paralelnosti provodnika savijenog dipola, mogu se postaviti dodatni poprečni držači. Ni u jednoj tački na anteni ne javljaju se maksimumi napona, pa pomenuti držači ne moraju imati male gubitke. Sasvim zadovoljavaju impregnirani okrugli komadi drveta (impregnirani u parafinu), komadi bambusa, plastične trake itd.

Karakteristična impedanca napojnog voda u Ω	Optimalni zaključni otpornik u Ω
600	650
450	500
300	390

12.3. Zaključene V–antene

Zaključena V–antena upotrebljava se uglavnom u obliku vertikalno postavljene jednopolne V–antene sa krakom savijenim pod tupim uglom, koja je već pomenuta u odeljku 11.4.3 kao otvorena rezonantna antena. Dodavanjem zaključnog otpornika R_L dobije se skica kao na sl. 12.4.

Prednost vertikalno postavljene antene je u tome što je potreban samo jedan stub u sredini i što se zaključni otpornik može direktno uzemljiti. Ovakva antena je vertikalno polarizovana, a glavno zračenje usmereno je na jednu stranu, i to prema kraju zaključenom sa R_L Kao i



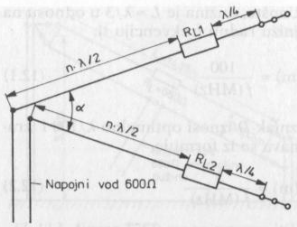
Sl. 12.4. Zaključena jednopolna V-antena sa krakom savijenim pod tupim uglom

kod otvorene varijante, optimalni ugao između pravolinijskih delova antene α zavisi od dužine ovih delova i za zaključenu izvedbu ima približno istu vrednost. Najpovoljnija vrednost zaključnog otpornika je oko 600 Ω; on je jednak karakterističnoj impedanci antene. Otpornost u tački napajanja, takođe, iznosi oko 600 Ω, jer se karakteristična impedanca skoro ne menja sa frekvencijom i realna je u najvećem delu frekventnog opsega.

I normalna V–antena (vidi odeljak 11.4) može se izvesti u aperiodičnom obliku kada postane usmerena na jednu stranu sa povećanom širinom frekventnog opsega. Amaterska primena ove antene je ograničena samo na izuzetne slučajeve, jer su za nju potrebna tri stuba i dva zaključna otpornika. Uzemljenje zaključnih otpornika je naročito teško jer im je udaljenost od zemlje, obično, jednaka visini stuba.

Kao pomoć može poslužiti veštačka zemlja. Ova antena se formira žicama dužine $\lambda/4$, koje se, umesto na zemlju, priključe iza zaključnog otpornika (vidi sl. 12.5). Međutim, tada je antena ponovo zavisna od frekvencije, pa su ako se želi raditi na više opsega, za svaki opseg, potrebni odvojeni četvrttalasni vodovi.

Zbog toga je pogodnije da se krakovi sa zaključnim otpornikom nagnu prema zemlji toliko da se otpornici mogu direktno uzemljiti. Vrednost otpornika je 500 Ω po kraku. Prilagođeni simetrični napojni vod ima karakterističnu impedancu od 600 Ω. I ova antena može se napajati koaksijalnim kablom proizvoljne dužine ako se u tački napajanja postavi balun–transformator sa prstenastim jezgrom i prenosnim odnosom od 8 : 1 (vidi tačku 7.7.2).



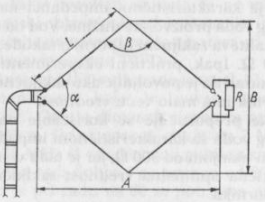
Sl. 12.5. Zaključena V-antena

V–antene zahtevaju mnogo mesta. Ako amater raspolaže sa dosta prostora, onda je bolje da odabere romb–antenu.

12.4. Zaključene romb–antene

Romb antena se gradi najčešće kao antena usmerena na jednu stranu. Otvoreni kraj antene zaključuje se otpornikom R (sl. 12.6). Vrednost otpornika je 750 do 880 Ω. On mora biti dimenzionisan tako da može podneti opterećenje najmanje polovinom VF snage koju daje predajnik.

Zaključena romb–antena ima izvanredno veliku širinu opsega. Iz toga proizlazi da dimenzionisanje dužine kraka antene nije kritično. Zato se pri određivanju dimenzija antene ne mora računati »tačno u centimetar«. Promena frekvencije iznosi 1 : 2. Istovremeno, mogu se očekivati manja ili veća izobličenja karakteristike usmerenosti, jer je ugao između strana romba β optimalan samo za jednu određenu frekvenciju. Ako se radi sa širokim opsegom, sa frekvencijom se menja i pojačanje.



Sl. 12.6. Romb-antena usmerena na jednu stranu

Pojačanje antene raste sa dužinom strane L. Horizontalni i vertikalni dijagram zračenja određuju uglavnom uglovi α i β. Visina postavljanja iznad zemlje mora da bude najmanje polovina radne talasne dužine.

Ako se antena postavi na manju visinu, javlja se nepoželjno povećanje vertikalnog ugla zračenja, naročito na kratkotalasnim amaterskim opsezima. Ako se dužina krakova antene odredi tao da bude veća od 6 λ, usnopljenje je veoma oštro, a time podešavanje optimalnog ugla koji zaklapaju kraci postaje kritično.

12.4.1. Napajanje romb–antene

Budući da otpornost u tački napajanja zaključene romb–antene iznosi 700 do 800 Ω, za napajanje se može upotrebiti vod proizvoljne dužine sa progresivnim talasom iste karakteristične impedance. Uobičajene »kokošije lestvice« od 600 Ω ne pokazuju uočljivo neprilagođenje i one predstavljaju najpovoljnije rešenje i za rad na više opsega. Jasno je da se pomoću već opisanih elemenata za prilagođenje, i zaključena romb–antena može prilagoditi na svaki drugi vod sa progresivnim talasom proizvoljne karakteristične impedance. Treba ipak napomenuti da se zbog frekventne zavisnosti elemenata za prilagođenje smanjuje prednost širokog frekventnog opsega, pa ostaje mogućnost rada samo na jednom opsegu.

Prilagođeni vod od 600 Ω bolji je i od podešenog napojnog voda, jer radi sa manje gubitaka, a pri sprezanju sa izlaznim stepenom predajnika ne zahteva posebne troškove za elemente za podešavanja. Radi potiskivanja zračenja viših harmonika i ostalih smetnji preporučuje se selektivna sprega sa izlaznim stepenom predajnika. Naročito je pogodna šema prikazana na sl. 8.8. Romb–antena se može pobuđivati i koaksijalnim kablom proizvoljne dužine, ako se u tački napajanja postavi balun–transformator sa prstenastim jezgrom i prenosom 10 : 1 (kao u tački 7.7.2). Pri tom se ne sužava širina frekventnog opsega, a prilagođenje na izlaznu impedancu savremenih amaterskih predajnika ne predstavlja nikakvu poteškoću.

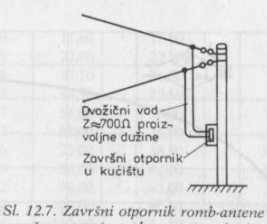
12.4.2. Završni otpornik

Završni otpornik R ne sme imati induktivnost i kapacitivnost. Ovaj uslov može se ispuniti kod malih snaga predajnika pomoću slojevitih otpornika odgovarajuće mogućnosti opterećenja. Da bi se izbeglo štetno kapacitivno dejstvo završnog otpornika, preporučuje se da se on podeli u više manjih redno vezanih otpornika. Prednost imaju ravni otpornici. Žičani otpornici imaju veliku mogućnost opterećenja, ali se ne mogu upotrebiti u ove svrhe zbog njihove velike induktivnosti.

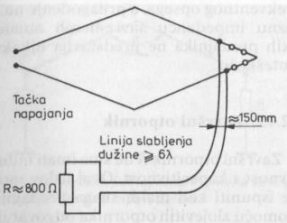
Kod većih snaga predajnika slojeviti otpornici se povećavaju, a time se povećava i cena. Preporučuje se korišćenje otpornika za velika opterećenja, koji su specijalnim postupkom izrađeni bez induktivnosti i sa malom kapacitivnošću; oni se inače upotrebljavaju kao opteretni otpornici u veštačkim antenama.

Vrednost zaključnog otpornika iznosi oko 800 Ω. On se mora smestiti u zaptiveno kućište (vodonepropusno) i najkraćim putem spojiti sa krajem antene.

Atmosferska pražnjenja prouzrokovana olujama u svakoj žičanoj anteni indukuju znatne struje. Ove struje mogu uništiti završni otpornik romb–antene. Zbog toga je zgodno da se otpornik pričvrsti na pristupačnoj visini na stubu i da se proizvoljno dugačkim dvožičnim vodom



Sl. 12.7. Završni otpornik romb-antene priključen pomoću voda sa progresivnim talasom proizvoljne dužine



Sl. 12.8. Zaključena romb-antena sa linijom slabljenja

karakteristične impedance od 700 do 800 Ω spoji sa krajevima antene, kao što je prikazano na sl. 12.7.

Kućište u kome se nalazi završni otpornik treba da bude lako odvojivo, tako da se pre oluje može jednostavno skidati. Ako se upotrebi apsorpcioni otpornik velike snage, on može ostati neoštećen i pored uticaja oluje. Osim toga, postoji propis po kome se ceo antenski kompleks mora uzemljiti radi zaštite od oluje.

Da bi se uštedeli završni otpornici velike snage koriste se, naročito u komercijalnim službama, tzv. linije slabljenja. To su dvožični vodovi, koji se izrađuju isto kao otvoreni napojni vodovi, s tim što su im provodnici zamenjeni sa otpornom žicom. Preporučuju se otporne žice od hrom–nikla, čiji je prečnik od 0,4 do 0,5 mm i koje treba postaviti paralelno na razmaku od oko 15 cm. Dužina paralelnog dvožičnog voda od otporne žice treba da iznosi najmanje 6 λ u odnosu na srednju radnu talasnu dužinu. Na kraju linije slabljenja mora se postaviti završni otpornik. Njegova nazivna disipacija može tada iznositi samo još oko 1/10 maksimalne snage predajnika.

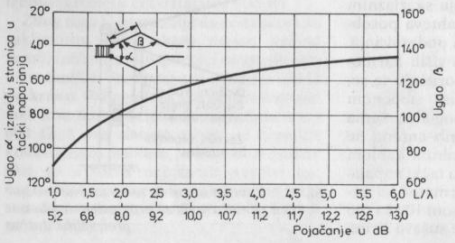
12.4.3. Konstrukcija romb–antene

Da bi se postigla usmerena karakteristika sa malo bočnih snopova i što veće pojačanje antene, ugao pod kojim se nalaze provodnici romb–antene u tački napajanja mora biti u određenom odnosu prema dužini strane romba *L*. Te vrednosti mogu se očitati iz dijagrama na sl. 12.9.

Na sl. 12.9 a ispod apscise na kojoj je nanesen odnos L/λ, data je njoj odgovarajuća nomogramska zavisnost teoretski maksimalne vrednosti pojačanja u dB. Ova zavisnost je približno linearna, jer je pojačanje antene u glavnom smeru proporcionalno dužini strane *L* ukoliko je izabran optimalan ugao α. U ove podatke već je uračunat gubitak zračenja od 3 dB koji se javlja u završnom otporniku.

Vertikalni elevacioni ugao u dijagramu *H* romb–antene zavisi od visine postavljanja antene. Da bi se postiglo što »pliće« zračenje u visokofrekventnim opsezima kratkih talasa, antena se ne sme postaviti na visinu manju od λ/2. Kraci antene se ne smeju zakositi po vertikali, već celom dužinom treba da budu na istoj visini, paralelno sa zemljom.

Pri planiranju izrade romb–antene, korisno je da se prethodno sagleda koliko će mesta zauzeti po širini i dužini. U tabeli 12.1 dati su konstrukcioni podaci za izgradnju romb–antena za amaterske opsege od 10 do 40 m. Navedene dužine



Sl. 12.9. Optimalne vrednosti uglova α i β zaključene romb antene u zavisnosti od dužine strane romba L

Tabela 12.1

PRAKTIČNO ODREĐIVANJE SVIH DIMENZIJA ROMB–ANTENA ZA AMATERSKE OPSEGE

Dužina strane *L* u umnošcima λ	Dužina strane *L* u m	Ugao α u °	Ugao β u °	Dužina *A* u m	Širina *B* u m	Pojačanje antene u dB
Amaterski opseg od 40 m						
1,0	41,50	111	69	47,00	68,50	5,2
1,5	63,00	91	89	88,50	90,00	6,8
2,0	84,00	76	104	132,40	103,50	8,0
2,5	105,00	68	112	174,50	117,50	9,2
3,0	127,00	63	117	217,00	133,00	10,0
3,5	148,00	58	122	259,00	144,00	10,7
4,0	169,00	54	126	302,00	154,00	11,2
Amaterski opseg od 20 m						
1,0	20,80	111	69	24,00	34,50	5,2
1,5	31,50	91	89	44,50	45,00	6,8
2,0	42,00	76	104	66,50	52,00	8,0
2,5	52,50	68	112	87,50	59,00	9,2
3,0	63,00	63	117	108,00	66,00	10,0
3,5	74,00	58	122	130,00	72,00	10,7
4,0	84,50	54	126	151,00	77,00	11,2
4,5	95,00	51	129	172,00	82,00	11,7
5,0	106,00	48	132	194,00	86,50	12,2
5,5	116,00	46	134	214,00	91,00	12,6
6,0	127,00	44	136	236,00	95,50	13,0
Amaterski opseg od 15 m						
1,0	13,80	111	69	15,70	22,80	5,2
1,5	21,00	91	89	29,50	30,00	6,8
2,0	28,00	76	104	44,50	34,50	8,0
2,5	35,00	68	112	50,00	39,50	9,2
3,0	42,00	63	117	72,00	44,00	10,0
3,5	49,50	58	122	87,00	48,00	10,7
4,0	56,50	54	126	101,00	51,50	11,2
4,5	63,50	51	129	115,00	55,00	11,7
5,0	70,50	48	132	129,00	57,50	12,2
5,5	78,00	46	134	144,00	61,00	12,6
6,0	85,00	44	136	158,00	64,00	13,0
Amaterski opseg od 10 m						
1,0	10,20	111	69	11,60	17,00	5,2
1,5	15,60	91	89	22,00	22,30	6,8
2,0	21,00	76	104	33,10	26,00	8,0
2,5	26,20	68	112	43,50	29,50	9,2
3,0	31,50	63	117	54,00	33,00	10,0
3,5	37,00	58	122	65,00	36,00	10,7
4,0	42,00	54	126	75,00	38,50	11,2
4,5	47,50	51	129	86,00	41,00	11,7
5,0	52,50	48	132	96,00	43,00	12,2
5,5	58,00	46	134	107,00	45,50	12,6
6,0	63,00	44	136	117,00	47,50	13,0

stranica antene date su približno za sredinu svakog opsega. Kako romb–antena ima veoma veliki frekventni opseg, nije potrebno da njen oblik bude tačan u centimetar. Udaljenosti *A* i *B* su zaokružene, jer one služe za određivanje mesta postavljanja nosećih stubova. Preporučuje se da se stubovi malo više razmaknu da bi se stvorila mogućnost za manje korekcije i za fino podešavanje slabljenja. To je naročito potrebno u slučaju velike dužine krakova *L*, jer je tada usnopljavanje veoma oštro.

12.4.4. Rad na više opsega

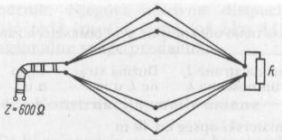
Iz tabele 12.1 može se uočiti činjenica da se sa romb–antenom može lako raditi na više opsega. Dužina stranice od, npr., 42 m predstavlja 1 λ u opsegu od 40 m, 2 λ u opsegu od 20 m, 3 λ u opsegu od 15 m i 4 λ u opsegu od 10 m. Ugao koji zaklapaju stranice romba kod tačke napajanja dimenzioniše se optimalno za opseg od 15 m ili od 20 m; on je tada malo prevelik za opseg od 10 m, a premali za opseg od 40 m. Kada se radi na opsegu od 10 m (α preveliki) sužava se glavni snop; javlja se nekoliko slabih bočnih snopova i malo zračenje unazad. Međutim, to malo utiče na pojačanje antene u glavnom smeru. Prilikom rada u opsegu od 40 m (α premali) dijagram zračenja se deli na snopove, širina zračenja se povećava, a javlja se i zračenje u suprotnom smeru. U opsegu od 40 m, ova antena mogla bi se koristiti u više smerova sa još dobrim pojačanjem. Za više opsega veoma su podesne i romb–antene sa stranicama od 21,00 i 63,00 m.

12.4.5. Specijalni oblici romb–antene

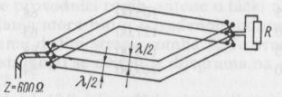
Širokopojasna romb–antena ili »debeli« romb jeste komercijalni oblik antene, koji se odlikuju još širim frekventnim opsegom (sl. 12.10).

Paralelnim spajanjem tri ili više žica kao na sl. 12.10, povećava se širina opsega i ulazna otpornost pada na oko 600 Ω.

Ako se više istih romb–antena postavi jedna iznad druge, povećava se pojačanje



Sl. 12.10. Širokopojasni romb



Sl. 12.11. Romb-antene poređane jedna iznad druge

antene usled usnopljenja u ravni *H* (sl. 12.11). Konstrukcija ovakvih romb–antena ograničava se, ipak, samo na VVF i UVF opsege. Pomoću dvostruke romb–antene i dvostrukih romboida pojačanje antene dostiže 17 dB.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 12

Aisenberg, G.S.: Kurzwellen–Antennen, poglavlje X, Fachbuchverlag, Leizig, 1954

Countryman, G.L., W3HH:Performance of the Terminated Folded Dipole, Antenna Roundup, Cowan Publishing Corp., New York 36, N.Y. 1963

Countryman, G.L., W3HH: More on the T2FD. Antenna Roundup, Cowan Publishing Corp., New York 36, N.Y. 1963

Jasik, H.: Antenna Engineering Nandbook, poglavlje 4, McGraw-Hill Book Company Inc., New York 1961

Sondhauss, C.: Die T2FD–Antenne, Bericht einer amateurmaessigen Untersuchung, QRV, Stuttgart, 30 (1976) sveska 2, strana 84 do 86

Tauer, S.G.: Die T2FD–eine Antenne mit ausgezeichneten Empfangseigenschaften. »FUNKAMATEUR«, 1968, sveska 2, strana 68, Deutscher Militaerverlag, Berlin

13. Kombinacije dipola sa pobudom u fazi (horizontalne antene)

Polutalasni dipol je osnovni element skoro svih antena. Poznata je njegova karakteristika usmerenosti (vidi poglavlje 3). Karakteristika zračenja može se, skoro po želji, menjati odgovarajućim kombinacijama više napajanih dipola i na taj način povećati pojačanje antene u glavnom smeru zračenja.

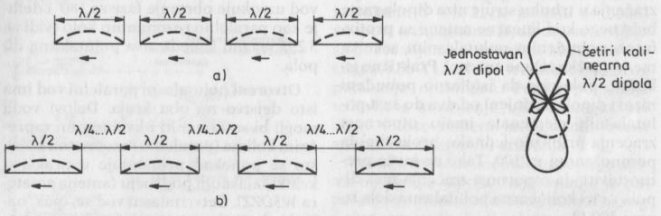
13.1. Niz dipola (kolinearni dipoli)

Ako se više polutalasnih dipola postavi jedan pored drugog u jednoj liniji i ako se svi pobuđuju u fazi, onda će njihov glavni smer zračenja odgovarati glavnom smeru zračenja jednog polutalasnog dipola. Međutim, širina zračenja (ugao zračenja) smanjiće se u korist pojačanog zračenja u glavnom smeru, pa će se pojačanje antene u odnosu na polutalasni dipol manje ili više povećati.

Na sl. 13.1 prikazani su nizovi sa 4 kolinearna dipola, kod kojih je ucrtana raspodela struje u slučaju napajanja u fazi. Sve struje su jednake po fazi, smeru i jačini. Kolinearnim antenskim sistemom mogu se postići sledeća pojačanja antene u odnosu na polutalasni dipol:

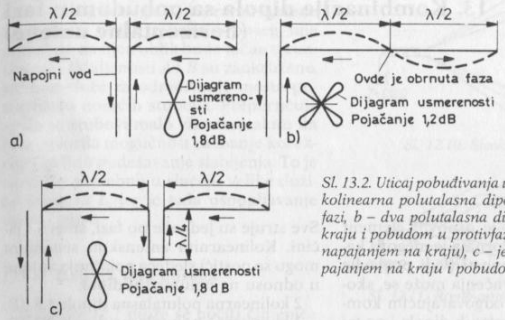
2 kolinearna polutalasna dipola 1,8 dB,
3 kolinearna polutalasna dipola 3,2 dB,
4 kolinearna polutalasna dipola 4,5 dB,
5 kolinearnih polutalasnih dipola 5,4 dB,
6 kolinearnih polutalasnih dipola 6,2 dB,
7 kolinearnih polutalasnih dipola 6,9 dB,
8 kolinearnih polutalasnih dipola 7,5 dB.

Dalje manje pojačanje antene može se postići ako se razmak između pojedinih polutalasnih dipola poveća na λ/4 do λ/2 (sl. 13.1b). U tom slučaju pobuđivanje elemenata u fazi je teže i komplikovanije sprovesti, pa se ova mogućnost retko koristi. Najjednostavniji niz dipola je jednotalasni dipol sa centralnim napajanjem čija se dva kolinearna polutalasna dipola pobuđuju u fazi, pa se struja raspodeljuje kao na sl. 13.2a. Pojačanje antene je tada



Sl. 13.1. Niz dipola: a – kolinearni dipoli sa pobudom u fazi na malom međusobnom rastojanju; b – kolinearni dipoli sa pobudom u fazi sa međusobnim rastojanjem od 1/4 talasne dužine; c – upoređenje karakteristike usmerenosti (ravan E) jednog polutalasnog dipola (isprekidana linija) sa nizom dipola, koji se sastoji od 4 kolinearna dipola

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 13.2. Uticaj pobuđivanja u fazi i protivfazi: a – dva kolinearna polutalasna dipola sa pobuđivanjem u fazi, b – dva polutalasna dipola sa napajanjem na kraju i pobudom u protivfazi (jednotalasni dipol sa napajanjem na kraju), c – jednotalasni dipol sa napajanjem na kraju i pobudom u fazi preko četvrttalasnog voda

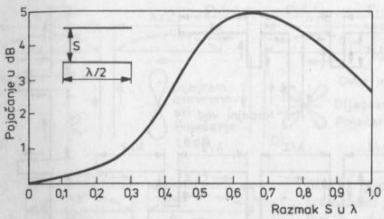
1,8 dB. Nasuprot tome, na sl. 13.2b prikazan je jednotalasni dipol sa napajanjem na kraju (cepelin–antena), koji se zbog načina napajanja pobuđuje protivfazno (vidi raspodelu struje). Dijagram u ravni *E* ovog dipola podeljen je na 4 glavna snopa, a pojačanje iznosi samo 1,2 dB za istu dužinu antene. Da bi se jednotalasni dipol sa napajanjem na kraju antene pobuđivao u fazi, oba polutalasna dela moraju se međusobno odvojiti, kao na sl. 13.2c, i između njih treba dodati element za obrtanje faze. To može biti četvrttalasni vod, koji obrće fazu za 180°. U jednoj liniji, tj. nizu može se poređati proizvoljan broj polutalasnih dipola. Ako se pojedinačni polutalasni dipoli međusobno povežu pomoću elemenata za obrtanje faze, pobuđivanje je u fazi.

Sa povećanjem broja dipola, otpornost zračenja u trbuhu strûje niza dipola raste brže nego kod linearne antene sa protivfazno pobuđenim polutalasnim sekcijama (dugačke žičane antene). Praktično iskustvo pokazuje da istofazno pobuđeni nizovi dipola sačinjeni od dva do šest polutalasnih elemenata imaju otpornost zračenja približno jednaku broju dipola pomnoženom sa 100. Tako se može pretpostaviti, da otpornost zračenja niza dipola sa tri kolinearna polutalasna dela iznosi 300 Ω.

Nekoliko primera nizova dipola dato je na sl. 13.3. Ucrtane strelice označavaju smer struje. Kombinacija na sl. 13.3a napaja se u trbuhu struje, pa je otpornost u tački napajanja jednaka karakterističnoj impedanci. Ona iznosi 300 Ω (3 elementa puta 100 Ω) uz pojačanje od 3,2 dB. Kombinacija na sl. 13.3b napaja se u trbuhu struje, pa je tačka napajanja visokoomska. U zavisnosti od stepena vitkosti provodnika, impedanca u tački napajanja može iznositi između 1000 i 6000 Ω; teoretsko pojačanje je 4,3 dB.

Kolinearni dipoli mogu se postaviti i u vertikalni niz (sl. 13.3c). Tada su polarizacija i usnopljenje vertikalni, a u horizontalnoj ravni dobije se kružna karakteristika zračenja. Kao što je prikazano na sl. 13.3c, iz mehaničkih razloga napajanje se vrši na donjem kraju niza, mada bi se simetrično napajanje u centru srednjeg polutalasnog dipola bilo povoljnije u električnom pogledu. Zatvoreni četvrttalasni vod uzrokuje obrtanje faze za 180° i deluje kao paralelno rezonantno kolo (vidi sl. 5.29) vezano između dva polutalasna dipola.

Otvoreni polutalasni paralelni vod ima isto dejstvo na oba kraja. Delovi voda mogli bi se zameniti i kvalitetnim zaprečnim kolima (paralelna rezonantna kola), što se ponekad primenjuje u praksi u kratkotalasnom području (antena amatera *W3DZZ*). Četvrttalasni vod se, ipak, najčešće koristi za stvaranje istofazne pobude nizova dipola, jer se njime dobija velika dobrota kola uz mala finansijska sredstva.



Sl. 13.5. Maksimalno pojačanje dva polutalasna dipola sa pobudom u fazi, koji su postavljeni jedan iznad drugog, u zavisnosti od njihovog međusobnog razmaka S izraženog u l (prema ARRL-Antenna Book)

paralelna polutalasna dipola, koji su postavljeni jedan iznad drugog na razmaku od λ/2, jednostavno povežu polutalasnim *Leherovim* vodom, onda se oba dipola pobuđuju u protivfazi, kao što je označeno strelicama na sl. 13.6a. Zahtevana pobuda u fazi postiže se tek onda kada se polutalasni vod ukrsti kao na sl. 13.6b. Ako bi se oba dipola spojila vodom čija je električna dužina 1 λ, onda se vod ne bi smeo ukrstiti, jer jednotalasni *Leherov* vod prenosi i istu otpornost i istu fazu sa jednog kraja voda na drugi (sl. 13.6c).

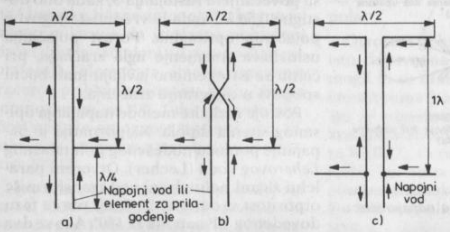
Napajanje preko donjeg dipola prema sl. 13.6 mehanički je pogodno, ali je električno veoma nepovoljno. Niži dipol na koji je priključen napojni vod dobija energiju »iz prve ruke«, dok do višeg dipola energija mora da pređe duži put. Kao posledica različitih vremena protoka, javlja se mali pomak faze kod raspodele struje i napona, koji se obično ispoljava nepoželjnim podizanjem dijagrama *H* (veći elevacioni ugao). Antena kao da je »razroka« nagore, a frekventni opseg se sužava. Zbog toga ovakve antenske sisteme treba napajati u geometrijskoj sredini visine koju zapremaju. Usled paralelnog višeetažnog postavljanja dipola sa pobudom u fazi, menja se otpornost zračenja u zavisnosti od razmaka *S*. N sl. 13.7 prikazana je zavisnost otpornosti zračenja pojedinačnog dipola, koji je u kombinaciji dva paralelna etažno postavljena dipola, od vrednosti njihovog međusobnog razmaka *S*. Kada je $S = 0{,}5\ \lambda$, otpornost iznosi 60 Ω, kada je $S = 0{,}72\ \lambda$ – ona opada na 45 Ω, a za $S = 1\ \lambda$ – otpornost raste na 80 Ω.

Velike dimenzije, a samim tim i veliki međuetažni razmaci kratkotalasnih antena ograničavaju broj vertikalno postavljenih paralelnih dipola na samo dva dipola. Nasuprot tome, u UKT području dipoli se mogu postavljati u više etaža jedan iznad drugog. Problemi napajanja koji se tada javljaju obrađeni su u odeljku 23.1.

13.3. Grupe dipola

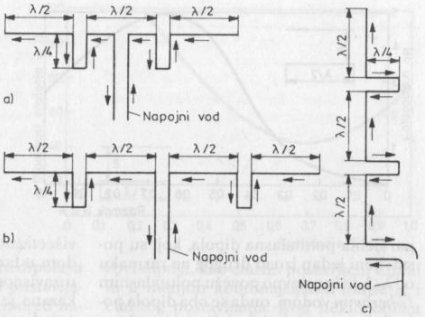
Uobičajeno je da se stvaraju antenski sistemi kao kombinacija dipola postavljenih u kolinearni niz i dipola postavljenih jedan iznad drugog, pri čemu se usnopljavanje u ravni *E* postiže nizom dipola, a oštrina usmerenosti u ravni *H* postavljanjem dipola u etaže. Takav raspored naziva se *zavesom dipola* ili *matricom dipola*.

Budući da su nizovi dipola i etaže dipola sistemi sa dvosmernim zračenjem, često se uz svaki polutalasni dipol postavlja ili podešeni reflektor sa napajanjem ili parazitni reflektor i tako postiže jednostrana usmerenost. Time se poveća pojačanje celog antenskog sistema za 3 dB. Ako se dipoli postave ispred reflektorske mreže, može se pojačanje povećati i do 7 dB. Velike prostorne dimenzije većih kombinacija dipola ograničavaju njihovu primenu samo na UKT područje. Zato su ove kombinacije opisane u okviru UKT antena.



Sl. 13.6. Pobuđivanje dva paralelna dipola: a – protivfazno pobuđivanje dva paralelna dipola na rastojanju λ/2, b – pobuđivanje u fazi dva paralelna dipola na razmaku λ/2 pomoću ukrštanja voda koji ih spaja, c – pobuđivanje u fazi dva paralelna dipola pomoću neukrštenog jednotalasnog voda za spajanje

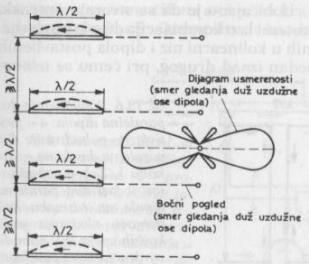
Sl. 13.3. Primeri nizova dipola: a – 3 kolinearna polutalasna dipola sa napajanjem u sredini i pobuđivanjem u fazi (pojačanje 3,2 dB); b – 4 kolinearna polutalasna dipola sa napajanjem u sredini i pobudom u fazi (pojačanje 4,3 dB); c – 3 kolinearna polutalasna dipola sa vertikalnom polarizacijom, napajanjem na kraju i pobudom u fazi (pojačanje 3,2 dB)



13.2. Dipoli postavljeni jedan iznad drugog

Ako se horizontalni polutalasni dipoli sa napajanjem u fazi postave paralelno jedan iznad drugog, dobije se antenski sistem čiji dijagram *E* odgovara dijagramu pojedinačnog polutalasnog dipola, a usnopljava se u ravni *H*. Na sl. 13.4 prikazan je takav antenski sistem od 4 polutalasna dipola sa napajanjem u fazi. Dipoli su postavljeni jedan iznad drugog na razmaku $\geqslant \lambda/2$. Ucrtan je i dijagram usmerenosti u ravni *H*.

Pojačanje antenskog sistema usled usnopljavanja u ravni *H* zavisi od broja paralelnih dipola i od njihovog međusobnog razmaka *S* na kome su postavljeni jedan iznad drugog. Na sl. 13.5 prikazano je pojačanje dva polutalasna dipola, koji su postavljeni jedan iznad drugog, i sa pobuđivanjem u fazi, u zavisnosti od njihovog međusobnog razmaka *S*. Orijentaciono se može računati da će pri svakom dodavanju sledeće, a za 0,5 λ izdignute etaže dipola, porasti ukupno pojačanje antenskog sistema za 1 dB. Kod optimalnog razmaka etaža porast pojačanja iznosi oko 1,5 dB. Pri tome se svi elementi moraju nalaziti u istoj vertikalnoj ravni.

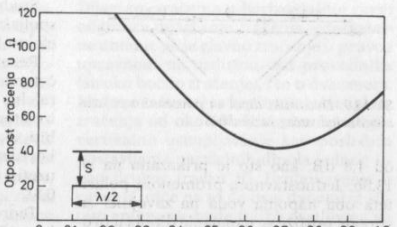


Sl. 13.4. Četiri polutalasna dipola postavljena paralelno jedan iznad drugog i sa napajanjem u fazi

Kao što se vidi na sl. 13.5, na međusobnom rastojanju *S* od 0,5 λ ne postiže se najveće moguće pojačanje, ali se ono obično koristi, jer pruža određene mehaničke i električne prednosti.

Kada se dva polutalasna dipola postave jedan iznad drugog na međusobnom rastojanju $S = \lambda/2$, ne javljaju se bočni snopovi u dijagramu *H*, ali oni se javljaju sa povećanjem rastojanja *S*, kada ono dostigne 0,56 λ i kada je vrednost njegovog pojačanja optimalna. Porast pojačanja uslovljava smanjenje ugla zračenja, pri čemu se istovremeno javljaju mali bočni snopovi u dijagramu zračenja.

Postoje različite metode napajanja opisanog sitema dipola. Najpoznatije je napajanje pomoću podešenog polutalasnog *Leherovog* voda (Lecher). Otvoreni paralelni žičani polutalasni vod transformiše otpornost u odnosu 1 : 1, ali obrće fazu dovedenog VF napona za 180°. Ako se dva



Sl. 13.7. Otpornost zračenja u trbuhu struje svakog pojedinog dipola, kada su dva paralelna dipola sa pobudom u fazi postavljeni jedan iznad drugog, u zavisnosti od njihovog međusobnog razmaka S

nizovi dipola, kao etažno postavljeni dipoli ili u manjim kombinacijama linijskog i etažnog postavljanja. Kod nekih oblika može se postići i rad na više opsega, ali to su obično antene za jedan opseg, pa rad na više opsega predstavlja samo kompromisno rešenje. Veliki prostor potreban za postavljanje ovih antena ograničava njihovu primenu samo na VF kratkotalasne opsege (DX opsege).

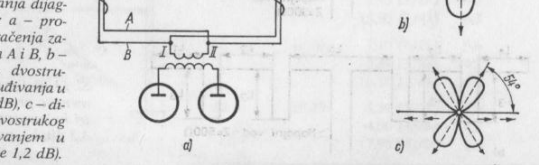
13.4.1. Dvostruki dipol

Najjednostavniji niz dipola sastoji se od dva kolinearna polutalasna dipola sa pobudom u fazi, kao na sl. 13.8. U ovom slučaju je neobično što svaki dipol ima sopstveni napojni vod. Prednost takvog napajanja je u tome što se prekopčavanjem napojnog voda može menjati karakteristika usmerenosti.

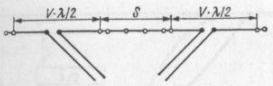
Kada se oba dipola pobuđuju u fazi, glavno zračenje prostire se vertikalno prema uzdužnoj osi dipola sa pojačanjem

13.4. Praktični oblici usmerenih žičanih antena

Dipoli sa pobudom u fazi su veoma omiljene *usmerene žičane antene* za kratkotalasno područje. One se izvode kao ni-



Sl. 13.8. Dvostruki dipol sa mogućnošću menjanja dijagrama usmerenosti: a – promena dijagrama zračenja zamenom priključaka A i B, b – dijagram zračenja dvostrukog dipola kod pobuđivanja u fazi (pojačanje 1,8 dB), c – dijagram zračenja dvostrukog dipola sa pobuđivanjem u protivfazi (pojačanje 1,2 dB).



Sl. 13.9. Dvostruki dipol sa povećanim pojačanjem usled većeg razmaka S

od 1,8 dB, kao što je prikazano na sl. 13.8b. Jednostavnom promenom polariteta oba napojna voda na zavojnici za spregu, postiže se napajanje dipola u protivfazi, pa se javlja dijagram zračenja jednotalasne antene prema sl. 13.8c sa pojačanjem od 1,2 dB. Ukoliko postoji mogućnost da se oba dipola postave na većem razmaku S, kao na sl. 13.9, povećaće se pojačanje antene pri pobudi u fazi. Kod $S = 0{,}2\ \lambda$ pojačanje iznosi 2,5 dB, kod $S = 0{,}3\ \lambda$ ono raste na 3 dB, a između $S = 0{,}4\ \lambda$ do $0{,}6\ \lambda$ ono postiže najveću vrednost od oko 3,2 dB.

13.4.2. **Franklinova antena**

Ako se tri ili više dipola sa napajanjem u fazi međusobno poveže u jedan niz, dobije se *Franklinova* antena. Najmanja *Franklinova* antena sastoji se od tri kolinearna dipola (sl. 13.10a).

Otpornost zračenja ovog sistema jednaka je otpornosti u priključnoj tački napajanja (napajanje u trbuhu struje) i iznosi nešto više od 300 Ω. Antena se zbog toga može direktno napajati sa proizvoljnom dužinom napojnog voda karakteristične impedance od 300 Ω.

Srednji dipol L_2 je nešto duži od oba spoljašnja dipola, jer on ne podleže tzv. efektu krajeva.

Rezonantne dužine L_3 oba zatvorena četvrttalasna elementa odnose se na paralelne žičane vodove sa vazduhom kao izolatorom, čiji razmak provodnika može biti oko 10 cm (nije kritičan). Ako se koriste komadi trakastog voda, mora se uzeti u obzir njihov faktor skraćenja ($V \approx 0{,}8$).

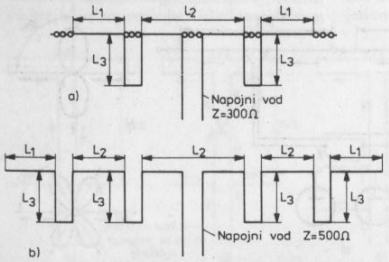
Teoretsko pojačanje ovakvog sistema iznosi 3,2 dB i ono se postiže samo usnopljavanjem u ravni E. Praktični podaci o dimenzijama L_1, L_2 i L_3 dati su u tabeli 13.1.

Tabela 13.1

DIMENZIJE FRANKLINOVE ANTENE PREMA sl. 13.10

Amaterski opseg	Dužina L_1 u m	Dužina L_2 u m	Dužina L_3 u m
10 m	5,09	5,18	2,50
15 m	6,90	7,02	3,52
20 m	10,30	10,50	5,27
40 m	20,71	21,13	10,61
80 m	40,50	41,35	20,70

Ako se antena dopuni, kao na sl. 13.10b, sa još dva polutalasna dipola, tako da u sistemu bude ukupno 5 kolinearnih dipola, teoretsko pojačanje povećaće se na 5,4 dB, a otpornost u tački napajanja iznosiće oko 500 Ω. Ova antena može se napajati proizvoljnom dužinom dvožičnog voda karakteristične impedance od 500 Ω.



Sl. 13.10. Franklinove antene (dimenzije prema tabeli 13.1.): a – tri kolinearna dipola, pojačanje 3,2 dB; b – pet kolinearnih dipola, pojačanje 5,4 dB

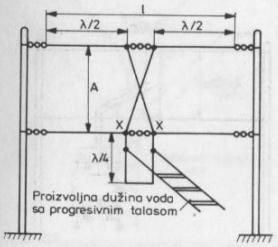
Ovakva antena bila bi pogodna za radio-amaterske veze samo kada bi se dipoli mogli postaviti u vertikalnom nizu. Tada bi vertikalno polarizovani niz dipola predstavljao odličan antenski sistem, koji zrači kružno u horizontalnoj ravni i koji je veoma usko usnopljen u vertikalnoj ravni, tako da ima veoma mali elevacioni ugao i pojačanje od 5,4 dB. Potrebne visine postavljanja mogu se, na žalost, realizovati samo u retkim slučajevima. Rezonantne dužine za oba tipa antene date su u tabeli 13.1. Budući da kolinearni dipoli imaju relativno širok frekventni opseg, dimenzije su izračunate za sredinu amaterskog opsega. Time je obezbeđena mogućnost korišćenja u celoj širini svakog pojedinog amaterskog opsega.

13.4.3. **Antena u obliku položenog slova H (antena *lejzi ejč*)**

Šaljivi naziv *lejzi ejč* (što na engleskom znači *lenjo H*) potiče od spoljašnjeg izgleda ove žičane antene (položenog slova H = I). Ona je prikazana na sl. 13.11.

To je dvoetažni sistem koji u svakoj etaži ima po jedan jednotalasni dipol, pri čemu su etaže na međusobnom rastojanju od $\lambda/2$. Ukršteni spojni vod obezbeđuje istofazno napajanje oba dipola.

U prikazanom slučaju napaja se prilagođenim dvožičnim vodom proizvoljne dužine. Prilagođenje napojnog voda na visokoomsku tačku napajanja antenskog sistema izvršeno je pomoću zatvorenog četvrttalasnog voda (vidi odeljak 6.6).



Sl. 13.11. Antena »lejzi ejč« za rad na jednom opsegu

Dijagram zračenja u horizontalnoj ravni odgovara dijagramu zračenja jednotalasne antene, pa je glavno zračenje u pravcu upravnom na uzdužnu osu provodnika (široko bočno zračenje), i to u dva smera. Može se računati sa horizontalnim uglom zračenja od oko 60°. U sistemu postoji i vertikalno usnopljavanje kao posledica postavljanja paralelnih dipola jednog iznad drugog (ravan H). Usnopljavanje u ravni H utiče na to da ovaj dvoetažni sistem antena ne bude toliko osetljiv na visinu postavljanja iznad tla, kao što je osetljiva jednoetažna antena. Prema vertikalnom dijagramu zračenja, do tla dospevaju samo mali delovi zračenja, pa do refleksija o zemlju može doći samo u ograničenom obimu (vidi podtačku 3.2.2.1). Uprkos tome, za veze na velikim udaljenostima neophodno je da se antena postavi što je moguće više iznad zemlje, radi postizanja odgovarajućeg vertikalnog elevacionog ugla. Najbolji rezultati mogu se očekivati ako se donja etaža dipola nalazi na visini $\lambda/2$ iznad tla. Međutim, može se računati sa dobrim radom i kada je antena na manjim visinama.

Teoretsko pojačanje prikazanog antenskog sistema iznosi oko 5,6 dB. Ono se menja sa međusobnim razmakom dipola postavljenih jedan iznad drugog, kao što se vidi u tabeli 13.2. Zbog usnopljavanja u ravni H uz mali vertikalni elevacioni ugao, u amaterskim vezama znatno je povoljnije koristiti dvoetažni sistem *lejzi ejč* nego jednoetažnu antenu istog pojačanja.

Tabela 13.2

PODACI O DIMENZIJAMA ZA ANTENU »LEJZI EJČ« PREMA sl. 13.11

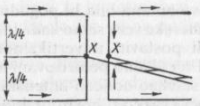
Amaterski opseg	Dužina l u m	Razmak A u m	Teoretsko pojačanje u dB
20 m	20,60	10,50 (1/2λ)	5,6
		7,95 (3/8λ)	4,3
		15,90 (3/4λ)	6,3
15 m	13,90	7,10 (1/2λ)	5,6
		5,33 (3/8λ)	4,3
		10,70 (3/4λ)	6,3
10 m	10,25	5,30 (1/2λ)	5,6
		4,00 (3/8λ)	4,3
		7,95 (3/4λ)	6,3

U praktičnom amaterskom radu je veoma pogodno to što horizontalni ugao zračenja od skoro 60° dozvoljava pokrivanje 1/3 punog kruga uz veliko pojačanje (u dva smera).

Najpovoljnije je da rastojanje između etaža bude od $\lambda/2$. Manjem rastojanju odgovara manje pojačanje, a većim rastojanjima veće pojačanje. U tabeli 13.2 dati su podaci o dužinama dipola, razmacima između etaža i o teoretskom pojačanju antene za DX opsege od 20, 15 i 10 m.

Kod antene *lejzi ejč* mogu se upotrebiti razne vrste napajanja. Mehanički i električki najjednostavnije je napajanje na donjem kraju, pomoću podešenog voda, kao na sl. 13.12. Prema ucrtanim strelicama smera struje može se zaključiti da se svi dipoli napajaju u fazi. Kao što je ranije navedeno, nedostatak ovakvog načina napajanja je što se, zbog razlike u vremenu proticanja struje, obe etaže dipola ne mogu pobuditi tačno u isto vreme. Usled toga se može malo povećati vertikalni elevacioni ugao, pa antena radi kao da je »razroka nagore«. Osim toga, gubici u podešenom vodu su uvek nešto veći od gubitaka u prilagođenom vodu.

Na sl. 13.13 prikazano je centralno napajanje čije se obe etaže pobuđuju simetrično. U ovom slučaju otpada ukrštanje spojnih vodova koje stvara izvesne poteškoće prilikom realizacije. Kada se napaja u sredini polutalasnog spojnog voda, on se deli na dva četvrtalasna dela, pa svakoj etaži pripada po jedan vod od $\lambda/4$. Tada se svaka etaža antene može predstaviti kao jednotalasni dipol sa četvrtalasnim



Sl. 13.13. Antena »lejzi ejč« sa centralnim napajanjem

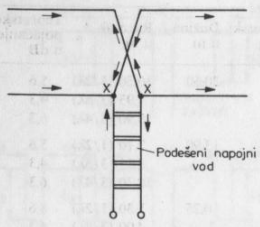
transformatorom (vidi odeljak 6.5). Ako se pretpostavi da je ulazna otpornost jednotalasnog dipola sa velikim stepenom vitkosti Z_A oko 4000 Ω, a četvrttalasni vod dimenzioniše za karakterističnu impedancu od 600 Ω, može se lako izračunati vrednost transformisane impedance Z_E u tačkama napajanja XX prema jednačini (6.6).

Ako se u jednačinu (6.6) uvrste približno tačno pretpostavljene vrednosti, dobija se

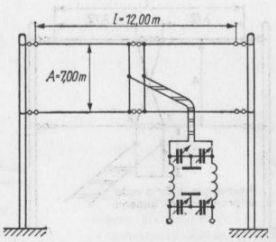
$$Z_E = \frac{(600\ \Omega)^2}{4000} = 90\ \Omega$$

Obe etažne antene su u tačkama XX paralelno spojene, pa su i njihove otpornosti u paralelnom spoju. Zato karakteristična impedanca prilagođenog napojnog voda ne treba da bude 90 Ω već samo 45 Ω. To znači da se napajanje može vršiti koaksijalnim kablom od 50 Ω.

I kod centralnog napajanja daje se prednost podešenom napojnom vodu, jer se pomoću njega, u slučaju kompromisnog rešenja, može raditi na više opsega. Treba obratiti pažnju i na to da veći deo napojnog voda mora ići paralelno sa



Sl. 13.12. Antena »lejzi ejč« sa podešenim napojnim vodom



Sl. 13.14. Antena »lejzi ejč« za rad na tri opsega

površinom tla i to na visini priključnih tačaka XX (odnosno veći deo napojnog voda mora biti pod pravim uglom u tačkama XX).

Na sl. 13.14 prikazana je antena *lejzi ejč* dimenzionisana za rad na opsezima od 10 m, 15 m i 20 m. Dimenzionisana je približno za rezonancu u opsegu od 15 m. Ona se mora napajati podešenim vodom preko *Kolinsovog* filtra.

13.4.3.1. *Dvoetažni, ugaoni, jednotalasni dipol*

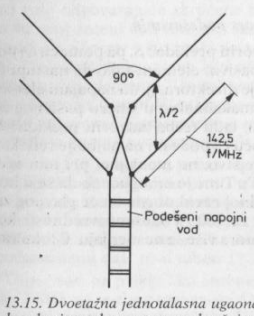
Ako se oba kraka antene *lejzi ejč* obrnu za 90°, kao na slici 13.15, dobiju se dva jednotalasna, ugaona dipola postavljena jedan iznad drugog, čija je karakteristika zračenja veoma interesantna za radioamatere.

Jednotalasni dipol, čiji su kraci postavljeni pod uglom od 90°, u ravni E ima približno kružni dijagram zračenja, kao što je navedeno u tački 10.4.1 (vidi sl. 10.31 b3). Ako se dva ili više takvih dipola pod uglom postave jedan iznad drugog, zadržaće se kružna horizontalna karakteristika (ravan E) i postići će se povećanje pojačanja antene usled usnopljavanja u ravni H. Kod dvoetažne antene sa dipolima pod uglom, dakle kod antene *lejzi ejč* savijene pod pravim uglom, može se računati sa pojačanjem od oko 3 dB. Svi podaci o dimenzijama dati za antenu *lejzi ejč* važe i za njenu savijenu verziju. Horizontalni dijagrami zračenja, koji se javljaju kada je antena savijena pod nekim drugim uglom, mogu se videti na sl. 10.31. Na njih ne utiče postavljanje dipola u više etaža.

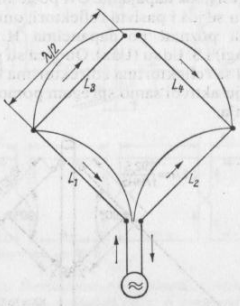
13.4.3.2. *Kvadratna antena (biskver antena)*

Kvadratna antena je jednostavna, ali nedovoljno poznata, žičana antena koja zrači u dva smera. Engleski naziv »biskver« se na našem jeziku može prevesti kao: bikvadrat, to jest kvadrat–antena koja zrači u dva smera. Na prvi pogled, kvadratna antena ne liči na antenu *lejzi ejč*, mada je ona njena direktna pojednostavljena varijanta. Na sl. 13.16 prikazana je električna šema kvadratne antene. Dužine sve četiri strane kvadrata L_1, L_2, L_3 i L_4 iznose $\lambda/2$. Strelicama je naznačen fazni položaj struja. Na slici se vidi da savijanje polovine antene pod pravim uglom obezbeđuje pobuđivanje u fazi polutalasnih delova antene od L_1 do L_4 (sve strelice usmerene su nadesno). Pri tom, delovi L_1 i L_2 mogu se posmatrati kao donji nivo, a L_3 i L_4 kao gornji nivo antene. To znači da kvadratna antena po električnoj konstrukciji i načinu rada tačno odgovara anteni *lejzi ejč*.

Kvadratna antena ima manju površinu ($P = \lambda^2/4$) od antene *lejzi ejč* ($P = \lambda^2$). Zato je pojačanje kvadratne antene oko 4 dB,



Sl. 13.15. Dvoetažna jednotalasna ugaona antena kao horizontalna antena sa kružnim zračenjem i vertikalnim usnopljenjem



Sl. 13.16. Raspodela struje kod kvadratne antene

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

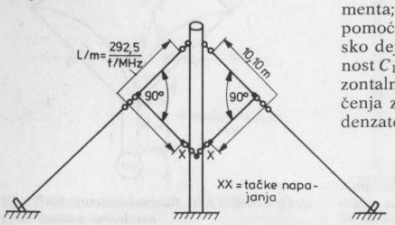
što je manje od pojačanja antene *lejzi ejč*. Kvadratna antena zahteva samo jedan noseći stub, dok su za lejzi ejč antenu potrebna dva stuba.

Skica izgradnje kvadratne antene prikazana je na sl. 13.17. Date dimenzije odgovaraju rezonanci u opsegu od 10 m. Kvadratna antena se uglavnom upotrebljava u opsegu od 10 m, jer je tada dovoljna visina stuba od 10 m. Tačka napajanja antene nalazi se tada još uvek više od $\lambda/4$ iznad tla, što odgovara zahtevu da antena mora biti udaljena od zemljine površine $\geqslant \lambda/4$.

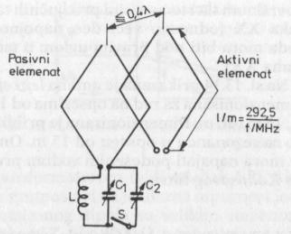
Otpornost u tački napajanja je velika (trbuh napona). Zbog toga se kvadratna antena obično pobuđuje podešenim napojnim vodom. Istovremeno, može se upotrebljavati i kao vertikalni polarizovani polutalasni dipol na polovini frekvencije.

Do sada opisane usmerene žičane antene zračile su u dva smera, odnosno na dve strane. Ako se glavno zračenje koncentriše u jednom smeru na taj način što se najveći deo povratnog zračenja reflektuje unapred, može se postići veće pojačanje antene u jednom smeru. Antene koje maksimalno zrače samo na jednu stranu nazivaju se jednostrane usmerene. Odnos između zračenja jednostrano usmerene antene i zaostalog zračenja na suprotnu stranu naziva se još i povratno slabljenje.

Postoje reflektori sa napajanjem i reflektori bez napajanja. Ovi poslednji nazivaju se još i pasivni reflektori; oni su postali poznati po Japancima H. Jagiju (Yagi) i S. Udau (Uda). Obojica su prvi radili sa reflektorima i direktorima koji postaju aktivni samo spregom pomoću zračenja.



Sl. 13.17. Kvadratna antena



Sl. 13.18. Dvostruka kvadratna antena

Opisana dvosmerna kvadratna antena može se proširiti pomoću pasivnog elementa, kao na sl. 13.18, u dvostruku kvadratnu antenu koja zrači samo na jednu stranu. Aktivni element pobuđuje se podešenim dvožičnim vodom; pasivni element je postavljen na udaljenosti $\leqslant 0{,}4\ \lambda$ (nije kritično) i može se prekopčavanjem koristiti po izboru kao direktor ili reflektor.

Podešavanje pasivnog elementa antene za delovanje kao reflektor ili kao direktor vrši se pomoću *LC* kola, koje je smešteno na njegovim priključnim tačkama. Prave vrednosti za L, C_1 i C_2 moraju se odrediti eksperimentom. Povoljno je da se stranice pasivnog elementa antene malo skrate u odnosu na stranice napajanog elementa da bi se mogao podesiti za rad kao direktor.

Proces podešavanja

Otvoriti prekidač S, pa pomoću C_1 podesiti pasivni element tako da nastupi delovanje direktora, tj. da napajani element zrači maksimalno u smeru pasivnog elementa; tada treba zatvoriti prekidač S i pomoću C_2 podesiti na najbolje reflektorsko dejstvo, ne menjajući pri tom vrednost C_1. Time je omogućeno da se u horizontalnoj ravni obrne smer glavnog zračenja za 180°. Podešene vrednosti kondenzatora više se ne menjaju. U toku rada

obrtanje karakteristike usmerenosti vrši se otvaranjem (direktorsko dejstvo) ili zatvaranjem (reflektorsko dejstvo) prekidača S. Prekidačem se, uz pomoć releja, može i daljinski upravljati.

Dodavanjem pasivnog elementa može se povećati pojačanje antene za oko 3 dB. To povećanje nastupa kada se antena pobuđuje polovinom frekvencije kao vertikalna polutalasna antena. Tada je udaljenost pasivnog elementa oko 0,2 λ, čime je, takođe, omogućeno reflektorsko, odnosno direktorsko delovanje.

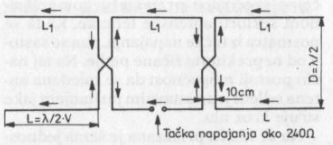
Spretan radio-amater umeće da iskoristi postojeći stub kvadratne antene i za druge oblike antena. Na primer, na ovaj stub se može postaviti još jedan isti sistem pod pravim uglom, čime će se pokriti smerovi u kojima je zračenje prve kvadratne antene jednako nuli. Stub je istovremeno zategnut u 4 smera. Bilo bi mesta i za T2FD–antenu (vidi odeljak 12.2), za pogodan kratki dipol za 80/40 m (prema sl. 10.27) ili za jednu žičanu piramidu za 40 m (prema sl. 10.30). Konačno bi se na vrh stuba mogla postaviti još i vertikalna štap–antena ili usmerena antena od 2 m.

13.4.3.3. *Antena siks šuter*

Jedna od varijanti antene *lejzi ejč* je dvosmerna antena kod koje su po tri kolinearna dipola kombinovana u dva nivoa, tako da antena obuhvata ukupno 6 napajanih polutalasnih elemenata. Amateri vole odgovarajuće skraćene oznake pa su ovoj anteni dali ime *siks šuter* (engleski: *Six Shooter* – što znači: šest strelaca). Praktično, to je antena *lejzi ejč* proširena sa dva elementa. Uz isti vertikalni ugao zračenja (ravan H) sužavaju se horizontalne lepeze dijagrama usmerenosti, a pojačanje antene povećava na oko 7 dB.

Na sl. 13.19 prikazana je ova usmerena antena. Dipoli u donjem nivou treba da budu postavljeni da slobodno vise, najmanje $\lambda/2$ iznad zemlje. Praktični podaci o dimenzijama za antenu *siks šuter* i za *šterba*–antenu dati su u tabeli 13.3.

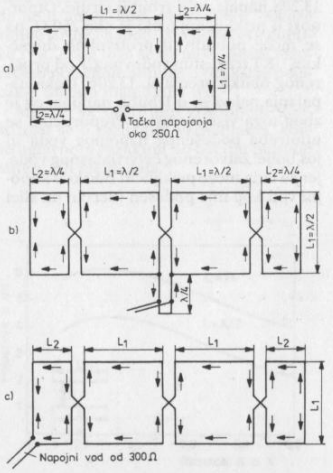
Otpornost na priključku antene iznosi oko 240 Ω, pa se zbog toga može direktno napajati proizvoljno dugačkim UKT trakastim vodom.



Sl. 13.19. Antena »siks šuter«

13.4.3.4. *Šterba–antene*

Šterba–antena, takođe, pripada grupi antena koje široko zrače u dva smera. I ona je proširenje *lejzi ejč* antene. Amateri su ovu antenu do sada retko upotrebljavali, jer ona zahteva dosta prostora. Pored toga veći *šterba*–sistemi imaju veoma uzak ugao zračenja u horizontalnoj ravni. Nasuprot tome, *šterba*–antena ima zna-



Sl. 13.20. Sterba-antene: a – jednostavan oblik, 4 elementa; b – prošireni oblik, 6 elemenata; sa centralnim napajanjem; c – 6 elemenata, napajanje na kraju

čajne specijalne primene u komercijalnom sektoru antenske tehnike. Kada se posmatra iz tačke napajanja, ona se sastoji od neprekinute žičane petlje. Na taj način postoji mogućnost da se zaleđena antena odledi jednostavnim puštanjem jake struje kroz nju.

Na sl. 13.20a prikazana je šema jednostavne *šterba*–antene, koja sa svoja 4 elementa odgovara anteni *lejzi ejč*. Oba četvrttalasna komada žice na vodoravnim krajevima antene posmatraju se kao jedan polutalasni dipol. Pojačanje ovakve jednostavne *šterba*–antene odgovara pojačanju antene *lejzi ejč*. Na sl. 13.20c prikazana je konstrukcija sa 6 elemenata. Ona po svojim osobinama u velikoj meri odgovara anteni *siks šuter*, ali ima prednost u odnosu na nju zbog većeg pojačanja (8 dB).

Šterba–antene mogu se proširiti po želji, i to obostranim umetanjem novih polutalasnih elemenata sa njima pripadajućim faznim vodovima.

Jednostavni oblik antene prema sl. 13.20a napaja se u trbuhu struje. Otpornost u priključnoj tački je oko 250 Ω, pa se može pobuđivati proizvoljno dugačkim UKT trakastim vodovima. Kod proširenog oblika prema sl. 13.20b, tačka napajanja nalazi se u trbuhu napona, pa je zbog toga visokoomska. Preporučuje se upotreba podešenog napojnog voda ili još bolje, zatvorenog četvrttalasnog voda, jer se tada može priključiti bilo koji napojni vod koji nije podešen (ucrtan na slici 13.20b). Još je jednostavnije da se ova antena napaja u trbuhu struje, na sl. 13.20c prikazano kao napajanje na kraju antene; tada se dobije otpornost u tački napajanja oko 300 Ω.

Praktične dimenzije za *šterba*–antene date su u tabeli 13.3.

Antene čiji su elementi površinski raspoređeni u obliku matrice dipola, kao što je opisano u tački 13.4.3, u literaturi se često nazivaju *kertin*–antene (engleski: curtain = zavesa). Izraz *kertin* odnosi se na spoljašnji izgled antenskog sistema i u našem jeziku odgovara pojmu matrice dipola.

Tabela 13.3

PODACI O DIMENZIJAMA ŠTERBA-ANTENA I ANTENA SIKS-ŠUTER

Radna frekvencija u MHz	Dužina L_1 u m	Dužina L_2 u m
7,0	21,34	10,67
7,05	21,16	10,58
14,0	10,67	5,33
14,2	10,54	5,27
21,0	7,09	3,55
21,2	7,02	3,51
28,0	5,36	2,68
29,0	5,18	2,59

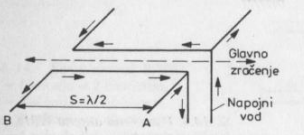
14. Dipoli sa uzdužnim zračenjem

Paralelni dipoli, koji se pobuđuju različitim položajem faze, zrače prvenstveno u smeru zajedničke ose simetrije ovih dipola; zbog toga se oni nazivaju zajedničkim pojmom *antene sa uzdužnim zračenjem*. Pojačanje i usmerenost antena sa uzdužnim zračenjem određuju međusobni razmak paralelnih elemenata antene i njihov relativni fazni pomak. Najpoznatiji oblik ovakve antene je *jagi*–antena. Na sl. 14.1 prikazan je jednostavni antenski sistem sa uzdužnim zračenjem. Oba dipola, A i B postavljeni su paralelno na međusobnom rastojanju od $\lambda/2$ i povezani su dvožičnim polutalasnim vodom. Na osnovu ucrtanih strelica koje pokazuju smer struje može se uočiti da se dipol A pobuđuje faznim pomakom od 180° u odnosu na dipol B. Ovaj način rada može da se zamisli kao da dipol A reflektuje zračenje dipola B i obratno. Zračenje se vektorski sabira, odnosno oduzima, u zavisnosti od rastojanja S i faznog pomaka. Iz toga sledi pojačano zračenje u dva smera duž konstrukcije antene u istom pravcu u kome leži dvožični vod koji spaja dipole (vidi sl. 14.1).

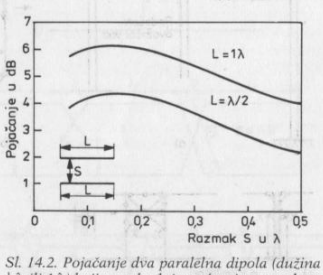
Pojačanje antene – u odnosu na jednostavni polutalasni dipol – koje je posledica usmerenog zračenja prikazano je na sl. 14.2, uz pretpostavku da fazni pomak između oba dipola iznosi 180°. Teoretsko maksimalno pojačanje od 4,3 dB dobije se kada se dva polutalasna dipola postave paralelno na međusobnom rastojanju od 0,15 λ. Ako se u sistemu upotrebe jednotalasni dipoli, teoretsko maksimalno pojačanje poraste za 1,8 dB, pa na istom međusobnom rastojanju dipola iznosi ukupno 6,1 dB.

Otpornost zračenja meri se u trbuhu struje dipola i ona kod opisanog sistema iznosi 12 Ω, odnosno 20 Ω, pri maksimalnom pojačanju antene (sl. 14.3). To znači da se u antenskom provodniku nalaze velike struje i naponi, što povećava gubitke I^2R. Zbog toga se ne može postići teoretsko pojačanje antene; u praksi je pojačanje obično manje za 1 dB.

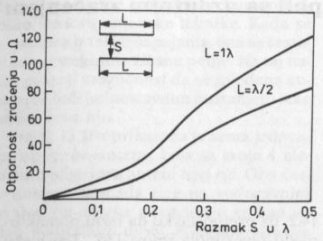
Antene sa uzdužnim zračenjem konstruišu se u različitim varijantama, koje se uglavnom razlikuju po načinu pobude antenskih elemenata.



Sl. 14.1. Pobuda i smer struje antene sa uzdužnim zračenjem



Sl. 14.2. Pojačanje dva paralelna dipola (dužina ½ λ ili 1 λ) koji se pobuđuju sa faznim pomakom od 180°, u zavisnosti od rastojanja S (antena W8JK)



Sl. 14.3. Otpornost zračenja u trbuhu struje dipola (dužine ½λ ili 1 λ) kod sistema sa dva paralelna dipola sa faznim pomakom pobude od 180°, u zavisnosti od razmaka S (antena W8JK)

14.1. Usmerene antene po amateru *W8JK*

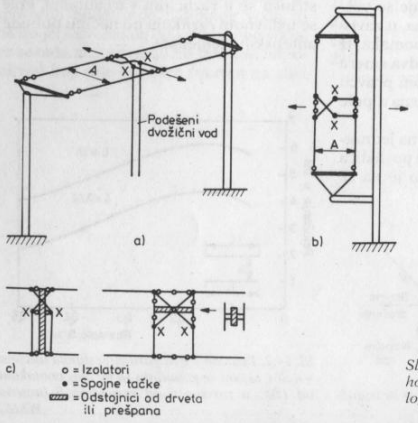
Poznatu usmerenu antenu sa uzdužnim zračenjem razvio je J. D. Kraus i ona nosi naziv *W8JK–bim* (engl.: beam, što znači zrak, usmereni mlaz). Na sl. 14.4 prikazan je spoljašnji izgled antene u slučaju horizontalne (sl. 14.4a) i vertikalne (sl. 14.4b) polarizacije. Strelicama su naznačeni glavni smerovi zračenja ovog antenskog sistema.

Antene *W8JK* mogu se izgrađivati u različitim veličinama i sa različitim napajanjem. Pri tom razmak A uvek iznosi λ/8 do λ/4, a fazni pomak je 180°.

Najmanja antena *W8JK* sastoji se od dva paralelna polutalasna dipola (sl. 14.5a). Kod sledeće po veličini polutalasni dipoli su zamenjeni jednotalasnim dipolima (sl. 14.5b). Ona se naziva i antenom *W8JK* sa 2 sekcije. Mogu se izraditi i antene sa 3, 4 ili više sekcija, ali se veoma retko upotrebljavaju (sl. 14.5c i 14.5d).

U tabeli 14.1 dati su svi praktični podaci o dimenzijama za usmerene antene *W8JK* različitih veličina (koje su izgrađene kao na sl. 14.5 na kojoj su navedene i teoretske vrednosti pojačanja tako dimenzionisanih antena).

Antena *W8JK* sa jednom sekcijom (razmak A = λ/8) može se istovremeno koristiti i za opseg na višim harmonicima kao antena sa dve sekcije i sa razmakom A od λ/4. Ako se pobuđuje podešenim napojnim vodom, moguće je pobuđivanje i sa četvrtim harmonikom. Tada se kolinearni dipoli više ne pobuđuju u fazi, a dijagram *E* zbog toga dobija oblik deteline od 4 lista, kao na sl. 11.1a. Antene *W8JK* sa centralnim napajanjem pobuđuju se u tačkama XX u trbuhu napona. Ako se želi koristiti prilagođeni napojni vod, npr.,



Sl. 14.4. Usmerena antena W8JK: a – horizontalna, b – vertikalna, c – predlog konstrukcije ukrštenih spojnih vodova

Tabela 14.1

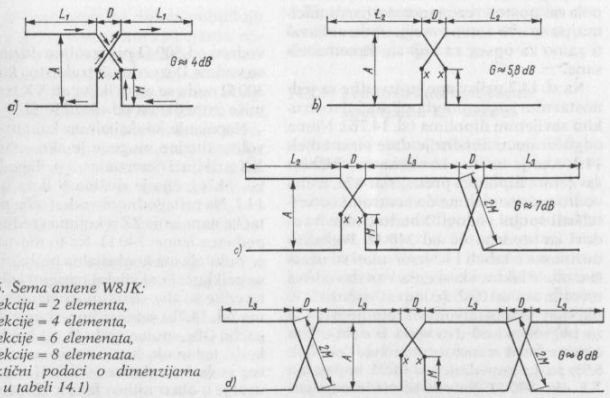
PODACI O DIMENZIJAMA ANTENA W8JK IZGRAĐENIH PREMA sl. 14.5

Prekinuti opseg u kHz	Razmak A		Dužine			Prilagodni vod			
	u λ	u m	L_1 u m	L_2 u m	L_3 u m	M u m	D u m	S u m	B u m
7000 do 7150	0,125	5,28	10,36	18,29	16,05	2,69	1,22	7,93	1,22
14000 do 14350	0,125	2,64	5,18	9,14	8,03	1,35	0,61	3,96	0,61
	0,15	3,18	5,18	9,14	7,70	1,63	0,61	3,65	0,61
	0,20	4,24	5,18	9,14	6,96	2,18	0,61	3,05	0,91
	0,25	5,29	5,28	9,14	6,30	2,69	0,61	2,44	1,22
21000 do 21450	0,15	2,13	3,50	6,17	5,20	1,09	0,51	2,88	0,40
	0,25	3,55	3,50	6,17	4,26	1,82	0,51	2,06	0,80
28000 do 29000	0,15	1,58	2,59	4,57	3,84	0,81	0,46	2,13	0,30
	0,25	2.64	2,59	4,57	3,15	1,35	0,46	1,52	0,60
29000 do 30000	0,15	1,53	2,51	4,42	3,71	0,79	0,46	2,13	0,30
	0,25	2,54	2,51	4,42	3,05	1,32	0,46	1,52	0,60

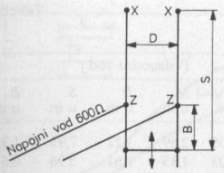
dvožični vod od 600 Ω proizvoljne dužine, čiji su gubici veoma mali, najpovoljnije je da se prilagođenje izvrši pomoću četvrttalasnog voda za prilagođenje (vidi odeljak 6.6). Zatvoreni prilagodni vod (sl. 14.6) priključuje se na napojnu tačku XX. Orijentacione vrednosti dimenzija antene i približni položaji priključnih tačaka ZZ za prilagođeni vod od 600 Ω date su u tabeli 14.1 (dimenzije *S* i *B* prema sl. 14.6).

Da bi se olakšalo podešavanje, kratak spoj na kraju prilagodnog voda treba da bude pomičan. Zbog toga je pogodno da prilagodni vod bude i nešto duži od dimenzija datih u tabeli 14.1.

Ako se usvoji napajanje koaksijalnim kablom proizvoljne dužine, prilagodni vod se mora izvesti tako da se na priključku ZZ dobije impedanca od 240 do 300 Ω. U tom slučaju, koaksijalni kabl proizvolj-



Sl. 14.5. Sema antene W8JK:
a – 1 sekcija = 2 elementa,
b – 2 sekcije = 4 elementa,
c – 3 sekcije = 6 elemenata,
d – 4 sekcije = 8 elemenata.
(Praktični podaci o dimenzijama dati su u tabeli 14.1)



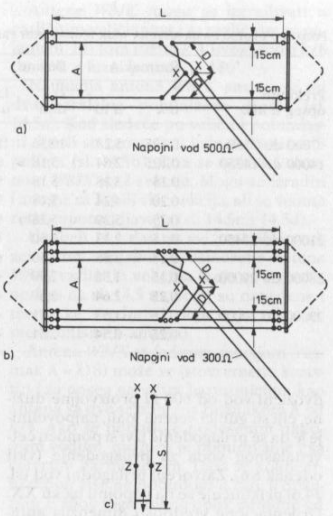
Sl. 14.6. Prilagodni vod za antenu W8JK (dimenzije su date u tabeli 14.1)

ne dužine može se priključiti pravilno u pogledu impedance i simetrije (poglavlje 7.5), preko polutalasne petlje koaksijalnog kabla.

14.1.1. Antene *W8JK* sa elementima u obliku savijenog dipola

Ako se dipoli jednostavne antene *W8JK* (jedna sekcija) izvedu kao savijeni dipoli, povećaće se otpornost zračenja i širina opsega. Tada teku manje struje, pa su i gubici u provodnicima manji, a to znači da je stepen korisnog dejstva antene veći nego kod antene *W8JK* sa pruženim dipolima. Primena savijenih dipola omogućava da se postigne skoro teoretsko pojačanje antene. Kod savijenih dipola ne postoji rezonanca na harmonicima, pa se ove antene mogu upotrebljavati samo za opseg za koji su dimenzionisane.

Na sl. 14.7 prikazane su izvedbe sa jednostavnim savijenim dipolima i dvostrukim savijenim dipolima (sl. 14.7b). Njima odgovarajuće dimenzije date su u tabeli 14.2. Ako je antena izvedena sa običnim savijenim dipolima prema sl. 14.7a, treba voditi računa o tome da centralni četvrttalasni spojni vodovi D budu trakasti vodovi sa otpornošću od 240 Ω. Podaci o dužinama u tabeli 14.2 izračunati su uzevši u obzir faktor skraćenja *V* ovih vodova u vrednosti od 0,82. Jedan od vodova D je ukršten jednostavnim okretanjem voda za 180°. Svaki od dva voda D deluje kao četvrttalasni transformator (vidi odeljak 6.5), pa je impedanca u tački napajanja XX oko 500 Ω. Antena se može napajati



Sl. 14.7. Antene W8JK izgrađene od savijenih dipola: a – W8JK sa savijenim dipolima, vodovi D od trakastog voda od 24o Ω; b – W8JK sa dvostrukim savijenim dipolima vodovi D od trakastog voda od 300 Ω; c – vod za prilagođenje uz a i b

vodom od 500 Ω proizvoljne dužine. Ako se vodovi D izvedu od trakastog kabla od 300 Ω onda se na priključak XX transformiše impedanca od oko 750 Ω.

Napajanje koaksijalnim kablom proizvoljne dužine moguće je ako se u tačku XX priključi četvrttalasni prilagodni vod (sl. 14.7c), čija je dužina *S* data u tabeli 14.2. Na prilagodnom vodu treba pronaći tačke napajanja ZZ u kojima vrednost impedance iznosi 240 Ω. Na to mesto ubaci se polutalasna koaksijalna petlja, a na nju se priključi koaksijalni napojni kabl. Kod izvedbe sa dvostrukim savijenim dipolima (sl. 14.7b) odnosi impedance su drugačiji. Oba spojna voda D, od kojih je, takođe, jedan ukršten, sastoje se od trakastog voda impedance 300 Ω. U tabeli 14.2 uzet je u obzir njihov faktor skraćenja od

Tabela 14.2

PODACI O DIMENZIJAMA ZA ANTENE W8JK IZGRAĐENE OD SAVIJENIH DIPOLA – VIDI SLIKU 14.7

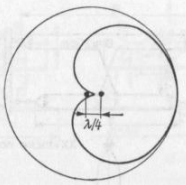
Amaterski opseg u MHz	Razmak A u m	Dužine L u m	Dužine D u m	Prilagodni vod S u m
7	6,61	19,61	8,74	10,50
14	3,53	9,80	4,37	5,25
21	2,30	6,56	2,90	3,53
28	1,55	4,73	2,17	2,55

0,82. Impedanca tačke XX tada iznosi oko 300 Ω, pa se antenski sistem može direktno napajati trakastim vodom od 300 Ω proizvoljne dužine. Ako su vodovi D izvedeni od trakastog voda od 240 Ω, onda se na antenski priključak u tački XX može direktno vezati prilagođeni vod od 240 Ω. U oba slučaja postoji i mogućnost da se u tački XX priključi polutalasna koaksijalna petlja i da se antena napaja koaksijalnim kablom proizvoljne dužine.

14.2. Antene sa uzdužnim zračenjem i jednostranom karakteristikom usmerenosti

Ako se dva paralelna dipola pobuđuju istim, ali fazno pomerenim strujama, njihov dijagram zračenja postaće na određenim razmacima i faznim pomacima usmeren na jednu stranu. Na primer, dijagram zračenja postaje kriva u obliku srca kardioida, ako je razmak paralelnih dipola ¼ λ i ako se oni istovremeno pobuđuju sa faznim pomakom od 90°. Isti efekat usmerenosti javlja se i na razmaku dipola od 3/8 λ, pri faznom pomaku od 45°, kao i na razmaku λ/8 uz fazni pomeraj od 135°.

Željeni fazni pomak napajanja postiže se tako što se drugi dipol napaja preko prilagodnog voda (petlje), čija električna dužina odgovara zahtevanom faznom pomaku (vidi sl. 1.1). Na primer, ako je električna dužina voda ¼ λ, onda on prouzrokuje fazni pomak od 90° (¼ λ = ¼ pune periode od 360° = 90°).



Sl. 14.8. Srcasti (kardioidni) dijagram zračenja antene sa dva paralelna dipola na udaljenosti 1/4 λ, koji se pobuđuju sa faznim pomakom od 90° (važi i za razmak od 3/8 λ i fazni pomak od 45°, kao i za razmak od 1/8 λ i fazni pomak od 135°)

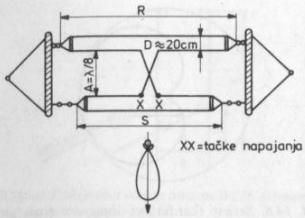
Polja oba paralelna dipola koji se pobuđuju sa faznom razlikom od 90°, zbrajaju se u određenim smerovima, tj. na onim mestima u prostoru, na kojim fazna razlika polja iznosi 360° (polja su u fazi). Ona se poništavaju tamo gde postoji fazni pomak od 180° (polja su u protivfazi). Raspodela maksimuma zračenja, poništavanja zračenja i međuvrednosti između ta dva ekstremna slučaja daje karakteristiku zračenja. Ona je pri razmaku od λ/4 i faznom pomaku od 90° kriva u obliku kardioide, kao na sl. 14.8. Iz toga sledi da je ugao zračenja veliki u smeru zračenja, a da je zračenje na suprotnu stranu veoma malo.

Tipične antene sa jednosmernim zračenjem duž njihove ose biće opisane u sledećim poglavljima.

14.2.1. Jednostrano usmerena specijalna ZL–antena

Antenski sistem prikazan na sl. 14.9, po spoljašnjem izgledu, sličan je anteni *W8JK* sa savijenim dipolima (vidi sl. 14.7a), ali se po načinu delovanja razlikuje od nje. Savijeni dipol R, koji služi kao reflektor, duži je oko 5% od dipola S. Razmak između dipola i reflektora iznosi λ/8. Ukršteni spojni vod od λ/8 obezbeđuje pobuđivanje reflektora sa faznim pomakom od 135°. Električna dužina voda od λ/8 odgovara faznom uglu od 45°; budući da je vod ukršten faza se menja još za 180°. Iz toga proizlazi ukupni fazni pomak od 180° – 45° = 135°.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 14.9. Jednostrano usmerena specijalna ZL-antena

Tabela 14.3

PODACI ZA DIMENZIONISANJE SPECIJALNE ZL-ANTENE PREMA sl. 14.9

Amaterski opseg u MHz	Razmak *A* u m	Dužina *S* u m	Dužina R u m
7	5,16 (4,23)	20,57 (16,87)	21,70 (17,80)
14	2,58 (2,12)	10,30 (8,45)	10,85 (8,90)
21	1,72 (1,41)	6,85 (5,62)	7,24 (5,94)
28	1,29 (1,06)	5,09 (4,17)	5,39 (4,42)

Glavni smer zračenja je kolinearan sa osom simetrije antene, a upravljen od reflektora prema dipolu, kao što je ucrtano na sl. 14.9. Pojačanje antene u glavnom smeru zračenja iznosi oko 5 dB, a povratno slabljenje je oko 20 dB.

Impedanca u tački napajanja XX iznosi 90 Ω. Direktno napajanje koaksijalnim kablom od 75 Ω bilo bi još moguće sa podnošljivim odnosom stojećih talasa, pri čemu se preporučuje simetriranje kabla. Mogao bi se upotrebiti i oklopljeni vod od 120 Ω uz malu talasnost. Električki povoljno rešenje je da se u tački napajanje XX priključi četvrttalasni transformator (vidi odeljak 6.5), napravljen od trakastog voda od 240 Ω. Tada će na njegovom priključku impedanca biti 600 Ω, pa se napajanje može vršiti »kokošijim lestvicama« od 600 Ω bez gubitaka.

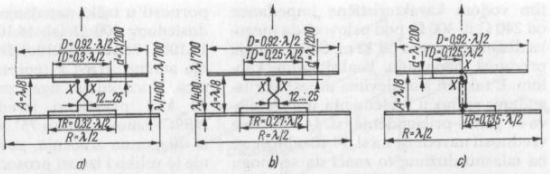
Antene izrađene do savijenih dipola mogu se koristiti samo za rad na jednom opsegu. Obrtanjem horizontalno zavešenog antenskog sistema oko uzdužne ose, smer glavnog zračenja može se obrnuti za 180°. Tome u većini slučajeva smetaju mehaničke prepreke. Opisana antena može se obeisiti i vertikalno uz istu efikasnost. Odgovarajućim obrtanjem oko vertikalne ose mogu se maksimalnim pojačanjem pokriti sve strane sveta.

Oba savijena dipola prave se od uobičajene antenske pletenice (»licne«). Ako se specijalna ZL–antena radi za amaterske KT opsege razmak *D* treba da bude oko 20 cm. Cela antena može se izraditi i od standardnog UKT trakastog voda, ali se tada mora prihvatiti smanjena snaga. Sve dužine treba pomnožiti sa faktorom skraćenja upotrebljenog trakastog voda (uzeti u obzir izlaganja iz tačke 10.1.4). Budući da se i spojni vod sa reflektorom skraćuje za oko 20%, mora se i rastojanje A skratiti na samo λ/10. To uslovljava izobličenje dijagrama zračenja, a i smanjenje otpornosti zračenja antenskog priključka na oko 60 Ω. Znači, u slučaju ovakvog kompromisnog rešenja sistem se može direktno napajati koaksijalnim kablom od 60 Ω.

U tabeli 14.3 date su potrebne dimenzije za izgradnju specijalne ZL–antene prema sl. 14.9. Vrednosti u zagradama važe za antene od UKT trakastog voda sa faktorom skraćenja od 0,82 i na dipolu i reflektoru označavaju mesta na koja treba ubaciti mostove za kratak spoj (sl. 10.5).

14.2.2. **Jednostrano usmerena antena po amateru** *HB9CV* (švajcarska antena)

Jednosmerno usmerena antena po amateru *HB9CV* je srodnik specijalne ZL–antene. Ova antena se u UKT području naziva i švajcarska antena zbog toga što ju je razvio švajcarski radio-amater R. Baumgartner. Antena *HB9CV* je antena sa dva napajana elementa. Za njenu izradu potrebno je znatno manje materijala i manje prostora nego za specijalnu ZL–antenu. U stvari, ova antena treba da bude kruta i izrađena od cevi od lakog metala. Međutim, može se izraditi i od



Sl. 14.10. Antena po amateru HB9CV

žice na način primenjen kod antene *W8JK*.

Električna šema jednostrano usmerene antene *HB9CV* data je na sl. 14.10. To su dva nejednako duga dipola, postavljena paralelno na međusobnom razmaku od λ/8. Oba dipola se napajaju, a osim toga međusobno su spregnuta zračenjem. Kod odabranog razmaka od λ/8 javlja se najbolje jednosmerno usmereno dejstvo ako se elementi mapajaju tako da između njih postoji fazni pomak od 225°. Kod antene *HB9CV* ukrštanjem spojnog voda postiže se fazni pomak od 180°. Vremenska razlika u proticanju struje od tačke napajanja preko spojnog voda od λ/8 prouzrokuje dodatno pomeranje faze za 45°, pa se dobije zahtevana fazna razlika pri pobuđivanju. Istovremeno, mora postojati ista fazna razlika pri sprezi usled zračenja između oba elementa, jer bi u suprotnom slučaju sprega usled zračenja delovala direktno protiv napajanja. To se događa tako što se kao što je uobičajeno kod *Jagi*–antena, skrati prednji element (direktorsko dejstvo) i produži stražnji element (reflektorsko dejstvo). Osim toga, dužine elemenata treba odrediti tako da se induktivna reaktivna komponenta reflektora i kapacitivna komponenta direktora, uključujući reaktivne komponente unesene T–prilagođenjem, kompenziraju u tački napajanja. Na taj način dobije se čista aktivna otpornost u tački napajanja, pa se antena može napajati bez refleksije.

Oba elementa antene pobuđuju se preko T–prilagođenja (odnosno gama–prilagođenja) koja su međusobno spojena faznim vodom. T–elementi na dipolima zahvataju impedancu koja odgovara napojnom vodu. To znači da se u celom sistemu napajanja nalaze progresivni talasi. Zbog toga bi bilo luksuzno da se T–elementi i fazni vod izrade od skupih cevi. Sasvim su dovoljni provodnici sa PVC izolacijom koji se upotrebljavaju za električne instalacije u kućama (puna žica u PVC omotaču, prečnik provodnika po mogućnosti veći od 2 mm). Za antenu *HB9CV* fazni vod se mora konstruisati prema sledećem:

a – da fazni vod ne bi zračio, razmak između njegovih provodnika mora biti između 12 mm i maksimalno 25 mm. Razmak unutar ovih granica nije kritičan. Karakteristična impedanca faznog voda nema veliki značaj kod male dužine od λ/8.

b – da bi se sprečio međusobni kratki spoj provodnika ili galvanski dodir ostalih metalnih delova, fazni vod mora biti izolovan. Fazni vodovi sa PVC izolacijom montiraju se malo dalje od poprečnog nosača, ali i kada su položeni uz poprečni nosač praktična funkcija antene se ne menja, jer sama PVC izolacija provodnika uvek obezbeđuje određeni minimalni razmak.

c – električna dužina faznog voda treba da bude λ/8. Poznato je da je brzina prostiranja talasa po izolovanim provodnicima manja od brzine prostiranja svetlosti. Kod provodnika sa PVC izolacijom faktor skraćenja je oko 0,9. Električnoj dužini od λ/8 odgovara 10% kraća mehanička dužina. Postavljanje T–elemenata ili gama–elemenata u ravni dipola utiče na to da dipoli ostanu na geometrijskom razmaku A od λ/8. Praktični eksperimenti su pokazali da dužine faznih vodova mogu odstupati za ± 10% bez vidnih posledica.

Antena *HB9CV* može se do snaga od 200 W napajati uobičajenim UKT trakas-

tim vodom karakteristične impedance od 240 Ω ili 300 Ω, pod uslovom da njegova dužina nije veća od 12 m. Često se daje prednost napajanju koaksijalnim kablom. U takvim slučajevima umesto prilagođenja pomoću T–elementa, upotrebljava se gama–prilagođenje (sl. 14.10c). Sve vrednosti navedene na sl. 14.10 odnose se na talasnu dužinu; to znači da se mogu proračunati antene *HB9CV* za bilo koju frekvenciju. To su vrednosti koje je dobio i u toku svoga rada proverio amater *HB9CV*.

Ako antenu HB9CV treba izgraditi od žice na sličan način kao antenu *W8JK*, onda treba voditi računa o sledećem: Zbog malog otpora zračenja u anteni se javljaju velike struje. Zato se moraju odabrati što deblje žice dobre površinske provodljivosti. Na krajevima dipola su takođe visoki naponi. Zbog toga su potrebni kvalitetni i dovoljno dugi izolatori. Kada su elementi dipola izrađeni od žice, oni moraju biti nešto duži od elemenata izrađenih od cevi. Predlaže se da dužina reflektora bude 1,02 · λ/2, a dužina direktora 0,94 · λ/2.

Ako je odnos stojećih talasa prevelik, treba pokušati da se talasnost smanji promenom dužine dipola. Pri tom treba voditi računa da razlika dužine reflektora i direktora uvek mora iznositi 8%.

U tabeli 14.4 date su izračunate i proverene dimenzije za antene *HB9CV* sa krutim elementima (cevi od aluminijumske legure) za tri visokofrekventna amaterska opsega na kratkim talasima.

Za dužine TD i TR navedene su po tri vrednosti. One se odnose na različite otpornosti u tački napajanja, sledećim redosledom: 300 Ω (sl. 14.10a), 150 Ω (sl. 14.10b) i 75 Ω (sl. 14.10c). Dijagram zračenja antene *HB9CV* teoretski, ima oblik srca. Horizontalni ugao zračenja (ravan *E*) kod praktično izvedenih antena *HB9CV* iznosio je oko 75°. Kao što se vidi iz dijagrama zračenja, povratno slabljenje je veliko i iznosi prosečno 20 dB. Budući da povratno slabljenje zavisi od upadnog i refleksionog ugla u vertikalnoj ravni, naročito kod antena u jednoj ravni, u praksi su izmerene vrednosti između 10 dB i 40 dB. Kada je antena *HB9CV* besprekorno izgrađena, može se očekivati pojačanje od oko 5 dB. Međutim u izveštajima često se navodi da je u pogledu pojačanja antena *HB9CV* bolja od *jagi*–antene sa tri elementa.

Tabela 14.4

PODACI O DIMENZIJAMA ZA USMERENE ANTENE HB9CV PREMA sl. 14.10

Amaterski opseg f_{rez}	od 20 m 14150 kHz	od 15 m 21200 kHz	od 10 m 28500 kHz
Dužina direktora *D*	9,74	6,52	4,84
Dužina reflektora *R*	10,60	7,08	5,26
Razmak *A*	2,65	1,77	1,32
Dužina TD	3,18/2,65/1,33	2,12/1,77/0,89	1,58/1,320/0,66
Dužina TR	3,43/2,86/1,43	2,29/1,91/0,95	1,70/1,42/0,71
Razmak *d*	0,12	0,09	0,06

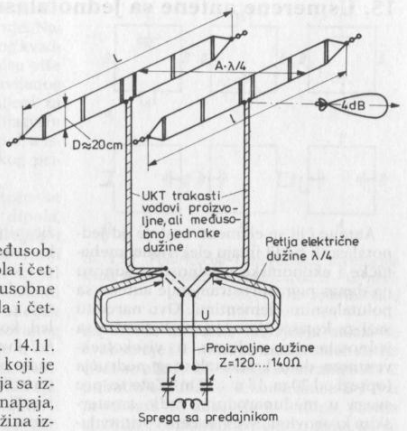
Svi podaci dati su u m.

14.2.3. **Jednostrano usmerena antena sa dva elementa i mogućnošću promene smera zračenja**

Na sl. 14.11 prikazana je još jedna jednosmerno usmerena antena, čiji se smer zračenja može promeniti za 180° električnim putem. Antena ima dva paralelna savijena dipola na međusobnom rastojanju od λ/4. Oba dipola su iste dužine, a svaki je priključen na jedan UKT trakasti vod. Vodovi mogu biti proizvoljno dugački, ali im dužine moraju biti jednake. Oba trakasta voda spojena su na svom kraju preko voda, čija je električna dužina λ/4 i koji je od istog materijala.

Dvostruki preklopnik ili odgovarajući relej omogućava, da se, po želji, sa izla-

Sl. 14.11. Jednostrano usmerena antena sa dva elementa i mogućnošću biranja smera zračenja



zom predajnika spoje ili tačke međusobne veze napojnog voda prvog dipola i četvrttalasnog voda, ili tačke međusobne veze napojnog voda drugog dipola i četvrttalasnog voda.

Način rada prikazan je na sl. 14.11. Uvek se jedan od dipola – onaj koji je predviđen da zrači – direktno spaja sa izlazom predajnika. I drugi dipol se napaja, ali preko petlje čija električna dužina iznosi λ/4. Na taj način je pobuda ovog dipola pomerena za 90°, pa on deluje kao reflektor.

Jednostavnim preklapanjem, kao što je prikazano na sl. 14.11, glavni smer zračenja može se obrnuti za 180°. Položaj preklopnika prikazan na slici odgovara ucrtanom smeru glavnog zračenja.

Vod od preklopnika do izlaznog stepena predajnika može biti proizvoljne dužine. Ipak, treba voditi računa da karakteristična impedanca ovog voda bude oko 120 do 150 Ω. Naročito je dobar okopljeni simetrični dvožični vod sa karakterističnom impedancom 120 Ω.

Tabela 14.5

PODACI O DIMENZIJAMA ZA ANTENU SA DVA ELEMENTA PREMA sl. 14.11

Amaterski opseg u MHz	Dužina *L* u m	Razmak *A* u m	Dužina petlje u m	četvrttalasne
7	20,57	10,64	8,72	} $V = 82$
14	10,30	5,32	4,36	
21	6,85	3,54	2,90	
28	5,09	2,65	2,17	

Vertikalni dijagram zračenja ove antene je, takođe, u obliku srca, a povratno slabljenje iznosi prosečno 20 dB. Može se očekivati pojačanje antene od oko 4 dB.

Ovaj antenski sistem može se, takođe, koristiti samo za rad na jednom opsegu. U tabeli 14.5 dati su svi podaci o dimenzijama koji su potrebni za izgradnju ovakve antene.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 14

Appelt, W.: Eine stabile HB9CV–Antenne fuer Fahrzeuge, »UKW–Berichte« 7 (1967), sveska 1, strana 14, Verlag Hans J. Dohlus, Erlangen

Baumgartner, R.: Die HB9CV–Richtstrahlantenne, W. Koerner–Verlag, Stuttgart 1961

Kneitel, T.: Antenna Roundup, Vol. 2, strana 65, Modified »ZL« Special, Cowan Publishing Corp., Port Washington, New York 36, N. Y. 1966

Luz, H.: Eine zerlegbare HB9CV–Richtantenne zum DL6SW–Funksprechgeraet »UKW–Berichte« 3 (1963), sveska 3, strana 150, Verlag Hans J. Dohlus, Erlangen

15. Usmerene antene sa jednotalasnim petljama

Antene čiji se elementi sastoje od jednotalasnih petlji imaju električne, mehaničke i ekonomske prednosti u odnosu na danas najrasprostranjenije antene sa polutalasnim elementima. Ovo naročito važi za korišćenje usmerenih antena sa jednotalasnim petljama u visokofrekventnom delu kratkotalasnog područja (opsezi od 20 m, 15 m i 10 m). Zato se, pre svega u međunarodnim radio-amaterskim krugovima, sve više ceni i primenjuje ova vrsta antena. Njen najpoznatiji predstavnik je tzv. *kjubikal–kvad* (Cubical–Quad = kockasti kvadrat), koja se može nazvati praoblikom ove grupe antena.

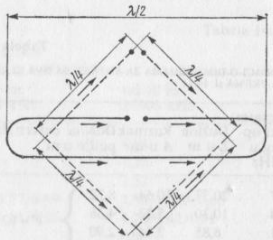
Nastanak prvog *kjubikal–kvada* ima i malu istoriju. U 1938. godini je u ekvadorskom gradu Kvito (Quito) izgrađena radio-stanica *HCJB*. Za njenu antenu je iskorišćena usmerena antena sa 4 elementa. Ona je prvih nekoliko dana dobro služila, ali je odmah posle toga postala neupotrebljiva. Na nadmorskoj visini od 3000 m, na kojoj se nalazila lokacija stanice u Andima, atmosfera je povremeno bivala jonizovana, pa se na krajevima antenskih elemenata stvarao intenzivni korona–efekt koji je konačno izazivao pražnjenje električnim lukom. Pri tom se razvijala velika toplota od koje su se topili krajevi debelih aluminijumskih cevi, pa je tečni metal padao na zemlju u velikim kapljicama. Da bi se to izbeglo, na krajeve antenskih elemenata su postavljene šuplje bakarne kugle prečnika oko 15 cm. Nakon toga korona–pražnjenje se javljalo mnogo ređe i to samo po vlažnom vremenu.

Klerens C. Mur (Clarence C. Moore), inženjer u pomenutoj stanici, došao je do zaključka da bi se primenom zatvorenih žičanih petlji, dužine jednog talasa, moglo potpuno izbeći pražnjenje usled korone. Na taj način je, u Kvitu 1942. godine, nastala prva *kjubikal–kvad* antena. Time nije rešen samo problem pražnjenja usled korone, već se pokazalo da *kjubikal–kvad* antena, pored toga što zahteva malo prostora, poseduje i odlične karakteristike zračenja. Danas je ta antena najomiljeniji oblik radio-amaterske KT antene, pa se sa pravom često naziva »kraljicom DX antena«.

15.1. Kvad element

Najpoznatiji oblik jednotalasne petlje je savijeni dipol (vidi odeljak 4.1). Iz njega se može izvesti *kvad*–element i njegove varijante.

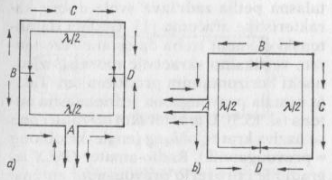
Ako se horizontalni savijeni dipol razvuče vertikalno, (sl. 15.1) dobiće se kvadrat koji stoji na jednom svom vrhu i čija je stranica $\frac{1}{4}\lambda$. Tok struje u takvom deformisanom savijenom dipolu odgovara toku struje u normalnom savijenom dipolu, što se vidi i prema ucrtanim strelicama koje predstavljaju smer struje. Naprotiv, oba maksimuma struje ovog kvadratnog punotalasnog elementa nisu više tako čvrsto spregnuti kao kod savijenog dipola, već su međusobno udaljeni za oko 0,35 λ. Zbog toga se menja dijagram zračenja u odnosu na savijeni dipol, a istovremeno se otpornost antenskog priključka smanjuje na oko 120 Ω.



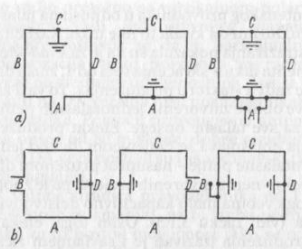
Sl. 15.1. Razvoj kvad-elementa iz savijenog dipola

Jednotalasni *kvad*–element može se posmatrati kao dva polutalasna dipola, koji su postavljeni jedan iznad drugog i napajaju se u fazi; to je najjednostavniji oblik dipola postavljenih jedan iznad drugog. Kao što je poznato, takvi sistemi vrše usnopljavanje u ravni *H* (vidi odeljak 13.3), tj. kod horizontalno polarizovanog *kvad*–elementa javlja se pojačanje u odnosu na polutalasni dipol, koje je posledica smanjenja vertikalnog ugla zračenja. Ova činjenica potvrđena je i merenjima u laboratoriji ARRL (engleski: American Radio Relay League = Američki radio-relejni savez), gde je utvrđeno da je pojačanje jednostavnog *kvad*–elementa za 1 dB veće od pojačanja polutalasnog dipola (sl. 15.1, isprekidana linija).

Kod najvećeg broja praktično izvedenih *kvad*–elemenata primenjuje se oblik prikazan na sl. 15.2. Prema strelicama ucrtanim za označavanje smera struje vidi se da se horizontalni delovi (sl. 15.2a) i vertikalni delovi (sl. 15.2b) pobuđuju u fazi. Znači, to je linearna polarizacija. U priključnim tačkama napajanja A vladaju isti odnosi struje kao kod svakog polutalasnog dipola. Antena se napaja u trbuhu struje, obe grane dipola pobuđuju se u fazi (strelice su okrenute u istom smeru). Na spoljašnjim krajevima B i D obeju grana dipola uz tačku napajanja nalazi se čvor struje i u njima se menja smer struje (vidi strelice). Zbog toga se stranice A i C pobuđuju u fazi, dok su stranice B i D u protivfazi. To znači da je anfena, prema sl. 15.2a, horizontalno polarizovana, jer se obe horizontalne stranice *kvad*–elementa pobuđuju u fazi. Međutim, ako se napaja jedna vertikalna strana, kao što je prikazano na sl. 15.2b, onda su horizontalne stranice u protivfazi. Zato se ovde radi o vertikalnoj polarizaciji. Kod *kvad*–elementa može se odrediti polarizacija odgovarajućim izborom tačke napajanja A: – napajanje na vodoravnoj strani = horizontalna polarizacija, – napajanje na uspravnoj strani = vertikalna polarizacija.



Sl. 15.2. Tok struje kod kvad-elementa: a – horizontalno polarizovan, b – vertikalno polarizovan



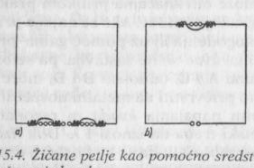
Sl. 15.3. Polarizacija i mogućnost uzemljenja kvad: a – horizontalna polarizacija, b – vertikalna polarizacijanj

Tačno preko puta tačke napajanja *kvada* nalazi se minimum napona; u toj tački se *kvad* može uzemljiti. Na sl. 15.3 dat je pregled načina napajanja i uzemljenja *kvad*–elemenata sa horizontalnom i sa vertikalnom polarizacijom. Što se tiče načina rada, sasvim je svejedno da li se *kvad* za horizontalnu polarizaciju napaja u tački A ili u tački C, odnosno za vertikalnu polarizaciju, u tački B ili D. Ova konstatacija može biti značajna prilikom praktične izgradnje antene. Ako se napaja preko T–prilagođenja ili uz pomoć gama–prilagođenja, *kvad* se ne rastavlja, pa se on u tačkama A i C, odnosno B i D, može direktno pričvrstiti na metalni noseći stub.

Obim napajanja *kvada* za rezonancu teoretski treba da iznosi 1 λ. Dok fizički razlozi zahtevaju da se kod ostalih dipola uvek računa sa mehaničkim skraćenjem antenskog provodnika u odnosu na talasnu dužinu od *kvada* to nije tako. Različita istraživanja pokazala su da je za *kvad*–elemente faktor skraćenja veći od 1, znači da se radi o »faktoru produženja«. To važi za sve oblike zatvorenih jednotalasnih petlji i za sve talasne opsege. Efekat produženja objašnjava se činjenicom da kod jednotalasne petlje – nasuprot pruženom dipolu – nema otvorenih krajeva, pa je zbog toga veoma malo kapacitivno dejstvo ivica (vidi tačku 3.1.5). Osim toga, efekat produženja izazivan je i savijanjem žica pod uglom. Slična je situacija kod savijenog dipola, kod koga se prilikom dimenzionisanja za rezonancu ne uzima u obzir dužina delova voda koji određuju razmak oba paralelna provodnika. Kada bi se uzeo u obzir i taj razmak, ukupna dužina provodnika savijenog dipola bila bi, takođe ≥ 1 λ. Kod *kvada* se ukupna dužina mora povećati na 1,02 λ do 1,03 λ. Raniji podaci o dužinama stranica *kvad*–antena većinom su premali. Kod tako prekratkih konstrukcija rezonanca se postizala pomoću reaktivnih vodova (prilagodnih ogranaka).

Kod žičanog *kvada* postoji mogućnost naknadne korekcije rezonance (sl. 15.4). Pri tom, ukupna dužina žice mora biti malo manja nego što je potrebno. Sa obe strane tačke napajanja obesi se po jedan izolator koji se premosti žičanom petljom. Povećavanjem ili smanjivanjem žičane petlje postiže se fino podešavanje na tačnu željenu rezonancu. Sa istim uspehom, ali jeftinije, može se podešavati i u tački koja se nalazi na suprotnoj strani od tačke napajanja (sl. 15.4b). Tada je potreban samo jedan izolator sa žičanom petljom.

Kod svih kratkotalasnih antena rezonantna frekvencija je pomerena u odnosu na njenu teorijsku vrednost, i to zato što se u ovom talasnom području obično ne može postaviti antena na takvu visinu da se mogu zanemariti uticaji tla i okoline. Što je antena postavljena bliže tlu, to više opada njena rezonantna frekvencija. Blizina tla slično utiče i na otpornost u priključnoj tački antene. Mada *kvad* kao sistem u dva nivoa nije tako osetljiv na uticaje tla, kao što je osetljiva antena u jednom nivou, ipak ga treba postaviti što je moguće više iznad zemlje. U zavisnosti od visine postavljanja, otpornost u tački napajanja jednostavnog žičanog kvadrata iznosi 80 do 100 Ω.



Sl. 15.4. Žičane petlje kao pomoćno sredstvo za podešavanje kvada

Sa povećanjem visine postavljanja smanjuje se vertikalni elevacioni ugao glavnog zračenja koji je važan za jonosfersko prostiranje na velike udaljenosti. Zbog toga, donja tačka *kvada* treba da bude na visini, po mogućnosti, većoj od λ/2. Kada se *kvad* postavi na visinu od 1 λ i veću, tlo praktično više ne utiče na zračenje. Jasno je da prednosti relativno malog vertikalnog elevacionog ugla *kvada* dolaze do izražaja samo kod horizontalne polarizacije. Kod vertikalne polarizacije ravan *H* je vodoravna. Zbog toga, a i iz mehaničkih razloga, veoma se retko upotrebljavaju vertikalno polarizovane *kvad*–antene.

15.2. Pravougaone antene (Oblong)

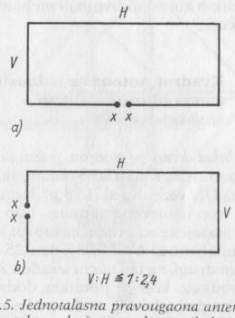
Često treba iskoristiti prednosti jednotalasne petlje i u opsegu od 40 m. Antenski element za 80 m zahteva najmanje dva noseća stuba od po 25 m. Zbog toga su radio-amateri koji vole eksperimente ispitali do kojeg vertikalnog skraćenja jednotalasna petlja zadržava svoje dobre karakteristike zračenja [1]. Budući da antenski element treba da ostane rezonantan, vertikalno skraćenje mora se izjednačiti horizontalnim produženjem. Tako je nastala pravougaona jednotalasna antena (sl. 15.5). U amaterskoj literaturi ona se naziva kratko *oblong* (engleski: oblong = pravougaonik). Radio-amater *G6LX* izgradio je i proverio pravougaoni antenski element za opseg od 80 m i došao do sledećih rezultata.

U skladu sa mesnim uslovima odabran je odnos $V : H$ kao 1 : 2,4. Pri tom je dužina vertikalnih strana *V* bila po 12,20 m, a horizontalne dužine *H* iznosile su po 28,25 m. To odgovara ukupnom obimu elementa od 80,90 m. Donja horizontalna strana nalazila se samo oko 3 m iznad tla (≈ λ/27). Izmerena rezonantna frekvencija antene iznosila je 3670 kHz. To je značilo dovoljno mehaničko skraćenje u odnosu na 1 λ, koje je sigurno izazvala premala udaljenost od tla. Za izgradnju antene sa istim odnosom stranica i malom visinom iznad tla može se koristiti obrazac za dimenzionisanje:

$$\text{Ukupni obim } O \text{ (m)} = \frac{297}{f \text{ (MHz)}} \qquad (15.1)$$

Kod horizontalne polarizacije (sl. 15.5a) dobijena je impedanca u priključnoj tački antene od 115 Ω, a unutar ± 150 kHz od rezonantne frekvencije, odnos stojećih talasa nije bio veći od 1,5 : 1. Preuređivanje iste antene na vertikalnu polarizaciju (sl. 15.5b) prouzrokovalo je smanjenje impedance u tački napajanja, tako da se antena mogla direktno napajati koaksijalnim kablom od 70 Ω. Osim toga, znatno se povećala širina opsega u odnosu na horizontalnu polarizaciju.

Tom pravougaonom antenom za opseg od 80 m, amater *G6LX* postigao je izvanredne rezultate na DX vezama. Pri tome je radio pretežno sa vertikalnom polarizacijom radi jednostavnijeg napajanja. Pretpostavlja se da je horizontalna polarizacija nešto povoljnija za radio-veze na srednjim udaljenostima, dok se u radu na DX vezama nisu pokazale nikakve razlike. Pomoću pravougaone antene za opseg od 80 m slične, dobre rezultate kod DX veza postigli su i skandinavski radio-amateri.



Sl. 15.5. Jednotalasna pravougaona antena: a – horizontalno polarizovana, b – vertikalno polarizovana

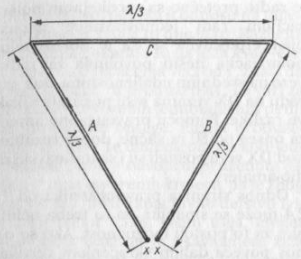
Odnos stranica pravougaonika od 1 : 2,4 može se smanjiti, pa to treba učiniti ako za to postoji mogućnost. Ako se odnos poveća daljim skraćenjem vertikalnih stranica, gubi se poželjno »plitko« zračenje, otpornost na priključku antene raste i pravougaonik deluje kao normalan savijeni dipol.

15.3. Delta–element

Radio-amater *W6DL* je 1967. godine prvi predložio trouglasti jednotalasni antenski element, kao varijantu *kvada* i nazvao ga delta–lup (engleski: Delta–Loop = delta–petlja). Kao što je prikazano na sl. 15.6, to je jednakostranični trougao čije su stranice duge 1/3 λ. Trougao je postavljen na vrh i obično se napaja na toj priključnoj tački. Prednosti ovakvog oblika, kao samonoseće konstrukcije, u odnosu na *kvad* jesu u uštedi materijala i drugim mehaničkim pogodnostima. Dve stranice (A i B) moraju biti od krutog materijala, npr., od krute aluminijumske cevi, dok horizontalna strana (C) može biti od žice. Potrebne cevi dužine po λ/3 postavljaju mehanička ograničenja dimenzija delta–antene, što znači da se i njena primena ograničava na opsege od 10 m i 15 m.

Dokazano je da je jednotalasni delta–element po vrednosti svih električnih karakteristika jednak jednotalasnom *kvadu*. Otpornost u priključnoj tački antene iznosi od 90 do 110 Ω, u zavisnosti od visine postavljanja antene. Zbog velike površine cevi VF gubici usled skin-efekta su manji nego kod tankih žičanih elemenata. Takođe, izgleda da je i frekventni opseg delta–petlje širi od opsega *kvada*. Rezonantna dužina delta–elementa (sl. 15.6) može se izračunati prema obrascu koji važi i za *kvad*:

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

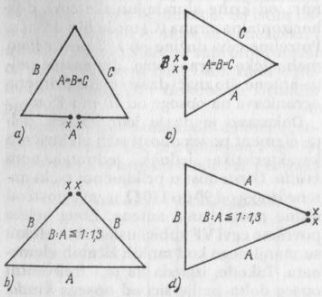


Sl. 15.6. Delta-element

$$\text{ukupan obim } O\ (\text{m}) = \frac{306{,}6}{f\ (\text{MHz})} \qquad (15.2)$$

Pri tom se pretpostavlja da se element nalazi najmanje λ/2 iznad tla.

Na niskofrekventnim amaterskim opsezima isprobane su različite varijante jednotalasnog delta–elementa antene. Na sl. 15.7 prikazano je nekoliko uspelih varijanti ovog elementa. One su izrađene od žice, a dimenzionisane za rad na amaterskim opsezima od 80 m i 40 m, s tim što su, u zavisnosti od lokalnih uslova, obrnute ili izobličene. Rešenja pod a i b su horizontalno polarizovana, dok varijante pod c i d rade sa vertikalnom polarizacijom. Oblici pod b i d nisu više jednakostranični trouglovi, jer su po vertikali smanjeni. U tom slučaju, treba voditi računa da odnos B : A ne sme biti manji od 1 : 1,3. Budući da se ovi izmenjeni oblici skoro uvek postavljaju na manju visinu iznad tla – u odnosu na radnu talasnu dužinu – vrednosti impedance u priključnoj tački napajanja su takve da je moguće direktno napajanje kablom od 70 Ω.



Sl. 15.7. Varijante delta-elementa: a i b – horizontalno polarizovane, c i d – vertikalno polarizovane

Svi napred opisani jednostavni jednotalasni delta-elementi imaju približno jednake dijagrame zračenja. Oni zrače na dve strane u smeru vertikala na njihovu površinu, sa uglom zračenja u ravni *E* od oko 80° i sa blagim usnopljavanjem u ravni *H*. Kada je delta-element horizontalno polarizovan, istovremeno se javljaju i male komponente vertikalno polarizovanog zračenja, koje se prostiru poprečno na smer glavnog zračenja. Takođe, kod vertikalne polarizacije delta–elementa, javljaju se poprečna parazitna horizontalno polarizovana zračenja.

15.4. Jednotalasne petlje sa reflektorima

Osnovni oblici jednotalasne petlje mogu se pretvoriti u veoma efikasne jednosmerno usmerene antene, i to dodavanjem još jedne isto takve petlje, koja će biti reflektor ili direktor. Time se dobija porast pojačanja od skoro 5 dB, koje se postiže uz relativno malo poskupljenje i bez velikih konstruktivnih ili mehaničkih poteškoća.

15.4.1. Kvadrat–antena sa jednostrano usmerenim zračenjem – *kjubikal–kvad*

Kjubikal–kvad je veoma poznata jednostrano usmerena radio-amaterska antena za DX veze. Na sl. 15.8 prikazana je šema ove usmerene antene. Napajana petlja sastoji se od *kvada*, nasuprot kome je na udaljenosti A od 0,08 λ do 0,25 λ postavljen drugi, na isti način izrađen žičani četverougao, koji je pomoću dodatnog ogranka prilagodnog voda podešen da deluje kao reflektor. Taj ogranak deluje kao dodatna induktivnost i treba da



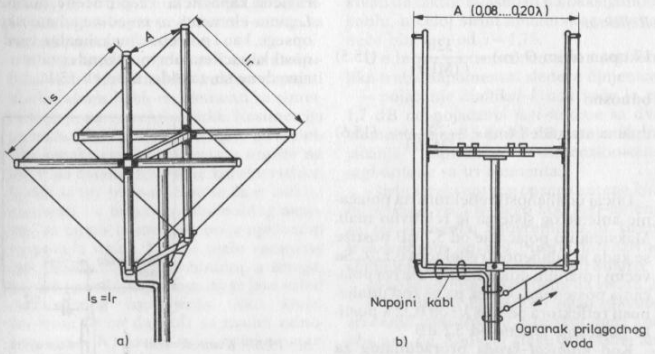
Sl. 15.8. Skica kjubikal-kvada

obezbedi induktivni fazni pomak potreban za reflektorsko dejstvo. Njegova prednost je u tome što se kratkospojni most može pomerati i time sistem podesiti tačno na maksimalno povratno slabljenje. Pošto su u međuvremenu dosta precizno određene dužine strana na kojima se postiže najbolje reflektorsko dejstvo, to se u novije vreme sve češće prelazi na reflektor izgrađen u obliku zatvorenog žičanog četvorougaonika bez prilagodnog ogranka.

Postoji niz mogućnosti za izgradnju noseće konstrukcije antene. *Kvad* za jedan opseg od 10 m ili 15 m može se postaviti na konstrukciju za koju su dovoljne impregnirane drvene letve i okrugli štapovi, uz malo gvozdenog okova. Kod *kvada* za 20 m, radi smanjenja težine, povećanja otpornosti na lomljenje i bolje elastičnosti treba upotrebiti bambusove štapove. Još je bolje da se za nosače *kvada* upotrebe štapovi od poliestera (ojačani staklenim vlaknima), koji se koriste i za ribolovačke štapove. Različiti oblici nosećih konstrukcija opisani su u odeljcima 18.8 i 18.9. U tim odeljcima data su i uputstva za njihovu izgradnju.

Na sl. 15.9 prikazan je predlog konstrukcije jednostavnog *kjubikal–kvada* u obliku romba. Ova vrsta konstrukcije može se iskoristiti i za kvadratnu antenu koja se oslanja na jednu stranicu, s tim što se nosači antene obrnu za 45°, a napajanje dovede u sredinu horizontalne stranice. Poslednje pomenuti oblik ima povoljnije karakteristike zračenja, pa se zbog toga skoro isključivo koristi. Zatezanje pomoću jakih plastičnih niti (kao za pecanje) poboljšava stabilnost konstrukcije. Još su bolje uzice od upredene staklene svile, jer se ne istežu. Ako se kao nosači upotrebe cevi od bambusa ili štapovi od plastike, onda se antenski provodnici mogu pričvrstiti na njih bez izolatora. Ako je nosač u obliku krsta izrađen od aluminijumskih legura, njegovi krajevi moraju imati plastične izolatore, duge oko 20 cm.

Za električno delovanje nije naročito važno koliki je prečnik antenskog provodnika od bakarne žice ili pletenice.



Sl. 15.9. Predlog za konstrukciju jednostavnog kjubikal-kvada: a – prednji pogled, b – bočni pogled

Radi veće mehaničke izdržljivosti, prečnik provodnika mora biti ⩾ 1,5 mm. Pletenica (»lična«) je elastičnija od žice, pa se sa njom lakše radi. Upotrebljene žice ili pletenice mogu biti i u plastičnom omotaču.

Kao što je već objašnjeno u odeljku 15.1, obim punotalasnog rezonantnog *kvada* mora biti veći od 1 λ. Za aktivni element *kjubikal–kvada* računa se sa faktorom produženja od 1,015 do 1,020 λ. Obim reflektora može biti isti kao obim aktivnog elementa. Međutim, tada se reflektor mora induktivno produžiti, i to pomoću ogranka prilagođenog voda. U novije vreme izostavlja se prilagodni ogranak, s tim što se obim reflektora povećava za odgovarajuću vrednost. U tom slučaju obim reflektora iznosi 1,113 λ. Obrasci koji slede mogu se koristiti za dimenzionisanje na rezonancu *kjubikal–kvada* za kratkotalasne izvedbe u svim opsezima:

Aktivni element

$$\text{Ukupan obim } O\ (\text{m}) = \frac{304}{f\ (\text{MHz})}, \qquad (15.3)$$

odnosno

$$\text{dužina stranice } l\ (\text{m}) = \frac{76}{f\ (\text{MHz})} \qquad (15.4)$$

Reflektor

$$\text{Ukupan obim } O\ (\text{m}) = \frac{320}{f\ (\text{MHz})}, \qquad (15.5)$$

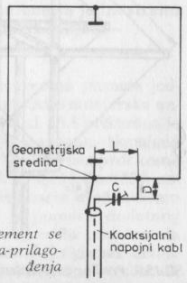
odnosno

$$\text{dužina stranice } l\ (\text{m}) = \frac{80}{f\ (\text{MHz})} \qquad (15.6)$$

Uticaj udaljenosti reflektora na pojačanje antenskog sistema je relativno mali. Maksimalno pojačanje od 5,7 dB postiže se kada je udaljenost reflektora 0,12 λ. Sa većim i manjim udaljenostima kriva pojačanja postepeno opada, pa se kod udaljenosti reflektora od 0,08 λ i od 0,22 λ postiže pojačanje antene od 5,2 dB.

Kod *kjubikal–kvada* proračunatog za maksimalno pojačanje sa udaljenošću reflektora od 0,12 λ, otpornost zračenja iznosi oko 55 Ω, pod pretpostavkom da je antena postavljena na visinu λ/2 iznad tla. Smanjenje visine postavljanja, npr., na λ/4 uzrokuje smanjenje otpornosti zračenja na oko 40 Ω. Veoma je povoljna udaljenost reflektora od 0,13 λ, jer je u tom slučaju pojačanje 5,6 dB, a otpornost u tački priključka antene 60 Ω. Tada je moguće direktno napajanje koaksijalnim kablom od 60 Ω. Međutim, tada se simetrični *kjubikal–kvad* pobuđuje nesimetričnim napojnim kablom, pa se mogu javiti talasi u omotaču koaksijalnog kabla i mala »zrikavost« u dijagramu zračenja. Uprkos tome, većina radio–amatera daje prednost direktnom napajanju vez vidljivih mana.

Gama–prilagođenje (vidi odeljak 6.3) stvara povoljnije uslove napajanja koaksijalnim kablom (vidi sl. 15.10). Ovde se i za napajani element koristi zatvoren žičani četverougao. Uz pomoć gama–prilagođenja ostvaruje se potpuno prilagođenje napojnog kabla, pri čemu se postiže potrebno simetriranje, a istovremeno kompenzuju uticaji okoline na otpornost zračenja. Gama–element se izrađuje od žice prečnika 2 mm. Razmak *D* antenskog provodnika fiksiran je uskim plastičnim odstojnicima i ne treba da bude veći od 50 mm. Nakon što je izvršeno podešavanje, obrtni kondenzator može se zameniti nepromenljivim kondenzatorom odgovarajućeg kapaciteta. Preporučene dužine *L* gama–elementa za pojedine amaterske opsege, kao i potrebne maksimalne vrednosti kapaciteta obrtnog kondenzatora c navedene su, takođe, u tabeli 15.1.



Sl. 15.10. Kvad-element se napaja, preko gama-prilagođenja

Tabela 15.1

PODACI O DIMENZIJAMA ANTENA KJUBIKAL–KVAD IZGRAĐENIH PREMA sl. 15.8 i 15.9

Amaterski opseg f_{rez}	od 20 m 14100 kHz	od 15 m 21200 kHz	od 10 m 29000 kHz
Dimenzije antene sa prilagođavanim reflektorom			
Dužina stranice l_S	5,40	3,60	2,62
Dužina stranice L_r	5,40	3,60	2,62
Dužina prilagodnog ogranka	1,50	1,00	0,70
Dimenzije antene sa nepromenljivim rezonantnim reflektorom			
Dužina stranice l_S	5,40	3,60	2,62
Dužina stranice l_r	5,68	3,78	2,76
Razmak elemenata A			
0,08 λ (G ≈ 5,2 dB, Z ≈ 40 Ω)	1,83	1,22	0,91
0,10 λ (G ≈ 5,6 dB, Z ≈ 50 Ω)	2,25	1,50	1,12
0,12 λ(G ≈ 5,7 dB, Z ≈ 55 Ω)	2,68	1,79	1,33
0,15 λ (G ≈ 5,6 dB, Z ≈ 65 Ω)	3,20	2,12	1,60
0,20 λ (G ≈ 5,4 dB, Z ≈ 75 Ω)	4,25	2,83	2,12
Dimenzije gama-prilagođenja prema sl. 15.10			
Dužina *L*	0,90	0,70	0,46
Kapacitet *C*	100 pF	75 pF	50 pF

Svi podaci dati su u metrima.

Provereni podaci za dimenzionisanje antena *kjubikal–kvad* dati su u tabeli 15.1, u kojoj je obuhvaćena i verzija sa reflektorom koji se može podešavati i verzija sa rezonantnim reflektorom.

Novija istraživanja su pokazala da *kjubikal–kvad* treba uvek direktno napajati koaksijalnim kablom; elementi za simetriranje prouzrokuju gubitke. Nesimetrija pobuđivanja deluje samo malo na simetriju karakteristike zračenja, a uopšte ne utiče na ostale električne karakteristike. U vezi sa tim preporučuje se da se izoluju elementi i u tačkama minimalnog napona. Na taj način može se bolje ujednačiti raspodela struje, koja je malo »pomerena« nesimetričnom pobudom, a izbegavaju se i gubici, koji mogu da se jave usled nenamernog uzemljenja. Ako *kjubikal–kvad* treba da radi sa malim odnosom stojećih talasa u celoj širini amaterskog opsega, onda rezonancu antene ne treba računati za sredinu opsega, već za malo višu frekvenciju (npr., 14,18 MHz, 21,28 MHz i 29,2 MHz). Tada se može očekivati da faktor talasnosti u koaksijalnom kablu, u celoj širini amaterskog opsega, neće biti veći od $s = 1{,}75$.

U odnosu na usmerene anten *jagi*–oblika treba napomenuti sledeće činjenice:

– pojačanje *kjubikal–kvada* veće je za 1,7 dB od pojačanja *jagi*–antene sa dva elementa, a za 0,5 do 0,8 dB manje od pojačanja optimalno dimenzionisane *jagi*–antene sa tri elementa;

– širina frekventnog opsega antene *kjubikal–kvad* veća je nego kod *jagi*–antene sa tri elementa; istovremeno, u širem frekventnom opsegu postoji intenzivno slabljenje signala u suprotnom smeru;

– ako je antena postavljena na visinu ⩾ 1 λ, vertikalni elevacioni ugao glavnog zračenja identičan je u velikoj meri kod obe antene. Kada su efektivne visine antene manje, antena *kjubikal–kvad* je efikasnija, jer se njen vertikalni elevacioni

ugao ne podiže mnogo kao kod *jagi*–antene sa tri elementa. To znači da je *kjubikal–kvad* manje osetljiv na okolinu.

Raniji podaci o izrazito velikom pojačanju kratkotalasnih oblika antena *kjubikal–kvad* (do 11 dB) sigurno su nastali zbog pogrešnih merenja zasnovanih na upoređivanju jačine zvuka u toku DX veza, ili izazvanih nekontrolisanim nehomogenostima mernog polja (npr., refleksijama). Osim toga, poznato je da je teško izvršiti apsolutno merenje pojačanja kratkotalasnih antena; amater ne može da postigne za to potrebnu visinu postavljanja antene, niti da stvori homogeno merno polje. Jednostavnije je doći do ovih rezultata merenjem antena *kjubikal–kvad* sa radnim frekvencijama u UKT području ili još bolje u području decimetarskih talasa. Pri tom se dobijaju apsolutne vrednosti pojačanja, koje se u potpunosti mogu preneti u područje kratkih talasa. Ipak, ovakvi apsolutni podaci o pojačanju malo govore o praktičnoj upotrebljivosti kratkotalasne antene u DX vezama. Kao što je objašnjeno u tačkama 2.2.2 i 3.2.2, kod prostiranja talasa putem refleksija od jonosfere najvažnije je postići što veću daljinu skoka. To znači da vertikalni elevacioni ugao glavnog zračenja u ravni *H* treba da bude što manji.

Ne može se poreći da antena *kjubikal–kvad* ima bar iste prednosti kod ostvarivanja kratkotalasnih veza kao i *jagi*–antena sa tri elementa, čije je apsolutno pojačanje veće. U praktičnoj primeni DX veza često se javljaju znatne razlike u efikasnosti u korist *kjubikal–kvada*.

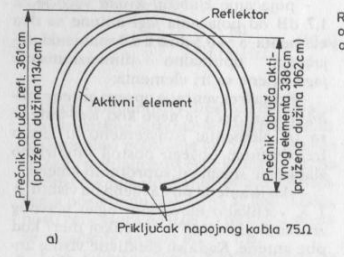
15.4.2. Obruč-antena sa jednostrano –usmerenim zračenjem ringbim (Ringbeam)

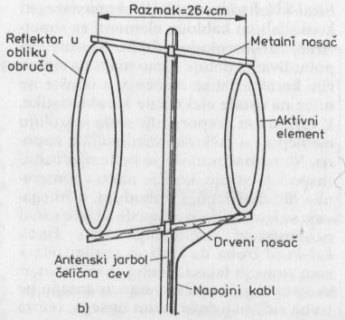
Ringbim–antena razlikuje se od *kjubikal–kvada* uglavnom po tome što se umesto četverougaonih elemenata antene koriste elementi u obliku obruča (sl. 15.11). Čitalac koji je pažljivo čitao prethodna izlaganja o načinu rada *kvad*–elemenata, uočiće da se *ringbim*–antena u pogledu zračenja ne može ponašati drugačije nego *kjubikal–kvad*.

Ako se *ringbim*–antena izvede kao jednotalasna petlja, ona je, pri napajanju odozdo ili odozgo, jednoznačno horizontalno polarizovana, kao i *kjubikal–kvad*, a pri napajanju sa strane, vertikalno polarizovana. *Ringbim antena*, i u pogledu pojačanja i po troškovima izgradnje odgovara anteni *kjubikal–kvad* sa istim brojem elemenata. Budući da se za *ringbim* mora upotrebiti cev ili puni materijal koji ima sopstvenu nosivost, on je skuplji od *kvada* i mehanički nešto teži za izgradnju. To može biti razlog što se ovaj oblik do sada nije više proširio u Evropi.

15.4.2.1. *Ringbim sa dva elementa*

Na sl. 15.11 prikazan je *ringbim* sa dva elementa za opseg od 10 m. Reflektor je zatvoren obruč i nalazi se na četvrttalas-





Sl. 15.11. Ringbim-antena sa dva elementa za opseg od 10 m

nom razmaku od aktivnog elementa koji je prekinut radi priključka napajanja. Otpornost u tački priključka je oko 75 Ω. Gornji vodoravni nosač može biti od metala; na njega se mogu pričvrstiti elementi antene bez izolacionog međusloja. Kao donji nosač služi impregnirana letva od tvrdog drveta. Još je povoljnija PVC cev, koja je lakša i otpornija na koroziju. Može se računati da pojačanje iznosi oko 5 dB. Rezonantne dimenzije unesene su na sl. 15.11. Za proračun za druge rezonantne frekvencije mogu poslužiti sledeći obrasci:

Obim O_s aktivnog elementa

$$O_s\,(\mathrm{m}) = \frac{307}{f\,(\mathrm{MHz})} \qquad (15.7)$$

Obim O_R reflektora

$$O_R\,(\mathrm{m}) = \frac{329}{f\,(\mathrm{MHz})} \qquad (15.8)$$

15.4.2.2. *Ringbim sa tri elementa*

Ringbim sa tri elementa može se još koristiti za rad na opsegu od 10 m. Na sl. 15.12 prikazana je ova efikasna usmerena antena.

Unesene su vrednosti dimenzija za opseg od 10 m. Budući da je otpornost antenskog priključka veoma niska, napojni vod se priključuje preko omega–prilagođenja (vidi odeljak 6.4). Ovde se može primeniti potpuno metalna konstrukcija nosača (gornji i donji nosač elemenata antene izrađeni su od metala). Elementi se mogu pričvrstiti na gornji i donji metalni nosač bez izolacionog međusloja. I kod *ringbima* sa dva elementa moguće je upotrebiti omega–prilagođenje; tada bi se i čitav taj oblik mogao izraditi od metala.

Kod antene sa tri elementa razmak do reflektora je oko 0,21 λ, a do direktora 0,14 λ.

Za proračun trodelne obruč–antene za druge frekvencije primenjuju se jednačine 15.7 i 15.8. Obim direktora O_D dobije se iz formule

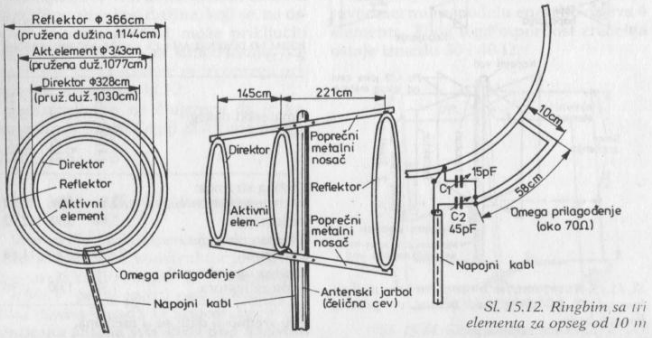
$$O_D\,(\mathrm{m}) = \frac{289}{f\,(\mathrm{MHz})} \qquad (15.9)$$

To su uvek pružene dužine koje se savijaju u zatvoreni obruč. Za izradu elemenata antene pogodne su cevi svih debljina koje obezbeđuju mehaničku stabilnost.

Vidi se da je i kod *ringbima* rezonantni obim aktivnog elementa veći od 1 λ. Ova okolnost potpunije objašnjava srodnost sa *kjubikal–kvadom*.

15.4.3. Kavez–antena po G4ZU

Kavez antenu (engleski: Bird–Cage = kavez za ptice) razvio je poznati engleski konstruktor antena *G4ZU*, Dik Berd



Sl. 15.12. Ringbim sa tri elementa za opseg od 10 m

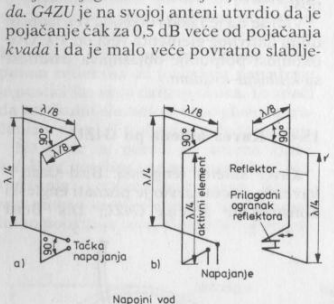
(Dick Bird). Ona je takođe izvedena iz *kjubikal–kvada*. Kavez–antena razlikuje se od *kjubikal–kvada* po tome što su elementi savijeni pod 90°. Na sl. 15.13 prikazan je *kvad*–element savijen pod uglom od 90° na stranici napajanja i na stranici iznad nje. Kod ovako kratkih V–elemenata zadržava se skoro u potpunosti dijagram zračenja pruženog dipola u vidu dva kruga: javlja se samo mali porast pojačanja iz smera prema kome je ugao otvoren. I u ovom slučaju napajanje za horizontalnu polarizaciju vrši se u sredini vodoravne strane, pri čemu je svejedno da li se napojni vod priključuje u donjem ili u gornjem nivou.

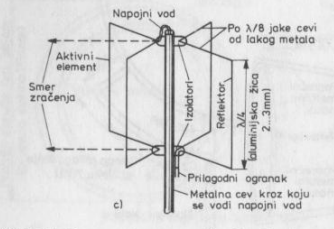
Reflektor koji je savijen na isti način postavlja se tako da se vrhovi uglova aktivnog elementa i vrhovi reflektora nađu jedan nasuprot drugom na rastojanju od oko 25 mm (sl. 15.13c).

Kod ovog sistema pojačanje i dijagram zračenja odgovaraju skoro sasvim pojačanju i dijagramu zračenja *kjubikal–kvada*. *G4ZU* je na svojoj anteni utvrdio da je pojačanje čak za 0,5 dB veće od pojačanja *kvada* i da je malo veće povratno slabljenje. Otpornost u tački priključka iznosi oko 60 Ω.

Naročita prednost kavez–antene je u tome što se cela antena može pričvrstiti na jednu noseću cev, pri čemu horizontalni delovi elemenata antene preuzimaju funkciju poprečnih nosača. Ceo sistem je veoma kompaktan i otporan na uticaj vetra. Kavez–antena za opseg od 10 m strči samo 1,30 m u radijusu oko srednjeg stuba. Taj poluprečnik raste za opseg od 15 m na oko 1,95 m, a za opseg od 20 m na oko 2,60 m. Cevi od aluminijumske legure potrebne su samo za horizontalne delove dužine λ/8; četiri vertikalna četvrttalasna provodnika mogu biti od žice proizvoljnog prečnika. Poželjno je da cevi i žice budu od istog metala da bi se na spojnim mestima izbegla elektrolitička razaranja. Na sl. 15.13c dat je predlog konstrukcije kavez–antene. U ovom slučaju aktivni element napaja se odozgo, jer se napojni vod može lako voditi kroz unutrašnjost cevi nosećeg stuba.

Izolacija temena uglova od nosećeg stuba ne mora biti naročito kvalitetna, jer se tu nalazi minimum napona. Dovoljni su komadi drveta odgovarajućeg oblika, prethodno iskuvani u parafinu. Kod prikazane konstrukcije izolacioni komadi su izloženi jakim mehaničkim naprezanjima, pa se može ukazati potreba da se ta naprezanja delimično ublaže odgovarajućim zatezanjem. Zbog toga se noseći stub može produžiti i tako omogućiti da se na njegov vrh zategama učvrste krajevi





Sl. 15.13. Kavez-antena: a – savijeni kvad pod uglom od 90°, b – skica kavez-antene, c – predlog konstrukcije

Tabela 15.2

PODACI O DIMENZIJAMA ZA KAVEZ–ANTENU PREMA sl. 15.13

Amaterski opseg *frez*	od 20 m 14150 kHz	od 15 m 21200 kHz	od 10 m 28600 kHz
Dužina stranica: aktivnog elementa	5,80	3,95	2,92
reflektora	5,80	3,95	2,92
Ukupan obim po elementu	23,20	15,80	11,68
Dužina ogranka pril. voda reflektora	1,50	1,00	0,70

Sve vrednosti date su u metrima.

gornjih vodoravnih delova antenskih elemenata.

U tabeli 15.2 navedene su rezonantne dužine za kavez–antenu koje je praktičnim eksperimentom dobio amater *DK4NA*. Elementi su produženi u odnosu na dimenzije *kvada* iz tabele 15.1, što se javlja i kod švajcarske *kvad*–antene čiji opis sledi. Još nisu objašnjeni uzroci ove pojave, ali moguće je da je ona u vezi sa približavanjem sektora koji zrače metalnom nosećem stubu.

U prikazanom slučaju dužina reflektora jednaka je dužini aktivnog elementa. Potrebno električno produženje pasivnog elementa, neophodno za reflektorsko dejstvo, obezbeđuje se ogrankom prilagodnog voda sa pomerljivim kratkospojnim mostom.

Sa dimenzijama iz tabele 15.2 potiže se za navedene rezonantne frekvencije faktor talasnosti $s \approx 1$. Na početku i na kraju opsega od 20 m, s ne raste iznad 1,5. Unutar granica opsega od 15 m postiže se maksimalan faktor talasnosti od 1,3 (21,0 MHz). Nasuprot tome u opsegu od 10 m javlja se još podnošljiv odnos stojećih talasa samo između 28,3 MHz ($s = 1{,}7$) i 29,0 MHz ($s = 1{,}7$). Na početku i na kraju opsega s raste na vrednost od 2,8 (28,0 MHz), odnosno od 2,5 (29,7 MHz). Ako se u opsegu od 10 m radi pretežno telegrafijom, dužine stranice elemenata treba povećati na 2,96 m. Tada je rezonantna frekvencija 28,1 MHz.

Napajanje se vrši koaksijalnim kablom od 60 Ω proizvoljne dužine, koji se, na osnovu iskustva *DK4NA* može priključiti bez transformatora za simetriranje. Način izrade kavez–antene za tri opsega prikazan je u odeljku 18.12.

Treba ukazati na činjenicu da je kavez–antena (Bird–Cage) zaštićena patentom.

15.4.4. Švajcarska kvad–antena

Švajcarska kvad–antena je savremeniji oblik *kvada*. Njen konstruktor je poznati švajcarski radio-amater R. Baumgartner – *HB9CV*, pa se zato i naziva švajcarski *kvad* (Swiss–Quad). U Švajcarskoj je patentirana antena *svis–kvad* pod nazivom usmerena antena sa napajanjem svih elemenata.

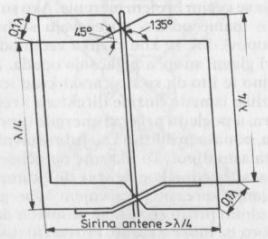
Kao što se vidi na sl. 15.14, švajcarski *kvad* se sastoji od dva paralelna kvadrata čije su stranice dugačke λ/4 i koji su postavljeni na međusobnom rastojanju od 0,075 do 0,1 λ. Srednji delovi obe horizontalne stranice savijeni su za 45° prema centru, tako da se srednje tačke gornjih, kao i donjih horizontalnih stranica zajednički sastaju kod nosećeg stuba.

U tački ukrštanja kroz obe cevi teče maksimalna struja, pa se cevi moraju dobro međusobno povezati zbog bolje provodljivosti. Budući da čvoru napona odgovara trbuh struje, cev se može uzemljiti u tačkama minimuma napona, tj. povezati sa nosećim stubom bez izolacije.

Ukršteni delovi antene u oba nivoa veoma malo stvaraju električne smetnje, jer kroz susedne delove cevi teče struja u protivfazi, čime se zračenje praktično poništava.

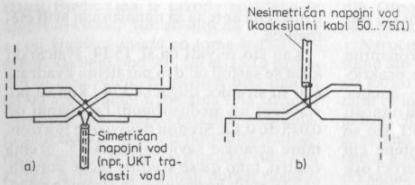
Naročito značajna karakteristika *svis–kvada* je njegovo napajanje. Ako se zanemari par retkih slučajeva, normalno je da se reflektori pobuđuju parazitno, tj. spregom preko zračenja. Međutim, kod antene *svis–kvad* iskorišćeni su izvanredni uspesi koji se ostvaruju kombinovanom pobudom reflektora (direktnim napajanjem i spregom preko zračenja) jednostrano usmerenih antena ZL–specijal i *HB9CV* (švajcarske) – vidi tačke 14.2.1 i 14.2.2.

Napajanje svih elemenata obezbeđuje ravnomernu raspodelu energije na sva 4 elemenata. Zbog toga otpornost zračenja ostaje između 30 i 40 Ω.



Sl. 15.14. Skica antene svis-kvad

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 15.15 Napajanje i pobuđivanje svis-kvada: a – dvostruko T-prilagođenje i simetrično napajanje, b – dvostruko gama-prilagođenje i nesimetrično napajanje

Sistem se može napajati po izboru, u gornjoj ili u donjoj ravni. Ako napojni kabl treba voditi kroz cev stuba nadole, onda je bolje napajanje u gornjoj ravni. Simetrični napojni vodovi mogu se prilagoditi pomoću dvostrukog T–prilagođenja (sl. 15.15a). Koaksijalni kabl priključuje se na dvostruko gama–prilagođenje (sl. 15.15b). Osim toga, oba elementa mogu se napajati na jednostavan način, direktno u protivfazi, kao što se vidi na sl. 15.15. Iznenađujuće je da se kod ovog napajanja ne mora voditi računa o malom odstupanju faznog pomaka od 180° (između dva kvadrata antene), koji je potreban za usmereno dejstvo na jednu stranu. Kada se oba kvadrata međusobno razlikuju po dužini obima za 5%, pravilan fazni pomak uspostavi se sam. Manji kvadrat postane direktor, a veći reflektor.

Kod dva električno jednaka kvadrata koji se direktno napajaju, međusobno se poništavaju induktivna reaktivna komponenta reflektora i kapacitivna komponenta direktora (u odnosu na tačku napajanja). To potvrđuje činjenica da se rezonantna frekvencija sistema, merena u tački napajanja nalazi u sredini između sopstvenih rezonanci svakog kvadrata antene. Razlika dužine obima od 5% dobija se većim brojem merenja. Ako su razlike manje od 5% povećavaju se bočni snopovi dok se kod razlika većih od 5% širi glavni snop, a pojačanje opada. Značajno je i to da se švajcarski kvad sa 5% razlike između dužine direktora i reflektora, u pogledu prijema energije i sprezanja, ponaša približno kao jednostavni polutalasni dipol. To ukazuje na očigledan značaj zajedničkog dejstva direktnog napajanja, sprezanja zračenjem i sprege sa okolnim prostorom, koje se matematički skoro ne može iskazati. Provereni podaci o dimenzijama švajcarskog *kvada* su:

obim direktora – 1,092 λ,
obim reflektora – 1,148 λ,
razmak direktor – reflektor – 0,075 do 0,1 λ.

Kod praktičnog izvođenja razlika između dužine reflektora i direktora deli se samo na horizontalne delove, dok dužina vertikalnih delova ostaje ista. Tačke priključka za gama–prilagođenje ili T– prilagođenje na horizontalnim cevima antene moraju se odrediti prilikom podešavanja, jer njihov pravilan položaj određuju uticaji okoline, visina antene i konstrukcija antene. U tabeli 15.3 date su proverene dimenzije za švajcarski *kvad* za visokofrekventne kratkotalasne amaterske opsege.

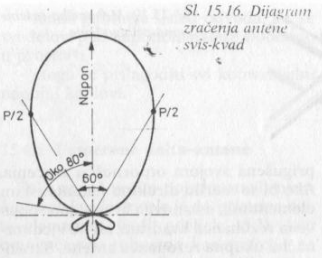
U tabeli 15.3 pod pojmom »visina antene« podrazumeva se dužina vertikalnih žica. Pod pojmom »širina« podrazumeva se dužina horizontalnih delova od jednog do drugog kraja. Pri tom se ne računa savijanje prema tački pričvršćenja na stubu. Potrebna dužina cevi može se najlakše odrediti geometrijski, ako se antena, gledana odozgo, nacrta na milimetarskom papiru tačno u smanjenoj razmeri.

Tabela 15.3

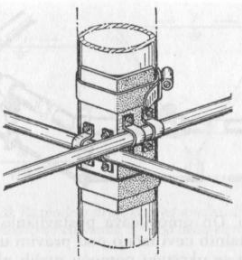
PODACI O DIMENZIJAMA ŠVAJCARSKOG KVADA PREMA sl. 15.14

Amaterski opseg / frez	od 20 m 14150 kHz	od 15 m 21200 kHz	od 10 m 28500 kHz
Visina antene	5,94	3,96	2,95
Širina direktora	5,64	3,76	2,80
Širina reflektora	6,23	4,16	3,00
Razmak direktor-reflektor	2,12	1,41	1,05

Svi podaci dati su u metrima.



Sl. 15.16. Dijagram zračenja antene svis-kvad



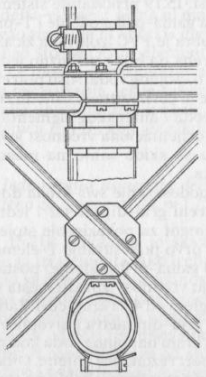
Sl. 15.17. Predlog konstrukcije za jednostano učvršćenje na jarbol

Na sl. 15.16 prikazan je dijagram zračenja *svis–kvada* koji je snimio *HB9CV*. Horizontalni ugao zračenja je 60°. Bočni minimumi nalaze se na obe strane na oko 80° od glavnog zračenja. Srednja vrednost povratnog slabljenja iznosi 13 dB – kao kod *kjubikal–kvada*. Pojačanje antene može biti nešto veće nego kod *kjubikal–kvada* zbog toga što se reflektor napaja. *HB9CV* navodi 6 do 7,9 dB. Pri radu sa *svis–kvadom*, na velikim udaljenostima javljaju se, kao i kod *kjubikal–kvada*, »dodatna pojačanja« koja su uslovljena prostiranjem i čije objašnjenje su karakteristike zračenja antenskih sistema u više nivoa. Ta pojačanja prilikom prenosa nemaju ništa zajedničko sa antenskim pojačanjem, ali obezbeđuju *kvad*–sistemu jednoznačnu prednost u DX vezama u odnosu na antene u jednoj ravni sa kojima se može uporediti.

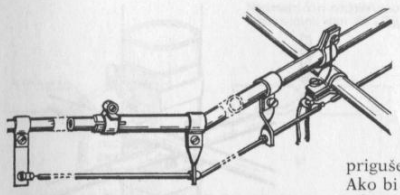
15.4.4.1. *Uputstva za izgradnju švajcarske kvad–antene*

Vertikalni delovi antene izrađuju se od tankih žica ili od antenske pletenice. Za izgradnju horizontalnih delova koriste se cevi od aluminijumskih legura koje mogu da izdrže mehanička naprezanja. Ukoliko je to potrebno, može se izvršiti mehaničko zatezanje krajeva horizontalnih cevi. U tom slučaju, vrh nosećeg stuba mora biti viši od švajcarske *kvad*–antene. Na taj vrh se pričvršćuju zatege od čvrstih plastičnih niti (silka) ili još bolje od staklenih niti u plastičnom omotaču. Drugim krajevima ovih niti se zatežu, i tako mehanički učvršćuju, krajevi gornjih horizontalnih cevi. Da bi se metalna cev mogla lepo saviti, prvo se napuni suvim peskom, pa zatim zatvori čepovima na oba kraja. Cev se savija oko čvrstog graničnika odgovarajućeg zaobljenja. Srednje tvrde i tvrde cevi od lakog metala moraju se, ipak, prethodno zagrejati na mestu savijanja, čime gube na čvrstoći. Zbog toga je bolje da se cev savije u nekoj radionici na mašini za savijanje.

Na sl. 15.17 prikazano je učvršćenje na jarbolu koje se može jednostavnim alatom samostalno napraviti. Uzme se komad pravougaonog profila od lakog metala, pa se pomoću obujmice pričvrsti na



Sl. 15.18. Poboljšano pričvršćenje na jarbol



Sl. 15.19. Mehaničko rešenje gama-prilagođenja

stub. On omogućava postavljanje horizontalnih cevi tačno pod pravim uglom. Cevi se ukrštaju pomoću malih pločica od aluminijuma koje se mogu samostalno izraditi. Mesto ukrštanja obe dijagonalne cevi predstavlja tačnu geometrijsku i električnu sredinu antene i na tom mestu moraju se električno spojiti i međusobno i sa stubom. Kod ovakvog načina izgradnje, pločice za pričvršćenje malo su pomerene od tačke ukrštanja cevi. Zbog toga je najbolje da se na tim mestima cevi izoluju kvalitetnom izolacijom. Tu su VF naponi vrlo mali, pa je dovoljan tanak sloj.

Odličan način pričvršćenja prikazan je na sl. 15.18, ali ga amater ne može jednostavno izvesti. Ovde nije potrebna nikakva izolacija, jer se tačno poklapaju mesta ukrštanja, tačka električne nule i mesto pričvršćenja za stub.

Na sl. 15.19 prikazan je sistem napajanja. Za gama–prilagođenje i T–prilagođenje dobra je PVC izolovana žica. Prečnik žice treba da bude približno jednak prečniku napojnog voda. Nisu potrebne deblje žice ni cevi. Razmak između žice napojnog voda i antenskog elementa nije kritičan, orijentaciona vrednost je λ/200. Izolacija se skida samo na mestima priključka.

Za podešavanje *svis–kvada* dovoljan je baždareni grid–dip metar i jednostavan instrument za pokazivanje stojećih talasa. Za prvo podešavanje T–elementi (odnosno gama–prilagođenje) postave se na srednju vrednost između mesta savijanja pod uglom od 45° i kraja cevi. Zatim se pomoću grid–dip metra i zavojnice za spregu, na kraju napojnog voda kod predajnika izmeri rezonanca antene. Ona se razlikuje od rezonance u kablu po tome što je dip (minimum) manji i širi, jer je antena prigušena svojom otpornošću zračenja. Ako bi se merilo direktno na antenskim elementima, ustanovila bi se samo sopstvena rezonanca kvadrata, ali ne i jednoznačna ukupna rezonanca antene. Skraćivanjem ili produžavanjem vertikalnih žica mogu se korigovati odstupanja od željene rezonance. Zbog toga se vertikalne žice naprave nešto duže, nego što je potrebno.

Instrument za pokazivanje stojećih talasa spregne se sa napojnim vodom, radi pravilnog podešavanja priključaka T–prilagođenja, odnosno gama–prilagođenja. Zatim se antena pobudi svojom rezonantnom frekvencijom pomoću grid–dip metra. Pomeranjem priključnih tačaka pronađe se najmanji odnos stojećih talasa. Uopšte, može se postići faktor talasnosti od 1,2. Budući da se pomeranjem priključaka prilagođenja utiče malo i na rezonantnu frekvenciju antene, treba na kraju još jedanput proveriti rezonantnu frekvenciju i odnos stojećih talasa. *Svis–kvad* antena pruža sledeće prednosti:

mehaničke

– cela konstrukcija je od metala, ceo sistem je uzemljen,
– nema poprečnih nosača,
– postoji mehanička stabilnost usled pričvršćenja oba kvadrata direktno na antenski jarbol,
– otporna je na delovanje vetra, oluje, snega i leda;

električne

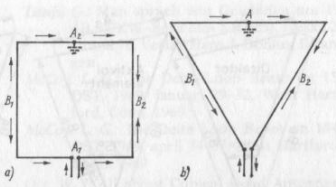
– jednostavno i besprekorno napajanje svih elemenata,
– mali gubici usled zagrejavanja strujom zbog ravnomerne raspodele energije na sva 4 dipola i zbog upotrebe cevi za najveće struje kao delova antene kroz koje protiču,
– nema gubitaka usled odvoda, jer se svi delovi pod naponom nalaze slobodno u prostoru,
– mogu se prilagoditi svi komercijalni napojni kablovi.

15.4.5. **Usmerene delta–antene**

Želja za još većim pojednostavljenjem *kjubikal–kvada* dovela je do primene delta–elemenata (vidi odeljak 15.3), koji omogućavaju robustne konstrukcije na manjem prostoru, ali uz ograničenje na opsege od 10 m i od 15 m. U do sada objavljenoj literaturi ovom novom obliku antena pripisuju se iste one dobre karakteristike koje su tipične za *kjubikal–kvad*. Ubedljiva upoređenja nisu do sada još objavljena.

Delta–element i *kvad*–element ne razlikuju se ni po obimu rezonance ni po otpornosti zračenja. Kod pojačanja postoji mala razlika, jer jednostavni *kvad*–element ima pojačanje 1 dB tačnije 0,9 dB u odnosu na polutalasni dipol, a kod delta elementa pojačanje je 0,5 dB. Ovako male razlike u pojačanju uopšte nisu značajne. U ovom slučaju one ukazuju na različite karakteristike zračenja, pre svega, kada se dovedu u uporednu zavisnost sa raspodelom struje na oba elementa.

Na sl. 15.20a strelicama je prikazana poznata raspodela struje kod horizontalno polarizovanog *kvad*–elementa sa napajanjem. Jasno se vidi da se oba horizontalna dela (A_1 i A_2) pobuđuju u fazi. Budući da se ta dva dela nalaze paralelno jedan prema drugom na vertikalnom razmaku od λ/4, oni predstavljaju antenski sistem u dva nivoa, čije je zračenje usmpljeno u ravni *H* (vertikalni ugao zračenja). Pojačanje ovog sistema – u odnosu na polutalasni dipol – proizrokovano je isključivo manjim vertikalnim uglom zračenja. Najznačajnija sporedna pojava je u tome što se zbog smanjenog vertikalnog ugla zračenja smanjuje i deo zračenja »nadole« prema tlu. Refleksije o tlo u blizini antene prouzrokuju povećanje vertikalnog elevacionog ugla, kao što je opisano u podtački 3.2.2.1. Ova pojava je nepoželjna za prostiranje na velike udaljenosti, pa se izbegava postavljanjem antene što je moguće više iznad tla i usnopljavanjem zračenja u vertikalnoj ravni. *Kjubikal–kvad* kao antenski sistem u dva nivoa, odlikuje se malim vertikalnim uglom zračenja, a samim tim i manjim vertikalnim elevacionim uglom, što dokazuje njegovu prednost u odnosu na sa njim uporedljive antene u jednoj ravni istog pojačanja.



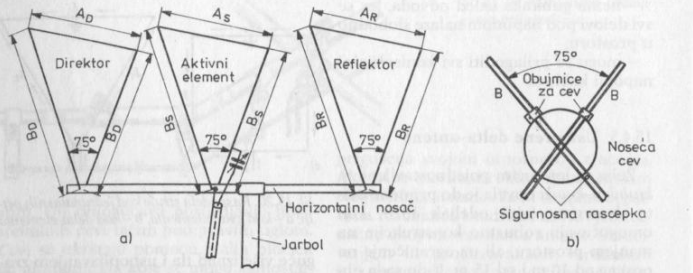
Sl. 15.20. Raspodela struje kod jednotalasnih petlji; a – kod kvad-elementa, b – kod delta-elementa

Posmatrano sa ovog stanovišta delta–element raspolaže samo sa jednim vodoravnim delom A (sl. 15.20), koji je u odnosu na A_1, odnosno A_2, kod *kvad*–elementa duži za oko 25%. Kod delta–elementa nema drugog horizontalnog nivoa. Delovi B_1 i B_2 kod oba oblika antena pobuđuju se u protivfazi, pa samo malo doprinose zračenju, odnosno od ovih delova se ne očekuje horizontalno polarizovano zračenje. Zbog toga se mora pretpostaviti da delta–element nema ni mali vertikalni ugao zračenja ni »plitki« elevacioni ugao, kao što ima *kvad*–element.

Praksa će možda opovrgnuti ova čisto teoretska razmatranja, jer je sasvim moguće da nije dovoljno uzet u obzir uticaj delta–stranica B_1 i B_2, koji je teško sagledati.

15.4.5.1. *Jednostrano usmerena delta–antena za opsege od 10 m i 15 m*

Na sl. 15.21a prikazana je skica delta–antene sa tri elementa. Ako treba izraditi antenu sa dva elementa, jednostavno se izostavi direktor. Trouglasti elementi su zatvoreni, postavljeni su vertikalno na jakom nosaču od cevi i sa njim su u kontaktu. Kraci B napravljeni su od aluminijumskih cevi i postavljeni su međusobno pod uglom od 75°. Vodoravna noseća cev mora biti veoma stabilna, jer je izložena



Sl. 15.21. Jednostrano usmerena delta-antena: a – skica konstrukcije, b – pričvršćenje krakova od cevi B na noseću cev

znatnom naprezanju na torziju. Vodoravne strane trougla su od žice. Na sl. 15.21b prikazana je skica načina pričvršćenja krakova na noseću cev. Ovaj način sigurno nije mehanički idealan. Noseća cev je oslabljena usled dvostrukog bušenja.

Sistem sa dva elementa, i sistem sa tri elementa može se napajati direktno koaksijalnim kablom od 50 Ω, ali se tada mora računati sa odnosom stojećih talasa ⩾ 1,61 : 1. U tom slučaju, krak B_S elementa koji se napaja mora biti otvoren i izolovan. Povoljnije je mehanički i električno da se sistem prilagodi pomoću gama–elementa na proizvoljan koaksijalni kabl, kao što je prikazano na slici. Tada se može podesiti da odnos stojećih talasa bude ⩽ 1,2 : 1, čime se istovremeno dobija i potrebna simetrija (vidi odeljak 6.3). U tabeli 6.1 date su praktično upotrebljive dimenzije gama elementa. Međutim, u pogledu bilansa snage antene praktično je svejedno da li je faktor talasnosti $s = 1{,}6$ ili $s = 1{,}2$, kao što je dokazano u tački 5.2.2.

Tabela 15.4

PODACI O DIMENZIJAMA DELTA-ANTENA PREMA sl. 15.21

Amaterski opseg *frez*	opseg od 10 m 28400 kHz	opseg od 15 m 21100 kHz
Aktivni element:		
Dužina žice A_S	4,10	5,50
Dužina kraka B_S	3,35	4,50
Ukupan obim	10,80	14,50
Reflektor		
Dužina žice A_R	4,40	5,80
Dužina kraka B_R	3,59	5,00
Ukupan obim	11,58	15,60
Direktor		
Dužina žice A_D	3,98	5,36
Dužina kraka B_D	3,24	4,36
Ukupan obim	10,46	14,08
Razmak reflektora 0,19 λ	2,00	2,70
Razmak reflektora 0,13 λ	1,38	1,85
Razmak direktora 0,095 λ	1,00	1,35

Svi podaci dati su u metrima.

Za delta–antenu sa dva elementa preporučljivo je da se reflektor postavi na razmaku od 0,19 λ. Kod antene sa tri elementa treba birati što manje razmake zbog mehaničke stabilnosti. Povoljno kompromisno rešenje je postavljanje reflektora na razmak od 0,13 λ, a direktora na 0,095 λ.

Za proračun delta–antena za druge rezonantne frekvencije važe sledeći obrasci:

obim aktivnog elementa

$$O_S\,(\mathrm{m}) = \frac{306{,}3}{f\,(\mathrm{MHz})} \qquad (15.10)$$

obim reflektora

$$O_R\,(\mathrm{m}) = \frac{329}{f\,(\mathrm{MHz})} \qquad (15.11)$$

obim direktora

$$O_D\,(\mathrm{m}) = \frac{297}{f\,(\mathrm{MHz})} \qquad (15.12)$$

LITERATURA UZ POGLAVLJE 15

Baumgartner, R.: Die Swiss–Quad–Antenne, »DL–QTC«, 1963, sveska 10, W. Koerner–Verlag, Stuttgart

Boettcher, W.: Delta–Loop–Antenne fuer 15 m, »DL–QTC«, 1971, sveska 1, W. Koerner–Verlag, Stuttgart

Flor, W.: Messungen an Quad–Antennen, »DL–QTC«, 1956, sveska 11, W. Koerner–Verlag, Stuttgart

Gleisher, R. L.: Odd-shaped Antennas, The Short Wave Magazine, 1971, Juni, strana 228 do 231, London 1971

Habig, H. R.: The HRH Delta–Loop Beam, QST, 1969, januar, West Hartford, Conn. 1969

Huber, R./Paperlein, D.: Messungen an einer 2–Element–Cubical–Quad–Antenne im UKW–Bereich, »DL–QTC«, 1966, sveska 3, W. Koerner–Verlag, Stuttgart

Laufs, G.: Man sprach von Gewinnen um 19 dB, »UKW–Berichte« 5 (1965), sveska 2, strana 76, Verlag Hans J. Dohlus, Erlangen

McCoy, L. G.: The Delta–Loop Beam on 15, QST, 1969, januar, 29–32, West Hartford, Conn. 1969.

McCoy, L. G.: The Delta Loop Beam on 144, QST, 1969, april 34–37, West Hartford, Conn. 1969

Orr, W. I: All about Cubical Quad Antennas, Radio Publications Inc, Wilton, Conn.

Rohlaender, W.: Der Delta–Loop–Beam nach K8ANY, »FUNKAMATEUR«, 1969, sveska 10, strana 500 do 502, Deutscher Militaerverlag, Berlin

Rumell, G. C.: More on Quad Dimensions, QST, septembar, West Hartford, Conn. 1968

Watson, N. B.: Triangular Loop Antenna, QST, 1968, april, 54, West Hartford, Conn. 1968

16. Obrtne usmerene antene sa parazitnim usmeravajućim elementima

Radio-amateri rado koriste obrtne usmerene antene za radio-veze na velikim udaljenostima. Za njihovu izgradnju potrebne su cevi od aluminijumskih legura i odgovarajući prostor na krovu kuće. Tome se dodaje noseći jarbol i pouzdan uređaj za obrtanje. Lice koje želi da ih izradi mora biti sposoban mehaničar i treba da dobro poznaje bezbednosno-tehničke mere.

Jednostavan polutalasni dipol izrađen sa mogućnošću obrtanja može se već smatrati upotrebljivom usmerenom antenom. Zbog njegove dvosmerne karakteristike horizontalnog zračenja (vidi sl. 3.8), može se i sa obrtnim uglom od 180° postići usmeravanje maksimalne snage zračenja prema bilo kojoj strani sveta.

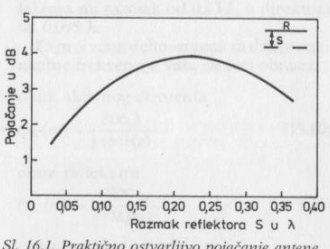
Ako se paralelno sa polutalasnim dipolom postavi jedan zračenjem spregnuti reflektor, s tim da udaljenost između dipola i reflektora iznosi λ/4, on će se pretvoriti u jednostrano usmerenu antenu sa dva elementa. Reflektor može biti jednostavan štap ili žica čija je dužina za 5% veća od dužine dipola. Reflektor nije galvanski povezan sa predajnikom ili sa napajanim polutalasnim dipolom. Takvi elementi bez napajanja spregnuti samo zračenjem sa elementom koji se napaja, nazivaju se pasivni elementi ili elementi sa sekundarnim zračenjem.

Antene sa više pasivnih elemenata opisane su prvi put 1926. godine. To je na japanskom jeziku učinio *S. Uda* (profesor na Univerzitetu u Tohoku), a kasnije njegov kolega *H. Jagi* na engleskom jeziku. Zbog toga se one nazivaju *jagi–uda* antene ili kratko *jagi*–antene.

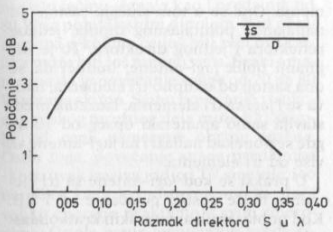
Element koji se ne napaja (pasivni) deluje induktivnim pomeranjem faze kao *reflektor* (duži od aktivnog elementa) ili kapacitivnim pomeranjem faze kao *direktor* (kraći od aktivnog elementa).

Pojačanje snage koje se, pomoću pasivnih elemenata može postići u glavnom smeru zračenja zavisi od razmaka pasivnog od aktivnog elementa. Na sl. 16.1 prikazano je kako razmak reflektora utiče na praktično ostvarljivu vrednost pojačanja. Kod razmaka reflektora S od oko 0,23 λ nalazi se široki maksimum pojačanja, koji pod praktičnim uslovima može iznositi oko 4 dB (u odnosu na polutalasni dipol). Pojačanje je nešto veće kod kombinacije aktivni element – direktor, jer za razmak direktora S od 0,11 λ iznosi oko 4,3 dB, kao što se vidi na sl. 16.2.

Usmerene kratkotalasne antene se u većini slučajeva sastoje od dva elementa, i to sa direktorom kao pasivnim elementom. To se ne čini da bi se dobilo nešto veće pojačanje nego kod sistema sastavljenog od aktivnog elementa i od reflektora, jer ono u praksi nema znatniji uticaj. Za izbor kombinacije aktivni element – direktor presudna je činjenica da se kod nje dobije maksimalno pojačanje već na razmaku direktora S od λ/10, dok bi reflektor za to morao biti udaljen skoro λ/4 od aktivnog elementa (uporedi sl. 16.1 i 16.2). Osim toga, direktor je za oko 10% kraći od reflektora. Takve »uštede« nisu naročito značajne u UKT području, ali su veoma bitne u kratkotalasnom području.

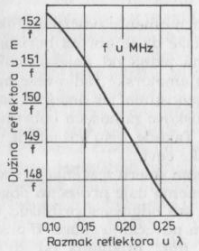


Sl. 16.1. Praktično ostvarljivo pojačanje antene koju sačinjavaju napojni dipol i pasivni reflektor R u zavisnosti od razmaka reflektora S u λ.

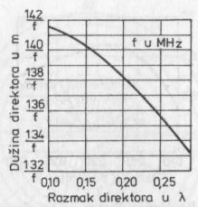


Sl. 16.2. Praktično ostvarljiva vrednost pojačanja antene koju sačinjavaju napajani dipol i pasivni direktor D, u zavisnosti od razmaka direktora S u λ

Optimalna dužina pasivnog elementa zavisi od njegovog razmaka od aktivnog elementa. Uopšte, reflektor mora biti utoliko duži, ukoliko je više udaljen od aktivnog elementa. Nasuprot tome, direktor je kraći što je razmak S veći. Na sl. 16.3 date su orijentacione vrednosti za određivanje dužine reflektora u zavisnosti od njegovog razmaka, dok su na sl. 16.4 dati isti podaci za dužinu direktora. U ovom slučaju to su približne vrednosti za maksimalno pojačanje. Dužine se dimenzionišu drugačije kada je potrebno da sistem ima naročito širok opseg i relativno veliku otpornost zračenja. Tada se bira duži reflektor, odnosno kraći direktor.

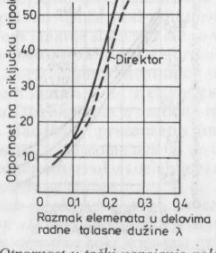


Sl. 16.3. Dužina reflektora u zavisnosti od njegove udaljenosti od aktivnog elementa



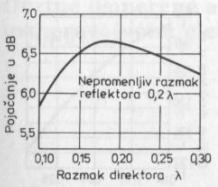
Sl. 16.4. Dužina direktora u zavisnosti od njegove udaljenosti od aktivnog elementa

Otpornost u tački priključka aktivnog elementa antene zavisi od udaljenosti i dužine ostalih pasivnih elemenata. Uopšte, otpornost zračenja, a time i otpornost na priključku antene opada to više, što se pasivni elementi više približuju aktivnom elementu. Orijentacione vrednosti za očekivanu otpornost na priključku antene, u zavisnosti od razmaka S reflektora ili direktora, date su na sl. 16.5. One su približno tačne ako su dužine elemenata određene za maksimalno pojačanje. Iz toga proizlazi da za razmak elemenata S 0,1 λ, otpornost u tački priključka antene opada na vrednosti manje od 15 Ω. To znači da se gubici u provodnicima znatno povećavaju zbog velikih struja koje se javljaju i da se zbog toga u praksi ne može



Sl. 16.5. Otpornost u tački napajanja polutalasnog dipola sa reflektorom ili direktorom, u zavisnosti od udaljenosti pasivnog elementa

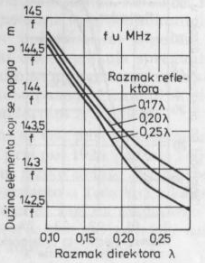
YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 16.6. Pojačanje antene sa tri elementa, kod koje je razmak reflektora 0,2 λ, u zavisnosti od razmaka direktora

ni približno postići teoretski moguće pojačanje. Istovremeno širina opsega kod malih razmaka elemenata opada toliko da je određivanje rezonance antenskog sistema kritično. Zbog toga se daje prednost relativno velikim razmacima elemenata; tada se više ne dobija maksimalno pojačanje, ali je zato otpornost zračenja relativno velika (manji gubici), opseg je širi, a time je i određivanje rezonance manje kritično. Osim toga, dužinom elemenata može se uticati na širinu opsega i otpornost zračenja tako da se i pri relativno malim razmacima mogu ostvariti dovoljno široki opsezi, uz relativno velike otpornosti na priključku antene. To znači da već kod jednostavnih *jagi*–sistema postoji veoma mnogo mogućnosti dimenzionisanja, koje mogu biti optimalne samo za određenu svrhu.

Kod kratkotalasnih usmerenih antena ne koriste se više od dva parazitna ele-



Sl. 16.7. Dužina aktivnog elementa jagi-antene sa tri elementa u funkciji razmaka direktora i reflektora

menta. One se u tom slučaju sastoje od napajanog polutalasnog dipola, jednog reflektora i jednog direktora. To je najmanji oblik *jagi*–antene; budući da se ona sastoji od ukupno tri elementa, naziva se i *jagi* sa tri elementa. Izuzetak predstavlja samo amaterski opseg od 10 m, gde se ponekad nailazi i na *jagi*–antene sa više od tri elementa.

U praksi se kod *jagi*–antene sa tri elementa može postići pojačanje od 7 dB. Kod uobičajenih amaterskih kratkotalasnih antena treba računati sa prosečnim pojačanjem između 5,5 i 6,5 dB. Na sl. 16.6 dat je primer promene pojačanja *jagi*–antene sa tri elementa za konstantan razmak reflektora od 0,2 u zavisnosti od razmaka direktora.

Za optimalno dimenzionisanje *jagi*–antene nije dovoljno da se na odgovarajući način odaberu samo razmak i dužina pasivnih elemenata, već se, u zavisnosti od pasivnih elemenata svaki put mora menjati i potrebna rezonantna dužina aktivnog elementa. Optimalna dužina napajanog dipola smanjuje se sa približavanjem pasivnih elemenata. To je prikazano na sl. 16.7, gde je data optimalna dužina aktivnog elementa, u zavisnosti od razmaka reflektora i razmaka direktora. I u ovom slučaju to su orijentacione vrednosti predviđene za dimenzionisanje na maksimalno pojačanje. Pri tom treba uzeti u obzir i stepen vitkosti aktivnog elementa.

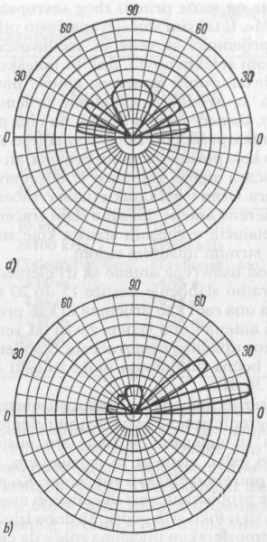
16.1. O ekonomičnosti obrtnih usmerenih antena

U prvom momentu zvuči paradoksalno kada se kaže da je obrtna horizontalna *jagi*–antena jedna od najekonomičnijih antena za amaterske radio-veze na velikim udaljenostima, jer ona ipak zahteva znatne troškove za noseću i obrtnu konstrukciju. Takođe, nisu baš jeftine ni aluminijumske cevi.

U glavnom smeru zračenja *jagi*–antena sa tri elementa daje prosečno pojačanje od 6 dB, što odgovara približno četverostrukom povećanju snage. U praksi to znači da, npr., predajnik od 20 W sa *jagi*–antenom od 3 elementa daje na prijemnom mestu u glavnom smeru zračenja istu jačinu signala kao i predajnik od 80 W sa polutalasnim dipolom. Pod okolnostima o kojima će još biti reči ova razlika može biti još mnogo veća. Svaki amater zna da je povećanje snage od 20 na 80 W veoma skupo. Samo povećanje visokonaponskog mrežnog dela može biti skuplje od cene usmerene obrtne antene. Osim toga, povećanje snage predajnika skoro uvek izaziva radio i TV smetnje, i to naročito kada jednostavna antena zrači veliku energiju praktično u svim smerovima. Ostale mane amaterskih predajnika velike izlazne snage su težina, zapremina, potrošnja električne energije i visoki anodni napon.

Polutalasni dipol napajan predajnikom od 80 W ne daje tako dobre rezultate na DX vezama kao predajnik od 20 W sa *jagi*–antenom od 3 elementa. Ako se međusobno uporede dijagrami zračenja obe vrste antena postavljenih na istu visinu iznad idelanog tla, pašće u oči da polutalasni dipol zrači veliki deo energije pod strmim uglom nagore, dok *jagi*–antena od tri elementa više zrači pod »plićim« uglom, što je veoma važno za DX veze (vidi tačku 3.2.2). Na sl. 16.8a, b su radi primera prikazani vertikalni dijagrami zračenja horizontalnog polutalasnog dipola (sl. 16.8a) i horizontalne *jagi*–antene sa tri elementa (sl. 16.8b). Obe antene postavljene su na visini od 1,25 λ. U oba slučaja jednaki su uglovi i broj snopova u vertikalnoj lepezi zračenja; međutim, kod *jagi*–antene sa tri elementa glavni deo zračenja sabijen je u mali elevacioni ugao (vidi i sl. 3.13). To veće sabijanje glavnog zračenja kod plitkih vertikalnih elevacionih uglova obezbediće u praktičnom DX radu veoma velike razlike jačine signala u korist antene sa tri elementa.

Ako se usmerena antena istovremeno koristi i kao prijemna antena (a ona se uvek i koristi tako), njene prednosti još više dolaze do izražaja. Pored toga što se iz glavnog smera zračenja dobijaju veoma jaki signali udaljenih stanica, bliže evropske stanice primaju se znatno oslabljene. I ova pojava objašnjava se vertikalnim dijagramom zračenja. Vertikalni upadni ugao relativno bliskih stanica je veliki, dok signali DX stanica stižu do antene pod plitkim upadnim uglom (vidi



Sl. 16.8. Vertikalni dijagram zračenja: a – horizontalnog polutalasnog dipola na visini od 1,25 λ, b – horizontalne jagi-antene sa tri elementa na visini od 1,25 λ

prostiranje u poglavlju 2). Na sl. 16.8b uočava se da *jagi*–antena sa tri elementa bolje prima signale sa plitkim upadnim uglom i da slabi prijem signala iz velikih upadnih uglova, dok polutalasni dipol slabije prima signale pod plitkim upadnim uglom i manje slabi signale sa većim upadnim uglom (sl. 16.8a). Dobro usmerenje u horizontalnoj ravni utiče na dobar prijem signala samo iz glavnog smera zračenja. Ova okolnost je naročito značajna kod današnjih prezauzetih amaterskih opsega, jer omogućava da se usmerenom antenom izvuku i oslabljeni signali iz »globalnog QRM«.

I danas je aktuelna stara amaterska mudrost: »Domet predajnika je samo do one udaljenosti sa koje je moguć prijem«. Nema nikakve koristi da se proizvede jak signal ako se odgovor udaljenog korespo-

denta ne može primiti zbog »evropskog QRM«. U takvim slučajevima često otkažu prijemnici sa velikom osetljivošću i boljom selektivnošću, dok te poteškoće prebrodi dobra usmerena antena povezana sa srednje kvalitetnim prijemnikom. Usmereni snop dovodi na ulaz prijemnika praktično samo deo smeše signala koja postoji na mestu prijema, ali on pojačava signal koji stiže iz određenog smera. Osim toga, karakteristika zračenja usmerene antene efikasno slabi zračenje ometajućih evropskih stanica koje stiže pod strmim upadnim uglom.

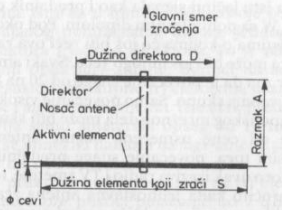
Kod usmerene antene sa tri elementa povratno slabljenje dostiže 15 do 20 dB kada ona radi kao prijemna ili kao predajna antena i ono veoma zavisi od vertikalnog upadnog ugla zračenja. Slabljenje oba bočna minimuma može iznositi do oko 30 dB.

Izrazite mehaničke prednosti obrtnih usmerenih antena sa parazitnim elementima su uglavnom u tome što postoji samo jedan element sa napajanjem, pa nije potrebno nikakvo »ožičenje«. Ko poznaje problematičnost zalemljenih mesta koja su u toku svih godišnjih doba izložena atmosferskim uticajima znaće da ceni ovu okolnost. Još jedna prednost je mogućnost da se celi antenski sistem izradi od metala. Pri tom se svi elementi i metalni nosači direktno uzemljuju, pa ne postoje statička naelektrisanja, a u velikoj meri je otklonjena briga oko gromobranske zaštite.

16.2. Horizontalna obrtna usmerena antena sa dva elementa

Horizontalna obrtna usmerena antena sa dva elementa koristi se uglavnom u amaterskom opsegu od 20 m, jer je za ovu talasnu dužinu često prevelika antena sa tri elementa. Takva antena može se konstruisati kombinacijom aktivnog elementa ili sa reflektorom ili sa direktorom. Iz već napomenutih razloga poslednja navedena kombinacija je bolja.

Na sl. 16.9 prikazana je skica usmerene antene sa dva elementa, a u tabeli 16.1 date su geometrijske dimenzije za prikazanu antenu.



Sl. 16.9. Šema usmerene antene sa dva elementa čije su dimenzije date u tabeli 16.1

Pod pretpostavkom da je antena postavljena na veliku visinu, horizontalni ugao zračenja α_E ovakvih antena sa dva elementa iznosi oko 75°, a vertikalni ugao zračenja α_H oko 130°. Međutim, kako se horizontalne kratkotalasne antene nikad ne mogu dovoljno izdići iznad tla, mora se računati da će doći i do promene dijagrama *H* kao što je navedeno u podtački 3.2.2.1.

Sa dimenzijama datim u tabeli 16.1 može se postići pojačanje antene od oko 4 dB. U zavisnosti od upadnog ugla primarnog zračenja, povratno slabljenje je približno između 7 i 15 dB. Rezonantne frekvencije izabrane su tako da se u oblasti telegrafije na amaterskim opsezima od 15, 20 i 40 m ne prekoračí koeficijent stojećih talasa prilagođenog napojnog voda od 1,3; on se na visokofrekventnom kraju opsega povećava maksimalno do 1,7. Kod antene za opseg od 10 m sa rezonantnom frekvencijom od 28500 kHz, talasnost je manja od 1,3 u opsegu od 28000 do 29000 kHz; na visokofrekventnom kraju opsega (29700 kHz) ona se povećava na vrednost 2. Ako se ova usmerena antena za opseg od 10 m želi koristiti za telegrafiju, dovoljan je samo opseg od 200 kHz (28000 do 28200 kHz). Zbog toga se širina opsega može smanjiti u korist blagog povećanja pojačanja, pri čemu talasnost prilagođenog napojnog voda unutar dela opsega za telegrafiju neće prekoračiti koeficijent 1,2. Ako je antena namenjena isključivo za rad telefonijom, preporučljivo je da se njena rezonantna frekvencija premesti približno u sredinu opsega za

Tabela 16.1

PODACI O DIMENZIJAMA ZA USMERENU ANTENU SA DVA ELEMENTA PREMA SL. 16.9

Amaterski opseg	40 m	20 m	15 m
Rezonantna frekvencija	7050 kHz	14150 kHz	21200 kHz
Dužina *S*	20,53 m	10,24 m	6,38 m
Dužina *D*	19,37 m	9,66	6,34 m
Razmak *A*	5,18 m	2,59 m	1,70 m
Prečnik *d*	50 mm	35 – 40 mm	25 mm
Otpornost zračenja	18 Ω	18 Ω	18Ω
Amaterski opseg	10 m	10 m	10 m
Rezonantna frekvencija	28500 kHz	28100 kHz (Telegrafski deo)	29000 kHz (Telefonski deo)
Dužina *S*	5,03 m	5,16 m	4,95 m
Dužina *D*	4,66 m	4,86 m	4,58 m
Razmak *A*	1,28 m	1,31 m	1,26 m
Prečnik d	35 – 40 mm	25 mm	35 – 40 mm
Otpornost zračenja	20 Ω	18 Ω	20 Ω

telefoniju, odnosno na oko 29000 kHz. U tom slučaju, u celoj širini opsega za telefoniju (28200 do 29700 kHz), faktor talasnosti neće biti veći od 1,6.

Navedeni podaci važe samo kada je antena postavljena najmanje na λ/2 ili više iznad tla. Odstupanje od proračunate rezonantne frekvencije neće biti veće od 50 kHz. Ako je visina antene manja od λ/2, zbog veće kapacitivnosti prema zemlji u blizini tla, opašće vrednost rezonantne frekvencije. Tada se, npr., može dogoditi da antena proračunata za 21200 kHz ima stvarnu rezonantnu frekvenciju od 20800 kHz. Osim toga, mala visina postavljanja prouzrokuje i podizanje vertikalnog elevacionog ugla, čime se delimično gube dobre DX osobine usmerene antene.

Prepreke u blizini antene često izazivaju nepredvidljive refleksije i apsorpcije. Naročito nepovoljno deluju, npr.: vazdušni vodovi, telefonski vodovi, rešetkasti nosači dalekovoda, oluci, gromobranske instalacije itd. Ovakvi objekti smetaju samo onda, kada je glavni smer zračenja antene u pravcu tih prepreka. Prema vrsti i udaljenosti objekta koji stvara smetnje, treba računati sa manjim ili većim pogoršanjem karakteristika antene u smeru u kojem se nalazi takav objekt.

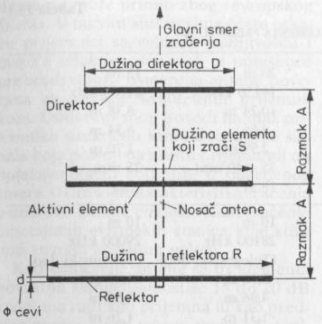
Napomenuto je da prečnik cevi od koje su izrađeni antenski elementi utiče i na rezonantu frekvenciju i na širinu opsega antene. Elemente od tanjih cevi potrebno je malo produžiti, usled čega se smanjuje frekventni opseg antene. Deblje cevi se moraju malo skratiti, što povećava širinu frekventnog opsega. Ovu okolnost treba uzeti u obzir samo kada odstupanje od propisanog prečnika cevi iznosi više od 50%.

16.3. Horizontalne *jagi*–antene sa tri elementa

Kada se usmerenoj anteni sa dva elementa doda još jedan parazitni element – ovog puta reflektor – postiže se dalje poboljšanje karakteristika zračenja. Takve *jagi*–antene sa tri elementa mogu se lako izgraditi za opsege od 10 m i 15 m, dok su za opseg od 20 m njene dimenzije toliko velike da predstavljaju granicu amaterskih mogućnosti.

Na sl. 16.10 objašnjeni su podaci o dimenzijama za *jagi*–antenu sa tri elementa koji su dati u tabeli 16.2.

Antena dimenzionisana za amaterski opseg od 15 m ima talasnost prilagođenog napojnog voda manju od 1,4 za celu širinu opsega. Za opsege od 10 m i od 20 m dato je više rešenja, koja se u zavisnosti od predviđene primene – razlikuju po rezonantnoj frekvenciji. Što se tiče uticaja visine postavljanja i stepena vitkosti ele-



Sl. 16.10. Skica jagi-antene sa tri elementa čije su dimenzije date u tabeli 16.2

menata na karakteristike *jagi*–antene, važe objašnjenja koja su data za *jagi*–antenu sa dva elementa.

Pojačanje navedenih *jagi*–antena sa tri elementa iznosi oko 6,5 dB, a povratno slabljenje oko 15 dB i više. Može se očekivati da horizontalni ugao zračenja α_E bude od oko 65°, a vertikalni α_H približno 110°. Zbog uticaja blizine tla – koji se praktično ne može izbeći – vertikalni dijagram ipak ima više neželjenih snopova (vidi podtačku 3.2.2.1).

Ako se antena za opseg od 20 m dimenzioniše za rezonantnu frekvenciju 14150 kHz, talasnost prilagođenog napojnog voda iznosiće u telegrafskom delu manje od 1,4, a na visokofrekventnom kraju opsega povećaće se na oko 1,8. Kod konstrukcije dimenzionisane za telegrafski deo opsega (rezonantna frekvencija 14050 kHz) talasnost je manja od 1,2; a ako se ova antena koristi na visokofrekventnom kraju opsega, računati da će se talasnost povećati do vrednosti 2,5. Antena konstruisana za rezonantnu frekvenciju od 14250 kHz poseduje talasnost manju od 1,3 u celom telefonskom delu opsega; ako se antena koristi na niskofrekventnom početku opsega talasnost će porasti na 2.

Antena za opseg od 10 m sa rezonantnom frekvencijom od 28200 kHz, pokazuje u telegrafskom delu opsega maksimalnu talasnost od 1,3 koju zadržava u frekventnom intervalu od 28000 do 28500 kHz. Ako je antena dimenzionisana za rezonantnu frekvenciju od 29000 kHz, onda je, u celoj širini telefonskog dela opsega, talasnost prilagođenog napojnog voda ≤ 1,8. Na niskofrekventnom početku opsega (28000 kHz) ona se penje na 2.

Tabela 16.2

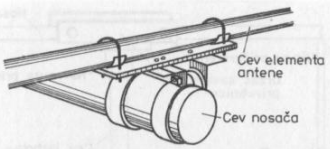
PODACI O DIMENZIJAMA ZA JAGI-ANTENU SA TRI ELEMENTA PREMA sl. 16.10

Amaterski opseg od	20 m	20 m	20 m
Rezonantna frekvencija	14150 kHz	14050 kHz	14250 kHz
Primena	Ceo opseg	Telegrafski deo	Telefonski deo
Dužina *S*	10,19 m	10,26 m	10,12 m
Dužina *D*	9,58 m	9,69 m	9,52 m
Dužina *R*	10,79 m	10,87 m	10,72 m
Razmaci *A* po	3,02 m	3,04 m	3,00 m
Prečnik *d*	35 – 40 mm	35 – 40 mm	35 – 40 mm
Otpornost zračenja	20 Ω	20 Ω	20 Ω
Amaterski opseg od	15 m	10 m	10 m
Rezonantna frekvencija	21200 kHz	28200 kHz	29000 kHz
Dužina *S*	6,83 m	5,13 m	4,99 m
Dužina *D*	6,40 m	4,71 m	4,51 m
Dužina *R*	7,22 m	5,46 m	5,31 m
Razmaci *A* po	1,98 m	2,00 m	1,95 m
Prečnik *d*	25 mm	35 – 40 mm	35 – 40 mm
Otpornost zračenja	20 Ω	22 Ω	22 Ω

16.4. Napajanje obrtnih usmerenih antena

Sve obrtne usmerene antene koje su opisane u ovom poglavlju imaju otpornost zračenja (otpornost na priključku antene) od oko 20 Ω. Ovako mala otpornost zračenja onemogućava direktno napajanje aktivnog elementa, jer je tehnički nemoguće izraditi napojne vodove sa malim gubicima i karakterističnom impedancom od 20 Ω. Budući da aktivni element iz mehaničkih razloga ne treba prekidati u njegovoj geometrijskoj sredini, ne mogu se koristiti prilagodni četvrttalasni transformator ili prilagodni ogranak. Ako se prilagođenje vrši pomoću T–člana (vidi odeljak 6.2), može se zadržati potpuno metalna konstrukcija. Kada se već izgrađuje kvalitetna usmerena antena ne treba štedeti ni na napojnom vodu. Iz navedenih razloga, za napojni vod upotrebljava se samo koaksijalni kabl. Međutim, u napojnoj tački T–člana mora se izvršiti simetriranje pomoću četvrttalasnog zaprečnog kola ili nekog drugog transformatora za simetriranje. To je komplikovaniji način koji zahteva veći utrošak materijala.

Skoro idealno rešenje problema prilagođenja je primena gama–prilagođenja (vidi odeljak 6.3) ili omega–prilagođanja, koje je pojednostavljen oblik gama–prilagođenja (vidi odeljak 6.4). Uprkos jednostavnosti, gama–prilagođenje nije ni u kom slučaju pomoćno rešenje, već stvarno mehanički i električno najpogodniji način da se neprekinuti dipol–element jednostrano usmerene antene izrađene od metalnih cevi prilagodi na proizvoljan koaksijalni kabl. Sve pojedinosti o gama–prilagođenju i njegovoj konstrukciji date su u odeljku 6.3, 6.4 i tabeli 6.1. Podaci navedeni u tabeli 6.1 mogu se direktno koristiti za opisane obrtne usmerene antene, jer su oni dimenzionisani za transformaciju otpornosti u odnosu od 1 : 3. Omega–prilagođenje koje je takođe pogodno i čija dužina cevi iznosi samo polovinu dužine cevi gama–prilagođenja, opisano je detaljno u odeljku 6.5, a prikazano na slikama 6.5 i 6.6. Njegova prednost je i u tome što se može lakše podešavati.



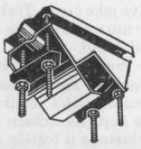
Sl. 16.11. Predlog međusobnog povezivanja cevnih elemenata

16.5. Nosač antene

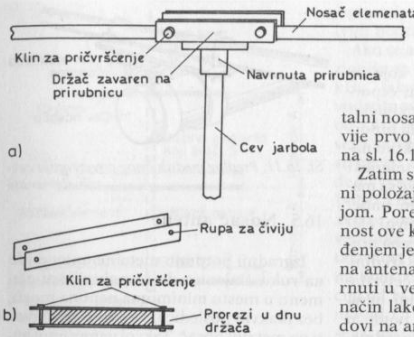
Izgradnji potpuno metalne antene ide na ruku činjenica da se polutalasni elementi u mestu minimuma napona mogu, bez ikakvih posledica, direktno pričvrstiti na metalni nosač. Takvoj usmerenoj anteni nisu potrebni izolatori, ona pruža najmanji otpor vetru, relativno je lagana i, uprkos tome, veoma stabilna. Na žalost, nije lako nabaviti noseću cev dovoljne dužine koja zadovoljava sve zahteve. Pogodne su cevi od aluminijumske legure koje se upotrebljavaju za izgradnju aviona. One se koriste i u građevinarstvu za izgradnju skela. Za takve cevi postoje i odgovarajući vezni elementi kao što su T–komadi, ugaoni delovi itd.

Stabilno pričvršćenje cevi–nosača elementa antene na antenski jarbol vrši se pomoću odgovarajućih obujmica koje može da izradi svaki bravar. Treba obavezno izbegavati bušenje elemenata antene koje bi moglo da oslabi čvrstinu cele konstrukcije. Na sl. 16.11 prikazan je primer stabilnog pričvršćenja cevi elementa antene na noseću cev bez bušenja cevi. Na sve gvozdene delove treba naneti dobru površinsku zaštitu.

Na sl. 16.12 prikazan je industrijski proizveden vezni element antene. Isporučuju se dve izvedbe za prečnik cevi do 42 mm (1 ¼ cola) i do 70 mm (2 ½ cola). Vezni elementi su površinski zaštićeni i pogod-



Sl. 16.12. Vezni element – unakrsna stezna obujmica



Sl. 16.13. Spajanje horizontalnog nosača elemenata sa vertikalnom cevi jarbola: a – predlog konstrukcije, b – detalj držača

ni su za pričvršćenje elemenata koji nisu predugački na nosač antene.

Ako je radi povećanja stabilnosti potrebno zatezanje, npr., kod prevelikog ugiba elemenata, može se upotrebiti najlon uže. Ono je otporno na kidanje, dobro izoluje i otporno je na atmosferilije. U prodavnicama se može nabaviti najlon uže za sušenje veša, debljine oko 2,5 mm. Još je pogodniji stakleni konac (u omotaču od veštačkog materijala), jer se ne ističe.

16.6. Pričvršćivanje usmerene antene na antenski jarbol

Za cev jarbola pogodne su čelične cevi odgovarajućeg prečnika (pocinčane vodovodne cevi, cevi za gas itd.). Ponekad se mogu nabaviti i odgovarajuće prirubnice. U primeru prikazanom na sl. 16.13 na kraj antenskog jarbola navrnuta je prirubnica veće površine, na koju je zavaren držač od čeličnog lima. On predstavlja ležište za horizontalni nosač elemenata, koje se fiksira u konačan položaj pomoću dve jake čivije. Treba obezbediti da se navrnuta prirubnica ne može nenamerno odvrnuti.

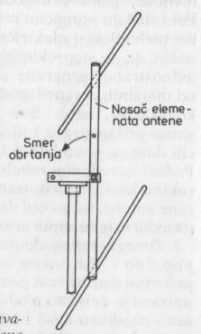
Prednost ovog rešenja je u tome što se gotova montirana usmerena antena može podići vertikalno na stub sve dok se rupa na držaču ne nađe u visini rupe izbušene u težištu noseće cevi. Horizontalni nosač se pomoću jedne ubačene čivije prvo učvrsti u položaju prikazanom na sl. 16.14.

Zatim se antena zaokrene u horizontalni položaj i tada učvrsti sa drugom čivijom. Pored jednostavne montaže, prednost ove konstrukcije je u tome što se vođenjem jedne ili druge čivije cela usmerena antena može u svakom momentu obrnuti u vertikalni položaj uz stub. Na taj način lako se mogu izvršiti potrebni radovi na anteni.

16.7. Drvene konstrukcije horizontalnog nosača elemenata antene

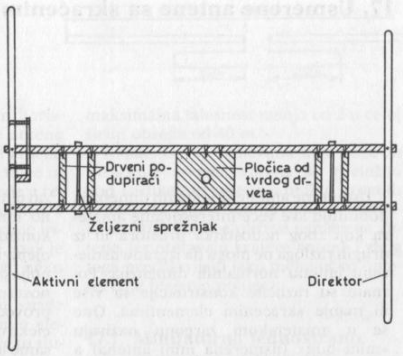
Amater je često prinuđen da elemente svoje usmerene antene postavi na noseću konstrukciju od drveta. Dobro odležano drvo od smreke ili omorike je pogodan materijal za izradu nosača. Postoji mnogo mogućnosti za izradu stabilnog drvenog nosača, pa je jedna proizvoljno odabrana. Na sl. 16.15 prikazana je noseća konstrukcija koja se lako izrađuje.

Elementi se pričvršćuju na drvenu konstrukciju pomoću malih izolatora.



Sl. 16.14. Pričvršćavanje usmerene antene na cev jarbola

Sl. 16.15. Drvena konstrukcija kao nosač usmerene antene sa dva elementa



Međutim, bez većih posledica elementi se mogu pričvrstiti i pomoću jednostavnih obujmica na drveni nosač, pri čemu se elementi na mestima pričvršćenja obmotaju tankom polietilenskom folijom. U sredini nosača nalazi se pločica od tvrdog drveta koja služi za uvlačenje antenskog jarbola. Ako je to potrebno, čvrstoću konstrukcije može pojačati limeni okov oko pločice od tvrdog drveta i uzdužnog nosača. Da bi se obezbedio duži vek trajanja konstrukcije, potrebna je temeljna impregnacija. Radi zaštite od groma poželjno je da se i u ovom slučaju ostvari galvanska (provodna) veza između svih elemenata antene. Zbog toga se širokom metalnom trakom ili jakom žicom međusobno povežu geometrijske sredine svih antenskih elemenata. Da bi kontakt bio što bolji taj vod za uzemljenje pritegne se vijcima na uzemljeni metalni antenski jarbol.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 16

Orr, W. I.: Beam antenna handbook, 2. izdanje, Radio Publications, Inc., Wilton, Conn., 1966

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

17. Usmerene antene sa skraćenim elementima

Usmerene antene smanjenih dimenzija pobuđuju sve veće interesovanje amatera koji zbog nedostatka prostora ili iz drugih razloga ne mogu da izgrade usmerenu antenu normalnih dimenzija. Poznate su različite konstrukcije sa više ili manje skraćenim elementima. One se u amaterskom žargonu nazivaju »mini–bim« (usmerena mini–antena) a naročito male antene – »vest–pokit–bim« (engleski: Vest–Pocket–Beam = usmerena antena za džep prsluka).

U principu, svaka antena se može mehanički proizvoljno skratiti ako se istovremeno vodi računa o tome da se na drugi način nadoknadi induktivnost i kapacitivnost izgubljena usled skraćivanja, pa da opet nastupi prvobitna rezonanca antene. Geometrijsko skraćivanje antene kompenzuje se u većini slučajeva pomoću induktivnosti (zavojnice ili odsečci voda), koja se postavlja u strujni maksimum ili u njegovu blizinu. Ređe se koriste kapacitivna opterećenja koja se postavljaju u naponski maksimum u vidu limenih ploča ili drugih konstrukcija velikog kapaciteta na kraju antene.

Skraćenje prirodne dužine antene uvek uslovljava veće ili manje pogoršanje nekih karakteristika; u protivnom ne bi ni postojali bilo kakvi posebni problemi oko antena. Skraćenje antene utiče, pre svega, na smanjenje pojačanja i suženje širine opsega.

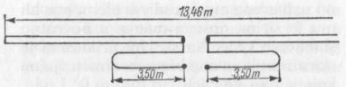
Kao praktično pravilo može se uzeti da širina opsega i otpornost zračenja opadaju sa kvadratom skraćenja. To znači da, npr., skraćenje dipola na dve trećine od njegove prirodne dužine prouzrokuje smanjenje otpornosti zračenja i širine opsega na oko četiri devetine njihove normalne vrednosti.

Smanjenje pojačanja prvenstveno je izazvano zamenom elemenata koji zrači sa zavojnicom, čije je polje zračenja prostorno mnogo manje od polja zamenjenog komada provodnika. Zbog toga je smanjeno ukupno širenje elektromagnetnog polja oko antene, pa je umanjena i efikasnost zračenja. U slučaju prijema, antenski provodnik može da primi energiju iz elektromagnetnog polja koje ga okružuje samo u srazmeri sa njegovom efektivnom površinom. Budući da skraćenje antene predstavlja smanjenje njene efektivne površine, mora biti manja i primljena energija.

Smanjeno zračenje, odnosno smanjena efektivna površina, izaziva smanjenje otpornosti zračenja. Usled toga sužava se širina opsega, pa rastu gubici u provodniku (velike struje). Otpornost zračenja kod usmerenih antena sa parazitnim elementima je inače mala, a prilikom skraćenja elemenata ona može pasti, npr. na 5 Ω. Ako i otpornost gubitaka – unesena pretežno zavojnicama za produžavanje – iznosi 5 Ω (sasvim realna vrednost), onda je stepen korisnog dejstva samo 50%. Da bi se gubici u provodniku što više smanjili, produžne zavojnice moraju biti veoma kvalitetne. U trbuhu struje, naročito pri maloj otpornosti zračenja, teku veoma velike struje, pa površina provodnika zavojnica mora biti velika i dobro provodljiva (skin–efekt). Ništa se ne postiže promenom mesta na kome je postavljena zavojnica; tada se smanji njen efekat produžavanja, pa se mora dodati više namotaja, a gubici opet nisu manji.

Produžne zavojnice u anteni ometaju sinusnu raspodelu struje i napona u anteni i time pogoršavaju usmerenost. Povratno slabljenje usmerene antene je jedina karakteristika koja se ne menja usled skraćenja antene. Ako su potrebne male dimenzije usmerene antene i izražena usmerenost, pri čemu stepen korisnog dejstva nije bitan, skraćene antene mogu doneti prednosti (npr. kod antena za »lov na lisice«). Kratkotalasne atene za rad u pokretu skoro uvek se dovode u rezonancu pomoću produžnih zavojnica, a kada ne postoji mogućnost izgradnje usmerene antene normalne dužine, ipak je bolje posedovati »mini bim« nego neku drugu pomoćnu antenu.

Sl. 17.1. Skraćeni element za opseg od 40 m sa produžnom petljom



Produžne zavojnice u trbuhu struje mogu se dobro zameniti linearnim elementima za produženje, kao što je to slučaj kod jednostrano usmerene antene opsega od 40 m firme *Hy–Gain* sa elementima skraćenim po dužini. Napajani element ove antene prikazan je na sl. 17.1. Dodavanjem produžnih petlji u obliku ukosnice – one su od bakarne žice debljine 2 mm – postiže se skraćenje ukupne dužine polutalasnog elementa za opseg od 40 m od oko 20,5 m na oko 13,5 m. To je skraćenje na približno 65% normalne dužine. Linearni produžni delovi uzrokuju manje gubitke od uobičajenih produžnih zavojnica; izgleda da je i smanjenje otpornosti zračenja nešto manje, jer se navodi da je kod usmerene antene sa dva elementa koja je skraćena na ovaj način, maksimalna talasnost manja od 2 u celoj širini opsega od 40 m.

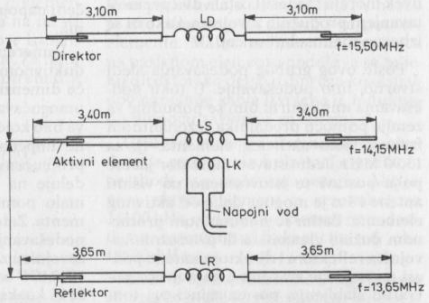
Kapaciteti na krajevima koji služe za skraćenje antene, koriste se pretežno kod vertikalnih antena u obliku krovnih kapaciteta. Oni se veoma retko postavljaju na horizontalne obrtne usmerene antene, jer otežavaju krajeve antene i zbog toga predstavljaju jako mehaničko opterećenje (dejstvo poluge).

17.1. Minijaturna jednostrano usmerena antena po amateru *VK2AOU*

Amater *VK2AOU* objavio je opis skraćene usmerene antene sa tri elementa minijaturnog bima za opseg od 20 m, koja je naročito pogodna za amatersku izgradnju, i to pogotovo zbog toga što su navedene sve potrebne vrednosti njenih dimenzija.

Normalna *jagi*–antena sa tri elementa za opseg od 20 m zahteva približnu površinu od 65 m^2, a kod ove antene površina je smanjena na oko 32 m^2. Minijaturni bim po amateru *VK2AOU* poseduje skoro isto pojačanje kao i normalna jednostrana

Sl. 17.2. Minijaturni bim sa tri elementa za opseg od 20 m po amateru VK2AOU
Dimenzije produžnih zavojnica:
L_D = 9 namotaja, dužina zavojnice 6,5 cm, prečnik zavojnice 6 cm;
L_S = 11 namotaja, dužina zavojnice 8,0 cm, prečnik zavojnice 6 cm;
L_R = 10 namotaja, dužina zavojnice 7,5 cm, prečnik zavojnice 6 cm;
L_K = 3 namotaja, dužina zavojnice 5,0 cm, prečnik zavojnice 10 cm.
(L_K je slobodno namotana preko L_S)



Žice za zavojnice: Al ili Cu ili CuAg prečnika ≧ 3 mm za L_D, L_S, L_R; Cu ili CuAg prečnika ≧ 3 mm za L_K

no usmerena antena sa sva elementa, ali mu je širina opsega manja, a povratno slabljenje veće. Na sl. 17.2 prikazana je skica minijaturnog bima sa dimenzijama koje je dao *VK2AOU*.

Navedene rezonantne frekvencije pojedinih elemenata antene utvrđuju se pomoću grid–dip metra i važe ako se usmerena antena nalazi na datoj visini. Nije zgodno, a možda je čak i nemoguće, tačno podešavati antenu koja je već montirana na visokom jarbolu. Zbog toga je amater *VK2AOU* izvršio kompletno podešavanje na zemlji. Ceo minijaturni bim postavio je u njegovom težištu na lestvice na visini od oko 1,80 m iznad tla, pričvrstio ga i na toj visini izvršio podešavanje. Jasno je da se kod ovakve metode mora uzeti u obzir kapacitivni uticaj bliskog tla. Na dobro provodljivom tlu javilo se opadanje rezonantne frekvencije od približno 300 kHz. Ako je tlo manje provodljivo, uticaj bi mogao biti manji. Prilikom izgradnje ove usmerene antene prednost je baš ta mogućnost lakšeg podešavanja na tlu. Elemente treba podesiti pomoću grid–dip metra približno na sledeće rezonantne frekvencije:

direktor	15,20 MHz,
aktivni element	13,90 MHz,
reflektor	13,40 MHz.

Treba voditi računa o tome da se za vreme podešavanja jednog elementa uvek moraju razdesiti ostala dva premoštavanjem produžnih zavojnica, kako bi se izbegao međusobni uticaj.

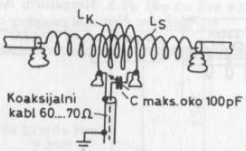
Posle ovog grubog podešavanja sledi stvarno, fino podešavanje. U toku podešavanja minijaturni bim se pobuđuje sa zemlje pomoću predajnika rezonantnom frekvencijom aktivnog elementa, tj. sa 13,90 MHz. Jednostavan indikator jačine polja postavi se istovremeno na visinu antene i što je moguće dalje od aktivnog elementa. Zatim se minimalnom promenom dužine elemenata ili produžnih zavojnica reflektora i direktora antena podesi na najbolje zračenje i na najveće povratno slabljenje, posmatrajući pri tom indikator jačine polja. Treba još napomenuti da nije potrebno da se krajevi elemenata izvedu sa mogućnošću teleskopskog izvlačenja, jer se odgovarajućom promenom produžnih zavojnica (sabijanjem ili razvlačenjem) može postići isti efekat podešavanja.

Dimenzije date na sl. 17.2 predstavljaju praktično proverene orijentacione vrednosti. Dužine cevi mogu se povećati ako se istovremeno smanje produžne zavojnice; na taj način se malo poveća pojačanje antene. Skraćivanje cevi, uz povećanje produžnih zavojnica, prouzrokuje smanjenje pojačanja i veće suženje širine opsega. Ako se pojedinačni komadi cevi skrate na manje od oko 2,50 m, pojačanje antene znatno opada.

Prečnik cevi može biti 20 do 40 mm i on se određuje isključivo sa mehaničke tačke gledišta. Zbog različitih prečnika cevi, javljaju se veoma male električne promene i one se regulišu podešavanjem.

Dobrota produžnih zavojnica mora biti velika. One se izrađuju od aluminijumske žice prečnika najmanje 3 mm sa vazduhom kao izolatorom. Posrebrena bakarna žica je bolja u električnom pogledu, ali je veoma teško ostvariti trajan, besprekoran spoj između zavojnice od bakarne žice i aluminijumske cevi. Usled vlage, kao i različitih elektropotencijala bakra i aluminijuma javlja se korozija zbog koje nastaju problemi sa kontaktima. Zavojnica za spregu L_K koja je namotana preko produžne zavojnice napajanog elementa izrađuje se od bakarne žice, jer i priključeni napojni kabl sadrži bakarni provodnik.

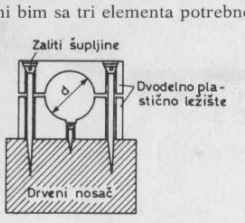
Usmereni antenski sistem napaja se induktivnom spregom koja, uz odgovarajuće dimenzionisanje zavojnice za spregu, omogućava prilagođenje napojnih vodova bilo koje vrste i bilo koje karakteristične impedance. Zavojnica za spregu sa priključenim napojnim kablom povratno deluje na produženu zavojnicu i time malo pomera rezonancu aktivnog elementa. Zato je potrebno naknadno malo podešavanje ovog elementa. Vrednosti za zavojnicu za spregu L_K koje je dao amater *VK2AOU* odnose se na trakasti vod od 70 Ω ili koaksijalni kabl od 70 Ω. Iste vrednosti odgovaraju i za koaksijalni kabl od 60 Ω. Ako se upotrebi trakasti vod od 240



Sl. 17.3. Poboljšano induktivno prilagođenje

Ω, mora se povećati broj zavojaka. Malim variranjem dimenzija zavojnice za spregu može se postići koeficijent stojećih talasa bolji od 1,3. Reaktivna komponenta koja se unosi induktivnom spregom, može se kompenzovati pomoću obrtnog kondenzatora priključenog kao što je pokazano na sl. 17.3. Time se može još malo smanjiti talasnost napojnog voda.

Svi elementi se izolovano pričvrste na noseću konstrukciju. Kao drvena noseća konstrukcija može dobro da posluži rešenje prema sl. 16.15. Za pričvršćenje cevi od kojih su izrađeni elementi antene retko se mogu naći odgovarajuće izolacione obujmice. Dobro pritezanje antenskih cevi može se ostvariti pomoću paralelopipede od nehigroskopne plastične mase (npr., polietilena) na čijoj jednoj strani je izglodan polukružni oluk u koji se, kao u ležaj, umeće cev antenskog elementa. Na sl. 17.4 prikazan je takav primer. Otvor dvodelnog ležišta odgovara prečniku cevi antenskog elementa. Da bi se elementi mogli dobro pričvrstiti, treba ih omotati sa dva ili više slojeva polietilenske folije ili sličnog materijala na mestima koja se polažu u ležište. To je istovremeno i odličan dodatni izolator. Za minijaturni bim sa tri elementa potrebno je



Sl. 17.4. Presek kroz izolovano ležište za antenske elemente; otvor d odgovara prečniku cevi elementa

ukupno 12 takvih izolacionih ležišta. Na noseću konstrukciju prema sl. 16.15, a na odgovarajućem razmaku (2,75 m i 1,53 m), postave se poprečno tri letve dužine oko 1,50 m radi pričvršćenja cevi elemenata. Dužina noseće drvene konstrukcije iznosi 4,30 m.

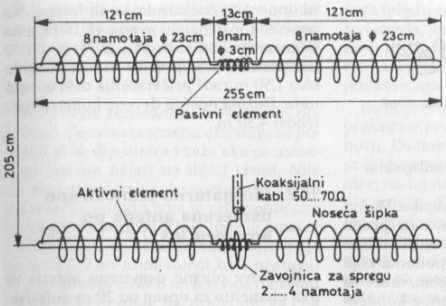
17.2. Minijaturna jednostrano usmerena antena po amateru *W8YIN*

Kod ove obrtne usmerene antene sa dva elementa za opseg od 20 m antenski elementi su namotani u obliku spirale. Zbog toga svaki element zauzima dužinu od samo 2,55 m. Na sl. 17.5 date su dimenzije koje je naveo amater *W8YIN*, a na sl. 17.6 prikazana je njena praktična izrada. Spirale se motaju oko tanke noseće šipke od koje su odvojene podupiračima od izolacionog materijala. Da bi gubici u provodniku bili što manji, za izradu spirala treba upotrebiti debelu žicu. Radi smanjenja težine prednost se daje aluminijumu čija provodljivost nije mnogo slabija od provodljivosti bakra. Preporučuju se žice prečnika najmanje 4 mm, bolje je da to bude 6 mm ili što je moguće šire aluminijumske trake.

Razmak između elemenata je 0,1 λ, tj. oko 2,05 m. Parazitni element deluje kao direktor, što se mora uzeti u obzir prilikom podešavanja sistema. *W8YIN* naveo je iste dimenzije za aktivni i za pasivne elemente. Malim promenama zavojnica na pasivnom elementu podešava se željeno direktorsko dejstvo. Sprega koaksijalnog napojnog kabla izvršena je induktivno pomoću zavojnice za spregu.

Grid–dip metar je neophodan za utvrđivanje rezonantne frekvencije prilikom prethodnog podešavanja sistema. Ako je, npr., aktivni element u rezonanci na 14100 kHz, onda se direktor mora podesiti na rezonantnu frekvenciju od oko 14500 kHz.

Kada se elementi antene ovako mnogo skrate, ne može se više govoriti o pojačanju u odnosu na normalni polutalasni dipol. To je rešenje iz nužde koje je zbog



Sl. 17.5. Minijaturni bim sa dva elementa za opseg od 20 m po amateru W8YIN

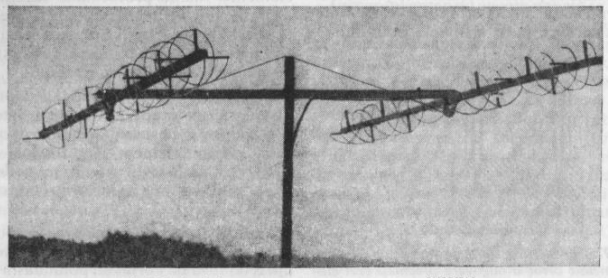
jednostrane usmerenosti ipak bolje od normalnog dipola.

Prema postojećim mogućnostima spirale se mogu više ili manje razvući, tako da se dobije duži elemenat. Na taj način se u odgovarajućoj meri poboljšavaju karakteristike antene.

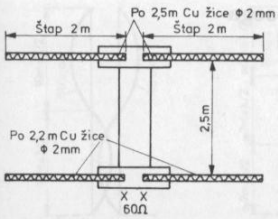
17.3. Skraćena obrtna usmerena antena sa ribolovačkim štapovima za opseg od 10 m

Na prethodno opisanom principu je realizovana jedna naročito laka konstrukcija koja kao nosače spirala koristi ribolovačke štapove od poliester smole armirane staklom. Budući da su ovi štapovi odlični izolatori, žičane spirale se postavljaju direktno na njih. Za svaki elemenat usmerene antene sa dva elementa za opseg od 10 m (sl. 17.7) potrebna su po dva ribolovačka štapa dužine 2 m. Da bi se postigla rezonanca od oko 29 MHz, oko svakog štapa koji nosi aktivni element namota se ravnomerno 2,20 m bakarne žice debljine 2 mm. Na oba kraka reflektora namota se na isti način po 2,50 m žice, Dva kraja žice spoje se međusobno u geometrijskoj sredini reflektora.

Razmak reflektora mora iznositi 2,50 m, tada je impedanca u tački napajanja XX oko 60 Ω. U njoj se sistem može direktno napajati koaksijalnim kablom od 60 Ω. Kao što je već opisano, podešavanje se vrši grid–dip metrom. Ako frekvencija treba da bude niža, spirala se malo sabija u blizini trbuha struje (sredina elementa, manji razmak namotaja), a u obrnutom slučaju namotaji se na tom mestu malo razvuku. Najbolje reflektorsko dejstvo



Sl. 17.6. Izgled usmerene antene po amateru W8YIN



Sl. 17.7. Skraćena obrtna usmerena antena sa ribolovačkim štapovima za opseg od 10 m

podešava se najjednostavnije kada antena zrači: pri tome pomeraju se namotaji zavojnice koji su bliži trbuhu struje. Pomeranjem treba ostvariti da se na indikatoru jačine polja dobije najveće usmereno pojačanje ili najbolje povratno slabljenje.

Budući da je ova antena samo za 1/5 kraća od normalne dužine neskraćene antene, njene karakteristike su vrlo blizu karakteristikama neskraćene usmerene antene sa dva elementa. Međutim, radi relativno tankog antenskog provodnika, mora se računati sa većim gubicima u provodniku i sa manjom širinom opsega.

18. Usmerene antene za više opsega

Ako amater želi da radi na svim DX opsezima sa obrtnim usmerenim antenama, za svaki od ovih opsega morao bi imati posebnu jednostrano usmerenu antenu. Retki su amateri koji mogu podneti tako veliki trošak. Zbog toga je bilo mnogo pokušaja da se horizontalna obrtna usmerena antena konstruiše tako da se može istovremeno upotrebljavati za dva ili tri amaterska opsega. Pronađena su i različita upotrebljiva rešenja pomoću kojih se postiže očekivani uspeh.

Kod antena za više opsega razlikuju se dve potpuno različite vrste. Jedna grupa bi se mogla nazvati »lažnim« antenama za više opsega, jer se tu radi o više antena za različite opsege koje su učvršćene na isti zajednički nosač. Postoje rešenja kod kojih se različiti antenski sistemi pobuđuju zajedničkim napojnim vodom, ali u većini slučajeva svaka antena poseduje sopstveno napajanje. Tipičan predstavnik ove grupe antena je *kjubikal-kvad* za tri opsega.

Kod pravih antena za više opsega koristi se samo jedan antenski sistem, koji postiže rezonancu na principu oscilatornih kola za više opsega. Obe grupe antena imaju svoje prednosti i mane.

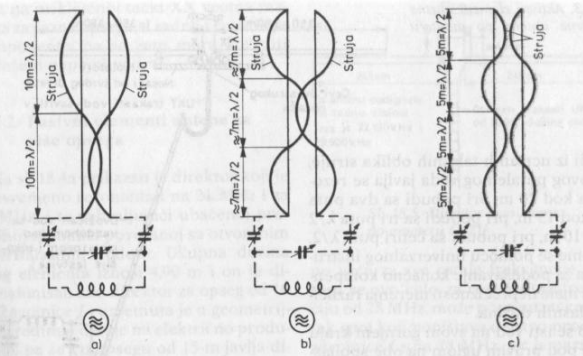
Antene za više opsega koje se sastoje od više međusobno uklopljenih antenskih sistema nemaju lep oblik; međutim, one se mogu realizovati pomoću jednostavnih žičanih elemenata (bar kada se radi o *kvad*-antenama), odlikuju se dobrim stepenom korisnog dejstva na svim opsezima i podešavanje im je jednostavno. Zbog toga amateri sve više teže da izgrađuju obrtne usmerene antene kao *kvad*-antene za tri opsega. Prave obrtne usmerene antene za više opsega zahtevaju dosta veliku mehaničku i električnu preciznost. Kod njih se samo na jednom amaterskom opsegu postiže stepen korisnog dejstva neskraćene antene za jedan opseg, a za druge opsege snaga je obično manja. Kod pravih antena za više opsega često se koriste produžne zavojnice, linearni produžni elementi i zaprečna kola opisani u poglavlju 17. Budući da ovi elementi stvaraju dodatne gubitke, antene za više opsega su, ipak, manje ili više uspešna kompromisna rešenja. Antene za više opsega zahtevaju manji prostor, pa je to, često, jedini oblik antene koji se može upotrebiti za DX veze. Iskusnom amateru poznato je da kod DX veza nije toliko bitno nominalno pojačanje, koliko ukupna karakteristika usmerenosti antena, pri čemu je najznačajniji vertikalni elevacioni ugao.

18.1. Obrtna usmerena antena za tri opsega po amateru *G4ZU*

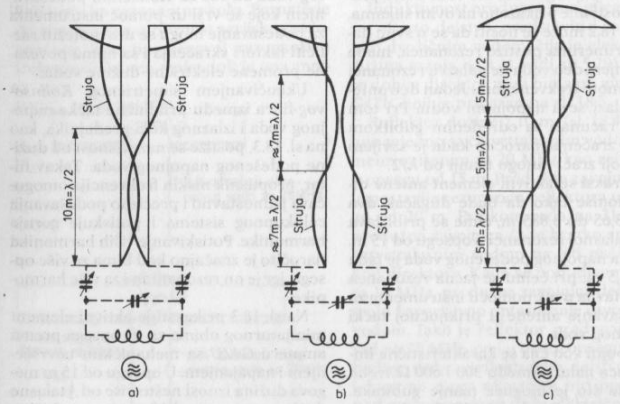
Amater *G4ZU* razvio je bim za tri opsega koji se zbog pogodne mehaničke izrade, jednostavnog podešavanja i snage može smatrati jednim od najpovoljnijih rešenja antene za više opsega. U Engleskoj ova antena se proizvodi fabrički pod nazivom panda-bim (*Panda-Beam*) i veoma je omiljena.

18.1.1. Napajani antenski element

U ovom slučaju koristi se napajanje podešenim vodom koje nije uobičajeno kod *jagi*-sistema. Radi razumevanja načina rada ovog napajanja, razmotriće se prvo odnosi struje na dvožičnom *Leherovom* vodu dužine 20 m (sl. 18.1). Kao što



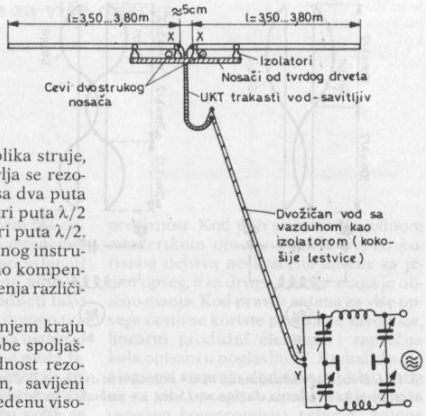
Sl. 18.1. Dvožični vod dužine 20 m: a – pobuđen sa dva puta λ/2 (talasna dužina ≈ 20 m), b – pobuđen sa tri puta λ/2 (talasna dužina ≈ 15 m), c – pobuđen sa četiri puta λ/2 (talasna dužina ≈ 10 m)



Sl. 18.2. Pretvaranje Leherovog voda dužine 20 m u anteru, savijanjem njegovih krajeva na dužini od 3,50 m: a – pobuđivanje talasnom dužinom od 20 m (14 MHz), b – pobuđivanje talasnom dužinom od 15 m (21 MHz), c – pobuđivanje talasnom dužinom od 10 m (28 MHz)

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Sl. 18.3. Aktivni element obrtne usmerene antene po amateru G4ZU



se vidi iz ucrtanih talasnih oblika struje, kod ovog paralelnog voda javlja se rezonanca kod 20 m, pri pobudi sa dva puta $\lambda/2$, kod 15 m, pri pobudi sa tri puta $\lambda/2$ i kod 10 m, pri pobudi sa četiri puta $\lambda/2$. Pri tome se pomoću univerzalnog instrumenta za podešavanje konačno kompenziraju male nepreciznosti merenja različitih talasnih dužina.

Ako se isti vod na svom gornjem kraju savije pod pravim uglom na obe spoljašnje strane, ne menja se vrednost rezonantne frekvencije. Međutim, savijeni deo voda počinje da zrači dovedenu visokofrekventnu energiju – on je postao antena (sl. 18.2). Na sl. 18.1 i 18.2 struje nisu tačno prikazane, jer se pomoću instrumenta za podešavanje ceo vod svaki put dovodi u rezonancu. Zbog toga se čvor struje ne nalazi baš uvek u priključnoj tački napojnog voda, što radi bolje preglednosti nije prikazano na ovim slikama. Na sl. 18.2 može se uočiti da se u svim datim primerima postiže rezonanca, mada se savijeni deo voda ne nalazi u rezonanci sa radnom frekvencijom. Jedan deo antene nalazi se u napojnom vodu. Pri tom treba računati sa određenim gubitkom snage zračenja, naročito kada je savijeni deo koji zrači mnogo manji od $\lambda/2$.

U praksi se aktivni element antene dimenzioniše tako da bude dugačak dva puta 3,65 do 3,885 m, čime se približava polutalasnoj rezonanci u opsegu od 15 m. Dužina napojnog podešenog voda je tada još 16,5 m, pri čemu se tačna rezonanca uspostavlja uvek pomoću instrumenta za podešavanje antene u priključnoj tački napojnog voda.

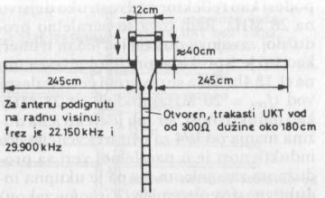
Napojni vod čija se karakteristična impedanca nalazi između 300 i 600 Ω treba da ima što je moguće manje gubitaka. Zbog toga je pogodan dvožični vod sa vazduhom kao izolatorom (»kokošije lestvice«). Može se napajati i UKT trakastim vodom, ali su tada gubici veći, pa se mora uzeti u obzir i faktor skraćenja (oko 0,80; dužina voda je prema tome oko 13,50 m). Da bi se ostvario fleksibilan prelaz od obrtne antene do fiksno montiranog dvožičnog voda, koristi se kratak komad trakastog voda od 300 Ω. Konačnim podešavanjem koje se vrši uz pomoć instrumenta za podešavanje mogu se uravnotežiti različiti faktori skraćenja i sa njima povezane promene električne dužine voda.

Uključivanjem simetričnog *Kolinsovog*-filtra između priključne tačke napojnog voda i izlaznog kola predajnika, kao na sl. 18.3, postiže se nezavisnost od dužine podešenog napojnog voda. Takav filtar, propusnik niskih frekvencija omogućava jednostavno i precizno podešavanje celokupnog sistema i potiskuje gornje harmonike. Potiskivanje viših harmonika naročito je značajno kod bima za više opsega, jer je on rezonantan i za više harmonike.

Na sl. 18.3 prikazan je aktivni element minijaturnog obima za tri opsega prema amateru *G4ZU* sa mehaničkim učvršćenjem i napajanjem. U opsegu od 15 m njegova dužina iznosi nešto više od $\frac{1}{2}$ talasne dužine, u opsegu od 10 m njegova dužina ogovara skraćenom jednotalasnom dipolu i opsegu od 20 m on deluje kao skraćeni polutalasni dipol. Zbog toga je otpornost na priključnoj tački XX veoma različita za razne opsege, a sadrži i reaktivne komponente, pa se zato mora koristiti podešeni napojni vod.

18.1.2. Pasivni elementi antene za više opsega

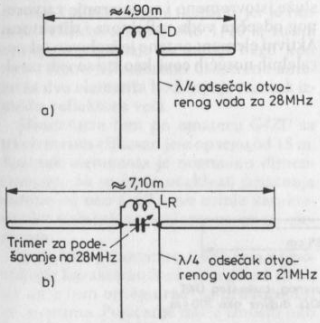
Na sl. 18.4a prikazan je direktor koji je istovremeno rezonantan na 21 MHz i za 28 MHz, i to zahvaljujući ubačenoj produžnoj zavojnici povezanoj sa otvorenim četvrttalasnim vodom. Ukupna dužina ovog elementa iznosi 4,90 m i on je dimenzionisan kao direktor za opseg od 10 m. Zavojnice L_1 umetnuta je u geometrijsku sredinu i deluje na električno produženje, pa se i u opsegu od 15 m javlja direktorsko dejstvo. Kada se radi u opsegu od 10 m, zavojnica treba da bude isključena s tim da se pri tome ne izgubi njeno dejstvo pri postizanju rezonance na opsegu od 15 m. To se postiže tako što se otvoreni dvožični vod veže paralelno sa produžnom zavojnicom L_D, a njegova električna dužina obezbeđuje četvrttalasnu rezonancu na 28 MHz. Na sl. 5.29 vidi se da otvoreni četvrttalasni vod deluje kao serijsko rezonantno kolo. Poznato je da je propusna otpornost serijskog rezonantnog kola na njegovoj rezonantnoj frekvenciji veoma mala, dok je ona znatno veća za sve ostale frekvencije. Zbog toga se ovo kolo, za rezonantnu frekvenciju od 28 MHz, može posmatrati kao kratak spoj koji poništava dejstvo produžne zavojnice L_D na 28 MHz, jer je paralelno vezano sa njom. Pri radu na opsegu od 15 m dužina otvorenog voda je manja od $\lambda/4$, pa zbog toga (sl. 5.29) deluje kao kapacitivnost, koja se jednostavno mora uzeti u obzir prilikom dimenzionisanja produžne zavojnice. To znači, da je otvoreni četvrttalasni vod iskorišćen kao frekventno selektivan automatski preklopnik, koji omogućava rad direktora na 2 opsega.



Sl. 18.5. Direktor mini bima po amateru G4ZU

Induktivnost produžne zavojnice može se, uz isto dejstvo, predstaviti i zatvorenim dvožičnim vodom, čija je električna dužina manja od $\lambda/4$ (vidi sl. 5.29). Tada se dobije direktor mini bima po amateru *G4ZU*, koji je prikazan na sl. 18.5.

Reflektor dužine 7,10 m, (sl. 18.4b) deluje zajedno sa četvrttalasnim vodom, dimenzionisanim za 20 MHz kao reflektor u opsegu od 15 m. Produžna zavojnica L_R uspostavlja rezonancu reflektora u opsegu od 20 m. Prilikom rada na 21 MHz, produžna zavojnica L_R je kratko spojena četvrttalasnim vodom na isti način kao kod direktora. Kada se pobuđivanje vrši sa 14 MHz, produžna zavojnica deluje uz malo kapacitivno opterećenje otvorenim vodom. Iako je reflektor predugačak za rad na 28 MHz, on i u ovom opsegu obezbeđuje dobro reflektorsko dejstvo. Reflektor ne mora obavezno biti podešen, pod pretpostavkom da je električno duži od aktivnog elementa (primer: reflektorska ploča). I u ovoj konfiguraciji postoji mogućnost da se reflektorski element



Sl. 18.4. Pasivni elementi antene za više opsega: a – direktor za 21 MHz i 28 MHz, b – reflektor za 14 MHz, 21 MHz i 28 MHz

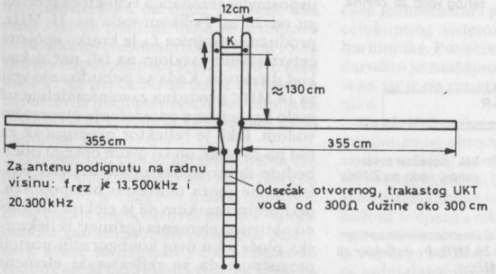
podesi kao reflektor za dvostruko dejstvo na 28 MHz. Radi toga se paralelno produžnoj zavojnici dodaje još jedan trimer, kao što je isprekidanom linojom ucrtano na sl. 18.4b. Sada se otvoreni četvrttalasni vod (f_{rez} = 20 MHz) dodaje na 28 MHz kao induktivnost, jer mu je električna dužina manja od $\lambda/4$ za ovu frekvenciju. Ta induktivnost je u paralelnoj vezi sa produžnom zavojnicom L_R, pa je ukupna induktivnost veoma mala (*Kirhofov* zakon) i moguće je odgovarajućim podešavanjem trimera pronaći paralelnu rezonancu za 28 MHz, pri čemu svaka grana dipola postaje podešeni reflektor. Međutim, obično se odustaje od ove mogućnosti, jer je podešavanje komplikovanije; pri tome se mora menjati i produžna zavojnica. Reflektorsko dejstvo postoji i na 28 MHz, bez posebnog podešavanja, a neznatno poboljšanje koeficijenta korisnog dejstva reflektora nije u srazmeri sa dodatnim poslom oko podešavanja.

Induktivnost produžne zavojnice kod reflektora može se, takođe, zameniti kratko spojenim odsečkom voda, kao što je to kod reflektora prikazanog na sl. 18.6. Dužina odsečka voda je oko 130 cm i ona se može kliznim kratkim spojem podesiti tako da se rezonanca postigne na 13,5 MHz. Otvoreni odsečak četvrttalasnog voda dimenzionisan je za rezonantnu frekvenciju od 20,3 MHz. Frekvenciji od 20,3 MHz odgovara talasna dužina od 14,778 m, a od toga je 3,70 m četvrttalasna dužina. Budući da je za otvoreni odsečak voda odabran UKT trakasti vod od 300 Ω, treba uzeti u obzir njegov faktor skraćenja od 0,80 do 0,82, pa se geometrijska dužina voda dobije od oko 3 m. Za odsečak četvrttalasnog voda mogu se upotrebiti i drugi tipovi voda, pri čemu se uvek mora uzeti u obzir odgovarajući faktor skraćenja. Rezonanca se jednostavno i brzo utvrđuje pomoću baždarenog grid-dip metra.

Slični odnosi postoje i kod direktora za dva opsega prema sl. 18.5. U ovom slučaju podešava se na rezonantnu frekvenciju od 22,15 MHz, pomoću zatvorenog odsečka voda dužine 40 cm, dok otvoreni odsečak voda treba da bude u četvrttalasnoj rezonanci na 29,9 MHz. Budući da je direktor predugačak za direktorsko dejstvo u opsegu od 10 m, otvoreni četvrttalasni odsečak voda mora se skratiti u odnosu na $\lambda/4$ da bi se dobila rezonanca celog spoja na 29,9 MHz. Odabrana je dužina odsečka voda od 180 cm, iz čega se dobija električna dužina od 225 cm, uzimajući u obzir faktor skraćenja (0,80).

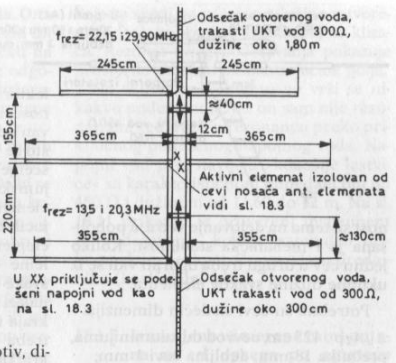
18.1.3. Kompletan prikaz usmerene mini-antene za tri opsega po amateru *G4ZU*

Na sl. 18.7 prikazan je ceo minijaturni bim po amateru *G4ZU*. Za nošenje cele konstrukcije upotrebljene su dve cevi na međusobnom razmaku od 12 cm. One služe istovremeno i za stvaranje zatvorenog odsečka voda reflektora i direktora. Aktivni element antene je izolovan od paralelnih nosećih cevi, kao što se vidi na sl.



Sl. 18.6. Reflektor mini bima po amateru G4ZU

Sl. 18.7. Minijaturni bim po amateru G4ZU za tri opsega



18.3. Reflektor i direktor su, naprotiv, direktno galvanski spojeni sa nosećim cevima. Jasno je da se može upotrebiti i drvena noseća konstrukcija, pri čemu se zatvoreni odsečci voda izrađuju od aluminijumskih cevi odgovarajuće dužine ili od aluminijumske trake. Odsečci otvorenog trakastog voda mogu se jednostavno ugurati u otvoren kraj cevi, a na slici su prikazani kako vise. Oni su na taj način zaštićeni od atmosferilija i ne vide se. Podešavanje se mora izvršiti i u ovom stanju.

U opsegu od 20 m nema direktorskog dejstva, antena u ovom slučaju deluje kao skraćena usmerena antena sa dva elementa. Podešavanje je otežano, jer je razmak reflektora samo oko 1/10 λ; širina opsega i pojačanje su manji nego kod neskraćene jednostrano usmerene antene sa dva elementa kod koje je razmak između reflektora veći.

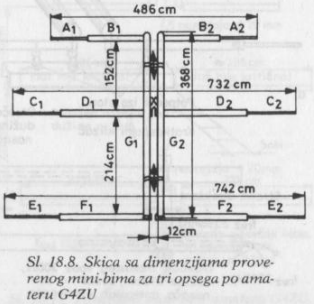
Minijaturni bim po amateru *G4ZU* sa tri elementa efikasan je u opsegu od 15 m. Razmak elemenata je normalno dimenzionisan, pa se može očekivati pojačanje antene od oko 6 dB i sve ostale karakteristike uobičajene *jagi*-antene sa tri elementa.

Ipak, bim po amateru *G4ZU* ima najpovoljnije karakteristike u opsegu od 10 m, jer on u tom opsegu radi sa produženim elementima. Pojačanje može iznositi oko 7 dB. Podešavanje u opsegu od 10 m i opsegu od 15 m nije tako kritično kao u opsegu od 20 m.

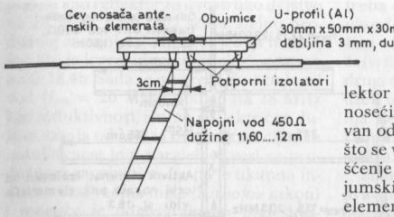
18.1.4. Usmerena mini antena za tri opsega po amateru *G4ZU* koju je jednostavno izraditi

Na sl. 18.8 prikazana je dimenzionalna skica proverenog mini bima amateru *G4ZU*. To su dimenzije industrijski proizvedene antene koja se u praksi uspešno koristi.

Radi veće čvrstine i manje težine polovine dipola podeljene su na deblju i tanju cev. Pri tom su dimenzije aluminijumskih cevi odabrane tako da se spoljašnja tanja cev može uvući u unutrašnju deblju cev poput teleskopa. Na taj način je pored smanjenja težine, postignuta i veća otpor-



Sl. 18.8. Skica sa dimenzijama proverenog mini-bima za tri opsega po amateru G4ZU



Sl. 18.9. Aktivni element sa napojnim vodom

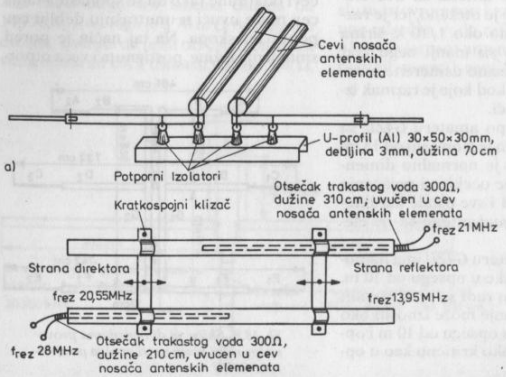
nost sistema na delovanje vetra, a poboljšana je i mehanička stabilnost. Koliko jednu cev u drugu treba ugurati vidi se iz ukupne dužine svakog elementa.

Potrebne su cevi sledećih dimenzija:

A_1, A_2 po 125 cm, cevi od duraluminijuma, prečnika 18 mm, debljina cevi 1 mm;
B_1, B_2 po 125 cm, cevi od duraluminijuma, prečnik 22 mm, debljina cevi 2 mm;
C_1, C_2 po 175 cm, cevi od duraluminijuma, prečnik 18 mm, debljina cevi 1 mm;
D_1, D_2 po 200 cm, cevi od duraluminijuma, prečnik 22 mm, debljina cevi 2 mm;
E_1, E_2 po 185 cm, cevi od duraluminijuma, prečnik 18 mm, debljina cevi 1 mm;
F_1, F_2 po 200 cm, cevi od duralumijuma, prečnik 22 mm, debljina cevi 2 mm;
G_1, G_2 po 368 cm, cevi od duraluminijuma, prečnik 30 mm, debljina cevi 2 mm.

Sva tri elementa su prekinuta u njihovoj geometrijskoj sredini; pri tom su reflektor i direktor u galvanskom spoju sa nosećim cevima. Aktivni element je izolovan od nosača antenskih elemenata, kao što se vidi na sl. 18.9. Za mehaničko učvršćenje elemenata služi po jedan aluminijumski U-profil dužine 70 cm, na koji su elementi pričvršćeni pomoću odgovarajućih izolatora (vidi sl. 18.9 i 18.10). Nosač elemenata antene sastoji se od dve paralelne cevi od duraluminijuma, dužina svake cevi iznosi 368 cm. Težište sistema nalazi se na oko 170 cm od direktorskog kraja nosača elemenata, i na tom mestu treba pričvrstiti vertikalni jarbol. Dva kratka spoja na paralelnim nosećim cevima koriste njihove spoljašnje odsečke kao zatvorene induktivne vodove. Otvoreni četvrttalasni delovi trakastog voda uvlače se u unutrašnjost noseće cevi, kao što je prikazano na sl. 18.10b. Svi ostali konstruktivni detalji vide se na sl. 18.9 i 18.10.

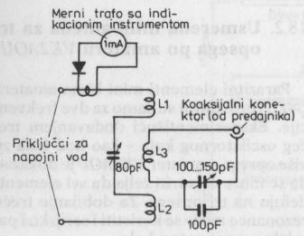
Za podešavanje sistema neophodan je grid-dip metar. Kada se završi nosač od paralelnih cevi, uguraju se oba otvorena odsečka trakastog voda u cev nosača antenskih elemenata (sl. 18.10b). Grid-dip metar se spregne sa krajevima trakastog voda koji vire, pa se utvrdi rezonantna



Sl. 18.10. Konstrukcija i podešavanje pasivnih elemenata: a – konstrukcioni detalji reflektora i direktora, b – nosač antenskih elemenata, sa odsečcima za podešavanje

frekvencija otvorenog odsečka voda. Ona treba da iznosi kod odsečka na strani direktora tačno 28 MHz, a na odsečku na strani reflektora 21 MHz. Kada se odgovarajućim skraćivanjem ili produžavanjem odsečka trakastog voda postigne ovo stanje rezonance, krajevi voda se učvrste u unutrašnjosti cevi pomoću malih drvenih klinova i krajevi cevi se zatvore kitom da bi bili vodonepropusni. Da bi se postigla otpornost na koroziju, treba koristiti kadmijumizirane ili pocinčane vijke i navrtke ili sa nekom drugom dobrom površinskom zaštitom. Da bi se izjednačila mehanička naprezanja izolatora preporučuje se da se na mestima učvršćenja pod izolatore podlože male kožne ili gumene pločice. Krajevi odsečaka otvorenog trakastog voda koji vire iz cevi nosača spajaju se sa elementima direktora odnosno reflektora i to tako da provodljivost bude dobra. Zatim se, radi daljeg podešavanja, ceo sitem podigne na visinu od oko 2 m iznad tla. Grid-dip metar se spregne sa zatvorenim odsečcima voda koji su formirani od cevi nosača antenskih elemenata. Odgovarajućim pomeranjem kratkospojenih klizača duž cevi nosača antenskih elemenata može se ostvariti rezonanca na strani direktora, pri frekvenciji od 20,55 MHz, a na zatvorenom odsečku reflektora, pri frekvenciji od 13,95 MHz. Time je završeno grubo podešavanje, pa se usmerena antena može pričvrstiti u svoj konačan položaj. Tu se vrši poslednje fino podešavanje, koje se svodi na promene dužine zatvorenih odsečaka pomoću kratkospojnih klizača. Rezultat finog podešavanja pokazuje prostorno udaljeni indikator jačine polja.

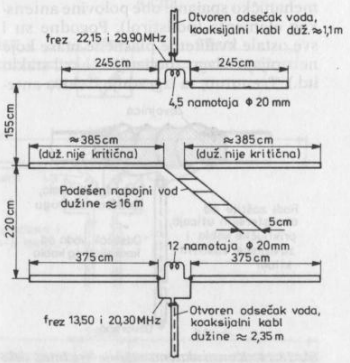
Na aktivnom elementu ne vrši se nikakvo podešavanje, jer on sam nije rezonantan, već stupa u rezonancu preko priključnog podešenog napojnog voda. Napojni vod predstavljaju »kokošije lestvice« sa karakterističnom impedancom od 450 Ω i dužinom od 11,60 do 12 m. Na sl. 18.11 prikazan je provereni instrument za podešavanje, koji je namenjen niskoomskom nesimetričnom izlazu predajnika (koaksijalni izlaz).



Sl. 18.11. Instrument za podešavanje mini-bima po amateru G4ZU: L_1 i L_2 imaju po 4 zavojka bakarne žice prečnika 1,5 mm; L_3 ima 3 zavojka bakarne žice od 1,5 mm; zavojnice su postavljene slobodno, a prečnik namotaja je 40 mm

18.1.5. **Izmenjena usmerena mini-antena za tri opsega po amateru** *G4ZU*

Zatvoreni odsečak voda na reflektoru i direktoru antene po amateru *G4ZU* može se zameniti zavojnicom, pri čemu se ne menja električna efikasnost antene (sl. 18.4). Na taj način mogu se odbaciti paralelne noseće cevi i elementi antene smestiti na drveni nosač (npr., kao na sl. 16.15). Gubici u zavojnici su veći nego u odsečku voda formiranog od debelih cevi. Negativan faktor je i nestabilnost zavojnice usled većeg uticaja atmosferilija, pa je jasno da je odsečak zatvorenog voda povoljniji.



Sl. 18.12. Izmenjeni mini-bim amatera G4ZU

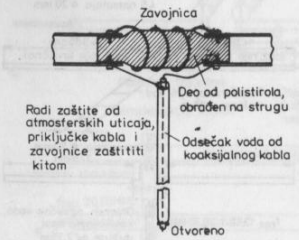


Sl. 18.13. Pregled konstruktivnog rešenja učvršćenja elemenata antene po amateru G4ZU prema sl. 18.12

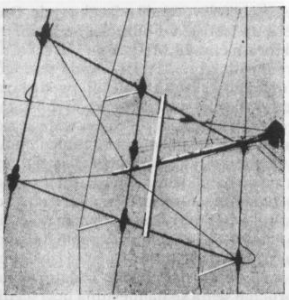
Uprkos tome, ponekad se mini-bim, po amateru *G4ZU* radije izvodi sa zavojnicama (sl. 18.12).

U ovom slučaju izuzetno je to što su oba odsečka otvorenog voda izvedena od koaksijalnog kabla, pa se mogu ugurati u otvorene krajeve cevi elementa antene. To nije posebna karakteristika ovog rešenja, jer se kod svakog bima amatera *G4ZU* mogu upotrebiti koaksijalni kablovi umesto uobičajenih odsečaka od trakastog voda (voditi računa o faktoru skraćenja). Ako se odsečci voda od koaksijalnog kabla ne uguraju u cev elementa antene, treba ih pričvrstiti na drveni nosač pomoću obujmica.

Elementi antene mogu se pričvrstiti na drveni nosač pomoću traverze od tvrdog drveta (sl. 18.13). Ako nema odgovarajućih potrebnih izolatora, mogu se upotrebiti izolovana ležišta za elemente antene (sl. 17.4). Na sl. 18.14 prikazano je praktično rešenje srednjeg dela reflektora i direktora. Zavojnica je namotana na komad izolacionog materijala koji služi za mehaničko spajanje obe polovine antenskog elementa (polistirol). Pogodne su i sve ostale kvalitetne plastične mase koje ne upijaju vlagu (polietilen, akril-staklo itd.). Trenutno, za izgradnju delova ante-



Sl. 18.14. Konstruktivno rešenje srednjeg dela reflektora i direktora



Sl. 18.15. Laka konstrukcija mini-bim amatera G4ZU prema amateru DM2AKN

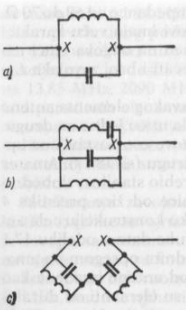
ne najpovoljnija je plastična masa armirana staklom.

Na sl. 18.15 prikazana je naročito vitka i laka antena amatera *G4ZU*, koja je konstruisana prema sl. 18.12. Masa ove antene je samo 15 kg, a izgradio je amater *DM2AKN*. Razmak između dve cevi nosača antene je 175 cm. One se, zbog toga, ne koriste kao odsečci zatvorenog voda, već služe samo za mehaničku stabilnost. Čitav niz zateznih konopaca doprinosi čvrstoći. Za izolovano pričvršćenje elemenata antene na noseće cevi upotrebljeni su presovani držači. Jasno se vide odsečci voda od koaksijalnog kabla; oni se vode duž elemenata antene i završavaju u jednoj od nosećih cevi.

18.2. **Usmerena mini-antena za tri opsega po amateru** *VK2AOU*

Parazitni elementi mini bima amatera *G4ZU* rezonantni su samo za dve frekvencije. Eksperimentišući dodavanjem trećeg oscilatornog kola – kao kod kola za više opsega – amater *VK2AOU* je dokazao da se može ostvariti želja da svi elementi deluju na tri opsega. Za dobijanje treće rezonance može se koristiti i serijsko i paralelno rezonantno kolo.

Na sl. 18.16a prikazan je element za dva opsega sa paralelnim rezonantnim kolom. Ako se paralelno njemu priključi serijsko rezonantno kolo (sl. 18.16b), moći



Sl. 18.16. Elementi za više opsega

će se ostvariti tri zelene rezonance. Isti efekat postiže se i spojem kao na sl. 18.16c, u kome su dva paralelna rezonantna kola vezana serijski između tačaka XX. I u ovom slučaju mogu se sve kapacitivnosti ostvariti pomoću odsečaka otvorenog voda, a induktivnost pomoću odsečaka zatvorenog voda odgovarajuće dužine. Međutim amater *VK2AOU* upotrebio je, ipak, obrtne kondenzatore i zavojnice, jer su mu omogućavali bolje podešavanje i mehanički jednostavniju izradu.

Vrednosti L i C ne mogu se unapred proračunati, jer svaka promena na pojedinom elementu utiče na ceo sistem. Tačne vrednosti i podešavanje postižu se najbrže pomoću eksperimenta. Pri tom se mora koristiti grid-dip metar.

Amater *VK2AOU* je razvio bim za tri opsega kod koga se na sva tri opsega uvek koriste tri elementa antene. Pri tome se napajanje vrši bilo kakvim prilagođenim vodom. Potrebna su dva napojna voda. Jedan služi za napajanje kada se radi na opsegu od 10 m, a drugim se pobuđuje antena u opsezima od 15 do 20 m. *VK2AOU* je dao tačne i opširne podatke na osnovu kojih se može izgraditi uspešna antena.

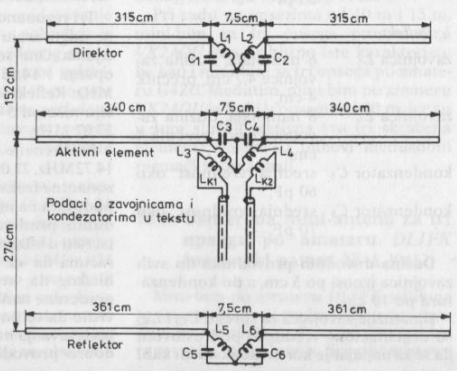
Mini bim za tri opsega nastao je od minijaturnog bima za jedan opseg istog amatera (vidi odeljak 17.1). Zadržane su dimenzije i razmaci elemenata antene; samo su, umesto produžnih zavojnica, upotrebljena paralelna rezonantna kola. Na sl. 18.17 prikazana je skica mini-bima za tri opsega po amateru *VK2AOU*.

18.2.1. **Dimenzionisanje sastavnih delova**

Vrednosti sastavnih delova na sl. 18.17 su sledeće:

1. *Direktor:*

zavojnica L_1 — 4 namotaja, dužina zavojnice 4,5 cm, prečnik 4 cm;



Sl. 18.17. Mini-bim za tri opsega po amateru VK2AOU

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

zavojnica L_2 — 6 namotaja, dužina zavojnice 7 cm, prečnik 4 cm;
kondenzator C_1 — srednja vrednost oko 65 pF;
kondenzator C_2 — srednja vrednost oko 100 pF.

2. *Aktivni element:*

zavojnica L_3 — 5 namotaja, dužina zavojnice 5 cm, prečnik 4 cm;
zavojnica L_4 — 7 namotaja, dužina zavojnice 4,5 cm, prečnik 4 cm;
zavojnica L_{K1} — 2 namotaja, slobodno namotana preko L_3 (zavojnica za spregu u opsegu od 10 m, kada se napaja proizvoljno dugačkim koaksijalnim kablom od 60 Ω);
zavojnica L_{K2} — 3 namotaja, slobodno namotana preko L_4 (zavojnica za spregu u opsezima od 15 m i 20 m, kada se napaja proizvoljno dugačkim koaksijalnim kablom od 60 Ω);
kondenzator C_3 — srednja vrednost oko 62 pF;
kondenzator C_4 — srednja vrednost oko 85 pF.

3. *Reflektor:*

zavojnica L_5 — 6 namotaja, dužina zavojnice 4,7 cm, prečnik 4 cm;
zavojnica L_6 — 8 namotaja, dužina zavojnice 6 cm, prečnik 4 cm;
kondenzator C_5 — srednja vrednost oko 60 pF;
kondenzator C_6 — srednja vrednost oko 70 pF.

Dužina dovodnih provodnika do svih zavojnica iznosi po 5 cm, a do kondenzatora po 10 cm.

Dimenzije zavojnica za spregu L_{K1} i L_{K2} su orijentacione vrednosti pod uslovom da se za napajanje koristi koaksijalni kabl karakteristične impedance od 60 do 70 Ω. Ako napojni vodovi imaju veću karakterističnu impedancu na odgovarajući način mora se povećati i broj zavojaka L_{K1} i L_{K2}.

Obe zavojnice svakog elementa antene treba što manje da utiču jedna na drugu. Zbog toga su njihove ose postavljene upravno jedna na drugu (sl. 18.17). Amater *VK2AOU* je upotrebio stabilne, slobodno namotane zavojnice od žice prečnika 4 mm. Za mehaničku konstrukciju cele antene važe preporuke date u odeljku 17.1 za mini-bim sa jednim opsegom po amateru *VK2AOU*. Kod antene izrađene kao uzorak korišćeni su elementi od duraluminijumske cevi prečnika 21 mm. Praktično, mogu se upotrebiti sve vrste cevi bilo kakvog prečnika ukoliko su dovoljno čvrste i lake.

18.2.2. Podešavanje

Prvo se pomoću grid-dip metra podese pojedini elementi antene na već proračunate rezonantne frekvencije. Grid-dip oscilator se veoma lako spreže sa zavojnicama, pa su rezonantne frekvencije izrazite i jednoznačne. Za prvo grubo podešavanje grid-dip metar se može veoma jako spregnuti sa zavojnicama; kod sledećeg finog podešavanja sprega treba da bude tako labava da se može dobro uočiti rezonantno opadanje struje.

Tri rezonance aktivnog elementa antene odgovaraju željenim radnim frekvencijama. One se, uopšte, biraju u sredini opsega : 14,15 MHz, 21,20 MHz i 28,50 MHz. Reflektor se podešava na frekvenciju nižu od 5%: 13,45 MHz, 20,14 MHz i 27,07 MHz.

Frekvencije direktora su više za 4 %: 14,72MHz, 22,05 MHz i 29,65 MHz. Ove rezonantne frekvencije važe kada se antena podešava na njenoj normalnoj visini. Međutim, prethodno podešavanje može se izvršiti u blizini tla. Pri tom se mora voditi računa da su, radi kapacitivnog uticaja bliskog tla, sve rezonantne frekvencije pomerene naniže. Amater *VK2AOU* je utvrdio da to pomeranje, kod prethodnog podešavanja na visini od dva metra iznad dobro provodljivog tla, iznosi 350 kHz za rezonancu od 14 MHz. Zbog toga, prilikom prethodnog podešavanja u blizini tla treba odabrati niže rezonantne frekvencije, npr., podesiti element koji zrači na 13,85 MHz, 2090 MHz i 28,20 MHz. I kod parazitnih elemenata treba smanjiti rezonantne frekvencije na odgovarajući način. Tada se može očekivati da će na normalnoj visini antene frekvencije biti približno tačne.

Podešavanje zavojnica nije naročito kritično; velike zavojnice L_2, L_4 i L_6 utiču, pre svega, na rezonancu od 14 MHz. Uz te zavojnice vezani su kondenzatori C_2, C_4 i C_6 koji deluju uglavnom na rezonancu od 21 MHz, mada se njihovim podešavanjem malo utiče na podešavanje na 14 MHz. Male zavojnice L_1, L_3 i L_5 služe pretežno za podešavanje rezonantnih tačaka na 21 MHz, dok kondenzatori C_1, C_3 i C_5 naročito utiču na promene rezonance od 28 MHz. Podešavanje ovih kondenzatora je veoma kritično; to posebno važi za C_5 i C_6. Zbog toga je opravdano da se za sve kondenzatore upotrebe promenljivi obrtni kondenzatori. Kvalitet ovih kondenzatora mora biti visok, tako da se ne smeju koristiti kondenzatori lošiji od veoma kvalitetnih vazdušnih trimera (polupromenljivih kondenzatora). Radi zaštite od uticaja atmosferilija preporučuje se da se kola za podešavanje postave u kućišta od plastične mase.

Kada su, pomoću grid-dip metra, »na hladno« podešene sve rezonantne frekvencije antene, prelazi se na podešavanje u radu. Radi toga antena se pobuđuje iz predajnika, a preko predviđenog napojnog voda. Pri tome se, uz pomoć indikatora jačine polja (koji se što je moguće više udalji od antene), antena podešava na najveće zračenje u željenom smeru i na najveće slabljenje u suprotnom smeru.

Mini-bim se prvo podešava na maksimalnu snagu u opsezima od 14 MHz i 21 MHz. Na ovim opsezima se vrednost kondenzatora ne menja ili samo malo menja. Podešavanje na opsezima od 14 MHz i 21 MHz mora se naizmenično ponavljati. Promena podešavanja na 20 m uslovljava stovremeno i promenu rezonance na 15 m i obrnuto. Kada se na ova dva opsega postigne optimum, položaji se obeleže i više se ne menjaju. Podešavanje u opsegu od 10 m ograničava se uglavnom na malo pomeranje kondenzatora C_1, C_3 i C_5. Ovo podešavanje nije kritično, optimum je veoma širok.

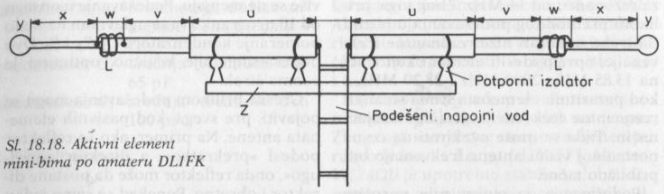
Greške prilikom podešavanja mogu se pojaviti, pre svega, kod pasivnih elemenata antene. Na primer, ako se reflektor podesi »prekratko«, a direktor »predugo«, onda reflektor može da postane direktor i obratno. Ponekad se samo jedan element loše podesi. Tada se može dogoditi da reflektor postane direktor, ili direktor dobije karakteristike reflektora. Ovo se može zapaziti po velikom smanjenju usmerenog zračenja. Da bi se takve greške odmah uočile, *VK2AOU* preporučuje korišćenje dva indikatora jačine polja. Jedan se koristi u glavnom smeru zračenja, a drugi za istovremenu kontrolu suprotnog smera zračenja. Samo sistemskim radom prilikom podešavanja može se postići uspeh. Ceo postupak sličan je podešavanju sinhronizacije kod superheterodinog prijemnika.

Ako se aktivni element izradi na način prikazan na slici 18.3a, a antena se napaja preko podešenog voda, uz istu efikasnost, omogućeno je nešto jednostavnije podešavanje. U tom slučaju se samo reflektor i direktor, moraju podešavati na odgovarajuće frekvencije, dok se aktivni element dovodi u rezonancu pomoću instrumenta za podešavanje antene ugrađenog na kraju napojnog voda.

Pri radu na opsezima od 10 m i 15 m, mini-bim za tri opsega po amateru *VK2AOU* ima približno iste karakteristike kao i mini-bim za tri opsega po amateru *G4ZU*. Međutim, mini-bim po amateru *VK2AOU* je bolji u opsegu od 20 m, jer su u tom slučaju aktivna sva tri skraćena elementa, mada su njihovi međusobni razmaci veoma mali.

18.3. Usmerena mini-antena za tri opsega po amateru *DL1FK* (nemački patent N^{r}-A 30652)

Mini-bim po amateru *DL1FK* odlikuje se veoma lakom i mehanički jednostavnom konstrukcijom. Po snazi ravan je barem svojoj »težoj braći«. Specifičnost ove



Sl. 18.18. Aktivni element mini-bima po amateru DL1FK

obrtne usmerene antene sa tri elementa je nov način konstrukcije pasivnih elemenata. Budući da se radi o novom, svrsishodnom rešenju problema antene za više opsega, konstrukcija će biti detaljnije opisana.

18.3.1. Aktivni element antene

Na sl. 18.18 prikazan je aktivni element antene po amateru *DL1FK*. U principu on je sličan aktivnom elementu mini-bima po amateru *G4ZU* (odeljak 18.1), ali sa nekoliko konstruktivnih finesa u korist smanjenja težine konstrukcije. Ukupna dužina aktivnog elementa je 8 m, pa je, prema tome, element ove dužine, približno rezonantan za opseg od 15 m (malo je predugačak). Tačna rezonanca ostvaruje se za sva tri opsega pomoću podešenog napojnog voda i instrumenta za podešavanje antene vezanog na njenoj priključnoj tački. Upotrebljene dural-cevi smanjuju se u prečniku stepenasto prema spoljašnjem kraju elementa antene.

Dimenzije prema sl. 18.18:

u – po 200 cm dural-cevi, prečnik 20 mm, debljina 1 mm;
v – po 100 cm dural-cevi, prečnik 18 mm, debljina 1 mm;
w - po 20 cm plastične cevi (sa malim gubicima i otporne na vlagu), prečnik 16 mm, debljina 2 mm do 4 mm;
x – po 60 cm dural-cevi, prečnik 10 do 12 mm, debljina 1 mm;
y – po jedna žičana petlja, prečnik savijanja je 10 cm, aluminijumska žica, prečnik 2 do 4 mm;
Z – traverza za učvršćenje koja se sastoji od dva duraluminijumska profila, dužina po 130 cm;
L – zavojnica namotana oko w, 6 zavojaka, prečnik zavojnice 3 cm, dužina zavojnice 10 cm, materijal: aluminijumska žica prečnika 3 do 6 mm,

Dovoljno je da debljina zida dural-cevi bude 1 mm. Međutim, treba se ravnati prema raspoloživom materijalu ili materijalu koji se može nabaviti, jer dimenzije pojedinih cevi i celog aktivnog elementa nisu kritične.

Obe polovine aktivnog elementa pričvrste se pomoću potpornih izolatora na traverzu koja se, prema *DL1FK*, sastoji do dva paralelna U-profila. Isti zadatak mogu ispuniti drveni nosači, ali oni su teži. Nosač antenskih elemenata sačinjavaju dve paralelne dural-cevi, a dužina svake je 420 cm. Na njih se obujmicama pričvrste U-profili. Ako se polovine aktivnog elementa previše savijaju, na sredinu noseće traverze može se ugraditi vertikalna konzola na čiji vrh se učvršćuju zatege koje pridižu savijene krajeve antenskih elemenata. U principu, moguće je da se, umesto opisanog, upotrebi i svaki drugi aktivni element za tri opsega (npr., prema *VK2AOU* ili *W3DZZ*).

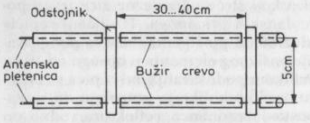
Aktivni element mora da ima električnu dužinu od najmanje $\lambda/2$ za opseg od 20 m; on ne sme da bude veće električne dužine od 1,2 λ za opseg od 10 m ($2 \times 0{,}6$ λ). Ovaj zahtev nije ispunjen kod nekih konstrukcija, pa se trbuh struje koji proizvodi najjače magnetno polje nalazi ili na napojnom vodu ili na elementima za podešavanje. U opsezima od 10 m i 15 m aktivni element (element koji zrači) deluje kao dva kolinearna polutalasna dela (niz dipola), koji se pobuđuju u fazi. Na taj način, u ova dva opsega sam aktivni element daje pojačanje od 1,8 dB. U opsegu od 20 m skraćeni aktivni element nešto je lošiji od polutalasnog dipola normalne dužine.

Električno produženje aktivnog elementa zavisno je od frekvencije i na njega utiču obe produžne zavojnice L u vezi sa žičanim petljama y koje deluju kao kapacitet na kraju. Na taj način se obezbeđuje da maksimumi struje optimalno doprinose zračenju.

18.3.2. Napajanje

Podešeni napojni vod treba tako dimenzionisati da se ni u jednom od korišćenih opsega ne javi maksimum struje ili napona na njegovom kraju. U suprotnom, pojavili bi se talasi u fazi na napojnom vodu (kao što je već opisano), pa bi napojni vod zračio istim intenzitetom kao sama antena. Kod *DL1FK* ovaj zahtev je ispunjen, jer je dužina napojnog voda 17,2 m. Pogodni bi bili i napojni vodovi od oko 12 m i 23 m.

Veoma lak i elastičan napojni vod može se napraviti od antenske pletenice koja se pomoću odstojnika drži na međusobnom razmaku od 5 cm. Komplikovano vezivanje ili pričvršćivanje podupirača nije potrebno ako se primeni sledeći metod: od odgovarajuće količine bužir-creva spoljašnjeg prečnika od oko 8 mm, odseći komade duge 30 do 40 cm. Na svaku žilu napojnog voda navući prvo po komad bužira, zatim odstojnik, pa opet bužir, zatim opet odstojnik itd., sve dok se ceo vod naizmenično ne prekrije komadima bužina i odstojnicima (sl. 18.19). Prednost ovog metoda je i to što se napojni vod time izoluje. Odstojnici se izrađuju od odgovarajućih plastičnih traka. Oba otvora u odstojniku (na razmaku od 5 cm) treba da budu takva da antenska pletenica lako prolazi kroz njih. Komadi bužir-creva drže odstojnike u njihovom položaju. Napojni vod se spreže sa izlaznim stepenom predajnika pomoću poznatog elementa za spregu sa antenom (vidi odeljak 8.2).

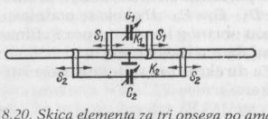


Sl. 18.19. Napojni vod

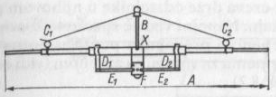
18.3.3. Pasivni elementi antene

Dok su dosadašnji podaci o aktivnom elementu i o njegovom napojnom vodu bili zasnovani na već poznatim činjenicama, dalje opisani pasivni elementi antene po amateru *DL1FK* predstavljaju principijelnu novost. Rezonanca pasivnih elemenata za različite željene frekvencije ostvaruje se tako što se, uz korišćenje delova elementa simetričnih prema sredini, stvaraju rezonantna kola za ove frekvencije. Rezonantna kola su veoma kvalitetna zbog njihove konstrukcije, a delovi elemenata antene koji ne pripadaju rezonantnom kolu priključuju se na onom mestu rezonantnog kola koje odgovara njihovoj impedanci, što je uslovljeno samom konstrukcijom. Takav pasivni element antene *DL1FK* za više opsega prikazan je u vidu skice na sl. 18.20. Pored samog elementa antene, on sadrži i dva linearna člana za podešavanje K_1 i K_2. U principu, time se mogu podešavati tri frekvencije. Pomeranjem klizača S_1, odnosno S_2, menja se vrednost induktivnosti, a obrtanjem promenljivih kondenzatora menja se vrednost kapacitivnosti.

Ako se element dimenzioniše po dužini tačno za srednju radnu frekvenciju – npr., 21 MHz (dobro je da bude malo duži, nego što je proračunato), onda C_2 omogućava električno skraćenje. Međutim, C_2 i deo elementa između obujmica S_2 služe istovremeno i za podešavanje rezonance na željenoj nižoj frekvenciji, npr., na 14 MHz. Ovo podešavanje je veo-



Sl. 18.20. Skica elementa za tri opsega po amateru DL1FK: S_1, S_2 – klizne obujmice; C_1, C_2 – obrtni kondenzatori maksimalnog kapaciteta 50 ili 100 pF



Sl. 18.21. Pasivni element prema amateru DL1FK

ma oštro, element postaje selektivniji na 14 MHz nego što je normalno dimenzionisani element za opseg od 20 m (smanjena širina opsega). Analogno tome, K_1 sa C_1 i S_1 predstavljaju rezonantno kolo za željenu višu frekvenciju, u našem slučaju 28 MHz. Ovo kolo mora se podešavati veoma pažljivo, jer postoji opasnost da se podesi pogrešno, tako da na frekvenciji od 28 MHz element deluje kao jednotalasni deo. Kako u takvom jednotalasnom delu dolazi do faznog obrtanja 2 × 180° (oba polutalasna dela pobuđuju se u protivfazi), on je nepogodan kao pasivni element.

Posle prethodnog teoretskog objašnjenja principa, sledi praktičan opis ovih elemenata. Na sl. 18.21 prikazan je pasivni element, koji se u anteni po amateru *DL1FK* koristi kao reflektor, odnosno direktor. Veoma laka i praktična konstrukcija dobiće se ako se ispruženi deo parazitnog elementa dimenzioniše tako da njegova dužina A približno odgovara opsegu od 15 m. Da se tanke cevi (koje prema krajevima postaju još tanje) ne bi previše savijale, zategnute su pomoću vertikalne konzole B od 20 cm. Za zatezanje je upotrebljena antenska pletenica, koja je na krajevima odvojena od elementa pomoću porculanskih prstenova (C_1 i C_2). Ove zatezne žice mogu se istovremeno koristiti kao parazitni element za opseg od 10 m, ako se njihova dužina odredi na odgovarajući način. U opsegu od 20 m, kao parazitni element deluje premoščenje $D_1 - E_1 - E_2 - D_2$, koje se podešava pomoću obrtnog kondenzatora F. Dimenzije su date u daljem tekstu.

Za direktor i za reflektor važe iste oznake.

D_1, D_2 – klizne obujmice, aluminijum, dužine po 10 cm.

C_1, C_2 – porculanski prstenovi

B – vertikalna konzola od 20 cm; za nju se može iskoristiti nosač televizijskog trakastog kabla koji se može kupiti u radnjama koje prodaju TV antene

F – obrtni kondenzator 12 do 50 pF između krajeva E_1 i E_2

X – geometrijska sredina ispruženog elementa; ovo mesto se može pričvrstiti i galvanski vezati na poprečni nosač antenskih elemenata (minimum napona).

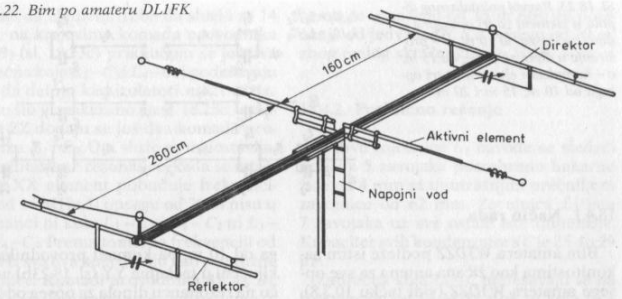
Oznaka prema sl. 18.21	Element kao direktor	Element kao reflektor
Dužina elementa A (dural-cev)	6,80 m	7,40 m
Ukupna dužina zatezne žice između C_1 i C_2 (antenska pletenica)	4,80 m	5,00 m
Dužina žica E_1 i E_2 (prečnik 3 mm) svaka po	1,10 m	1,30 m

Kod srednjih snaga predajnika dovoljno je da razmak između ploča obrtnog kondenzatora F bude 0,5 do 1 mm. Kondenzator se mehanički pričvrsti pomoću izolacionog podupirača (npr., traka od pleksiglasa) u sredini elementa antene (tačka X). Kondenzator treba zaštiti od atmosferskih uticaja. U tu svrhu on se može postaviti u vodonepropusno kućište ili u plastičnu kesicu.

Na sl. 18.22 prikazana je skica celog antenskog sistema *DL1FK*. Kod ove antene ukupna dužina nosača antenskih elemenata je 4,20 m. Razmak između direktora i aktivnog elementa iznosi 1,60 m, a između reflektora i aktivnog elementa 2,60 m. Nosač je pričvršćen u njegovom težištu.

Na slici se lako uočavaju kratki krajevi žica koji strče od zatezne žice izvan porculanskih prstenova. Ti »žičani repići« (dužine od po 10 cm) služe za podešavanje pasivnog elementa u opsegu od 10 m. Prilikom podešavanja, od repića se odseče onoliko koliko je potrebno da se uspostavi rezonanca reflektora, odnosno direktora u opsegu od 10 m.

Sl. 18.22. Bim po amateru DL1FK



18.3.4. Podešavanje

Za optimalno podešavanje ove antene potrebni su grid-dip metar i jednostavan indikator jačine polja. Antena se može montirati oko 2 m iznad tla i podesiti. Prvo se provizorno podešava na 20 m. Zatim se krajevi zateznih žica, koje služe kao pasivni elementi za opseg od 10 m namotaju na izolovani izvijač (izbegavati kapacitivnost ruke) da bi se utvrdile tačke u kojima ih treba odseći. Na svakoj strani dodaju se još 3 cm radi izravnavanja razlike između bliskog tla i kasnijeg stalnog mesta antene. Zatim se krajevi svih elemenata koji su predugi za opseg od 15 m skraćuju postepeno sve dok se ne dođe u blizinu željene rezonance. Ta dužina tačno odgovara stalnom mestu antene na stubu. Obrtni kondenzatori za opseg od 20 m podešavaju se, po mogućnosti, tek posle konačne montaže. Pri tom se mora pažljivo posmatrati indikator jačine polja, jer je podešavanje veoma oštro. Preporučuje se da se podesi prvo reflektor, a zatim direktor na minimum zračenja u suprotnom smeru, jer je on oštriji i jednoznačniji od maksimuma zračenja u glavnom smeru.

Rezonantne frekvencije koje treba podesiti date su u tabeli 18.1.

Kod podešavanja u opsegu od 20 m voditi računa o tome da se otpornost u tački napajanja aktivnog elementa znatno menja i da se sasvim smanji kada direktor stupi u rezonancu na minimalnom razmaku od aktivnog elementa. Ako se koristi otvoreni vod, onda se istovremeno mora podešavati izlaz predajnika.

Princip linearnih zamki za talase, odnosno podešenih elemenata *DL1FK* bima može se primeniti i na mnoge druge oblasti.

Tabela 18.1

REZONANTNE FREKVENCIJE BIMA ZA TRI OPSEGA PO AMATERU DL1FK ZA PODEŠAVANJE POMOĆU GRID-DIP METRA

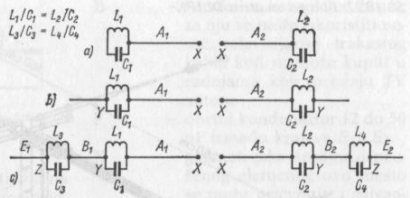
Radna frekvencija	Podešavanje reflektora	Podešavanje direktora
28400 kHz	27600 kHz	29400 kHz
21250 kHz	20800 kHz	21700 kHz
14250 kHz	13950 kHz	14555 kHz

18.4. Usmerena antena za tri opsega po amateru *W3DZZ*

Amater *W3DZZ* je predložio svrsishodno i efikasno rešenje bima za tri opsega. Kod ove antene nema kompromisa, ona postiže iste rezultate koji odgovaraju trima pojedinačnim *jagi*-antenama. Ova obrtna usmerena antena zahteva znatan mehanički trud, a i samostalnu izradu pojedinih preciznih delova.

Bim amatera *W3DZZ* konstruisan je za američke uslove. Amater *DL1AU* uz podršku amatera *W3DZZ*, razvio je evropsku verziju u metričkom sistemu i koristi vrste cevi uobičajene u našim trgovinama.

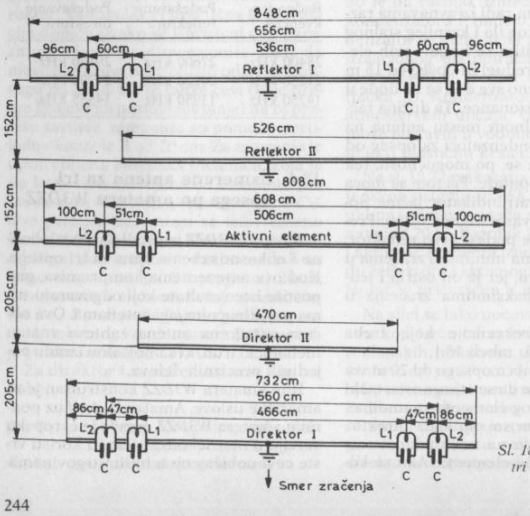
Sl. 18.23. Razvoj polutalasnog dipola u element za tri opsega: a – dipol za opseg od 10 m, b – proširenje u dipol za opseg od 15 m, c – kompletan element za tri opsega od 10 m, 15 m i 20 m



18.4.1. Način rada

Bim amatera *W3DZZ* podleže istim zakonitostima kao žičana antena za sve opsege amatera *W3DZZ* (vidi tačku 10.2.8). Način rada razmatraće se još jedanput na primeru aktivnog elementa (sl. 18.23).

Dimenzije dipola za opseg od 10 m (sl. 18.23a) odgovaraju uobičajenoj dužini polutalasnog dipola za ovaj opseg. Slobodni krajevi zaključeni su sa po jednim paralelnim rezonantnim kolom $L_1 - C_1$ i $L_2 - C_2$. Kod dovoljno velike dobrote zaprečna kola predstavljaju veoma veliku otpornost za njihovu rezonantnu frekvenciju; ona deluje kao izolator. Ta kola su podešena na radnu frekvenciju opsega od 10 m, pa komadi provodnika priključeni u tačkama YY (sl. 18.23b) ne utiču na rezonancu dipola za opseg od 10 m. Ako se aktivni element napaja frekvencijom od, npr., 21 MHz (napajanje se vrši u tačkama XX), onda oba zaprečna kola nisu u rezonanci za ovu frekvenciju, pa više ne deluju kao izolatori. Tada kola $L_1 - C_1$ i $L_2 - C_2$ deluju kao produžne induktivnosti dipola za opseg od 15 m. Ako se pravilno dimenzionišu komadi provodnika B_1 i B_2, onda oni zajedno sa A_1 i A_2 kao i sa induktivnostima L_1 i L_2 predstavljaju polutalasni dipol za 21 MHz, pri čemu se položaj rezonance za 28 MHz ne menja.



Sl. 18.24. Skica bima za tri opsega po amateru W3DZZ

Budući da element treba da služi i za 14 MHz, na krajevima komada provodnika B_1 i B_2 (sl. 18.23c) priključuju se još dva zaprečna kola $L_3 - C_3$ i $L_4 - C_4$ i podešavaju tako da deluju kao izolatori na 21 MHz.

Kao što je prikazano na sl. 18.23c, u tačkama ZZ dodaju se još dva komada provodnika E_1 i E_2. Oni služe za uspostavljanje polutalasne rezonance; kada se u tačkama XX element pobuđuje frekvencijom od 14 MHz. U opsegu od 20 m nisu u rezonanci ni kola $L_1 - C_1$ i $L_2 - C_2$ ni $L_3 - C_3$ i $L_4 - C_4$. Prema tome, na frekvenciji od 14 MHz sva ova kola deluju kao produžne zavojnice. Komadi provodnika A_1, A_2, B_1, B_2 i E_1, E_2 daju zajedno sa induktivnostima L_1, L_2, L_3 i L_4 polutalasnu rezonancu u opsegu od 20 m. Zbog toga je raspored elemenata (sl. 18.23c) podešen istovremeno za rad na tri opsega, i to bez prekopčavanja.

Pasivni elementi izvedeni su na isti način, pri čemu su samo kod reflektora rezonance niže za odgovarajuću vrednost, a više kod direktora. Budući da se ovi elementi pobuđuju parazitno, ne treba ih deliti u geometrijskoj sredini. Na tom mestu mogu se uzemljiti pasivni elementi.

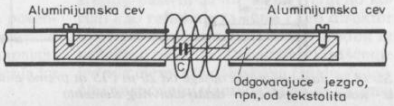
Na sl. 18.24 prikazana je skica celokupnog bima za tri opsega po amateru *W3DZZ*. Pada u oči da se između aktivnog elementa i reflektora, kao i između aktivnog elementa i direktora, nalazi još po jedan kratki pasivni element. To su reflektor i direktor za rad u opsegu od 10 m. Ovi elementi su dodati da razmaci reflektora i direktora u antenskom sistemu sa tri elementa podešenom za rad na tri opsega ne budu preveliki za rad u opsegu od 10 m. Na taj način antena radi na 28 MHz sa ukupno 5 elemenata, pri čemu drugi reflektor skoro nimalo ne doprinosi pojačanju. Zbog toga se pri radu u opsegu od 10 m može računati sa pojačanjem od oko 7 dB. Na 21 MHz i na 14 MHz zadejstvovana su samo tri elementa, pri čemu se u opsegu od 15 m postiže pojačanje od jedva 6 dB, a u opsegu od 20 m, zbog malog skraćenja, oko 5 dB.

18.4.2. Praktično rešenje

Za sve zajednice L_1 navode se sledeći podaci: 5 zavojaka posrebrene bakarne žice od 4 mm sa unutrašnjim prečnikom zavojnice od 62 mm. Zavojnica L_2 ima 7 zavojaka uz sve ostale iste dimenzije. Kapacitet svih kondenzatora C je 25 do 29 pF.

Zaprečna kola $L_1 - C$ podešavaju se na frekvenciju od 28 MHz, dok se kola $L_2 - C$ podešavaju na 20,2 MHz. Pri tom treba voditi računa da se podešavanje vrši promenom dužine zavojnice, jer se kapacitivnost kola od 25 do 29 pF, u svakom slučaju, mora zadržati. U originalnom rešenju amatera *W3DZZ* pokazalo se naročito povoljno da kondenzator C predstavlja sama cev elementa. Cevi se mogu teleskopski uvući jedna u drugu, a između njih se nalazi cev od izolacionog materijala, čime se stvara kapacitivnost, jer izolacioni umetak predstavlja dielektrik. Ovakva konstrukcija zahteva veliku mehaničku preciznost i pogodne cevi odgovarajućeg prečnika i debljine zida. Mehanički jednostavnije rešenje je u tome da se cevi međusobno spoje pomoću odgovarajućeg umetka od izolacionog materijala (sl. 18.25). Kao izolacioni materijal pogodan je tekstolit, jer je otporan na lomljenje. Međutim, neke vrste tekstolita imaju velike dielektrične gubitke, a takvi slojeviti materijali imaju i tendenciju upijanja vlage.

Zbog toga je potrebna dodatna površinska zaštita. Postoje plastične mase sa malim gubicima i dovoljnom elastičnošću i otpornošću na lomljenje. One se prodaju pod različitim nazivima. U mehaničkom i električnom pogledu najpovoljniji su okrugli štapovi od poliestera ojačanog



Sl. 18.25. Predlog za izradu zaprečnog kola

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

staklom (plastični ribolovački štapovi). Kondenzator C mora tada biti veoma kvalitetan i sa fiksnom vrednošću koja se malo menja sa temperaturom, s tim da mora biti zaštićen od atmosferilija. Njegova kapacitivnost može da bude samo 15 do 20 pF, jer se približavanjem obe cevi elementa već javlja izvesna početna kapacitivnost.

Sistem se može napajati pomoću proverenog i pouzdanog gama-prilagođenja (vidi odeljak 6.3). Tada se za napajanje može koristiti proizvoljna dužina koaksijalnog kabla. Ako je gama-element optimalno prilagođen za rad u opsegu od 15 m, talasnost napojnog voda biće u podnošljivim granicama i opsezima od 10 m i 20 m.

Za bim po amateru *W3DZZ* može se koristiti aktivni element iz bima po amateru *DL1FK* (vidi sl. 18.18), koji se napaja podešenim vodom. Tada nisu potrebna zaprečna kola u aktivnom elementu, a položaj rezonance za svaki opseg određuje se na kraju napojnog voda koji se nalazi uz predajnik.

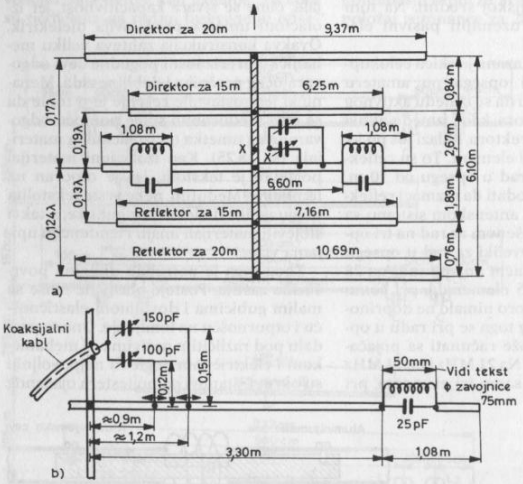
18.5. Kombinovane *jagi*-antene za opsege od 20 m i 15 m

Kombinovanim antenama se nazivaju antene izgrađene od elemenata dimenzionisanih za različite frekventne opsege, smeštenih i međusobno uklopljenih na zajednički nosač antenskih elemenata. Pri tom se razmaci elemenata biraju tako da međusobni uticaj elemenata koji ne pripadaju istom opsegu budu što je moguće manji.

18.5.1. *Jagi*-antena za opsege od 20 m i 15 m po amateru *KH6OR*

Amater *KH6OR* je razvio bim za dva opsega, koji je kombinacija »pravog« aktivnog elementa za više opsega i pasivnih, naizmenično uklopljenih elemenata. Na sl. 18.26a prikazana je skica ove antene, a iz detalja (sl. 18.26b) vide se pojedinosti aktivnog elementa.

U aktivnom elementu nalaze se dva zaprečna kola kao kod antene po amateru



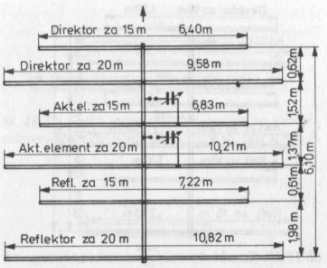
Sl. 18.26. Jagi-antena za opsege od 20 m i 15 m prema amateru KH6OR: a – kompletna skica, b – detalj aktivnog elementa

W3DZZ, koja su podešena na rezonantnu frekvenciju od 20,5 MHz. Kapacitet kondenzatora je po 25 pF; obe zavojnice imaju po 6 zavojaka od aluminijumske žice debljine 3 do 3,5 mm. Prečnik namotavanja je 75 mm, a zavojci su raspoređeni na dužini od 50 mm. Novost predstavljaju dva paralelno spojena gama-prilagođenja različite dužine, koja omogućavaju da se u oba opsega postigne dobro prilagođenje na koaksijalni kabl. Vrednosti navedene za gama-prilagođenja su orijentacione, i moraju se korigovati konačnim podešavanjem, sve dok se na koaksijalnom kablu ne postigne najmanja talasnost. Za date dimenzije aktivnog elementa obe rezonantne frekvencije antene iznose 14,3 i 21,3 MHz.

Pasivni elementi imaju pune dužine i na nosaču su raspoređeni tako da je njihov međusobni uticaj smanjen na najmanju meru. Razmak reflektora za opseg od 20 m iznosi 0,124 λ, a za opseg od 15 m 0,13λ. Razmaci direktora su odabrani od 0,17 λ za opseg od 20 m i 0,19 λ za opseg od 15 m. Iz toga proizlazi ukupna dužina nosača antenskih elemenata od 6,10 m. Jasno je da se aktivni element može zameniti svakim drugim elementom za više opsega. Pri tome treba imati u vidu da jako skraćivanje aktivnog elementa nema mnogo smisla. Ako se već koriste pasivni elementi pune dužine, onda ne bi trebalo pogoršati njihove dobre karakteristike skraćivanjem aktivnog elementa, jer se time smanjuje njegov koeficijent korisnog dejstva. Dobra zamena aktivnog elementa za dva opsega mogao bi biti element za tri opsega iz bima *DL1FK* prema (sl. 18.18). Osim toga, tada postoji i mogućnost da se na nosač antenskih elemenata postave pasivni elementi i za opseg od 10 m, čime se omogućava rad na tri opsega.

18.5.2. *Jagi*-antena za opsege od 20 m i 15 m po amateru *W8FYR*

Skica antene sl. 18.27 nema ništa posebno. To su dve normalno dimenzionisane *jagi*-antene sa tri elementa, koje se napajaju odvojeno pomoću gama-prilagođenja, a smeštene su na zajednički nosač.



Sl. 18.27. Kombinovana jagi-antena za opsege od 15 m i 20 m

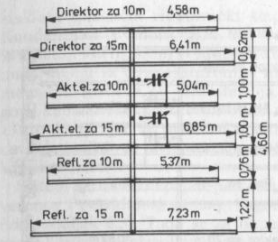
Ova vrsta antene ne dovodi do komplikacija prilikom izgradnje i pogodna je za amatere koji raspolažu sa dovoljno prostora i sa potrebnim materijalom.

Na osnovu malo veće dužine elemenata u odnosu na antenu *KH6OR*, može se zaključiti da se rezonantne frekvencije ove antene nalaze bliže niskofrekventnom početku opsega (deo opsega za telegrafiju). Gama-prilagođenja se dimenzionišu prema odeljku 6.3. Potrebna su dva odvojena koaksijalna kabla za napajanje. Ako se na antenski nosač pričvrsti koaksijalni relej za prebacivanje aktivnog elementa antene, dovoljan je samo jedan napojni kabl.

18.6. Kombinovane *jagi*-antene za opsege od 15 m i 10 m

na sl. 18.28 prikazana je kombinovana *jagi*-antena za opsege od 15 m i 10 m, čiji je princip isti kao kod antene na sl. 18.27. Zbog toga, i za ovu antenu važe svi podaci koji su dati za antenu za opsege od 20 m i 15 m.

Antena za dva opsega po amateru *W4KFC* (sl. 18.29) malo je neobična. Ona ima jedan pasivni element manje, jer se srednji pasivni element istovremeno koristi kao reflektor za 10 m i kao direktor za 15 m. Ovaj element je nešto predug za reflektor na 10 m. Dvostruko korišćenje jednog elementa uslovljava i malo drugačiju raspodelu elemenata, pa je ukupna

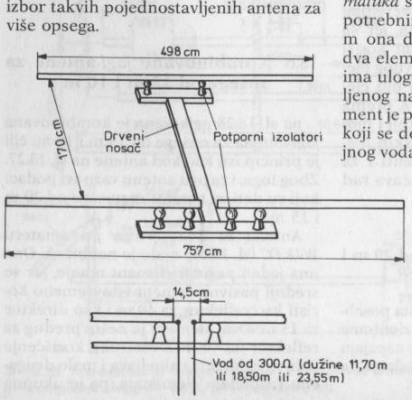


Sl. 18.28. Kombinovana jagi antena za opsege od 10 m i 15 m.

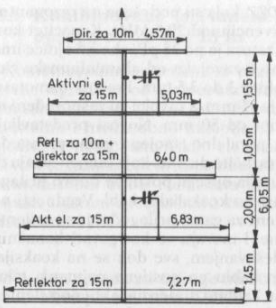
dužina nosača antene 6,05 m. Budući da je dužina nosača antene (sl. 18.28) samo 4,60 m i da ona daje isti efekat, ušteda jednog elementa nije odlučujuća prednost koja bi nas opredelila na izradu ovog tipa antene.

18.7. Jednostavne kompromisne antene za više opsega

Jednostavnim kompromisnim rešenjima antena za više opsega mogu se često postići iznenađujuće dobri rezultati, naročito ako se takva antena izgradi na velikoj visini. U sledećem tekstu opisan je izbor takvih pojednostavljenih antena za više opsega.



Sl. 18.30. Antena za tri opsega marija-maluka



Sl. 18.29. Kombinovana jagi-antena za opsege od 10 m i 15 m po amateru W4KFC

18.7.1. Antena *marija-maluka* za tri opsega

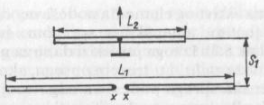
Ova antena za tri opsega rasprostranjena je u Latinskoj Americi i naziva se *marija-maluka (Maria-maluca – na španskom: bolešljiva Marija).* Ona se može koristiti za amaterske opsege od 10 m, 15 m i 20 m, pri čemu se aktivni element pobuđuje i dovodi u rezonancu pomoću podešenog napojnog voda.

Na sl. 18.30 prikazana je antena *marija-maluka* sa svim detaljima i dimenzijama potrebnim za izgradnju. U opsegu od 10 m ona deluje kao usmerena antena sa dva elementa, pri čemu pasivni element ima ulogu malo dužeg direktora postavljenog na razmaku od λ/6. Aktivni element je produženi dipol za opseg od 10 m koji se dovodi u rezonancu preko napojnog voda i antenske sprege, isto kao kod

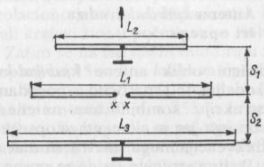
bima *G4ZU*. U opsegu od 15 m antena radi kao polutalasni dipol pune dužine sa malom efikasnošću direktora, jer se on nalazi na razmaku od λ/8, a osim toga prekratak je za 21 MHz. Međutim još se uvek jasno utvrđuje da on deluje kao direktor. Konačno, *marija-maluka* u opsegu od 20 m deluje kao skraćeni dipol. Direktor deluje i na 20 m, ali veoma slabo. Zbog toga se smatra da je snaga antene u opsegu od 20 m jednaka snazi polutalasnog dipola normalne dužine.

Antena se pobuđuje napojnim vodom od 300 Ω određene dužine. Dužina voda može iznositi, po želji, 11,70 m, 18,50 m ili 23,55 m. Samo sa ovim dužinama mogu se postići najpovoljniji rezultati rada.

Marija-maluka antena ne može imati veliku efikasnost. Ona je kompromisno rešenje, koje se može ostvariti najjednostavnijim sredstvima. Izgradnja ove antene za tri opsega uvek je uspešna, a njena pogodnost za rad već je dokazana.



Sl. 18.31. Skica antene za dva opsega sa jednim odnosno dva elementa (dimenzije su date u tabeli 18.2)



Sl. 18.32. Skica usmerene antene za dva opsega sa dva elementa (dimenzije su date u tabeli 18.2)

18.7.2. Jednostavni oblici antena za dva opsega

Podešeni polutalasni dipol, koji ima punu dužinu za opseg niže i frekvencije, jeste najjednostavnije rešenje za rad na dva opsega. Polutalasnom dipolu dodaje se direktor dimenzionisan za amaterski opseg više frekvencije, tako da u njemu antena deluje kao jednostrano usmerena sa dva elementa.

Na sl. 18.31 prikazana je takva antena za dva opsega, a njena mehanička konstrukcija je ista kao kod antene *marija-maluka*. Po potrebi antena se može konstruisati za opsege 20 m + 15 m, 15 m + 10 m ili 20 m + 10 m. Pri tom za prvonavedeni opseg antena uvek deluje kao polutalasni dipol, dok je za signale iz drugog opsega uvek usmerena antena sa dva elementa. U tabeli 18.2 date su potrebne dimenzije koje odgovaraju oznakama na sl. 18.31.

Ovaj najjednostavniji oblik antene može se proširiti korišćenjem tri elementa (sl. 18.32). U svakom slučaju, kod njih su efikasna dva elementa: u opsegu nižih frekvencija, antena se sastoji od napajanog polutalasnog dipola i reflektora, a u opsegu viših frekvencija od aktivnog elementa i direktora. I za ovu izvedbu dimenzije su date u tabeli 18.2, u kojoj se na proširenu oblik odnose samo dimenzije L_3 i S_2. Zbog toga se proširenje postojeće antene (sl. 18.31) može izvršiti samo dodavanjem L_3 na razmaku S_2 (sl. 18.32).

Obe vrste antena pobuđuju se podešenim vodom od 300 Ω, pri čemu se rezo-

Tabela 18.2

PODACI O JEDNOSTAVNIM ANTENAMA ZA DVA OPSEGA PREMA sl. 18.31 i 18.32

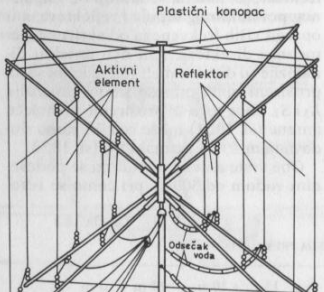
Amaterski opsezi	20 m + 15 m	15 m + 10 m	20 m + 10 m
Dužina L_1 (aktivni element)	10,19 m	6,83 m	10,19 m
Dužina L_2 (direktor)	6,40 m	4,57 m	4,57 m
Dužina L_3 (reflektor)	10,77 m	7,25 m	10,77 m
Razmak S_1	1,70 m	1,27 m	1,27 m
Razmak S_2	3,05 m	1,70 m	3,05 m

nanca aktivnog elementa podešava odgovarajućom antenskom spregom (vidi odeljak 8.2). Iz toga proizlazi da se za nuždu može raditi i u trećem opsegu, ako se antenska sprega podesi na odgovarajući način. Pri tom se može obrnuti smer zračenja, a može doći i do zračenja u dva smera.

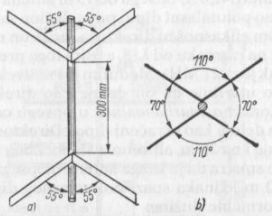
18.8 Antena *kjubikal-kvad* za tri opsega

Okvirni oblik antene *kjubikal-kvad* (vidi odeljak 15.1) naročito je pogodan za konstrukciju kombinovane antene za više opsega, jer se elementi za opsege viših frekvencija mogu smestiti unutar okvira. Dužina stranice *kvada* za opseg od 20 m iznosi preko 5 m, pa svaki amater ne može raditi sa tolikim dimenzijama. Međutim, bilo je dosta primera kada su antene tipa *kvad* za tri opsega odolevale jakim olujama, iako im je konstrukcija sasvim laka. Kada se koristi bambus, masa *kvad*-antene za tri opsega kreće se oko 20 kg. Otpornost na delovanje vetra i ukupna masa mogu se poboljšati ako se umesto bambusa upotrebe štapovi od poliestera ojačanog staklom (ribolovački štapovi).

U daljem tekstu, opisane *kvad*-antene za tri opsega mogu se, ako se odustane od



Sl. 18.33. Kjubikal-kvad za tri opsega



Sl. 18.34. Srednji deo kjubikal-kvada za tri opsega: a – pogled sa strane, b – pogled odozgo

rada na opsegu od 20 m, koristiti i kao *kvadovi* za dva opsega – od 15 m i 10 m.

18.8.1. *Kvad* za tri opsega po amateru *W4NNQ*

Prilikom izgradnje *kvad*-antene najveća teškoća je konstrukcija lakog i na vitoperenje otpornog nosećeg kostura. Amater *W4NNQ* je prvi predložio da se konstrukcija izvede sa centralnim komadom koji liči na glavčinu sa paocima, što se može smatrati naročito dobrim rešenjem, kako u mehaničkom tako i u električnom pogledu.

Na sl. 18.33 data je skica *kvad*-antene za tri opsega. Centralni deo konstrukcije je komad cevi na koji je navareno 8 kraćih podupirača u koje se uglavljuju potporni nosači od bambusa. Podupirači se sastoje od po jednog ugaonog komada gvožđa 40 mm × 40 mm × 5 mm, dužine 50 cm. Dužina komada cevi je 40 do 60 cm, a njegov unutrašnji prečnik jednak je spoljašnjem prečniku cevi antenskog jarbola. Ne može se dati opšte važeće uputstvo za određivanje ugla pod kojim treba navariti podupirače na centralnu cev, jer ugao zavisi od odabranog razmaka reflektora. Pojedini podupirači ne postavljaju se u istoj horizontalnoj ravni iz mehaničkih razloga, već se ostavlja određeni razmak između 4 gornja i 4 donja podupirača.

Konstrukcija srednjeg komada prema amateru *W4NNQ* prikazana je na sl. 18.34a. Ugaonici od gvožđa obrade se na

centralnu cev i da se mogu na nju stabilno zavariti. U ovom slučaju ugao prema centralnoj cevi iznosi 55°. Parovi podupirača podeljeni su oko cevi tako da međusobno zatvaraju uglove od 110 °, odnosno 70 ° (sl. 18.34b). Izrada srednjeg komada zahteva preciznu mehaničku obradu. To je najvažniji, a istovremeno za izradu najteži, deo *kvada* za tri opsega.

Na svaki ugaonik pričvrsti se bambusov štap dugačak najmanje 4 m, a prosečne debljine oko 3 cm. Preporučuje se da se površina bambusa obradi grubim brusnim papirom da bude hrapava, a zatim premaže alkidnim lakom. Bambus bi bez ovog zaštitnog premaza brzo propao, usled uticaja atmosferilija. Pucanje bambusa sprečava se tako što se u svakom članku bambusa izbuši rupa prečnika 3 mm. Isti cilj se postiže kada se svaki članak bambusa čvrsto obavije sa nekoliko namotaja meke bakarne žice, pa se zatim namotaji međusobno zaleme. Bambus se pričvršćuje na nosač od ugaonog željeza pomoću dve metalne obujmice za stezanje plastičnih ili gumenih creva ili pomoću žice. U poslednjem slučaju da žica ne bi skliznula, treba urezati žlebove u gornji deo ugaonika. Preporučuje se da se bambus omota i plastičnom folijom, kako bi se izbeglo usecanje žice za pričvršćavanje. Budući da je bambus relativno dobar izolator i da ima veliku dužinu, žica antene se može pričvrstiti direktno na bambus. Aktivni element i reflektor za opseg od 20 m koji predstavljaju spoljašnje žice, obmotaju se jedanput oko svakog bambusa i zatim još pričvrste spojnom žicom. Na taj način cela konstrukcija postaje stabilnija. Za opsege od 15 m i 10 m elementi se samo pričvrste na bambus mekom žicom. Mogu se upotrebiti i lagani izolatori.

18.8.1.1 *Antenski elementi*

Za izradu antene pogodne su bakarne žice ili pletenice sasvim proizvoljnog prečnika. Prednost se, ipak, daje bakarnobronzanoj žici prečnika 1,5 do 2 mm. Za aktivni element i za reflektor u opsegu od 20 m potrebno je po oko 25 m žice. Prvo se označi sredina izmerenog komada žice, pa se levo i desno od te oznake odmeri po 2,60 m. Na taj način dobije se stranica dužine od 5,20 m, koja predstavlja gornju horizontalnu stranicu *kvada*. Žica se zatim pričvrsti na odgovarajuće krajeve bambusa. Oba vertikalna dela dužine od po 5,20 m nadovezuju se na horizontalni deo, a na kraju se napravi donja horizontalna strana sa tačkom napajanja. Na donjoj strani žica je prekinuta u geometrijskoj sredini pomoću izolatora (»izolaciono jaje« ili »kalitna kost«). Preostali krajevi žice u početku vise slobodno. Zatim se na isti način montiraju žice za opseg od 15 m i na kraju za opseg od 10 m. Za opseg od 15 m slobodna dužina stranice iznosi 3,50 m, a 2,55 m za opseg od 10 m. Jasno je da se položaj žica na bambusovim nosačima mora odabrati tako da se navedene dužine stranica uvek nalaze između dva nosača. Te tačke se mogu unapred izračunati (funkcije ugla), ali se i probom može postići cilj. Dužine stranice reflektora jednake su dužinama aktivnih elemenata. Reflektorsko dejstvo postiže se sa po jednim komadom dvožičnog voda u priključnoj tački svakog reflektora. Ovi kratko spojeni odsečci voda deluju kao električno produženje elemenata i pomeraju njihove rezonantne frekvencije prema nižim vrednostima. Dužina reflektorsih odsečaka voda iznosi na početku:

za reflektor za opseg od 20 m 2,00 m,
za reflektor za opseg od 15 m 1,50 m,
za reflektor za opseg od 10 m 1,00m.

Konačna dužina odsečaka voda pronalazi se prilikom podešavanja. Razmak reflektora utiče na otpornost u priključnoj tački i na pojačanje sistema. Radi praktičnosti razmak između aktivnog elementa i reflektora treba odabrati tako da otpornost u priključnoj tački sistema odgovara karakterističnoj impedanci predviđenog napojnog voda. U tabeli 18.3 date su očekivane vrednosti otpornosti u tački napajanja, u zavisnosti od razmaka reflektora, i navedeni su istovremeno odgovarajući mehanički razmaci za visokofrekventne amaterske opsege.

Jasno je da se vrednosti odabranog razmaka reflektora mora odlučiti pre nego što se izradi srednji deo antenskog sistema, jer on određuje ugao pod kojim se postavljaju ugaoni željezni nosači. Kada

Tabela 18.3

OTPORNOSTI U NAPOJNOJ TAČKI KVAD-ANTENA, U ZAVISNOSTI OD RAZMAKA REFLEKTORA

Otpornost u priključnoj tački Ω	Razmak reflektora λ	odgovarajući razmak za opseg od 20 m	opseg od 15 m	opseg od 10 m
52	0,11	2,34	1,56	1,17
60	0,13	2,76	1,85	1,38
70	0,17	3,62	2,41	1,80
72	0,18	3,83	2,56	1,91
75	0,20	4,25	2,84	2,12

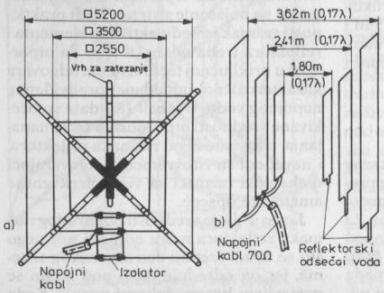
su elementi montirani, da bi se dobila potrebna stabilnost, ceo antenski sistem se još zategne odgovarajućim plastičnim konopcima. Idealan materijal za to je stakleni konac sa elastičnim PVC omotačem. On garantuje veliku otpornost na kidanje, dobar je izolator i, što je naročito važno, skoro se uopšte ne ističe.

18.8.1.2. *Napajanje*

Budući da se otpornost na priključku sistema kreće oko 70 Ω, moguće je direktno napajanje koaksijalnim kablom proizvoljne dužine. Praktično iskustvo je pokazalo da se u kratkotalasnom području ne mora obavezno vršiti simetriranje koaksijalnog kabla, odnosno da su skoro sve kratkotalasne *kjubikal-kvad* antene direktno napajane koaksijalnim kablom.

Kod konvencionalnog načina napajanja *kvada* za tri opsega, za svaki opseg se koristi poseban napojni vod. Tada su odnosi jasni. Međutim, potrebno je mnogo koaksijalnog kabla, naročito kod dugačkih vodova. Ako je svaki pojedini sistem optimalno podešen u pogledu prilagođenja, onda se napajani elementi kvada za tri opsega mogu paralelno povezati u tački napajanja i za napajanje se može koristiti jedan zajednički koaksijalni kabl (sl. 18.35). Pogodno je da se ovaj kabl priključi na tačku napajanja aktivnog elementa za opseg od 15 m. Aktivni elementi za opsege od 20 m i od 10 m vezani su preko dvožičnih vodova za tačke napajanja aktivnog elementa za opseg od 15 m. Spojni vodovi utiču na dužinu aktivnih elemenata, pa su rezonantne frekvencije normalno dimenzionisanih elemenata niže od proračunatih frekvencija. Zbog toga je potrebno da se aktivni elementi skrate za dužinu spojnog voda. Ovo skraćenje može se izvesti i električnim putem uključivanjem kondenzatora u kolo. Kada se tri aktivna elementa napajaju zajedničkim koaksijalnim kablom, često se javlja loša efikasnost u opsegu od 15 m. U takvim slučajevima preporučuje se pojedinačno napajanje aktivnih elemenata antene.

Kvad za tri opsega pruža velike mogućnosti amaterima koji rade na kratkim talasima i koji vole da eksperimentišu. Na primer, moglo bi se razmišljati o tome da se dimenzije sekcije za opseg od 20 m smanje po ugledu na minijaturni bim ili da se izgradi *kvad* za opseg od 15 m čiji bi element za opseg od 15 m, u svojoj punoj dužini, bio istovremeno rezonantan još i za opseg od 20 m. Na taj način bi se po-



Sl. 18.35. Raspored i napajanje elemenata: a – prednji pogled na aktivne elemente, b – bočni pogled na aktivne elemente i reflektore

moglo i DX amaterima koji spadaju u »normalne korisnike« (odnosno koji bez eksperimentisanja usvajaju dobra i isprobana rešenja). Međutim, kao što je već objašnjeno, sve takve mere uvek idu na štetu širine opsega, pojačanja i karakteristike zračenja.

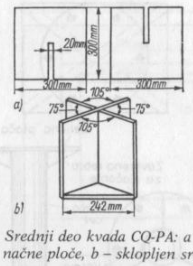
18.8.1.3. *Podešavanje*

Aktivni elementi se prvo dovedu na njihovu rezonantnu dužinu. U tu svrhu napojni vod se svaki put priključi na element koji se podešava, pri čemu se u napojni vod ubaci petlja reflektometra. Aktivni element antene pobuđuje se signal generatorom ili predajnikom ili grid-dip metrom i pri tom se uz posmatranje reflektometra, radna frekvencija menja u granicama širokog raspona. Rezonantna frekvencija aktivnog elementa je frekvencija pri kojoj je najmanja talasnost na napojnom vodu. Ukoliko se ta frekvencija ne nalazi na željenom mestu opsega mora se na odgovarajući način promeniti dužina elementa (npr., prema sl. 15.7).

Sada sledi fino podešavanje reflektora na najveće povratno slabljenje. U tu svrhu koristi se jednostavan indikator jačine polja (pomoćna antena + G_e dioda + instrument), koji mora biti udaljen oko 50 m i na visini na kojoj se nalazi usmerena antena. Zatim se *kvad* za tri opsega okreće tako da se njegov reflektor širom stranom nalazi prema indikatoru jačine polja. Kada predajnik radi, pomeraju se kratkospojni klizači spoj na odsečcima voda uz reflektor i to sve dotle dok indikator jačine polja ne pokaže izraziti minimum. Ovo podešavanje je kritično, jer se minimum javlja veoma oštro. Budući da se podešavanjem reflektora utiče malo i na rezonancu aktivnog elementa preporučuje se naknadna kontrola pomoću reflektometra.

18.8.2. *Kvad CQ–PA* za tri opsega

Amater *PAØXE* objavio je u holandskom amaterskom časopisu *CQ–PA* opis *kvada* za tri opsega, čija je mehanička konstrukcija veoma jednostavna i koji je jedno od najpogodnijih rešenja za amate-



Sl. 18.36. Srednji deo kvada CQ-PA: a – pojedinačne ploče, b – sklopljen srednji deo

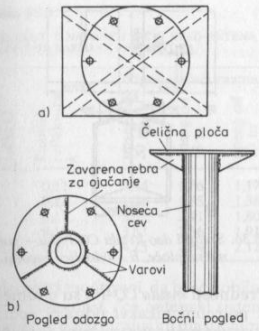
ra. Prednosti *kvada CQ–PA* su u tome što nisu potrebni nikakvi odsečci voda ili neka druga pomoćna sredstva za podešavanje i što je razmak reflektora optimalan za sve opsege. Ako se tačno pridržavamo svih dimenzija, nije potrebno nikakvo podešavanje.

Za srednji (noseći) deo *kvada*, amater *PAØXE* ne koristi nikakvu zavarenu gvozdenu konstrukciju, već stabilan i pogodan nosač od šperploče debele 20 mm, koji je prikazan na sl. 18.36. Detalj prikazuje (sl. 18.36a) dve kvadratne šperploče debljine 20 mm, čije su stranice dugačke po 300 mm. Svaka od ploča ima u sredini prorez dužine 150 mm i širine 20 mm. Prorezi se moraju napraviti tako da se dobiju uglovi od 105°, odnosno 75°, kada se obe ploče sastave kao na sl. 18.36b (kose ivice proreza). Od istog materijala izradi se i pravougaona osnovna ploča, čije su stranice dugačke 242 mm × 184 mm. Ako su dimenzije osnovne ploče tačne, kada se na nju postave ukrštene ploče, dobiju se zahtevani uglovi od 105° i 75° (funkcija ugla).

Ovaj centralni deo antene dobro se zalepi i učvrsti vijcima. Vijci u osnovnoj ploči moraju biti sa upuštenom glavom. Ukrštene ploče se premažu više puta sa firnajzom ili dobrim lakom. Ako se ova konstrukcija izradi od tekstolita odgovarajuće debljine, biće stabilnija i otpornija na atmosferilije, ali i skuplja.

Sledeći korak je izrada prirubnice antenskog jarbola na koju se učvršćuje osnova ukrštenog nosača. Na donju stranu osnove postavi se okrugla čelična ploča prečnika 180 mm i debljine 3 do 5 mm, kao što je prikazano na sl. 18.37. Na čelič-

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



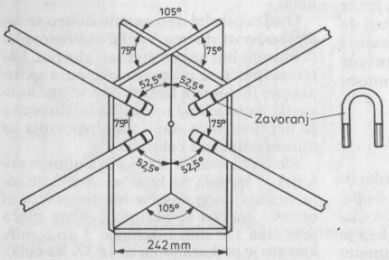
Sl. 18.37. Pričvršćenje ukrštenog nosača na antenski jarbol: a – osnovna ploča, b – zavarena metalna prirubnica

noj ploči izbuši se šest po obimu ravnomerno raspodeljenih, rupa prečnika oko 5 mm, pri čemu se istovremeno buši i osnovna ploča. Rupe se raspodele tako da se na gornjoj strani osnovne ploče obezbedi dovoljno prostora za glave vijaka, odnosno da ukrštene ploče ne smetaju njihovom zavrtanju. Ploča od čeličnog lima ne mora biti okrugla, ona može po dimenzijama odgovarati osnovnoj ploči (242 mm × 184 mm).

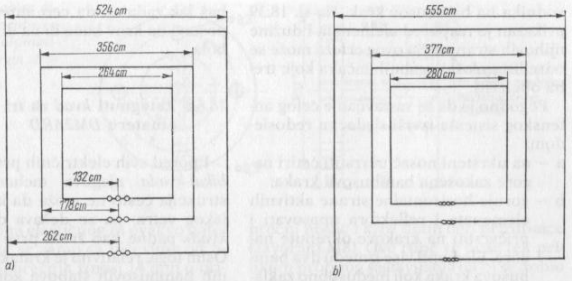
Amater *PAØXE* preporučuje da se za antenski jarbol koristi vodovodna cev od 1,5 cola. Prvo, potreban je komad cevi od oko 3 m, na čijem se jednom kraju napravi spoljašnji navoj. Navoj je potreban radi eventualnog produženja jarbola pomoću cevne spojnice »mufne«. Na drugi kraj cevi, tačno u centru, zavari se pripremljena ploča od čeličnog lima. Noseća cev mora biti pod pravim uglom sa čeličnom pločom. Preporučuje se da se zavare još tri rebra za ojačanje u obliku pravouglih limenih trouglova, koji mogu da preuzmu bočni pritisak (sl. 18.37b).

Osam bambusovih štapova od po 4,50 m služe kao potporni kraci. Da bi se oni pričvrstili na ukrštene ploče potrebno je ukupno 16 zavoranja u obliku slova U, koje može izraditi svaki kovač ili mehaničar. Dimenzije zavoranja određuju se prema prečniku krakova bambusa. Zavornji, navrtke, podložne pločice i svi ostali metalni delovi treba da budu pocinčani, kadmijumizirani ili bar dobrim lakom zaštićeni od korozije.

Na sl. 18.38 prikazan je način pričvršćenja potpornih krakova na ukrštene ploče. Radi bolje preglednosti ucrtana su samo 4 nosača, preostala 4 bambusova štapa montiraju se na isti način u suprotnom uglu od 105°. Treba voditi računa naročito o tome da nagib nosećih krakova prema vertikali budu tačno 52,5°. Ovaj ugao može se lako odrediti ako se između ukrštenih ploča napravi šablon od papira za ugao od 105°, pa zatim savije na pola (105 : 2 = 52,5). Odgovarajućim postavljanjem šablona mogu se označiti rupe koje treba izbušiti za zavornje. Preporučuje se da se unutrašnji U zavornji ne postave preblizu linije ukrštanja ploča, da bi ostalo dovoljno prostora za postavljanje i zatezanje protivnavrtki. Da bi se prilikom pritezanja navrtki izbeglo pucanje bambusovih štapova, deblje krajeve ovih štapova (koji



Sl. 18.38. Pričvršćenje potpornih krakova



Sl. 18.39. Elementi kvada: a - aktivni elementi, b – reflektori

se pričvršćuju na ukršteni nosač) treba dobro omotati izolacionom trakom ili drugim pogodnim materijalom. Na početku ove podtačke opisano je kako se pravilno pripremaju bambusovi štapovi.

Sada treba pripremiti elemente antene. Kao materijal pogodne su sve bakarne žice ili pletenice koje mogu podneti mehaničko naprezanje. Potrebno je ukupno oko 100 m.

Amater *PAØXE* je upotrebio pletenicu sa plastičnom izolacijom kojom se može lako raditi. Aktivni elementi i reflektori su sami po sebi rezonantni, pa nisu potrebni nikakvi odsečci voda ni druga pomoćna sredstva. Međutim, to zahteva da svaki aktivni element dobije sopstveni napojni vod; prema tome, u prostoriju predajnika vode se 3 koaksijalna kabla. Mogu se upotrebiti sve vrste koaksijalnih kablova čija je karakteristična impedanca između 50 i 75 Ω.

Reflektori se sastoje od zatvorenih žičanih pravougaonika (sl. 18.39b). Zbog priključenja napojnog kabla pravougaonici aktivnih elemenata prekinuti su u geometrijskoj sredini donje horizontalne strane (sl. 18.39a). Za izradu elemenata treba odseći provodnike čija dužina odgovara niže navedenim podacima.

Za opseg od 20 m

Dužina provodnika za aktivni element iznosi 21,06 m, od toga je po 5 cm za pričvršćenje na izolator. To daje ispruženu dužinu aktivnog elementa od 20,96 m, čemu odgovara dužina stranice od 524 cm. Dužina reflektora od 22,25 m, od čega 2 × 5 cm za zavrtanje i lemljenje krajeva provodnika. To daje ispruženu dužinu reflektora od 22,20 m, što odgovara dužini stranice od 555 cm.

Za opseg od 15 m

Dužina provodnika za aktivni element je 14,34 m, od toga je po 5 cm za pričvršćenje na izolator. Ukupna dužina aktivnog elementa je 14,24 m, što odgovara dužini stranice od 356 cm.

Dužina provodnika za reflektor je 15,13 m, od toga 5 cm za pričvršćenje i lemljenje krajeva provodnika. Ukupna dužina zategnutog reflektora je 15,08 m, što odgovara dužini stranice od 377 cm.

Za opseg od 10 m

Dužina provodnika aktivnog elementa je 10,66 m, od toga je 2 × 5 cm za pričvršćenje na izolator. Ukupna zategnuta dužina aktivnog elementa iznosi 10,56 m, što odgovara dužini stranice od 264 cm. Dužina provodnika za reflektor je 11,25 m, od toga 2 × 5 cm za pričvršćenje i lemljenje krajeva provodnika. To daje zategnutu dužinu reflektora od 11,20 m, što odgovara dužini stranice od 280 cm.

Isečeni komadi provodnika zategnu se horizontalno po celoj dužini, pa se na njima obeleže mesta na kojima će se kasnije pričvrstiti na potporne krake; obeležava se lakom koji se brzo suši. Često je dovoljno da se na određeno mesto čvrsto veže najlonski konac; njegovi dugački krajevi mogu kasnije poslužiti za vezanje pro-

vodnika na bambusov krak. Na sl. 18.39 prikazan je raspored elemenata i dužine njihovih stranica. Sa ovog crteža može se odrediti položaj ugaonih tačaka koje treba obeležiti.

Pogodno je da se sastavljanje čelog antenskog sistema izvrši sledećim redosledom:

a – na ukršteni nosač učvrstiti četiri nagore zakošena bambusova kraka;

b – gornje horizontalne strane aktivnih elemenata i reflektora upasovati i pričvrstiti na krakove okrenute nagore. Elementi vise između dva bambusova kraka koji međusobno zaklapaju ugao od 75°. Osim toga, preporučljivo je da se odmah izvrši zatezanje još uvek lako pristupačnih gornjih krakova i to pomoću plastičnog užeta ili staklenog konca;

c – osnovnu ploču ukrštenih nosača navrnuti na deo antenskog jarbola čija je dužina 3 m. Deo jarbola sa ukrštenim nosačem postaviti vertikalno radi dalje montaže. Amater *PAØXE* preporučuje da se za podnožje jarbola iskoristi veći drveni sanduk, na čijem se poklopcu i dnu izbuši po jedna rupa koja odgovara prečniku jarbola. U tom sanduku antena može stajati do završetka montaže;

d – na ukrštene ploče pričvrstiti 4 bambusova kraka koso nadole, pa na donje krajeve krakova pričvrstiti vertikalne sekcije elemenata antene;

e – kod reflektora lemljenjem spojiti krajeve provodnika tako da se dobije donja horizontalna strana kvadrata. Između krajeva aktivnih elemenata umetnuti po jedan mali izolator. Ti izolatori predstavljaju tačke napajanja sredine donje horizontalne strane;

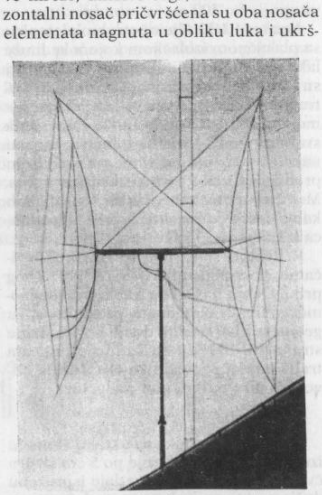
f – izvršiti zatezanje krakova odgovarajućim plastičnim užetom. Na taj način postiže se potrebna stabilnost celokupnog sistema i lep oblik kocke. Koaksijalni kablovi karakteristične impedance od 50 ili 60 Ω priključe se na tačke napajanja i pričvrste na ukršteni nosač da ne bi zatezali antenski provodnik.

Tada je *kvad CQ–PA* za tri opsega spreman za rad i graditelju preostaje samo ne baš lak zadatak da ceo antenski sistem postavi na krov kuće ili na drugi deo jarbola.

18.8.3 Zategnuti *kvad* za tri opsega po amateru *DM2ARD*

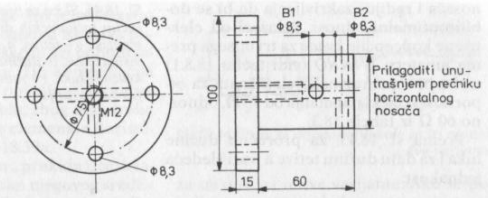
I pored svih električnih prednosti *kubikal-kvada* njegova mehanička konstrukcija često ne može da izdrži udare jakog vetra, pa se dešava da »paukov *kvad*« padne kao žrtva prve veće oluje. Osim toga, relativno je kratak vek omiljenih bambusovih štapova koji služe kao nosači antene, pa se u zavisnosti od klimatskih uslova, moraju menjati najkasnije posle 5 godina. Polazeći od ovih činjenica, amater *DM2ARD* je razvio noseći sistem dugog veka, male težine i dobre unutrašnje stabilnosti, koji je praktično neosetljiv i na udare najjačeg vetra.

Na sl. 18.40 prikazan je princip konstrukcije: odustalo se od opšteprihvaćenog načina izgradnje *kvada* u vidu paukove mreže; umesto toga, na kratak horizontalni nosač pričvršćena su oba nosača elemenata nagnuta u obliku luka i ukrš-



Sl. 18.40. Zategnuti kvad-antena za tri opsega po amateru DM2ARD (foto F. Traxler)

Sl. 18.41. Skica sa dimenzijama prirubnice izrađene od aluminijumske legure na strugu.



tena. Potrebna elastičnog za ovakvo nateganje postiže se samo sa bičevima od fiberglasa, čiji prečnik iznosi 14 mm u originalnoj izvedbi (proizvođač: VEB Kombinat Pneumant, pogon Sebnitz, 836 Sebnitz). Za izradu antene za dva opsega dovoljan je prečnik od 12 mm.

Zakrivljenost nosača pruža sledeće prednosti:

– za svaki opseg postiže se približno tačan razmak između aktivnog elementa i reflektora;

– kao što luk zateže tetivu, tako i elastični bičevi od fiberglasa natežu elemente antene (tetive) pa daju nosećem elementu dodatnu stabilnost;

– primenom štapova od fiberglasa mogu se elementi antene pričvrstiti direktno omotavanjem bez izolatora. Budući da se žice nigde ne savijaju oštro, smanjuje se opasnost da se prekinu.

18.8.3.1. *Noseći deo*

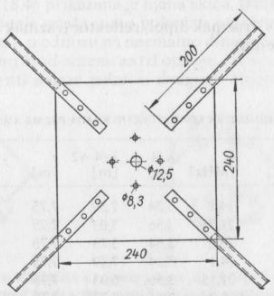
Antenski jarbol se sastoji od 5 m čelične cevi od 3 cola i od 6 m čelične cevi od 2½ cola. Na kraju cevi od 2½ cola nalazi se U profil dužine 600 mm, na koji se postavlja poprečni nosač (sl. 16.13). Preporučuje se da radi smanjenja težine, poprečni nosač bude aluminijumska cev od 2 cola, ali to može biti i čelična cev.

U svaki kraj poprečnog nosača uglavljuje se po jedna prirubnica od aluminijumske legure (izrađena na strugu), čiji je izgled kao na sl. 18.41. Prečnik užeg dela ove prirubnice određuje se prema unutrašnjem prečniku poprečne cevi. Naročito su bitne površine poravnate na strugu koje naležu, odnosno koje se vijcima pričvršćuju na ploče sa krstastim držačima (sl. 18.42). Rupe B_1 i B_2 prolaze kroz poprečni nosač i kroz donji deo prirubnice (zavoranj M8). Ove rupe se buše tek prilikom probnog sastavljanja da bi se dobio geometrijski precizan izgled antene.

Ploče sa krstastim držačima prikazane na sl. 18.42 izrađene su od aluminijumskog lima debljine 5 mm. Centralna rupa i četiri rupe oko nje odgovaraju rupama na obrtnom delu (sl. 18.41). Četiri čaure pričvršćene su dijagonalno na noseću ploču pomoću vijaka, a izrađene su od okrugle aluminijumske šipke prečnika 18 do 24 mm. Otvor u koji se stavljaju okrugli štapovi od fiberglasa, mora biti dubok najmanje 100 mm. Prečnik bušenja čaure mora obezbediti čvrsto naleganje štapova. Čaure se pričvrste na noseću ploču sa po 3 vijka M5.

18.8.3.2. *Proračun dimenzija*

Budući da su propisane dužine elemenata i njihovi razmaci, potrebno je izvršiti proračun koji će, pre svega, pokazati kolika treba da bude dužina horizontalnog



Sl. 18.42. Ploča sa krstastim držačima

nosača i radijus zakrivljenja da bi se dobili optimalni odnosi. Polazeći od električne koncepcije *kvada* za tri opsega prema amateru *W4NNQ* (vidi tačku 18.8.1) treba pronaći razmake elemenata za otpornost u tački napajanja od 75 Ω, odnosno 60 Ω iz tabele 18.3.

Prema sl. 18.43, za proračun dužine luka l za datu dužinu tetive a važi sledeća jednakost:

$$a = \frac{\lambda}{4}\cdot\sqrt{2}; \qquad a^2 = \frac{\lambda^2}{8}; \tag{18.1}$$

$$l \approx \sqrt{a^2 + \frac{16}{3}\cdot h^2} \tag{18.2}$$

Budući da a predstavlja dijagonalu elementa *kvada*, javlja se faktor √2. Približna jednačina (18.2) dovoljno je tačna, jer je pri h/a = 0,25 greška za 1 samo 0,44%, a ona raste kod h/a = 0,5 na < 3%.

Sa razmacima elemenata prema tabeli 18.3, za »kružne lukove« ne dobiju se krive konstantnog zakrivljenja. Zbog toga su kao kompromis ponovo određene dimenzije prema sledećim jednačinama:

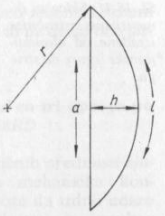
$$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{a^2}{4}}; \tag{18.3}$$

$$a = 2\cdot\sqrt{2hr - h^2} \tag{18.4}$$

Rezultati proračuna dati su u tabeli 18.4 i to za otpornost u tački napajanja od 60 Ω i od 75 Ω.

s – razmak dipol/reflektor (razmak elementa),

Sl. 18.43. Skica za proračun mehaničkih dimenzija: a – tetiva; h – visina tetive, l – dužina kružnog luka, r – radijus zakrivljenja



ϑ_s – relativna greška s u odnosu na vrednost iz tabele 18.3,

S_O – dužina koja je preostala za poprečni nosač ($s = 2h + s_a$),

Δ1 – apsolutno odstupanje dužine 1 u odnosu na λ/4.

18.8.3.3. *Uputstva za izgradnju i održavanje*

Grupe aktivnih elemenata i reflektora mogu se pojedinačno montirati na zemlji. Konstrukcija je laka, pa se krstovi sa montiranom grupom elemenata mogu podići pomoću provodnika i montirati na poprečni nosač.

Prilikom zatezanja antenskih elemenata počinje se sa najvećim žičanim elementom. Sledeće elemente treba postaviti tako da sve žice antene budu jednako zategnute i paralelne. Narezivanje ili bušenje štapova od fiberglasa treba obavezno izbeći. Dimenzije žičanih elemenata i odsečaka voda na reflektorima nalaze se u podtački 18.8.1.1, odnosno na sl. 18.35. Kod antene za tri opsega ne preporučuje se paralelno pobuđivanje samo jednim napojnim kablom (kao što je prikazano na sl. 18.35), jer je na osnovu iskustva poznato da se javljaju teškoće pri pobuđivanju u opsegu od 15 m. Tih komplikacija nema kada se napaja pojedinačno pomoću tri koaksijalna kabla; zbog toga treba malo povećati dužine elemenata koristeći dužine date na sl. 18.39a.

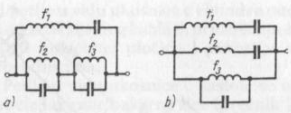
Tabela 18.4

DIMENZIJE ZA KONSTRUKCIJU KVADA PREMA AMATERU DM2ARD

Z [Ω]	f [MHz]	λ/4 [m]	λ/4 ·√2 [m]	r [m]	h [m]	s [m]	ϑ_s [%]	s_O [m]	l [m]	Δl [m]/[%]
75	14,1	5,24	7,39	7,75	0,95	3,90	–8	2,00	7,73	0,34/4,5
75	21,15	3,56	5,03	7,75	0,42	2,84	0	2,00	5,14	0,11/2
75	28,2	2,64	3,73	7,75	0,23	2,46	+16	2,00	3,77	0,04/1
60	14,1	5,24	7,39	7,75	0,95	2,90	+5	1,00	7,73	0,34/4,5
60	21,15	3,56	5,03	7,75	0,42	1,84	–0,5	1,00	5,14	0,11/2
60	28,2	2,64	3,73	7,75	0,23	1,46	+6	1,00	3,77	0,04/1

18.9. *Kvad* za tri opsega sa jednim parom antenskih elemenata, po amateru *VK2AOU*

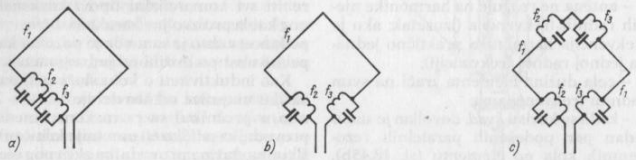
Amater *VK2AOU* je razvio pravu *kjubikal-kvad* antenu za tri opsega, isprobao je i tačno opisao, tako da se skoro ništa više ne može poželeti ni u električnom ni u mehaničkom pogledu [1]. I kod ove antene za tri opsega *VK2AOU* polazi od principa kola za više opsega, koje se već dokazalo kod poznate *jagi*-antene za tri opsega po *VK2AOU* (vidi odeljak 18.2). Na taj način postiže se rezonanca za sva tri opsega (10 m, 15 m i 20 m) pomoću samo jedne aktivne i jedne reflektorske petlje. Na sl. 18.44 prikazana je skica oscilatornih kola za tri opsega u dve varijante. Ako se pojedina rezonantna kola posmatraju sama za sebe, ni jedna pojedinačna rezonanca ne poklapa se ni sa jednom željenom radnom frekvencijom. Ipak, ceo sklop je rezonantan za sve tri radne frekvencije. Ako se jedno serijsko rezonantno kolo f_1 zameni antenskim elementom (sl. 18.44a), ne menja se karakteristika podešene šeme za tri opsega. Ako je taj element *kvad*-petlja, onda prema sl. 18.45a, nastaje šema na kojoj *kvad*-element predstavlja serijsko rezonantno kolo f_1 sa podeljenim L i C. Radi mehaničke i električne simetrije, kola f_2 i f_3 se rasporede sa obe strane tačke napajanja (sl. 18.45b). Šema prema sl. 18.45c sa rasporedom kola u parovima u oba nivoa primenjuje se kada je ukupna dužina *kvad*-elementa veća od najmanje radne talasne dužine umnožene 1,5 puta.



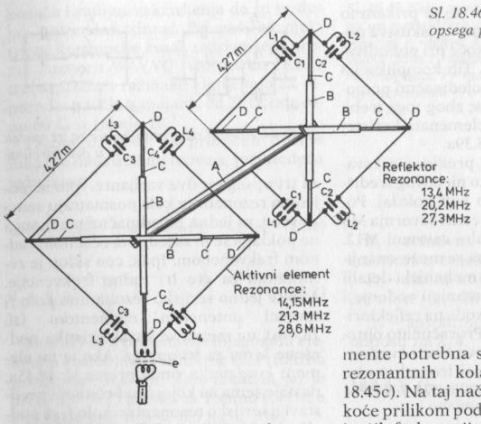
Sl. 18.44. Princip rezonantnih kola za tri opsega u dve varijante

18.9.1. Električna koncepcija *kvada* za tri opsega

Antena se sastoji od dva jednaka žičana kvadrata, čije su stranice duge 4,27 m; na sl. 18.46 prikazana je njena skica. Ovakvo rešenje pruža samo polovinu otpornosti vetru u odnosu na normalno dimenzionisanu *kvad*-antenu za tri opsega, čiji se elementi nalaze jedan u drugom. Mogu se



Sl. 18.45. Šema kvad-elementa za tri opsega po amateru VK2AOU: a – šema prema sl. 18.44a, b – simetrično uklapanje f_1 i f_3 uz tačku napajanja, c – raspored f_1 i f_3 u parovima kada je ukupna dužina kvad-elementa veća od najmanje radne talasne dužine umnožene 1,5 puta



Sl. 18.46. Skica kvad-antene za tri opsega prema amateru VK2AOU

upotrebiti kraće ili duže stranice elementa na principu više opsega, ali se tada javlja odgovarajuće smanjenje ili povećanje stepena korisnog dejstva. Pokazalo se da je dužina stranice od 4,27 m veoma blizu optimuma, kako u pogledu snage tako i po troškovima.

Aktivni element je jedan kvadrat, rezonantan je za tri frekvencije, npr., za 14,15 MHz, 21,3 MHz i 28,6 MHz. Rezonantne frekvencije reflektora moraju biti niže za odgovarajuću vrednost, tj. 13,43 MHz, 20,20 MHz i 27,30 MHz.

Za ovakve *kvad*-elemente opštevažeće je da:

– radne frekvencije mogu biti raspoređene u odnosu 1,6 : 1 do 3 : 1;

– više rezonantne (radne) frekvencije nisu harmonici najniže rezonantne (radne) frekvencije;

– antena ne reaguje na harmonike njenih radnih frekvencija (izuzetak: ako je frekvencija harmonika praktično jednaka jednoj radnoj frekvenciji);

– cela dužina elementa zrači na svim radnim frekvencijama;

– kada se koristi *kvad*, dovoljan je samo jedan par podešenih paralelnih rezonantnih kola po elementu (sl. 18.45b), ukoliko ukupna dužina *kvad*-elementa nije veća od najmanje radne talasne dužine umnožene 1,5 puta. Za duže *kvad*-elemente potrebna su dva para podešenih rezonantnih kola po elementu (sl. 18.45c). Na taj način se izbegavaju poteškoće prilikom podešavanja na opsegu najvećih frekvencija.

Budući da kod prikazane antene ukupna dužina elementa (17,08 m) prelazi 1,5 puta talasnu dužinu od 10 m, upotrebljena su dva para podešenih paralelnih rezonantnih kola po elementu.

Kapaciteti kola mogu biti trimeri sa vazduhom kao izolatorom ili keramički trimeri. Takođe su dobre i kapacitivnosti stvorene pomoću komada otvorenog koaksijalnog kabla. Poznato je da svaki koaksijalni kabl poseduje određenu kapacitivnost između unutrašnjeg i spoljašnjeg provodnika; ona se navodi u pF/m. Kod kablova od 60 Ω sa dielektrikom od polietilena (npr., VF kabl tipa 60–7–2), koji su uobičajeni u trgovini, kapacitivnost iznosi 85 pF/m. Za datu kapacitivnost lako je izračunati potrebnu dužinu komada otvorenog kabla. Mogu se upotrebiti svi komercijalni tipovi koaksijalnog kabla proizvoljne karakteristične impedance; važno je samo da je poznata kapacitivnost po dužini od jednog metra.

Kao induktiviteti u kolu služe petlje u obliku ukosnice od što deblje žice (≥ 2 mm u prečniku) sa razmakom između provodnika od oko 60 mm (nije kritičan). Ukupna dužina provodnika aktivnog elementa sa dužinom žica četiri petlje u vidu ukosnice, približno odgovara talasnoj dužini najniže radne frekvencije.

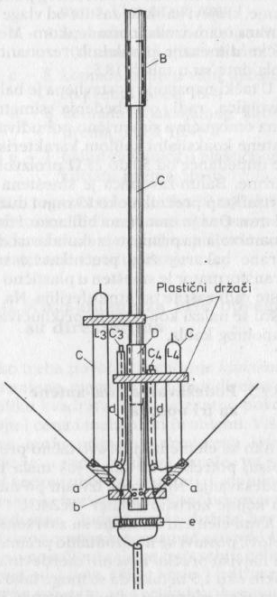
18.9.2. Predlog konstrukcije po amateru *VK2AOU*

Horizontalna noseća cev A za oba *kvad*-elementa dugačka je 2,60 m i time određuje razmak reflektora na oko 2,45 m. To u opsegu od 20 m odgovara razmaku reflektora 0,115 λ, u opsegu od 15 m 0,173 λ i u opsegu od 10 m 0,232 λ.

Horizontalna noseća cev je veoma stabilna, a izrađena je od tvrdog aluminijuma prečnika oko 50 mm i debljine zida od najmanje 3 mm. Podupirači elemenata u vidu krsta nisu od bambusa ili fiberglasa, što je uobičajeno, već su izrađeni, takođe, od tvrde aluminijumske cevi. Podupirači izrađeni od delova B, C i D postavljaju se na horizontalnu noseću cev i pričvršćuju u vidu krsta. Delovi B su od cevi 7/8 cola (prečnik ≈ 22,2 mm) dužine 3,66 m i debljine zida 1/16 cola (≈ 1,6 mm) od tvrdog aluminijuma. U njihova 4 otvorena kraja teleskopski su uvučena (do dubine od 200 mm), a zatim učvršćena 4 komada aluminijumske cevi od 3/4 cola (19 mm u prečniku), duga po 1,22 m (delovi C). Kao izolatori za žicu elemenata služe PVC cevi od 3/4 cola (prečnik = 19 mm), dužine 250 mm (deo D). Da bi se one pričvrstile na krajevima aluminijumskih cevi C, moraju se zagrejati i proširiti toliko da se za oko 100 mm mogu navući na krajeve cevi C. Slobodni krajevi PVC cevi spljošte se u vrućem stanju i na njima se izbuše rupe kroz koje se provuče žica provodnika. Ukupna dužina nosača od izolatora do izolatora iznosi 6,15 m; iz toga proizlazi i računska dužina stranice od 4,30 m po elementu. Nosači se odgovarajućim U-zavornjem učvrste u obliku krsta pod međusobnim uglom od 90°. Da bi se obezbedio međusobni položaj nosača pod pravim uglom, horizontalnu noseću cev treba odgovajuće podupreti. Jasno je da se mehanička izrada može uvek na odgovarajući način, prilagoditi materijalu koji se može nabaviti.

Paralelna rezonantna kola postavljena su neposredno na gornjim i donjim uglovima elemenata antena. Zbog toga se provodnik elementa na tim mestima električno prekine plastičnom pločicom (dimenzija 75 mm × 13 mm × 6 mm) kao na sl. 18.47. Rezonantna kola, koja se sastoje od petlje u vidu ukosnice c i kondenzatora od koaksijalnog kabla d, pričvršćuju se na tu izolacionu pločicu i povezuju sa provodnicima.

Petlje u vidu ukosnice c sastoje se od debele lakirane bakarne žice (prečnik ≧ 2 mm); one se odgovarajućim plastičnim držačima pričvrste mehanički stabilno na vertikalne podupirače elemenata. Koaksijalni kablovi koji su upotrebljeni kao kapacitivnosti pričvrste se pogodnom trakom direktno na podupirač elemenata. Pri tome se spoljašnji provodnik kabla (oplet omotača) spoji sa tačkama nižeg VF napona. To su uvek priključna mesta koja su najbliža vertikalnim podupiračima elemenata. Da bi se obezbedila izolacija između unutrašnjeg i spoljašnjeg provodnika na krajevima kabla, ski-



Sl. 18.47. Mehanička konstrukcija paralelnih rezonantnih kola i napojne tačke.(nije u razmeri)

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Tabela 18.5

PODACI O DIMENZIJAMA PARALELNIH REZONANTNIH KOLA

Dužina žice u petlji m	Daje dužinu petlje oko m	Potreban kapacitet pF	Dužina kabla sa 85 pF/m m
$L_1 = 1,75$	0,84	$C_1 = 56$	0,66
$L_2 = 1,32$	0,62	$C_2 = 26$	0,31
$L_3 = 1,45$	0,66	$C_3 = 53$	0,63
$L_4 = 1,07$	0,50	$C_4 = 23$	0,27

Razmak provodnika kod petlje u vidu ukosnice iznosi 60 mm. U datim vrednostima nisu navedene dužine spojnih žica.

da se spoljašnji provodnik kabla na dužini od oko 2 cm. Nakon završenog podešavanje, krajevi kabla se zaštite od vlage odgovarajućim izolacionim lepkom. Mehaničke dimenzije paralelnih rezonantnih kola date su u tabeli 18.5.

U tački napajanja postavljena je balun-zavojnica radi obezbeđenja simetrije. Ona omogućava simetrično pobuđivanje antene koaksijalni kablom karakteristične impedance od 50 do 75 Ω proizvoljne dužine. Balun-zavojnica je smeštena na feritni štap prečnika oko 13 mm i dužine 75 mm. Ona je namotana bifilarno, i to po 9 namotaja na primaru i sekundaru od lakirane bakarne žice prečnika 1,6 mm. Transformator je smešten u plastično kućište radi zaštite od atmosferilija. Na kućištu se nalazi konektor za priključivanje napojnog kabla.

18.9.3. Podešavanje *kvad*-antene za tri opsega

Ako se elementi naprave tačno prema opisu, potrebna su samo još mala fina podešavanja. Njih treba izvršiti po metodu koji je koristio amater *VK2AOU*.

Kvad-element na kome su završeni svi delovi, postavi se horizontalno prema tlu na najvišu prečku drvenih merdevina visokih oko 1,5 m tako da se mogu lako dohvatiti svi elementi za podešavanje. Prethodno se izvrši baždarenje tranzistorskog dip-metra upoređivanjem sa radio-prijemnikom i na skali dip-metra obeleže se predviđene radne frekvencije prema tabeli 18.6. Budući da element koji se nalazi horizontalno samo 1,5 m iznad tla poseduje veći kapacitet prema zemlji nego u konačnom radnom stanju (kada će biti u vertikalnom položaju na mnogo većoj visini iznad tla), mora se oduzeti 3 do 4% od navedenih frekvencija za podešavanje, radi izjednačavanja tog većeg kapacitivnog opterećenja.

Prvo se odrede postojeće rezonantne frekvencije pomoću dip-metra, koji se spregne sa lukom petlje u vidu ukosnice. Pri tom se uvek utvrde tri rezonantna minimuma: rezonancu same petlje u vidu ukosnice, koja se ne nalazi u radnoj frekvenciji antene, i još dve frekvencije, koje su identične radnim frekvencijama ili su im vrlo bliske (vidi tabelu 18.6). Srednji radni opseg naći će se i na kratkim i dugačkim petljama u vidu ukosnice (21 MHz). Nasuprot tome, opseg od 28 MHz javlja se samo na kratkim petljama, a opseg od 14 MHz samo na dugačkim petljama. U cilju podešavanja menjaju se:

– u opsegu od 14 MHz: dužina žice dugačke petlje L_3, odnosno L_1, ili dužina provodnika *kvad*-elementa,

– u opsegu od 21 MHz: kondenzator uz dugačku petlju ili dužina žice male petlje L_4 odnosno L_2.

Tabela 18.6

REZONANTNE FREKVENCIJE NA PETLJAMA U VIDU UKOSNICE

Element antene	Rezonantne frekvencije Dugačke petlje	Kratke petlje
Aktivni element	L_3 14,15 MHz	L_4 21,3 MHz
	18,0 MHz	28,6 MHz
	21,3 MHz	31,0 MHz
Reflektor	L_1 13,43 MHz	L_2 20,2 MHz
	15,8 MHz	26,9 MHz
	20,2 MHz	27,3 MHz

Da bi se održala simetrija, parovi oscilatornih kola u gornjem uglu treba da budu jednaki parovima u donjem uglu u mehaničkom i električnom pogledu.

– u opsegu od 28 MHz: kondenzator uz malu petlju u vidu ukosnice.

Na primer, ako radna frekvencija treba da bude 14,25 MHz, a pronađena rezonanca je na 14,0 MHz, onda se mora skratiti *kvad*-elemenat ili smanjiti induktivnost dugačke petlje. Induktivnost se smanjuje pomalo, i to tako što se svaki put uvrne oko 5 cm lučnog dela petlje, čime se paralelni žičani vod mehanički skrati. Kod podešavanja kapacitivnosti treba voditi računa o tome da kod rezonance od 20 MHz smanjenje kapacitivnosti za 2 pF može prouzrokovati povećanje frekvencije za 500 kHz. Kod opsega na nižim frekvencijama manji je uticaj promene kapacitivnosti. Kapacitivnost se smanjuje tako što se spoljašnji provodnik koaksijalnog kabla na otvorenom kraju pomera unazad za po oko 1 cm.

Podešavanje počinje na frekvenciji od 14 MHz, zatim na 21 MHz i na kraju 28 MHz. Reflektometar je veoma koristan za podešavanje aktivnog elementa. Rezonance ovog elementa nalaze se uvek na frekvencijama čiji je koeficijent stojećih talasa najmanji.

Reflektor se podešava na isti način na rezonantnim frekvencijama, navedenim u tabeli 18.6. Postoji mogućnost dodavanja direktora kao trećeg elementa antene. U tom slučaju, frekvencije podešavanja direktora dobiju se tako što se za 5% povećaju frekvencija navedene za aktivni element.

Ako se vrši fino podešavanje na najveće povratno slabljenje ili na maksimalno usmereno zračenje, onda se to mora raditi na gotovoj anteni koja je postavljena na predviđenu visinu. Pri tom se prvo provere rezonance aktivnog elementa tako što se sa napojnim vodom spregne indikator stojećih talasa i antena pobuđuje iz predajnika. Promenom radnih frekvencija predajnika odrede se frekvencije za koje je koeficijent stojećih talasa najmanji. Te frekvencije tada odgovaraju rezonancama aktivnog elementa koje se, po potrebi, moraju korigovati. Kada su određene rezonantne frekvencije, antena se pobuđuje za fino podešavanje. Kao što je uobičajeno, pri tom se koristi udaljeni indikator jačine polja sa dipolom radi kontrole zračenja. Fino podešavanje antene ograničava se isključivo na naknadno podešavanje reflektora. Na svim radnim frekvencijama treba postići odnos stojećih talasa od 1,5 : 1; on se može popeti na 2 : 1 na krajevima opsega.

Potreban materijal za kvad za tri opsega prema sl. 18.46, odnosno 18.47

Deo A – 1 cev 50 × 3, AlCuMg 1 F 40, dužine 2,60 m;

Deo B – 4 komada cevi 22 × 2, AlCuMg 1 F 40, dužine 3,66 m;

Deo C – 8 komada cevi 18 × 1,5, AlCuMg 1 F 40, dužine po 1,22 m;

Deo D – 8 komada PVC cevi, unutrašnji prečnik između 16 i 18 mm, dužine po 0,25 m;

Deo a – 8 komada polistirol traka 75 mm × 13 mm × 6 mm;

Deo b – 4 komada traka od tekstolita 100 mm × 13 mm × 6 mm;

Deo c – 8 komada petlji u vidu ukosnice prema tabeli 18.4;

Deo d – 8 komada koaksijalnog kabla prema tabeli 18.4;

Deo e – 1 balun-zavojnica u plastičnom kućištu prema opisu.

Osim toga potrebno je oko 20 m bakarne pletenice ili žice za antenske provodnike, kao i sitan materijal za pričvršćavanje, zatezanje i podupiranje.

18.10. *Kvad*-antene za više opsega sa direktorima

Ako treba povećati pojačanje *kjubikal-kvad* antene, mogu joj se dodati direktori u obliku kvadrata. Time se znatno povećavaju i cena i mehanički problemi. Više se ne može primeniti proverena konstrukcija u vidu paukove mreže, pa se *kvad*-krstovi moraju nanizati i stabilno učvrstiti na horizontalni nosač odgovarajuće dužine. Budući da se dužina horizontalnog nosača kreće između oko 6 i 12 m, kao nosači moraju se upotrebiti čelične cevi od 3 cola, čiji se krajevi izdižu zategama vezanim za vertikalnu konzolu, koja predstavlja produženje antenskog jarbola. To znatno povećava težinu i po-

vršinu koja pruža veliki otpor vetru, pa zahteva veoma jak antenski jarbol.

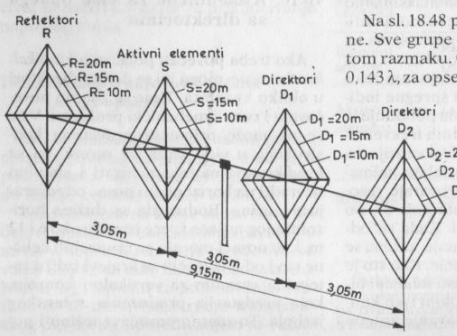
Kao noseći kraci za petlje elemenata mogu se praktično upotrebiti samo okrugli štapovi od fiberglasa, zbog odgovarajuće težine i dugog veka. Ponekad se preporučuju i štapovi koji se koriste pri skoku uvis sa motkom. Oni zadovoljavaju mehaničko opterećenje, ali su u većini slučajeva previše skupi.

Sledeći problem su armature držača, koje na horizontalnom nosaču moraju bez pomeranja držati po 4 štapa od fiberglasa. One su izložene velikim opterećenjima, pa moraju biti što stabilnije. Sa druge strane njihova težina ne sme biti prevelika. Za oba spoljašnja krsta koji drže elemente mogla bi se primeniti konstrukcija prema sl. 18.41, odnosno 18.42. Jednostavniji uređaji za pričvršćavanje navode se u literaturi [7]. Opšte važeća mehanička rešenja ne postoje, jer izgradnja takve antene uvek zavisi od mogućnosti nabavke materijala, koji najčešće nije komercijalan. Bez obzira na komplikovanu konstrukciju i skupoću takvih »mamutskih« antena, radio amateri ih ipak često grade i uspešno rade sa njima. Kod takvog antenskog postrojenja »najjeftinija« je sama antena, tj. antenska žica. Zbog toga je logično da se skupa noseća konstrukcija izgradi tako da može prihvatiti žice za više opsega, pa da se uz skoro iste troškove dobije antena za više opsega. Poteškoća je jedino u tome što geometrijski razmaci elemenata moraju biti isti za sva tri opsega (20 m, 15 m i 10 m), usled čega su razmaci elemenata drugačiji u odnosu na talasnu dužinu λ za pojedine opsege, a razlikuju se i otpornosti u tački napajanja. Tri tačke napajanja ne mogu se jednostavno paralelno spojiti zbog koncentričnog postavljanja elemenata, što prouzrokuje veći međusobni uticaj elemenata, kao i zbog različitih otpornosti u tački napajanja. Već postoje rešenja pomoću gama-prilagođenja, kondenzatora i transformacionih vodova [6]; pri tom su 4 kondenzatora za kompenzaciju izložena atmosferilijama, a moraju se izvršiti i dodatna lemljenja na žicama, pa izgleda pogodnije da se svaki sistem pobuđuje sopstvenim koaksijalnim kablom. Pokazalo se da se kod koncentričnog *kvada* za tri opsega često javljaju teškoće u vezi sa pobuđivanjem u opsegu od 15 m; ove teškoće se ne javljaju kod antene u obliku paukove mreže.

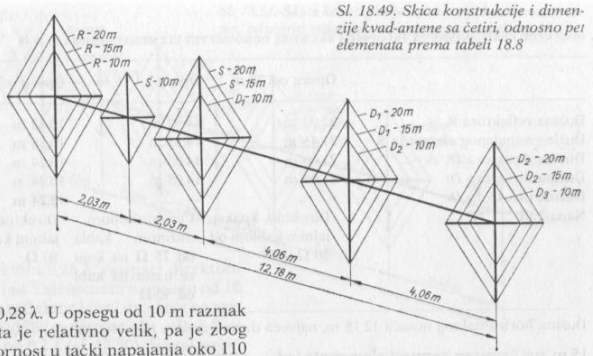
Nije teško odlučiti da li elemente antene treba montirati u obliku romba ili kvadrata, jer oba oblika imaju istu električnu efikasnost. Romb je pogodniji zbog toga što se na njemu stvara manje leda, jer voda brže otiče sa kosih žica. Kao što je već napomenuto, kod *kvad*-antena sa direktnim pobuđivanjem pomoću koaksijalnog kabla nisu potrebni transformatori za simetriranje.

18.10.1. *Kvad*-antena za tri opsega sa četiri elementa

Na sl. 18.48 prikazana je skica ove antene. Sve grupe elemenata nalaze se na istom razmaku. On iznosi za opseg od 20 m 0,143 λ, za opseg od 15 m 0,213 λ i za opseg



Sl. 18.48. Skica konstrukcije i dimenzije kvad-antene sa četiri elementa prema tabeli 18.7



Sl. 18.49. Skica konstrukcije i dimenzije kvad-antene sa četiri, odnosno pet elemenata prema tabeli 18.8

od 10 m 0,28 λ. U opsegu od 10 m razmak elemenata je relativno velik, pa je zbog toga otpornost u tački napajanja oko 110 Ω. Zato se pri napajanju koaksijalnim kablom od 50 Ω mora uključiti element za transformaciju. On se sastoji od komada koaksijalnog kabla od 75 Ω, čija je električna dužina λ/4 i koji služi kao četvrttalasni transformator (vidi odeljak 6.5). On se nalazi između tačke napajanja i napojnog kabla od 50 Ω proizvoljne dužine. Mada je za opseg od 20 m i za opseg od 15 m predviđeno direktno napajanje kablom od 50 Ω, ipak se može pretpostaviti da bi se sekcija opsega od 15 m optimalno napajala pomoću koaksijalnog kabla od 75 Ω. Za sva napajanja pogodan je i kabl od 60 Ω.

Dimenzije elemenata date su u tabeli 18.7. Pojačanje antene u pojedinim opsezima malo se razlikuje i iznosi približno 8 dB.

18.10.2. *Kvad*-antena za tri opsega sa četiri, odnosno pet elemenata

Kao što se vidi na sl. 18.49 ovaj oblik antene, koji je opisan u literaturi pod [7], sadrži četiri elementa za opsege od 20 m i

Tabela 18.7

DIMENZIJE KVAD-ANTENE ZA TRI OPSEGA SA ČETIRI ELEMENTA PREMA sl. 18.48

	Opseg od 20 m	Opseg od 15 m	Opseg od 10 m
Dužina reflektora R	21,98 m (22,07)*	14,83 m	10,88 m
Dužina aktivnog elementa S	21,37 m (21,46 m)	14,43 m	10,58 m
Dužina direktora D_1	21,06 m	14,12 m	10,24 m
Dužina direktora D_2	21,06 m	14,12 m	10,24 m
Napajanje	Direktno, koaksijalnim kablom od 50 Ω	Direktno, koaksijalnim kablom od 50 Ω	Kablom od 75 Ω četvrttalasne dužine na koju se nastavlja kabl od 50 Ω

Dužina horizontalnog nosača je 9,15 m, najveća dužina nosača žice (dijagonala) je 7,80 m.
Vrednosti u zagradi važe kada se dimenzioniše za optimalan rad u telegrafskom delu opsega od 20 m.

Tabela 18.8

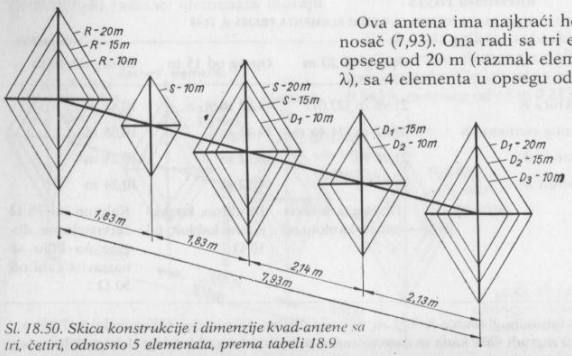
DIMENZIJE KVAD-ANTENE ZA TRI OPSEGA SA ČETIRI, ODNOSNO PET ELEMENATA PREMA sl. 18.49

	Opseg od 20 m	Opseg od 15 m	Opseg od 10 m
Dužina reflektora R	22,07 m	14,73 m	10,88 m
Dužina napajanog elementa S	21,46 m	14,33 m	10,58 m
Dužina direktora D_1	21,06 m	14,05 m	10,24 m
Dužina direktora D_2	21,06 m	14,05 m	10,24 m
Dužina direktora D_3	–	–	10,24 m
Napajanje	Direktno, koaksijalnim kablom od 50 Ω	Četvrttalasnom dužinom kabla od 75 Ω na koju se nastavlja kabl od 50 Ω	Direktno, koaksijalnim kablom od 50 Ω

Dužina horizontalnog nosača 12,18 m, najveća dužina nosača žice (dijagonala) 7,80 m

15 m, pri čemu su razmaci elemenata jednaki 0,19 λ, odnosno 0,29 λ. Aktivni element za opseg od 10 m postavljen je između grupe reflektora i grupe ostalih aktivnih elemenata, tako da je razmak reflektora 0,19 λ i razmak do prvog direktora takođe 0,19 λ. Razmaci drugog i trećeg direktora iznose 0,39 λ. Na taj način su za opsege od 10 m i 20 m postignute otpornosti u tački napajanja od oko 50 Ω, zato se aktivni elementi ovih opsega mogu direktno napajati proizvoljnom dužinom koaksijalnog kabla karakteristične impedance 50 Ω ili 60 Ω. Prilikom rada u opsegu od 15 m relativno veliki razmaci elemenata od 0,29 Ω deluju tako da otpornost u tački napajanja dostigne približno 110 Ω. Zbog toga se u tačku napajanja mora postaviti koaksijalni četvrttalasni transformator karakteristične impedance od 75 Ω, kao što je već opisano u tački 18.10.1. Dužina komada koaksijalnog kabla od 75 Ω iznosi 2,33 m ako je faktor skraćenja $V = 0{,}66$, a 2,94 m pri $V = 0{,}83$.

Dimenzije elemenata date su u tabeli 18.8. O pojačanju ovakvog antenskog sistema nisu dati nikakvi podaci u literaturi pod [7].

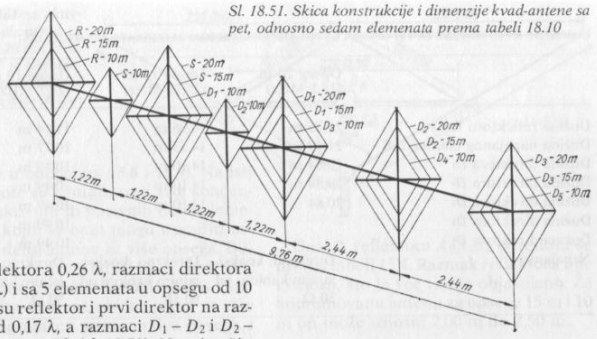


Sl. 18.50. Skica konstrukcije i dimenzije kvad-antene sa tri, četiri, odnosno 5 elemenata, prema tabeli 18.9

18.10.3. *Kvad*-antena za tri opsega sa tri, četiri, odnosno pet elemenata

Ova antena ima najkraći horizontalni nosač (7,93). Ona radi sa tri elementa u opsegu od 20 m (razmak elemenata 0,17 λ), sa 4 elementa u opsegu od 15 m (razmak reflektora 0,26 λ, razmaci direktora po 0,15 λ) i sa 5 elemenata u opsegu od 10 m kada su reflektor i prvi direktor na razmaku od 0,17 λ, a razmaci $D_1 - D_2$ i $D_2 - D_3$ iznose po 0,2 λ (sl. 18.50). Na taj način su ostvareni približno optimalni razmaci elemenata za sva tri opsega, a otpornosti u tački napajanja su, takođe, skoro jednake. Zbog toga nisu potrebni nikakvi elementi za transformaciju, sva tri sistema mogu se pobuđivati koaksijalnim kablom od 50 Ω. Ovo kompaktno rešenje antenskog sistema opisano je u literaturi [7], bez navođenja podataka o pojačanju. Dimenzije pojedinih elemenata date su u tabeli 18.9.

Sl. 18.51. Skica konstrukcije i dimenzije kvad-antene sa pet, odnosno sedam elemenata prema tabeli 18.10



18.10.4 *Kvad*-antena za tri opsega sa pet, odnosno sedam elemenata, po amateru *W7KAR*

Landskov je u literaturi [8] opisao sopstveni razvoj *kvad*-antene za tri opsega, čije je pojačanje trebalo da bude najmanje 8 dB za sva tri opsega. Na osnovu eksperimenata sa modelima u VF opsegu nastala je antena (prikazana na sl. 18.51), koja ima 5 elemenata za opsege od 20 m i 15 m uz jedinstven razmak elemenata od 2,44 m. U opsegu od 20 m to odgovara 0,115 λ, a u opsegu od 15 m 0,17 λ. Za rad u opsegu od 10 m antena sadrži sedam elemenata, čiji su razmaci do trećeg direktora uvek po 0,12 λ. Razmaci $D_3 - D_4$ i $D_4 - D_5$ iznose po 0,23 λ. Ovakvom raspodelom elemenata kod sva tri sistema postiže otpornost u tački napajanja od 50 Ω. U tabeli 18.10 date su dužine elemenata za pojedine opsege, optimalne u pogledu najveće širine opsega, a date su i rezonantne frekvencije na koje treba podesiti sistem. Usled velike širine opsega od 10 m koeficijent stojećih talasa naglo raste

Tabela 18.9

DIMENZIJE KVAD-ANTENE ZA TRI OPSEGA SA TRI, ČETIRI, ODNOSNO PET ELEMENATA, PREMA sl. 18.50

	Opseg od 20 m	Opseg od 15 m	Opseg od 10 m
Dužina reflektora R	22,15 m	14,80 m	11,04 m
Dužina napajanog elementa S	21,72 m	14,52 m	10,82 m
Dužina direktora D_1	21,18 m	14,15 m	10,54 m
Dužina direktora D_2	–	14,15 m	10,54 m
Dužina direktora D_3	–	–	10,54 m
Napajanje	Direktno koaksijalnim kablom od 50 Ω	Direktno koaksijalnim kablom od 50 Ω	Direktno koaksijalnim kablom od 50 Ω
Rezonantne frekvencije	14,1 MHz	21,1 MHz	28,3 MHz

Dužina horizontalnog nosača je 7,95 m, maksimalna dužina nosača žice (dijagonala) 7,85 m

Tabela 18.10

DIMENZIJE KVAD-ANTENE ZA TRI OPSEGA SA PET, ODNOSNO SEDAM ELEMENATA PREMA SL. 18.51

	Opseg 20 m (14,1 MHz)	Opseg 15 m (21,22 MHz)	Opseg 10 m (28,7 MHz)
Dužina reflektora R	22,25 m	14,96 m	11,14 m
Dužina napajanog elementa S	21,49 m	14,53 m	10,77 m
Dužina direktora D_1	20,84 m	14,10 m	10,49 m
Dužina direktora D_2	20,84 m	14,10 m	10,49 m
Dužina direktora D_3	20,84 m	14,10 m	10,49 m
Dužina direktora D_4	–	–	10,49 m
Dužina direktora D_5	–	–	10,49 m
Napajanje	Direktno, koaksijalnim kablom od 50 Ω	Direktno, koaksijalnim kablom od 50 Ω	Direktno, koaksijalnim kablom od 50 Ω

iznad 28,8 MHz, što se prilikom rada u opsegu od 10 m, zapaža i kod svih drugih antena za više opsega.

Dužina horizontalnog nosača je 9,76 m, maksimalna dužina nosača žice (dijagonala) je 7,87 m.

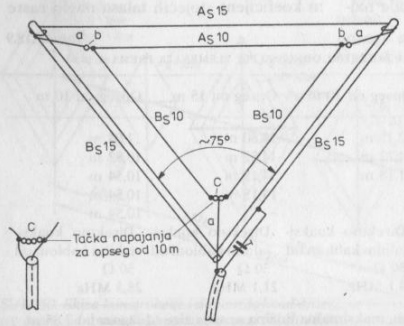
Kod *kvad*-antene preporučuje se da se upotrebljene žice pre merenja dobro isprave, jer se većina bakarnih žica usled zatezanja u toku normalnog opterećenja izduži do oko 3%.

18.11. Delta-antene za više opsega

I poznata usmerena delta-antena (tačka 15.4.5) može da se izradi za više opsega i već se u praksi uspešno primenjuje. Međutim, to ne znači da su takve delta-antene već potpuno zrela rešenja sa jednoznačno poznatim karakteristikama zračenja. Amater nema mogućnost da efikasnost ove antene adekvatno poredi, npr., sa *kjubikal-kvadom*, a pojedinačna posmatranja zasnovana na »osećaju« ne mogu se uopštiti.

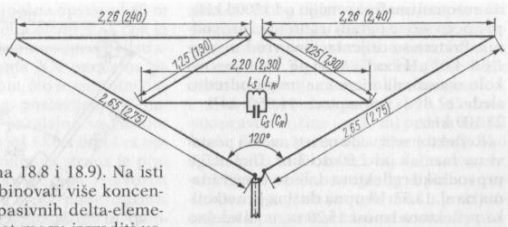
18.11.1. Kombinovane delta-antene za više opsega

Ranije je pokazano da se na jednom krstastom nosaču može kombinovati ili više koncentričnih aktivnih ili pasivnih *kvad*-elemenata od kojih se mogu izgraditi usmerene *kvad*-antene za više opsega



Sl. 18.52. Predlog konstrukcije kombinovane delta-antene za opsege od 15 m i 10 m (dimenzije A_s i B_s vidi u tabeli 15.4): a – zatege od plastičnog užeta, b – mali izolatori, c – tačka napajanja za opseg od 10 m

Sl. 18.53. Šema aktivnog delta-elementa za opsege od 20 m i 15 m (vrednosti u zagradama važe za reflektor); sve dužine date su u m



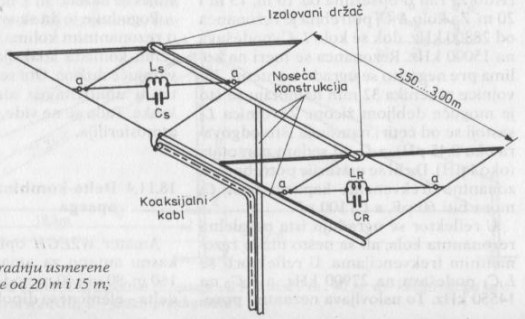
(opisane u odeljcima 18.8 i 18.9). Na isti način može se kombinovati više koncentričnih aktivnih ili pasivnih delta-elemenata od kojih se opet mogu izgraditi usmerene delta-antene za više opsega. Budući da se za opseg od 20 m ne može bez skraćivanja izgraditi dovoljno čvrst i stabilan delta-element, obično je rad na više opsega ograničen samo na dva opsega, i to 15 m i 10 m. Elementi koji su potrebni mogu se dimenzionisati prema tabeli 15.4 ili izračunati pomoću jednačina (15.10 ili 15.11).

U stabilni element za opseg od 15 m ubačen je element za opseg od 10 m koji je izrađen od bakarne pletenice. On se unutar elementa za opseg od 15 m zategne najlonom ili konopcima od staklenih vlakana. Preporučuje se da se na gornjim uglovima ubačenog elementa ugrade mali izolatori b, koji sprečavaju mehaničko trenje između žičanog elementa antene i konopca pomoću koga je zavešen. Oba elementa antene napajaju se (svaki posebno) direktno sa koaksijalnim kablom od 60 Ω. U nosećem elementu za opseg od 15 m napajanje se vrši preko gama-prilagođenja.

Dužina reflektora A_R i B_R određuju se prema tabeli 15.4. Razmak reflektora nije kritičan, što je već ranije objašnjeno. Za kombinovanu antenu za opsege 15 m i 10 m on može iznositi 2,00 m do 2,50 m.

18.11.2. Skraćena usmerena delta-antena za dva opsega sa jednostavnim antenskim elementima

U literaturi pod [2] opisano je interesantno rešenje veoma kompaktnog delta-elementa sa višestrukom rezonancom sa opsezima 20 m i 15 m. Skica aktivnog delta-elementa, koji je po obliku veoma sličan savijenom dipolu, prikazana je na sl. 18.53. Provodnik ukupne dužine 14,55 m smešten je na odgovarajući način u najmanji prostor, čime se postiže punotalasna rezonanca u opsegu od 15 m. Uključivanjem paralelnog rezonantnog kola $L_S - C_S$ u trbuh struje javlja se istovremeno i druga rezonanca u opsegu od 20 m. Paralelno rezonantno kolo $L_S - C_S$ podesi se



Sl. 18.54. Skica za izgradnju usmerene delta-antene za opsege od 20 m i 15 m; a – mali izolatori

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

na rezonantnu frekvenciju od 15000 kHz, pre nego što se ugradi u antenski provodnik. Pri tom su orijentacione vrednosti za $L_S = 1{,}82\ \mu H$ i za $C_S = 55$ pF. Kada se ovo kolo ugradi, na njemu se mogu odrediti sledeće dve rezonance: 14.050 kHz i 21.100 kHz.

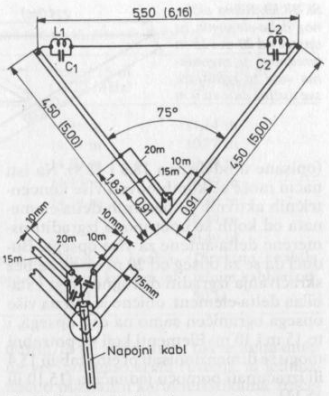
Reflektor se izvede na isti način i postavi na razmak od 2,50 do 3 m. Dimenzije provodnika reflektora date su u zagradama na sl. 18.53. Ukupna dužina provodnika reflektora iznosi 15,20 m, a paralelno rezonantno kolo $L_R - C_R$ podesi se pre ugradnje na 14.300 kHz ($L_R \approx 1{,}82\ \mu H$; $C_R \approx 60$ pF). Gotov reflektor mora imati jednoznačno izražene rezonance na 13350 kHz i na 20200 kHz.

Predlog konstrukcije antene prikazan je na sl. 18.54. U zavisnosti od upotrebljenog materijala, u ovom slučaju mogu se izvesti dodatna podupiranja i zatezanja. Amateru koji voli eksperimentisanje pruža se još nekoliko mogućnosti da ove antene poboljša u električnom i mehaničkom pogledu.

18.11.3. Usmerena delta-antena za tri opsega

Amater *WAØUDJ* razvio je antenu za tri opsega sa spoljašnjim dimenzijama delta-antene za opseg od 15 m [3]. Kao što je prikazano na sl. 18.55, ako se delta-elementu dimenzionisanom za opseg od 15 m dodaju dva paralelna rezonantna kola L_1C_1 i L_2C_2 taj element antene može se koristiti za rad u opsezima od 10 m, 15 m i 20 m. Za kolo L_1C_1 potrebna je rezonanca od 28800 kHz, dok se kolo L_2C_2 podešava na 15000 kHz. Rezonanca se meri na kolima pre nego što se ugrade u antenu. Zavojnice prečnika 32 mm namotaju se što je moguće debljom žicom. Zavojnica L_1 sastoji se od četiri namotaja (što odgovara oko 0,45 µH), a L_2 od sedam namotaja (oko 1 µH). Da bi se ostvarile potrebne rezonantne frekvencije, kapacitivnost C_1 mora biti 60 pF, a C_2 100 pF.

U reflektor se ugrađuju ista paralelna rezonantna kola, ali sa nešto nižim rezonantnim frekvencijama. U reflektoru se L_1C_1 podešava na 27900 kHz, a L_2C_2 na 14550 kHz. To uslovljava neznatno povećanje zavojnica pri približno istim kapacitivnostima. Razmak reflektora može biti 2,50 do 3,00 m.



Sl. 18.55. Aktivni delta-element za 3 opsega: a – skica konstrukcije sa dimenzijama (vrednosti u zagradama važe za reflektor), b – detalj gama prilagođenja aktivnog elementa

Naročitu pažnju zaslužuje trostruko gama prilagođenje. Kao što je pokazano na sl. 18.55b, zajednički koaksijalni kabl koristi se kao napojni vod, pri čemu se pojedinačna gama-prilagođenja priključuju na unutrašnji provodnik kabla preko kondenzatora. Optimalne vrednosti kapacitivnosti moraju se odrediti empirijski prema minimalnom koeficijentu stojećih talasa.

Pogodnije je da se sve kapacitivnosti (i u rezonantnim kolima) naprave od otvorenih komada koaksijalnog kabla odgovarajuće dužine. Oni se često mogu smestiti u unutrašnjost aluminijumske cevi kraka. Tada se ne vide, a zaštićeni su i od atmosferilija.

18.11.4 Delta-kombinacija za više opsega

Amater *W2EGH* opisao je veoma efikasnu antenu za amaterske opsege od 160 m, 80 m i 40 m pod nazivom »obrnuti delta – element sa dipolom« [4]. To je jednotalasni savijeni dipol za opseg od 80 m u obliku trougla (delta elementa), čija je stranica koja se nalazi na suprotnoj strani od tačke napajanja XX paralelna sa zemljinom površinom, što je suprotno od uobičajenog načina postavljanja delta-antene. Osim toga, paralelno sa tačkom napajanja spojen je još i kosi dipol za opseg od 80 m. Horizontalna strana je prekinuta u sredini tačke *ZZ*, čime je stvoren savijeni polutalasni dipol pune dužine, koji služi za rad u opsegu od 160 m. U opsegu od 40 m dipol je približno u jednotalasnoj rezonanci, dok je sa njim paralelno spojeni delta-element, zajedno sa produžnom zavojnicom u tački *ZZ*, rezonantan sa 2 λ.

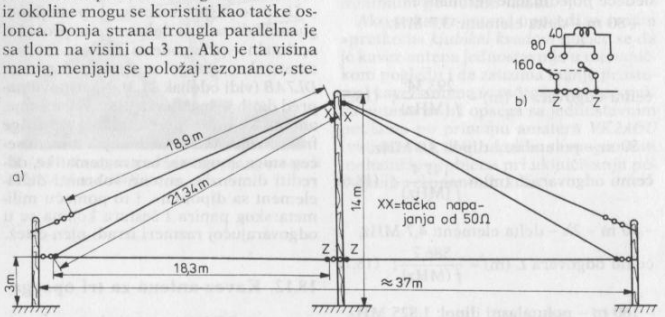
Na sl. 18.56 prikazane su originalne dimenzije prema amateru *W2EGH*. Glavne prednosti ovog oblika antene su u tome što se ona uz umerena sredstva može jednostavnim preklapanjem koristiti za tri »dugotalasna« amaterska opsega i što se pobuđuje direktno koaksijalnim kablom od 50 Ω proizvoljne dužine. Širina frekventnog opsega antene je relativno velika, a koeficijent stojećih talasa penje se na granicama opsega najviše do 1,5 : 1. *W2EGH* postigao je sa ovom antenom odlične rezultate koje je *DL8FP* u obimnom izveštaju [5] potpuno potvrdio.

»Obrnuti« delta-element zahteva jedan noseći stub visine 14 m – računajući od površine zemlje – kao i dva pomoćna stuba visine od po 4 do 5 m. Zgrade ili drveće iz okoline mogu se koristiti kao tačke oslonca. Donja strana trougla paralelna je sa tlom na visini od 3 m. Ako je ta visina manja, menjaju se položaj rezonance, stepen korisnog dejstva antene i otpornost u tački napajanja. Kod ove antene ostvaren je niz novih zamisli o antenama za više opsega, pa je celishodno da se bliže razmotri teorija ovog oblika antene.

Kao što proizlazi prema sl. 18.56 odnos vodoravne dužine (≈ 37 m) prema dužini kosih delova antene (21,34 m) iznosi oko 1,73 : 1. To znači da se ovaj delta-element približava obliku savijenog dipola, a posledica toga je da je otpornost u priključnoj tački antene veća u odnosu na »pravi« delta-element. U ovom slučaju, otpornost u tački napajanja *XX* iznosi 160 Ω. To je neuobičajena vrednost kod antenskih sistema za više opsega, jer sve opsege, po mogućnosti, treba napajati zajedničkim kablom od 50 Ω. *W2EGH* je jednostavno rešio ovaj problem paralelnim priključivanjem pogodnog polutalasnog dipola u tački napajanja *XX*. Budući da otpornost u priključnoj tački dipola od tanke žice za opseg od 80 m iznosi 65 Ω, dobije se rezultantna otpornost njegove paralelne veze sa delta-elementom koja iznosi;

$$\frac{65\Omega \cdot 160\Omega}{65\Omega + 160\Omega} = 46{,}2\Omega$$

To znači da je ostvareno prilagođenje na kabl od 50 Ω (*s* je oko 1,08). Paralelni dipol povećava širinu opsega antene, naročito ako se njegova rezonantna frekvencija malo pomeri u odnosu na delta-



Sl. 18.56. Obrnuti delta element sa dipolom za opsege od 160 m, 80 m i 40 m: a – konstrukcija sa dimenzijama po amateru W2EGH, b – detalj preklopnika

element (npr., dipol 3600 kHz, delta-element 3700 kHz ili obrnuto).

Međutim, može se očekivati i bolje zračenje, jer se »u vazduhu« nalazi ukupna dužina žice od 1,5 λ. Ako se radi korišćenja antene kao polutalasnog dipola za opseg od 160 m otvori tačka *ZZ*, to neće smetati dipolu za opsego od 80 m jer on predstavlja samo kapacitivno opterećenje i praktično ne utiče na otpornost u priključnoj tački. Za rad u opsegu od 40 m to je jednotalasni dipol sa velikom otpornošću u priključnoj tački; ovaj dipol je vezan paralelno sa delta-elementom od 2 λ. Zbog toga bi se moglo očekivati lošije prilagođenje. Međutim *W2EGH* je i u opsegu od 40 m izašao na kraj sa impedancom u tački napajanja od 50 Ω, a *DL8FP* je svojim merenjima utvrdio da je srednji faktor talasnosti *s*, prilikom napajanja koaksijalnim kablom od 60 Ω, iznosio 1,2 i da se on samo na granicama opsega penjao na 1,5. *DL8FP* je čak i u opsezima od 20,15 i 10 m postizao dobre rezultate, mada je prosečna vrednost koeficijenta stojećih talasa *s* u opsegu od 20 m iznosila 1,9, u opsegu od 15 m 2,4 i u opsegu od 10 m 2,8. Sigurno je da bi se postigla poboljšanja u radu na svim opsezima, ako bi se za svaki od visokofrekventnih amaterskih opsega u tački *XX* paralelno dodao po jedan odgovarajući polutalasni dipol.

Prema mernim rezultatima, *W2EGH* antena prikazana na sl. 18.56 postizala je sledeće pojedinačne rezonance:

– 80 m – delta element: 3,7 MHz,

$$\text{čemu odgovara } L\ (\text{m}) = \frac{293{,}34}{f\ (\text{MHz})}; \quad (18.5)$$

– 80 m – polutalasni dipol: 3,9 MHz,

$$\text{čemu odgovara } L\ (\text{m}) = \frac{147{,}4}{f\ (\text{MHz})}; \quad (18.6)$$

– 40 m – 2λ – delta element: 4,7 MHz,

$$\text{čemu odgovara } L\ (\text{m}) = \frac{586{,}7}{f\ (\text{MHz})}; \quad (18.7)$$

– 160 m – polutalasni dipol: 1,825 MHz

$$\text{čemu odgovara } L\ (\text{m}) = \frac{144{,}7}{f\ (\text{MHz})}; \quad (18.8)$$

L predstavlja ukupan obim delta-elementa, odnosno ukupnu dužinu polutalasnih dipola. Jednačine za dimenzionisanje izvedene su računskim putem iz mernih rezultata.

Za Evropu nije pogodno da se za dipol za opseg od 80 m odabere rezonantna frekvencija od 3,9 MHz. Da bi se to izbeglo treba polovine dipola produžiti na po 20,45 m (rezonantna frekvencija 3,6 MHz). Što se tiče rezonance, ponašanje delta elementa u opsegu od 40 m uslovljava uključivanje produžne zavojnice u tački *ZZ*. Ona se sastoji od 20 zavojaka bakarne žice od 2 mm, sa prečnikom zavojnice 65 mm, pri čemu se zavojci nalaze na međusobnom razmaku od 2 mm. Željena rezonantna frekvencija podešava se odgovarajućim kratkim spajanjem namotaja. Budući da je u opsegu od 160 m dozvoljen rad radio-amaterima samo nekih evropskih zemalja, može se često odustati od korišćenja tog opsega. Onda se može izvršiti pogodno dimenzionisanje na taj način što se delta-element izgradi za 3,6 MHz (obim 81,5 m), a dodatni dipol za 3,7 MHz (dužine krakova 2 × 19,9 m). Tada se pri radu na opsegu od 40 m javlja rezonanca na 2 λ od 7,2 MHz, tako da je potrebna samo mala zavojnica za postizanje rezonance u opsegu od 40 m. Zavojnica ima malo produžno dejstvo u opsegu od 80 m, tako da se preklapanje u tački *ZZ*, verovatno može sasvim izostaviti (produžna zavojnica fiksno ugrađena).

Uz malo eksperimentisanja postoji mogućnost da se ova delta-antena proširi u optimalno prilagođenu antenu za sve amaterske opsege u principu antene *DL7AB* (vidi odeljak 11.3). Na osnovu napred datih jednačina za dimenzionisanje, antena se može preračunati i za druge frekvencije. Ako se ne menja visina noseće stuga, mogu se, bez matematike, odrediti dimenzije antene »obrnuti delta-element sa dipolom«, i to pomoću milimetarskog papira i šestara kojima se u odgovarajućoj razmeri izradi njen crtež.

18.12. Kavez-antena za tri opsega

Amater *DK4NA* razvio je kavez-antenu za tri opsega koja se veoma uspešno koristi, pa se može očekivati da će se ova, veoma kompaktna i mehanički jednostavno izgrađena *kvad*-varijanta uskoro više proširiti.

Na sl. 18.57 vide se mehaničke pojedinosti. Ovo antensko postrojenje sadrži tri, u električnom pogledu, pojedinačna sistema za opsege od 20 m, 15 m i 10 m, koji su izgrađeni prema skici na sl. 15.13 sa dimenzijama prema tabeli 15.2.

Radi jasnih odnosa u pogledu napajanja, svaki sistem se pobuđuje odvojeno koaksijalnim kablom od 60 Ω; pokazalo se da nije potrebno koristiti transformatore za simetriranje u tačkama napajanja. Eksperimenti sa zajedničkim vođenjem kabla doneli su znatno pogoršanje prilagođenja. Radi mehaničke stabilnosti i radi uštede kabla, sistem se napaja na donjem nivou antena (sl. 15.13b). Kod ovakvog oblika konstrukcije antene, ne treba da vise odsečci voda na reflektorima. Radi toga se najlonsko uže zategne između dva donja kraka svakog od reflektora. Kraj odsečka voda reflektora pričvrsti se na sredinu užeta koje povezuje krake dotičnog reflektora, tako da odsečak voda bude u simetrali ugla krakova reflektora i vodoravan prema najlonu. Na taj način postiže se da metalni noseći stub veoma malo utiče kapacitivno na odsečke voda.



Sl. 18.57. Kavez-antena za tri opsega po amateru DK4NA (foto DK4NA)

Stub koji se izdiže iznad gornje ravni antene nosi delta antenu od tri elementa za opseg od 2 m. Ovo produženje stuba služi istovremeno i za zatezanje horizontalnih elemenata opsega od 20 m koji su najjače opterećeni, pa se rasterećuju zateznim konopcima. Time je omogućeno da se krak za opseg od 20 m čija je dužina 2,90 m, izgradi od tvrdog aluminijuma 18 mm × 1,5 mm (npr., cev 18 × 1,5 AlCuMg 1 F 40). Za krake u opsegu od 15 m čija je dužina 1,98 m, odgovara isti kvalitet cevi, ali dimenzija 15 mm × 1,5 mm. Ove cevi se mogu odabrati i za krake za opseg od 10 m. Prečnik cevi bira se uvek samo sa mehaničkog stanovišta, jer on nema značaja za električnu funkciju antene. To važi i za vertikalne sekcije aluminijumske žice. Bakarna pletenica ima duži vek i bolju elastičnost. Ali na mestima spajanja sa aluminijumskim cevima ona zahteva naročitu zaštitu protiv elektrolitičkih procesa razlaganja.

Podešavanje pojedinih sistema ograničeno je na optimalno podešavanje odsečaka voda reflektora. Pri tom se kratki spojevi podešavaju tako da reflektometar spregnut sa napojnim vodom pokaže minimum povratnih talasa.

Ako se kavez-antena uporedi sa svojim »pretkom« *kjubikal-kvadom* uočiće se da je kavez-antena jednostavnija u mehaničkom pogledu i da zauzima manje prostora. I kavez-antena se može izvesti kao prava antena za tri opsega sa jednostavnim petljama po principu amatera *VK2AOU* (vidi odeljak 18.9), ukoliko se mogu rešiti mehanički problemi pri uključivanju potrebnih rezonantnih kola.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 18

Rueckert, H.: The Mono-Loop-Three-Band Cubical Quad, CQ, 1971, januar, strana 41, Cowan Publishing Corp., New York 36, N.Y.1971

Nanasi, K., Mini Delta Loop, Radiotechnika, Budapest 1973, sveska 4, strana 140

Grossmann, R.: Triband Delta-Loop Beam, QST 1969, sveska 12, strana 52 do 53, West Hartford, Conn. 1969

Van Zant, F.: 160,75 i 40 meter inverted Dipole Delta Loop, QST, 1973, januar, strana 37 do 39, ARRL, Newington, Conn.

Henkers, J.: Erfahrungsbericht mit einer 160-,80-und 40-Meter-Inverted Dipol-Delta Loop, cq-DL,45(1974) sveska 12, strana 706 do 711, Baunatal

Rueckert, H.: Quad-Probleme und deren Loesung, ca-DL,48(1977) sveska 1, strana 6 do 9, Baunatal

ARRL: The ARRL Antenna Book, 13. izdanje poglavlje 9 i 14, Newington 1974

Landskor, H.: Evolution of a Quad Array,QSt,1977 mart, strana 32 do 36, Newington 1977

Bird, G.A.: The Story of the Three Band Minibeam, CQ 1957, mart, Cowan Publishing Corp., New York 36, N.Y. 1957

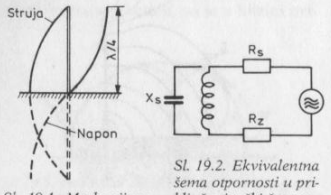
Rohlaender, W.: Dreiband-Delta-Loop-Antenne fuer 20 m, 15 m i 10 m, »FUNKAMATEUR«, 1971, sveska 5, strana 240, Deutscher Militaerverlag, Berlin

Rothammel, K.: Die VK2AOU Dreiband-Cubical *Quad mit Einfachschleifen, »FUNKAMATEUR«, 1972, sveska 12, strana 603 do 606, Militaerverlag der DDR, Berlin

Uebel, H.: Die 4-Element-Yagi bei DM2DGO, »FUNKAMATEUR«, 1971, sveska 6 strana 290 do 292, Deutscher Militaerverlag, Berlin

19. Kratkotalasne antene sa vertikalnom polarizacijom

Do sada opisane kratkotalasne antene koriste polutalasni dipol sa horizontalnom polarizacijom kao osnovni element antene. Međutim, ako se antenski provodnik postavi vertikalno iznad dobro provodljivog tla (vertikalna polarizacija) dovoljno je da njegova dužina bude $\lambda/4$. U principu, to je opet polutalasna antena, jer zemlja dopunjava četvrttalasnu antenu do polutalasne antene kao slika u ogledalu; poznato je da se zemlja može posmatrati kao manje ili više dobar provodnik. Najjednostavniji oblik takvog četvrttalasnog provodnika iznad zemlje poznat je kao *markonijeva* (Marconi) antena; na sl. 19.1 prikazana je skica *Markonijeve* antene sa raspodelom struje i napona u njoj. Četvrttalasni štapovi iznad zemlje označavaju se i kao asimetrične antene, jer oni nisu simetrični prema zemlji – nasuprot horizontalnom polutalasnom dipolu. Oni se često nazivaju *monopolima* radi razlikovanja od dipola. Ekvivalentna šema otpornosti u priključnoj tački vertikalne četvrttalasne antene sastoji se od serijske veze otpornost zračenja R_z reaktivne otpornosti X_z (koja je jednaka nuli u slučaju rezonance) i otpornosti zemlje R_{zm} (sl. 19.2).



Sl. 19.1. Markonijeva antena sa raspodelom struje i napona

Sl. 19.2. Ekvivalentna šema otpornosti u priključnoj tački četvrttalasne antene iznad zemlje

Iz toga proizlazi da se snaga P_i dovedena na Markonijevu antenu troši na otpornost zračenja i na otpornost zemlje. Za to važi odnos

$$P_i = I^2 (R_z + R_{zm}) \qquad (19.1)$$

gde je I – struja u tački napajanja antene. Otpornost zemlje R_{zm} je čista otpornost gubitaka u kojoj se VF energija pretvara u toplotu. Iz toga se dobija međusobna veza snage zračenja $P_z = (I^2 R_z)$ i snage gubitaka P_g ($I^2 \cdot R_{zm}$

$$P_z = P_i - P_g \qquad (19.2)$$

Da bi *Markonijeva* antena radila sa dobrim koeficijentom korisnog dejstva, postavlja se osnovni zahtev da otpornost zemlje bude ekstremno mala, kako bi odnos $R_z : R_{zm}$ bio što je moguće veći. U praksi se otpornost zemlje R_{zm} moraju pribrojati i sve druge otpornosti gubitaka, a one mogu biti mnogobrojne. Međutim, prvo treba bliže razmotriti uticaj zemlje na karakteristike četvrttalasne antene.

19.1. Dobro uzemljenje

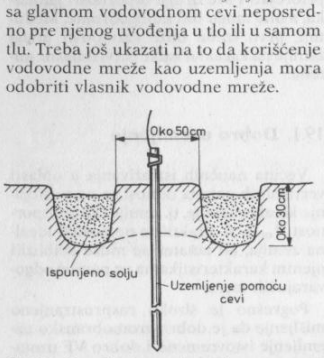
Većina naučnih istraživanja u oblasti vertikalnih antena odnosi se na postojanje idealne zemlje, tj. zemlje čija je otpornost $R_{zm} = 0$. Praktično ne postoji idealna zemlja, ali amater se može približiti njenim karakteristikama uz pomoć odgovarajućih mera.

Pogrešno je široko rasprostranjeno mišljenje da je dobro gromobransko uzemljenje istovremeno i dobro VF uzemljenje za vertikalne antene. To se odnosi

uglavnom na duboka uzemljenja koja se često koriste i kod kojih se energija groma vodi provodnicima velikog prečnika do površine podzemnih voda. Ako je to površinsko uzemljenje kome se daje prednost, npr., kod stenovitog tla, ono se najčešće može smatrati dobrim VF uzemljenjem. Vertikalnim antenama potrebno je dobro gromobransko uzemljenje i dobro VF uzemljenje. oba zahteva mogu se ispuniti odgovarajućim kombinacijama.

Prvo ćemo razmotriti pitanje dobrog uzemljenja potrebnog radi zaštite od groma, jer je ono neophodno baš kod vertikalnih antena.

Mnogi amateri smatraju da je uzemljenje dobro izvedeno ako se antena poveže sa vodovodnom mrežom. Kada neko ukopa komad cevi u zemlju i na taj način postane vlasnik »sopstvenog« uzemljenja, on najčešće misli da je stvorio uslove koji obezbeđuju dobro VF zračenje i pouzdanu zaštitu od groma. Na žalost, ovaj omiljeni način uzemljenja često se pokaže kao nepogodan. Vodovodne cevi su delimično izrađene od PVC, a vodomeri sadrže i plastične delove koji galvanski prekidaju vodovodne cevi. Kontakt spojenih cevi često nije besprekoran. Mada spojna mesta imaju veliku površinu, električni kontakt ipak često nije dobar. Uzroci su zaptivke i rđa. Najčešće se dobro ili upotrebljivo uzemljenje ostvaruje samo kada se vod za uzemljenje poveže sa glavnom vodovodnom cevi neposredno pre njenog uvođenja u tlo ili u samom tlu. Treba još ukazati na to da korišćenje vodovodne mreže kao uzemljenja mora odobriti vlasnik vodovodne mreže.



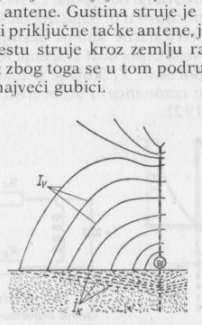
Sl. 19.3. Uzemljenje pomoću cevi

Uzemljenje pomoću cevi zadovoljice propise za gromobransko uzemljenje ako se cev može ugurati do podzemnih voda. Čak i u tom slučaju, da bi se smanjila prelazna otpornost uzemljenja treba ukopati najmanje dve cevi na razmaku od 2 do 3 m. U inostranoj literaturi se preporučuje da se oko cevi za uzemljenje iskopa jarak kao na sl. 19.3 i da se napuni higroskopnom solju.

Između ostalog, mogu se upotrebiti kamena so (stočna so), magnezijum-sulfat ili bakarni sulfat. Nakon punjenja solju jarak se nalije vodom, pa zatim opet pokrije zemljom. Soli doprinose boljoj provodljivosti zemljišta. Punjenje jarka sa 30 do 50 kg soli treba da deluje u toku 2 do 3 godine. U NDR za gromobransko uzemljenje važi standard TGL 200–7051 (vidi poglavlje 33).

Pri VF zračenju vertikalne antene u slobodnom prostoru oko vertikalnog štapa, stvaraju se struje pomaka I_v koje se posle nailaska na površinu zemlje, vraćaju kao struje provođenja I_k natrag prema priključnoj tački antene (odnosno prema njenom produženju u zemlji, kao u ogledalu) (sl. 19.4).

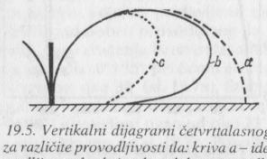
Otpornost provođenja R_z u zemlji je veća ili manja, već prema karakteristikama tla. Prema tome, na otpornost zemlje javljaju se padovi napona usled povratnih struja, a samim tim i gubici u vidu toplote, koji smanjuju stepen korisnog dejstva antene. Gustina struje je najveća u blizini priključne tačke antene, jer se na tom mestu struje kroz zemlju radijalno sastaju; zbog toga se u tom području javljaju i najveći gubici.



Sl. 19.4. Pretpostavljeni tok struja pomaka I_v u spoljašnjem prostoru i struja provođenja I_k u zemlji kod vertikalne antene

Osim toga, otpornost provođenja tla utiče i na slabljenje i izobličenje spoljašnjeg polja u blizini tla, pri čemu se izobliči i vertikalni dijagram usmerenosti antene. Na sl. 19.5 prikazano je kako deluju različite karakteristike tla na dijagram zračenja u vertikalnoj ravni. Isprekidana kriva a predstavlja pravi polukrug; to je teoretska idealna kriva kada je otpornost tla jednaka 0. Kriva b odgovara normalnom ili dobro provodljivom tlu, a kriva c tlu sa lošom provodljivošću. Iz krive c može se uočiti da su veliki gubici zračenja povezani sa nepoželjnim povećanjem vertikalnog elevacionog ugla. Već na osnovu toga može se zaključiti da upotrebljivost *Markonijeve* antene u najvećoj meri određuje provodljivost tla.

Ne postoje sigurni spoljašnji znaci o provodljivosti tla. Vlažno tlo ili plitak nivo podzemnih voda ne moraju značiti i malu otpornost provođenja; često je suvo tlo bolji VF provodnik od mnogih vlažnih mesta. Voda sa svojom velikom dielektričnom konstantom smanjuje dubinu do koje prodiru struje u zemlju. Površine slane vode ili močvarno tlo sa slanom vodom poseduju uvek veoma dobru provodljivost. Dobro VF uzemljenje treba da obezbedi dobro provodljiv put za prostiranje povratnih struja koje teku u blizini površine tla. Taj uslov ne mogu da ispune duboka uzemljenja; zato uzemljenje treba da bude tipa površinske mreže. Ona se izrađuje od što dužih metalnih žica koje se polažu zrakasto od priključne tačke antene prema spoljašnjosti. Radijalni provodnici mogu se položiti na tlo, ali se u opštem slučaju ukopavaju na dubinu od 20 do 50 cm. Radijalno polaganje uzemljenja odgovara načinu prostiranja povratnih struja u zemlji, pa je u blizini priključne tačke antene gustina provodnika najveća (tamo gde je najveća gustina struje).



Sl. 19.5. Vertikalni dijagrami četvrttalasnog štapa za različite provodljivosti tla: kriva a – idealna provodljivost tla; kriva b – dobra provodljivost tla; kriva c – loša provodljivost tla

Radio-predajnici u srednjetalasnom području rade skoro uvek sa vertikalnim antenama i pri tom koriste mreže za uzemljenje sa najmanje 120 radijalno položenih žica, raspoređenih ravnomerno po punom krugu. Merenja su pokazala da se gubici povećavaju za 7%, ako se upotrebi samo 60 provodnika za uzemljenje, a za više od 15%, ako se položi 30 provodnika. U kratkotalasnom području dovoljan je manji broj kraćih provodnika, ali i u ovom slučaju važi pravilo da su gubici u zemlji utoliko manji, ukoliko je veći broj i dužina radijalno položenih provodnika za uzemljenje. Ako je mreža za uzemljenje gušća i ima dovoljno veliku površinu, onda takvo VF uzemljenje može istovremeno predstavljati i dobro gromobransko uzemljenje, jer ona obično pruža veoma malu prelaznu otpornost prema zemlji.

Za vertikalne antene u kratkotalasnom području mreža za uzemljenje treba da ima najmanje šest provodnika. Oni se postavljaju zrakasto polazeći od priključne tačke antene i raspodeljuju se približno ravnomerno po punom krugu, a ukopavaju se u zemlju na dubinu špahtle. Dužina svake žice treba da bude $\lambda/2$ od najveće talasne dužine na kojoj se radi. Duži žice su bolje, a ako je potrebno mogu se upotrebiti i kraći provodnici. Svi provodnici za uzemljenje moraju se dobro međusobno povezati u centralnoj srednjoj tački. Pogodno je da se na tom mestu ubaci u zemlju i jedna cev za uzemljenje. Ona može poslužiti kao tačka za pričvršćenje svih žica mreže za uzemljenje. Budući da je gustina struje najveća u priključnoj tački antene, na kraj antene amateri rado postavljaju metalnu ploču što veće površine. Ima predloga da se slobodni krajevi pojedinih žica za uzemljenje snabdeju i cevima za uzemljenje. Kao materijal provodnika za uzemljenje treba odabrati pocinčanu gvozdenu ili bakarnu žicu. Žice od lakih metala su neupotrebljive, jer se u zemlji razlažu. Najpogodnije su pocinčana čelična traka 30 mm × 3,5 mm ili pocinčana okrugla čelična žica prečnika 10 mm, čije su karakteristike u

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

skladu sa zahtevima o izgradnji gromobrana. Nije strogo propisano da mreža za uzemljenje mora biti zrakasta (u vidu paoka); to je samo naročito pogodan oblik. U skladu sa mesnim uslovima često se mora izvesti u drugom obliku. Pri tom je važno da žice za uzemljenje obuhvate što veću površinu i da se koncentrišu oko priključne tačke antene.

Efikasnost vertikalne antene zavisi od kvaliteta mreže za uzemljenje, pa se može reći da dobro VF uzemljenje predstavlja ključ uspeha.

19.2. Karakteristike četvrttalasnih vertikalnih antena

Budući da dužina (odnosno visina) četvrttalasne antene iznosi samo polovinu dužine polutalasnog dipola, i njena efektivna visina H_{eff} je upola manja:

$$H_{eff} = \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{\lambda}{6{,}28} \qquad (19.3)$$

Ako se talasna dužina zameni frekvencijom f dobije se

$$H_{eff}\,(\mathrm{m}) = \frac{47{,}75}{f\,(\mathrm{MHz})} \qquad (19.4)$$

Opšta izlaganja o značaju efektivne visine, odnosno dužine date su u tački 3.1.6.

Efektivna visina je potrebna prilikom određivanja otpornosti zračenja R_z prema *Ridenbergovom* odnosu koji glasi:

$$R_z\,(\Omega) = 1579 \cdot \left[\frac{H_{eff}\,(\mathrm{m})}{\lambda\ (\mathrm{m})}\right]^2 \qquad (19.5)$$

Za četvrttalasnu antenu dobije se otpornost zračenja R_z od 40 Ω. Po novijoj teoriji *E. Zigela* tačna vrednost R_z iznosi 36,6 Ω, pod pretpostavkom da se rezonantna četvrttalasna antena nalazi direktno iznad zemljine površine.

Ulazna otpornost R_u (otpornost u priključnoj tački antene) rezonantne četvrttalasne antene iznad zemlje jednaka je zbiru otpornosti zračenja R_z i otpornosti gubitaka R_g:

$$R_u = R_z + R_g \qquad (19.6)$$

R_g sadrži sve postojeće otpornosti usled gubitaka, pri čemu najčešće dominiraju gubici u zemlji.

Faktor skraćenja V četvrttalasnog štapa zavisi od njegovog odnosa dužina/prečnik L/d. L i d su istih dimenzija (npr., L u cm, d u cm), a njihov količnik daje stepen vitkosti S. Na sl. 19.6 prikazan je faktor skraćenja V u zavisnosti od stepena vitkosti S.

Stepen vitkosti S određuje i karakterističnu impedancu Z_A štap-antene prema odnosu

$$Z_A/\Omega/ = 60 \ln (1{,}15\,S) \qquad (19.7)$$

Iz ovog odnosa proizlazi da je Z_A antene utoliko manje, ukoliko je manji stepen vitkosti S. Sa druge strne poznato je da »debele« antene poseduju veću širinu opsega 0 od »tankih« antena. Očigledan primer su poznati širokopojasni dipoli (vidi odeljak 4.3). Ako se pođe od dobrote antene Q, lako se mogu računski obuhvatiti zavisnosti stepena vitkosti S i širine frekventnog opsega O. To je veličina bez dimenzija, koja se dobije iz odnosa karakteristične impedance antene Z_A i njene ulazne otpornosti R_u:

$$Q = \frac{Z_A}{R_u} \qquad (19.8)$$

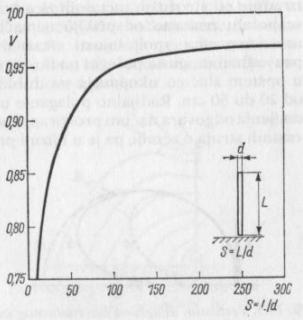
Budući da je širina frekventnog opsega O u Hz definisana kao

$$O = \frac{f_{rez}}{Q} \qquad (19.9)$$

može se napisati

$$O = f_{rez}\,\frac{R_u}{Z_A} \qquad (19.10)$$

Iz ovog odnosa može se zaključiti da je širina frekventnog opsega antene utoliko veća, ukoliko je veća njena ulazna otpornost R_u i što je manja njena karakteristična impedanca Z_A. Budući da je Z_A funkcija stepena vitkosti S, iz jednačine (19.7) proizlazi da širina opsega O raste sa smanjenjem stepena vitkosti.



Sl. 19.6. Faktor skraćenja V četvrttalasnog štapa u zavisnosti od njegovog stepena vitkosti S (= ≈ L/d)

19.3. Karakteristike zračenja vertikalnih antena

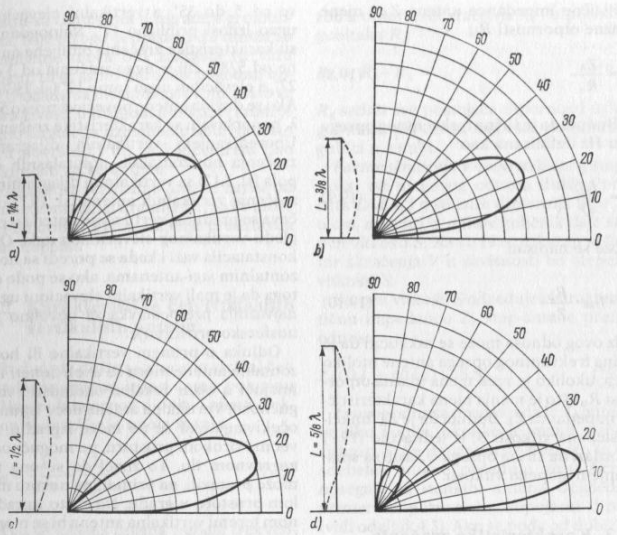
Vertikalni dijagram zračenja uspravnih antena odlikuje se veoma malim vertikalnim elevacionim uglom. Pri tom se pretpostavlja da je antena postavljena iznad zemljine površine koja dobro provodi, odnosno da je provodljivost tla poboljšana odgovarajućom mrežom za uzemljenje. Dijagram zračenja u horizontalnoj ravni je kružnog oblika, iz čega proizlaze da obične vertikalne antene zrače kružno.

Kao primer, na sl. 19.7 prikazani su vertikalni dijagrami uspravnih antena različitih dužina koje su postavljene neposredno iznad dobro provodljivog tla. Vertikalni ugao zračenja četvrttalasnih antena je između 10° i 55°, pri čemu elevacioni ugao iznosi oko 30° (sl. 19.7a). Štap-antena od 3/8 λ poseduje uži ugao zračenja od 8 do 40° i elevacioni ugao od oko 23°, kao što je prikazano na sl. 19.7b. Povoljniji je vertikalni polutalasni dipol iznad zemlje. Njegov upotrebljivi ugao zračenja kreće se od 5 do 35°, a vertikalni elevacioni ugao iznosi približno 17°. Najpogodnije su karakteristike zračenja omiljene antene od 5/8 λ čiji je ugao zračenja od 3 do 27°, a elevacioni ugao samo 12° (sl. 19.7d). Ako se dužina antene povećava preko 5/8 λ, pogoršavaju se karakteristike zračenja. Upoređivanjem vertikalnih dijagrama zračenja horizontalnih polutalasnih dipola (sl. 3.12) sa vertikalnim dijagramima zračenja vertikalnih antena (sl. 19.7) uočava se prednost vertikalnih antena u pogledu vertikalnog elevacionog ugla. Ova konstatacija važi i kada se poredi sa horizontalnim *jagi*-antenama, ako se pođe od toga da je mali vertikalni elevacioni ugao najvažnija pretpostavka za povoljno jonosfersko prostiranje.

Odluka o primeni vertikalne ili horizontalne antene mora se uvek doneti uzimajući u obzir lokalne okolnosti i mogućnosti. Vertikalna antena neće ispuniti očekivanja ako se ne može izgraditi na veoma širokom prostoru, po mogućnosti na ravnom tlu. To znači da se ona ne može postaviti, na primer, na nekom malom prostoru u gradu. Na gusto izgrađenom terenu vertikalna antena bi se morala postaviti na najveću visinu, tako da bude iznad svih prepreka. Osim toga, površina uzemljenja mora se »podići« do priključne tačke antene na taj način što se napravi što šira veštačka mreža uzemljenja u vidu protivtegova (*grand-plejn*) i što se ona poveže sa svim metalnim površinama i ostalim provodnim metalnim konstrukcijama – ukoliko su u blizini mesta na kome se podiže antena. To mogu biti limeni krovovi, oluci, vodovodni sistemi, sistemi za grejanje i gromobranska postrojenja. Ravni krovovi su pogodniji od kosih.

Tvrdnja da vertikalna antena nije dobra prijemna antena zasniva se verovatno na činjenici da je to antena sa kružnim zračenjem i da zbog toga ne prima samo korisne signale iz svih smerova već i signale smetnji koji potiču od električnih aparata i uređaja iz bliže okoline.

Drugi argument koji prividno govori protiv upotrebe vertikalnih antena zasniva se na polarizaciji. Poznato je, da je većina amaterskih antena horizontalno polarizovana. Činjenica je da horizontalno



Sl. 19.7. Vertikalni dijagram zračenja štap-antena različitih dužina, koje su postavljene iznad dobro provodljivog tla

polarizovana antena mnogo slabije prima emitovani signal vertikalne polarizacije nego vertikalno polarizovana prijemna antena. Ovaj gubitak usled promene polarizacije, javlja se, ipak, samo pri direktnom prostiranju, npr., pri prijemu prizemnog talasa ili uopšte u VVF i UVF opsegu. Pri prostiranju refleksijom od jonosfere, koje se skoro obavezno javlja u KT području, po pravilu javljaju se promene polarizacije, pa se u konačnom rezultatu više ne može uočiti prednost jedne ili druge polarizacije.

19.4 Oblici vertikalnih antena sa kružnim zračenjem

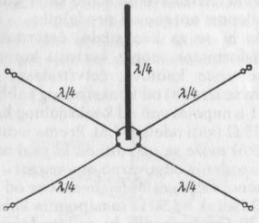
Klasična *Markonijeva* antena danas se retko upotrebljava u amaterske svrhe, jer je, iz već navedenih razloga, u većini slučajeva povoljnije da se vertikalna antena montira visoko i da se prirodna zemlja zameni mrežom protivtegova uz priključnu tačku antene. Protivtegovi se nazivaju radijali, jer se oni polažu radijalno od priključne tačke antene. Cela mreža pritivtegova naziva se *graundplejn* (engleski: Ground plane = ravan uzemljenja), a u amaterskom žargonu naziva se vertikalna antena sa mrežom protivtegova: *graundplejn antena.*

19.4.1. Vertikalna antena sa mrežom horizontalnih protivtegova (*graundplejn* antena)

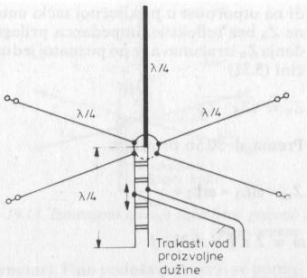
Na sl. 19.8 prikazana je skica *graundplejn*-antene. Protivtegovi se izrađuju od što većeg broja žica dužine λ/4, koje su horizontalno pritegnute uz priključnu tačku vertikalne četvrttalasne antene. Protivtegovi su međusobno povezani u blizini priključne tačke antene, a sam vertikalni štap je izolovan od radijala. Treba predvideti najmanje 4 radijala, budući da se radi o rezonantnim četvrttalasnim komadima žice sa trbuhom napona na kraju provodnika, oni se moraju izolovano zategnuti.

Ulazna otpornost *graundplejn*-antene je veoma mala i iznosi oko 36 Ω. Zbog toga se javlja neprilagođenje kada se napaja direktno koaksijalnim kablom. Po jednom od rešenja problema prilagođenja koje se često koristi, predviđeno je da se protivtegovi ne postavljaju horizontalno, već koso nadole, pod uglom od oko 135° prema anteni. Tada se dobije otpornost u priključnoj tački antene od oko 50 Ω. Na žalost, ovom merom delimično se izgubi naročita prednost plitkog zračenja antene. Da bi se postiglo prilagođenje sa uobičajenim koaksijalnim kablom od 60 Ω, protivtegovi bi se morali postaviti vertikalno nadole. Tada bi od graundplejn-antene postao vertikalni polutalasni dipol dvostruke visine u odnosu na *graundplejn*.

Pravilno prilagođenje trakastog voda ili koaksijalnog kabla na otpornost u priključnoj tački štap-antene postiže se pomoću četvrttalasnog voda za prilagođenje prema odeljku 6.6. Na sl. 19.9 prikazana je izgradnja takvog voda za prilagođenje za priključak UKT trakastog voda (proračun je u odeljku 6.6). Uopšte, prednost se daje napajanju koaksijalnim kablom, a u ovom slučaju naročito zbog toga što je *graundplejn*-antena, takođe, nesimetričan sistem. Izrada koaksijalnog voda za prilagođenje stvara mehaničke



Sl. 19.8. Graundplejn-antena sa horizontalnim protivtegovima

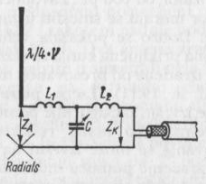


Sl. 19.9. Graundplejn antena sa otvorenim četvrttalasnim vodom za prilagođenje

probleme, ukoliko nema odgovarajućeg T-razvodnika za koaksijalni kabl. Ko ne može da izradi besprekoran priključak koaksijalnog kabla (zaštićen od vlage) treba da izvede prilagođenje pomoću koncentrisanih sastavnih delova.

V. Zefrid iz Drezdena razvio je veoma dobru šemu za prilagođenje (sl. 19.10). Prema ovoj šemi T-član služi kao zamena za deo četvrttalasnog transformacionog voda, pa poseduje iste električne karakteristike. Induktivnost zavojnica L_1 i L_2 je ista. One se moraju smestiti tako da se ne mogu međusobno spregnuti. Preporučuje se da se zavojnice izrade od debele žice da bi se njihovim rastezanjim ili sabijanjem postigla promena induktivnosti u željenim granicama. Pogodno je da kondenzator bude promenljiv sa vazduhom kao dielektrikom, kako bi ceo sklop za prilagođenje imao što manje gubitaka.

Proračun je jednostavan. Postavljen je zahtev da se impedanca kabla Z_K prilago-



Sl. 19.10. Prilagođenje Graundplejn-antene pomoću T-člana po Zefridu

di na otpornost u priključnoj tački antene Z_A bez refleksije. Impedanca prilagođenja Z_{tr} izračunava se po poznatoj jednačini (5.31)

$$Z_{tr} = \sqrt{Z_K \cdot Z_A}$$

Prema sl. 30.5b proizlazi:

$$Z_{tr} = \omega L_1 = \omega L_2 = \frac{2}{\omega C};$$

$$\omega = 2\pi f = 6{,}28 \cdot f$$

Primer

Pretpostavlja se da otpornost u priključnoj tački antene iznosi 32 Ω. Raspolaže se koaksijalnim kablom sa karakterističnom impedancom od 60 Ω koji treba da napaja antenu.

$$Z_{tr} = \sqrt{32\ \Omega \cdot 60\ \Omega} = 43{,}8\ \Omega = \omega L_1 = \omega L_2$$

Za radnu frekvenciju od 14,15 MHz dobije se

$$L_1 = L_2 = \frac{Z_{tr}}{\omega} = \frac{43{,}8\ \Omega}{2\pi \cdot 14{,}15 \cdot 10^6\ \text{Hz}} =$$

$$= 0{,}493\ \mu\text{H}$$

Kapacitivnost kondenzatora C određuje se iz jednačine

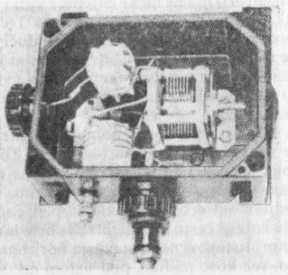
$$C = \frac{2}{\omega Z_{tr}} = \frac{2}{2\pi \cdot 14{,}15 \cdot 10^6 \cdot \text{Hz} \cdot 43{,}8\ \Omega} =$$

$$= 514\ \text{pF}$$

(vidi sl. 6.19 i 6.20)

Da bi se izjednačili faktori koji nisu obuhvaćeni proračunom, odabran je obrtni kondenzator od 600 pF. Zavojnice i kondenzator moraju se smestiti u zaptiveno kućište. Dobro se pokazala velika pravougaona priključna kutija za vlažne prostorije, izrađene od presovanog materijala (vidi sl. 19.11). Tačno podešavanje može se izvršiti najsigurnije pomoću reflektometra. Ako nema reflektometra, podešavanje se može izvršiti na maksimalno zračenje pomoću indikatora jačine polja, koji je odvojeno postavljen.

U vezi sa prilagođenjem pomoću članova koji su zavisni od frekvencije, mora se



Sl. 19.11. T–član u kućištu od presovanog materijala

napomenuti da oni sužavaju širinu opsega antene. Zbog toga se mora proceniti da li je potrebna malo manja širina opsega uz tačno prilagođenje (npr., kada se radi isključivo telegrafijom) ili je, radi postizanja veće širine opsega, bolje dozvoliti direktno napajanje neprilagođenjem od oko 1 : 2. U amaterskoj praksi često se bira direktno napajanje *graundplejn*-antene koaksijalnim kablom od 50 Ω. Tada se mora računati sa koeficijentom stojećih talasa od oko 1,5.

Veoma jednostavan, ali nešto skuplji način direktnog prilagođenja *graundplejn*-antene je napojni vod od dva paralelno spojena koaksijalna kabla od 75 Ω (npr., tipa RG 59 B/U). Rezultantna karakteristična impedanca ove paralelne veze iznosi oko 38 Ω, što je veoma blisko otpornosti u tački napajanja *graundplejn*-antene. Zbog troškova ovakav način napajanja treba koristiti samo kada je mala udaljenost antene od predajnika.

Da bi se za koaksijalni četvrttalasni transformator mogle koristiti komercijalne vrste kablova, četvrttalasni deo mora se izraditi od koaksijalnog kabla od 50 Ω, a napojni vod od koaksijalnog kabla od 75 Ω (vidi odeljak 6.5). Prema jednačini (6.6) može se utvrditi da bi ovaj način prilagođenja odgovarao otpornosti u priključnoj tački *graundplejn*-antene od 33,3 Ω. Odsečak od 50 Ω sa napojnim kablom od 70 Ω obezbedio bi prilagođenje na ulaznu otpornost antene od 35,7 Ω, a sa napojnim kablom od 60 Ω prilagođenje

na otpornost antene od 41,7 Ω. U svim navedenim slučajevima može se računati da je prilagođenje dovoljno dobro, ukoliko je antena u rezonanci.

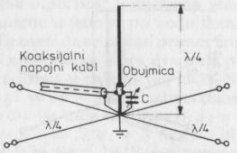
19.4.1.1. *Uzemljena graundplejn-antena*

Prilikom izgradnje antene amateri često zanemaruju propisno uzemljenje antene i nosača antene. Amater *DM2AXO* dao je tehnički besprekoran predlog za rešenje ovog problema za *graundplejn*-antenu.

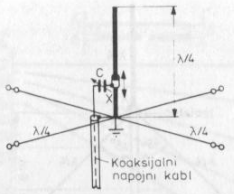
Kod četvrttalasne-antene minimum napona nalazi se na priključnoj tački (vidi sl. 19.1). Zbog toga se antena može uzemljiti direktno na priključnoj tački. Uzemljenje u čvoru napona ne utiče na karakteristike zračenja dipola. To dokazuju UKT i TV antene, koje su izrađene od metala i koje su, takođe, u minimumu napona galvanski povezane sa uzemljenim nosačem antene.

Da bi se *graundplejn*-antena uzemljena u priključnoj tački mogla prilagoditi na koaksijalni napojni kabl, na četvrttalasnom odsečku treba pronaći onu tačku čija impedanca odgovara karakterističnom impedanci napojnog kabla – slično kao kod gama-prilagođenja (sl. 6.4.). U određenoj tački unutrašnji provodnik koaksijalnog kabla povezuje se sa vertikalnom antenom pomoću obujmice (sl.19.12). Omotač kabla uzemlji se u priključnoj tački.

Priključna tačka unutrašnjeg provodnika kabla ne može se računski tačno odrediti, jer njen položaj mnogo zavisi od uticaja okoline antene. Zbog toga obujmica mora biti postavljena tako da se može pomerati. Eksperimentom se može pronaći položaj obujmice u kome je talasnost na napojnom vodu najmanja (reflek-



Sl. 19.12. Uzemljena graundplejn-antena



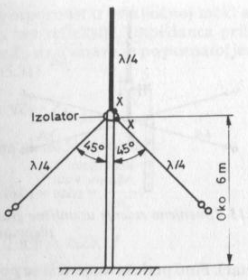
Sl. 19.13. Izmenjeno rešenje uzemljene graundplejn antene

tometar). Fino podešavanje vrši se pomoću obrtnog kondenzatora C. Vertikalna antena, protivtegovi i koaksijalni kabl su trajno uzemljeni, pa je antensko postrojenje maksimalno zaštićeno od groma, a nema ni neprijatnih statičkih naboja.

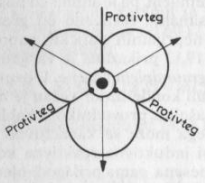
Na sl. 19.13 prikazana je varijanta uzemljene *graundplejn* antene. U ovom slučaju obrtni kondenzator vezan je na red sa unutrašnjim provodnikom kabla. Pomoću njega može se kapacitivno kompenzovati induktivna reaktivna komponenta unesena gama-prilagođenjem. Za to su, u oba slučaja, pogodni obrtni kondenzatori iz radio-uređaja krajnjeg kapaciteta 300 do 500 pF. Kondenzator se smešta u zaptiveno kućište koje se pričvrsti na obujmicu.

19.4.1.2. *Tronožna antena*

Na osnovu istraživanja amater *HB9OP* došao je do zaključka da se sa *graundplejn* antenom mogu postići određena usmerena dejstva u horizontalnoj ravni, ako se broj protivtegova smanji na tri. Kod tronožne antene (engleski: Triple Leg = tri noge) koriste se tri protivtega, koji su međusobno postavljeni pod uglom od 120° i zakošeni nadole pod uglom od 45° (sl. 19.14). Ova antena zrači horizontalno najviše u simetrali ugla između protivtegova uz vertikalni elevacioni ugao od 6 do 7°. Horizontalni dijagram zračenja antene ima približno oblik lista deteline (sl. 19.15). Veoma povoljan vertikalni elevacioni ugao od 7° postiže se samo kada se priključna tačka antene nalazi na optimalnoj visini iznad tla. Amater *HB9OP* odredio je 6 m kao najpovoljniju



SL. 19.14. Tronožna antena



Sl. 19.15. Horizontalni dijagram tronožne antene

visinu antene, a uticaj tla zavisi od lokalnih uslova. Zbog toga se ovaj podatak o visini mora posmatrati samo kao orijentaciona vrednost.

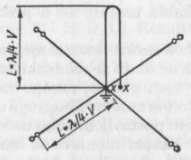
Broj protivtegova postavljenih pod navedenim nagibom od 45° utiče na otpornost na priključku antene. Kod tronožne antene izmerena je otpornost od 50 do 53 Ω; to znači da se ona može napajati direktno pomoću komercijalnog koaksijalnog kabla. Kod 4 ravnomerno podeljena protivtega, otpornost na priključku antene smanjuje se na oko 44 Ω.

Tronožna antena amatera *HB9OP* pokazala se kao veoma dobra na različitim mestima postavljenja.

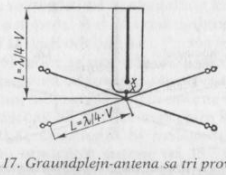
19.4.1.3. *Graundplejn-antena sa više provodnika*

Izgradnjom antenskih sistema sa više provodnika, kao kod savijenog dipola može se povećati otpornost u priključnoj tački i sirina opsega *graundplejn*-antene. U najjednostavnijem slučaju, *graundplejn* antena sa više provodnika sastoji se od savijenog dipola (sl. 19.16). Ako su oba kraka istog prečnika, onda se u tački napajanja XX može očekivati otpornost antene od 120 Ω. Drugi kraj antene, koji se nalazi nasuprot tačke napajanja, predstavlja tačku u kojoj se protivtegovi povezuju i antena se može uzemljiti na tom kraju.

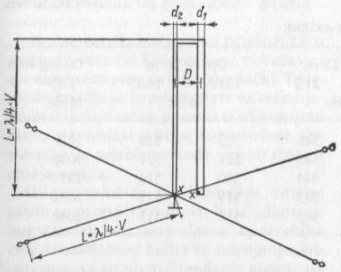
Graundplejn antena sa dva provodnika može se direktno napajati okloplјenim dvožilnim vodom, čija je karakteristična impedanca 120 Ω. Ova polovina savijenog dipola, u pogledu transformacije otpornosti ponaša se isto kao uobičajeni savijeni dipol dužine λ/2 (vidi odeljak 4.1). Znači, otpornost u priključnoj tački *graundplejn*-antene sa jednim provodnikom od oko 30 Ω transformiše se u odnosu 1 : 4, kod *graundplejn*-antene sa dva provodnika na 120 Ω. Zbog toga se kod *graundplejn*-antene sa tri provodnika u tački XX javlja ulazna impedanca od oko 270 Ω (sl. 19.17); ona odgovara dipolu sa dvostrukom petljom, čiji je odnos transformacije 1 : 9. To je tačno pod pretpostavkom da su svi kraci antene istog prečnika i da su na istom razmaku od srednjeg provodnika. Za funkcionisanje antene nije bitno koji će se od tri provodnika prekinuti radi napajanja.



Sl. 19.16. Graundplejn-antena sa dva provodnika



Sl. 19.17. Graundplejn-antena sa tri provodnika

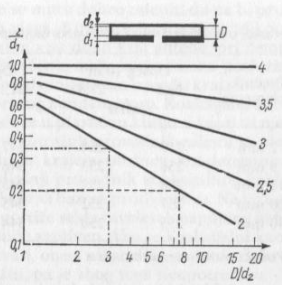


Sl. 19.18 Graundplejn-antena sa dva provodnika različitih prečnika

Manje je poznato da se kod savijenog dipola mogu postići i manji prenosni odnosi od 1 : 4. Takav primer imamo kada je prečnik d_2 neprekinute grane provodnika manji od prečnika d_1 provodnika koji je prekinut radi napajanja. To se javlja i kod *graundplejn*-antene sa dva provodnika (sl. 19.18). Ova pojava se može iskoristiti da se otpornost na priključku *graundplejn*-antene transformiše na bilo koju vrednost između 60 i 120 Ω, tako da se dobije tačno prilagođenje na koaksijalni kabl za napajanje. Odnos transformacije u tački napajanja XX zavisi od odnosa prečnika d_2/d_1 i od odnosa razmak/prečnik D/d_2. Pored sl. 4.4 i sl. 19.19 prikazuje transformaciju otpornosti u zavisnosti od navedenih odnosa prečnika ($d_2 < d_1$). Nomogram važi i za polutalasne savijene dipole i za *graundplejn*-antenu sa dva provodnika (sl. 19.18).

Primer

Treba konstruisati *graundplejn*-antenu sa dva provodnika čija je impedanca u tački priključka 60 Ω. Pretpostavlja se da je ulazna otpornost uobičajena *graundplejn*-antene sa jednim provodnikom oko 30 Ω. To znači da se za dati primer antene sa dva provodnika mora dva puta povećati otpornost u priključnoj tački. Na sl. 19.19 vidi se da se željeni odnos transformacije dobije kada je odnos $D/d_2 = 7{,}5$ i $d_2/d_1 = 0{,}2$. za $D/d_2 = 3$ moralo bi biti $d_2/d_1 = 0{,}34$. Na sl. 19.19 obe mogućnosti ucrtane su isprekidanom linijom; postoji



Sl. 19.19. Odnos otpornosti u tački napajanja savijenog dipola sa elementima različitih prečnika u odnosu na ispruženi dipol u zavisnosti od odnosa prečnika d_2/d_1 i D/d_2 (o ucrtanim primerima vidi podtačku 19.4.1.3)

veliki broj mogućnosti koje su ograničene samo mehaničkom izvodljivošću. Na primer, ako je za debeli provodnik d_1 namenjena metalna cev prečnika 10 mm, prečnik tanjeg provodnika morao bi biti $d_2 = 2$ mm ($d_2/d_1 = 0{,}2$), a razmak $D = 15$ mm ($D/d_2 = 7{,}5$). To znači da se između oba provodnika nalazi razmak od 9 mm, što je mehanički izvodljivo. Nasuprot tome, ako bi uz iste uslove odnos bio $D/d_2 = 3$ razmak između oba provodnika iznosio bi 3,5 mm; to bi bilo mnogo nepovoljnije u mehaničkom i električnom pogledu, a praktično se ne bi moglo ni ostvariti.

19.4.1.4. *Napomene o dimenzionisanju jednostavnih graundplejn-antena*

Mehaničke dužine antene i rezonantne dužine četvrttalasnih protivtegova za jednostavne *graundplejn*-antene određuju se iz tabele 19.1. U tabeli je uzet u obzir faktor skraćenja koji je posledica stepena vitkosti za različite prečnike elemenata antene. Rezonantne dužine date su za različite frekvencije, već prema širini amaterskog opsega, tako da se antena može dimenzionisati po želji, za oblast telegrafije i za približnu sredinu opsega. Uticaj okoline može izmeniti rezonantne dužine.

I protivtegovi moraju tačno ispunjavati uslov rezonance. Njima se u tom pogledu

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Tabela 19.1

PODACI O DIMENZIJAMA ZA NORMALNE GRAUNDPLEJN-ANTENE

Prečnik elementa	Opseg 10 m		Opseg 15 m		Opseg 20 m		Opseg 40m
	28,3 MHz	28,8 MHz	21,1 MHz	21,2 MHz	14,05 MHz	14,15 MHz	7,075 MHz
2 mm	259	254	347	346	522	518	1037
6 mm	258	253	346	345	521	517	1036
10 mm	258	253	345,5	344	520	516	1035
20 mm	257	252	345	343	519	515	1032
40 mm	255	250	344	342	517	513	1030

Podaci o dužinama dati su u cm.

mora pokloniti ista pažnja kao i vertikalnom delu *graundplejn*-antene. Podaci o dužini protivtegova su uvek manje ili više teoretske vrednosti. Te vrednosti se u nekim slučajevima podudaraju sa dužinama koje su potrebne u praksi, ali najčešće se moraju korigovati. Najčešće se pokaže da su date dimenzije malo predugačke. Protivtegovi se često nalaze blizu zemlje ili u neposrednoj blizini uzemljenih delova zgrada. Zbog toga trpe manji ili veći kapacitivni uticaj, čime se rezonanca pomera prema NF delu opsega. Protivtegovi se u većini slučajeva moraju skratiti na odgovarajući način.

Amater *DL6DO* je dao obimne podatke o metodu naknadne korekture dužina *graundplejn*-antene. Od mernih instrumenata potrebni su grid-dip metar i jednostavni merač impedance antene (vidi tačku 31.5.1).

Proces podešavanja

Odvojiti sve protivtegove od centralne tačke pričvršćenja (baze); dva četvrttalasna protivtega, koji se nalaze jedan naspram drugog, spojiti preko merača impedance antene (tačka 31.5.1) na polutalasni dipol. Budući da je otpornost u priključnoj tački polutalasnog dipola oko 73 Ω, mora se i promenljivi otpornik (obrtni) merača impedance antene postaviti na vrednost od 73 Ω. Zatim se merač impedance antene napaja pomoću grid-dip metra, pa se u većini slučajeva utvrđuje da se rezonantna frekvencija nalazi manje ili više izvan predviđenog frekventnog opsega. Tada se mora korigovati dužina oba ispitivana protivtega. Kada se to završi, na isti način se ispitaju i koriguju dva sledeća protivtega, pri čemu se ranije podešeni protivtegovi ne priključuju na bazu. Tek kada se svi postojeći parovi protivtegova podese na opisani način, ponovo se svi povežu sa centralnom tačkom. Na taj način je završeno grubo podešavanje protivtegova.

Sledi fino podešavanje i u tu svrhu se po jedan protivteg odvaja od baze, pa se zatim preko merača antenske impedance opet povezuje sa njom. Ostali protivtegovi su pri tom povezani sa centralnom tačkom. Ponovo se pomoću grid-dip metra odredi položaj rezonance, pa se protivteg produžava ili skraćuje, dok se ne dobije radna frekvencija. Isto tako se radi sa ostalim protivtegovima, pri čemu se prethodno podešeni protivteg uvek ponovo veže sa bazom. To znači da su kod svakog merenja svi protivtegovi vezani sa bazom, izuzimajući onaj na kome se meri. Tačan minimum na meraču impedance antene više se ne dobija u položaju od 75 Ω, već između 30 i 60 Ω. Ako se izvrši pravilno podešavanje, ceo sistem protivtegova je u rezonanci, pa se i vertikalna četvrttalasna antena može podesiti na radnu talasnu dužinu. I u ovom slučaju može se koristiti opisani način merenja pomoću merača impedance antene i grid-dip metra.

Podešavanje izgleda pomalo komplikovano; ali zato se, sa velikom sigurnošću može tvrditi da *graundplejn* antena, podešana na ovaj način, neće razočarati svoga graditelja.

19.4.1.5. *Produžena graundplejn antena*

Ako se vertikalna antena produži tako da bude veća od λ/4, onda se povećava i njena otpornost u priključnoj tački. To izgleda kao da se produženjem antene njena priključna tačka pomeri iz minimuma napona u oblast u kojoj napon raste. Otpornost se povećava kada napon raste a struja opada.

Odgovarajućim produženjem antene može se pronaći vrednost koja odgovara karakterističnoj impedanci upotrebljenog koaksijalnog kabla za napajanje, što omogućava tačno prilagođenje antene na ovaj napojni kabl. Međutim, sada antena više nije u rezonanci sa zadatom radnom frekvencijom; ona je predugačka i zbog toga poseduje induktivnu komponentu. Da bi se izvršilo njeno kompenzovanje u tački napajanja, dodaje se kapacitivna komponenta u vidu kondenzatora, čija kapacitivna otpornost odgovara induktivnoj reaktanci produžene antene. Na taj način se reaktivne komponente međusobno poništavaju, pa otpornost u priključnoj tački antene postaje realna.

Na sl. 19.20 prikazana je skica produžene *graundplejn*-antene. Da bi se obezbedila mogućnost korekcije sa unutrašnjim provodnikom kabla na red je vezan obrtni kondenzator *C*. Kondenzator može biti običan jer se javljaju samo mali naponi. Nasuprot tome, treba voditi računa o tome da kontakt na rotoru kondenzatora, bude dobar, jer teku velike struje.

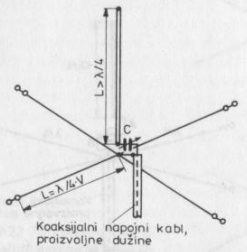
Obrtni kondenzator se stavlja u plastično kućište (npr., kutija od sapuna ili sl.), koje se mora dobro zalepiti da ne bi prodrla vlaga. Kutija se pričvršćuje vijkom direktno na donji kraj antene, pri čemu pričvršćenje može istovremeno poslužiti i kao galvanska veza između kraja antene i obrtnog kondenzatora. Koaksijalni kabl uvodi se u plastičnu kutiju u kojoj se njegov unutrašnji provodnik zalemi sa slobodnim krajem obrtnog kondenzatora. Spoljašnji provodnik koaksijalnog kabla spaja se sa bazom protivtegova. Na taj način postiže se da završetak napojnog kabla bude zaptiven. Ako se koaksijalni kabl nakvasi, on se nikad više ne može dobro osušiti, pa je zbog toga neupotrebljiv.

Kada se izvrši podešavanje, obrtni kondenzator se može zameniti kondenzatorom fiksne vrednosti koja tačno odgovara kapacitivnosti podešenoj na obrtnom kondenzatoru.

Protivtegovi (radijali) zategnu se horizontalno, kao kod svake »prave« *graundplejn* antene. Uobičajeno je da se koriste žice ili pletenice prečnika 2 mm. Rezonantne dužine radijala dimenzionišu se normalno i date su u tabeli 19.2 za prečnike provodnika od 2 mm.

Produžena *grandplejn* antena veoma se lako podešava na maksimalno zračenje. Potrebno je samo pronaći, pomoću obrtnog kondenzatora, najmanju talasnost u kablu za napajanje, pri čemu reflektometar koji je spregnut sa napojnim vodom služi kao indikator.

U tabeli 19.2 navedene su dužine elemenata koji zrači za produženu *grandplejn*-antenu, u zavisnosti od željene otpornosti u priključnoj tački antene.



Sl. 19.20. Produžena Graundplejn-antena

19.4.1.6. *Skraćena grandplejn-antena*

Često nije moguće izgraditi vertikalnu četvrttačasnu antenu pune dužine. Na primer, punu dužinu ne može imati *grandplejn*-antena za rad na opsegu od 40 m ili 80 m, takođe, ni mobilna antena (antena za vozila), jer vertikalni štap mora da bude kraći od λ/4.

Antena koja je skraćena na taj način nije više u rezonanci sa radnom frekvencijom, a njena otpornost u tački priključka poseduje i kapacitivnu reaktancu. Da bi se otklonila reaktanca ulazne otpor-

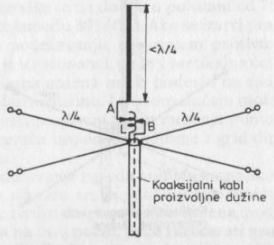
Tabela 19.2

PODACI O DIMENZIJAMA PRODUŽENIH GRAUNDPLEJN-ANTENA PREMA sl. 19.20

Prečnik antene mm	Dužina antene za karakterističnu impedancu koaksijalnog kabla od 52 Ω cm	60 Ω cm	70 Ω cm	75 Ω cm	Protivtegovi (Ø 2 mm) cm	Obrtni kondenzator maksimalno pF
Rezonantna frekvencija 7050 kHz (amaterski opseg od 40 m)						
2	1186	1240	1299	1311	1040	250
6	1185	1239	1298	1310	1040	250
10	1183	1236	1295	1307	1040	250
20	1177	1230	1288	1300	1040	250
40	1164	1217	1275	1286	1050	250
Rezonantna frekvencija 14100 kHz (amaterski opseg od 20 m)						
2	593	620	652	658	520	150
6	591	619	651	656	520	150
10	590	618	650	655	520	150
20	588	615	647	653	520	150
40	576	602	634	640	520	150
Rezonantna frekvencija 21100 kHz (amaterski opseg od 15 m)						
2	396	414	434	440	349	130
6	395	413	432	439	349	130
10	391	409	427	434	349	130
20	387	405	423	430	349	130
40	383	401	419	425	349	130
Rezonantna frekvencija 28100 kHz (amaterski opseg od 10 m)						
2	297	311	326	329	262	100
6	294	308	322	325	262	100
10	292	305	320	323	262	100
20	289	302	316	319	262	100
40	284	297	311	314	262	100

nosti, mora se izvršiti kompenzacija pomoću induktivnosti. Čim otpornost na priključku antene postane realna, ponovo su ispunjeni uslovi za rezonancu.

Induktivnu otpornost koja se dodaje predstavlja obično zavojnica, koja se naziva i produžna zavojnica. Time se naglašava da zavojnica deluje kao električno produženje antene. Na sl. 19.21 prikazana je skica skraćene *graundplejn*-antene sa produžnom zavojnicom. Produžna zavojnica pogoršava karakteristike antene; da nema tog negativnog delovanja, izrađivale bi se veoma male antene sa zavojnicama. Budući da sama zavojnica veoma malo znači, ali da sa druge strane predstavlja zamenu za dužinu antene koja je skraćena, stepen korisnog dejstva antene smanjuje se na odgovarajući način. Tome se još dodaju gubici u zavojnici usled skin-efekta, pa nije nikakva retkost da



Sl. 19.21. Skraćena graundplejn-antena

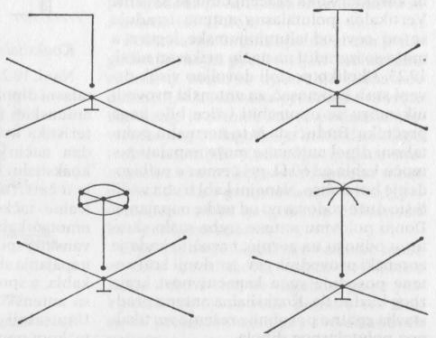
zbog toga stepen korisnog dejstva veoma skraćenih antena bude manji od 10 % (npr., kod mobilnih antena). Da bi gubici bili što je moguće manji, produžna zavojnica mora imati veliku dobrotu Q. Ona predstavlja deo sa oštrom rezonancom, koji je zavisan od frekvencije i koji smanjuje širinu opsega antene. Zbog toga su skraćene antene uvek kompromisna rešenja sa manje ili više uskim opsegom i sa smanjenim koeficijentom korisnog dejstva.

Prilikom izgradnje skraćene *graundplejn*-antene, najteži zadatak je izrada kvalitetne produžne zavojnice. Ako se reše mehanički problemi pri izradi zavojnica sa dvostrukim promenljivim izvodom, onda je dalje podešavanje relativno jednostavno. Spregom grid-dip metra sa zavojnicom *L* određuje se rezonantna frekvencija antene, i to pomeranjem mesta izvoda A sve dok se ne pronađe položaj u kome je rezonantna frekvencija jednaka željenoj radnoj frekvenciji. Zatim se na izvod B priključi unutrašnji provodnik napojnog kabla, pa se sistem pobuđuje predajnikom. Sa koaksijalnim kablom spregne se reflektometar na kome se očitava talasnost. Pomeranjem mesta izvoda B na produžnoj zavojnici traži se vrednost impedance koja odgovara karakterističnoj impedanci napojnog kabla. To je tačka u kojoj reflektometar pokazuje najmanju talasnost.

19.4.1.7. *Graundplejn-antena sa kapacitivnim opterećenjem*

Visina vertikalne antene može se smanjiti dodavanjem tzv. produžne kapacitivnosti na slobodnom kraju. Ona se može sastojati od pojedinačnih žica ili od metalne površine. Na sl. 19.22 prikazan je mali izbor vertikalnih antena sa produžnim kapacitetom.

Kapacitivno opterećenje u maksimumu napona predstavlja dodatnu kapacitivnost prema zemlji. Kod antene kojoj je dodata kapacitivnost na kraju, rezonantna frekvencija se smanjuje kao kod oscilatornog kola čija rezonantna frekvencija postaje manja zbog dodatne kapacitivnosti. To znači da se kratko dimenzionisana antena može dovesti u rezonancu pomoću produžne kapacitivnosti. Kapacitivno opterećena antena ne može se nikako posmatrati kao kompromisno rešenje, sve dok je vrednost produžne kapacitivnosti u određenim granicama. U principu, takve antene imaju veću otpornost zračenja od neopterećenih vertikalnih antena, a time i bolji koeficijent korisnog dejstva. Kod vertikalnih produžnih kapacitivnosti malo se izobličava karakteristika usmerenosti, a mehaničko izvođenje produžne kapacitivnosti najčešće je povezano sa poteškoćama. Antene sa opterećenjem na kraju izvode se pretežno kao vertikalne antene za opsege od 40



Sl. 19.22. Uobičajeni oblici vertikalnih antena sa produžnim kapacitetom

m i 80 m. Kapacitivno produženje na kraju ne koristi se samo kod četvrttalasnih antena već i kod svih drugih tipova podešenih antena sa slobodnim krajem elementa koji zrači.

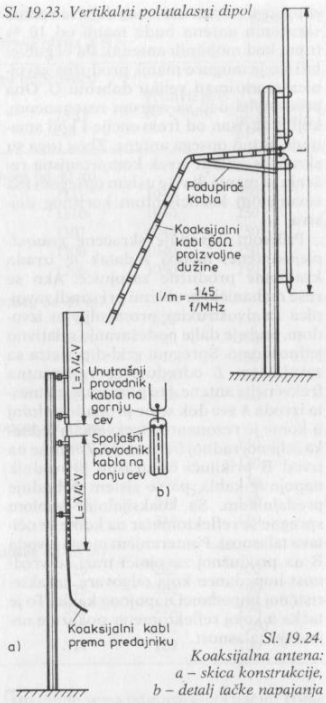
19.4.2. Vertikalna polutalasna antena i nizovi dipola

Često postoji mogućnost da se za rad u DX opsezima (10, 15 i 20 m) postave vertikalne antene visine $\lambda/2$ ili više. U većini slučajeva odustaje se od samonoseće antene zbog mehaničkih poteškoća; one se moraju uvek postaviti na veoma dobar izolator u podnožju (maksimum napona). Kod takvih konstrukcija zatege moraju preuzeti sve bočne sile. Pogodan drveni stub kao nosač antene nije samo mnogo jeftiniji već pruža i električne prednosti. Kod ovakve antene sa drvenim stubom, u slučaju nužde, antenski provodnik može biti obična žica. Na drveni stub se može popeti, a ukoliko je izveden sa mogućnošću preklapanja on se po potrebi, može i oboriti.

19.4.2.1. *Polutalasni vertikalni dipol*

Polutalasni vertikalni dipol odlikuje se malim vertikalnim elevacionim uglom; on će biti utoliko plići, ukoliko se antena montira dalje od tla. U horizontalnoj ravni karakteristika zračenja mu je kružna. Vertikalna polutalasna antena izrađuje se od cevi od aluminijumske legure a može se izgraditi na način prikazan na sl. 19.23. Ukoliko postoji dovoljno visok drveni stub kao nosač, za antenski provodnik mogu se upotrebiti i žice bilo koga prečnika. Budući da je to normalni polutalasni dipol antena se može napajati pomoću kabla od 60 Ω, pri čemu će prilagođenje biti dobro. Napojni kabl treba voditi što duže vodoravno od tačke napajanja. Donju polovinu antene treba malo skratiti u odnosu na gornju, naročito kada je antenski provodnik cev, jer donji kraj antene poseduje veću kapacitivnost kraja zbog blizine tla. Koaksijalna antena predstavlja znatno povoljnije rešenje vertikalnog polutalasnog dipola.

Sl. 19.23. Vertikalni polutalasni dipol



Sl. 19.24. Koaksijalna antena: a – skica konstrukcije, b – detalj tačke napajanja

Koaksijalna antena (sliv-antena)

Na sl. 19.24 prikazan je uobičajeni polutalasni dipol pričvršćen na drveni stub sa antenskim provodnikom od cevi. Karakteristika ove antene je veoma svrsishodan način napajanja. U ovom slučaju koaksijalni napojni kabl od 60 Ω uvučen je u četvrttalasnu cev i doveden do centralne tačke napajanja. PVC spoljašnji omotač kabla sprečava da dođe do galvanskog spoja unutar cevi. Tek kod tačke napajanja skida se spoljašnji PVC omotač kabla, a spoljašnji provodnik kabla spoji sa antenskim provodnikom (sl. 19.24b). Unutrašnji provodnik kabla spaja se sa tačkom napajanja gornje cevi dipola.

Donja polovina antene ima u ovom slučaju dve funkcije: ona je polovina dipola koji zrači i istovremeno, zajedno sa delom kabla koji prolazi kroz nju, predstavlja četvrttalasni lonac za simetriranje (vidi odeljak 7.1). Ovim simetriranjem potiskuju se talasi u omotaču kabla, a u većini slučajeva dobije se skraćen i jednostavno vođen napojni kabl.

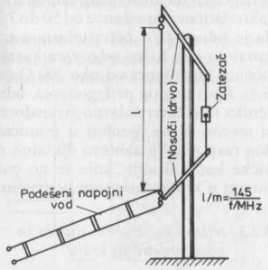
Ova omiljena vertikalna antena naziva se *koaksijalna* antena. U engleskom govornom području ona se, veoma adekvatno, naziva sliv-antena (engleski: sleeve = rukav).

19.4.2.2. *Vertikalne polutalasne antene sa napajanjem na kraju*

Amaterske polutalasne vertikalne antene često se napajaju na donjem kraju u trbuhu napona. Budući da je tu priključna impedanca uvek visokoomska, mora se izvršiti transformacija ili napajati pomoću podešenog voda.

Vertikalna cepelin antena

Vertikalna cepelin antena prikazana na sl. 19.25, napaja se pomoću podešenog voda. Ako antena radi sa polutalasnom rezonancom i ako se priključna tačka nalazi neposredno iznad dobro provodljivog tla, dobija se vertikalni dijagram zračenja kao na sl. 19.7c. Na sl. 3.16 prikazane su promene karakteristike zračenja, koje se javljaju kod polutalasne vertikalne antene, postavljene na različite visine iznad idealnog tla.



Sl. 19.25. Polutalasna vertikalna antena sa cepelin napajanjem

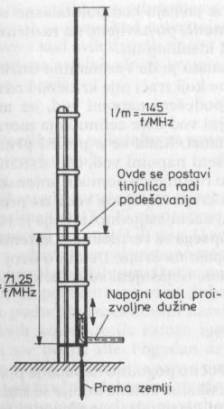
Poznato je da rezonantna dužina dela antene koji zrači nije kritična kada se koristi podešeni napojni vod, jer antena i napojni vod čine celinu koja mora biti u rezonanci. Kada se u praksi primenjuje podešeni napojni vod, ceo sistem se dovodi u rezonancu pomoću antenske sprege na kraju napojnog voda uz predajnik. Na taj način, najjednostavnije je raditi na više opsega sa vertikalnom antenom koja se napaja na kraju. Detalji o ovoj oblasti primene objašnjeni su u tački 19.4.3.

J-antena

Naročito pogodno napajanje polutalasne vertikalne antene dobije se kada se zatvoreni četvrttalasni prilagodni vod priključi na visokoomsku priključnu tačku antene i kada se na njemu priključi odvojak u onoj tački u kojoj impedanca odgovara karakterističnoj impedanci napojnog kabla. Budući da se na ovom četvrttalasnom vodu javlja praktično svaka impedanca između više hiljada Ω uz priključnu tačku antene (trbuh napona) do skoro 0 Ω uz tačku kratkog spoja prilagodnog voda, može se izvršiti optimalno prilagođenje i proizvoljno dugačkih koaksijalnih kablova i UKT trakastih vodova i »kokošijih lestvica« od 600 Ω. Tako prilagođena polutalasna antena naziva se *J-antena* (sl. 19.26).

Polutalasna antena i jedna grana prilagođenja mogu predstavljati mehaničku celinu, tj. može se upotrebiti jedna cev dužine $3/4\,\lambda$. Naročita prednost ove vrste napajanja je u tome što se podnožje četvrttalasnog prilagođenja može direktno i trajno uzemljiti. Kod odgovarajuće mehaničke konstrukcije ova J-antena može poslužiti i kao gromobranski odvod, pri čemu ona ništa ne gubi na efikasnosti kao predajna antena.

Optimalno prilagođenje J-antene može se lako utvrditi. Na mestu priključne tačke antene drži se tinjalica, pa se priključak napojnog voda pomera sve dok se ne pronađe mesto gde tinjalica svetli najjače.



Sl. 19.26. Polutalasna vertikalna antena sa četvrttalasnim prilagođenjem (J-antena)

Za dužinu antene dovoljno je tačan izraz

$$l\,(\mathrm{m}) = \frac{145}{f\,(\mathrm{MHz})}$$

Dužina $\lambda/4$ prilagodnog voda određuje se prema izrazu

$$l\,(\mathrm{m}) = \frac{73}{f\,(\mathrm{MHz})}$$

ako se izrađuje od paralelnih žica. Kada se koriste cevi relativno velikog prečnika važi odnos

$$l\,(\mathrm{m}) = \frac{71{,}25}{f\,(\mathrm{MHz})}$$

Da bi se moglo izvršiti tačno podešavanje, četvrttalasno prilagođenje treba da bude nešto duže od proračunatog, a most za kratak spoj na kraju voda treba izvesti tako da mu se položaj može menjati. Zatim se antena pobuđuje pasivno pomoćnom antenom koja je postavljena u blizini i koju napaja predajnik. Pri tom se još ne priključi napojni vod na četvrttalasno prilagođenje vertikalne antene. Ona se napaja isključivo sa pomoćne antene

Sl. 19.27. J-antena sa izmenjenim napajanjem



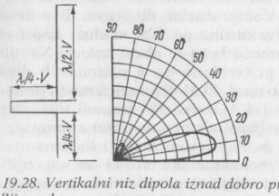
spregom putem zračenja. Zatim se pomera kratak spoj na četvrttalasnom vodu sve dotle dok tinjalica koja se drži uz podnožje antene ne zasvetli najjače. Tada su antena i četvrttalasno prilagođenje u rezonanci sa frekvencijom predajnika. Na kraju se skloni pomoćna antena, a vertikalna antena se normalno napaja predviđenim napojnim kablom. Prava tačka za priključak kabla na četvrttalasni vod odredi se na već opisani način. Kada je antena optimalno podešena na ovaj način, ona će biti dobra antena za DX kružno zračenje, ukoliko se može postaviti na dovoljno veliku visinu. Radi potpunosti izlaganja, na sl. 19.27 prikazana je još jedna varijanta napajanja J-antene. Dok je kod prilagođenja prema sl. 19.26 karakteristična impedanca četvrttalasnog voda imala drugorazredni značaj, kod rešenja kao na slici 19.27 odlučujuća je vrednost karakteristične impedance četvrttalasnog transformatora.

Prema odeljku 6.5 i jednačini (5.31), polutalasni deo antene koji zrači približno je prilagođen na koaksijalni napojni kabl karakteristične impedance od 50 do 75 Ω, kada je odnos D/d četvrttalasnog transformatora oko 6, što odgovara karakterističnom impedanci od oko 300 Ω (vidi sl. 5.4). Radi tačnog prilagođenja, odnos prečnika D/d četvrttalasnog transformatora morao bi se menjati u granicama malog raspona. To zahteva dodatne mehaničke komplikacije, koje se ne mogu zastupati u kratkotalasnom području.

19.4.2.3. *Nizovi vertikalnih dipola sa napajanjem na kraju*

Gde postoji mogućnost da se antene postave na visine veće od $\lambda/2$, mogu se izgraditi veoma uspešni vertikalni dipoli sa pobudom u fazi. Oni se postavljaju vertikalno jedan iznad drugog. Pod visinom postavljanja podrazumeva se najveća moguća dužina od tla do vrha antene. Na primer, na drvenom stubu dužine 12 m može se postaviti vertikalna antena, koja štrči tri metra iznad vrha stuba, čime se postiže ukupna dužina antene od 15 m. To je dovoljno da se za opseg od 10 m smesti antena električne dužine 1,5 λ, a za opseg od 15 m oko 1 λ. Ako se pojedini polutalasni delovi pobuđuju u fazi, dobije se odlična antena sa kružnim zračenjem čije je pojačanje jednako pojačanju niza dipola. Pojačanje je posledica smanjenja vertikalnog ugla zračenja. Međusobna zavisnost ove dve veličine može se izvesti na osnovu odeljka 13.1. Poznato je da se vertikalna antena postavljena neposredno iznad dobro provodljivog tla, produžava u zemlju kao slika u ogledalu. U slučaju vertikalnog niza dipola to znači da se antena, prema sl. 19.28, dopunjava u zemlji do niza dipola sa tri kolinearna polutalasna komada, mada njena ukupna dužina iznosi samo $3/4\,\lambda$. Pojačanje niza dipola sastavljenog iz tri polutalasna dela koji se pobuđuju u fazi teoretski iznosi 3,2 dB (prema odeljku 13.1). Zbog toga se vertikalnoj anteni od $3/4\,\lambda$ sa pobudom u fazi, takođe, može pripisati pojačanje od 3,2 dB, ukoliko se ona nalazi neposredno iznad idealnog provodljivog tla. Budući da se uvek mogu očekivati veći ili manji gubici u tlu, pojačanje ne dostiže maksimalnu vrednost; ono joj se može znatno približiti ako postoji dobra mreža uzemljenja.

Obrtanje faze koje je potrebno za pobuđivanje u fazi postiže se, kao što je to uobičajeno, pomoću zatvorenog četvrtalasnog voda. Sistem se može napajati pomoću priključka na ovom komadu paralelnih žica. Vertikalni dijagram, koji je prikazan na sl. 19.28 i koji se javlja pri dobrim uslovima tla, poseduje vertikalni ugao zračenja od oko 20°, pri čemu elevacioni ugao iznosi samo oko 10 °.



Sl. 19.28. Vertikalni niz dipola iznad dobro provodljivog tla

19.5. Usmerene antene sa vertikalnom polarizacijom

Kod amatera se retko koriste vertikalno polarizovane usmerene antene sa pasivnim elementima, mada su njihove karakteristike zračenja, u pogledu jonosferskog prostiranja, bar jednake karakteristikama horizontalnih usmerenih antena iste vrste. Prilikom izgradnje vertikalnih antena, mehaničke poteškoće nisu veće nego kod horizontalne polarizacije. Međutim, mora se konstatovati da su vertikalne usmerene antene osetljivije na vertikalne prepreke u okolini nego što je to slučaj kod horizontalnih antena. Zbog toga su one naročito pogodne za slobodne lokacije.

19.5.1. Vertikalna antena sa dva elementa

U nekim slučajevima moguće je postaviti reflektor ili direktor na pogodnom razmaku od polutalasne vertikalne antene, npr., kada se neko drvo nalazi na odgovarajućoj udaljenosti od antene. Ova nepoželjna prepreka može se dobro iskoristiti kao nosač pasivnog elementa antene (sl. 19.29).

Pasivni element antene može se, po želji, koristiti kao reflektor ili kao direktor pomoću preklapanja. Za opseg od 10 m sekundarni element mora biti dugačak najmanje 491 cm. Tada se pomoću preklopnika, po želji može dodati žica dužine od 50 cm, tako da se pasivni element produži na 541 cm i na taj način deluje kao reflektor.

Tada antena može da zrači u dva različita glavna smera koji su međusobno pomereni za 180 °.

Na sl. 19.29 prikazana je jedna od različitih mogućnosti prilagođenja. U princi-

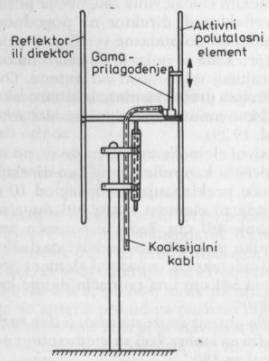
YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 19.29 Vertikalna usmerena antena sa dva elementa

pu, mogu se koristiti sve vrste centralnog napajanja koje su navedene za horizontalne usmerene antene sa dva elementa (vidi poglavlje 16).

Na sl. 19.30 prikazana je konstrukcija obrtne vertikalne antene sa dva elementa. U ovom slučaju predviđeno je prilagođenje koaksijalnog kabla preko gama-člana, kao povoljno rešenje napajanja. Elementi se mogu učvrstiti u njihovoj geometrijskoj sredini bez izolatora.



Sl. 19.30 Obrtna vertikalna antena sa dva elementa

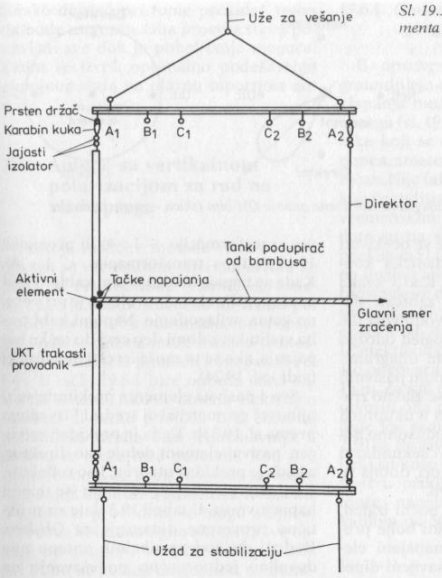
19.5.2. Vertikalna antena sa dva elementa koji se mogu menjati

Kod ove antene je interesantno jednostavno i svrsishodno mehaničko rešenje, koje je predložio amater *PAØLU*. Električno posmatrano, ova antena je normalna usmerena antena sa dva elementa (sl. 19.31), koja se sastoji od aktivnog elementa i direktora. Razmak direktora iznosi 0,1 λ, a uz optimalno dimenzionisanje postiže se pojačanje od 3,5 dB u glavnom smeru zračenja. Zbog jednostavnijeg prilagođenja na napojni kabl, aktivni element je izrađen od UKT trakastog voda čiji su provodnici kratko spojeni na oba kraja. U geometrijskoj sredini UKT trakastog voda prekine se jedna od dve žile; na tom mestu vrši se napajanje. Zato aktivni element deluje kao savijeni dipol. Iz toga proizlazi da je otpornost u tački napajanja oko 60 Ω, pa se antena može napajati dvožičnim vodom karakterističnе impedance 50 do 70 Ω, što je približno pravilno u pogledu impedance. Amater *PAØLU* upotrebio je za to komercijalni mrežni kabl, čija je karakteristična impedanca tog reda vrednosti. Direktor je napravljen od antenske pletenice.

Na sl. 19.31 prikazana je mehanička konstrukcija antene. Aktivni elementi i direktori odseku se tačno za svaki od 3 DX opsega, a na njihove krajeve postavi se po jedan izolator i po jedna karabin kuka. Za aktivni element izračuna se rezonantna dužina po sledećem obrascu:

$$l\,(\mathrm{m}) = \frac{140{,}8}{f\,(\mathrm{MHz})}$$

Za opseg od 20 m dobije se 10 m, za opseg od 15 m 6,67 i za opseg od 10 m 5,03 m. Od ovih dimenzija oduzme se 5%, pa se dobiju dužine direktora. Dve drvene letve dužine po 2,20 m služe kao nosač pomoću koga se obesi antena. Na njima je pričvršćeno po 6 prstenastih držača kao na sl. 19.31. Razmak između prstenova A_1 i A_2 iznosi 214 cm; oni služe za postavljanje elemenata antene za opseg od 20 m. Par prstenova B_1 i B_2 je na međusobnom razmaku od 144 cm, a na njih se postavljaju elementi antene za opseg od 15 m. Prstenovi C_1 i C_2 služe za učvršćenje



Sl. 19.31. Vertikalna antena sa dva elementa koji se mogu menjati

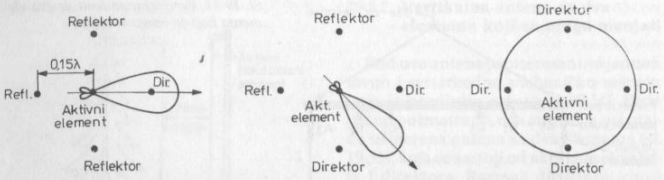
elemenata za opseg od 10 m (razmak 108 cm).

Da napojni vod svojom težinom ne bi neravnomerno opteretio ceo sistem, antena i direktor se podupiru u sredini pomoću tankog bambusa, a napojni vod se između oba elementa učvrsti tako da ceo sistem bude u ravnoteži. Da bi se antena mogla brzo i jednostavno spustiti radi promene opsega, gornje uže za vešanje mora se postaviti preko koturače. Tada se samo zamene elementi antene, pri čemu se mora voditi računa o tome da se oni postave u one prstenaste držače, koji odgovaraju željenom amaterskom opsegu.

Često postoji mogućnost da se antena mehanički izvede tako da se na užetu može okretati aksijalno. Na taj način ostvari se veoma jednostavna, ali ipak efikasna obrtna usmerena antena. Ovakvom usmerenom antenom, s malo truda i vremena prilikom promene opsega mogu se postići dobri rezultati bez većih izdataka.

19.5.3. Vertikalna antena sa promenljivim smerom usmerenosti *QH-bim*

QH-bim (engleski: Quick-Heading-Beam = brzo vođena usmerena antena) je dalji razvojni oblik, vertikalne polutalasne usmerene antene. On se sastoji od aktivnog vertikalnog polutalasnog elementa i od četiri pasivna elementa koji su za po 0,15 λ udaljeni od aktivnog elementa. Dužina pasivnih elemenata prekopčava se tako da oni, po izboru, deluju kao direktori ili kao reflektori. Pomoću odgovarajućeg prekopčavanja pasivnih elemenata, bez potrebe okretanja same antene, postiže se okretanje glavnog smera zračenja u pravcu bilo koje strane sveta. *QH-bim* po svom dejstvu odgovara *jagi-*

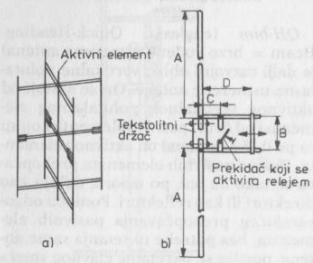


Sl. 19.32. Horizontalni dijagrami usmerene antene QH-bim (skica – pogled odozgo)

anteni sa tri elementa; može se očekivati pojačanje do 6,5 dB. Mehanička konstrukcija nije jednostavna. Kao i svaka vertikalna antena *QH-bim* zahteva slobodnu okolinu i dobru provodljivost tla.

Na sl. 19.32 prikazan je pogled odozgo na *QH-bim* sa horizontalnim dijagramima zračenja pri različitom spoju pasivnih elemenata. Iz toga sledi da se glavno zračenje može, po želji skrenuti u ukupno 8 različitih smerova koji su međusobno pomereni za po 45°. Ako se svi sekundarni elementi uključe kao direktori, dobija se kružni horizontalni dijagram.

Na sl. 19.33a prikazan je bočni izgled. Noseći stub nije nacrtan radi bolje preglednosti. Kao centralno napajani element može se upotrebiti i savijeni dipol (nešto veća širina opsega) i pruženi dipol. Ulazna otpornost u trbuhu struje iznosi 30 do 40 Ω, pa se u svakom slučaju mora transformisati na karakterističnu impedancu napojnog kabla. Kod savijenog dipola to se postiže odgovarajućim izborom odnosa prečnika prema sl. 4.4 (odnos transformacije > 1 : 4) ili prema sl. 19.19 (odnos transformacije < 1 : 4). Kada se napaja koaksijalnim kablom kod pruženog dipola najpovoljnije je provereno gama prilagođenje. Napojni kabl treba voditi kroz donji deo cevi do tačke napajanja, ako se to može izvesti mehanički (vidi i sl. 19.24).



Sl. 19.33. QH-bim: a – bočni pogled, b – detalj sekundarnog elementa

Sva 4 pasivna elementa prekinuta su u njihovoj geometrijskoj sredini i izvedena prema sl. 19.33b. Kada je prekidač zatvoren, pasivni element deluje kao direktor, a kada je prekidač otvoren, kao reflektor. Kontakti releja treba da imaju što manju kapacitivnost. U tabeli 19.3 date su praktično proverene dimenzije za *QH-bim*. Budući da kod vertikalnih antena nije dovoljno jednoznačno podešavanje na najveće usmereno zračenje, podešavanje se vrši na najveće povratno slabljenje. Radi toga, odabere se nešto veća dužina *D* od navedene, pa se pomoću kratkog spoja izvede tako da se može menjati. Prvo se izvrši podešavanje dužine *D* na najbolje reflektorsko dejstvo, a tek zatim, dužina *C* podešava na optimalno direk-

Tabela 19.3

PODACI O DIMENZIJAMA ZA QH-BIM

	Dužina aktivnog elementa	Odstojanje pasivnih elemenata	Dimenzije prema sl. 19.33b			
			A	B	C	D
Opseg od 20 m	1027	253	460	10	40	90
Opseg od 15 m	686	170	307	7	27	60
Opseg od 10 m	512	126	230	5	20	45

Svi podaci dati su u cm.

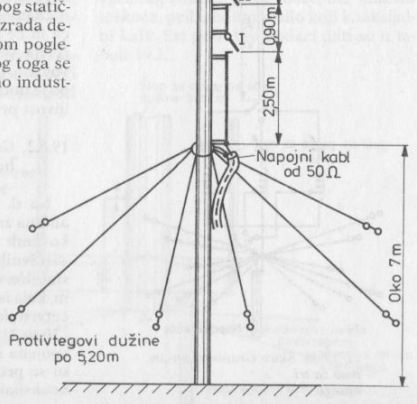
torsko dejstvo pri tome prekidač treba da bude zatvoren. Oba procesa treba ponavljati sve dok je poboljšanje moguće. Zatim se izvrši optimalno podešavanje napojnog voda na ulaznu otpornost antene.

19.6. Antene sa vertikalnom polarizacijom za rad na više opsega

Postoje različite metode rada na više opsega sa vertikalnim antenama. Ako se pođe od četvrttalasne *graundplejn*-antene i ako je ona postavljena na visinu potrebnu za najveću talasnu dužinu u opsegu, onda se dužina može menjati jednostavno mehanički pomoću konopca ili releja. U tački 19.6.1 biće opisani takvi antenski sistemi. Ako se antena električno produži ili skrati pomoću L/C članova, mehanička izrada biće jednostavnija, a antena se može niže postaviti. Kod ove metode mora se uvek računati sa većim ili manjim dodatnim gubicima. Konačno, u antenski provodnik se mogu uključiti zaprečna kola, analogno anteni za sve opsege po amateru W3DZZ (tačka 10.2.8), pri čemu ne postoji mogućnost mehaničkog prekopčavanja; to je prava antena za više opsega. Ovakve konstrukcije vertikalnih antena teže je izgraditi zbog statičkih problema, a i besprekorna izrada delova u električnom i mehaničkom pogledu zahteva veliko iskustvo. Zbog toga se ovakve antene izrađuju pretežno industrijski.

19.6.1. *Graundplejn*-antene za tri opsega sa preklapanjem

U amaterskoj literaturi opisana je graundplejn-antena koja se pomoću preklapanja može koristiti u tri amaterska opsega (sl. 19.34). Da bi izgradio preklopnike koji se aktiviraju povlačenjem konopca, amater mora biti sposoban mehaničar. Nije lako konstruisati preklopnike koji će raditi dugo i besprekorno po svim vremenskim uslovima. Sve dimenzije date su na sl. 19.34. Kada su zatvoreni prekidači I i II, ukupno ostvarena efektivna dužina antene je 5,05 m, što pod pretpostavkom da je antena izrađena od cevi prečnika 40 mm, odgovara rezonanci u opsegu od 20 m. Ako se otvori prekidač II, efektivna dužina antene će biti 3,40 m, što odgovara i za rezonancu u opsegu od 15 m. Za rad u opsegu od 10 m, moraju se otvoriti oba prekidača, tako da se pobuđuje još samo donji deo antene dužine 2,50 m. Protivtegovi dužine 5,20 m postavljeni su koso nadole, što povećava otpornost u priključnoj tački, pa se antena može napajati direktno koaksijalnim kablom od 50 Ω.

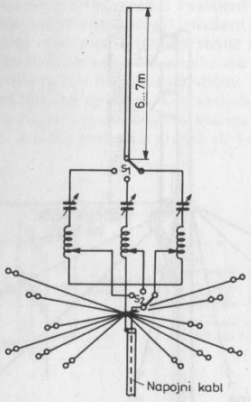


Sl. 19.34. Graundplejn-antena za tri opsega sa preklapanjem

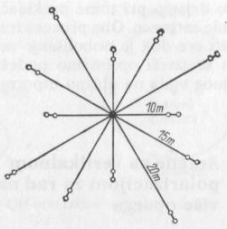
Na sl. 19.35 prikazan je još jedan oblik *graundplejn*-antene za tri opsega sa mogućnošću preklapanja. Preklopnici opsega nalaze se u podnožju antene, pa su zbog toga lakše pristupačni. Sama vertikalna antena nije rezonantna, njena dužina treba da bude 6 do 7 m.

Rezonanca antene uspostavlja se pomoću elemenata za podešavanje koji se sastoje od serijski vezane zavojnice i obrtnog kondenzatora. Podešavanje se kontroliše grid-dip metrom, koji se spregne sa odgovarajućom zavojnicom. Pomoću preklopnika uključuje se željeni opseg od 20 m, 15 m ili 10 m. Za obrtne kondenzatore dovoljan je krajnji kapacitet od po 100 pF, a vrednost zavojnica određuje se eksperimentom. Preporučuje se da se za merenje rezonance upotrebi slobodna zavojnica sa 15 namotaja od debele posrebrene bakarne žice, a njen prečnik da bude 40 mm.

Kod ove *graundplejn* antene za svaki opseg koristi se niz rezonantnih protivtegova, koji se polažu od centralne tačke prema spoljašnjosti, a međusobno su povezani u centralnoj tački (sl. 19.36). Oni se podešavaju na opisani način pomoću jednostavnog merača impedance antene



Sl. 19.35. Skica Graundplejn-antene za tri opsega



Sl. 19.36. Raspored protivtegova

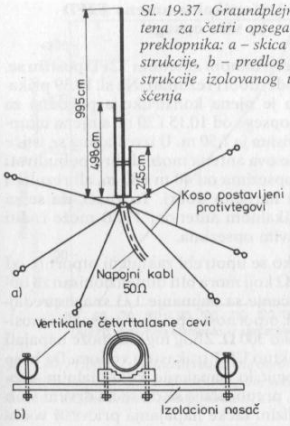
(t. 31.5.1) i grid-dip metra, i to tačno za svaki opseg.

Koaksijalni napojni kabl prilagođava se veoma jednostavno: na zavojnici se nađe tačka u kojoj impedanca odgovara karakterističnoj impedanci napojnog kabla. U tu svrhu merač impedance antene priključi se između baze i izvoda na zavojnici koji se napaja grid-dip metrom, pa se izvod na zavojnici pomera sve dotle dok se ne očita željena impedanca. Podešavanje se mora izvršiti veoma brižljivo; preporučuje se da se pri tom stalno proverava frekvencija grid-dip metra pomoću prijemnika.

Osnovni problem u izgradnji ove *grandplejn*-antene predstavljaju preklopnici opsega. Od spretnosti amatera pri izradi antene zavisi da li će se preklopnici mehanički pokretati potezanjem konopca ili će raditi sa upravljanjem pomoću releja. Veliki značaj pridaje se dobroti zavojnica. One su smeštene u trbuhu struje, pa je potrebna velika površinska provodljivost pri velikom prečniku provodnika.

19.6.2. *Graundplejn*-antena za 4 opsega bez preklopnika

Na sl. 19.37 prikazana je *graundplejn*-antena za 4 opsega. Ona radi bez komplikovanih uređaja za preklapanje i nema sastavnih delova koji unose gubitke. To je stabilna četvrttalasna cev za opseg od 40 m, koja istovremeno služi kao noseći stub četvrttalasnih antena za opsege od 20 m i 10 m. U podnožju antene međusobno su spojena sva tri pojedinačna elementa, a tu se priključuje i unutrašnji provodnik koaksijalnog napojnog kabla od 50 Ω.



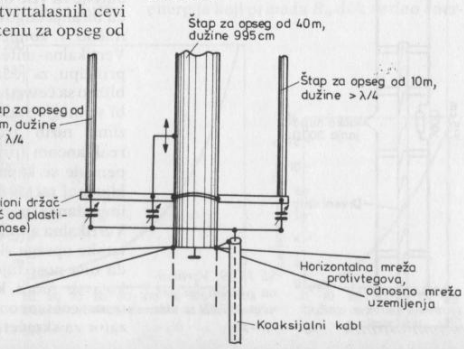
Sl. 19.37. Graundplejn-antena za četiri opsega bez preklopnika: a – skica konstrukcije, b – predlog konstrukcije izolovanog učvršćenja

Spoljašnji provodnik kabla priključen je na bazu protivtegova dužine od po 10,35 m kojih treba da bude što više. Da bi se dobilo približno prilagođenje na napojni kabl od 50 Ω, protivtegovi se moraju postaviti koso nadole, pod uglom od oko 135° (vidi tačku 19.4.1). To uslovljava da se podnožje vertikalnih štapova postavi nekoliko metara iznad tla. Preporučuje se raspored protivtegova prema sl. 19.36, s tim što se moraju dodati još protivtegovi za opseg od 40 m.

Prema slici 19.37 b može se izvesti izolovano pričvršćenje četvrttalasnih cevi na noseću vertikalnu antenu za opseg od 40 m, pri čemu se spojni nosač izrađuje od plastične mase sa malim gubicima (nprl, piakril). Isti način pričvršćivanja može se izvršiti i u podnožju, gde već postoji spojni nosač od metala.

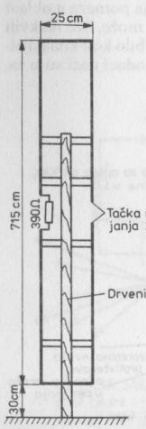
Lako se može sagledati način rada ove *graundplejn*-antene za četiri opsega. U opsegu od 40 m aktivan je štap od 9,95 m. On je nešto kraći od uobičajenog, jer njegov relativno veliki prečnik u odnosu na prečnike druga dva paralelno spojena elementa uslovljava i veće skraćenje ovog štapa. U opsegu od 15 m isti štap je rezonantna antena dužine 3/4 λ, pri čemu se u dijagramu zračenja javlja deoba vertikalnog ugla zračenja. Za opsege od 20 m i 10 m upotrebljeni su normalno dimenzionisani četvrttalasni štapovi.

Ukoliko ima dovoljno slobodnog prostora oko antene, najpovoljnije je da se, kao što je već objašnjeno, vertikalne antene postave neposredno iznad tla. Tada se protivtegovi postavljaju vodoravno, a otpornost u priključnoj tački je oko 30 Ω. U ovom slučaju može pomoći princip produžavanja *graundplejn*-antene, o kome je bilo govora u podtački 19.4.1.5. U tu svrhu se štapovi za opsege od 10 m i 20 m produže na oko 5/16 λ, pa se serijskom vezom kondenzatora ponovo skrate na električnu dužinu od λ/4 (sl. 19.20). Na taj način se tačka napajanja pomera u oblast veće impedance, pa se može, bez ikakvih teškoća, prilagoditi na bilo koji koaksijalni kabl. Svi potrebni podaci dati su u tabeli 19.2.



Sl. 19.38. Graundplejn-antena za četiri opsega sa prilagođenjem na kabl

Na sl. 19.38 prikazan je predlog za konstrukciju ovog tipa antene. Kod elementa za opseg od 40 m nije predviđeno produženje iz mehaničkih razloga. On se spaja kao uzemljena *graundplejn*-antena (sl. 19.13). Kraj štapa je direktno uzemljen, a prilagođenje se postiže pomoću kompenzovanog gama-prilagođenja. Druga dva četvrttalasna štapa produžena su prema tabeli 19.2, a električno skraćena pomoću obrtnih kondenzatora. Ovi elementi su postavljeni tako da ih nosi uzemljeni srednji štap. Međutim, oni su od srednjeg štapa izolovani držačem. Međusobno su povezani samo rotori sva tri obrtna kondenzatora, što predstavlja priključnu tačku za unutrašnji provodnik koaksijalnog kabla. Spoljašnji provodnik napojnog kabla priključen je na podnožje uzemljenog štapa za opseg od 40 m, gde se sastaje mreža uzemljenja, odnosno protivtegova. Kod ove konstrukcije treba uzeti debelu cev za štap opsega od 40 m, čiji se donji kraj ukopa u tlo, tako da slobodna dužina iznad tla bude 9,90 m. Ukopani kraj cevi treba zaliti u betonski blok. Oba produžena četvrttalasna štapa pričvrste se izolovano na donjem kraju, blizu tla, na noseću cev (sl. 19.38). Ovakav antenski sistem istovremeno je i odličan gromobran.



Sl. 19.39. Vertikalna antena na principu T2FD za više opsega

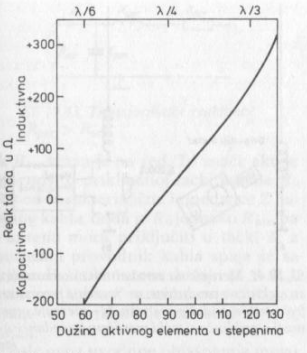
19.6.3. Vertikalna antena T2FD za više opsega

Vertikalnom antenom T2FD postižu se, takođe, dobri rezultati. Na sl. 19.39 prikazana je njena konstrukcija pogodna za DX opsege od 10,15 i 20 m, a njena ukupna visina je 7,50 m. U izveštajima se ističe da se ova antena može dobro pobuđivati i u opsezima od 40 m i 80 m, ali rezultati nisu naročito dobri. To znači, da se sa vertikalnom antenom T2FD može raditi na svim opsezima.

Ako se upotrebi zaključni otpornik od 390 Ω koji mora biti dimenzionisan za opterećenje sa najmanje 1/3 snage predajnika, otpornost u priključnoj tački iznosiće oko 300 Ω. Zbog toga se može napajati direktno UKT trakastim vodom. Da bi se omogućilo napajanje koaksijalnim kablom, preporučuje se da se na drveni stub u blizini tačke napajanja pričvrsti vodonepropusna kutija, u kojoj se nalaze sastavni delovi za simetriranje i pretvaranje impedance. Za ovu antenu nisu potrebni protivtegovi. Antene T2FD opisane su u odeljku 12.2.

19.6.4. *Graundplejn*-antene za više opsega sa mogućnošću uključivanja odgovarajuće produžne zavojnice

Mnoge praktično izvedene *graundplejn*-antene za više opsega rade sa mogućnošću biranja odgovarajuće zavojnice, a delimično i kondenzatora za skraćivanje. Vertikalna antena se tada izgrađuje, u principu, za jedan amaterski opseg, približno sa četvrttalasnom rezonancom. Da bi se moglo raditi i na amaterskim opsezima nižih frekvencija, induktivnom reaktancom (produžna zavojnica), kompenzuje se kapacitivna reaktanca u priključnoj tački, tako da se dobije realna impedanca u priključnoj tački antene. Vertikalna antena je predugačka za amaterske opsege viših frekvencija. To znači da ona poseduje induktivnu reaktancu, koja se mora kompenzovati kapacitivnom reaktancom iste vrednosti (kondenzator za skraćenje).



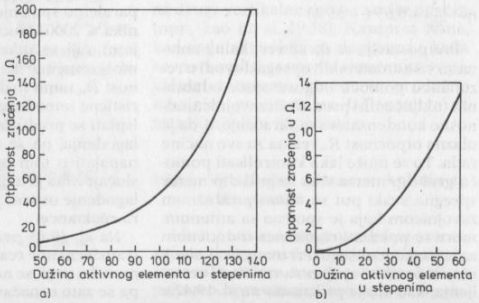
Sl. 19.40. Približne vrednosti reaktivne otpornosti vertikalnih antena iznad idealnog tla, u zavisnosti od dužine antene u stepenima (1 λ = 360°, λ/4 = 90°)

Na sl. 19.40 date su približne vrednosti reaktivne otpornosti vertikalnih antena iznad idealnog tla, u zavisnosti od dužine antene koja je izražena u ugaonim stepenima (1 λ = 360°). U ovom slučaju to su grube orijentacione vrednosti, pri čemu se pretpostavlja da je stepen vitkosti antene 1000. Reaktivne otpornosti se smanjuju kod debljih antena (manji stepen vitkosti), a rastu kod većih stepena vitkosti. Iz dijagrama se vidi da reaktivna otpornost prolazi kroz nulu, a to znači da se javlja i četvrttalasna rezonanca na dužini antene od oko 87° (dakle ne tačno na 90° = λ/4). To prouzrokuje faktor skraćenja antene koji je određen stepenom vitkosti. Kada je dužina antene veća od 87°, reaktivna otpornost postaje induktivna (»predugačka«), a u obrnutom slučaju kapacitivna (»prekratka«).

Radi dovođenja skraćene ili produžene *graundplejn*-antene u četvrttalasnu rezonancu, prvo se odredi približna reaktivna otpornost (prema slici 19.40), a zatim u zavisnosti od frekvencije, induktivnost produžne zavojnice (prema slici 6.19), odnosno kapacitivnost kondenzatora za skraćenje (prema slici 6.20). Budući da se iz dijagrama na sl. 19.40 dobijaju samo orijentacione vrednosti reaktivne otpornost, zavojnice, odnosno kondenzatori treba da budu promenljivi.

Iz dijagrama na sl. 19.41 može se očitati otpornost zračenja vertikalne antene iznad idealnog tla u zavisnosti od njene dužine. Za dužinu od Ω/4 (= 90°) dobije se otpornost zračenja od 36,6 Ω, koja je karakteristična za četvrttalasnu *graundplejn*-antenu; ona raste kod dužine λ/3 (= 120°) na 100 Ω, a opada kod λ/6 (= 60°) na oko 13 Ω. Kod još većeg skraćenja (< 60°) – koje se često javlja kod mobilnih antena – otpornost zračenja se veoma smanjuje, kao što proizlazi iz dijagrama na sl. 19.41b.

Prema jednačini (19.6) ulazna otpornost antene R_u jednaka je zbiru otpornosti zračenja R_z i otpornosti gubitaka R_g. Međutim, antena zrači samo onaj deo energije koji pripada R_z, dok se deo ener-



Sl. 19.41. Otpornost zračenja vertikalnih antena iznad idealnog tla u zavisnosti od dužine antene u stepenima: a – za dužine antene između 50° i 140°, b – za dužine antene < 60°

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

gije na R_g pretvara u gubitke usled toplote. U praksi to znači da je kod iste otpornosti gubitaka R_g stepen korisnog dejstva antene utoliko lošiji što je otpornost zračenja manja. Ovi odnosi biće prikazani na jednostavnom primeru.

Primer

Dužina vertikalne antene iznad tla dimenzionisana je sa $30° = \lambda/12$. Reaktivna otpornost, koja se javlja u tački napajanja kompenzovana je induktivnošću (produžna zavojnica), pa se može pretpostaviti da je ulazna impedanca R_u realna.

Iz dijagrama na sl. 19.41b za dužinu antene od 30° dobije se otpornost zračenja $R_z = 3\ \Omega$. Pomoću mosta za merenje impedance utvrđena je ulazna otpornost $R_u = 10\ \Omega$. Budući da je prema jednačini (19.6) $R_u = R_z + R_g$, može se pretpostaviti da je zbir otpornosti gubitaka $R_g = 7\ \Omega$ [$R_g = R_u - R_z = (10 - 3)\ \Omega = 7\ \Omega$].

Stepen korisnog dejstva antene izračunava se prema jednačini:

$$\eta = \frac{R_z}{R_z + R_g} = \frac{R_z}{R_u} \qquad (19.11)$$

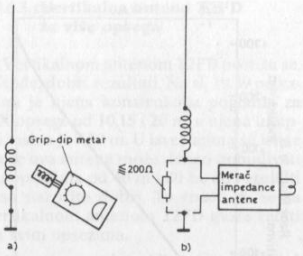
Ako se uvrste vrednosti iz navedenog primera dobije se

$$\eta = \frac{3\ \Omega}{10\ \Omega} = 0{,}3\ (= 30\%)$$

Ako je dužina antene 60°, uz istu otpornost gubitaka R_g, prema sl. 19.41b dobije se otpornost zračenja $R_z = 13\ \Omega$, pa je stepen korisnog dejstva veći i iznosi:

$$\eta = \frac{13}{20} = 0{,}65\ (= 65\%)$$

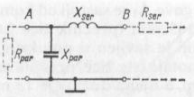
Pretpostavlja se da se vertikalna antena za više amaterskih opsega dovodi u rezonancu pomoću odgovarajuće odabranih (uključenih) produžnih zavojnica, odnosno kondenzatora za skraćenje, tj. da je ulazna otpornost R_u realna za sve načine rada. To se može lako kontrolisati pomoću grid-dip metra. Ako se grid-dip metar spregne svaki put sa onom produžnom zavojnicom koja je spojena sa antenom, mora se pokazati rezonanca u dotičnom amaterskom opsegu. Pri tome, kraj zavojnice mora biti spojen sa mrežom uzemljenja, kao što je prikazano na sl. 19.42a.



Sl. 19.42. Merenje na vertikalnim antenama koje su električno produžene; a – merenje rezonantne frekvencije grid-dip metrom, b – merenje otpornosti u priključnoj tački meračem impedance antene

Sada se postavlja zadatak da se ulazna otpornost R_u prilagodi na karakterističnu impedancu Z napojnog kabla. U tu svrhu prvo se mora odrediti vrednost R_u, što je najjednostavnije pomoću mesta za merenje impedance (merača impedance antene, vidi tačku 31.5.1). Proračunom se obično dobiju samo približne vrednosti, a otpornosti gubitaka koje su sastavni deo ulazne otpornosti, mogu se, u opštem slučaju, samo proceniti. Umesto napojnog kabla priključi se merač impedance antene, kao na sl. 19.42b. Most ovoga merača mora se napajati rezonantnom frekvencijom, koju treba utvrditi za svaki slučaj. Događa se da se nula na mostu ne može jednoznačno odrediti što je posledica raspinih polja. Tada obično pomaže paralelno spajanje neinduktivnog otpornika $\leqslant 2000\ \Omega$ (ucrtan isprekidanom linijom), čiji se uticaj na rezultat merenja može zanemariti. Ako se izmerena vrednost R_u samo malo razlikuje od karakteristične impedance napojnog kabla Z, ne isplati se preduzimati dodatne mere prilagođenja, pa se antena može direktno napajati u tom opsegu. U svim drugim slučajevima je najjednostavnije da se prilagođenje ostvari pomoću transformatora reaktance.

Na sl. 19.43 prikazana je L-ćelija kao transformator reaktance. Veći od dva otpornika uvek se nalazi u paralelnoj grani, pa se zato označava sa R_{par}. Manji otpornik R_{ser} vezan je na red. To znači: ako je otpornost u priključnoj tački antene R_u veća od karakteristične impedance Z napojnog kabla, onda je R_u jednako R_{par}, pa se antena mora priključiti u tački A, a unutrašnji provodnik kabla spaja se sa tačkom B. U obrnutom slučaju ($Z > R_u$), otpornost kabla Z zauzima mesto R_{par}, a antena se priključuje u tački B ($R_u = R_{ser}$).



Sl. 19.43. Transformator reaktance ($R_{par} > R_{ser}$

Posle ovog uvodnog objašnjenja mogu se izračunati vrednosti induktivne reaktance X_{ser} i kapacitivne reaktance X_{par}. U tu svrhu prvo se izračuna dobrota kola Q:

$$Q = \sqrt{\frac{R_{par}}{R_{ser}} - 1} \qquad (19.12)$$

Iz toga se dobija induktivna otpornost X_{ser}:

$$X_{ser} = Q \cdot R_{ser} \qquad (19.13)$$

a kapacitivna otpornost X_{par}:

$$X_{par} = \frac{R_{par}}{Q} \qquad (19.14)$$

Primer

Izmerena otpornost u priključnoj tački vertikalne antene iznosi 10 Ω, a za napajanje se predviđa koaksijalni kabl od $50\ \Omega$. $R_u < Z$, pa je $R_u = R_{ser}$ i $Z = R_{par}$.

To znači da se antena priključuje u tački B, a napojni kabl u tački A. Prema jednačini (19.12)

$$Q = \sqrt{\frac{50}{10} - 1} = \sqrt{4} = 2$$

Prema jednačini (19.13.) dobija se:

$$X_{ser} = 2 \cdot 10\ \Omega = 20\ \Omega,$$

a prema jednačini (19.14) dobija se:

$$X_{par} = \frac{50\ \Omega}{2} = 25\ \Omega$$

Sada se prema sl. 6.19 može odrediti induktivnost u funkciji frekvencije, koja je potrebna za induktivnu otpornost od 20 Ω, a takođe prema sl. 6.20 kapacitivnost, koja odgovara kapacitivnoj otpornosti od 25 Ω. Ovi dijagrami nisu uvek dovoljni, pa se, takođe brzo, ali sa većom tačnošću, može stići do cilja pomoću sledećih obrazaca:

$$L\ (\mu H) = 0{,}159 \cdot \frac{X_{ser}}{f\ (MHz)} \qquad (19.15)$$

i

$$C\ (pf) = \frac{159000}{X_{par}\ (\Omega) \cdot f\ (MHz)} \qquad (19.16)$$

Opisane transformacije reaktance mogu se primenjivati kod svih asimetričnih vertikalnih antena i ni u kom slučaju nisu ograničene na antene za više opsega sa produžnim zavojnicama.

Za vertikalne antene za više opsega sa mogućnošću uključivanja odgovarajućeg elementa za prilagođenje ne mogu se dati »gotovi recepti«, jer se moraju uzimati u obzir mnoge promenljive veličine. Vertikalnu antenu za više amaterskih opsega nije teško prilagoditi na opisani način, ako se poseduje grid-dip metar, merač antenske impedance i eventualno reflektometar (vidi poglavlja 31 i 32). Uobičajene dužine antene su između 5 i 10 m, a prednost se daje dužini od 7 m. Mehaničko uključivanje elemenata za prilagođenje u podnožju antene nije praktično, a osim toga ono unosi gubitke, zato se kod stacionarnog rada treba više orijentisati na druge vertikalne antene za više opsega (npr., kao na sl. 19.38). Nasuprot tome, kod rada sa mobilnim stanicama, kada se mora raditi sa veoma skraćenim vertikalnim antenama, koriste se produžne zavojnice povezane sa L-članovima za transformaciju impedance.

19.6.5. Vertikalne antene sa kolima za više opsega

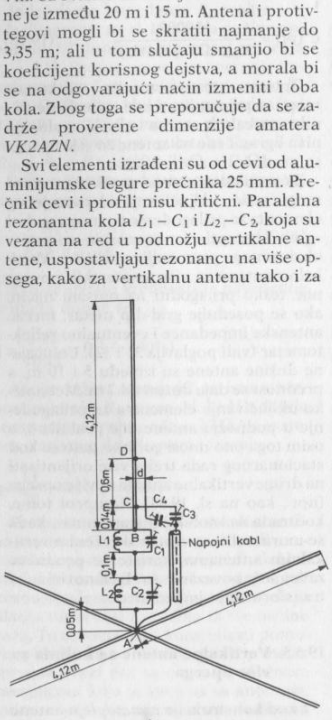
I kod konstrukcije *graundplejn*-antene za više opsega može se primeniti princip sastavnih delova za više opsega, koji se pokazao opravdanim kod usmerene an-

tene za tri opsega po amateru *VK2AOU* (vidi odeljak 18.2) i kod *kvada* za tri opsega po amateru *VK2AOU* (vidi odeljak 18.10). Amater *VK2AZN* sa uspehom je ostvario ovu ideju [1].

19.6.5.1. *Graundplejn-antena sa kolima za opsege od 10 m, 15 m i 20 m*

Na sl. 19.44 prikazana je skica *graundplejn*-antene za tri opsega, čiji je vertikalni štap dugačak 4,12 m, a protivtegovi po 4 m. Uz ovakve dimenzije rezonanca antene je između 20 m i 15 m. Antena i protivtegovi mogli bi se skratiti najmanje do 3,35 m; ali u tom slučaju smanjio bi se koeficijent korisnog dejstva, a morala bi se na odgovarajući način izmeniti i oba kola. Zbog toga se preporučuje da se zadrže proverene dimenzije amatera *VK2AZN*.

Svi elementi izrađeni su od cevi od aluminijumske legure prečnika 25 mm. Prečnik cevi i profili nisu kritični. Paralelna rezonantna kola $L_1 - C_1$ i $L_2 - C_2$, koja su vezana na red u podnožju vertikalne antene, uspostavljaju rezonancu na više opsega, kako za vertikalnu antenu tako i za

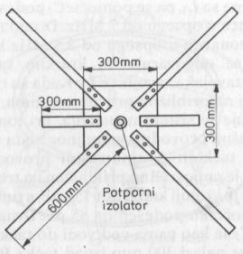


Sl. 19.44. Skica konstrukcije graundplejn-antene za tri opsega ostvarene pomoću kola za više opsega

protivtegove. L_1 se sastoji od komada žice dužine 165 mm (prečnik žice 2,0 do 2,5 mm), koji je savijen u polukrug. L_2 ima dva namotaja iste žice, prečnik zavojnice je 38 mm, a njena dužina je 13 mm. Provodnik koji spaja L_2 sa centralnom priključnom tačkom A dugačak je 50 mm; dužina provodnika između L_2 i L_1 iznosi 100 mm. C_1 (160 pF) i C_2 (60 pF) su trimeri sa vazduhom kao dielektrikom, odnosno kombinacije pogodnih kondenzatora stalne vrednosti i trimera, koji su radi zaštite od atmosferilija smešteni u plastične kutije kao što je već uobičajeno.

Prilagođenje koaksijalnog napojnog kabla moglo bi se izvesti induktivno preko L_1 i L_2. Ipak, *VK2AZN* je pronašao mehanički povoljan i električno besprekoran metod, koji u principu predstavlja gama-prilagođenje (vidi odeljak 6.3). Spoljašnji provodnik napojnog kabla povezuje se sa centralnom tačkom A. Neposredno uz unutrašnji provodnik kabla smešteni su trimeri C_3 i C_4 (55 pF odnosno 52 pF). C_3 služi za prilagođenje na 28 MHz i njegovo podešavanje je pomalo kritično. Pomoću C_4 prilagođava se koaksijalni kabl na 14 MHz i 21 MHz; ovo prilagođenje je relativno široko. Provodnik između C_3 i tačke C na vertikalnom štapu sastoji se od debele žice i do tačke C vodi se najkraćim putem. Razmak B – C iznosi oko 140 mm (nije kritičan). Prilikom spajanja C_4 sa tačkom D treba voditi računa o tome da ovaj provodnik mora biti paralelan sa vertikalnim štapom. Da bi se postiglo dobro prilagođenje na 14 MHz, razmak d treba da bude što manji. Međutim, ako je razmak d premali, biće prevelik koeficijent stojećih talasa za 28 MHz. Povoljno kompromisno rešenje je da razmak d bude 20 mm. Potrebno je da gamavod prema tački D bude mehanički učvršćen tako da po celoj dužini bude paralelan sa vertikalnim antenom.

Za osnovu mehaničke izgradnje *VK2AZN* je odabrao konstrukciju od tvrdog drveta (sl. 19.45). Ona se sastoji od četverougaone osnovne ploče od drveta ili odgovarajuće plastične mase debljine 25 mm i dužine stranice 300 mm. Kao što se vidi na crtežu, na tu ploču vijcima su pričvršćene 4 drvene letve dužine 600 mm, širine 80 mm i debljine 50 mm. One



Sl. 19.45. Predlog drvenog nosača za graundplejn-antenu za tri opsega

služe kao noseći kraci za 4 protivtega u obliku cevi. Dve daljnje drvene ili plastične letve dužine oko 300 mm predviđene su za pričvršćenje sastavnih delova oscilatornog kola, odnosno sistema napajanja. U centru osnovne ploče nalazi se potporni izolator, na koji se postavlja vertikalni štap. Ovaj izolator ne mora imati veliki faktor dobrote, jer se u podnožju vertikalne antene javljaju samo mali visokofrekventni naponi. Radi postizanja dovoljne stabilnosti vertikalni štap treba obezbediti zategama u 4 smera. Četiri zatege pričvršćene su za štap na oko 1,20 m iznad podnožja i pružaju se prema protivtegovima na koje se učvrste na razmaku od 1,20 m od centra. Ako su zatege od metalne žice, moraju se električno prekinuti pomoću jajastog izolatora, posle najmanje 0,6 m. Prethodno podešavanje sistema vrši se prvo pomoću dip metra, pri čemu još nije priključeno napajanje. Pretpostavlja se da se protivtegovi nalaze najmanje 0,3 m iznad tla. Dip metar se spregne sa L_1, odnosno L_2. Promene L_1 utiču pre svega, na rezonancu od 14 MHz. Pomoću L_2 i C_1 uspostavlja se rezonanca na 21 MHz, a C_2 reaguje uglavnom na 28 MHz. Između ovih podešavanja postoji određena zavisnost.

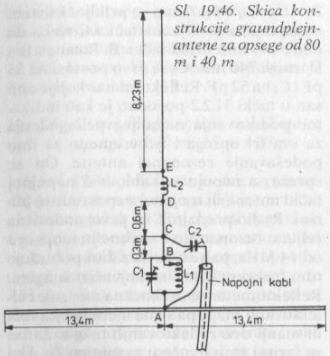
Prvo se C_1 podesi na 160 pF i C_2 na 60 pF. U opštem slučaju dip metar će tada već pokazati tri rezonantne frekvencije, koje se već nalaze unutar tri amaterska opsega ili su blizu njih. Željene frekvencije za pojedine opsege podešavaju se naizmeničnim menjanjem sastavnih delova $L_1 - C_1 - L_2 - C_2$. Zatim se priključi sistem napajanja, a priključna tačka C treba da bude 140 mm iznad tačke B. Razmak B – D iznosi 740 mm. C_3 se prvo postavi na 55 pF i C_4 na 52 pF. Reflektometar koji je opisan u tački 31.2.2 pogodan je kao indikator podešavanja najboljeg prilagođenja za sva tri opsega i istovremeno za fino podešavanje rezonanci antene. On se spreže sa napojnim kablom u napojnoj tački antene ili u njenoj neposrednoj blizini. Radio-predajnik se prvo podesi na željenu rezonantnu frekvenciju u opsegu od 14 MHz, pa se antena zatim pobuđuje tom frekvencijom i smanjenom snagom. Reflektometar se prebaci na merenje reflektovane snage pa se na njemu očita veći ili manji deo reflektovanih talasa. Zatim se feritni štap uvuče u zavojnicu L_2. Ako se usled toga stojeći talasi smanje, mora se L_1 povećati; u obrtnom slučaju L_1 se smanjuje. Zatim se c_4, takođe, podesi na minimum stojećih talasa.

Sada se antena pobuđuje iz predajnika željenom rezonantnom frekvencijom u opsegu od 21 MHz. C_1 se podesi tako da se opet dobije minimum stojećih talasa, a to znači da je korigovana rezonanca u opsegu od 21 MHz. Konačno se sistem pobuđuje sa 28 MHz i C_2 se podesi tako da se na indikatoru opet pojavi minimum stojećih talasa. Taj minimum se još produbi pomoću C_3.

Zbog međusobnog uticaja svih podešavanja, ceo proces se mora ponavljati sve dotle dok se nađe optimalna podešenost u sva tri opsega. Pri tom se podešavanje ograničava na kondenzatore, pa se prvo pomoću C_1, odnosno C_2, izvrši naknadno podešavanje rezonance, a zatim se izvede korekcija prilagođenja pomoću C_4, odnosno C_3. Promena L_2, odnosno promena na odvojcima C ili D, potrebna je samo u izuzetnim slučajevima.

19.6.5.2. *Graundplejn-antena sa kolom za opsege od 80 m i 40 m*

Dobri rezultati koji su na bazi kola za više opsega, postignuti sa *graundplejn*-antenom za tri opsega, podstakli su amatera *VK2AZN* da razvije i verziju za dva opsega od 80 i 40 m. Ona je izvedena sa samo dva



Sl. 19.46. Skica konstrukcije graundplejn-antene za opsege od 80 m i 40 m

protivtega dužine 13,40 m, a ukupna dužina vertikalnog štapa je oko 9,15 m.

Na sl. 19.46 prikazana je skica konstrukcije. Postoji samo jedno paralelno rezonantno kolo $L_1 - C_1$. Zadatak produžne zavojnice L_2 je da induktivnim putem dovede vertikalni štap na električnu efektivnu dužinu od 13,40 m. L_2 se sastoji od 8 zavojaka bakarne žice debljine 2,0 do 3,0 mm, prečnik zavojnice iznosi 60 mm, a dužina 35 mm. Slobodan komad antene E – F dugačak je 8,23 m, a može se i skratiti po potrebi; tada se mora povećati L_2, a koeficijent korisnog dejstva se pogoršava. Produženje dela E – F poboljšava stepen korisnog dejstva, a L_2 se mora smanjiti.

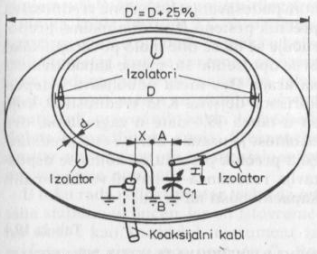
Zavojnica oscilatornog kola L_1 sastoji se od 18 zavojaka žicom prečnika 2,0 do 2,5 mm. Prečnik zavojnice je 60 mm, a dužina 65 mm. Pogodno je da se zavojnica namota na rebrasto keramičko telo. Da bi se omogućila promena induktivnosti prilikom podešavanja, dimenzije zavojnice L_1 su nešto veće nego što je potrebno (18 zavojaka). Kod antene koju je izgradio *VK2AZN*, za optimalno podešavanje bilo je potrebno da se kratko spoje 4 poslednja namotaja posle tačke B, tako da je u kolu bilo aktivno još samo oko 14 zavojaka. Kondenzator C_1 je opet trimer sa vazdušnim dielektrikom, čiji je krajnji kapacitet 100 pF i koji se postavlja prvo na 45 pF.

Prilikom podešavanja dip metar se spregne sa L_1, pa se pomoću C_1 podesi rezonanca u opsegu od 7 MHz. Drugo mesto rezonance u opsegu od 3,5 MHz koriguje se odgovarajućim kratkim spajanjem zavojaka zavojnice L_1. Kada su rezonance na približno pravim mestima, priključuje se sistem napajanja. Pri tom se spoljašnji provodnik napojnog voda spaja sa tačkom A; unutrašnji provodnik kabla je neposredno priključen na trimer C_2 čiji je krajnji kapacitet 150 pF, s tim što je u početku podešen na 85 pF. Drugi izvod C_2 se kao gama-vod vodi do tačke C, koja se nalazi 300 mm iznad tačke B.

Za konačno podešavanje rezonance i prilagođenja postavlja se reflektometar u neposrednu blizinu napojne tačke antene. Predajnik se prvo podesi na željenu frekvenciju u opsegu od 80 m, pa se zatim priključi na antenu. Da bi se odredila tendencija podešavanja, ubaci se feritni štap u zavojnicu L_1. Ukoliko se tada smanji deo reflektovanih talasa, mora se povećati l_1, tj. kratak spoj se pomeri u smeru tačke B. U obrnutom slučaju mora se kratko spojiti više namotaja. Kada se na ovaj način postigne minimum stojećih talasa, on se može još smanjiti odgovarajućim podešavanjem C_2. Isti proces podešavanja ponavlja se sa frekvencijom predajnika u opsegu od 40 m, pri čemu se rezonanca podešava pomoću C_1, a prilagođenje koriguje pomoću C_2. Ceo postupak podešavanja ponavlja se dok se za obe frekvencije ne postigne rezonanca i najbolje moguće prilagođenje. Ako se optimalni položaj C_2 razlikuje za 3,5 MHz i za 7 MHz, mora se usvojiti kompromis na taj način što se C_2 postavi između dva minimuma stojećih talasa i tako postigne upotrebljivo prilagođenje za oba opsega. I ovom antenom za dva opsega postignuti su dobri rezultati, pa se njena izgradnja isplati ako je prostor ograničen. Jasno je da se može upotrebiti i više protivtegova. Do sada još nije istraženo kako utiče povećanje ili smanjenje broja protivtegova na karakteristiku zračenja ovog oblika antene.

19.7. Antena DDRR

Po načinu izrade antena DDRR (po početnim slovima engleskog izraza: Directional Discontinuity Ring Radiator = usmerena antena u obliku prekinutog prstena) ne pripada grupi uobičajenih antena. To je novi oblik antene koji je razvio amater *W6UYM* [2], [3], [4], [5]. Kao što je prikazano na sl. 19.47 odgovarajuća horizontalna prstenasta antena postavljena je na odstojanju H od 0,007 λ iznad, takođe, horizontalne kružne ploče za uzemljenje (limena ploča). Prečnik prstena D iznosi 0,078 λ; to odgovara obimu prstena od 0,25 λ, pri čemu se javlja četvrttalasna rezonanca, kada se uzmu u obzir faktor skraćenja i kapacitivno opterećenje na kraju. Obrtni kondenzator C_1 omogućava fino podešavanje frekvencije antene.



Sl. 19.47. Skica antene DDRR

Za napajanje koaksijalnim kablom koristi se gama-prilagođenje (vidi odeljak 6.3). Spoljašnji provodnik kabla povezan je sa pločom za uzemljenje. Za priključenje unutrašnjeg provodnika pronađe se na prstenu tačka u kojoj impedanca odgovara karakterističnoj impedanci kabla. Odgovarajućim izborom ove priključne tačke na antenu se može prilagoditi bilo kakav koaksijalni kabl.

Iznenađuje činjenica da antena DDRR zrači vertikalno polarizovane talase uprkos tome što joj je konstrukcija horizontalna. Ona zrači kružno, pa u pogledu polarizacije i karakteristike zračenja odgovara četvrttalasnoj *graundplejn*-anteni, mada je prstenasta antena po visini mnogo manja od *graundplejn*-antene. Antena DDRR je značajna za radio-amatera koji nema dovoljno prostora za izgradnju antene i za mobilni rad u opsezima od 20 m, 15 m i 10 m, zbog izrazito male visine i zbog male površine koju zauzima: Iskustva u vezi sa korišćenjem ove prstenaste antene kao kratkotalasne amaterske antene pokazala su da su njene karakteristike dobre [6], [7].

Otpornost zračenja R_z antene DDRR je veoma mala, jer je i merenjem i proračunom dobijena vrednost od samo 0,3 Ω. Zbir otpornosti gubitaka R_g mora biti tako mali da se postigne još upotrebljiv stepen korisnog dejstva. Zbog toga prstenasti provodnik mora biti od bakra ili aluminijuma sa što je moguće većom površinom (skin-efekt), a noseći izolatori i obrtni kondenzatori moraju biti najboljeg kvaliteta sa što manjim gubicima. Budući da se kondenzator za podešavanje nalazi u maksimumu napona, potrebna je i velika probojna otpornost. Zbog toga bi najpovoljnije rešenje bilo da se upotrebe paralelne ploče (sa vazduhom kao dielektrikom), koje se mogu zakretati i koje amater može sam da konstruiše i da na taj način podešava kapacitivnost. Ne preporučuje se korišćenje velikih kapacitivnosti za podešavanje uz smanjivanje obima prstena, jer stepen korisnog dejstva antene znatno opada sa porastom kapacitivnog opterećenja na kraju.

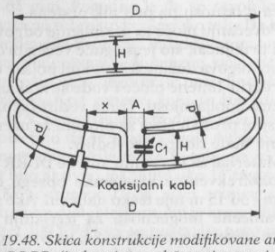
Osim toga, uslov za dobar stepen korisnog dejstva – kao i kod *graundplejn*-antene – jeste dobro VF uzemljenje, koje je kod prototipa antene DDRR izvedeno kao ravna okrugla metalna ploča dobre površinske provodljivosti. Njen prečnik D' treba da bude najmanje za 25% veći od prečnika prstenastog provodnika. Vertikalni elevacioni ugao zračenja je utoliko manji, ukoliko je ploča za uzemljenje veća u odnosu na prečnik prstena.

Povećanju ploče za uzemljenje odgovara i priključak što je moguće većeg broja protivtegova dužine 0,25 λ, koji polaze od periferije limene ploče i vode se zrakasto prema spoljašnjosti. Treba voditi računa da spoj protivtegova sa pločom za uzemljenje bude dobro provodljiv.

Materijal za izgradnju antene DDRR za visokofrekventne amaterske opsege od 10 m i od 15 m nije teško nabaviti. Ako su ograničene mogućnosti za izgradnju u ovim opsezima, mogla bi se, uz iste troškove, izgraditi *graundplejn*-antena čiji je stepen korisnog dejstva veći pri punoj visini od $\lambda/4$, i koja je – prema rezultatima merenja – »bolja« za oko 2,5 dB od prstenaste antene. Za mobilno korišćenje u ovim opsezima neosporne su mehaničke prednosti antene DDRR.

Radio-amateru koji radi na kratkim talasima naročito je težak izbog i izgradnja efikasnih antena za opsege od 80 m i 40 m. Nema uvek mesta da se razapne horizontalni dipol pune dužine. Čak i kada ima dovoljno prostora retko se nađu dovoljno visoke potporne tačke za antenu. *Graundplejn*-antena za 80 m zahteva relativno malo prostora, a njena prednost je i kružno zračenje. Ali, ko ima mogućnosti da postavi vertikalnu antenu visine skoro 20 m? Nasuprot tome, visina antene DDRR za 80 m iznosi samo H = 70 cm, ali je zato za uzemljenje potrebna metalna ploča prečnika oko 7 m, koja se samo u retkim slučajevima nalazi na licu mesta, npr., u vidu ravnog limenog krova. Međutim, pokazalo se, da se metalna ploča može zameniti drugim metalnim prstenom iste veličine, kao što je prikazano na sl. 19.48. Ovakvo rešenje DDRR antene interesantno je i za amatera koji radi na opsegu od 80 m.

Podaci o dimenzijama koji su dati u tabeli 19.4 odnose se na oba rešenja. Kod pojednostavljene varijante (sl. 19.48) prsten za uzemljenje je istih dimenzija kao prsten antene. Razmak H je minimalna vrednost; ako se on poveća, stepen korisnog dejstva antene malo poraste. Dimenzija X predstavlja samo orijentacionu vrednost. Optimalan položaj priključne tačke koaksijalnog kabla dobije se prilikom podešavanja. Navedene vrednosti za prečnik prstena D su minimalne; preporučuje se da se one malo povećaju, kako bi se upotrebile što manje kapacitivnosti na kraju. Ova mera poboljšava i stepen korisnog dejstva. Kod vrednosti D, koje su u tabeli 19.4 date u zagradama, ova okolnost je uzeta u obzir i one predstavljaju prečnik prstena, sa kojim se uspostavlja rezonanca pomoću veoma malih kapacitivnosti na kraju.



Sl. 19.48. Skica konstrukcije modifikovane antene DDRR (izolatori za održavanje rastojanja nisu ucrtani)

Tabela 19.4

PODACI O DIMENZIJAMA ZA ANTENE DDRR PREMA sl. 19.47 i sl. 19.48

Amaterski opseg	Dimenzije označenih veličina u mm					C_1 u pF
	D	H	A	d	X	
80 m	5500 (6200)	650	300	20	2000	100
40 m	2800 (3280)	350	150	14	1000	75
20 m	1400 (1660)	160	75	10	500	50
15 m	1015 (1180)	120	50	8,5	300	35
10 m	700 (810)	80	50	7	150	25

Prečnik provodnika d treba da bude što veći, jer gubici u provodniku znatno smanjuju stepen korisnog dejstva zbog ekstremno male otpornosti zračenja. Tanki provodnici smanjuju istovremeno širinu opsega antene DDRR, koja je inače već mala. Prečnici provodnika d navedeni u tabeli 19.4 odnose se na bakar, odnosno na čisti aluminijum i predstavljaju minimalne vrednosti. Otpornost gubitaka u provodniku, koja je posledica skin-efekta i koja zavisi od frekvencije, iznosi uvek oko 0,16 Ω. To znači da se može računati sa stepenom korisnog dejstva η od 0,6, ako je otpornost zračenja 0,3 Ω.

Ako je materijal provodnika teško saviti prstenasti provodnik se može izvesti od pojedinačnih pravih komada provodnika u vidu mnogougaonika.

Prilikom podešavanja antene DDRR treba prvo odvojiti napojni vod. Pomoću dip metra, koji se spregne na mestu savijanja uzemljenog kraka provodnika, izmeri se rezonantna frekvencija, koja se zatim koriguje pomoću C_1 sve dok se ne podesi željena frekvencija u amaterskom opsegu. Zatim se antena pobuđuje pomoću napojnog kabla sa prethodno utvrđenom rezonantnom frekvencijom. Pomeranjem priključne tačke unutrašnjeg provodnika kabla (dužina X), na prstenastom provodniku pronađe se tačka u kojoj reflektometar, koji je spregnut sa napojnim vodom, pokazuje najmanju talasnost. Na tom mestu se stabilno učvrsti unutrašnji provodnik kabla i obezbedi dobra provodljivost spoja. Frekvencije unutar amaterskog opsega menjaju se zatim još samo pomoću C_1

U toku rada reflektometar treba da ostane stabilno uključen, jer on istovremeno služi i kao kontrolni instrument za podešavanje rezonance pomoću C_1. Rezonanca postoji kada je na reflektometru najmanja talasnost.

Amater *DJ2RE* opisao je praktična iskustva sa antenom DDRR kao na sl. 19.48 [7]. Eksperimentalna antena izgrađena je za opseg od 10 m (prema tabeli 19.4); oba prstenasta provodnika napravljena su od bakarne cevi spoljašnjeg prečnika 7 mm. Za fino podešavanje antene postavljene su dve bakarne ploče (60 mm × 60 mm) na »vrući« kraj gornjeg i na susedni kraj donjeg prstena. One su se mogle zakretati jedna u odnosu na drugu (C_1). Obrtna usmerena antena sa tri elementa, postavljena 12 m iznad tla, bila je na raspolaganju kao referentna antena. Antena DDRR nalazila se na 9 m iznad tla. Njen donji prsten bio je uzemljen samo preko omotača kabla. U toku eksperimenata sa prijemom pomoću antene DDRR odmah je jasno uočena njena kružna karakteristika; prijemni signali su bili u proseku za 2 stepena merenja elektromagnetnog polja, niži nego kod obrtne usmerene antene čije je pojačanje iznosilo skoro 8 dB. U toku predaje sa ulaznom snagom ograničenom na 15 W, ostvareno je 125 veza telegrafijom i SSB-om i time su dostignuti svi kontinenti i sve oblasti sa pozivnim znakom W.

Na osnovu procene rezultata eksperimenta DJ2RE je konstatovao da se antena DDRR, s obzirom na male dimenzije može dobro koristiti i da se u frekventnom području u kome je vršeno ispitivanje ni u kom slučaju ne može smatrati pomoćnom antenom. Izgleda da je ona manje pogodna za veze na manjim udaljenostima – slično kao *graundplejn*-antena.

Postoji mogućnost rada na dva opsega, pri čemu se uvek koristi amaterski opseg niže frekvencije. Na primer, ako je antena DDRR optimalno dimenzionisana za opseg od 10 m, ona se može koristiti još i u opsegu od 15 m. Prilikom rada u opsegu od 15 m mora se računati sa smanjenjem koeficijenta korisnog dejstva. Da bi se pomoću C_1 mogla uspostaviti rezonanca i u opsegu nižih frekvencija, kapacitivnost ovog obrtnog kondenzatora mora biti 5 puta veća nego što je navedeno u tabeli 19.4. Samo se po sebi razume da obrtni kondenzator mora biti zaštićen od atmosferilija. Budući da se pri promeni frekvencije C_1 mora podešavati i kada se radi samo na jednom opsegu, preporučuje se daljinsko upravljanje C_1. Za to postoji više mogućnosti, npr., jednostavnim povlačenjem gajtana, elastičnim osovinama i sistemima sa obrtnim poljem.

Firma Northop International proizvodi veliki broj patentiranih antena DDRR za komercijalne svrhe. Do sada su ostvareni prečnici prstena do 1500 m (antene za najduže talase). Antena DDRR se, zbog oblika poneka naziva hulahop-antena ili jednostavno *prsten*-antena.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 19

Pogson, I.: Multi-band Vertical Aerials, Elektronics Australia, avgust 1972, strana 43 do 40

Boyer, J.M.: Hula Hoop-Antenna: A Comming Trend? electronics 36 (1963)2, strana 44 do 46

Hicks, C.E.: The DDRR-Antenna, A New Approach To Compact Antenna Design, »CQ« (1964) juni, strana 28 do 31

. . . : Eine Ringantenne geringer Vertikalausdehnung, Funk-Technik, Berlin 19 (1964) 3, str. 80

Fiebranz, A.: Eine neuartige Ringantenne und ihre Anwendungsmoeglichkeit, Funk-Technik, Berlin 19 (1964) 10, strana 357

Quednau, B.: Die DDRR-Antenne, Des DL–QTC (1968) 4, strana 220

Eichenauer, W.: Erfahrungen mir der DDRR Antenne, Das DL-QTC (1968)7, strana 395 do 397

Dome, R.B.: A Study of the DDRR Antenna, QST (1972) juli, strana 27 do 31 i 36, ARRL, West-Hartford, Conn.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

English, W.E.: A 40-Meter DDRR Antenna, QST(1971) decembar, strana 28 do 32, ARRL, West-Hartford, Conn.
Kneitel, T.: Antenna Roumdap, deo II, Cowan Publishing Corp., New York 36, N. Y. 1966
Rohrbacher, H.–A.: Die Vertikalantenne, Das DL–QTC (1964) sveska 4, 5, 6, W.Koerner-Verlag, Stuttgart 1964
Seidman, A.: Antenna Roundup,Vol.I, Cowan Publishing Corp. New York 36, N.Y. 1963

20. Izbor pogodne kratkotalasne antene

Početniku se preporučuje da izgradi jednu od dole navedenih antena, jer su to provereni i detaljno opisani oblici antena koje se mogu izgraditi za relativno kratko vreme a i odnos troškova i efikasnosti je dobar.

Antene koje zrače kružno sa malim elevacionim uglom i koje zahtevaju najmanje prostora za opsege od 10 m, 15 m, 20 m i 40 m: *graundplejn*–antene (kriterijum: odnosi tla, slobodna okolina antene). *Graundplejn*–antena je manje pogodna za prijemnu antenu, jer prima prvenstveno lokalne smetnje.

Antene za sve opsege sa manje izraženom usmerenošću i malim pojačanjem za DX opsege: *Vindomova* antena za sve opsege sa prstenastim balun–transformatorom i napajanjem koaksijalnim kablom; antena T2FD (kriterijum: završni otpornik).

Usmerene antene sa malim troškovima i velikim pojačanjem. Antene sa dva glavna smera zračenja za opsege od 10 m, 15 m, 20 m i 40 m: antena *lejzi ejč* (kriterijum: visina postavljanja).

Usmerene antene koje zahtevaju dosta prostora sa velikim pojačanjem u svim smerovima; kao antena za sve opsege može se upotrebiti: V–zvezda (kriterijum: raspoloživi prostor).

Obrtne usmerene antene sa velikim pojačanjem za opsege od 10 m, 15 m i 20 m: obrtna usmerena antena amatera *HB9CV*, *jagi*–antena sa tri elementa, *kjubikal–kvad* (švajcarski *kvad*, kavez–antena).

Obrtne usmerene antene za tri opsega: kavez–antene za tri opsega, *kvad*–antene za tri opsega sa jednim parom antenskih elemenata po amateru *VK2AOU*, *kvad* za tri opsega *CQ–PA*.

Teško je navesti DX antenu koja je posebno pogodna za opseg od 80 m, jer su za takvu antenu potrebne tolike dužine žice i takva visina postavljanja da amater koji radi na kratkim talasima, u većini slučajeva, nema dovoljno mesta. DX lovac u opsegu od 80 m radi pretežno sa horizontalnim dugačkim žičanim antenama; ako za to ima uslova koriste se V–antene. Za žičanu piramidu može se naći mesta u maloj bašti iza kuće, a da pri tom mnogo ne smeta. To je antena koja se može preporučiti za opseg od 80 m i čiji srednji stub može da se koristi i za nošenje drugih antena. Polutalasni dipol raspona od oko 40 m predstavlja, takođe, dobru antenu za amatera koji ne želi veliki trošak i koji ima uslova za njegovo postavljanje.

U većini slučajeva, ipak se daje prednost oblicima antena za sve opsege, kao što je antena amatera *W3DZZ*, koja »može proći« u opsegu od 80 m, a istovremeno je dobra za ostale opsege.

20.1. Najbolja antena za DX lovca

Anketa »DX asova« iz celog sveta o najefikasnijem antenskom sistemu, prema njihovom mišljenju, dala je sledeće rezultate, koji se neobično slažu (prema časopisu QST, januar 1964):

– najbolja DX antena je *antena kjubikal–kvad;*

– obrtna *jagi*–antena sa tri elementa za jedan opseg je najproširenija antena kod DX eksperata;

– maksimalni DX rezultati postižu se samo sa obrtnim antenama;

– kruti antenski sistemi, uključujući vertikalnu antenu, ocenjeni su kao relativno oskudni;

– visina postavljanja antene značajnija je od tipa antene;

– povoljan položaj (npr., veoma dobra provodljivost zemljišta, povoljni topografski uslovi) može u velikoj meri nadoknaditi nedostatke manje kvalitetnih antena.

Kvad–antena je, dakle, jednoglasno proglašena »kraljicom« DX antena. Ovo saznanje se podudara i sa praktičnim rezultatima, jer se stalno potvrđuje da je *kvad*–antena bolja od *jagi*–antene za održavanje veza na veoma velikim udaljenostima. Uzrok tome je činjenica da je *kvad*–antena sistem u više nivoa u vertikalnoj ravni. Zbog toga je njen vertikalni elevacioni ugao plići nego kod *jagi*–antene u jednoj ravni koja se po pojačanju može uporediti sa *kvad*–antenom. Kao što je već utvrđeno, pliće emitovanom talasu potrebno je manje skokova (refleksija od sloja F_2) za premošćavanje velikih udaljenosti nego strmije emitovanom talasu. Prema tome, pliće emitovani talas mora manje puta proći kroz oslabljujuće donje slojeve jonosfere, pa na udaljenom prijemnom mestu ima veći intenzitet od talasa koji se višestruko reflektuje i na taj način oslabi.

U anketi je istaknut presudan značaj visine i mesta postavljanja antene za dobru efikasnost u DX radu, što se, takođe, može objasniti potrebom da elevacioni ugao u vertikalnoj ravni bude što manji. Kao što proizlazi prema sl. 3.12, veliki deo zračenja horizontalno polarizovanih sistema visine od $\lambda/4$ i neparnog umnoška $\lambda/4$ (3/4 λ, 5/4 λ itd.), je usmeren strmo nagore, dok visine $\lambda/2$ i njeni umnošci (1 λ, 1,5 λ itd.) omogućavaju željeno plitko zračenje. Međutim, ovi podaci se odnose na idealne uslove zemljišta koje amateri obično nemaju. Prema provodljivosti zemljišta imaginarna zemlja nalazi se na manjoj ili većoj dubini ispod površine zemlje. Efektivna visina antene u odnosu na talasnu dužinu veća je od geometrijske visine iznad površine zemlje, u zavisnosti od provodljivosti tla. Kod loših uslova zemljišta imaginarna zemlja može da bude i više metara ispod površine tla. Slojevi zemljišta loše provodljivosti, koji se nalaze između imaginarne zemlje i površine, deluju kao dielektrik sa gubicima, koji veći ili manji deo zračenja pretvara u toplotne gubitke. Takve nepovoljne lokacije mogu se poboljšati samo pomoću velike mreže za uzemljenje na površini zemlje ili malo ispod nje, što je pravilo i kod radio-difuznih predajnika.

20.2. Značaj podataka o pojačanju

Pojačanje antene je teoretska vrednost koja se odnosi na referentnu antenu i pokazuje u kom odnosu raste intenzitet zračenja dotične antene u glavnom smeru njenog zračenja – u odnosu na intenzitet referentne antene. Podaci o pojačanju su uglavnom nepotpuni, jer često nije jasno određeno šta je referentna antena. Kao referentna antena obično služi polutalasni dipol, ali upotrebljava se i kratki dipol i tačkasti izvor zračenja (vidi podtačku 3.2.3.2). Podaci o pojačanju mogu se razlikovati za 2,15 dB zbog različitih referentnih antena. Na primer, kada inostrani proizvođač antene navodi da je pojačanje njegove *jagi*–antene sa tri elementa 9 dB, treba imati u vidu da je to pojačanje u odnosu na pojačanje tačkastog izvora. Ako se pojačanje izražava – kao što je uobičajeno – u odnosu na polutalasni dipol, za istu antenu dobije se vrednost od 6,85 dB. To pojačanje je vrlo blizu maksimalnog pojačanja koje se može postići sa *jagi*–antenom sa tri elementa.

Često se javlja greška u načinu merenja pojačanja antene – uzorka. To naročito važi za amaterska merenja u kratkotalasnom području; sredstva koja su potrebna za besprekorno određivanje pojačanja znatno su veća od mogućnosti radio–amatera. Budući da se ne mogu primeniti precizne metode, amaterski podaci o pojačanju oslanjaju se pretežno na upoređivanje koje se vrši u toku praktičnog rada. Greške koje se pri tom mogu javiti, veoma su velike.

Pri procenjivanju kratkotalasnih antena sa stanovišta amatera praktičara, podaci o pojačanju nemaju naročit značaj, bilo da su to precizni industrijski podaci ili da je reč o pojačanju koje amateri procenjuju manje ili više »po osećaju«. Industrijska merenja vrše se pod određenim uslovima okoline, koji su vrlo bliski idealnim, a koje amater nikada nema. Amaterska merenja važe samo pod određenim uslovima koji se ne mogu reprodukovati i za stanje jonosfere u toku merenja. Prilikom procene praktične upotrebljivosti kratkotalasne antene, navedena vrednost pojačanja ne treba da igra presudnu ulogu. Slično je stanje i sa koeficijentom stojećih talasa, koji se često navodi kao veličina za procenu vrednosti. On se u većini praktičnih slučajeva može zanemariti ili bar onda kada se koriste relativno kratki, kvalitetni napojni vodovi i kada faktor talasnosti iznosi $s \leqq 2$. Pod određenim uslovima talasnost od $s = 4$ ne prouzrokuje vidljive gubitke (detaljnije objašnjeno u tački 5.2.2).

21. Antene za ultrakratke talase

UKT antena je za radio-amatera, u užem smislu reči, antena za amaterski opseg od 2 m (144 do 146 MHz). Ovaj omiljeni amaterski opseg nalazi se po svojoj frekvenciji između područja UKT radiodifuzije i trećeg TV područja, pa se zbog toga u navedenim oblastima nalaze pretežno isti oblici antena, koji se međusobno razlikuju samo po fizičkim dimenzijama. Prema zakonu o modelima dozvoljeno je, npr., da se standardna TV antena prilagodi za korišćenje u opsegu od 2 m, pri čemu se menja samo njena rezonantna frekvencija, a zadržavaju sve ostale električne osobine. Tako se amater u opsegu od 2 m može neposredno poslužiti različitim industrijski razvijenim oblicima TV antena. Osim toga, prilikom izgradnje antene mogu se upotrebiti različiti montažni delovi, kao što su kablovske priključnice, držači elemenata, obujmice za cevi itd, čija je industrijska izrada robusna i sa zaštitom od atmosferilija.

Međutim, električne karakteristike koje treba da ima TV antena, razlikuju se od onih koje treba da ima amaterska antena za opseg od 2 m. TV antene se konstruišu tako da širina njihovog opsega bude što je moguće veća i da njihova otpornost u priključnoj tački iznosi 240 Ω. Kod oštrog usnopljavanja u horizontalnoj ravni (ravan *E*) karakteristika zračenja treba da bude bez bočnih lepeza, a povratno slabljenje što je moguće veće. Kod antene za opseg od 2 m, naprotiv, širina opsega ima podređenu ulogu, jer ceo opseg od 2 m zauzima samo 2 MHz, pa se može uvek obezbediti bez posebnih mera. Ni u pogledu otpornosti u priključnoj tački antene amater nije vezan za propisanu nominalnu vrednost od 240 Ω. Bočni snopovi u dijagramu zračenja i malo povratno slabljenje ne smetaju željene signale. Budući da karakteristika zračenja praktično izgrađenih antena nikada ne odgovara idealnoj teoretskoj slici, kod linearne polarizacije koja se razlikuje za 90° mora se računati sa slabljenjem »samo« od oko 20 dB [1]. To znači da prijemna antena može izvući samo deseti deo jačine polja, koje postoji na mestu prijema.

Linearna horizontalna polarizacija je najviše rasprostranjena. Mnoge amaterske UKT radio-stanice, UKT radio-difuzija (opseg II) i najveći deo TV predajnika u opsegu III i u opsegu IV/V zrače horizontalno polarizovano. Za većinu TV predajnika u opsegu I, skoro sve mobilne UKT radio-stanice (radio-veze u saobraćaju, telefoni u automobilima, policijske radio-veze itd.) i amaterske radio-stanice za lokalne veze u vozilima, kao i rad preko FM–releja, upotrebljavaju se vertikalno polarizovane antene.

Eliptična, odnosno cirkularna polarizacija, koristi se prvenstveno za radioveze sa satelitima i u radio-astronomiji. Prednost cirkularno polarizovane prijemne antene je u tome što ona, takođe, dobro prima i linearno polarizovane talase proizvoljnog položaja. Na primer, to je važno kod prijema signala sa satelita, čija se polarizacija stalno menja zbog sopstvene rotacije satelita. Zbog toga, kod prijema sa linearnom polarizacijom javljaju se intenzivni fedinzi, dok se sa cirkularnom polarizacijom dobije signal sasvim bez fedinga. Budući da je u UKT amaterskom opsegu vertikalna polarizacija propisana za FM radio-relejne veze koje se sve više šire i da je polarizacija veza na velikim udaljenostima u opsegu od 2 m još pretežno horizontalna, to za amatere u UKT području, postaje sve značajnija cirkularna polarizacija. U daljem tekstu su uglavnom opisane antene sa horizontalnom polarizacijom. To znači da su elementi postavljeni horizontalno. Ove antene mogu biti i sa vertikalnom polarizacijom, s tim što se elementi okrenu tako da zauzmu vertikalan položaj. Međutim, u tom slučaju dijagrami zračenja obično nisu više potpuno verni, jer smetaju metalni noseći stubovi koji su, takođe vertikalni. Zbog toga se vertikalno polarizovane UKT antene najčešće pričvršćuju na horizontalne nosače. Ako je antena postavljena na malu visinu, različita udaljenost dveju polovina dipola od tla nepovoljno utiče na *H*–dijagram karakteristike zračenja.

21.1. Polarizacija UKT antena

Polarizacija amaterske antene nema presudan značaj u kratkotalasnom području, jer se ona retko održi u prvobitnom stanju zbog nepravilnih refleksija od jonosfere. Situacija je drugačija kod ultrakratkih talasa. Oni se, u normalnom slučaju, ne reflektuju od jonosfere i prostiru se pravolinijski.

Veoma retko se dešava da se polarizacija obrne ako na putu prostiranja nema prepreka do teoretski mogućeg optičkog horizonta (vidi tačku 2.4.1). U toku prostiranja metarskih talasa u gusto izgrađenim ili brdovitim predelima javljaju se, ipak, jače ili slabije promene prvobitne polarizacije. Kod linearne polarizacije, na prijemnom mestu obično se ne javlja ni čisto vertikalna ni čisto horizontalna polarizacija, već neki kosi položaj linearne polarizacije, koji može biti pod bilo kojim uglom između horizontale i vertikale. Posmatrano sa ovog stanovišta, prednost bi imao, npr., rad sa »kosom« polarizacijom od 45° na lokacijama koje su nepovoljne za prostiranje, s tim što se antenski elementi ne bi postavili vertikalno ili horizontalno, već »koso« pod uglom od 45°.

Za održavanje veze u području metarskih talasa polarizacija treba da bude ista na anteni predajnika i na prijemnoj anteni. Teoretski posmatrano, horizontalno polarizovana prijemna antena ne može da primi vertikalno polarizovane predajne signale. Budući da karakteristika zračenja praktično izgrađenih antena nikada ne odgovara idealnoj teoretskoj slici, kod linearne polarizacije koja se razlikuje za 90° mora se računati sa slabljenjem »samo« od oko 20 dB [1]. To znači da prijemna antena može izvući samo deseti deo jačine polja, koje postoji na mestu prijema.

Linearna horizontalna polarizacija je najviše rasprostranjena. Mnoge amaterske UKT radio-stanice, UKT radio-difuzija (opseg II) i najveći deo TV predajnika u opsegu III i u opsegu IV/V zrače horizontalno polarizovano. Za većinu TV predajnika u opsegu I, skoro sve mobilne UKT radio-stanice (radio-veze u saobraćaju, telefoni u automobilima, policijske radio-veze itd.) i amaterske radio-stanice za lokalne veze u vozilima, kao i rad preko FM–releja, upotrebljavaju se vertikalno polarizovane antene.

Eliptična, odnosno cirkularna polarizacija, koristi se prvenstveno za radioveze sa satelitima i u radio-astronomiji. Prednost cirkularno polarizovane prijemne antene je u tome što ona, takođe, dobro prima i linearno polarizovane talase proizvoljnog položaja. Na primer, to je važno kod prijema signala sa satelita, čija se polarizacija stalno menja zbog sopstvene rotacije satelita. Zbog toga, kod prijema sa linearnom polarizacijom javljaju se intenzivni fedinzi, dok se sa cirkularnom polarizacijom dobije signal sasvim bez fedinga. Budući da je u UKT amaterskom opsegu vertikalna polarizacija propisana za FM radio-relejne veze koje se sve više šire i da je polarizacija veza na velikim udaljenostima u opsegu od 2 m još pretežno horizontalna, to za amatere u UKT području, postaje sve značajnija cirkularna polarizacija. U daljem tekstu su uglavnom opisane antene sa horizontalnom polarizacijom. To znači da su elementi postavljeni horizontalno. Ove antene mogu biti i sa vertikalnom polarizacijom, s tim što se elementi okrenu tako da zauzmu vertikalan položaj. Međutim, u tom slučaju dijagrami zračenja obično nisu više potpuno verni, jer smetaju metalni noseći stubovi koji su, takođe vertikalni. Zbog toga se vertikalno polarizovane UKT antene najčešće pričvršćuju na horizontalne nosače. Ako je antena postavljena na malu visinu, različita udaljenost dveju polovina dipola od tla nepovoljno utiče na *H*–dijagram karakteristike zračenja.

21.2. Napomene o izgradnji i korišćenju UKT antena

Preporučljivo je da se i UKT antena postavi na što veću visinu. Visina postavljanja antene uvek se izražava u vrednostima radne talasne dužine, pa se ova preporuka može lako ostvariti kod UKT antena. Antena za opseg od 2 m, čija je udaljenost od tla, npr., 10 m, ima već visinu postavljanja od 5 λ. Da bi kratkotalasna antena za opseg od 20 m imala istu visinu postavljanja od 5 λ, antena bi se morala montirati 100 m iznad tla!

Dobra UKT antena treba da bude za oko 2 do 3 λ iznad prepreka u najbližoj okolini (zgrade, dalekovodi itd.). Iz ekonomskih razloga nema mnogo smisla postavljati antene na previsoke stubove. Time se uglavnom neznatno povećava domet prizemnih talasa, a nimalo se ne utiče na prostiranje preko inverzionih slojeva. Visina postavljanja od 2 λ iznad tla, odnosno iznad krova kuće, omogućuje da karakteristika zračenja horizontalne antene u velikoj meri odgovara idealnim dijagramima.

Pod ovom pretpostavkom, podaci o UKT antenama koji se navode u literaturi sasvim odgovaraju stanju u praktičnom radu. U opsegu od 2 m, kao i u TV opsezima, najrasprostranjenije su antenske konstrukcije sa uzdužnim zračenjem u obliku *jagi*–antena u jednoj ravni. Njihove prednosti su, pre svega, jednostavna izrada i mali materijalni troškovi. Pored toga, javljaju se i grupne antene, koje se ponekad nazivaju i fazne antene. Njihova mehanička izrada nešto je teža, a potrebni su i veći materijalni troškovi. Sa druge strne, njihove fizičke dimenzije nisu veoma kritične, širina opsega im je velika, a po svojim karakteristikama zračenja, naročito odgovaraju interesima praktičnog rada amatera. Omiljene su i horizontalno polarizovane *jagi*–antene postavljene u više etaža. Pored mehanički pojednostavljene konstrukcije, postiže se dodatno pojačanje usnopljavanjem u ravni *H*. Zbog toga su karakteristike zračenja *jagi*–antena u više etaža slične karakteristikama grupnih antena. Čitav niz posebnih oblika UKT antena pruža amateru velike mogućnosti eksperimentisanja. Posebni oblici antena nemaju opšti značaj u amaterskom radu na opsegu od 2 m.

21.3. Izbor pogodne UKT antene

Prilikom izbora antene za opseg od 2 m početnik se treba pridržavati pravila »od jednostavnog prema komplikovanom«. Mogućnost izgradnje efikasnih UKT antena sa mnogo elemenata, uz relativno jednostavna sredstva, često zavede graditelja da izgradi antenske sisteme sa oštrim usnopljenjem i velikim pojačanjem, koji se u toku rada pokažu kao nepraktični i neekonomični.

Uslovi rada u opsegu od 2 m bitno se razlikuju od uslova u kratkotalasnom području. Dok na kratkim talasima, praktično, u svako doba postoji veliki broj stanica, u opsegu od 2 m može se samo u određeno doba dana naći jedan ili više korespondenata, pri čemu su pri povoljnom topografskom položaju dometi ograničeni na 100 do 200 km. Broj stanica se povećava samo u vreme povećanih dometa uslovljenih stanjem troposfere i u toku radio–takmičenja. Radio-veza u opsegu od 2 m može se uspostaviti sa najbližim korespondentima i pomoću veoma jednostavnih antena. U ovakvom slučaju, nisu pogodne antene sa jakim horizontalnim usnopljenjem, jer se antena uvek mora okrenuti u smeru korespondenta koji emituje, što nije potrebno kod antena sa velikim horizontalnim uglom zračenja. Prijatno iznenađenje za UKT amatera predstavlja uspostavljanje veze sa stanicama koje do tada još nisu »radile«.

Ako amater u potrazi za stanicama upotrebljava antenu velike snage sa malim horizontalnim uglom zračenja, mala je verovatnoća da će naći novu stanicu, jer smer njene lokacije u većini slučajeva nije poznat. Sistematsko pretraživanje zahtevalo bi možda »opšti poziv« iz 10 različitih položaja antene, u zavisnosti od horizontalnog ugla zračenja, pri čemu bi se posle svakog poziva morao tražiti odgovor u dotičnom delu opsega. Poznavaocu opsega od 2 m jasno je koliko truda i vremena zahteva takav proces. Ako i eventualni korespondent koristi antenu sa malim horizontalnim uglom zračenja, verovatnoća »sastanka« postaje još manja. Nove veze mogu se brže i sigurnije ostvaritit pomoću antena sa velikim horizontalnim uglom zračenja, jer se sa njima prebrisava veći sektor po kompasu. Željeno povećanje pojačanja postiže se postavljanjem jednostavnih sistema u vertikalne etaže, čime se smanjuje vertikalni ugao zračenja, a potpuno zadržava horizontalna širina zračenja pojedinačnog sistema.

Ovo je naročito važno kod omiljenih takmičenja kada često okretanje antene izaziva znatan gubitak vremena i povećava verovatnoću da se »preskoči« pozivna stanica. Rezultati takmičenja su jednoznačno pokazali da su izgledi za postizanje uspeha mali kod stanica sa horizontalnim, oštro usnopljenim antenama, ukoliko se one ne nalaze na posebno izloženoj lokaciji ili ukoliko nemaju redak pozivni znak.

Mali horizontalni ugao zračenja unosi više mana nego prednosti u uobičajen amaterski rad na opsegu od 2 m, ali on se javlja automatski, kada se pomoću *jagi*–sistema u jednoj ravni (prvenstveno dugačke *jagi*–antene) žele postići velika pojačanja antene. Iz ove konstatacije proizlazi i činjenica da je u praksi grupna antena bolja od *jagi*–antene istog pojačanja, jer pojačanje grupne antene nastaje, pretežno, smanjenjem vertikalnog ugla zračenja, pri relativno velikoj horizontalnoj širini zračenja, dok je pojačanje *jagi*–antena posledica malog horizontalnog ugla zračenja.

Na osnovu napred navedenog izlaganja mogu se dati sledeće preporuke za praktično korišćenje antena u opsegu od 2 m:

– za srednje zahteve najekonomičnije su uobičajene *jagi*–antene sa 3 do najviše 6 elemenata. Većim *jagi*–sistemima postižu se veća pojačanja antene, ali oni otežavaju rad zbog njihovog malog horizontalnog ugla zračenja;

– veće zahteve u pogledu pojačanja antene ispunjavaju jednostavni *jagi*–sistemi, koji se postavljaju vertikalno u više etaža i čiji relativno veliki horizontalni ugao zračenja omogućava rad bez zastoja;

– grupne antene se naročito preporučuju za lov na stanice, za takmičenja i za uspostavljanje veza na velikim dometima;

– *jagi*–antene velike efikasnosti (dugačke *jagi*–antene) najekonomičnije se koriste kod određenih specijalnih primena, npr. kod eksperimenata sa meteorskim raspršavanjem i kod veza na velikim udaljenostima.

U vezi sa napred navedenim treba podsetiti na to da uz snažan predajnik na opsegu od 2 m mora postojati i osetljiv prijemnik sa malo šuma i obrnuto. Ako postoji ova »ravnoteža snaga«, onda se sa stanicama koje se čuju može uspostaviti i veza predajnikom. Ako »ravnoteža snaga« ne postoji treba ispitati stepen korisnog dejstva izlaznog stepena predajnika, a naročito spregu energije sa napojnim vodom, jer prema iskustvu, greške treba najčešće tražiti na tim mestima (vidi podtačku 8.1.1.2).

21.4. Istina o UKT antenama

Amater *DM2CRD* je svoje petnaestogodišnje iskustvo sa antenama izložio u 15 važnih tačaka. One sadrže osnovna saznanja čije poštovanje prilikom planiranja, izgradnje i rada sa amaterskim antenama može uštedeti vreme, novac i razočarenja:

1 – uvek važe zakoni fizike! Čudotvorne antene nisu do danas pronađene, ali su izgrađene dobre antene;

Mada su antene još uvek najbolji VF pojačavači, one same ne predstavljaju vrednost amaterske radio–stanice. Signalizacioni uređaj amatera *DM2AKD* snage 10 mW sa jednostavnim dipolom, smešten kod Berlina, čuo se čak u Škotskoj;

2 – konstruktori amaterskih antena ulažu mnogo truda i žrtvuju slobodno vreme, ali povremeno »siluju« fiziku i žive u nadi da još postoje čuda;

3 – neumoljivi neprijatelji svih amaterskih antena su vetar, korozija, praznoverje i utopijsko priželjkivanje;

4 – pojačanje svake antene je manje nego što se veruje. Kada se tačno meri i procenjuju dijagrami i kada se oduzmu netačnosti merenja, uvek se dobije manje, nego što se želelo. Prilikom proveravanja karakteristika drugih antena, snaga je često manja nego što se navodi i iznose 2 dB u vezi sa izotropskom antenom;

5 – samo dijagrami ne lažu! Ipak, ne treba verovati samo horizontalnom dijagramu. Samo vertikalni dijagrami daju »pravu istinu« o anteni ili o grupi antena. Da bi se oni dobili ponekad se antena mora »raslojiti«, odnosno mora se snimiti više dijagrama pod određenim nagibima. Postoje antene, čiji vertikalni dijagram bez ikakvog razloga, u određenom smeru, ima izražen snop sa znatnim pojačanjem, koji se snimanjem u jednom nivou ne bi obuhvatio. Izobličenja dijagrama i nesimetrije uvek su povod za nepoverenje;

6 – uporedna merenja sa normalnim dipolima nisu pouzdana u amaterskim uslovima i daju razlike do 3 dB. Kada se superponiraju različiti efekti i udruže sa euforijskom željom da se izmeri željeno pojačanje, može se doći do još boljih rezultata. Tako nastaju »senzacionalni« pronalasci, npr., skeletna prorez antena, dugačke *jagi*–antene sa paocima od bicikla i pozlaćena antena. Mogu se izmeriti neverovatne gluposti;

7 – fizička zavisnost između ugla zračenja i pojačanja postoji samo kada su dijagrami približno idealni tj. kada su u obliku vodene kapi, sa dobrim povratnim slabljenjem i sa malo bočnih snopova. Kada na gornjoj graničnoj frekvenciji započne deoba *jagi*–dijagrama na više snopova, tada je, pre nego što do toga dođe, zaobljeni deo glavnog snopa prvo širok, a kasnije se iz njega razviju bočni snopovi. Uprkos smanjenju pojačanja, ugao zračenja se, pri tom, može čak i smanjiti. To su sve sitnice koje se saznaju prilikom procenjivanja dijagrama.

8 – u praksi se često izgubi iz vida da jednostavne antene daju bolje rezultate nego antene predimenzionisane konstrukcije. Uvek treba posmatrati uslove okoline. Profesionalcima su potrebni me-

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

seci za projektovanje antene i za merenja na njenoj lokaciji. Čak i na srednjim talasima, na udaljenostima od samo nekoliko metara, mogu se utvrditi anomalije jačine polja veće od 10 dB;

9 – Pri konstrukciji antena važno je da ona bude što trajnija. Tu se greši više nego što se veruje. Upotrebljavaju se pogrešni materijali ili se pogrešno kombinuju; mesingana cev postane krhka i napukne uzdužno, elementi počnu da se drmaju i prelome se ili se obesi (savije) poprečna noseća cev, voda ulazi u elemente za simetriranje ili u kabl i još mnogo toga. Posle svake jesenje oluje stanje se pogorša, pa se izgube mnogi decibeli pojačanja;

10 – postoje oblici antena sa izvanrednim karakteristikama koje se izgube kada amater pokuša da na bilo kom mestu »čačka«. Dobar primer je *bekfajer*–princip. Ovaj tip antene nije se mnogo koristio sve do pojave kratke *bekfajer*–antene, i to verovatno zbog nezgrapnog reflektorskog zida. Takve osobine poseduju i druge antene iz priručne literature;

11 – mnoge UKT antene mogu se napajati i nesimetrično, što čudi čak i stručnjake. Iako je to nasilno i neodgovarajuće napajanje, ipak se u praksi može dosta uspešno koristiti. Međutim, napajanje grupnih antena treba rešavati sa naročitom pažnjom;

12 – ako nemamo odgovarajućeg instrumenta za merenje prilagođenja napojnog voda, ovaj vod se uvek može produžiti sa četvrttalasnim komadom kabla, pa još jedanput izmeriti radi isključivanja efekata transformacije. U praktičnom radu, skraćivanjem voda može se poboljšati prilagođenje. Kod koeficijenta stojećih talasa ne treba cepidlačiti;

13 – amater nikada ne treba da površno prelistava knjigu ili ozbiljan stručni članak o antenama. Sve treba čitati savesno i sa razumevanjem. Maksimalna efikasnost ne zavisi samo od cene, nego i od shvatanja i primene osnovnih prirodnih zakona, kao i stručne procene praktičnih odnosa. Dugačka *jagi*–antena u rudniku jeste mrtva gomila cevi.

14 – ako dobro poznaje problematiku antena, ozbiljan amater uvek može da razvija sopstvene oblike i da izgrađene antene proverava sa minimalnim mernim sredstvima. On treba da zna svoje mogućnosti i nikada ne sme zapostaviti kritiku sopstvenog rada. Obavezno je da se antena koju je razvio sam amater proveri merenjem, i to prvenstveno merenjem dijagrama. Zbog višestrukih refleksija, najteže je snimati dijagrame antena sa kružnim zračenjem. Neophodno je posedovati: signal–generator, prijemnik, promenljivi oslabljivač, merač stojećih talasa i dovoljno veliku baštu. Merne linije od 20 do 30 m dovoljne su za jednostavna istraživanja;

15 – ne treba izgubiti hrabrost. Konačno, radio-amaterstvo treba da predstavlja i zabavu.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 21

Bittan, T.: Zirkular–Polarisation im 2–Meter–Band, »UKW–Berichte«, Erlangen, 13(1973), sveska 3, strana 148 do 153

Hock, A.: Zirkularpolarisation, »UKW–Berichte«, Erlangen, 12(1972), sveska 3, strana 186 do 191

Oberrender, O.: 15 Jahre Antennenerfahrung, zusammengestellt in 15 Punkten; nach persoenlichen Aufzeichnungen von DM2CRD

22. Antene sa uzdužnim zračenjem za opseg od 2 m

Antenski sistemi koji su izgrađeni od polutalasnih dipola, a čije je zračenje usmereno duž najdužeg dela sistema, nazivaju se antene sa uzdužnim zračenjem. Antenama sa poprečnim zračenjem nazivaju se oni tipovi antena koji zrače pretežno poprečno na njihovu širu stranu. Tipični predstavnici antena sa uzdužnim zračenjem su poznate *jagi*–antene, a svi nizovi ili etaže dipola i od njih formirane grupe antena ubrajaju se u antene sa poprečnim zračenjem.

22.1. Usmerene antene sa dva elementa

Antene sa dva elementa, izgrađene od polutalasnih dipola koji se nalaze u istoj horizontalnoj ravni, mogu se smatrati graničnim slučajevima između antena sa uzdužnim zračenjem i antena sa poprečnim zračenjem. Budući da njihovo prirodno proširenje dovodi do *jagi*–antena, one će se razmatrati u okviru antena sa uzdužnim zračenjem. Antene sa dva elementa za UKT područje sastavljene su od napajanog polutalasnog dipola sa jednim pasivnim reflektorom. Pojačanje u odnosu na polutalasni dipol koje se može postići ovakvom konstrukcijom antene jeste pojačanje vrednosti 4 dB (vidi sl. 16.1).

22.1.1. Antene sa aktivnim elementom i reflektorom

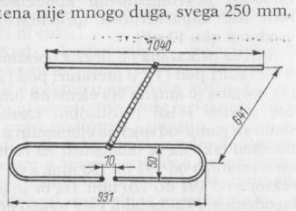
Na sl. 22.1 prikazana je skica potpuno metalne antene sa dva elementa. Napajani element je savijeni dipol, a razmak reflektora je oko 0,3 λ, pa otpornost u tački napajanja iznosi približno 240 Ω. Zbog toga se antena može napajati direktno komercijalnim UKT trakastim vodom. Sve antene čija je otpornost 240 Ω simetrično, mogu se napajati koaksijalnim kablom od 60 Ω ako se u tačku napajanja antene (vidi odeljak 7.5) priključi polutalasna petlja (balun). Mada je petlja sastavni deo koji zavisi od frekvencije, ne treba se bojati da će u opsegu od 2 m doći do suženja opsega.

Uz dimenzije prema sl. 22.1, prečnik elementa za opseg od 2 m može biti između 5 i 10 mm; on nije kritičan. Iz karakteristike zračenja vidi se da je horizontalni ugao zračenja (ravan *E*) oko 75°, dok je vertikalni ugao zračenja (ravan *H*) oko 140°. Može se računati sa pojačanjem od skoro 4 dB i sa prosečnim povratnim slabljenjem od 7 dB.

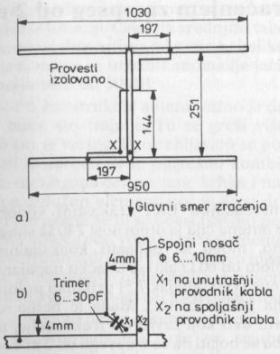
Nosač elemenata je od metala. Na njega se mogu pričvrstiti oba elementa u njihovoj geometrijskoj sredini (cela konstrukcija od metala).

22.1.2. Antena za opseg od 2 m po amateru *HB9CV*

Antena po amateru *HB9CV* radi, takođe, samo sa dva elementa. Ona poseduje aktivni reflektor na razmaku od 1/8 λ. Antena nije mnogo duga, svega 250 mm,



Sl. 22.1. Skica antene sa dva elementa za opsege od 2 m



Sl. 22.2. Antena za 2 m po amateru HB9CV: a – šema konstrukcije, b – detalj tačke napajanja

pa je ona naročito pogodna za prenošenje i prevoženje. Teorija ove antene opširno je objašnjena u tački 14.2.2.

Na sl. 22.2 prikazana je skica antene po amateru *HB9CV* za rad u opsegu od 2 m. Antena sa navedenim dimenzijama može se napajati direktno koaksijalnim kablom od 60 Ω. Njegov unutrašnji provodnik priključi se u tački X_1, dok se spoljašnji provodnik spaja sa metalnim nosačem antene (sl. 22.2b). Trimer koji je vezan na red sa unutrašnjim provodnikom kabla (6 do 30 pF) omogućava kompenzaciju induktivne reaktance unesene gama–prilagođenjem. Trimer se samo jedanput podesi na najmanju talasnost u kablu (reflektometar). On se zatim može zameniti nepromenljivim kondenzatorom iste kapacitivnosti (orijentaciona vrednost oko 12 pF).

Antena prikazana na sl. 22.2 opisana je u literaturi pod [1]. U literaturi pod [2] i [3] opisana je antena čiji elementi imaju iste dužine i isti međusobni razmak, samo su gama–odvojci na elementima izmenjeni tako da se udaljenost na reflektoru smanjila od 197 na 130 mm, a na direktoru od 197 do 120 mm. Da bi se prilagođenje na koaksijalni kabl moglo podesiti sa ovim dimenzijama, trimer se nije mogao vezati na red sa unutrašnjim provodnikom kabla, kao što je prikazano na sl. 22.2b, već je trimer postavljen paralelno prema napojnoj tački. U ovom slučaju morale su se međusobno povezati tačke X_1 i X_2 (sl. 22.2b); unutrašnji provodnik kabla spojen je sa uglom prilagodnog voda, a spoljašnji provodnik kabla sa tačkom X_2. Na taj način se odustalo od uobičajenog gama–prilagođenja prema odeljku 6.3, pa je stvoreno nepotpuno omega–prilagođenje (vidi odeljak 6.4). Budući da nedostaje serijski trimer, ne kompenzuje se induktivna reaktanca koja je unesena gama–prilagođenjem. Zbog toga je preporučljivo da se kod ovog izmenjenog dimenzionisanja predvidi još jedan dodatni serijski kondenzator kao na sl. 6.5.

Oba gama–člana i njihov spojni provodnik izrađeni su od jednog komada žice od 2 mm koja može biti i izolovana. Treba voditi računa da razmak između faznog voda i elemenata, odnosno metalnog nosača, bude ravnomeran i da mu je vrednost 4 do 5 mm. Prečnik elemenata iznosi 6 mm ± 20%.

Dijagram zračenja u ravni *H* ima oblik kardioide (srcolika kriva) sa uglom zračenja od oko 75°. Zbog toga je povratno slabljenje relativno dobro. U ravni *E*, horizontalni ugao zračenja iznosi oko 110°. Na 90° i 270° veoma su izražena oba bočna minimuma zračenja. Uprkos niskoj ceni ove antene, oni omogućavaju dobro usmeravanje na minimum prilikom »lova na lisicu«. Može se očekivati pojačanje od oko 5 dB. Praktična upoređivanja u mobilnom radu pokazala su da je antena amatera *HB9CV* vredna najmanje koliko i *jagi*–antena sa tri elementa, s tim što zauzima manje prostora i zahteva manje materijala.

22.2. Kratke *jagi*–antene

U poglavlju 16 već je bilo govora o *jagi*–antenama kao o obrtnim usmerenim antenama za kratke talase. Sve što je rečeno, uključujući date preporuke u pogledu izgradnje i materijala koji treba upotrebiti, važi i za *jagi*–antene za UKT područje. Pojačanje *jagi*–antene zavisi od dimenzionisanja parametara elemenata – dužine, prečnika i razmaka. Isti parametri određuju i sve druge karakteristične osobine, kao što su otpornost u tački napajanja, širina opsega i karakteristika zračenja. Već sa tri elementa postoji veliki broj mogućnosti variranja razmaka i dužina elemenata, pri čemu svaka nova varijanta menja karakteristične vrednosti antene. Sa povećanjem broja elemenata povećava se broj varijanti, pa se one ne mogu ni sagledati. Do danas nikom nije uspelo da tačno proračuna dimenzionisanje većih *jagi*–antena. Međutim, obimna eksperimentalna ispitivanja pokazala su da neka ranija mišljenja o *jagi*–antenama nisu bila tačna. Na primer, ako se za aktivni element upotrebi normalni polutalasni dipol, mogu se izgraditi i obimni *jagi*–sistemi koji imaju ne samo veliko povećanje već i relativno veliku širinu opsega, s tim što im je otpornost u priključnoj tački blizu 60 Ω.

Postoji nekoliko opštevažećih pravila koja jasnije određuju dimenzionisanje dužina i međusobnih razmaka elemenata i iz kojih se, približno, može sagledati u kom smeru se menjaju podaci o anteni, u zavisnosti od izbora dužina i međusobnih razmaka elemenata.

Približno, može se reći da reflektor treba da bude oko 5% duži od napajanog elementa. Međutim, dužina reflektora zavisi od razmaka između reflektora i napajanog elementa, pri čemu se mora uzeti u obzir i stepen vitkosti elementa. Uopšte, ako se pri malom razmaku reflektora želi postići optimalno pojačanje, dužina reflektora mora biti veća nego kad bi reflektor bio postavljen dalje od aktivnog elementa. U pogledu pojačanja pogodni su razmaci reflektora od 0,12 λ do 0,15 λ. Budući da se u tom slučaju otpornost u priključnoj tački napajanog elementa znatno smanjuje i da zbog toga i širina opsega istovremeno postaje manje, povoljnije je da se odaberu veći razmaci reflektora (0,20 do 0,30 λ). Razmak reflektora od 0,25 λ skoro i ne utiče na otpornost u priključnoj tački. Korišćenjem više podešenih reflektora ne postiže se primetno povećanje pojačanja.

Više direktora na pogodnim međusobnim razmacima povećava usmereno zračenje, a time i pojačanje. Ako postoji samo jedan direktor (*jagi*–antena sa tri elementa) i ako razmak reflektora iznosi 0,25 λ, maksimalno pojačanje dobija se kada su razmaci direktora između 0,15 λ i 0,25 λ, pod pretpostavkom da se dužina direktora optimalno podesi. Ona se nalazi približno između 0,43 λ i 0,46 λ. I u ovom slučaju važi: manjem razmaku direktora (0,15 λ) pripada veća dužina direktora (oko 0,46 λ) i obratno. Ako se koristi više direktora, njihova dužina određuje se tako da direktor koji je najbliži napajanom elementu bude najduži, a da se sledeći direktori kontinualno skraćuju. Nasuprot tome, postoje i *jagi*–antene čiji su svi direktori iste dužine. Osim toga, sve promene dužina i razmaka pasivnih elemenata deluju i na rezonantnu dužinu aktivnog elementa.

Uobičajeno je da se *jagi*–antene grade u celini od metala. To znači da se na metalni nosač antene direktno učvršćuju svi antenski elementi. Ovi elementi se učvršćuju u njihovoj geometrijskoj sredini (minimum napona), a između njih i nosača nema nikakve izolacije. Ovaj način izgradnje ima nekoliko mehaničkih prednosti, jednostavnije ga je zaštititi od groma, a u električnom pogledu nije štetan.

Prečnik nosača antene utiče malo na rezonantne dužine elemenata, pa će u sledećim opisima biti usvojeno da on iznosi između 15 i 30 mm ukoliko nije navedeno drugačije. Uopšte, kod debelih nosača antene elementi se moraju malo produžiti, dok se kod tanjih nosača moraju skratiti. Materijal i profil nosača elemenata manje su značajni i njihov izbor se vrši prvenstveno sa mehaničkog stanovišta. Kao privremeno rešenje mogu se upotrebiti i impregnirani drveni nosači, a pogodni su i profilisani plastični nosači ili cevi.

Kod horizontalno polarizovanih *jagi*–antena nosač elemenata se pričvršćuje direktno u njegovom težištu na vertikalni noseći stub. Duže *jagi*–konstrukcije treba podupreti i odozdo, kao što se radi kod industrijski izrađenih antena. Nasuprot tome, vertikalno polarizovane jagi–antene montiraju se na konzolu odvojeno od vertikalnog nosećeg stuba.

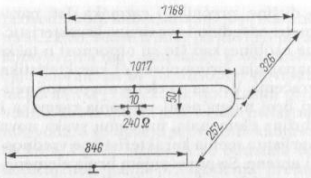
Elementi se izrađuju od metalnih cevi ili od punog materijala; ne mora se koris-

titi uobičajeni okrugli profil. Budući da se visoke frekvencije prostiru samo na površini provodnika (skin–efekt), sa električnog stanovišta potpuno je svejedno da li se koristi cev ili puni materijal. Čist aluminijum je najbolji materijal za provodnike, jer je lagan i dobro provodljiv. Osim toga, on se pod uticajem atmosferilija pokriva tankim izolacionim slojem oksida, koji pouzdano štiti element od dalje korozije, a ne pogoršava provodljivost površine. U industriji ovaj »oksidni oklop» često se pravi veštački, eloksiranjem ili drugim postupcima.

Legure lakih metala delimično su sklone rascvetavanju, pa im je zbog toga potrebna površinska zaštita. Bakarne cevi moraju se zaštititi od atmosferilija slojem laka ili posrebravanjem, jer se u protivnom stvara oksidni sloj sa osobinama poluprovodnika. On smanjuje površinsku provodljivost VF struja. Uslovno, pogodni su mesing i čelik zaštićeni slojem trajnog laka.

Mesing pod uticajem mraza postaje veoma krt, pa se tada elementi lako lome. Pogoršanje karakteristika antene usled manje provodljivosti metala može se dokazati merenjem, ali se praktično ne ispoljava.

U sledećim poglavljima navode se podaci o dimenzijama i približne karakteristike za niz praktično proverenih *jagi*–antena, dimenzionisanih za rezonantnu frekvenciju od 145 MHz (sredinu amaterskog opsega od 2 m). Tačke minimuma napona na kojima se elementi mogu uzemljiti označene su u skicama konstrukcije. Svi podaci dati su u mm.



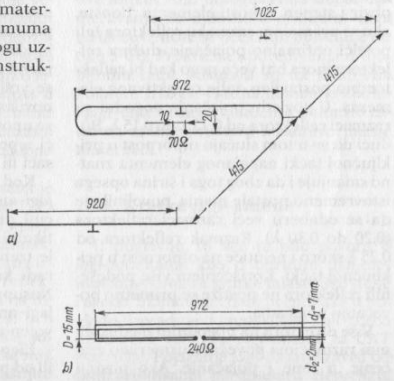
Sl. 22.3. Skica jagi-antene sa tri elementa i velikom širinom frekventnog opsega

22.2.1. Jagi–antene sa tri elementa

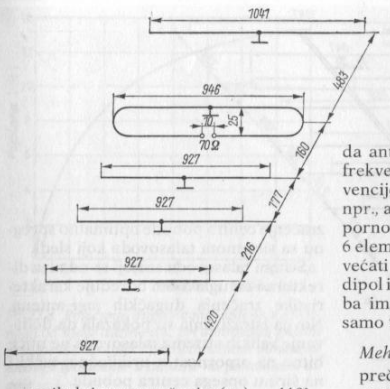
Jagi–antena sa tri elementa čija je skica prikazana na sl. 22.3 ističe se velikom širinom frekventnog opsega.

Njena otpornost u priključnoj tački iznosi približno 240 Ω, pa se može direktno napajati komercijalnim UKT trakastim vodom. Koaksijalni kabl može se priključiti preko polutalasne petlje od koaksijalnog kabla ili preko industrijski proizvedenog transformatora za simetriranje.

Mehanički i električni podaci:
prečnik elementa: 5 do 10 mm,
otpornost u priključnoj tački: 240 Ω,
dužina antene: 580 mm,
pojačanje oko: 5 dB,
povratno slabljenje: oko 14 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 70°$,



Sl. 22.4. Jagi-antena sa tri elementa sa malom širinom opsega i velikim pojačanjem: a – skica konstrukcije, otpornost u priključnoj tački 70 Ω; b – aktivni element za otpornost u priključnoj tački od 240 Ω



Sl. 22.5. Jagi-antena sa šest elemenata

vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 110°$.
(Odnosi se na horizontalnu polarizaciju).

Na sl. 22.4 prikazana je *jagi*–antena sa tri elementa koja je dimenzionisana za optimalno pojačanje sa uskim opsegom. Kada se koristi jednostavni savijeni dipol, otpornost u priključnoj tački iznosi oko 70 Ω i simetrična je. Koaksijalni kabl se može priključiti preko elementa za simetriranje (vidi poglavlje 7. Ako se odaberu različiti prečnici provodnika koji sačinjavaju savijeni dipol (sl. 22.4b) otpornost u priključnoj tački sistema može se podići na 240 Ω simetrično.

Mehanički i električni podaci:
prečnik elementa: 5 do 8 mm,
otpornost u priključnoj tački: 70 Ω, odnosno 240 Ω,
dužina antene: 830 mm,
pojačanje oko: 6 dB,
povratno slabljenje: oko 15 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 65°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 95°$.
(Odnosi se na horizontalnu polarizaciju).

22.2.2. Jagi–antena sa 6 elemenata

Jagi–antena sa 6 elemenata (sl. 22.5) jeste antena za uzak opseg i veliko pojačanje. Uzak opseg, u ovom slučaju, znači da antena ima opseg koji obuhvata sve frekvencije u opsegu od 2 m, ali ne i frekvencije izvan njega, kao što je to mogla, npr., antena sa tri elementa (sl. 22.3). Otpornost u priključnoj tački *jagi*–antene sa 6 elemenata iznosi 70 Ω. Ona se može povećati na 240 Ω ako se napajani savijeni dipol izvede prema sl. 22.4b, pri čemu treba imati u vidu da je dužina elementa samo 946 mm.

Mehanički i električni podaci:
prečnik elementa: 6 do 8 mm,
otpornost u priključnoj tački: 70 Ω, odnosno 240 Ω,
dužina antene: oko 1500 mm,
pojačanje: oko 8,5 dB,
povratno slabljenje: oko 17 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 55°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 70°$.
(Odnosi se na horizontalnu polarizaciju).

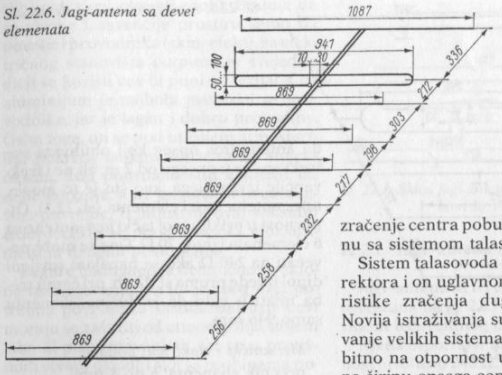
22.2.3. Jagi–antena sa devet elemenata

Dužina *jagi*–antene sa devet elemenata iznosi 1 λ, a pojačanje oko 10 dB (sl. 22.6). To je antena sa uskim opsegom dimenzionisana da se konstantnim pojačanjem pokriva područje od 144 MHz do 146 MHz. Relativno malo povratno slabljenje nije mana za radio-amaterski rad; ono je često čak poželjno.

Nominalna vrednost otpornosti u priključnoj tački iznosi 240 Ω, pa se koaksijalni kabl od 60 Ω može priključiti pomoću polutalasne petlje (vidi odeljak 7.5). Ako se napajani savijeni dipol zameni sa jednako dugim pruženim dipolom, otpornost u priključnoj tački iznosi 60 Ω simetrično.

Mehanički i električni podaci:
prečnik elementa: 8 do 18 mm,
otpornost u priključnoj tački: 240 Ω, odnosno 60Ω,

Sl. 22.6. Jagi-antena sa devet elemenata



dužina antene: 2012 mm,
pojačanje: oko 10 dB,
povratno slabljenje: oko 15 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 48°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 58°$.
(Odnosi se na horizontalnu polarizaciju).

22.3. Dugačke *jagi*–antene

Pri proučavanju dugačkih *jagi*–antena njihova struktura se deli na tri zone dejstva (sl. 22.7), pa se govori o centru pobude, prelaznoj zoni i sistemu talasovoda.

U centru pobude ili zračenja uvek se nalazi napajani dipol kome se dodaju reflektori i, eventualno, elementi koji proširuju opseg centara zračenja (tzv. elementi za kompenzaciju). Konstrukcija centra pobude bitno utiče na širinu opsega i na otpornost u priključnoj tački dugačke *jagi*–antene. Prelazna zona koja se nastavlja na centar zračenja sastoji se od jednog ili više direktora. Njihov zadatak je da zračenje centra pobude optimalno spregnu sa sistemom talasovoda koji sledi.

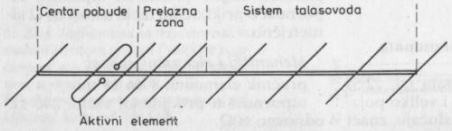
Sistem talasovoda sastoji se od niza direktora i on uglavnom određuje karakteristike zračenja dugačkih *jagi*–antena. Novija istraživanja su pokazala da dodavanje velikih sistema talasovoda ne utiče bitno na otpornost u priključnoj tački i na širinu opsega centra pobude.

Razmak direktora u sistemu talasovoda može iznositi do 0,35 λ.

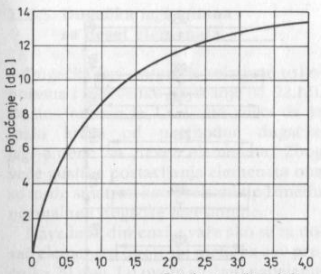
Ako se razmak između direktora još poveća, na razmaku od 0,4 λ pojačanje naglo opada. Kod većih razmaka direktora treba uzeti u obzir da tada prvi direktor u prelaznoj zoni sme da bude udaljen od napajanog elementa samo oko 0,1 λ. Tada je dovoljno čvrsta sprega između centra pobude i sistema talasovoda. U prelaznoj zoni kritični su razmak i dužina prvog direktora.

Pojačanje dugačkog *jagi*–sistema zavisi prvenstveno od dužine sistema u odnosu na radnu talasnu dužinu. Na sl. 22.8 dat je dijagram pojačanja u zavisnosti od dužine antenskog sistema za optimalnu popunu elemenata po celoj dužini. Iz njega se vidi da nema svrhe graditi antenu dužu od oko 2,5 λ, jer kod dužih antena pojačanje sporo raste, a nije u srazmeri sa materijalnim troškovima.

Za dugačke *jagi*–antene karakteristična je velika dužina sa velikim razmacima direktora. Postavljanje relativno malog



Sl. 22.7. Podela dugačkog jagi-sistema na zone dejstva



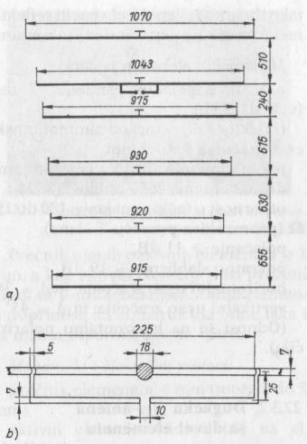
Sl. 22.8. Pojačanje dugačke jagi-antene u zavisnosti od njene dužine u λ, pri optimalnoj gustini popune elementima i pri optimalnom dimenzionisanju (pojačanje u odnosu na polutalasni dipol)

broja direktora duž sistema talasovoda omogućava laganu i jednostavnu konstrukciju, ali se ipak postiže isto pojačanje antenskog sistema kao kod normalne gustine elemenata. Naročito je kritično podešavanje optimalne sprege u prelaznoj zoni. Zbog toga se prilikom izgradnje ove antene mora tačno pridržavati navedenih dimenzija i razmaka.

22.3.1. Dugačka *jagi*–antena sa šest elemenata i optimalnim pojačanjem

Ova konstrukcija je dalji razvojni oblik dugačke jagi–antene sa pet elemenata i optimalnim pojačanjem, koji su u literaturi pod [4] opisali amateri *DM2BUO* i *DM2BWO*. Dodavanjem jednog reflektora pojačanje se povećava za više od 1 dB i poboljšano je povratno slabljenje. Na sl. 22.9 date su nove dimenzije do kojih su došli *DM2BUO* i *DM2CRD*.

Radi pojednostavljenja prilagođenja napojnog kabla u slučaju kada se antena gradi u više etaža, odabrano je da otpornost u tački napajanja iznosi od 130 do 150 Ω. Promenom T–člana ona se može svesti na druge vrednosti. Međutim, to se ne preporučuje ukoliko se ne raspolaže sa potrebnim mernim uređajima.



Sl. 22.9. Dugačka jagi-antena sa šest elemenata: a – skica konstrukcije, b – detalj napajanog elementa

Kada je cela konstrukcija izrađena od metala, svi elementi koji su provučeni kroz nosač antenskih elemenata, moraju biti u dobrom kontaktu sa ovim metalnim nosačem. Ako se reflektor i direktor izoluju od nosača antenskih elemenata moraju se produžiti za 4 do 5 mm. Kada se izvrši dimenzionisanje prema sl. 22.9, dobije se rezonantna frekvencija na 144,5 MHz, a koeficijent stojećih talasa iznosi $s = 1{,}16$. Kao kod svih dugačkih *jagi*–antena, koeficijent stojećih talasa raste prilično strmo prema višim frekvencijama, dok je porast sasvim blag u smeru nižih frekvencija. Date dimenzije su tačne ako će se rad odvijati pretežno u telegrafskom i SSB delu opsega od 2 m. Za rad u celom opsegu sa podnošljivim koeficijentom stojećih talasa ($s \leq 2$), rezonanca antene mora se pomeriti na oko 145,4 MHz. To se postiže ponovnim računanjem svih dužina elemenata i razmaka, s tim što se formiraju odgovarajući faktori za preračunavanje. Za male promene frekvencije dovoljno je da se aktivni element skrati

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

tako da se na željenoj frekvenciji reflektometar vraća na oštro izaženi minimum.

Mehanički i električni podaci:

prečnik napajanog elementa: 7 mm (vidi sl. 22.9b),

reflektor i direktori od aluminijumske cevi prečnika 7 do 9 mm,

prečnik metalne noseće cevi: 18 mm,

dužina antene: 2650 mm (= 1,28 λ),

otpornost u tački napajanja: 130 do 150 Ω (promenljiva pomoću T člana),

pojačanje ⩾ 11 dB,

povratno slabljenje ≈ 19 dB,

horizontalni ugao zračenja: (α_E) ≈ 38°,

vertikalni ugao zračenja: (α_H) ≈ 45°.

(Odnosi se na horizontalnu polarizaciju).

22.3.2. **Dugačka *jagi*–antena sa devet elemenata**

Amater *DL6WU* razvio je dugačku *jagi*–antenu dimenzionisanu za uzak opseg i za maksimalno pojačanje. Dužina antene je oko 2 λ i ona se dokazala u dugogodišnjem praktičnom radu amatera na opsegu od 2 m.

Na sl. 22.10 prikazana je skica konstrukcije, a na sl. 22.11 izgled antene koju je praktično izradio amater *DM2ZSF*. Pomoću T člana izvršeno je prilagođenje otpornosti u priključnoj tački od 240 Ω (sl. 22.10b). Treba predvideti mogućnost podešavanja T člana u malim granicama. Neznatna promena položaja prvog direktora u odnosu na napajani element predstavlja, takođe, mogućnost korekcije.

Mehanički i električni podaci:

prečnik elementa: 4 do 6 mm,

prečnik metalne noseće cevi: 20 mm,

dužina antene: 4150 mm,

otpornost u priključnoj tački: 240 Ω simetrično,

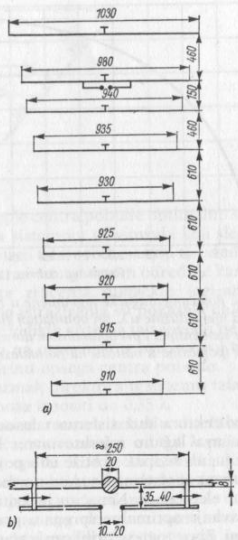
pojačanje: oko 13,5 dB,

povratno slabljenje: oko 19 dB,

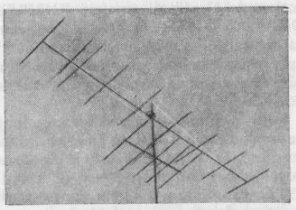
horizontalni ugao zračenja: (α_E) ≈ 35°,

vertikalni ugao zračenja: (α_H) ≈ 40°.

(Odnosi se na horizontalnu polarizaciju).



Sl. 22.10. Dugačka jagi-antena sa devet elemenata prema amateru DL6WU: a – skica konstrukcije, b – detalj napajanog elementa

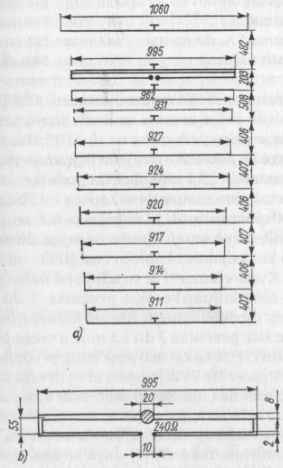


Sl. 22.11. Dugačka jagi-antena sa devet elemenata po amateru DM2ZSF; ispod nje je normalna jagi-antena sa pet elemenata

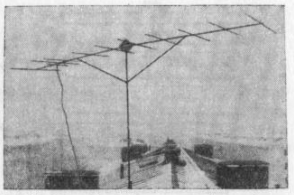
22.3.3. **Dugačka *jagi*–antena sa deset elemenata**

Dugačka *jagi*–antena je relativno uskopojasna i ima veliko pojačanje (sl. 22.12). Dužina antene je 1,8 λ, što znači da je malo kraća od prethodne dugačke *jagi*–antene sa devet elemenata. Zbog veće gustine postavljanja elemenata ona se može smatrati kao prelazni tip između normalne i dugačke *jagi*–antene.

Navedene dimenzije važe ako se za nosač elemenata upotrebi metalna cev prečnika 20 mm. I u ovom slučaju napajanje se može izvesti peko T–prilagođenja. Detalj na sl. 22.12b prikazuje povoljnije električno rešenje napajanog elementa. To je savijeni dipol sa različitim prečnicima elemenata. On transformiše impedancu tako da njena vrednost odgovara karakterističnoj impedanci simetričnog voda od 240 Ω. Amater *OE2BM* je prema gornjim podacima izgradio dugačku *jagi*–antenu.



Sl. 22.12. Dugačka jagi-antena sa deset elemenata; a – skica konstrukcije, b – detalj napajanog elementa



Sl. 22.13. Dugačka jagi-antena sa deset elemenata po amateru OE2BM

Prečnik njenih pasivnih elemenata je 3 mm, a kao aktivni element služi pruženi dipol sa T–prilagođenjem. Tanki elementi doprinose da konstrukcija bude laka i sa malim otporom prema vetru.

Mehanički i električni podaci:

prečnik elemenata: 4 mm (može 3 do 5 mm),

aktivni element: (vidi detalj na sl. 22.12b),

prečnik metalne noseće cevi: 20 mm,

dužina antene: 3630 mm,

otpornost u priključnoj tački: 240 Ω simetrično,

pojačanje: oko 12,5 dB,

povratno slabljenje: oko 19 dB,

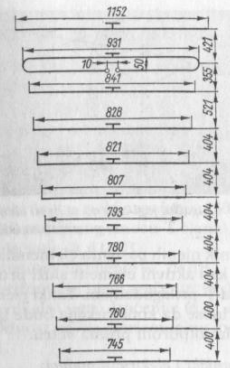
horizontalni ugao zračenja: (α_E) ≈ 37°,

vertikalni ugao zračenja: (α_H) ≈ 43°.

(Odnosi se na horizontalnu polarizaciju).

22.3.4. **Dugačka *jagi*–antena sa 11 elemenata**

Ova antena je primer primene novijih saznanja o dimenzionisanju dugačkih *jagi*–antena (sl. 22.14). Koriste se relativno debeli elementi, pa se bez posebnih mera prilagođenja, u priključnoj tački jednostavno napajanog savijenog dipola dobija otpornost od oko 240 Ω. Opseg ove antene je relativno širok i zahvata frekvencije daleko izvan opsega od 2 m (oko 142 do 148 MHz). Ova dugačka *jagi*–antena nema maksimalno pojačanje koje bi bilo moguće na osnovu njene dužine (vidi sl. 22.8), ali se preporučuje zbog jednostavne izgradnje i dobrih električnih karakteristika.



Sl. 22.14. Dugačka jagi-antena sa 11 elemenata

Mehanički i električni podaci:

prečnik elemenata: 12 mm,

prečnik noseće cevi: 15 do 30 mm,

dužina antene: 4125 mm,

otpornost u priključnoj tački: oko 240 Ω,

pojačanje: oko 12 dB,

povratno slabljenje: oko 20 dB,

horizontalni ugao zračenja: (α_E) ≈ 38°,

vertikalni ugao zračenja: (α_H) ≈ 43°.

(Odnosi se na horizontalnu polarizaciju).

22.3.5. *Kvad–jagi*–**antene**

Ovaj hibridni oblik antene koji se sastoji od *kjubikal–kvada* u centru pobude i niza direktora dugačke *jagi*–antene, označava se skraćeno kao *kvagi* (*kvad–jagi*). Ona objedinjava prednosti antena od kojih potiče. Od *kjubikal–kvada* dobila je relativno veliku širinu frekventnog opsega, povezanu sa jednostavnom pobudom, a od *jagi*–principa nasledila je ekonomičnost konstrukcije talasovodnog sistema uz optimalno pojačanje. Odgovarajućim dimenzionisanjem razmaka elemenata, postiže se direktno napajanje antene koaksijalnim kablom, bez elemenata za transformaciju. Nije potreban transformator za simetriranje, a otpornost na koroziju je velika, jer osim priključka napojnog voda ne postoje nikakva druga mesta spajanja lemljenjem, vijcima ili spojnicama. U poređenju sa konvencionalnom dugačkom *jagi*–antenom iste dužine, *kvagi*–antena ima pojačanje veće za 1 dB.

Tabela 22.1

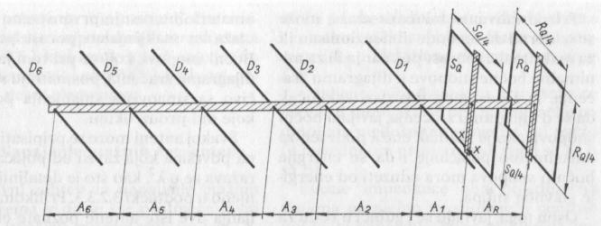
DIMENZIJE KVAGI–ANTENE PREMA sl. 22.15

	Rezonantna frekvencija 144,5 MHz	432 MHz
Obim reflektora R_Q	2200 mm	711 mm
Obim aktivnog elementa S_Q	2083 mm	676 mm
Dužina direktora D_1	913 mm	299 mm
Dužina direktora D_2	908 mm	297 mm
Dužina direktora D_3	903 mm	295 mm
Dužina direktora D_4	899 mm	293 mm
Dužina direktora D_5	894 mm	292 mm
Dužina direktora D_6	889 mm	291 mm
Razmak A_R	533 mm	178 mm
Razmak A_1	400 mm	133 mm
Razmak A_2	838 mm	279 mm
Razmak A_3	445 mm	149 mm
Razmaci A_4 do A_6	663 mm	222 mm
Dužina antene	4205 mm	1405 mm

Amater *K6YNB* je u literaturi pod [6] opisao *kvagi*–antenu sa osam elemenata, čija je skica prikazana na sl. 22.15. Sve dimenzije potrebne za njenu izgradnju date su u tabeli 22.1 koja sadrži i podatke o dimenzijama za amaterski opseg od 70 cm.

Otpornost u tački napajanja XX iznosi 60 Ω, pa se antena može napajati direktno koaksijalnim kablom i od 50 Ω i od 75 Ω. *Kvad*–elementi se izrađuju od bakarne ili aluminijumske žice prečnika 2 do 3 mm; direktori mogu biti od aluminijumske žice prečnika 3 do 3,5 mm, a može poslužiti i žica za zavarivanje istog prečnika.

Amater *K6YNB* je upotrebio drveni nosač antene (smreka ili omorika) dimenzija 25 × 76 mm, pa se po tome njegovo rešenje razlikuje od ostalih. Noseća letva je montirana tako da joj duža strana bude vertikalna, pa se direktori postavljaju poprečno u probušene otvore, dok se *kvad*–elementi pomoću plastične letvice



Sl. 22.15. Kvagi-antena sa osam elemenata po amateru K6YNB

pričvršćuju na ovaj nosač, kao što je prikazano na sl. 22.15. *K6YNB* je na osnovu iskustva zaključio da su drveni nosači jeftiniji, a u slanoj atmosferi i trajniji od nosača od aluminijumske legure. Jednostavna letva od baštenske ograde dužine 145 cm može da posluži kao nosač antenskih elemenata za opseg od 70 cm. Drvene delove treba impregnirati. Kao što je uobičajeno, za antenski jarbol može se upotrebiti metalna cev, na koju se nosač antenskih elemenata pričvrsti bočno pomoću obujmice. Napred navedeni podaci o dimenzijama nisu predviđeni za metalni nosač antenskih elemenata.

Za ovu antenu još ne postoje tačni merni podaci. Navodi se da je pojačanje ⩾ 11,5 dB (u odnosu na rezonantni polutalasni dipol). Dužina antene je 2 λ; ako se antenski sistem izvodi u etažama, preporučuje se optimalni razmak etaža od 1,6 λ.

Kvagi–antena je kvalitetna, efikasna i zaslužuje pažnju radio-amatera, jer se jednostavno izgrađuje, funkcioniše bez posebnog podešavanja i poseduje veliku širinu opsega.

22.4. *Jagi*–**antene u etažama**

Kao što je već ranije napomenuto, radio-amateru ne ide u račun da za opseg od 2 m gradi veoma dugačke *jagi*–antene, koje su zbog toga oštro usmerene u ravni *E*. Ako se *jagi*–antene, poput dipola, postave jedna iznad druge u dva ili više nivoa (vidi odeljak 13.2), postiže se oštro usnopljavanje u ravni *H*, pri čemu se, u odnosu na pojedinačni sistem, ne menja dijagram zračenja u ravni *E*. Na taj način *jagi*–antene u više nivoa objedinjuju prednost relativno velikog horizontalnog ugla zračenja sa porastom pojačanja dobijenog smanjenjem vertikalnog ugla zračenja.

Nemački UKT amateri uveli su jednostavnu terminologiju radi kratkog i jasnog označavanja *jagi*–antena u više etaža. Na primer, antenu od šest elemenata postavljenu u dva nivoa, koji se nalaze jedan iznad drugoga, nazivaju: »6 iznad 6«. Takođe, istu *jagi*–antenu u tri etaže zovu: »6 iznad 6 iznad 6«, a *jagi*–antena od tri elementa izgrađena u četiri etaže označava se kao »3 iznad 3 iznad 3 iznad 3«. *Jagi*–antene postavljene u etažama trebalo bi obraditi kao grupne antene. Pod grupnom antenom podrazumeva se svako antensko postrojenje koje se sastoji od više istih, međusobno povezanih antenskih sistema. Međutim, amateri su uobičajili da pojam grupna antena označava samo sisteme kod kojih je napajani element jednotalasni dipol.

22.4.1. **Razmak etaža**

Postavljanjem dva *jagi*–sistema u etaže teoretski se postiže porast pojačanja od 3 dB, ako je razmak etaža optimalan i ako se energija deli ravnomerno na oba pojedinačna sistema sa pravilnim fazama i bez gubitaka. Ova se konstatacija podudara i sa poznatim praktičnim pravilom da pojačanje antene poraste za 3 dB svaki put kada se udvostruči broj njenih elemenata. Međutim, u praksi se ne postiže maksimalan porast pojačanja od 3 dB.

Pri određivanju razmaka etaža, može se odabrati da on bude dimenzionisan ili za maksimalan porast pojačanja ili za minimalne bočne snopove u dijagramu zračenja. Iz navedenog proizlazi zaključak da se u dijagramu zračenja, javljaju bočni snopovi, ako je razmak etaža podešen za maksimalno pojačanje i da se energija bočnih snopova mora oduzeti od energije glavnog snopa.

Osim toga, javljaju se i gubici u vodu za razvod energije. U praksi se može računati da se udvostručavanjem troškova i dimenzionisanjem za maksimalno pojačanje može postići porast pojačanja od 2,5 do najviše 2,8 dB. Porast pojačanja se još smanjuje ako se dimenzionisanje razmaka etaža izvrši za najmanje bočne snopove, jer se tada amater svesno odriče maksimalnog pojačanja u korist karakteristike usmerenosti. U ovom slučaju etažnom izradom pojačanje se povećava samo za 1,5 do 2,5 dB. Kod višestrukih etaža pojačanje uvek raste za isti iznos (oko 2,4 dB do 2,7 dB), a troškovi se udvostručavaju.

Primer

Jagi–antenu od tri elementa, prema sl. 22.3, sa pojačanjem od 5 dB, horizontalnim uglom zračenja od 70° i vertikalnim uglom zračenja od 110°, treba postaviti u dve etaže radi dobijanja maksimalnog porasta pojačanja. Na taj način se dobija pojačanje od 5 dB + 2,7 dB = 7,7 dB. Budući da se horizontalni ugao zračenja ne menja, dodatno pojačanje mora biti posledica smanjenja vertikalnog ugla zračenja, koji iznosi oko 68° (sl. 3.19). Da bi se postigao porast pojačanja za još 2,7 dB, mora se udvostručiti trošak, tj. *jagi*–antenu treba postaviti u četiri ravni (»3 iznad 3 iznad 3 iznad 3«). Tada se dobija pojačanje od 7,7 dB + 2,7 dB = 10,4 dB. Horizontalni ugao zračenja ostaje i dalje 70°, a vertikalni ugao zračenja se smanjuje na 37° (sl. 3.19).

Kada je poznat dijagram zračenja pojedinačne ravni, može se matematički izvesti zavisnost karakteristike zračenja *jagi*–antene u etažama od razmaka etaža, uz određene pretpostavke kao što se navodi u literaturi pod [5]. U praksi radioamatera interesuje prvenstveno razmak etaža za maksimalan porast pojačanja. Bočni snopovi, koji se pri tom javljaju u dijagramu zračenja, posmatraju se isključivo sa stnaovišta smanjenja pojačanja koje oni prouzrokuju.

Svakoj anteni može se pripisati efektivna površina koja zavisi od pojačanja i izražava se u λ^2, kao što je detaljnije objašnjeno u podtački 3.2.3.3. Prilikom postavljanja dve iste antene poznate efektivne površine u dve etaže, dobiće se maksimalno pojačanje ako razmak između etaža bude takav da se efektivne površine dodiruju, ali ne preklapaju (vidi sl. 3.22). Iz jednačine (3.26) može se približno izračunati najpovoljniji razmak etaža za maksimalno pojačanje.

U tabeli 22.2 date su približne vrednosti, koje se odnose na broj elemenata upotrebljene pojedinačne *jagi*–antene.

Postoji praktično pravilo pomoću koga se može odrediti razmak etaža dugačkih *jagi*–antena za maksimalno pojačanje tako što se dužina antene (dužina nosača antenskih elemenata) pomnoži faktorom 0,75.

Tabela 22.2

PRIBLIŽNE VREDNOSTI NAJPOVOLJNIJEG RAZMAKA ETAŽA U λ ZA MAKSIMALNO POJAČANJE U ZAVISNOSTI OD BROJA ELEMENATA UPOTREBLJENE OSNOVNE JAGI–ANTENE

Broj elemenata	Razmak etaža u λ
3	0,70
4	0,77
5	0,86
6	0,95
7	1,05
8	1,13
9	1,2
10	1,3

Uopšte, može se konstatovati da se sa porastom pojačanja u pojedinačnoj ravni povećava i njena efektivna površina. Veća efektivna površina uslovljava veći razmak između etaža, ako se želi postići maksimalno pojačanje.

Međutim, ako amater želi da se odredne maksimalnog pojačanja i ako dimenzioniše antenu za minimalne bočne snopove, onda je najpovoljniji razmak etaža između 0,5 λ kod kratkih *jagi*–antena (do četiri elementa) i oko 0,65 λ kod *jagi*–antena sa deset elemenata.

22.4.2. Napajanje etažnih *jagi*–antena

Osnovni zahtev za napajanje etažnih *jagi*–sistema je da se sve postojeće ravni moraju napajati ravnomerno i u fazi.

Postoje sledeće dve mogućnosti:

– napajanje podešenim vodovima, koji se delimično izvode i kao elementi za transformaciju i obezbeđuju željenu impedancu u centralnoj tački napajanja;

– napajanje nepodešenim vodovima odgovarajuće karakterističnе impedance bez transformacionih svojstava.

Napajanje podešenim vodovima kratko je opisano u odeljku 13.2, a o njemu će biti detaljnije govora kod grupnih antena, jer se kod njih pretežno primenjuje.

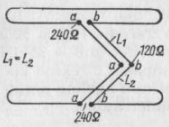
Nepodešeni vodovi su najpogodniji za napajanje *jagi*–antena u etažama jer se kod ovog načina napajanja razmaci etaža mogu proizvoljno birati bez mehaničkih ograničenja. Budući da su spojni vodovi nezavisni od frekvencije, ne javlja se sužavanje opsega sistema. Na sl. 22.16 prikazan je primer primene ove vrste napajanja, pri čemu su, radi bolje preglednosti, ucrtani samo napajani savijeni dipoli svakog *jagi*–nivoa.

Pri tome treba da budu ispunjeni sledeći opšti zahtevi:

– otpornost u priključnim tačkama pojedinačnih sistema mora biti jednaka (u ovom slučaju ona iznosi po 240 Ω);

– karakteristična impedanca Z spojnih vodova mora biti jednaka otpornosti u priključnoj tački pojedinačnog sistema (u primeru na sl. 22.16, Z = 240 Ω);

– dužina spojnih vodova $L_1 + L_2$ je proizvoljna i može se odabrati tako da odgovara svakom razmaku etaža. Međutim,



Sl. 22.16. Pobuđivanje u fazi dva etažna jagi-sistema pomoću nepodešenih spojnih vodova

mora se obezbediti da svi vodovi prema centralnoj tački napajanja budu iste geometrijske i električne dužine (npr., $L_1 = L_2$);

– željeno pobuđivanje u fazi može se ostvariti samo ako se priključne tačke na dipolima međusobno spoje na isti način (u navedenom primeru a se spoji sa a i b sa b).

Ulazne impedance oba pojedinačna sistema paralelno su spojene u centralnoj tački napajanja, pa je priključna impedanca jednaka samo polovini vrednosti (paralelno spajanje otpornika), u navedenom primeru ona iznosi 120 Ω. Kada je u pitanju više etaža, impedanca centralne tačke napajanja smanjuje se u skladu sa brojem jednakih, paralelno spojenih otpornosti u priključnoj tački. Na primer, ako se jagi–antene postave jedna iznad druge u četiri nivoa i ako je priključna otpornost jedne antene 240 Ω, onda će impedanca u centralnoj tački napajanja biti 60 Ω (240 : 4). Time je omogućeno direktno napajanje koaksijalnim kablom preko transformatora za simetriranje (vidi poglavlje 7).

Impedanca u centralnoj tački napajanja često ne odgovara karakterističnoj impedanci predviđenog napojnog kabla. Tada se željena impedanca u tački napajanja može ostvariti pomoću jednog od poznatih elemenata za transformaciju – npr., pomoću četvrttalasnog transformatora (vidi poglavlje 6). Naročita prednost nepodešenih spojnih vodova je u tome što se bez mehaničkih ograničenja, može slobodno birati optimalni razmak etaža. Vodovi za napajanje ne sadrže sastavne delove koji zavise od frekvencije i koji bi mogli suziti opseg, a centralno napajanje zahteva iste dužine provodnika, pa je i pobuđivanje pojedinih nivoa potpuno ravnomerno. Ostale mogućnosti pobuđivanja, koje se mogu primeniti i kod *jagi*–antena u etažama, opisane su u poglavlju 23.

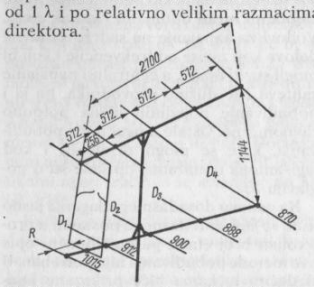
Na osnovu dosadašnjeg izlaganja jasno je da se *jagi*–antene mogu postaviti u proizvoljan broj etaža, pa pojedinačni opis ove metode pobuđivanja nije potreban. U sledećim tačkama biće prikazane konstrukcije etažnih *jagi*–antena čiji način pobuđivanja odstupa od uobičajenog.

22.4.3. Etažne *jagi*–antene »6 iznad 6« po amateru *OH2EW*

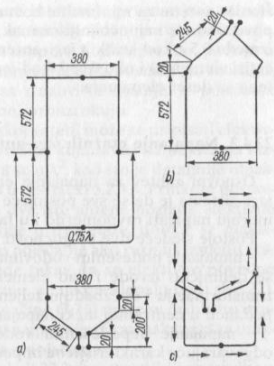
Na sl. 22.17 prikazana je jagi–antena u dve etaže sa neuobičajenim načinom napajanja. To je napajanje pomoću skeletnog proreza (vidi odeljak 26.4), koje je naročito omiljeno među britanskim amaterima.

Na sl. 22.18a prikazan je odvojeno napajani element. Ako se saberu navedene dužine, dobije se ukupan obim pravougaonika od 3048 mm. Budući da je antena namenjena za opseg od 2 m, ova dužina odgovara približno 1,5 λ, tj. po svakoj polovini 0,75 λ. Pod ovim uslovima ne može se obezbediti istofazno pobuđivanje obe etaže. Slika postane jasnija tek kada se odvojeno posmatraju gornja i donja polovina pravougaonika, pri čemu se uračunava i dužina Y voda (sl. 22.18b). Može se utvrditi da Y vod dužine 570 mm (2 kraka po 285 mm) predstavlja četvrttalasni deo koji nedostaje do 1 λ. Kako je Y vod aktivan i u donjem i u gornjem delu, napajani element se sastoji praktično od dva *kvada*, čiji je obim po 1 λ. Na sl. 22.18c prikazan je još jedanput ceo napajani element, sa strelicama koje označavaju smer struje. Iz toga proizlazi da je pobuđivanje u svim vodoravnim delovima u fazi.

Razmak etaža određen je aktivnim elementom od oko 0,6 λ (1144 mm), što znači da je postavljanjem antena u etaže postignuto dodatno pojačanje od oko 2,3 dB. Princip dugačke *jagi*–antene prepoznaje se po dužini nosača antenskih elemenata od 1 λ i po relativno velikim razmacima direktora.



Sl. 22.17. Etažna jagi-antena »6 iznad 6« prema amateru OH2EW



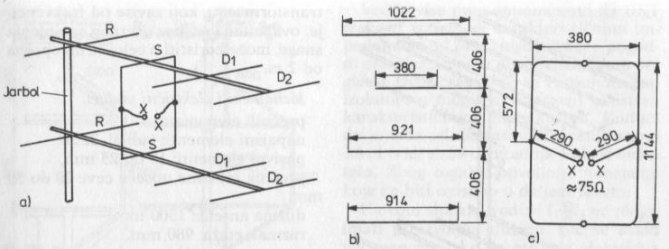
Sl. 22.18. Napajani element antene »6 iznad 6«; a – pravougaoni element Y voda, b – polovina napajanog elementa, c – raspodela struje u elementu

Dužine elemenata i njihovi razmaci dati su na sl. 22.17, a dimenzije napajanih elemenata sa Y–članom prikazane su na sl. 22.18. Pasivni elementi izrađeni su od okruglih aluminijumskih šipki prečnika 5 mm, dok je za napajani deo, uključujući i Y–vod, upotrebljen okrugli materijal prečnika 8 mm. Oba nosača elemenata izrađena su kod originalne antene od aluminijumskog U profila 20 · 2 mm. Sve navedene debljine materijala nisu naročito kritične; dozvoljena su odstupanja do ± 20%.

Mehanički i električni podaci:

prečnici elemenata: vidi tekst,
prečnik metalne noseće cevi: 20 do 30 mm,
dužina antene: 2100 mm,
razmak etaža: 1144 mm,
otpornost u napojnoj tački: 70 Ω simetrično,
pojačanje: oko 12 dB,
povratno slabljenje: oko 20 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 50°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 35°$.

Antena se može napajati direktno komercijalnim koaksijalnim kablom preko transformatora za simetriranje.



Sl. 22.19. Etažna jagi-antena »4 iznad 4«; a – skica cele antene, b – skica dimenzija, c – detalj napajanog elementa

22.4.4. Etažna kratka *jagi*–antena »4 iznad 4«

Na sl. 22.19 prikazana je etažna kratka *jagi*–antena koja, takođe, radi sa pobudom pomoću skeletnog proreza. Napajani element je istih dimenzija kao kod antene »6 iznad 6«, a pasivni elementi se razlikuju po dužinama i razmacima. Svi detalji konstrukcije vide se na sl. 22.19. Otpornost u napojnoj tački iznosi oko 75 Ω, pa se i ovaj sistem može napajati direktno koaksijalnim kablom preko transformatora za simetriranje.

Mehanički i električni podaci:

prečnik elemenata: 6 do 8 mm,
prečnik metalne noseće cevi: 15 do 30 mm,
dužina antene: 1230 mm,
razmak etaža: 1144 mm,
otpornost u priključnoj tački: oko 75 Ω simetrično,
pojačanje: oko 9 dB,
povratno slabljenje: oko 16 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 60°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 55°$.

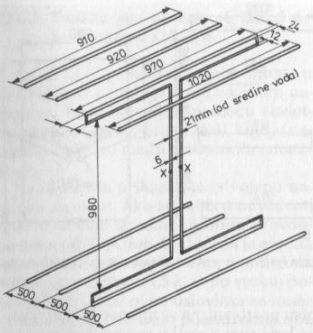
22.4.5. Etažne *jagi*–antene »4 iznad 4« po amateru *DL3FM*

Pobuđivanje etažnih *jagi*–antena preko nepodešenih spojnih vodova (vidi tačku 22.4.2) ima mnogo prednosti, ali i jednu manu: povezivanje se mora izvršiti pomoću komercijalnih UKT trakastih vodova. Kao to je više puta rečeno, takvi vodovi nisu postojani, pa se njihove karakteristike koje su u početku veoma dobre, s vremenom znatno pogoršavaju. Zato za trajna antenska postrojenja treba upotrebljavati simetrične kablove karakterističnе impedance 240 Ω, koji su mnogo postojaniji na uticaj atmosferilija. Ako nema vodova takvog tipa, pogodnije je da se napajanje vrši podešenim spojnim kablovima.

Primer takvog načina napajanja je antena »4 iznad 4« po amateru *DL3FM*. Kao osnovna antena upotrebljena je *jagi*–antena sa četiri elementa, čiji je napajani savijeni dipol izveden od elemenata različite debljine. Na taj način postiže se da otpornost u priključnoj tački pojedine etaže bude oko 110 Ω. One su postavljene jedna iznad druge, a oba nivoa su međusobno spojena paralelnim cevima (sl. 22.20). Ukupna dužina spojnog voda iznosi električno λ/2, a centralna tačka napajanja XX nalazi se tačno u geometrijskoj sredini ovog polutalasnog voda. Dužina voda od centralne tačke napajanja do svake ravni antene iznosi tačno λ/4. Već su objašnjene osobine transformacije četvrttalasnog voda (vidi odeljak 6.5). Oba četvrttalasna voda međusobno su paralelno spojena u napojnoj tački XX, pa transformisane impedance u XX iznose samo polovinu vrednosti, što je posledica paralelne veze istih otpornosti.

Na primer, ako je u tački XX potrebna priključna impedanca od 240 Ω, onda svaki četvrttalasni transformator mora pretvoriti impedancu napajanog elementa u impedancu od 480 Ω koja se javlja u

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 22.20. Skica konstrukcije etažne jagi-antene »4 iznad 4« prema amateru DL3FM

tački XX, jer paralelna veza dva otpornika od po 480 Ω daje 240 Ω. Budući da u navedenom slučaju otpornost u priključnoj tački svakog nivoa iznosi oko 110 Ω i da je u tački XX potrebna otpornost napajanja od 240 Ω, karakteristična impedanca *Z* paralelnog spoja prema jednačini (5.31) iznosi:

$$Z = \sqrt{110\ \Omega \cdot 480\ \Omega} \approx 230\ \Omega$$

Prema sl. 5.4 paralelni vod karakteristične impedance od 230 Ω može se izvesti ako odnos razmaka provodnika *D* prema prečniku provodnika *d* iznosi 3,5 : 1 i ako se koristi vazduh kao izolator. Ako se za izradu spojnog voda koristi aluminijumska žica prečnika 6 mm, onda će razmak od sredine jedne žice do sredine druge žice iznositi 21 mm. Ako bi prečnik provodnika bio 10 mm, onda bi razmak između sredina provodnika bio 35 mm. Ovakvim dimenzionisanjem u tački XX dobije se otpornost od oko 240 Ω.

Polutalasnim spojnim vodom određen je razmak etaža od 0,5 λ, pa je dimenzionisanje izvršeno na najmanje bočnih snopova u dijagramu zračenja, a odustalo se od maksimalnog pojačanja etažne antene. Sekundarni elementi mogu biti debeli 15 do 25 mm, veći prečnik daje nešto veću širinu opsega. Uprkos dimenzionisanju za uzak opseg i elementima za transformaciju, koji zavise od frekvencije, ova antena se, bez osetnog smanjenja snage, može koristiti u celoj širini opsega od 2 m.

Mehanički i električni podaci:
prečnik elemenata:
napajani elementi: vidi sl. 22.20,
pasivni elementi: 15 do 25 mm,
prečnik metalne noseće cevi: 20 do 30 mm,
dužina antene: 1500 mm,
razmak etaža: 980 mm,
otpornost u tački napajanja: 240 Ω simetrično,
pojačanje: oko 9,5 dB,
povratno slabljenje: oko 17 dB,
horizontalni ugao zračenja: (α_E) ≈ 58°,
vertikalni ugao zračenja: (α_H) ≈ 54°.

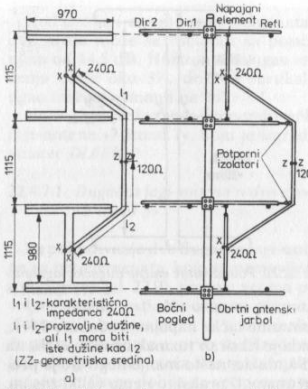
Preporučuje se napajanje koaksijalnim kablom preko polutalasne petlje (vidi odeljak 7.5).

22.4.6. *Jagi*–antena u četiri nivoa »4 iznad 4 iznad 4 iznad 4«

Dva sistema »4 iznad 4«, postavljena vertikalno jedan iznad drugog, daju efikasnu antenu za opseg od 2 m sa ukupno 16 elemenata u četiri nivoa (vidi tačku 22.4.5). Vertikalna visina ove antene iznosi 3,35 m. U ovom slučaju su uz minimum mehaničkog rada, povezane prednosti *jagi*–antene sa prednostima grupne antene.

Dimenzije antene »4 iznad 4« (sl. 22.20) ništa se ne menjaju. Dva takva sistema jednostavno su postavljena jedan iznad drugog na polutalasnom razmaku. Zato su na sl. 22.21a prikazani samo aktivni elementi oba sistema; na sl. 22.21b prikazan je bočni izgled cele antene.

Za napajanje celog kompleksa postoje dve jednostavne mogućnosti: budući da je otpornost u tačkama napajanja XX obeju gornjih i obeju donjih etaža potpuno ista (po 240 Ω) obe tačke napajanja mogu se međusobno povezati proizvoljno dugačkim vodom karakteristične impedance od 240 Ω. U geometrijskoj sredini ovog spojnog voda sada se nalazi zajednička tačka napajanja ZZ za obe polovine antene. Budući da su vodovi od 240 Ω u toj



Sl. 22.21. Etažna jagi-antena »4 iznad 4 iznad 4 iznad 4«; a – aktivni elementi, b – bočni izgled kompletne antene

tački paralelno spojeni, otpornost u tački napajanja ZZ biće upola manja, dakle, iznosiće samo još 120 Ω. Sada bi se ceo sistem mogao napajati simetričnim vodom od 120 Ω (npr., okloplјenim, simetričnim dvožičnim vodom, tipa 120 D 10 – 1). Takvi vodovi su skupi i ne mogu uvek da se nabave, pa se impedanca može ponovo pretvoriti od 120 Ω na 240 Ω pomoću četvrttalasnog transformatora. Tada se sistem napaja UKT gajtanom od 240 Ω ili, još bolje, koaksijalnim kablom od 60 Ω preko polutalasne petlje. Karakteristična impedanca četvrttalasnog transformatora, koji se priključuje u tački ZZ izračunava se prema jednačini (5.31):

$$Z = \sqrt{120\ \Omega \cdot 240\ \Omega} \approx 170\ \Omega$$

Prema sl. 5.4 proizlazi da u ovom slučaju odnos razmak/prečnik voda mora biti 2,2 : 1. Geometrijska dužina takvog dvožičnog voda iznosi 0,98 · λ/4, što za radnu frekvenciju od 145 MHz iznosi oko 510 mm. Vod se montira na usku plastičnu traku, s tim što se malo odvoji od nje, pa se taj mehanički, kruti element za transformaciju pričvrsti između tačke ZZ i nosećeg stuba. Na otvorenom kraju *Q* prilagođenja priključna impedanca ponovo iznosi 240 Ω.

Već je više puta napomenuto da UKT trakasti vodovi sa karakterističnom impedancom od 240 Ω nisu naročito pogodni ni u električnom ni u mehaničkom pogledu. Dvožični vodovi sa vazduhom kao izolatorom mogu se napraviti sa istom karakterističnom impedancom. Budući da je tada odnos razmak/prečnik samo 3,8 : 1 (vidi sl. 5.4), izgradnja voda je nešto teža. Zbog toga je povoljnije napajanje koje će biti opisano u daljem tekstu.

U ovom slučaju, vodovi l_1 i l_2 ne mogu imati proizvoljnu dužinu, već se svaki vod napravi tako da njegova električna dužina iznos tačno 0,75 λ. Svejedno je da li dužina voda iznosi 1/4 λ, 3/4 λ, 5/4 λ itd., jer svi neparni umnošci λ/4 deluju kao četvrttalasni transformator. Zbog toga i spojni vod dužine 3/4 λ deluje kao četvrttalasni transformator. Impedanca u tački ZZ, u kojoj se spajaju oba voda dužine 3/4 λ, zavisi od karakteristične impedance *Z* tog voda. U tački ZZ poželjna je otpornost od 240 Ω, pa budući da su oba voda u njoj vezana paralelno, otpornost koju treba da transformišu vodovi l_1 i l_2 u tačku ZZ mora biti 480 Ω. Prema jednačini (5.31) dobija se:

$$Z = \sqrt{240\ \Omega \cdot 480\ \Omega} \approx 340\ \Omega$$

Na sl. 5.4 za dvožični vod sa vazduhom kao izolatorom i sa karakterističnom impedancom od 340 Ω očita se odnos razmaka prema prečniku od 8,5 : 1. Ovaj vod se može realizovati relativno lako. Za radnu frekvenciju od 145 MHz (0,75 λ = 155,3 cm) izračunaju se dužine l_1 i l_2 uzimajući u obzir faktor skraćenja za vazduh kao izolator:

$$l_1 = l_2 = 155{,}3\ \text{cm} \cdot 0{,}97 = 150{,}64\ \text{cm}$$

Zaključak

Oba sistema »4 iznad 4« povezuju se iz njihovih priključnih tačaka XX sa tačkom ZZ pomoću dvožičnog voda dužine 150 cm sa vazduhom kao izolatorom. Karakteristična impedanca vodova iznosi 340 Ω. U tački ZZ dobija se otpornost napajanja od 240 Ω simetrično.

Postavljanjem antenskih sistema u etaže raste pojačanje novog sistema na oko 11,5 dB, horizontalni ugao zračenja ostaje i dalje oko 60°, a vertikalni ugao zračenja se smanjuje na oko 32°.

22.4.7. **Etažne dugačke** *jagi*–**antene**

I dugačke *jagi*–antene mogu se uspešno postavljati u etaže. U svakom slučaju koristiti dugačke *jagi*–antene u više nivoa ako su razmaci između etaža od 0,5 do 0,7 λ, jer se tada preklapaju relativno velike efektivne površine takvih snažnih antena.

Ako se pođe od efektivne površine jednog nivoa i ako se prema jednačini (3.25) odredi najpovoljniji razmak nivoa za maksimalno pojačanje, dobije se najpovoljniji razmak bez komplikovanog računa.

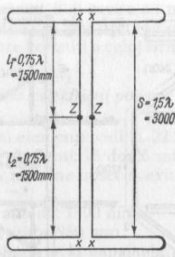
Efektivna površina A jedne ravni antene može se očitati u λ^2, kao funkcija pojačanja u dB (sl. 3.21). Na primer, pojačanje dugačke *jagi*–antene sa 11 elemenata (sl. 22.14) iznosi 12 dB, što odgovara efektivnoj površini A od 2,0 λ^2. Budući da je vertikalni ugao zračenja α_H 40°, da je poznat i horizontalni ugao zračenja (α_E = 37°), može se lako odrediti razmak etaža *S* iz jednačine (3.25):

$$S = 2\sqrt{\frac{A \cdot \alpha_H}{\pi \cdot \alpha_E}} = 2\sqrt{\frac{2\lambda^2 \cdot 40^\circ}{3{,}14 \cdot 37^\circ}} \approx 1{,}68\lambda.$$

Iz toga proizlazi da se efektivne površine obe ravni ne preklapaju kada je razmak etaža S = 1,68 λ i da se može postići maksimalno pojačanje postavljanjem antena u etaže.

Dugačke *jagi*–antene u etažama napajaju se na uobičajeni način. Pobuđivanje je vrlo jednostavno, jer se zbog prostora ne može koristiti više od dve etaže. Zbog velikog razmaka između etaža napajanje se više ne može izvesti pomoću dva paralelno spojena četvrttalasna transformatora. Već je navedeno da se vod čija je dužina neparan umnožak λ/4 u pogledu transformisanja otpornosti, ponaša isto kao četvrttalasni transformator. Zbog toga se spojni vodovi od napajanih elemenata do centralne tačke napajanja mogu, po potrebi, produžiti na 3/4 λ, 5/4 λ ili 7/4 λ.

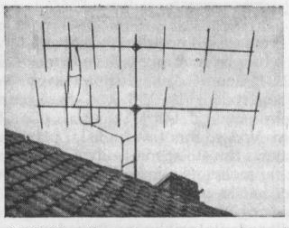
Kao primer, objasnićemo napajanje dve dugačke *jagi*–antene sa 11 elemenata prema sl. 22.14. Kao što je gore utvrđeno, najpovoljniji razmak između etaža je 1,68 λ. Ako se za dužinu spojnih vodova do



Sl. 22.22. Pobuđivanje etažne dugačke jagi-antene »11 iznad 11«

centralne tačke napajanja odabere 3/4 λ, onda je fiksiran razmak između etaža na 1,5 λ, dakle, nešto manje nego što je proračunato. U praksi to nema veliki značaj, jer proračunati razmak etaža predstavlja samo orijentacionu vrednost.

Sada treba još odrediti karakterističnu impedancu podešenog spojnog voda. Radi bolje preglednosti na sl. 22.22 prikazana su oba aktivna elementa sa spojnim vodovima o kojim je bilo reči. Ako u svakom nivou otpornost u priključnoj tački XX iznosi 240 Ω, i ako je potrebno da otpornost u tački napajanja ZZ bude opet 240 Ω, onda karakteristična impedanca spojnog voda mora iznositi 340 Ω (Z = √ 240 Ω · 480 Ω). Prema sl. 5.4 ova karakteristična impedanca se dobije kada je odnos razmak/prečnik jednak 9 : 1. Ako se za izradu spojnog voda upotrebi cev ili puni materijal prečnika 6 mm, onda razmak sredina voda mora iznositi 51 mm.



Sl. 22.23. Dugačka jagi-antena »7 iznad 7« u dva nivoa prema amateru DL6EK

Kod ove *jagi*–antene sa 11 elemenata u dva nivoa može se računati sa pojačanjem od 14,5 dB. Horizontalni ugao zračenja osaje oko 37°, dok se vertikalni ugao zračenja smanji na 26°.

Na sl. 22.23 prikazan je primer dugačke *jagi*–antene »7 iznad 7«, koju je izgradio amater *DL6EK*.

22.4.7.1. *Dugačka jagi–antena u dva nivoa »5 iznad 5«*

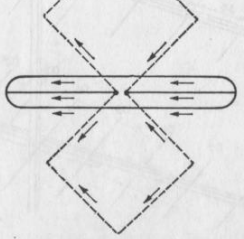
Za pobuđivanje dve dugačke *jagi*–antene sa pet elemenata, koje su postavljene u dva nivoa (sl. 22.9), postoje veoma povoljne mogućnosti. Na osnovu poznatih električnih podataka za ovu optimalnu dugačku *jagi*–antenu, prvo se odredi najpovoljniji razmak etaža *S* za maksimalno pojačanje. On se dobija na već poznat način prema sl. 3.21 i jednačini (3.25) i iznosi oko 1,48 λ, što za opseg od 2 m iznosi 3060 mm. Budući da otpornost u priključnoj tački svake etaže iznosi oko 130 Ω, oba sistema mogu se međusobno spojiti pomoću nepodešenog voda od 120 Ω proizvoljne dužine. Najpogodniji je okloplјeni simetričan dvožični vod tipa 120 D 10 – 1, koji je otporan na atmosferilije i koji se može polagati po želji. Tačno u geometrijskoj sredini spojnog voda formira se centralna napojna tačka. Otpornosti u priključku oba nivoa spojene su paralelno, pa rezultantna priključna impedanca u centralnoj tački napajanja iznosi 60 do 65 Ω. To znači da se ovaj sistem može napajati direktno koaksijalnim kablom preko transformatora za simetriranje.

Mehanički i električni podaci:
razmak etaža: 1,48 λ = 3060 mm,
pojačanje oko: 13,5 dB,
horizontalni ugao zračenja: (α_E) ≈ 44°,
vertikalni ugao zračenja: (α_H) ≈ 28°.

22.4.7.2. *Jednosmerno usmerena antena za opseg od 2 m po amateru DL7KM*

Amater *DL7KM* razvio je antenski sistem u dva nivoa, koji kao napajane elemente koristi *dvostruki kvad* iza koga su ugrađeni pasivni reflektori u obliku štapa i uspešno ih primenio u opsegu od 2 m i od 70 cm (vidi tačku 27.3.4). Dvostruki *kvad*–elementi omogućavaju veoma povoljna električna i mehanička rešenja pri realizovanju etažnih sistema pobude, pa se primenjuju i kod grupa antena. Dvostruki *kvad* prikazan na sl. 22.25b jeste sistem dipola sa centralnim napajanjem. Dipoli su postavljeni vertikalno jedan iznad drugog i njihovo pojačanje, zbog usnopljenja u ravni *H*, iznosi oko 3 dB – u odnosu na rezonantni polutalasni dipol. Ako nema pasivnih elemenata impedanca u tački napajanja iznosi približno 270 Ω.

Poznato je da je otpornost u priključnoj tački običnog *kvad*–elementa 120 Ω. Moglo bi se pretpostaviti da je kod dvostrukog *kvada*, sastavljenog od dva jednaka paralelno spojena *kvada*, rezultantna otpornost u priključnoj tački prepolovljena na 60 Ω (paralelan spoj otpornika). Međutim, u praksi se pokazalo obrnuto: otpornost u napojnoj tački dvostrukog *kvada* je više od dva puta veća od otpornosti jednostavnog *kvada*. Do teoretskog objašnjenja može se doći ako se *kvad*–elementi posmatraju kao specijalni slučajevi savijenog dipola. U oba slučaja to su jednotalasne petlje. Kao što je navedeno u odeljku 15.1, ako se savijeni dipol vertikalno razvuče, iz njega se može razviti *kvad*–element (sl. 15.1). Pri tom se raspodela struje ne menja, ali su oba strujna maksimuma, koji se kod savijenog dipola nalaze sasvim blizu i paralelno jedan prema dru-



Sl. 22.24. Razvoj dvostrukog kvad-elementa iz dvostrukog savijenog dipola

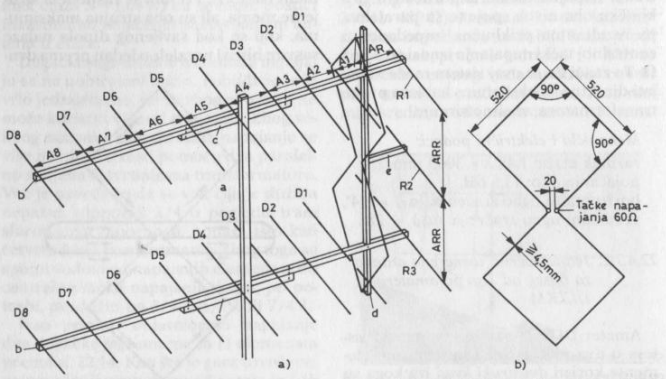
gom, kod *kvad*–elementa razmaknuta, tako da je rastojanje između njih oko 0,35 λ. Taj povećani razmak strujnih maksimuma utiče da se *kvad*–element ponaša kao etažni sistem dipola. Usled povećanog vertikalnog usnopljenja dolazi do porasta pojačanja za 1 dB u odnosu na savijeni dipol, a otpornost u priključnoj tački pada sa 240 Ω na 120 Ω. Dvostruki *kvad* (sl. 22.24) razvija se iz dvostrukog savijenog dipola (dipol sa tri provodnika, vidi odeljak 4.1). Otpornost u priključnoj tački običnog savijenog dipola je četiri puta veća od otpornosti pruženog polutalasnog dipola (4 · 60 Ω = 240 Ω), i to zbog raspodele struje na dva dela dipola; otpornost u priključnoj tački dvostrukog savijenog dipola, povećava se za devet puta (9 · 60 Ω = 540 Ω), i to zbog deobe struje na tri paralelna dipola.

Analogno tome, kod dvostrukog *kvada* može se pretpostaviti da će se njegova otpornost u tački napajanja više nego udvostručiti u odnosu na otpornost običnog *kvad*–elementa. Ova pretpostavka je potvrđena u praksi.

Dvostruki *kvad* se pokazao kao odličan element u različitim oblicima antena (vidi tačke 25.2.8 i 27.3.4), pa je amater DL7KM razvio etažnu dugačku *jagi*–antenu za opseg od 2 m, koja se u celini pobuđuje dvostrukim *kvadom* sa centralnim napajanjem (sl. 22.25). Upoređivanjem sa etažnom dugačkom *jagi*–antenom koja se napaja konvencionalno, pokazuje da bim po amateru *DL7KM* nema nikakvih elemenata za spajanje, prilagođenje i transformaciju koji unose gubitke i da nema zalemljenih ili spojenih mesta koja stradaju od atmosferilija. Prostor između dva *jagi*–nivoa ispunjen je, zahvaljujući dvostrukom *kvad*–elementu, istofazno pobuđenim dipolima, čime se može objasniti dodatno pojačanje od oko 2 dB. Ono deluje na smanjenje vertikalnog ugla zračenja.

Kao što se vidi na sl. 22.25, bim po amateru *DL7KM* sadrži 23 polutalasna elementa, koji učestvuju u zračenju, od čega se četiri nalaze u napajanom dvostrukom *kvadu*. Dužina nosača elemenata je po 4,10 m, što znači da je relativna dužina antene 2 λ. Relativno mali razmak između etaža od 0,6 λ (= 1,20 m), obezbeđuje mali broj bočnih snopova u dijagramu zračenja.

U odnosu na rezonantni polutalasni dipol izmereno je pojačanje antene od 13 dB. Horizontalni ugao zračenja (ravan *E*) iznosi 35°, a vertikalni ugao zračenja (ravan *H*) 32°. Prednost dobrog usnopljenja u ravni *H* dolazi do izražaja naročito u



Sl. 22.25. Bim za opseg od 2 m po amateru DL7KM: a – skica konstrukcije, b – detalj napajanog dvostrukog kvad-elementa

gusto naseljenim oblastima, jer ona potiskuje ometajuća zračenja koja se nalaze ispod antene.

Povratno slabljenje od 25 dB je veoma veliko. Na sl. 22.26 prikazan je izgled ove antene.

Amater *DL7KM* dao je sledeće preporuke za mehaničku konstrukciju: svi direktori i reflektori izrađeni su od aluminijumske cevi prečnika 6 do 8 mm. Potrebno je:

3 · 1050 mm (R_1, R_2, R_3),
2 · 935 mm (D_1),
2 · 930 mm (D_2),
2 · 925 mm (D_3),
2 · 920 mm (D_4),
2 · 915 mm (D_5),
2 · 910 mm (D_6),
2 · 905 mm (D_7),
2 · 890 mm (D_8).

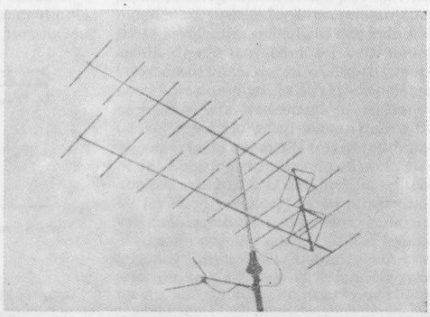
Razmaci iznose: A_{RR} = 600 mm; A_R = 460 mm; A_1 = 300 mm; A_2 = 300 mm; A_3 = 330 mm; A_4 = 500 mm; A_5 do A_8 = 520 mm. Oba nivoa direktora su identična.

Direktori i reflektori se pričvršćuju na nosače elemenata, kao što je uobičajeno i kod komercijalnih antena. Odgovarajuće obujmice proizvode se industrijski, ali amater ih može i sam izraditi. Ne preporučuje se bušenje nosača elemenata i provlačenje elemenata kroz te rupe, jer tada nastaju gubici usled nesigurnih kontakata. U tom slučaju elementi bi se morali zalemiti ili zavariti sa nosačem.

Na sl. 22.25b prikazan je odvojeno dvostruki *kvad* element, napravljen od gole bakarne žice dužine 4200 mm i prečnika 5 mm, odnosno preseka 16 mm^2, a dužina jedne strane *kvada* iznosi 520 mm (8 · 520 mm = 4160 mm). Ostatak od 40 mm služi za preklapanje prilikom lemljenja. Golu bakarnu žicu treba zaštititi od korozije izolacionim lakom. Dvostruki *kvad* može se izraditi i od pogodne aluminijumske žice. U tom slučaju nije potrebno zaštitno lakiranje.

Za noseću konstrukciju upotrebljena je cev kvadratnog preseka izrađena od aluminijumske legure. Dimenzije profila jakog antenskog jarbola a jesu 35 mm · 3 mm. Na njega su vijcima pričvršćena oba nosača elemenata b dužine 4100 mm izrađena od četvrtaste cevi 15 mm · 2 mm. Dva ojačanja c su od istog materijala i u težištu podupiru nosače elemenata. Vertikalna noseća cev d za dvostruki *kvad* dugačka je 1600 mm, presek joj je kvadrat sa stranicama od 10 mm i zidom debljine 2 mm. Na nosačima elemenata b nalaze se odgovarajući otvori kroz koje se natakne i čvrsto pritegne noseća cev d. Komadić cevi e dugačak je 450 mm i služi samo za pričvršćenje reflektora R_2.

Treba voditi računa o tome da se dvostruki *kvad* mora pričvrstiti izolovano. Malim nepreciznostima konstrukcije i prvenstveno uticajem okoline mogu se izazvati asimetrije koje utiču na malo pomeranje nultih tačaka napona. Slično se dešava i kada se simetrična antena direktno napaja nesimetričnim koaksijalnim kablom. Metalna konstrukcija sa uzemljenjem na vrhovima *kvada*, mogla bi zbog



Sl. 22.26. Bim za opseg od 2 m po amateru DL7KM spreman za rad (foto D. Rogenzak, DL7KM)

toga izazvati gubitke. Nije potrebna izolacija naročito dobrog kvaliteta, jer se u tačkama pričvršćenja nalaze samo veoma mali naponi. Pogodni su svi izolacioni materijali koji nisu osetljivi na vlagu, a naročito su praktični komadi livene smole. Napajani element nalazi se 10 do 30 mm ispred njegove noseće cevi d, već prema debljini izolatora. O tome treba voditi računa prilikom pričvršćavanja nosača da bi razmak reflektora ostao A_R 460 mm, a razmak direktora D_1 300 mm.

Priključna impedanca u centralnoj tački napajanja iznosi oko 60 Ω simetrično, pa se mogu direktno priključiti kablovi karakteristične impedance između 50 i 75 Ω. Izolovana konstrukcija sistema dvostrukog *kvada* omogućava da se u tački napajanja ne priključi transformator za simetriranje. Direktna pobuda nesimetričnim koaksijalnim kablom utiče samo na lagano zakrivljenje lepeze u jednu stranu na dijagramu zračenja *E*, dok druga strana postaje plića. Pri tom ostaju nepromenjeni svi drugi parametri, kao što je pojačanje, glavni smer zračenja, dijagrami *H* i povratno slabljenje.

Ukoliko je potrebna korekcija otpornosti priključne tačke, to se ne vrši promenom razmaka reflektora, (kao što je inače uobičajeno), već malim horizontalnim pomeranjem dvostrukog *kvada* zajedno sa reflektorima prema prvom direktoru. Pri tom antena treba da se nalazi na konačnoj visini postavljanja ili najmanje 2,5 λ iznad tla.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 22

Appelt, W.: Eine stabile HB9CV–Antenne fuer Fahrzeuge, »UKW–Berichte« 7 (1967), sveska 1, strana 14, Verlag H. J. Dohlus, Erlangen

Luz, H.: Eine zerlegbare HB9CV–Richtantenne zum DL6SW–Funskpreshgeraet, »UKW–Berichte« 3 (1963), sveska 3, strana 150, Verlag H. J. Dohlus, Erlangen

Franke, H. J.: Die HB9CV–Antenne fuer VHF und UHF, »UKW–Berichte« 9(1969), sveska 3, strana 142 do 147, Verlag H. J. Dohlus, Erlangen

Oberrender, O., DM2BUO: Die Langyagiantenne als optimale Loesung des Antennenproblems beim UKW–Amateur, »FUNKAMATEUR« 16(1967), sveska 7 do 12, Deutsher Militaerverlag, Berlin

Rothe, G./Spindler, E.: Antennenpraxis, 2. izdanje, poglavlje 8.2., VEB Verlag Technik, Berlin 1966

Overbeck, W.: The VHF Quagi, QST, 1977, april, strana 11 do 14, Newington

Baumgartner, R.: Die HB9CV–Rihtantenne, W. Koerner–Verlag, Stuttgart 1961

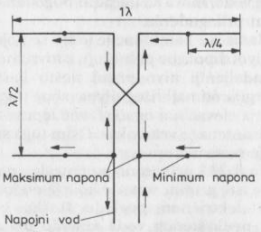
Brown, F.W.: Desing of Yagi Antennas, »CQ« (1963), maj, strana 38 do 41, Cowan Publishing Corp., New York 36, N. Y. 1963

Ehrenspeck, H. W./Poehler, H.6 Eine neue Methode zur Erzielung des groessten Gewinnes bei Yagi–Antennen, Nachrichtentechnische Fachberichte, Sveska 12, Funktechnik, Verlag Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig

23. Grupne antene za opseg od 2 m

Svako međusobno spajanje istih pojedinačnih antena može se nazvati antenskom grupom ili grupnom antenom, ali radio–amateri koriste finiju klasifikaciju. U njihovoj terminologiji grupna antena se uvek sastoji od kombinacije kolinearnih dipola sa dipolima koji su postavljeni vertikalno jedni iznad drugih (odnosno od kombinacije nizova dipola postavljenih u više etaža), pri čemu se unapred pretpostavlja horizontalna polarizacija (vidi odeljke 13.1 i 13.3). Najjednostavnija grupna antena sastojala bi se, prema ovoj definiciji, od dva jednotalasna dipola koji su postavljeni jedan iznad drugog (sl. 23.1), pri čemu jednotalasni dipol predstavlja najjednostavniji niz dipola (dva kolinearna polutalasna dipola). Etažni dipol dobije se paralelnim priključivanjem drugog jednotalasnog dipola.

U amaterskoj praksi i kod većih antenskih grupa pretežno se koriste najjednostavniji nizovi dipola. To znači da se skoro uvek horizontalni jednotalasni dipol postavlja u više vertikalnih ravni. Nezavisno od broja ravni, horizontalni ugao zračenja ove grupne antene određen je isključivo upotrebljenim nizom dipola. Budući da je to, u normalnom slučaju, jednotalasni dipol, horizontalni ugao zračenja takve horizontalno polarizovane grupe antena iznosi oko 65° (vidi odeljak 4.2). Da bi se postiglo jednostrano usmereno dejstvo uz istovremeno povećanje pojačanja, grupna antena za UKT područje skoro uvek ima i podešene pasivne polutalasne reflektore ili, ređe, nepodešenu mrežu reflektora. Na taj način se smanjuje horizontalni ugao zračenja jednotalasnog dipola, a time i cele antenske grupe, na oko 60°.



Sl. 23.1. Grupna antena od četiri elementa

Jednotalasni dipoli se napajaju u maksimumu napona, kao što to proizlazi iz sl. 23.1. Zbog toga su njihove otpornosti u priključnoj tački veoma velike i zavisne od stepena vitkosti (vidi sl. 4.7).

Na otpornost u priključnoj tački jednotalasnih dipola utiče i razmak priključnih tačaka za napajanje, a kod grupnih antena međusobni razmak paralelnih dipola. Faktor skraćenja jednotalasnog dipola zavisi, takođe, od odnosa talasna dužina/prečnik, pa se može odrediti iz dijagrama na sl. 4.7.

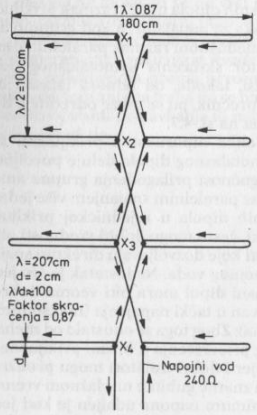
Velika otpornost u priključnoj tački jednotalasnog dipola deluje povoljno na mogućnost prilagođenja grupne antene, jer se paralelnim spajanjem više jednotalasnih dipola u zajedničkoj priključnoj tački, često mogu dobiti vrednosti otpornosti koje dozvoljavaju direktno spajanje napojnog voda. Nedostatak je što jednotalasni dipol mora biti veoma dobro izolovan u tački napajanja (maksimum napona). Zbog toga se odustalo od mehaničkog pričvršćenja u blizini priključne tačke, jer i dobri izolatori mogu prouzrokovati znatne gubitke na vlažnom vremenu. Minimum napona udaljen je kod jednotalasnog dipola oko λ/4 od njegovih krajeva; on se zbog toga učvršćuje na tom mestu, kada je cela antenska konstrukci-

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

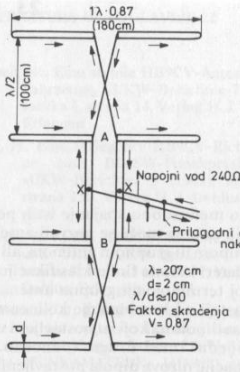
ja izrađena od metala. Budući da raspodela napona kod jednotalasnog dipola nije tako ravnomerna kao kod polutalasnog dipola, u teoretskom čvoru napona ipak postoji određeni napon. Zbog toga se ne preporučuje direktno učvršćenje na metalnu noseću konstrukciju ali je ipak dovoljno da se direktno pričvršćenje u minimumu napona izvede na nosaču od impregniranog drveta.

23.1. Napajanje grupnih antena

Napajanje i prilagođenje grupnih antena objasnićemo na nekoliko primera. Na sl. 23.2 prikazana je grupna antena, koja se sastoji od četiri etaže (četiri paralelna dipola) sa po dva kolinearna polutalasna dipola koji se pobuđuju u fazi (jednotalasni dipoli). Prečnik elemenata d iznosi 20 mm, a radna talasna dužina je 207 cm. Iz toga proizlazi odnos talasna dužina/prečnik 2070 : 20 ≈ 100. Otpornost u priključnoj tački svakog jednotalasnog dipola iznosi oko 1100 Ω, (sl. 4.7), a faktor skraćenja je 0,87. Geometrijska dužina jednotalasnih dipola je:



Sl. 23.2. Grupna antena: napajanje na donjem dipolu, X_1 do X_4 po 1100 Ω, ukupna otpornost u tački X_4 iznosi 1100 : 4 = 275 Ω



Sl. 23.3. Grupna antena sa centralnim napajanjem

207 cm · 0,87 ≈ 180 cm.

Otpornost u priključnoj tački jednotalasnog dipola za dati odnos talasna dužina/prečnik iznosi oko 1100 Ω. Četiri dipola su spojena paralelno, pa otpornost u tački napajanja X_4 iznosi oko 1100 Ω : 4 = 275 Ω. Dakle, u tačku X_4 (odnosno X_3, X_2 ili X_1) može se, uz mali koeficijent stojećih talasa, priključiti simetričan dvožični vod proizvoljne dužine i karakteristične impedance 240 do 300 Ω. Ako se grupna antena napaja koaksijalnim kablom, koristi se polutalasna petlja, kao što je uobičajeno. Pomoću petlje postiže se potrebna transformacija otpornosti u odnosu 4 : 1 i simetriranje. Ako se za otpornost u tački napajanja dobiju vrednosti koje ne omogućavaju direktan priključak napojnog voda, mora se ugraditi pogodan element prilagođenja.

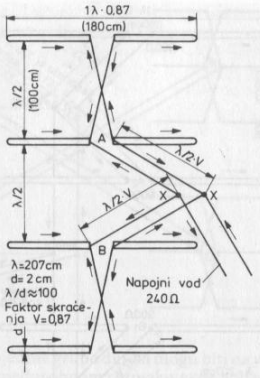
Mana ove kombinacije je što se pojedini nivoi dipola ne pobuđuju istovremeno. Najudaljeniji nivo primi nešto kasnije energiju od najbližeg nivoa; zbog toga se menja elevacioni ugao glavne lepeze zračenja: antena je »razroka«. Osim toga smanjuje se širina opsega.

Na sl. 23.3 prikazano je centralno napajanje iste grupne antene koje je pogodnije u električnom pogledu. Dužina spojnog neukrštenog voda između druge i treće etaže, iznosi λ/2; napojni vod se priključuje u geometrijskoj sredini ovog spojnog voda, pa se on mora posmatrati kao paralelan spoj dva četvrttalasna transformatora. U tačkama A i B javljaju se impedance od oko 550 Ω, koje su posledica paralelne veze dva nivoa. Ako je u tački napajanja XX potrebna priključna impedanca od 240 Ω, svaki četvrttalasni transformator morao bi pretvoriti 550 Ω u 480 Ω. Za karakterističnu impedancu Z spojnog voda A – B, prema jednačini (5.31) dobija se:

$$Z = \sqrt{550\ \Omega \cdot 480\ \Omega} = 510\ \Omega$$

Mehanička izrada paralelnog voda karakteristične impedance od 510 Ω predstavlja poteškoću, jer je razmak paralelnih cevi veliki. Zbog toga bi i razmak tačaka u kojima se priključuju dipoli kod A i B, morao biti širok, a to se ne može dozvoliti. U ovom slučaju je najpovoljnije da se prvo pretpostavi koliko može biti najveće dozvoljeno rastojanje tačaka A i B u kojima se spojni vod vezuje na dipole (odnosno koliko može da bude razmak provonika paralelnog spojnog voda A – B). Zatim se iz tako pretpostavljenog razmaka izračuna karakteristična impedanca voda A – B. Pomoću ovog podatka se izračuna impedanca u tačkama XX. Na kraju se pomoću prilagodnog ogranka napojnog voda (sl. 23.3) izvrši prilagođenje napojnog voda na impedancu u tačkama XX. U praksi su uslovi za prilagođenje obično povoljniji, jer se skoro uvek koriste podešeni reflektori, pomoću kojih se – već prema njihovom razmaku – otpornost u priključnoj tački pojedinog nivoa može dovesti na zgodnu vrednost.

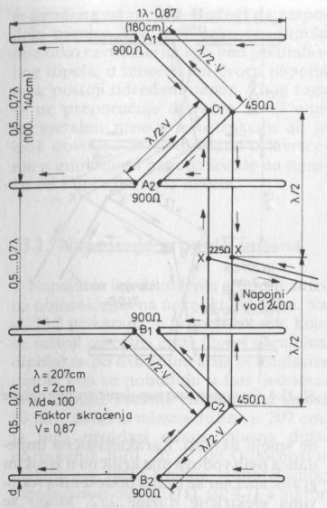
Na sl. 23.4 prikazano je naročito povoljno rešenje napajanja. U ovom slučaju se ne koriste četvrttalasni transformatori; umesto njih postavljeni su između XX – A i XX – B polutalasni vodovi, koji prenose otpornost u odnosu 1 : 1. U ovom slučaju ulazne impedance u tačkama A i B iznose po 550 Ω. One se prenose i u tačku XX, ali su u njoj međusobno paralelne, pa rezultantna otpornost u napojnoj tački XX iznosi samo 275 Ω. Napajanje se može vršiti vodom od 240 Ω, jer je tada neprilagođenje zanemarljivo malo. Na osnovu strelica koje pokazuju smer struje, vidi se da se vodovi XX – A i XX – B



Sl. 23.4. Širokopojasno napajanje grupne antene

ne smeju ukrstiti. Karakteristična impedanca ovih vodova nije kritična u širokim granicama, jer se radi o podešenim vodovima električne dužine λ/2. Mogu se upotrebiti paralelni žičani vodovi sa vazduhom kao izolatorom ili UKT trakasti vodovi, s tim što se pri dimenzionisanju dužine mora voditi računa o pripadajućem faktoru skraćenja.

Na sl. 23.5 dat je primer potpuno simetričnog širokopojasnog napajanja grupne antene. U ovom slučaju pretpostavlja se, da se na četvrttalasnoj udaljenosti od svakog napajanog polutalasnog dipola nalazi podešeni, pasivni polutalasni reflektor. Zbog toga se otpornost u priključnoj tački svakog nivoa smanjuje na oko 900 Ω. Koriste se isključivo polutalasni vodovi koji ne vrše transformaciju, pa se u tački napajanja dobije priključna impedanca XX od oko 225 Ω kao posledica paralelne veze četiri pojedinačne otpornosti. Kao što je napomenuto, karakteristična impedanca podešenih polutalasnih vodova nije kritična, pa se mora voditi računa samo o faktoru skraćenja V (za paralelne žičane vodove sa vazduhom kao izolatorom $V = 0{,}975$; za UKT trakaste vodove $V = 0{,}80$ odnosno 0,84). Ovaj način napajanja dozvoljava da se razmak etaža poveća na optimalnu vrednost od oko 0,7 λ, pri



Sl. 23.5. Potpuno simetrično širokopojasno napajanje grupne antene

čemu raste i pojačanje antenskog sistema.

Ako se koriste grupne antene sa neparnim brojem paralelnih jednotalasnih dipola, npr., tri ili pet etaža, onda se iz mehaničkih razloga ne mogu primeniti napred opisane metode napajanja. Kao što se vidi na sl. 23.6, napojni vod se priključuje direktno na srednji dipol. Ako vrednosti otpornosti u tački napajanja nisu »zgodne«, prilagođenje na karakterističnu impedancu napojnog voda vrši se pomoću četvrttalasnog transformatora. Tada pobuda pojedinih jednotalasnih dipola nije istovremena. To je naročito izraženo kod antene sa pet paralelnih dipola, pa se mora računati sa malim poremećajem dijagrama zračenja u ravni *H*.

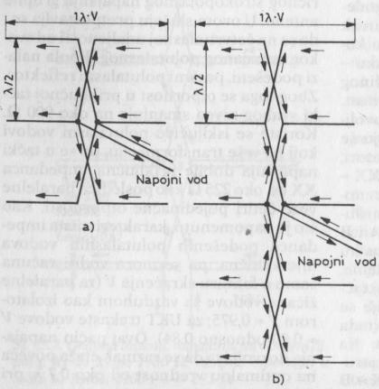
Veći sistemi grupnih antena dele se u manje grupe i pobuđuju kao na sl. 23.7.

Ovo napajanje zahteva da budu ispunjeni sledeći uslovi:

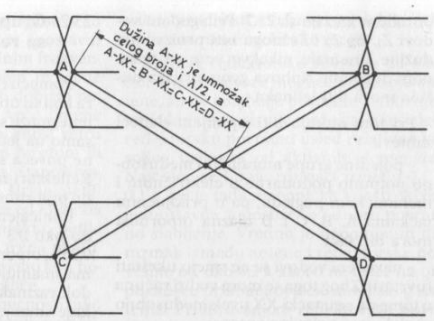
– pojedine grupe moraju se međusobno potpuno podudarati električno i mehanički, pa i otpornosti u priključnim tačkama A, B, C i D moraju biti jednake;

– spojni vodovi A – XX, B – XX, C – XX i D – XX moraju biti po dužini jednaki, a dužina treba da bude umnožak celog broja i λ/2 (voditi računa o faktoru skraćenja);

– navedeni vodovi se ne smeju ukrstiti (uvrnuti); zbog toga treba voditi računa o



Sl. 23.6. Napajanje grupne antene sa neparnim brojem paralelnih dipola: a – tri nivoa, otpornost u tački napajanja XX = 1/3 otpornosti u priključnoj tački pojedinog jednotalasnog dipola; b – pet nivoa, otpornost u tački napajanja XX = 1/5 otpornosti u priključnoj tački pojedinog jednotalasnog dipola

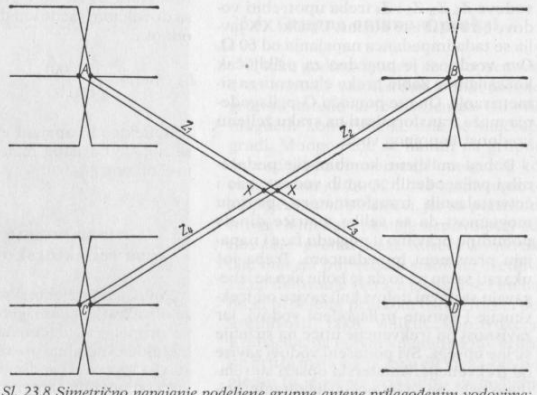


Sl. 23.7. Simetrično napajanje podeljene grupne antene za podešene spojne vodove; otpornost u tački napajanja XX = 1/4 otpornosti pojedine grupe u tački A (A = B = C = D)

tome da se u tački XX međusobno spajaju uvek iste polovine antena (kao što je prikazano na sl. 23.7).

Otpornost u tački napajanja XX prikazanog paralelnog spoja četiri jednake grupe dipola iznosi 1/4 otpornosti u priključnoj tački jedne grupe. Ako ulazna otpornost u A, B, C i D iznosi, npr., po 240 Ω, otpornost u tački napajanja XX biće 60 Ω. Četiri spojna voda su podešeni vodovi, pa njihova karakteristična impedanca praktično nema značaja. Budući da pojedine grupe dipola mogu biti na većem međusobnom razmaku nego kod sabijene konstrukcije, raste i pojačanje koje se može postići. Ako se poštuju navedena pravila, na ovaj način mogu se napajati velike matrice (grupe) dipola.

Postoji još jedna metoda napajanja koja ne koristi podešene, već prilagođene spojne vodove i zbog toga ima mehaničkih i električnih prednosti. Kao što je prikazano na sl. 23.8, i u ovom slučaju su upotrebljene pojedine grupe sa istim ras



Sl. 23.8 Simetrično napajanje podeljene grupne antene prilagođenim vodovima: karakteristična impedanca $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4$; otpornost u tački napajanja XX = 1/4 Z 1

poredom kao na sl. 23.7. Prilagođeni vodovi Z_1, Z_2, Z_3 i Z_4 mogu biti proizvoljne dužine i nemaju nikakve veze sa talasnom dužinom. Njihova geometrijska dužina mora biti jednaka.

Pri tom moraju biti ispunjeni sledeći zahtevi:

– pojedine grupe moraju biti međusobno potpuno podudarne u električnom i mehaničkom pogledu, pa u priključnim tačkama A, B, C i D ulazna otpornost mora biti ista;

– navedeni vodovi se ne smeju ukrštati (uvrtati). Zbog toga se mora voditi računa o tome da se u tački XX uvek međusobno spajaju iste polovine antena;

– karakteristična impedanca spojnih vodova Z_1, Z_2, Z_3 i Z_4 mora tačno odgovarati otpornosti u priključnim tačkama A, B, C i D ili se mora prilagoditi pomoću jednakih elemenata za prilagođenje.

U ovom slučaju su u tački XX, paralelno spojena četiri simetrična voda iste karakteristične impedance, pa je njena priključna impedanca jednaka samo $\frac{1}{4}$ karakteristične impedance upotrebljenog spojnog voda.

Ako je ulazna otpornost pojedinih grupa u A, B, C i D, npr., po 240 Ω, onda za vodove Z_1, Z_2, Z_3 i Z_4 treba upotrebiti vodove od 240 Ω iste dužine. U tački XX javlja se tada impedanca napajanja od 60 Ω. Ova vrednost je pogodna za priključak koaksijalnog kabla preko elementa za simetriranje. Ona se pomoću Q–prilagođenja može transformisati na svaku željenu vrednost napojnog voda.

Dobro smišljene kombinacije podešenih i prilagođenih spojnih vodova, kao i četvrttalasnih transformatora, pružaju mogućnost da se velike matrice dipola pobuđuju pravilno u pogledu faze i napajaju pravilnom impedancom. Treba još ukazati samo na to da je bolje ako se izbegavaju sastavni delovi koji zavise od frekvencije i koriste prilagođeni vodovi, jer zavisnost od frekvencije utiče na suženje širine opsega. Svi podešeni vodovi zavise od frekvencije. Amaterski opsezi su relativno uski, pa se ne postavlja pitanje širine opsega u toj meri kao, npr., kod TV antena.

23.2. Grupne antene sa reflektorima

Pomoću reflektora zračenje u dva smera koji su upravni na površinu grupne antene, može se pretvoriti u glavno zračenje samo na jednom smeru. Pojačanje antene poveća se pri tom prosečno za 3 dB. Reflektori istovremeno utiču na promenu otpornosti u priključnoj tački sistema.

Uobičajeni su razmaci reflektora od 0,1 do oko 0,3 λ. Ako je razmak reflektora 0,25 λ, otpornost u priključnoj tački sistema smanjuje se samo malo (za oko 20%), dok razmak reflektora od 0,1 λ prouzrokuje smanjenje ulazne otpornosti za približno 75%. Maksimalno pojačanje antene postiže se za razmak reflektora od 0,15 λ; pojačanje antene se menja najviše za 0,8 dB unutar opsega razmaka od 0,1 do 0,3 λ.

Priključna impedanca grupnih antena može se naknadno korigovati promenom razmaka reflektora. U sledećim primerima, odustalo se od te mogućnosti. Za svaku polutalasnu sekciju unutar niza dipola treba predvideti podešeni polutalasni reflektor. Nisu podesni jednotalasni dipoli bez prekida, jer se oni ne pobuđuju u fazi. Geometrijska dužina polutalasnog reflektora L_R za UKT područje može se, sa dovoljnom tačnošću dobiti iz sledećeg odnosa:

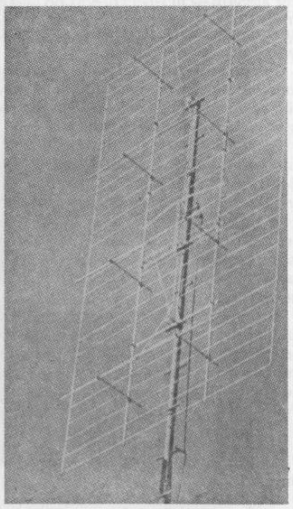
$$L_R\,(\text{mm}) = \frac{152000}{f\,(\text{MHz})} \qquad (23.1)$$

Reflektor i napajani element izrađuju se uopšte od istog materijala i sa istim prečnikom.

23.3. Grupne antene sa reflektorskom mrežom

Površinski reflektori su malo nezgodni za ultrakratke talase; glavna oblast njihove primene su decimetarski talasi. Reflektujuća metalna površina koja se postavlja iza površine dipola treba da bude veća od površine antene najmanje za λ/2 u svakom smeru. Reflektorska površina ne zavisi od talasnè dužine, kao kod reflektora u obliku štapa. Zbog toga se pred reflektorsku površinu može postaviti više antena sa različitim radnim frekvencijama. Reflektorske površine izrađene od lima odlikuju se naročito dobrim povratnim slabljenjem. Kako veće limene površine pružaju veliku otpornost vetru često se zamenjuju žičanom mrežom ili površinom sa vodoravnim štapovima. Razmak štapova, odnosno širina petlji mreže, ne treba da bude veća od λ/20. Da bi se izbeglo gubljenje kontakta, petlje upotrebljene žičane mreže treba međusobno zalemiti; to je već učinjeno kod poznate pocinčane mreže za piliće.

Mreža se postavlja po mogućnosti tako da njene prepletene strane budu paralelne sa smerom antene (kod horizontalne polarizacije treba da budu vodoravne). Radio-amateri retko koriste reflektorske površine izgrađene od paralelnih cevi, kao što je površina prikazana na slici 23.9. One su skupe, a nemaju posebne električne prednosti u odnosu na daleko jeftinije površine od žičane mreže.



Sl. 23.9. Grupna antena sa osam elemenata ispred reflektorske površine po amateru DL6MH

Razmak reflektorske površine od oko 0,65 λ daje najveće moguće pojačanje antene, ali ne i najbolje povratno slabljenje, jer jedan deo energije može da »zaobiđe« reflektorsku površinu usled relativno visokog razmaka od aktivnih elemenata. Najčešće se biraju razmaci između 0,1 i 0,3 λ, jer je tada mehanička konstrukcija jednostavna, a postiže se i dobro povratno slabljenje. Vredno je napomenuti da razmak između antene i reflektorske površine od oko 0,2 λ skoro ne utiče na otpornost u priključnoj tački antenskog sistema. Približavanjem reflektorske površine anteni smanjuje se ulazna otpornost.

Podešenim reflektorom u obliku štapa može se postići prosečan porast pojačanja od 3 dB, a dovoljno velikom reflektorskom površinom, do 7 dB. Još veća pojačanja mogu se ostvariti ugaonim reflektorskim površinama, paraboličnim reflektorima i sličnim specijalnim oblicima.

Na sl. 23.9 prikazan je primer grupne antene sa osam elemenata ispred reflektorske površine koja je izgrađena od štapova.

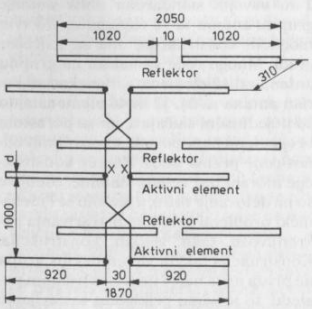
23.4. Grupne antene u praksi

U toku godina amateri su na opsegu od 2 m usvojili standardan oblik antene: grupnu antenu sa 16 elemenata. Od svih mogućih konstrukcija, ona se najčešće gradi. Mnogo ređe se naizali na grupnu antenu od 12 elemenata. Ponekad se koristi antena sa 24, 32 ili 48 elemenata; to su pojedinačni slučajevi, jer sa porastom broja elemenata postaje nepovoljniji odnos cene prema snazi. Noseće konstrukcije moraju biti veoma stabilne, osetljive su na delovanje vetra, a javljaju se i mehanički problemi prilikom ostvarivanja pokretljivosti tako velikih konstrukcija. Konstrukcija takvih »mamutskih« grupa ne pruža ništa naročito u električnom pogledu; to je samo prikladno sastavljanje grupnih antena sa 12 elemenata ili proverenih grupnih antena sa 16 elemenata.

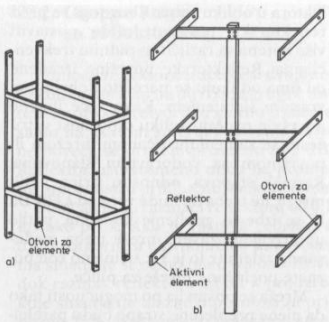
23.4.1. Grupna antena sa 12 elemenata

Grupa sa 12 elemenata sastoji se od tri jednotalasna dipola sa podešenim polutalasnim reflektorima, koji su postavljeni jedan iznad drugog u tri etaže na razmaku od λ/2, (sl. 23.10). Razmak reflektora je 0,15 λ, a pojačanje antene iznosi oko 9,5 dB. Priključna otpornost tačke napajanja XX iznosi oko 240 Ω. Ova grupa sa centralnim napajanjem dimenzionisana je za 145 MHz sa širinom opsega većom od 15 MHz, što je znatno više od širine amaterskog opsega od 2 MHz. Spojni vidovi između etaža su ukršteni, a na mestima ukrštanja treba da budu dobro izolovani jedan od drugog. Budući da su to podešeni vodovi električne dužine λ/2, prečnici žice i razmak žica nemaju naročiti značaj. Prečnici žice ne treba da budu premaleni, jer se duž vodova prostiru stojeći talasi.

Prilikom izgradnje prečnici elemenata treba da budu prema navedenim podacima, jer otpornost u priključnoj tački i dužina jednotalasnih dipola mnogo zavise od stepena vitkosti. Elementi se obično izrađuju od okruglih aluminijumskih štapova ili cevi, što je potpuno isto u električnom pogledu. Spojni vodovi moraju biti, takođe, od aluminijumske žice prečnika 3 do 6 mm, jer bi, npr., spoj aluminijum – bakar mogao izazvati električke procese razaranja. Treba obratiti naročitu pažnju da spojevi imaju siguran kontakt i da su obezbeđeni od vlage (lakiranje, omotavanje plastičnom folijom itd.). Ako se za napajane elemente upotrebi bakarna cev, moraju i spojni vodovi biti od bakra. U tom slučaju se spojni vodovi leme na elemente. Reflektori se uvek izrađuju od aluminijumske legure.



Sl. 23.10. Grupna antena sa 12 elemenata za opseg od 2 m



Sl. 23.11. Nosač grupne antene od 12 elemenata: a – naročito stabilan nosač, b – lagani nosač

Obično se postiže talasnost napojnog voda od oko 1,5; odgovarajućim naknadnim menjanjem razmaka reflektora, ova vrednost se može još poboljšati.

Elementi se pričvršćuju izolovano u minimumu napona, pa su drveni nosači i električno i mehanički pogodni. Za izgradnju nosača koriste se suve, obrađene letve od smreke. One se prethodno dobro impregniraju ksilolinom, karbolineumom, lanenim uljem i sl. Na sl. 23.11 prikazana su dva konstruktivna rešenja nosača grupne antene.

Više grupa od 12 elemenata mogu se kombinovati u veće sisteme i napajati prilagođenim vodovima, vodeći računa o napomenama koje su za podeljene grupne antene date u odeljku 23.1.

Mehanički i električni podaci uz sl. 23.10:

prečnik elemenata: d = 6 do 10 mm,

prečnik spojnih vodova: oko 3 mm (nije kritičan),

visina antene: oko 2000 mm = 1 λ,

otpornost u tački napajanja XX: 240 Ω simetrično,

pojačanje: oko 9,5 dB,

povratno slabljenje: oko 14 dB,

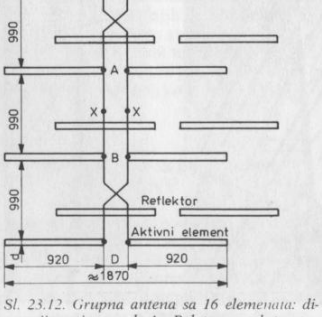
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 60°$,

vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 50°$.

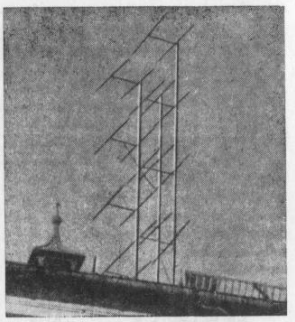
23.4.2. Grupna antena sa 16 elemenata

Ako se na tri etaže grupe sa 12 elemenata doda još jedna etaža, nastaje grupna antena sa 16 elemenata (sl. 23.12). Horizontalna širina zračenja se ne menja, a vertikalni ugao zračenja postaje još manji. Pojačanje poraste za oko 1 dB na ukupno 10,5 dB.

Spojni vod A – B ne ukršta se između druge i treće etaže, pa formira već poznati paralelni spoj dva četvrttalasna transformatora. Njegovo dimenzionisanje je kritično, jer on u tački XX mora da ostvari prilagođenje između antenskog sistema i napojnog voda. Ako se otporost u tački napajanja XX dimenzioniše na uobičajenih 240 Ω, onda se spojni vod A – B sastoji od žice ili cevi, čiji se prečnik prema međusobnom razmaku – od sredine jedne do sredine druge žice – odnosi kao 1 : 18. Za prečnik žice od 3 mm razmak iznosi 54 mm.



Sl. 23.12. Grupna antena sa 16 elemenata: dimenzije spojnog voda A – B date su u tekstu, prečnik d svih elemenata = 10 mm, razmak D odgovara razmaku provodnika voda A – B



Sl. 23.13. Grupna antena sa 16 elemenata po amateru OE2JG

Ako napajanje treba da bude pomoću koaksijalnog kabla od 60 Ω, postoje dve mogućnosti: u tački napajanja zadržava se impedanca od 240 Ω, a koaksijalni kabl se u tom slučaju priključuje preko polutalasne petlje (vidi odeljak 7.5). Druga mogućnost je da već spojni vod A – B izvrši transformaciju impedance u tački XX na 60 Ω. Tada se za spojni vod mora odabrati odnos razmak/prečnik od 3 : 1. Mada je sada impedanca tačke XX jednaka impedanci koaksijalnog kabla, ipak se mora izvršiti simetriranje pomoću četvrttalasnog lonca za simetriranje ili nečeg sličnog. U oba slučaja trošak i trud su isti.

Kabl i član za simetriranje moraju se postaviti pod pravim uglom u odnosu na spojni vod da ne bi uticali na karakterističnu impedancu voda A – B. Mehanički podaci koji su dati za grupnu antenu sa 12 elemenata važe i za grupnu antenu sa 16 elemenata. Na sl. 23.13 prikazan je primer konstrukcije grupne antene sa 16 elemenata.

Mehanički i električni podaci:

prečnik elemenata: 10 mm (može do 12 mm),

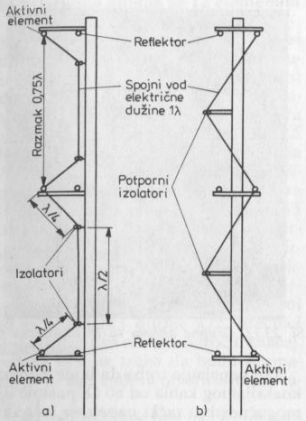
prečnik ukrštenih spojnih vodova: 3 mm (nije kritičan),

visina antene: oko 3000 mm,

vod A – B: odnos prečnik/razmak 1 : 18, npr., 3 mm: 54 mm (kritičan),

otpornost u priključnoj tački: 240 Ω simetrično,

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 23.14. Jednotalasni vod za uspostavljanje optimalnih razmaka između etaža: a i b – primeri konstrukcije

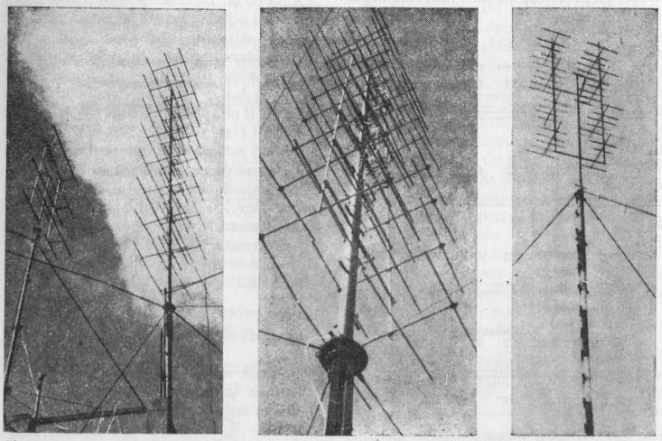
pojačanje oko 10,5 dB,
povratno slabljenje: oko 14 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 60°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 42°$.

Grupne antene mogu se graditi i napajati na najrazličitije načine. Oba prethodna, teoretski objašnjena primera dovoljna su da podstaknu čitaoca na razmišljanje o sopstvenoj konstrukciji. Radi toga daćemo još nekoliko uputstava.

U opisanim primerima razmak etaža je uvek $\lambda/2$, jer je unapred zadat odabranim polutalasnim spojnim vodovima. Međutim, najveće pojačanje antene javlja se kada je razmak između dva paralelna polutalasna ili jednotalasna dipola oko 0,65 λ. Ovaj optimalni razmak menja se sa brojem etaža po sledećoj skali:

2 nivoa – razmak 0,65 λ,
3 nivoa – razmak 0,75 λ,
4 nivoa – razmak 0,80 λ,
5 nivoa – razmak 0,83 λ,
6 nivoa – razmak 0,86 λ,
8 nivoa – razmak 0,90 λ.

To su približne vrednosti. Ovi najpovoljniji razmaci etaža postižu se pomoću

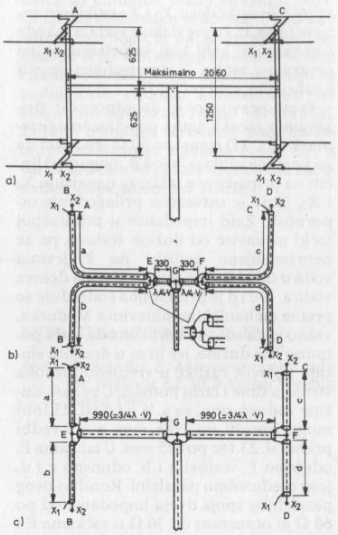


Sl. 23.15. Grupne antene, koje mogu da služe za uzor: a – grupna antena sa 48 elemenata po amateru DL6MH, levo pored nje grupa sa 12 elemenata; b – grupna antena sa 48 elemenata po amateru DL6MH; c – grupna antena sa 48 elemanta po amateru DJ3EA

jednotalasnih spojnih vodova. Budući da je razmak nivoa uvek manji od 1 λ, to se, radi izjednačavanja viška dužine, jednotalasni vod polaže okolnim putem. Na sl. 23.14 prikazana su dva primera izvedbe. Metoda prema sl. 23.14a ima malu prednost u odnosu na metodu b, jer je dvožični vod svaki put pričvršćen u $\lambda/4$ – dakle, u minimumu napona. Zbog toga se koriste samo kratki potporni izolatori koji ne moraju biti posebno kvalitetni. U izvedbi kao na sl. 23.14b, vod se podupire kod $\lambda/2$ – u maksimumu napona. Zbog toga su potrebni veoma kvalitetni potporni izolatori. Kod jednotalasnog voda treba uzeti u obzir faktor skraćenja. Kod paralelnih žičanih vodova sa vazduhom kao izolatorom on iznosi 0,975, a kod debljih vodova od paralelnih cevi sa vazduhom kao dielektrikom 0,95. Mogu se upotrebiti i UKT trakasti vodovi, simetrični gajtani i oklopljeni simetrični dvožični vodovi. Smanjeni jednotalasni vod, zbog faktora skraćenja navedenih tipova vodova, može se položiti i bez zaobilaska (*V* iznosi 0,65 do 0,85, već prema vrsti kabla). Kada se nivoi pobuđuju u fazi, nasuprot ukrštanju polutalasnih spojnih vodova, ne sme se vršiti ukrštanje jednotalasnog voda.

Ako se polutalasni dipoli postave jedan iznad drugog, smanjuje se njihova otpornost u priključnoj tački i ona postiže minimalnu vrednost kod optimalnog razmaka etaža. Jednotalasni dipoli, od kojih se sastoje grupne antene uopšte, ponašaju se obratno; kod njih se najpovoljniji razmak etaža poklapa sa povećanjem otpornosti u priključnoj tački.

Na sl. 23.15 prikazano je nekoliko izgrađenih grupnih antena koje mogu da služe kao uzor.



Sl. 23.16. Horizontalno polarizovana grupa usmerenih antena po amateru HB9CV, mehanička konstrukcija i sistemi napajanja

23.4.3. Grupna antena po principu amatera *HB9CV*

Jednostrano usmerena antena po amateru *HB9CV* odlikuje se velikim pojačanjem i velikom izdržljivošću na delovanje vetra, a pri tom je jeftina. Zbog toga je logično da se ova antena (prema tački 2.21.2) upotrebi u grupnoj anteni. Amater *DM2AWD* konstruisao je grupu od četiri antene *HB9CV*, pomoću koje se, uz znatno manji utrošak materijala, postižu isti rezultati kao *jagi*-antenom »9 iznad 9«.

Upotrebljene usmerene antene amatera *HB9CV* izvedene su (prema sl. 22.2) sa otpornošću u tački napajanja od 60 Ω. Prilikom konstrukcije grupe, prema sl. 23.16a, vertikalni razmaci između elemenata A i B, kao i između C i D iznose 1250 mm; to odgovara 0,6 λ, pa su približno optimalni (najmanji razmak je 0,5 λ). Bočni razmak od A do C, odnosno od B do D, meren od sredine jednog do sredine drugog elementa, iznosi 2060 mm (= 1 λ). Grupa je u celini izgrađena od metala.

Pobuđivanje i napajanje ove grupe je vrlo jednostavno i mudro izvedeno, a vrši se isključivo pomoću koaksijalnog kabla od 60 Ω uz ostvareno prilagođenje u pogledu impedance i simetrije. Na sl. 23.16b i 23.16c prikazana je pobuda sistema; radi bolje preglednosti ucrtani su samo vodo-

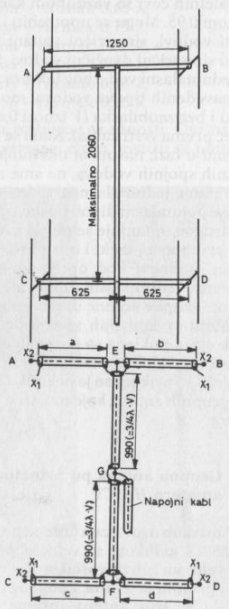
vi na čije se krajeve X_1 i X_2 priključe antene *HB9CV*. Za sve delove voda, a takođe i za napojni kabl koji se priključuje na centralnu tačku G, upotrebljen je isti koaksijalni kabl od 60 Ω.

Pretpostavljeno je da otpornost priključnih tačaka četiri pojedinačna sistema A, B, C i D iznosi po 60 Ω. To znači da se komadi kabla a, b, c i d mogu priključiti na pripadajuće tačke za napajanje X_1 i X_2, čime je ostvareno prilagođenje otpornosti. Zato impedance u priključnoj tački ne zavise od dužine vodova, pa se nepromenjene javljaju na krajevima voda u tački E, odnosno F. Dužina delova voda a, b, c i d je proizvoljna i određuje se prema mehaničkim zahtevima. Međutim, važno je da su sva četiri komada voda potpuno iste dužine, jer bi se u drugom slučaju pojavile razlike u vremenu protoka struje, a time i fazni pomaci. U praksi, dužine vodova, npr., za a, b, c i d (sl. 23.16b) mogu iznositi po 1285 mm, a u izvedbi prema sl. 23.16c po 625 mm. U tačkama E, odnosno F, vodovi a i b, odnosno c i d, jesu međusobno paralelni. Rezultat ovog paralelnog spoja dveju impedanci od po 60 Ω je otpornost od 30 Ω u tačkama E i F. Između E i G, kao i između F i G, nalaze se sada četvrttalasni transformatori (vidi odeljak 6.5). I oni se sastoje od koaksijalnog kabla od 60 Ω, a električna dužina im je $\lambda/4$ (sl. 23.16b). Iste transformacione karakteristike poseduju i vodovi čija je električna dužina umnožak neparnog broja i $\lambda/4$. Zbog toga je u varijanti na sl. 23.26c upotrebljen transformacioni vod električne dužine 3/4 λ. Uzimajući u obzir faktor skraćenja *V*, koji kod kablova od 60 Ω sa polietilenskim dielektrikom bez vazdušnih šupljina iznosi 0,66, mehaničke dužine vodova oba četvrttalasna transformatora (sl. 23.16b) iznose po 330 mm ($\frac{1}{4}\lambda \cdot 0{,}66$). Kod električno identičnog rešenja (sl. 23.16c), dužine iznose 990 mm ($3/4\,\lambda \cdot 0{,}66$). Iz odnosa koji važi za četvrttalasne transformatore

$$Z_i = \frac{Z^2}{Z_u}$$

proizlazi da svaki od transformatora prenosi u tačku G impedancu Z_i od po 120 Ω [$Z_i = (60\ \Omega)^2/30\ \Omega = 120\ \Omega$]. Budući da su u centralnoj tački napajanja G obe impedance opet paralelno spojene, dobije se centralna priključna otpornost od 60 Ω. To znači da se napojni kabl od 60 Ω može pravilno priključiti u tačku G, čime se ostvaruje prilagođenje i istofazna pobuda sva četiri pojedinačna sistema. U vezi sa istofaznom pobudom, mora se još voditi računa o tome da se kod pojedinih antena amatera *HB9CV* svi gama–članovi uz kablovski priključak okrenu u istom smeru.

Na svim priključnim mestima E, F i G treba međusobno spojiti sve spoljašnje i sve unutrašnje provodnike koji se dovode i pri tom treba obezbediti zaptivenost ovih mesta radi sprečavanja korozije (veštački lepak, smole). Sistem za napaja-



Sl. 23.17. Vertikalno polarizovana grupa antena po amateru HB9CV, mehanička konstrukcija i sistemi napajanja

nje (sl. 23.16c) električki je identičan ali njegova prednost je u tome što zahteva manje kabla.

Sa horizontalnim razmacima A – C, odnosno B – D, od 1 λ postiže se mali horizontalni ugao zračenja grupne antene od oko 30°; istovremeno se u horizontalnom dijagramu javljaju i dva jaka bočna snopa, što je uslovljeno relativno velikim razmakom. Zbog toga je bolje da se ovi razmaci smanje na 0,6 do 0,7 λ (= 1250 do 1450 mm). Tada se izgube bočni snopovi, a horizontalni ugao zračenja se poveća na oko 40°. Ovim smanjenjem sistema povećava se izdržljivost na delovanje vetra. Vertikalni ugao zračenja sistema iznosi oko 55°; može se računati sa pojačanjem antene od oko 11 dB.

Grupa od četiri antene po amateru *HB9CV* naročito je pogodna i sa vertikalnom polarizacijom, kao što je prikazano na sl. 23.17. Prikazana mehanička konstrukcija eliminiše uticaj metalnih nosača na karakteristiku zračenja. I kod ove antene povoljno je da se vertikalni razmak od 2060 mm smanji na oko 1450 mm i da se vodovi koji vrše transformaciju, iz mehaničkih razloga, dimenzionišu na električnu dužinu od $\frac{1}{4}\lambda$ (po 330 mm) (sl. 23.16b). U slučaju vertikalne polarizacije horizontalni ugao zračenja iznosi 55°, a vertikalni oko 40°. Može se, takođe, računati sa pojačanjem od 11 dB.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 23

Rothe, G./Spindler, E.: Antennenpraxis, 2. izdanje, poglavlje 8.2. VEB Verlag Technik, Berlin 1962

24. *Jagi*–antene i grupne antene za amaterski opseg od 70 cm

U UVF području u kome amaterima stoji na raspolaganju opseg od 70 cm, najviše se ceni dugačka *jagi*–antena. U tom opsegu se još uvek može postići veza sa malim brojem amaterskih stanica, pa se ne isplati koristiti naročito komplikovane antenske sisteme. Zbog toga se najrađe bira antena koja daje maksimalno pojačanje uz minimalan mehanički trud. Dugačka *jagi*–antena *najbolje* ispunjava ove zahteve. Za rad u opsegu od 70 cm nema praktičnog značaja to što je njen horizontalni ugao zračenja veoma mali, jer se većina veza ostvaruje tek posle prethodnog uspostavljanja veze sa istom korespondentnom stanicom na opsegu od 2 m. Zbog toga se, uglavnom, već poznaje pozivni znak i lokacija partnera u opsegu od 70 cm, pa se antena može usmeriti na odgovarajući način. U praksi, skoro svaki amater na 70 cm radi i u znatno gušće zauzetom opsegu od 2 m koji se koristi za pripremu veza na 70 cm.

Kratke *jagi*–antene mogu poslužiti za rad na opsegu od 70 cm na manjim udaljenostima. Ko ne želi da okreće antenu često, može se opredeliti za grupnu antenu.

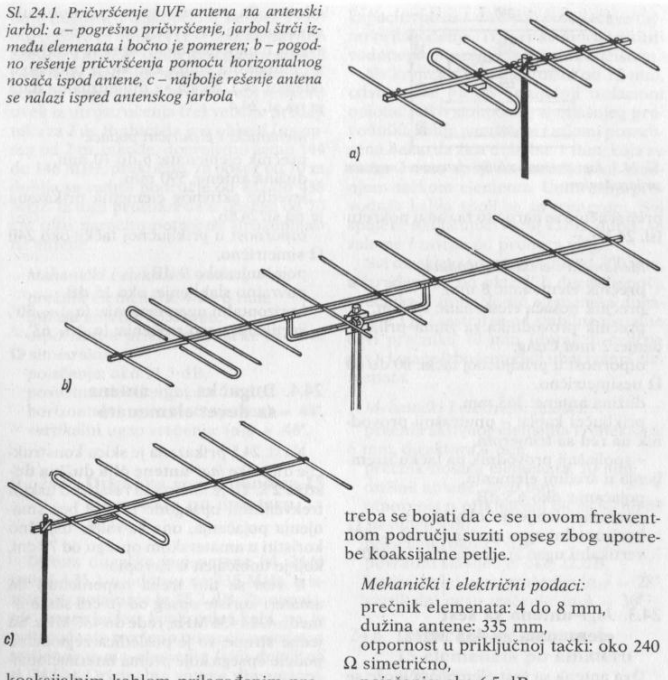
Gubici koji zavise od frekvencije, brzo rastu u UVF području. Upotrebu izolatora, čak i veoma kvalitetnih, treba po mogućnosti izbegavati; kao izolator najbolje je upotrebiti vazduh, jer on ima najmanje gubitaka. Napojni vod treba da bude što kraći. UKT trakasti vod može se koristiti samo pri povremenom radu u pokretu, kao kratak vod za »lepo vreme«. Za stacionarna postrojenja koristi se isključivo najbolji koaksijalni kabl (po mogućnosti sa dielektrikom u kome se nalazi vazduh).

Prilikom mehaničke izgradnje UVF antena treba naročito voditi računa o tome da ne dođe do izobličenja polja. Ona mogu nastati zbog loše montaže metalnih delova. To se naročito odnosi na antenski jarbol. On ne sme da štrči između elemenata, niti da bude bočno pomeren u odnosu na nosač elemenata. Ta dva negativna primera greške prikazane su na sl. 24.1a. Takav način pričvršćivanja je uobičajen i dozvoljen u VVF području; kod UVF antene on prouzrokuje veliko pogoršanje karakteristika antene. Kratke *jagi*–antene za opseg od 70 cm mogu se direktno pričvrstiti na relativno tanku vertikalnu cev ako se vodi računa o tome da se nosač elemenata nalazi neposredno na njenom vrhu (antenski jarbol) i da nije bočno pomeren. Dugačke *jagi*–antene pričvršćuju se pomoću horizontalnog nosača ispod nje (sl. 24.1b). I u ovom slučaju horizontalni nosač i antenski jarbol moraju biti pod uglom od 90°. Najpovoljniji električni odnosi javljaju se kada je cela UVF antena pričvršćena ispred antenskog jarbola kao na sl. 24.1c. U principu, *jagi*–antene za opseg od 70 cm izrađuju se potpuno od metala. To je uzeto u obzir kod svih podataka o dimenzijama koji se dalje navode. Prečnik nosača elemenata može biti između 15 i 25 mm, ukoliko nije drugačije navedeno. Svi su podaci dati u mm.

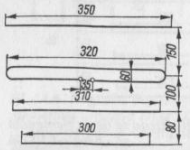
24.1. Jagi–antena sa četiri elementa i velikom širinom opsega

Jagi–antena sa četiri elementa (sl. 24.2) može se upotrebljavati u frekventnom opsegu od oko 400 MHz do 470 MHz. Njena otpornost u priključnoj tački iznosi približno 240 Ω, pa se napajanje vrši

Sl. 24.1. Pričvršćenje UVF antena na antenski jarbol: a – pogrešno pričvršćenje, jarbol štrči između elemenata i bočno je pomeren; b – pogodno rešenje pričvršćenja pomoću horizontalnog nosača ispod antene, c – najbolje rešenje antena se nalazi ispred antenskog jarbola



koaksijalnim kablom prilagođenim preko polutalasne petlje (vidi odeljak 7.5). Ako se polutalasna petlja napravi od uobičajenog koaksijalnog kabla čiji je faktor skraćenja 0,66, onda je njena geometrijska dužina 228 mm. Ako se koristi koaksijalni kabl sa malim gubicima (šupljikav dielektrik, ali osetljiv na vlagu), onda je faktor skraćenja oko 0,77, pa geometrijska dužina petlje mora biti 266 mm. Ne



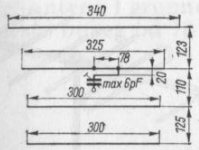
Sl. 24.2. Širokopojasna jagi-antena sa četiri elementa za 435 MHz

treba se bojati da će se u ovom frekventnom području suziti opseg zbog upotrebe koaksijalne petlje.

Mehanički i električni podaci:
prečnik elemenata: 4 do 8 mm,
dužina antene: 335 mm,
otpornost u priključnoj tački: oko 240 Ω simetrično,
pojačanje: oko 6,5 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 60°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 100°$.

24.2. *Jagi*–antena sa četiri elementa i gama–prilagođenjem

Ova antena za opseg od 70 cm predviđena je za direktan priključak koaksijalnog kabla; upotrebljenim gama–prilagođenjem dobija se nesimetrična tačka napajanja. Trimer (maksimalni kapacitet oko 6 pF) je spojen na red sa unutrašnjim provodnikom kabla i on služi za kompenzaciju induktivne reaktance, koja je unesena gama–prilagođenjem. Ova antena



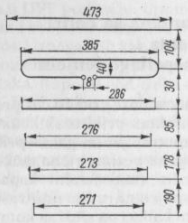
Sl. 24.3. Jagi-antena sa četiri elementa i sa gama prilagođenjem

preporučuje se naročito za rad u pokretu (sl. 24.3).

Mehanički i električni podaci:
prečnik elemenata: 8 mm,
prečnik nosača elemenata: 15 mm,
prečnik provodnika za gama–prilagođenje: 2 mm CuAg,
otpornost u priključnoj tački: 50 do 60 Ω nesimetrično,
dužina antene: 365 mm,
priključci kabla: – unutrašnji provodnik na red sa trimerom,
– spoljašnji provodnik na tačku uzemljenja u sredini elementa,
pojačanje: oko 6,5 dB,
povratno slabljenje: oko 14 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 60°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 100°$.

24.3. *Jagi*–antena sa šest elemenata za 435 MHz

Ova antena sa šest elemenata može se posmatrati kao prelazni oblik ka dugačkoj *jagi*–anteni. Pojačanje antene je oko 9 dB, a snaga i cena su u vrlo povoljnom odnosu. Za stacionaran rad preporučuje se napajanje koaksijalnim kablom. U tu svrhu, u napojnoj tački mora se priključiti polutalasna petlja, kao što je opisano u odeljku 24.1. Skica sa dimenzijama data je na sl. 24.4.



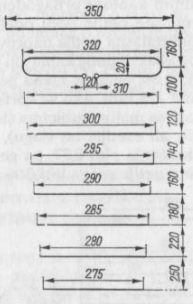
Sl. 24.4. Jagi-antena sa šest elemenata za opseg od 70 cm

Mehanički i električni podaci:
prečnik elemenata: 6 do 10 mm,
dužina antene: 590 mm,
izvedbe aktivnog elementa prikazana je na sl. 24.8b,
otpornost u priključnoj tački: oko 240 Ω simetrično,
pojačanje: oko 9 dB,
povratno slabljenje: oko 15 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 50°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 63°$,

24.4. Dugačka *jagi*–antena sa devet elemenata

Na sl. 24.5 prikazana je skica konstrukcije dugačke ***jagi*–antene čija dužina dostiže 2 λ**. To je antena sa relativno uskim frekventnim opsegom. Ipak, i bez smanjenja pojačanja, ona se može uspešno koristiti u amaterskom opsegu od 70 cm, koji je uobičajen u Evropi.

U vezi sa tim treba napomenuti da amateri koriste opseg od 70 cm samo između 432 i 436 MHz, ređe do 438 MHz. Sa jedne strane, to je posledica regionalne podele opsega koje prema internacional-



Sl. 24.5. Dugačka jagi-antena sa devet elemenata za opseg od 70 cm

nom dogovoru (zaključci iz Ženeve 1959) dozvoljava za oblast I (Evropa, azijski deo SSSR-a i Afrika) samo opseg između 430 i 440 MHz, sa druge strane, predajna frekvencija u opsegu od 70 cm izvodi se skoro uvek iz utrostručenja frekvencije predajnika za 2 m. Budući da je u oblasti I za opseg od 2 m, takođe, dozvoljeno samo 144 do 146 MHz, praktično, za opseg od 70 m dobija se radno područje od 432 do 438 MHz. Iz toga proizlazi da u opsegu od 70 cm nisu naročito potrebne širokopojasne antene.

Mehanički i električni podaci:
prečnik elemenata: 4 do 6 mm,
dužina antene: 1335 mm,
otpornost u priključnoj tački: oko 240 Ω simetrično,
pojačanje: oko 11,5 dB,
povratno slabljenje: oko 19 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 44°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 48°$.

0 24.5. Dugačka *jagi*–antena sa 15 elemenata po amateru *DLØSZ*

Dužina dugačke jagi–antene (sl. 24.6) iznosi 4,35 λ u odnosu na 435 MHz, a izmereno pojačanje je 15,2 dB. Za napajanje je predviđen koaksijalni kabl, pa je prilagođenje izvršeno pomoću pojednostavljenog gama–elémenta (vidi detalj na sl. 24.6b). Originalna antena dimenzionisana je za napojni kabl sa karakterističnom impedancom od 52 Ω, ali se bez ikakve izmene može upotrebiti i koaksijalni uobičajeni komercijalni kabl od 60 Ω, jer trimer u gama–elementu (promena kapacitivnosti 1 do 8 pF) omogućava tačno prilagođenje. Trimer se mora zaštititi vodonepropusnim plastičnim kućištem.

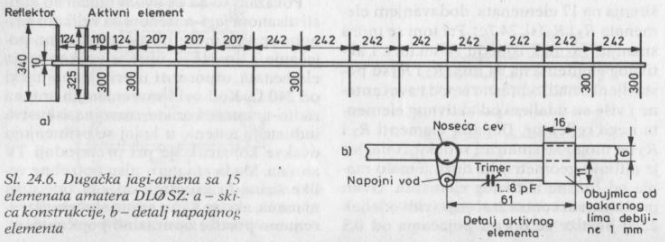
Na kraju kabla, a na dužini od 15 mm, odstrani se njegov spoljašnji izolacioni omotač. Oko slobodnog spoljašnjeg provodnika kabla namota se i zalemi posrebrena bakarna žica debljine 1 mm, koja se zatim čvrsto spoji sa uzemljenom srednjom tačkom elementa. Unutrašnji provodnik kabla spoji se sa trimerom. Svi spojevi, uključujući i kraj kabla, dobro se zaleme i zaštite od prodora vlage.

Svi direktori su iste dužine od 300 mm, a izrađeni su od okruglih dural-štapova prečnika 4 mm. Nosač elemenata dugačak je 3 m i sastoji se od stabilne metalne cevi prečnika 10 mm (dural ili čelična cev), koja je izbušena radi ubacivanja elemenata.

Mehanički i električni podaci:
prečnik aktivnog elementa i reflektora: 6 mm, direktora 4 mm,
prečnik nosača elemenata: 10 mm,
dužina antene: 2920 mm,
otpornost u priključnoj tački: 50 do 60 Ω nesimetrično,
pojačanje: oko 15 dB,
povratno slabljenje: oko 22 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 28°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 30°$.

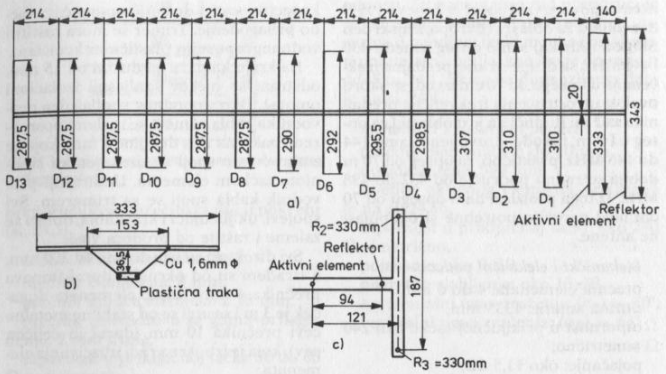
24.6. Dugačka *jagi*–antena sa 15 elemenata po amateru *WØEYE*

Amater *WØEYE* razvio je verziju dugačke *jagi*–antene sa 15 elemenata koja se može proširivati i koja se veoma uspešno koristi (vidi literaturu pod [1]). Relativna



Sl. 24.6. Dugačka jagi-antena sa 15 elemenata amatera DLØSZ: a – skica konstrukcije, b – detalj napajanog elementa

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 24.7. Jagi-antena sa 15 elemenata po amateru WØEYE: a – skica konstrukcije, b – detalj aktivnog elementa, c – varijanta proširenja sa dodatnim elementima R_2 i R_3 (presek)

dužina antene je 4,2 λ, a pojačanje iznosi 14 dB. Na sl. 24.7 prikazani su detalji konstrukcije. Pomoću jednostavnog delta–prilagođenja otpornost u priključnoj tački svedena je na vrednost 50 Ω simetrično. Druge vrednosti mogu se podesiti malom promenom priključaka na aktivnom elementu (vidi sl. 24.7b). Za priključak koaksijalnih kablova potrebno je izvršiti transformaciju simetrije, npr., pomoću *Pozijevog* člana za simetriranje ili četvrttalasnog lonca za simetriranje (vidi poglavlje 7).

Prečnik svih elemenata iznosi 5 mm (cev ili pun materijal), nosač elemenata je od metala dužine 2,95 m, prečnika 20 mm.

Malo je neuobičajena mogućnost proširenja na 17 elemenata, dodavanjem elemenata R_2 i R_3 (sl. 24.7c). Pri tom se mora smanjiti razmak između reflektora i aktivnog elementa na 94 mm. R_2 i R_3 su postavljeni iznad, odnosno ispod ravni antene i više su udaljeni od aktivnog elementa nego reflektor. Dodatni elementi R_2 i R_3 ne mogu se smatrati reflektorima, jer je njihova geometrijska dužina malo manja od dužine aktivnog elementa. Ovim proširenjem centra zračenja (vidi odeljak 22.3) postiže se porast pojačanja od 0,5 dB, pri čemu se ne menja otpornost u priključnoj tački.

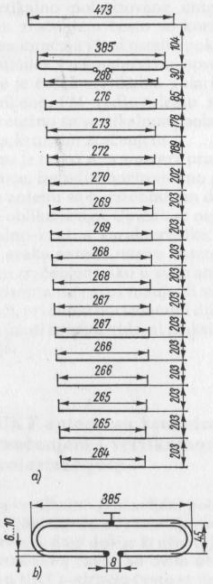
Mehanički i električni podaci:
prečnik elemenata: 5 mm,
prečnik nosača elemenata: 20 mm,
dužina antene: 2930 mm,
otpornost u priključnoj tački: 50 Ω simetrično,
pojačanje: 14 dB (odnosno 14,5 dB),
povratno slabljenje: oko 21 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 30°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 35°$.

24.7. Širokopojasna dugačka *jagi*–antena sa 18 elemenata

Pokazalo se da se ovom moderno konstruisanom *jagi*–antenom sa velikom širinom opsega može postići optimalno pojačanje, s tim što je, uprkos velikog broja elemenata, otpornost u priključnoj tački od 240 Ω. Kod ovih savremenijih antena radio–amateri koriste razvojna iskustva industrije antena, u kojoj se primenjuju ovakve konstrukcije pri proizvodnji TV antena. Mada amateru nisu potrebne velike širine frekventnih opsega, one nisu ni mana, ako se kao u ovom slučaju, istovremeno postiže optimalno pojačanje.

Na sl. 24.8 date su sve potrebne dimenzije za ovu, veoma preporučljivu antenu. Moguće je skraćenje, odnosno smanjenje broja elemenata u sistemu talasovoda (vidi sl. 22.7). Pri tome se ne menja otpornost u priključnoj tački. Centar pobude i prelazna zona protežu se do trećeg direktora. To znači da se – polazeći od krajnjeg direktora – može ispustiti proizvoljan broj direktora iz sistema talasovoda. Pri tom se pojačanje sistema samo smanjuje, a uglovi zračenja se povećavaju.

Mehanički i električni podaci:
prečnik elemenata: 6 do 10 mm,
dužina antene: 3030 mm,
otpornost u priključnoj tački: oko 240 Ω simetrično,
pojačanje: 14,5 dB,



Sl. 24.8. Širokopojasna dugačka jagi-antena sa 18 elemenata za opseg od 70 cm; a – skica konstrukcije, b – detalj aktivnog elementa

povratno slabljenje: oko 24 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 26°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 29°$.

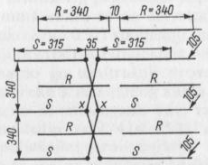
U svakom slučaju, preporučuje se napajanje koaksijalnim kablom sa polutalasnom petljom. Za rad u opsegu od 70 cm smatra se da je naročito pogodna *kvagi*–antena sa osam elemenata. Ona je opisana u tački 22.3.5, a prikazana na sl. 22.15. U tabeli 22.1 date su dimenzije za opseg od 70 cm.

24.8. Grupna antena od 12 elemenata za opseg od 70 cm

U opsegu od 70 cm, uspešno se mogu upotrebljavati i grupne antene. U ovom frekventnom području širina opsega grupne antene iznosi oko 50 MHz. Zbog relativno obimnih mehaničkih radova ovaj oblik antene retko se koristi u UVF opsegu.

U osnovi, mora se voditi računa o tome da se u tački napajanja, odnosno u priključnim tačkama spojnih vodova, ne sme upotrebljavati nikakav izolacioni materijal (maksimum napona). Obavezno se mora predvideti vazdušna izolacija. Osim toga, grupa se mora nalaziti ispred oba vertikalna nosača (u istom smislu kao na sl. 24.1c). Na sl. 24.9 date su mehaničke dimenzije grupne antene sa 12 elemenata. Objašnjenja u poglavlju 23 važe i za UVF grupne antene.

Mehanički i električni podaci:
prečnik elemenata: 3 do 5 mm,
prečnik spojnih vodova: 1 do 3 mm (nije kritičan),



Sl. 24.9 Grupna antena sa 12 elemenata za opseg od 70 cm

visina antene: 680 mm,
otpornost u tački napajanja XX: oko 240 Ω simetrično,
pojačanje: oko 9,5 dB,
povratno slabljenje: oko 14 dB,
horizontalni ugao zračenja: $(\alpha_E) \approx 60°$,
vertikalni ugao zračenja: $(\alpha_H) \approx 50°$.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 24

Smith, B.: 15–Element Yagi by WØEYE, QST, 1972, januar, strana 96 do 97, ARRL, Newington, Conn. USA

Spindler, E.: Antennen, VEB Verlag Technik, Berlin 1968

25. Antene sa kružnim zračenjem za VVF i UVF

U nekim slučajevima poželjne su antene sa kružnim zračenjem, tj. antene čiji je dijagram zračenja u horizontalnoj ravni približno kružnog oblika.

Nije teško napraviti UKT antenu sa kružnim zračenjem i vertikalnom polarizacijom, jer svaki vertikalno postavljen polutalasni dipol zrači kružno, popreko na svoju osu – dakle, u horizontalnoj ravni. Vertikalno polarizovane antene sa kružnim zračenjem često se koriste za veze u saobraćaju i kod ostalih pokretnih radio–stanica. I u amaterskom opsegu od 2 m sve je češća vertikalna polarizacija, jer omiljene FM radio-relejne stanice rade pretežno sa vertikalnom polarizacijom i sa kružnim zračenjem.

Veoma je teško, a za amatera praktično nemoguće, izgraditi horizontalno polarizovanu antenu sa horizontalnim dijagramom u obliku kruga. Obično se ne zahteva idealno kružna karakteristika, pa se uopšte svaka antena naziva antenom sa kružnim zračenjem, ako u svim smerovima horizontalne ravni manje ili više dobro zrači, pri čemu horizontalni dijagram ne sme imati izrazite nule, ni maksimume zračenja.

25.1. UKT antene sa kružnim zračenjem i vertikalnom polarizacijom

Mada vertikalno postavljeni polutalasni ili savijeni dipoli, a i *graundplejn*–antene, teoretski, daju dobar kružni dijagram u horizontalnoj ravni, sa ovim oblicima antena u UKT području često se ne postiže željeni koeficijent korisnog dejstva. To se odnosi naročito na dipole sa centralnim napajanjem, kod kojih se napojni vod mora položiti vodoravno. Tada napojni vod kvari karakteristike zračenja, što sa porastom frekvencije dolazi sve više do izražaja, jer se napojni kabl sve teže prilagođava na antenu. Osim toga, usled nesimetrije mogu se javiti talasi u omotaču koaksijalnog napojnog kabla. Oni prouzrokuju gubitke usled zračenja i uopšte podižu vertikalni elevacioni ugao nagore. Međutim, poželjno je »plitko« zračenje, tj. glavno zračenje treba da se širi od antene pod pravim uglom. To znači da kvalitet vertikalno polarizovanih antena zavisi od načina njihovog napajanja. Zbog toga su razvijene antene koje su tako napajane, da se bez velikih troškova postiže dobro prilagođenje i besprekorna simetrija. Pri tome se napajanje, uglavnom, vrši koaksijalnim kablom.

25.1.1. Koaksijalna antena

Ova antena (sl. 25.1), kao vertikalno polarizovana antena sa kružnim zračenjem veoma je pogodna za *prevozne stanice* (radio–stanice u vozilima). To je UKT verzija koaksijalne *sliv*–antene, opisane u podtački 19.4.2.1 (vidi sl. 19.24).

Sa koaksijalnog kabla od 60 Ω, čiji je unutrašnji provodnik debeo (npr., tip 60–10–2, unutrašnji provodnik je prečnika 2,26 mm), skinu se na četvrttalasnoj dužini (oko $\lambda/4 \cdot 0{,}97$) spoljašnji omotač, spoljašnji provodnik i dielektrik, tako da ostane samo go unutrašnji provodnik. Zatim se preko koaksijalnog kabla navuče bakarna ili mesingana cev, takođe, električne dužine od $\lambda/4$ (sl. 25.1) i zalemi se sa spoljašnjim provodnikom kabla. Odabere se faktor skraćenja od 0,95, jer koaksijalni kabl utiče na veće kapacitivno opterećenje na kraju. Prečnik cevi je



Sl. 25.1. Koaksijalna antena

proizvoljan, ali njen unutrašnji otvor mora biti samo toliki da se cev može navući preko spoljašnjeg zaštitnog omotača kabla.

U principu, to je vertikalni polutalasni dipol, čiji donji četvrttalasni odsečak istovremeno predstavlja četvrttalasni lonac za simetriranje. Prilagođenje i simetrija su skoro idealni; zbog toga se koaksijalna antena odlikuje plitkim zračenjem i pravilnom kružnom karakteristikom.

Preporučuje se da se kod jačeg mehaničkog naprezanja, kao kod vozila u pokretu, slobodni četvrttalasni komad unutrašnjeg provodnika zameni elastičnim metalnim štapom od auto-antene ili nekim sličnim pogodnim materijalom.

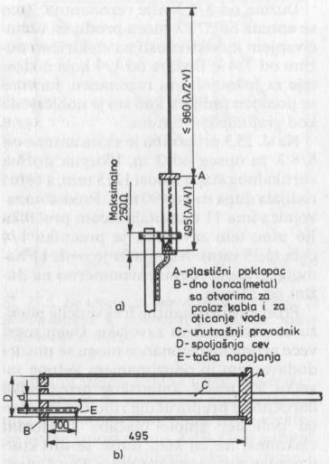
25.1.2. Vertikalna polutalasna antena

Vertikalni polutalasni dipol ima manji vertikalni ugao zračenja od četvrttalasne antene, pa i pojačanje od skoro 3 dB (vidi sl. 19.7). Pobuđivanje vertikalne polutalasne antene je malo problematično. Ako se rastavi u geometrijskoj sredini i tu napaja, što je pravilo kod horizontalno polarizovanih dipola, napojni kabl treba odvesti vodoravno od tačke napajanja na dužini od najmanje $\lambda/2$, jer bi inače došlo do poteškoća sa prilagođenjem i do velikog izobličenja karakteristike zračenja. Iz istih razloga, vertikalni dipol se ne sme postaviti na uspravne metalne ili uzemljene antenske jarbole, koji bi ometali polje zračenja dipola. Mehanički i električki nije pogodno da se dipol montira na dugački poprečni krak. Zato je povoljnije da se napojni vod priključi na donjem kraju antene. Tu se, međutim, nalazi maksimum napona sa priključnom impedancom od nekoliko hiljada oma, već prema stepenu vitkosti antene. Ta velika impedanca mora se transformisati na nižu vrednost, koja odgovara karakterističnoj impedanci predviđenog napojnog kabla.

Kratko spojeni četvrttalasni vod omogućava prilagođenje otpornosti na najjednostavniji način, pa se dobije J-antena (sl. 19.26). Četvrttalasni paralelni vod postavi se na kraj polutalasnog štapa, pa se na njemu javljaju sve impedance od nule (kratak spoj) do nekoliko hiljada oma (otvoren vod). Zbog toga se odgovarajućim priključkom na paralelni vod može prilagoditi svaki napojni kabl. Razmak paralelnih cevi, od kojih je sačinjen četvrttalasni vod, iznosi 10 do 20 mm, tako da napojni kabl može da se smesti u slobodan prostor između paralelnih cevi. Razmak i prečnik paralelnih cevi, a time i karakteristična impedanca, nisu značajni u električnom pogledu; bitno je samo da električna dužina paralelnog voda iznosi $\lambda/4$. Kratko spojeno podnožje je uzemljeno, pa se cela antena nalazi na potencijalu zemlje. Za opseg od 2 m ukupna dužina iznosi samo 1,5 m, pa se antena izvodi kao samonoseća, pri čemu antenski jarbol i antena predstavljaju celinu. Prilikom određivanja dužine mora se uzeti u obzir faktor skraćenja V, koji zavisi od stepena vitkosti λ/d antene (vidi sl. 3.7).

Praktični eksperimenti su pokazali da se iz napojnog kabla ove J-antene ne mogu potpuno odstraniti stojeći talasi. Uzrok tome je činjenica da četvrttalasni paralelni vod i sam zrači i da se na delu jarbola ispod četvrttalasnog voda, takođe, javljaju stojeći talasi. Ova mana se može umanjiti ako se četvrttalasni vod izvede u obliku koaksijalnog lonca za simetriranje.

Na sl. 25.2 prikazana je varijanta J-antene, koja je usavršena u mehaničkom i električnom pogledu; radio-amateri je



Sl. 25.2. Polutalasna antena sa loncem za simetriranje: a – skica konstrukcije, b – detalj lonca za simetriranje

poznaju pod nazivom antena sa transformatorom za simetriranje. Detaljno je opisana u literaturi pod [1].

Slobodna dužina polutalasnog štapa kod tankih antena (npr., kod teleskopskih antena) iznosi 960 mm, kod debljih cevi prečnika od 10 mm naviše samo 950 mm (vidi i sl. 3.7). Spajanje antene sa unutrašnjom cevi transformatora za simetriranje vrši se vijcima ili lemljenjem. Antena i unutrašnji provodnik lonca mogu biti u jednom komadu, ako je materijal pogodan. Mehaničke pojedinosti četvrttalasnog lonca (sl. 25.2b) samo su predlog, koji se u velikoj meri može izmeniti, već prema materijalu kojim se raspolaže, s tim što dužina efektivnog unutrašnjeg prostora mora ostati 495 mm. Pogodno je da odnos prečnika $D : d$ bude oko 3 : 1 do 4 : 1 (npr., $D = 28$ mm i $d = 8$ mm). Gornji kraj lonca, koji je električno otvoren, zatvara se plastičnim poklopcem A koji istovremeno centrira unutrašnji provodnik. Prodor kišnice sprečava usečeni kanal u plastičnom poklopcu. Metalno dno lonca je obrađeno na strugu. Kroz centar ovoga dna prolazi unutrašnji provodnik koji je i zalemljen na njegovu spoljašnju stranu. Metalno dno ima i otvor za uvođenje napojnog kabla kao i još jednu rupu za odvođenje kondenzovane vode i kišnice. Metalno dno i plastični poklopac pričvršćeni su na spoljašnju cev sa po tri vijka.

Pre nego što se postavi spoljašnja cev (lonca za simetriranje), mora se pripremiti unutrašnji provodnik napojnog kabla da bi se kasnije mogao zalemiti na unutrašnju stranu lonca za simetriranje, i to 100 mm iznad dna. Zbog toga se na ovom loncu, na visini od 100 mm od dna, izbuši otvor kroz koji se provuče žica, na čiji kraj se zalemi spoljašnji provodnik koaksijalnog napojnog kabla. Kada se spoljašnja cev (lonca za simetriranje) navuče na metalno dno, istovremeno se povlači i ova žica, sve dok se kroz otvor ne izvuče oplet kabla koji se zatim zalemi. Oplet kabla sme da bude u galvanskom spoju sa loncem samo na tom mestu.

Spoljašnja cev i unutrašnji provodnik lonca izrađuju se od bakra ili mesinga. Pogodne su i čelične cevi sa glatkim zidovima, ako se pobakre ili bar zaštite od korozije. Kada se ova antena vezuje na antenski jarbol pomoću obujmice (sl. 25.2a), treba voditi računa o tome da se obujmica postavi što je moguće bliže dnu lonca. Ako to nije moguće obujmica za pričvršćenje sme da bude najviše 250 mm iznad dna lonca.

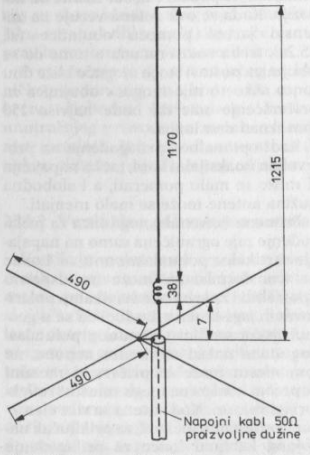
Radi optimalnog prilagođenja na proizvoljan koaksijalni kabl, tačka napajanja E može se malo pomerati, a i slobodna dužina antene može se malo menjati.

Primena četvrttalasnog lonca za prilagođenje nije ograničena samo na napajanje vertikalne polutalasne antene. Lonac za transformisanje može se uspešno upotrebiti i za sve vrste vertikalno polarizovanih *jagi*-antena. Budući da se u geometrijskoj sredini slobodnog polutalasnog štapa nalazi minimum napona, na tom mestu može se pričvrstiti metalni poprečni nosač i na njega smestiti reflektori i direktori. Kod antena sa više elemenata, optimalno mesto E za priključak napojnog kabla u loncu za prilagođenje udaljeno je nešto više od tačke kratkog

spoja, nego kod jednostavnog polutalasnog vertikalnog dipola. U svim slučajevima, merenjem pomoću reflektometra treba odrediti najpovoljnije tačke priključka u loncu za prilagođenje.

25.1.3. Antena od 5/8 λ

Ako se vertikalno polarizovana štap-antena produži na više od $\lambda/2$, u vertikalnom dijagramu zračenja javlja se drugi strmi snop. Istovremeno raste i zračenje u glavnom smeru, i to zbog smanjenja ugla zračenja u vertikalnom smeru. Kao što proizlazi prema sl. 19.7d, »plitko« zračenje dostiže maksimum kada je dužina antene 5/8 λ. Ako se antena dalje produžava, deo »plitkog« zračenja ponovo opada, a povećava se strmo zračenje. Vertikalna antena dužine 5/8 λ ima najmanji vertikalni elevacioni ugao, koji se može postići sa jednostavnom vertikalnom antenom. Budući da se istovremeno smanjuje i vertikalni ugao zračenja, u odnosu na isti kod vertikalnog polutalasnog dipola, javlja se i pojačanje od 3 dB (vidi sl. 19.7C i d).



Sl. 25.3. Antena od 5/8 λ za opseg od 2 m

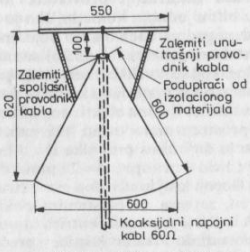
Dužina od 5/8 λ nije rezonantna. Zato se antena od 5/8 λ mora produžiti uključivanjem induktivnosti na električnu dužinu od 3/4 λ. Dužina od $\lambda/4$ koja nedostaje za jednotalasnu rezonancu, formira se pomoću radijala, kao što je uobičajeno kod *graundplejn*-antene.

Na sl. 25.3 prikazana je skica antene od 5/8 λ za opseg od 2 m. Ukupna dužina vertikalnog štapa iznosi 1215 mm, a četiri radijala duga su po 490 mm. Produžna zavojnica ima 11 namotaja žicom prečnika 1,6 mm; telo zavojnice je prečnika 1/4 cola (6,35 mm). Na njemu je ovih 11 namotaja raspoređeno ravnomerno na dužini od 38 mm.

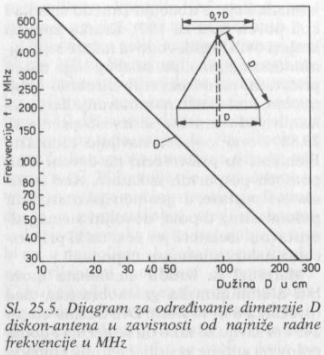
Promene rezonantne frekvencije postižu se pomeranjem zavojaka. Osim toga, veće promene rezonance mogu se postići dodavanjem ili oduzimanjem jednog zavojka. Za nosač antenskog provodnika naročito se preporučuje ribolovački štap od poliester smole ojačane staklenim vlaknima; na taj štap može se direktno namotati produžna zavojnica. Sve dimenzije za opseg od 2 m date su na sl. 25.3. I ova antena je naročito pogodna za *prevozni* rad.

25.1.4. Širokopojasna diskon-antena sa kružnim zračenjem

Diskon-antena je još jedna vertikalno polarizovana antena sa kružnim zračenjem, koja je po načinu napajanja veoma slična koaksijalnoj anteni, a odlikuje se naročitom širokopojasnošću (sl. 25.4); naziv potiče od spoja reči koje karakterišu



Sl. 25.4. Diskon-antena



Sl. 25.5. Dijagram za određivanje dimenzije D diskon-antena u zavisnosti od najniže radne frekvencije u MHz

spoljašnji izgled antene (disk + konus).

U odnosu na normalan dipol »pojačanje« ove antene zbog njene male efektivne visine iznosi minus 3 dB. Ovaj gubitak se smatra podnošljivim, ako se uzme u obzir da diskon-antena ima neobično veliku širinu opsega. Diskon-antena prikazana na sl. 25.4 napaja se direktno koaksijalnim kablom od 60 Ω, a sa datim dimenzijama postiže se širina opsega od oko 85 MHz do oko 500 MHz.

Konus se sastoji od bakarnog lima savijenog u obliku levka; može se upotrebiti i svaka druga vrsta lima koji se može lemiti. Kružna ploča se, takođe, izrađuje od bilo kakvog lima. Debljina lima nema značaja u električnom pogledu. Napojni kabl se dovodi odozdo kroz otvor konusa, pa se njegov spoljni provodnik zalemi sa vrhom konusa. Unutrašnji provodnik kabla spoji se sa centrom vodoravne kružne ploče, i to 100 mm iznad vrha konusa. Kružna ploča mora se mehanički podupreti odgovarajućim izolatorima.

Ako se želi izgraditi diskon-antena za druga frekventna područja različita od primera na sl. 25.4, dimenzije D biraju se u zavisnosti od najniže radne frekvencije, a prema sl. 25.5. Iz nje se vidi da dužina D odgovara $\frac{1}{4}$ najveće radne talasne dužine, a da se gornji deo u obliku diska dimenzioniše na 0,7 D. Pod ovim uslovima može se očekivati da će širina područja u odnosu na najnižu frekvenciju biti 1 : 8.

Granična frekvencija antene uvek je za oko 20% niža od frekvencije za koju je izvršeno dimenzionisanje. Koeficijent stojećih talasa u napojnom kablu brzo raste od te donje granične frekvencije prema višim frekvencijama. Prečnik diska dosta utiče na karakteristiku zračenja pri promeni radne frekvencije. Premali prečnik diska sužava širinu opsega i smanjuje vertikalni elevacioni ugao u smeru prema konusu.

Ako se vodi računa o napomenama u pogledu dimenzionisanja, koeficijent stojećih talasa, u datom frekventnom području, ne prelazi vrednost 1 : 1,5, ali se javlja promena vertikalnog elevacionog ugla u zavisnosti od frekvencije.

25.1.5. Antena DDRR za 145 MHz

U odeljku 19.7 bila je opisana kratkotalasna antena DDRR. Isti princip rada se može iskoristiti i u VVF području, gde je još jednostavnije izgraditi ovu vertikalno polarizovanu antenu sa kružnim zračenjem. Prema sl. 19.47 i pomoću tabele 19.4 dobiju se sledeće dimenzije za antenu za opseg od 2 m:

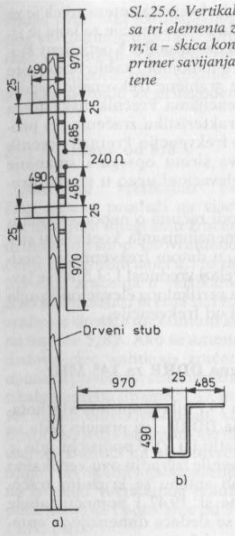
$D = 160$ mm, $H \geq 15$ mm, $A = 10$ mm,
$d = 5$ do 10 mm i $C_1 = 5$ pF.

To su približne vrednosti, koje nisu kritične zbog velike širine opsega antene. Najpovoljnije mesto priključka unutrašnjeg provodnika napojnog kabla mora se odrediti pomoću eksperimenta. Prilikom dimenzionisanja osnovne ploče, ne treba štedeti kod antene za opseg od 2 m, jer što je veći prečnik osnovne ploče, manji je vertikalni elevacioni ugao glavnog zračenja. Zbog toga nije preteran izdatak ako se odabere prečnik ploče ≥ 500 mm. Podaci navedeni u odeljku 19.7 važe i za antenu za opseg od 2 m.

25.1.6. Vertikalno polarizovane antene sa kružnim zračenjem, postavljene jedna iznad druge

Polutalasni elementi mogu se postaviti jedan iznad drugog u obliku vertikalnog niza dipola. Pri tom ostaje nepromenjeno

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



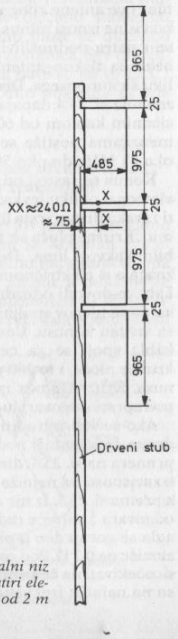
Sl. 25.6. Vertikalni niz dipola sa tri elementa za opseg od 2 m; a – skica konstrukcije, b – primer savijanja polovine antene

kružno zračenje u horizontalnoj ravni, ali se smanjuje vertikalni ugao zračenja, pa se javlja pojačanje antene – u odnosu na jednostavan vertikalni polutalasni dipol. To se događa samo ako se svi polutalasni elementi u vertikalnom nizu dipola pobuđuju u fazi (vidi odeljak 13.1).

Na sl. 25.6 prikazan je primer vertikalnog niza dipola za opseg od 2 m, sastavljenog od tri istofazno–pobuđena polutalasna dipola. Antena se napaja u centru i mora se montirati na drveni stub. Pri vertikalnoj polarizaciji, vertikalni metalni jarbol prouzrokovao bi nepoželjne refleksije i gubitke usled zračenja. Iz istih razloga ne sme se ni drveni stub opremiti provodnikom za uzemljenje, što je inače uobičajeno. Napojni vod treba odvesti vodoravno od tačke napajanja na dužini većoj od $\lambda/2$, jer bi se, u suprotnom slučaju, izobličila karakteristika zračenja, a na prilagođenom napojnom kablu ne bi se mogli otkloniti stojeći talasi.

Pobuda u fazi polutalasnih sekcija postiže se pomoću zatvorenih četvrtalasnih komada koji se ubacuju između sekcija i koji obrću fazu za 180°. Kratko spojeni krajevi ovih faznih vodova nalaze se u minimumu napona, pa se zbog toga mogu pričvrstiti na noseći stub direktno obujmicom. Prstenasto namotavanje četvrttalasnih vodova može se izvesti prema sl. 25.8b i ono pojednostavljuje montažu. Elementi su pričvršćeni na drveni stub pomoću potpornih izolatora. Ako se izolatori postave u geometrijsku sredinu polutalasnog dipola, dovoljni su najjednostavniji izolatori, jer se u tački pričvršćenja nalazi minimum napona.

Materijal za izradu elemenata može biti aluminijumska gromobranska žica (prečnika 8 ili 10 mm). Dve dužine od po 245 cm saviju se tako da se gornja i donja polovina antene sastoji iz jednog komada (detalj na sl. 25.6b). Tako se postiže stabilna konstrukcija bez spojnih mesta koja



Sl. 25.7. Vertikalni niz dipola sa četiri elementa za opseg od 2 m

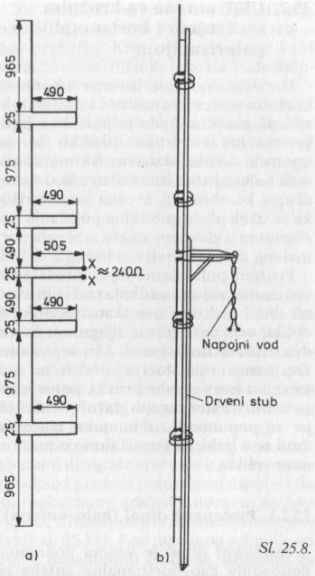
su osetljiva na koroziju i jednostavna mogućnost pričvršćenja na noseći stub.

Otpornost u tački napajanja iznosi približno 240 Ω. Pogodno je da se tu priključi polutalasna petlja i da se sistem napaja koaksijalnim kablom. Pojačanje antene iznosi 3,2 dB, a uslovljeno je smanjenjem vertikalnog ugla zračenja. Niz dipola sa četiri kolinearna polutalasna dipola, prikazan na sl. 25.7, razlikuje se od antene sa tri elementa po načinu napajanja. Budući da je u geometrijskoj sredini sistema sada visokoomska tačka napajanja, u njoj bi se, u najboljem slučaju, mogao direktno priključiti podešeni napojni vod. Kako se kod kratko spojenog četvrttalasnog voda javljaju sve impedance, od maksimalne vrednosti do nule, na površini provodnika pronađu se tačke, koje po svojoj impedanci odgovaraju karakterističnoj impedanci napojnog voda. U datom primeru priključna tačka za simetričan vod od 240 Ω nalazi se oko 75 mm od kratko spojenog kraja voda. I za ovu antenu preporučuje se napajanje sistemom balun–petlja–koaksijalni kabl.

Kod ove kolinearne antene sa četiri elementa može se računati sa pojačanjem od 4,5 dB. Za izgradnju i montažu treba imati u vidu napomene date za varijantu sa tri elementa.

Kod ove i kod sledeće antene sa pet elemenata uočava se malo kraće dimenzionisanje spoljašnjih polutalasnih dipola u odnosu na unutrašnje. To je zbog kapacitivnog dejstva krajeva, kojem su spoljašnji elementi izloženiji od unutrašnjih. Zbog toga se spoljašnji elementi moraju malo više skratiti.

Vertikalni niz dipola sa pet elemenata (sl. 25.8), teoretski daje pojačanje od 5,4 dB, koje se postiže isključivo smanjenjem vertikalnog ugla zračenja. Napajanje ove antene je isto kao niza dipola sa tri elementa (sl. 25.6); s tim što u ovom slučaju postoji jedna mala finesa. Naime, ako bi se napojni vod od 240 Ω priključio direktno na centralnu tačku napajanja (sl. 25.6), koeficijent stojećih talasa morao bi iznositi oko 1 : 2. Zbog toga je između priključne tačke antene i napojnog voda ubačen neznatno produžen četvrttalasni transformator karakteristične impedance od oko 330 Ω, čime je smanjen koeficijent



Sl. 25.8.

stojećih talasa na 1 : 1,1. Pri tom se pretpostavlja da prečnik polutalasnih elemenata iznosi između 3 mm i maksimalno 9 mm. Četiri zatvorena četvrttalasna ogranka voda napravljena su od žice prečnika 2 do 6 mm (nije kritičan). Nasuprot tome, transformator za prilagođenje u tački napajanja mora imati odnos razmak/prečnik od 8 : 1, jer on određuje karakterističnu impedancu. To znači, da za razmak od 25 mm, koji je dat u primeru na sl. 25.8a, prečnik žice mora biti oko 3 mm. Ako se odabere drugačiji razmak – što je sasvim na mestu – mora se izmeniti i prečnik prema odnosu 8 : 1.

Na sl. 25.8b prikazana je odgovarajuća montaža. Zatvoreni četvrttalasni ogranci voda mogu se prstenasto namotati bez ikakvih posledica, a kratko spojeni kraj pričvrstiti direktno na drveni stub. Prečnik prstena iznosi samo oko 160 mm, pa je konstrukcija mehanički stabilna, glatka i neupadljiva.

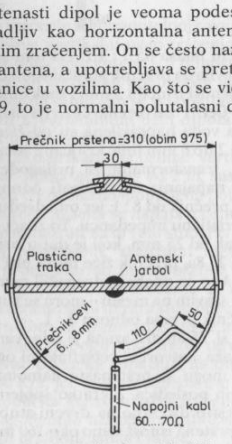
25.2. UKT antene sa kružnim zračenjem i horizontalnom polarizacijom

Horizontalno polarizovana antena sa kružnim zračenjem može se smatrati luksuzom, naročito kada je potrebna čista kružna karakteristika. Ukoliko se ne upotrebi vertikalni sistem, u kome se antene nalaze jedna iznad druge ili u nekoj drugoj kombinaciji, kružna karakteristika se uvek plaća gubitkom pojačanja postignutog u glavnom smeru zračenja normalnog dipola.

Pruženi polutalasni dipol predstavlja već usmerenu antenu, koja zrači upravno na svoju uzdužnu osu (karakteristika u obliku osmice) i koja u dijagramu *E* ima dva izražena nulta mesta. Ako se raspoloživa snaga ravnomerno podeli na sve strane u horizontalnoj ravni, jasno je da će to biti na štetu snopa glavnog zračenja, jer se popunjavaju minimumi zračenja. Zato se o gubitku govori samo u prenosnom smislu.

25.2.1. Prstenasti dipol (halo–antena)

Prstenasti dipol je veoma podesan i neupadljiv kao horizontalna antena sa kružnim zračenjem. On se često naziva i halo–antena, a upotrebljava se pretežno uz stanice u vozilima. Kao što se vidi na sl. 25.9, to je normalni polutalasni dipol,



Sl. 25.9. Prstenasti dipol za 145 MHz, pogled odozgo

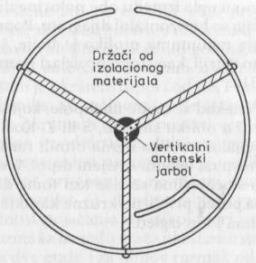
čija su oba kraka u horizontalnoj ravni savijena tako da nastane oblik nezatvorenog prstena.

Horizontalni dijagram horizontalnog prstenastog dipola nema baš tačno kružni oblik; on je po svome obliku približniji elipsi. »Pojačanje« halo–antene, u odnosu na uobičajeni dipol, u glavnom smeru njegovog zračenja iznosi u proseku minus 6 dB, tj. može se očekivati da će napon koji se iz bilo kog horizontalnog smera zračenja indukuje u prstenastom dipolu biti samo polovina napona koji bi iz glavnom smera zračenja primio normalni dipol.

Na sl. 25.9 prikazan je prstenasti dipol za opseg od 2 m sa svim potrebnim dimenzijama. Gama–prilagođenje obezbeđuje pravilan priključak koaksijalnog kabla karakteristične impedance 60 do 70 Ω. Zahvaljujući gama–prilagođenju nije potrebno prekidanje dipola u tački napajanja, što doprinosi mehaničkoj stabilnosti. Spoljašnji provodnik koaksijalnog kabla spaja se sa geometrijskom sredinom dipola, a unutrašnji provodnik kabla sa gama–prilagođenjem.

Krajevi dipola ne smeju da se dodirnu. Između njih treba da bude razmak od najmanje 30 mm, jer ako se više približe javlja se jak kapacitivni uticaj, usled čega se pomera rezonantna frekvencija i istovremeno menja otpornost u priključnoj tački. Ponekad se namerno napravi veće kapacitivno opterećenje na kraju, s tim što se na krajeve dipola postave metalne ploče kao kod kondenzatora. To utiče na pomeranje rezonance prema nižim frekvencijama, čime se smanjuje prečnik prstena. Ova mera utiče i na pogoršanje stepena korisnog dejstva.

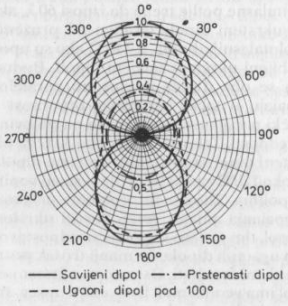
Otpornost zračenja halo–antene u pokazanoj izvedbi iznosi oko 50 Ω, što znači da je niža nego kod pruženog dipola. Maksimum napona javlja se uvek na krajevima dipola, pa se gubici ne mogu izbeći ni kada se upotrebi naročito kvalitetan izolacioni materijal. Oni se znatno povećavaju na vlažnom vremenu, snegu ili mrazu. Prstenasti dipol (sl. 25.9) namenjen je za rad u pokretu. Zbog toga se krajevi dipola polažu na kvalitetan izolacioni materijal, čime se postiže veća mehanička stabilnost. Prstenasti dipol može se



Sl. 25.10. Prstenasti dipol; mehanički povoljnije učvršćenje

montirati i na drugi, manje stabilan, ali električni povoljniji način. Tako se na krajevima dipola mogu izostaviti držači od izolacionog materijala (sl. 25.10), a pričvršćenje u horizontalnoj ravni izvesti samo pomoću više plastičnih štapova postavljenih poput paoka.

Horizontalni prstenasti dipoli mogu se postaviti vertikalno jedan iznad drugog u dva ili više nivoa. Pri tom se zadržava kružno zračenje u horizontalnoj ravni. Smanjenjem vertikalnog ugla zračenja postiže se pojačanje, koje kompenzuje na početku spomenuti gubitak od 6 dB, ali tek kada se antena postavi u četiri nivoa. Objašnjenja o pravilnom napajanju dipola u više etaža u pogledu faze važe i za prstenasti dipol (vidi odeljak 13.2).



Sl. 25.11. Horizontalni dijagrami nekoliko horizontalnih dipola (prema amateru DL1HM)

Za antenski jarbol prevoznih stanica naročito je pogodna PVC cev odgovarajućeg prečnika. Kroz nju se napojni kabl može provesti nadole, tako da bude zaštićen i sakriven.

Na sl. 25.11 prikazani su horizontalni dijagrami različitih oblika dipola. Iz slike se vidi da je karakteristika prstenastog dipola približno kružna, ali i da je njegovo zračenje daleko manje nego kod drugih oblika.

25.2.2. Ugaoni savijeni dipol

Za stanice u vozilima pokazao se naročito praktičan ugaoni savijeni dipol. On nastaje od savijenog dipola čije se polovine saviju toliko da se između krakova dobije ugao od oko 100°. Otpornost u priključnoj tački se ne menja, već ostaje oko 240 Ω. Međutim, dijagram horizontalnog zračenja dobija oblik elipse.

Poznato je da i savijeni dipol ima horizontalni dijagram zračenja u obliku osmice – kao i pruženi polutalasni dipol – i da su maksimumi zračenja upravni na osu dipola, a minimumi zračenja u smeru ose (vidi sl. 25.11). Kod ugaonog »dipola od 100°« maksimumi zračenja su manji za oko 1 dB, što odgovara 90% od maksimuma kod pruženog dipola. Međutim, kod ugaonog savijenog dipola iščezla su nulta mesta i na mestima minimuma još uvek je na raspolaganju oko 45% napona. Ako se uporedi sa prstenastim dipolom, napon ugaonog savijenog dipola u njegovom glavnom smeru skoro je dvostruk, a i u minimumu ugaoni savijeni dipol je još uvek nešto bolji od halo–antene. Prstenasti dipol treba koristiti samo u slučajevima kada su neophodne male dimenzije, lep izgled i približno kružna karakteristika. Ako to nije potrebno onda se prednost mora dati ugaonom dipolu. Na sl. 25.12 prikazan je ugaoni savijeni dipol koji je pogodno pričvršćen na vozilo.

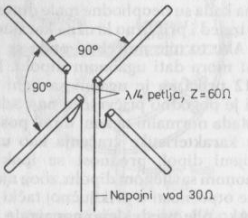
Mada normalni ugaoni dipol poseduje iste karakteristike zračenja kao ugaoni savijeni dipol, prednost se ipak daje ugaonom savijenom dipolu, zbog njegove veće otpornosti u priključnoj tački – 240 Ω. Ako nije predviđeno napajanje ugaonog savijenog dipola trakastim vodom od



Sl. 25.12. Ugaoni savijeni dipol kao antena na vozilu (foto: Egon Koch)

240 Ω, već koaksijalnim kablom od 60 Ω, mora se upotrebiti polutalasna petlja (odeljak 7.5) ili namotani dvožični vod (odeljak 7.7). U ovom slučaju za antenu se može upotrebiti i ugaoni jednožični dipol koji se preko kratkog gama–prilagođenja može priključiti direktno na koaksijalni kabl, ali je u električnom i mehaničkom pogledu, ipak povoljnije rešenje sa savijenim dipolom.

Budući da ugaoni dipoli još uvek pokazuju manje ili više izražen glavni smer zračenja, kaže se da su to *antene sa kružnim zračenjem i prioritetnim smerom*. Promenom ugla između obe polovine dipola menja se horizontalni dijagram. Popunjavanje minimuma utoliko je bolje, što je ugao oštriji, kao što to proizlazi prema sl. 10.31a.



Sl. 25.13. Ukršteni dipol

Ponekad se naiđe na dipole, koji su savijeni u obliku slova U, S ili Z. Kod ovih specijalnih oblika nema bitnih razlika u odnosu na ugaoni savijeni dipol. U ovakvim slučajevima se više teži tome da antena pored približno kružne karakteristike ima i lep izgled.

25.2.3. Ukršteni dipol

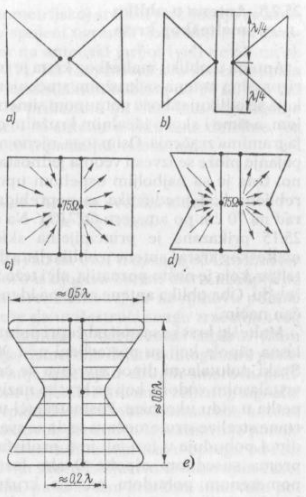
Približno kružni dijagram u horizontalnoj ravni postiže se i sa *ukrštenim* dipolom. On je poznat i pod imenom obrtna ukrštena antena, *kvirl*-antena i *ternstajl*-antena (engleski: Quirlantenna, Turnstile). Ukršteni dipol se sastoji od dva pružena ili savijena polutalasna dipola koji su postavljeni jedan prema drugom pod pravim uglom u vidu krsta (sl. 25.13). Da bi se postigla željena kružna karakteristika zračenja, oba dipola se moraju napajati sa međusobnim faznim pomakom od 90°. Ova fazna razlika postiže se pomoću petlje između oba dipola. Njena električna dužina iznosi λ/4 (voditi računa o faktoru skraćenja), a karakteristična impedanca mora odgovarati i otpornosti u priključnoj tački pojedinačnog dipola. To znači da karakteristična impedanca četvrttalasne petlje treba da iznosi 60 λ, ako je ukršteni dipol izgrađen od pruženih polutalasnih dipola, a 240 Ω ako su upotrebljeni ukršteni savijeni dipoli. Budući da se oba dipola međusono paralelno spajaju u tački napajanja, otpornost u tački napajanja smanjuje se na polovinu vrednosti. Tako se dobije oko 30 Ω za ukršteni dipol sa pruženim kracima dipola, a oko 120 Ω za ukršteni dipol sa savijenim dipolima. Zbog ovih problema prilikom napajanja amater retko koristi ukršteni dipol, tim pre što se pomoću jednostavnijih ugaonih dipola, uz manji trošak postižu slični rezultati. Osim toga, ukršteni dipol ima veoma mali frekventni opseg, što je uslovljeno frekventno zavisnim spojnim vodom.

Ukrštene antene za UKT i TV prijem grade se skoro isključivo u obliku ukrštenih savijenih dipola. Ranijih godina, kao predajna antena sa kružnim zračenjem, korišten je ukršteni dipol i od UKT radio-predajnika, ali većinom u više etaža. Ako se više ukrštenih dipola postavi vertikalno jedan iznad drugog, dobije se pojačanje antene usled usnopljenja u vertikalnoj ravni, pri čemu se ne menja kružna karakteristika u horizontalnoj ravni. Vrednost pojačanja u velikoj meri zavisi od razmaka između etaža ukrštenih dipola. Za dve etaže i za njihov razmak od 0,5 λ pojačanje antene je oko 1,2 dB; pri razmaku etaža od 0,67 λ ono postane maksimalno – oko 1,4 dB. Sa četiri etaže i za razmak od 0,5 λ dobije se pojačanje od 2,5 dB, a za razmak od 0,82 λ pojačanje je optimalno od 3,7 dB.

25.2.4. Betving-antena

U uskom srodstvu sa ukrštenim dipolom *betving*-antena (engleski: batwing = krilo slepog miša). I u ovom slučaju to je ukršteni dipol. Radi postizanja velike širine opsega, krakovi dipola su izvedeni kao površina čiji oblici podsećaju na krila slepog miša.

Na sl. 25.14. prikazane su faze nastajanja *betving*-dipola. Ako se pođe od jednostavnog pruženog polutalasnog dipola i ako treba postići veliku širinu opsega, on se mora pretvoriti u »debeo« dipol. To se, između ostalog, može izvesti tako što se kraci dipola naprave kao trouglaste površine, kao što je prikazano na sl. 25.14a. Takvi leptir-dipoli nalaze se često u UKT području kao širokopojasne antene. Širina opsega leptir-dipola može se još povećati ako se u tačku napajanja priključe još dva zatvorena četvrttalasna voda (sl. 25.14b). Sledeća faza razvoja je prikazana na sl. 25.14c. U tom slučaju su površine ispunjene, a oba zatvorena četvrttalasna voda sada predstavljaju prorez dužine λ/2 između obe pravougaone površine. Tačka napajanja nalazi se u geometrijskoj sredini proreza. Ucrtane strelice pokazuju smer struje na površinama dipola. Da bi se poboljšala raspodela



Sl. 25.14. Razvoj betving-dipola iz leptir dipola

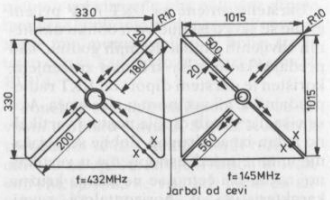
struje i ponašanje dipola na raznim frekvencijama usečena su krila (sl. 25.14), pa su oblici slični slepom mišu raširenih krila. Konačno, kompaktna krila dipola mogu se zameniti mrežnom konstrukcijom, čime je *betving*-dipol dobio svoj konačan oblik (sl. 25.14e).

Ovaj dipol ima veoma veliki frekventni opseg, a njegova impedanca u tački napajanja iznosi oko 70 Ω. Da bi se u horizontalnoj ravni dobilo približno kružno zračenje, formira se ukršteni dipol od dva *betving*-dipola, koji su jedan prema drugom postavljeni pod pravim uglom i koji se pobuđuju sa međusobnim faznim pomakom od 90°. Iz komercijalnih razloga više takvih etaža postavlja se vertikalno jedna iznad druge, pa se takva antena naziva *sjupertenstajl*-antena (engleski: superturnstile – supervrteška). Ona je rasprostranjena kao predajna antena u UKT radio-području i kao TV predajna antena, ali nije mmnogo značajna za radio-amatera.

25.2.5. Antena u obliku malteškog krsta

Antena u obliku malteškog krsta je horizontalna antena sa kružnim zračenjem, koja se odlikuje skoro potpunom simetrijom, a time i skoro idealnim kružnim dijagramima zračenja. Osim toga, njeno napajanje može se izvesti veoma jednostavno. Ona je sa najboljim uspehom upotrebljena kod predajnika za neprekidan rad na 70 cm po amateru *OZ7IGY*. Na sl. 25.15 prikazana je principijelna skica malteškog krsta i antene u obliku lista deteline, koja je nešto poznatija, ali i teža za izradu. Oba oblika antene rade na identičan način.

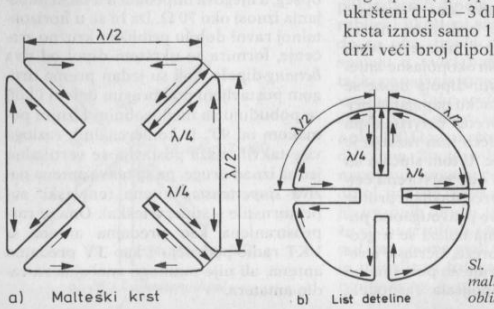
Malteški krst se sastoji od četiri polutalasna dipola koji su postavljeni pod 90°. Svaki polutalasni dipol završava se četvrttalasnim vodom, koji se kratko naziva petlja u vidu ukosnice. Posmatrajući ucrtane strelice struje, uočava se da se svaki dipol pobuđuje u fazi, ali je u protivfazi prema susednom dipolu. Ovako fazno pomerenom pobudom nastaje kružna karakteristika zračenja u horizontalnoj ravni – kao kod ukrštenog dipola. Sve petlje u vidu ukosnice imaju promenljive kratkospojne klizače pomoću kojih se može podesiti tačna rezonanca sistema. Zbog toga dimenzionisanje spoljašnjih delova polutalasnih dipola nije kritično jer uvek postoji mogućnost da se rezonanca podesi odgovarajućim pomeranjem kratkospojnih klizača. Budući da su petlje u vidu ukosnice podešeni vodovi, ni njihova karakteristična impedanca nema poseban značaj. Zbog toga se razmak provodnika ovih paralelnih žičanih vodova može prilagoditi mehaničkim potrebama. Iz tih razloga razmak od 20 mm, koji je naveden na sl. 25.16 predstavlja samo orijentacionu vrednost.



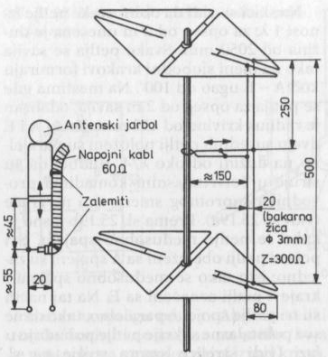
Sl. 25.16. Dimenzije antene u obliku malteškog krsta za 432 i 145 MHz (vrednosti su u mm)

Na sl. 25.16 date su dimenzije ove antene za opseg od 70 cm i od 2 m. Prilikom podešavanja, sva četiri kratkospojna klizača treba postaviti simetrično jedan prema drugom. Budući da su četiri pojedinačna elementa međusobno povezana, promena jednog kratkospojnog klizača ne deluje samo na polutalasni dipol kome pripada. Položajem kratkospojnog klizača može se, u određenim granicama, uticati i na dijagram usmerenosti. Četvrttalasni vodovi su potrebni radi obrtanja faze za po 180°.

Dok obične antene sa kružnim zračenjem zrače manje za 3 do 6 dB, u odnosu na prioritetan smer pruženog polutalasnog dipola (npr., prstenasti dipol – 6 DB, ukršteni dipol – 3 dB), gubitak malteškog krsta iznosi samo 1 dB, zbog toga što sadrži veći broj dipola.



Sl. 25.15. Antena u obliku malteškog krsta i antena u obliku lista deteline



Sl. 25.17. Malteški krst u dve etaže za 432 MHz (podaci u mm)

Malteški krst se napaja u jednoj od četiri petlje u vidu ukosnice, pri čemu se na tom četvrttalasnom vodu pronađu tačke u kojima impedanca odgovara karakterističnoj impedanci upotrebljenog simetričnog napojnog voda. Ako se za napajanje koristi simetrični vod od 240 Ω, onda se kod antene za opseg od 70 cm ta tačka nalazi na oko 100 mm od kratkospojnog klizača, dok je kod antene za opseg od 2 m ona približno u sredini četvrttalasnog voda. Petlje u vidu ukosnice koje se produže do noseće cevi, mogu se zalemiti sa njom iza kratko spojenog mesta. Preporučuje se da se elementi antene i petlje-ukosnice izrade od okruglog bakarnog provodnika prečnika 6 mm: za antenu za opseg od 2 m pogodna je i aluminijumska šipka prečnika 8 do 12 mm.

Preporučuje se da se malteški krst postavi u dve ili više etaža. Ako se odaberu dve etaže sa vertikalnim razmakom od 0,7 λ, dobiće se maksimalno pojačanje antene od oko 2 dB. Na sl. 25.17 prikazana je antena malteški krst za 432 MHz u dve etaže. Spojni vod dužine 500 mm sastoji se od bakarne žice prečnika 3 mm na razmaku od 20 mm, pa mu je karakteristična impedanca oko 300 Ω (vidi sl. 5.4). Dužina ovog spojnog voda nije kritična, jer vod nije podešen, već prilagođen. U njegovoj geometrijskoj sredini priključuje se kratko spojeni ogranak voda koji je pričvršćen na antenski jarbol (vidi detalj na sl. 25.17). Na tom mestu ceo sistem napaja se koaksijalnim kablom od 60 Ω, kao što je to prikazano na slici. Isto objašnjenje važi i za antenu u vidu lista deteline, jer su to u principu, iste antene.

25.2.6. Antena »veliki točak«
(The Big Wheel)

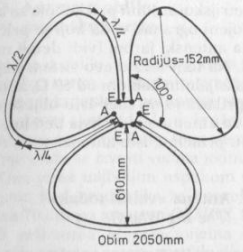
Za rad na UKT u opsegu od 2 m amater skoro isključivo koristi oštro usnopljene usmerene antene, jer uz njihovu pomoć može da uvišestruči snagu zračenja svog predajnika u određenom smeru. Osim toga, usmereno dejstvo omogućava potiskivanje smetnji iz drugih smerova prilikom prijema i isticanje željenog signala.

Ipak, dobre osobine usmerene antene nisu uvek prednost. Iz iskustva je poznato da se radio-saobraćaj u opsegu od 2 m odvija skoro isključivo u večernjim časovima, pa se u tom kratkom intervalu povećane aktivnosti ne može intenzivno tragati za postojećim signalima u svim smerovima, odnosno ne može se emitovati u svim smerovima. U praksi se obično antena zadrži u smeru iz koga se prima najveći broj stanica, pa se izgube mnoge veze u drugim smerovima. Veoma često se tek naknadno sazna da su u određenom smeru postojale dobre DX mogućnosti koje se nisu koristile, jer niko svoju usmerenu antenu nije okrenuo u tom smeru.

U tim slučajevima bila bi idealna horizontalno polarizovana antena sa kružnim zračenjem i velikim pojačanjem koja se eventualno nalazi pored usmerene antene sa oštrim usnopljenjem. Takva antena sa kružnim zračenjem garantovala bi da amatera mogu čuti svuda i da on prima signale iz svih smerova.

Amateri *W1IJD* i *W1FVY* razvili su takvu antenu pod nazivom *big vil* (engleski: »*Big Wheel*« = veliki točak). Ona je (u jednom nivou) ispitana kao antena za vozilo i u toku rada obezbedila je pojačanje od 5,7 dB u odnosu na jednostavan ukršteni dipol, a znatno je smanjila pojavu kratkotrajnih fedinga koja je karakteristična za mobilni rad. Budući da je »pojačanje«

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

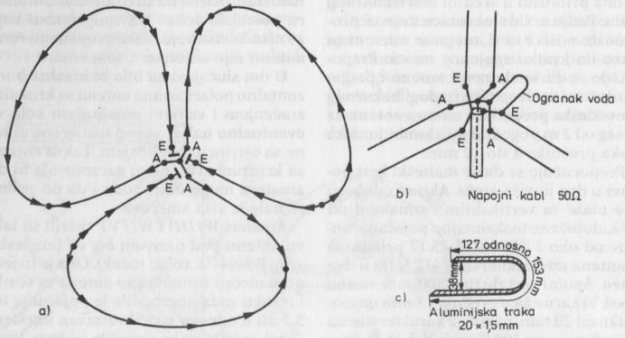


Sl. 25.18. »Veliki točak«

ukrštenog dipola – 3 dB u odnosu na polutalasni normalni dipol, antena »veliki točak« je za 2,7 dB bolja od polutalasne antene [2].

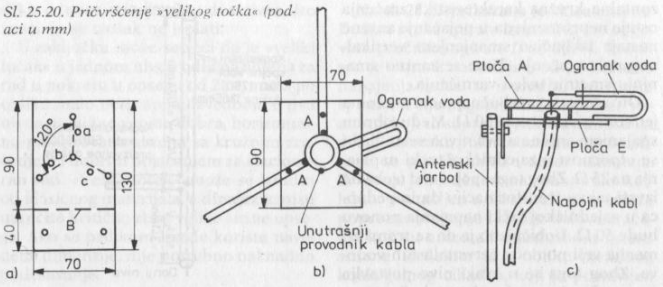
Na sl. 25.18 prikazana je skica velikog točka. On je veoma sličan malteškom krstu, odnosno listu deteline, ali samo sa tri petlje. Glavna razlika je u načinu napajanja. Malteški krst i list deteline poseduju elemente koji zrače, vezane na red, dok su kod velikog točka spojeni paralelno. Zbog toga antena »veliki točak« ima nižu otpornost u priključnoj tački. Na sl. 25.18 radi bolje preglednosti nije prikazano spajanje elemenata i napajanje; na sl. 25.19 prikazano je i jedno i drugo.

Na skici se vidi da obim svake petlje iznosi 1 λ; za opseg od 2 m unesena je dužina od 2050 mm. Svaka petlja se savija tako da njeni slobodni krakovi formiraju kod A – E ugao od 100°. Na mestima gde se petlja za opseg od 2 m savija, odabran je radijus krivine od 152 mm. Kraci A i E dveju susednih petlji položeni su paralelno na dužini od oko λ/4. Budući da su struje u četvrttalasnim komadima provodnika suprotnog smera, oni ne zrače (vidi sl. 25.19a). Prema sl. 25.19b jasno je kako se petlje međusobno spajaju. Svi počeci petlji obeleženi su A spojeni su zajedno; isto tako se međusobno spajaju i krajevi petlji označeni sa E. Na taj način su tri petlje spojene paralelno, tako da se sve polutalasne sekcije petlje pobuđuju u fazi (vidi strelice smera struje na sl. 25.19a). Zbog paralelne veze petlji otpornost u priključnoj tački antene opada na oko 10 Ω. Da bi se sistem mogao napajati komercijalnim koaksijalnim kablom, petlje od 1 λ malo se skraćuju; kapacitivna reaktivna komponenta koja nastaje zbog toga kompenzuje se induktivnim ogrankom voda u tački napajanja. Usled toga, otpornost u tački napajanja automatski se pomeri prema višim vrednostima, pa se sistem može napajati koaksijalnim kablom proizvoljne dužine. Ispružena dužina ogranka voda iznosi 127 mm za re-



Sl. 25.19 Pobuđivanje i napajanje »velikog točka«; a – raspodela struje, b – napajanje, c – ogranak voda

Sl. 25.20. Pričvršćenje »velikog točka« (podaci u mm)



zonancu u opsegu od 2 m. Ako se »veliki točak« koristi kao antena na vozilu, koja je postavljena na maloj visini iznad krova, povoljnije je da se pružena dužina odsečka voda dimenzioniše na 153 mm. Odsečak voda pravi se od aluminijumske trake (širine 20 mm i prečnika oko 1,5 mm) prema sl. 25.19c.

Sa električnog stanovišta nije važno od kakvog je materijala napravljena jednotalasna petlja. U ovom slučaju važne su mehaničke osobine, jer radijus kruga opisanog oko antene iznosi oko 600 mm (vidi sl. 25.18). Za antenu-uzorak odabrana je aluminijumska cev debljine 9,5 mm, u čije je otvorene krajeve ubačen drveni ili aluminijumski čep dužine najmanje 50 mm. Umesto cevi može se koristiti šipka prečnika 8 ili 10 mm za gromobranske instalacije, jer se ona savija bolje od cevi. Antenski provodnik u vidu cevi puni se suvim peskom, pa se čvrsto zatvori čepovima. Tek ovako pripremljen može se dobro saviti.

Mehaničko pričvršćivanje petlji i njihovo pravilno međusobno spajanje je nešto složenije. Na sl. 25.20 prikazan je predlog konstruktivnog rešenja. Držač se sastoji od pravougaone metalne ploče dimenzija 130 mm × 70 mm (sl. 25.20a); ona se savija na dužini od 40 mm pod pravim uglom (isprekidana linija). Ovaj savijeni deo služi za pričvršćenje na antenski jarbol. Ploča se pričvrsti na jarbol pomoću U zavornja sa navojem, a time se i uzemlji. Na ploču E pomoću vijaka pričvrste se svi krajevi petlji označeni sa E, kao i kraći krak ogranka voda. Pričvršćivanjem se mora obezbediti dobar galvanski spoj. Na ploču se zalemi i spoljašnji provodnik napojnog kabla. Na malom razmaku od ploče E montira se druga ploča A, izrađena od plastike. Na ploču A pričvrste se svi počeci petlja A, duži krak ogranka voda i unutrašnji provodnik napojnog kabla. Svi ovi delovi spoje se međusobno tako da se obezbedi dobra galvanska veza.

»Veliki točak« ima veliku širinu opsega. Kod antene za opseg od 2 m talasnost ostaje ispod 1,5 u području od 142 MHz do 150 MHz. Iz toga proizlazi da dimenzionisanje nije mnogo kritično. Na sl. 25.21 prikazan je dijagram zračenja antene postavljene u jednom nivou. Na njemu se može uočiti da udubljenja u smerovima četvrttalasnih komada antene iznose do 3 dB.

Odlične karakteristike ove antene dolaze još više do izražaja kada se dve antene postave vertikalno jedna iznad druge. Ako se odabere optimalan razmak etaža od 5/8 λ, pojačanje poraste za 2,5 dB u odnosu na antenu u jednom nivou. Hori-



Sl. 25.21. Dijagram zračenja »velikog točka« postavljenog u jednom nivou

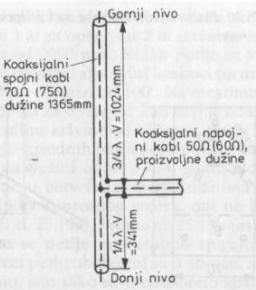
zontalna kružna karakteristika zračenja ostaje nepromenjena, a pojačanje antene nastaje isključivo smanjenjem vertikalnog ugla zračenja. Time se znatno smanjuju smetnje usled varničenja.

Otpornost u priključnoj tački antene u jednom nivou iznosi 50 Ω. Međusobnim spajanjem antena u dva nivoa smanjila bi se otpornost u zajedničkoj tački napajanja na 25 Ω. Zbog toga spojni vod treba da izvrši takvu transformaciju da impedanca u zajedničkoj tački napajanja ponovo bude 50 Ω. Uobičajeno je da se transformacija vrši pomoću četvrttalasnih vodova. Zbog toga se u svaki nivo postavlja četvrttalasni transformator, koji otpornost u priključnoj tački podiže sa 50 Ω na 100 Ω, a paralelna veza ovih impedanci daje opet 50 Ω u zajedničkoj tački napajanja. Karakteristična impedanca Z četvrttalasnog voda mora biti prema jednačini (5.31):

$$Z = \sqrt{50\ \Omega \cdot 100\ \Omega} \approx 70\ \Omega$$

Kao vod za transformaciju može se upotrebiti kabl od 75 Ω (npr., 75-4-4). U tom slučaju transformiše se impedanca od 50 Ω na 120 Ω, što u tački napajanja daje otpornost od 60 Ω.

U praksi se kao vod za spajanje i transformaciju koristi koaksijalni kabl karakteristične impedance 70, odnosno 75 Ω, čija električna dužina iznosi tačno 1 λ. Treba uzeti u obzir faktor skraćenja kabla od 0,66; tada se dobije geometrijska dužina od 2070 mm · 0,66 = 1365 mm. Budući da optimalni razmak etaža od 5/8 λ u opsegu od 2 m iznosi oko 1300 mm, navedeno rešenje je povoljno. Međutim, vod od 1 λ nema transformacionih karakteristika. Transformacija se ostvaruje samo na vodovima od λ/4 i sa njihovim neparnim umnošcima (3/4 λ, 5/4 λ, 7/4 λ itd.). Tome se, u ovom slučaju, može jednostavno doskočiti: jednotalasni vod se podeli na deo od λ/4 i na deo od 3/4 λ. Ceo sistem se napaja na udaljenosti λ/4 od donjeg nivoa, što jasno proizlazi iz sl. 25.22. Pri tom se mora voditi računa o sledećem: donji nivo se napaja preko transformatora λ/4, a dužina transformacionog voda za gornji nivo iznosi 3/4 λ. To znači da se oba nivoa napajaju sa faznim pomakom od 180°. Da bi se postiglo potrebno napajanje u fazi,



Sl. 25.22. Napajanje »velikog točka« u dve etaže (dimenzije su za rezonantnu frekvenciju od 145 MHz)

obe ravni treba obrnuti za 180° jednu u odnosu na drugu. To se izvodi veoma jednostavno: počeci petlji A u donjoj ravni spajaju sa krajevima petlji E u gornjoj ravni.

Ako se spojni vod dimenzioniše na električnu dužinu od 1,5 λ onda se bez veštačkih tehničkih zahvata postiže potpuno simetrično napajanje oba nivoa. Zajednička tačka napajanja nalazi se tada u geometrijskoj sredini spojnog voda. Svakom nivou pripada električna dužina kabla od 3/4 λ, koja vrši transformaciju kao četvrttalasni vod. Oba nivoa se tada napajaju simetrično i u fazi. Za faktor skraćenja od 0,66 i za električnu dužinu voda od 1,5 λ, u opsegu od 2 m dobije se geometrijska dužina voda od 3100 mm × 0,66 = 2046 mm. Razmak etaža treba da iznosi samo oko 1300 mm, pa se spojni vod polaže zaobilazno. Zaobilazno polaganje voda je obično poželjno; tada se spojni vod može pričvrstiti na antenski jarbol i voditi uz njega; za tačku napajanja dobija se tada dobar mehanički oslonac na antenskom jarbolu.

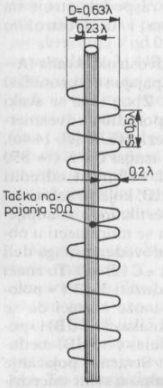
Pokazalo se da se usled međusobnog sprezanja antena u oba nivoa rezonanca malo pomera prema višim frekvencijama. Kompenzacija ove pojave postiže se povećavanjem ispružene dužine oba odsečka voda na 152 mm. »Veliki točak« može se proširiti i na četiri nivoa. Tada se postiže povećanje pojačanja od samo 2

dB u odnosu na *antenu* u dva nivoa, što znači da se trošak ne isplati.

U zaključku može se reći da je »veliki točak« u jednom nivou odlična antena za rad u pokretu u opsegu od 2 m, mada po obliku malo nezgrapna. Izvedbom u dva nivoa dobija se veoma dobra, horizontalno polarizovana antena sa kružnim zračenjem i dobrim pojačanjem za stacionaran rad. »Veliki točak« može se izraditi od klasičnog materijala, a dimenzije nisu naročito kritične zbog velike širine opsega. Ako se prilikom izrade koriste navedene dimenzije, nije potrebno naknadno podešavanje.

25.2.7. Dvostruka helikoidalna antena sa kružnim zračenjem

Dvostruka helikoidalna (helikoidalna = spiralna) antena spada u grupu helikoidalnih antena. Ako se postavi tako da osa antene bude vertikalna, ona predstavlja veoma efikasnu antenu sa kružnim zračenjem, horizontalnom polarizacijom i oštrim usnopljavanjem u vertikalnoj ravni. Njena mehanička konstrukcija poseduje niz prednosti u odnosu na druge oblike antena sa kružnim zračenjem, pa se dvostruka spirala i njene kombinacije mogu povremeno sresti kao predajne UKT i TV antene.



Sl. 25.23. Dvostruko helikoidalna antena sa kružnim zračenjem

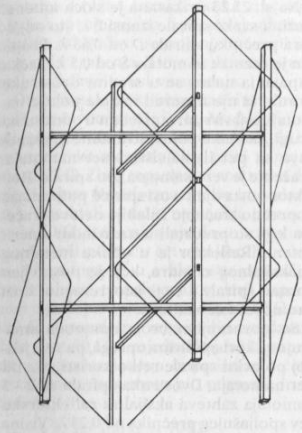
Na sl. 25.23 prikazana je skica antene. Dužina svake spirale iznosi 2 λ, što odgovara prečniku spirale D od 0,63 λ. Propisan je razmak namotaja S od 0,5 λ. Tačka napajanja nalazi se u sredini dvostruke spirale; iz nje nagore i nadole polaze namotaji koji su suprotni jedan u odnosu na drugi. Za svaku polovinu antene upotrebljava se pet ili najviše deset namotaja. Zračenje je vertikalno na osu spirale. Reflektor postavljen u osi spirale potpomaže poprečno zračenje i slabije delove zračenja koji su preostali u uzdužnom smeru antene. Reflektor je u obliku metalnog koaksijalnog cilindra, koji je postavljen unutar spirale i koji istovremeno služi kao noseća cev antene.

Sa povećanjem broja namotaja smanjuje se korisna širina opsega, pa se u jednoj polovini spirale retko koristi više od pet namotaja. Dvostruka spirala sa 2 · 5 namotaja zahteva aksijalnu reflektorsku cev spoljašnjeg prečnika od 0,23 λ. Visina postavljanja ovako izrađene antene je 5 λ, a pojačanje oko 7 dB. Napojni kabl vodi se kroz rflektorsku cev do centralne tačke napajanja. Otpornost u tački napajanja iznosi oko 50 do 100 Ω.

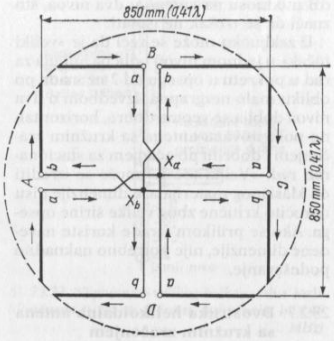
25.2.8. Dvostruka kvad-antena sa kružnim zračenjem po amateru *DL7QZ*

Amater *DL7KM* je razvio dvostruki *kvad*-element (vidi sl. 22.25b). Električki gledano, on se sastoji od četiri polutalasna dipola pune dužine, smeštena u četiri etaže jedan iznad drugog, sa pobuđivanjem u fazi i sa centralnim napajanjem. Teorija dvostrukog *kvad*-elementa detaljno je objašnjena u podtački 22.4.7.2. Očigledne su električne i mehaničke prednosti ovog oblika antena: kod ovog etažnog antenskog sistema nema spojnih vodova koji unose gubitke, a time ni zalemljenih mesta kod kojih se ne može izbeći korozija; to su samo antenski provodnici koji zrače i samo jedan zalemljeni priključak u tački napajanja.

Amater *DL7QZ* konstruisao je od četiri dvostruka *kvad*-elementa horizontalno polarizovanu antenu sa kružnim zračenjem (sl. 25.24). Gledano odozgo sistemi



Sl. 25.24. Dvostruka kvad-antena sa kružnim zračenjem i njena noseća konstrukcija



Sl. 25.25. Pobuda dvostruke kvad-antene sa kružnim zračenjem

su postavljeni u obliku kvadrata tako da su uvek po dva dvostruka *kvad*–elementa međusobno paralelni i na razmaku od 850 mm (što odgovara oko 0,41 λ). To znači da se na svakoj od četiri strane sveta nalazi jedan dvostruki *kvad*. Pojačanje dvostrukog *kvada* nastaje isključivo usnopljavanjem u vertikalnoj ravni (ravan *H*); horizontalni ugao zračenja odgovara uglu polutalasnog dipola i iznosi oko 80°. Zbog toga se može računati sa približno kružnim zračenjem u ravni *E* uz vertikalni ugao zračenja ⩾ 60°. Prema literaturi pod [3] maksimalno odstupanje od kružnog dijagrama zračenja nije veće od 0,5 dB.

Da bi se sagledao način rada ove antene sa kružnim zračenjem, mora se razmotriti njena pobuda. Na sl. 25.25 prikazan je pogled odozgo na četiri dvostruka *kvad*–elementa A, B, C i D sa njihovim pobudnim vodovima. Polazeći od centralne tačke napajanja $X_a - X_b$, svaki od četiri dvostruka *kvada* napaja se dvožičnim vodom električne dužine λ/4. To znači da su otpornosti u tački napajanja elemenata A, B, C i D od oko 270 Ω međusobno paralelno spojene u centralnoj tački napaja-

nja $X_a - X_b$, iz čega proizlazi simetrična impedanca od 65 Ω.

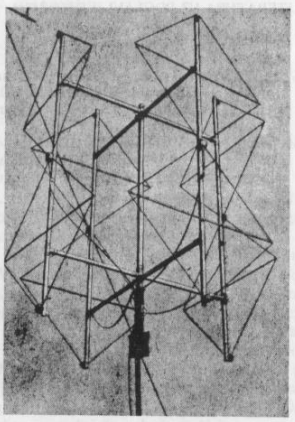
Posmatrano iz tačke $X_a - X_b$ prema pojedinim dvostrukim *kvadovima*, uvek su levi priključci obeleženi sa a, a desni sa b. Ako se prate pobudni vodovi, vidi se da svi a–priključci moraju biti spojeni sa X_a, a svi b–priključci sa X_b. Pri tom treba voditi računa da provodnici od A prema $X_a - X_b$ i od B prema $X_a - X_b$ moraju promeniti polaritet, tj. moraju se aksijalno uvrnuti za 180°. Pod ovom pretpostavkom dobije se prikazana raspodela struje na pobudnim vodovima i u dvostrukim *kvad*–elementima.

Po dva paralelna dvostruka *kvada* (A – C, odnosno B – D) napajaju se u protivfazi (vidi strelice struje). Zbog toga se svaki par kvadova može uporediti sa dvosmernom antenom amatera *W8JK* (sl. 14.4a). Međusobni razmak iznosi 0,4 λ (= 850 mm), pa se prema sl. 14.2 može odrediti pojačanje od oko 3 dB, koje se sabira sa pojačanjem usled vertikalnog usnopljenja zračenja. Pri tom se mora uzeti u obzir i činjenica da se dovedena snaga deli po pola na sisteme A – C i B – D. To znači da se opet moraju oduzeti 3 dB (= polovina snage). Dakle, može se reći da se »pojačanje usled razmaka« (+ 3 dB) i »pojačanje usled raspodele« (– 3 dB) međusobno poništavaju. Stvarno pojačanje koje deluje horizontalno u svim smerovima sveta ostaje samo pojačanje jednostavnog dvostrukog *kvad*–elementa. Za hibridni dvostruki *kvad* (vidi tačku 27.3.4) dokazano je pojačanje od 9 dB, pa se za dvostruki *kvad* bez reflektora može uzeti oko 5 dB. Na anteni sa kružnim zračenjem po amateru *DL7QZ*, izmereno je stvarno pojačanje od oko 5 dB. To je neobično dobra vrednost, ako se uzmu u obzir uložena sredstva.

Međutim, mora se uzeti u obzir i činjenica da je neobično teško izvršiti tačna merenja kod antena sa kružnim zračenjem, jer refleksije koje se javljaju iz svih smerova prouzrokuju velike greške pri merenju. Ni za običan dvostruki *kvad* nema još temeljnih merenja, pa se može dogoditi da će se podaci o pojačanju morati revidirati.

Za pobudne vodove između centralne tačke napajanja $X_a - X_b$ i dvostrukih *kvadova* predviđeni su simetrični trakasti vodovi karakteristične impedance 240 do 300 Ω. Budući da su to podešeni četvrttalasni vodovi, mora se uzeti u obzir faktor skraćenja *V* upotrebljenog tipa voda. Za neke kablove navodi se faktor *V* = 0,8; u tom slučaju dužina spojnog voda između svaka dva paralelna dvostruka *kvada* iznosi samo 2 · 414 mm = 828 mm, pa i njihov geometrijski razmak nije više 850 mm, već samo 828 mm (odgovara 0,4 λ). Ako faktor *V* iznosi 0,82, razmak od 850 mm je pravilan. Vodovi sa dielektrikom od polietilenske pene imaju, uopšte, faktor skraćenja *V* od 0,85. Dužine vodova iznose tada po 2 · 440 mm = 880 mm. U tom slučaju mora se povećati paralelni razmak na 880 mm (što odgovara 0,425 N) ili se mora zadržati zadati razmak od 850 mm i dozvoliti odgovarajući proves spojnih vodova. Napred navedene tolerancije ne prouzrokuju bitne promene karakteristika zračenja. Najvažnije je da sva četiri spojna voda budu tačno iste dužine (λ/4 · *V*).

Kao što je već objašnjeno, impedanca u tački napajanja $X_a - X_b$ iznosi oko 65 Ω i simetrična je. Zbog toga se ovaj antenski sistem može napajati koaksijalnim kablom od 50, 60 ili 75 Ω proizvoljne dužine, ali radi dobijanja dobre kružne karakteristike zračenja treba izvršiti simetriranje. To se najjednostavnije može izvesti



Sl. 25.26. Dvostruka kvad-antena sa kružnim zračenjem prema amateru DL7QZ (foto: O. Oberrender, DM2CRD)

pomoću *Pozijevog*–člana za simetriranje (odeljak 7.2).

Mehaničke dimenzije dvostrukih *kvad*–elemenata odgovaraju dimenzijama datim na sl. 22.25b. Konstrukcioni detalji drvenog nosača prikazani su na sl. 25.24; on se sastoji od impregniranih letava preseka 25 mm · 25 mm. Za antenski jarbol može poslužiti odgovarajuća čelična cev, jer je njen uticaj na karakteristike zračenja horizontalno polarizovane antene sasvim mali.

Smanjenjem svih dimenzija na 1/3 datih vrednosti dobija se veoma praktična antena sa kružnim zračenjem za amaterski opseg od 70 cm. Ona se može uporediti sa etažnim antenama u obliku malteškog krsta (tačka 25.2.5), odnosno »velikog točka« (tačka 25.3.6). Vertikalni ugao zračenja je manji, pa je i pojačanje veće kod dvostrukog *kvada* po amateru *DL7QZ*, a mehaničko rešenje je jednostavnije i potrebno je znatno manje materijala.

Na sl. 25.26 prikazan je primer dvostruke *kvad*–antene sa kružnim zračenjem.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 25

Gerle, H.: Vertikal polarisierte 2–m–Antenne mit Rundstrahlcharakteristik Das DL–QTC, Stuttgart (1971), sveska 6, strana 349 do 351

Mellen, R. H./Milner, C. T.: The Big Wheel on Two, »QST«, septembar, West Hartford, Conn., 1961; Performanse Tests on the Big Wheel 2–Meter Array, »QST«, oktobar, West Hartford, Conn., 1961

Roggensack. D.: Hybrid–Doppelquad–Antenne fuer VHF/UHF, Funk–Technik, 29 (1974), sveska 9, str. 326 do 328

Jasik, H.: Antenna Engineering Handbook, Poglavlje 3.8, prvo izdanje, McGraw–Hill Book Company, Inc., New York 1961

Kandoian, A. G.: Three New Antenna Types and Their Applications, Proc. IRE, Vol. 34, str. 70, februar 1946

26. Specijalni oblici VVF i UVF antena

U VVF i UVF području se, pored uobičajenih *jagi* i grupnih antena, upotrebljava čitav niz specijalnih antenskih oblika. To su, pre svega, širokopojasne usmerene antene, antene sa uzdužnim zračenjem posebnih oblika i antene sa prorezom. Za posebne primene i radio-amateri ponekad koriste specijalne oblike antena.

26.1. Površinski dipoli i njihove kombinacije

Otpornost priključne tačke površinskih dipola malo zavisi od odabrane radne frekvencije. Zbog toga ova vrsta dipola ima veliku širinu frekventnog opsega (vidi odeljak 4.3). Pošto su u VVF području, a naročito u UVF području, srazmerno manje dimenzije površinskih dipola, njihova izrada ne stvara mehaničke poteškoće. Zato su oni čest sastavni deo mnogih širokopojasnih sistema decimetarskog talasnog područja.

26.1.1. Dipol–antena u obliku leptira

Na sl. 26.1 prikazan je dipol koji se naziva i leptir–antena (engleski: *butterfly* = leptir), jer po obliku liči na leptira u letu. U stručnoj literaturi na nemačkom jeziku ova se antena najčešće naziva *betwing* (vidi sl. 25.14).

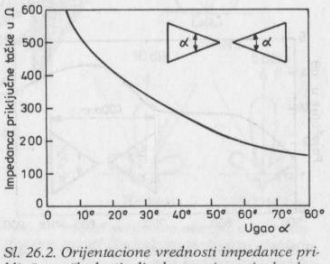
To je jednotalasni dipol kod koga je proširivanjem površine elemenata postignuta velika širina opsega. Konstrukcija u obliku trouglastih krila omogućava uštedu materijala i definisanje tačke napajanja na međusobno bliskim vrhovima trouglova. Povećano kapacitivno dejstvo krajeva uslovljava veliko skraćenje dipola. Ugao α definiše otpornost u priključnoj tački, faktor skraćenja i širinu opsega jednotalasnog leptir–dipola.

Radi srazmerno većih dimenzija, u VVF području se najčešće bira ugao α od oko 30°, dok se u UVF području rado koristi vrednost ugla α između 60° i 80°, jer je ona povoljnija u pogledu širine opsega.

Kao što proizlazi iz sl. 26.2, za ugao α od 30° može se računati sa impedancom priključne tačke od približno 350 Ω.U ovom slučaju dužina *l* treba da iznosi oko 0,8 λ; pri tom se dobije relativna širina opsega o = 0,65 f_m. Radi smanjenja težine i veće postojanosti na delovanje vetra, površine trougla mogu biti od perforiranog lima ili od guste mreže. Moguće su i rešetkaste konstrukcije od štapova.



Sl. 26.1. Širokopojasni dipol



Sl. 26.2. Orijentacione vrednosti impedance priključne tačke leptir-dipola u zavisnosti od ugla α

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Impedanca u priključnoj tački malo zavisi od promene ugla α, pa je približno konstantna u relativno velikom frekventnom području. Optimalne vrednosti ugla α su 60° do 80° kada je ulazna otpornost između 160 Ω i 200 Ω, a faktor skraćenja oko 0,73. Reaktivne komponente impedance u priključnoj tački su zanemarljivo male, a takođe i njihova promena sa frekvencijom, pa dužina *l* nije kritična zbog velike širine opsega.

Poznato je da pojačanje »vitkog« jednotalasnog dipola iznosi već 1,8 dB u odnosu na podešeni polutalasni dipol. Zbog povoljnijeg odnosa impedance, širokopojasni površinski jednotalasni dipol ne pobuđuje se samo frekvencijom za koju je dimenzionisan, već i mnogo višim frekvencijama. Za te više frekvencije dužina dipola je, takođe, veća od električnog 1 λ. Zbog toga, na višim frekvencijama raste pojačanje antene i može iznositi oko 4 dB. Na sl. 26.3 prikazan je primer rezultata merenja pojačanja leptir–dipola čiji je ugao α = 70° (dužina 400 mm) u frekventnom području od 500 do 900 MHz. Iz toga proizlazi da širina opsega leptir–dipola sa uglom α od 70° daleko prelazi granice TV područja IV/V.

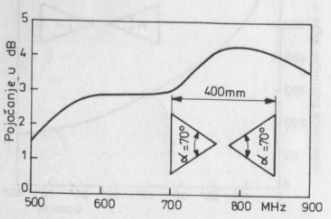
26.1.2. Lepezasti dipol

Karakteristične osobine »debelog« dipola poseduju i dipoli koji su od pojedinačnih štapova napravljeni u vidu lepeze, kao što je prikazano na sl. 26.4. »Lepeze« mogu sadržati dva ili više pojedinačnih štapova. Ovakva konstrukcija doprinosi uštedi materijala, lagana je i pruža malu otpornost vetru.

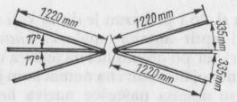
Lepezasti dipol čije su dimenzije date na sl. 26.4 odgovara približno cilindričnom dipolu debljine 70 mm. Ako se koristi u III TV području, njegova električna dužina je u svakom slučaju veća od 1 λ. Više se ne može govoriti o poznatoj karakteristici dipola u vidu osmice, jer se slično kao kod dugačkih žičanih antena horizontalni dijagram zračenja deli na više snopova, već prema tome koliko je duži od 1 λ. Na kanalima 7 do 12 očekuje se pojačanje reda 2 dB; ali ono se ne javlja pod pravim uglom prema uzdužnoj osi antene, već u drugim smerovima.

Jednostavna mogućnost usmeravanja glavnog zračenja »predugačkog« lepezastog dipola na jednu stranu postiže se savijanjem dipola u obliku slova V. Optimalni ugao savijanja krakova α zavisi od električne dužine krakova u λ (vidi odeljak 11.4).

Na sl. 26.4 prikazan je lepezasti dipol sa uglom α od 114°. On je veoma pogodan zbog toga što u III opsegu horizontalni dijagram pokazuje jednostrani glavni snop (sl. 26.5). Ovaj savijeni lepezasti dipol predstavlja veoma praktičnu prijemnu antenu za sve kanale I, II i III VVF opsega. On ima ulogu pomoćne antene, jer se njegova otpornost u priključnoj tački menja sa frekvencijom između 60 Ω i 600 Ω, a sadrži i reaktivne komponente. Ipak, u prijemnim TV kanalima III opsega može se računati sa pojačanjem antene od oko 3,5 dB (kanal 5) do 5 dB (kanal 8 i 9). Za date dimenzije antene otpornost u priključnoj tački je za kanal 8 i 9 približno realna i iznosi između 240 Ω i 300 Ω. U I i II opsegu može se računati približno sa karakteristikom zračenja polutalasnog dipola, ali bez njenih izraženih nultih mesta.



Sl. 26.3. Pojačanje leptir-dipola (α = 70°, l = 400 mm) u zavisnosti od frekvencije



Sl. 26.4. Lepezasti dipol (prednji pogled)



Sl. 26.5. Savijeni lepezasti dipol, pogled odozgo

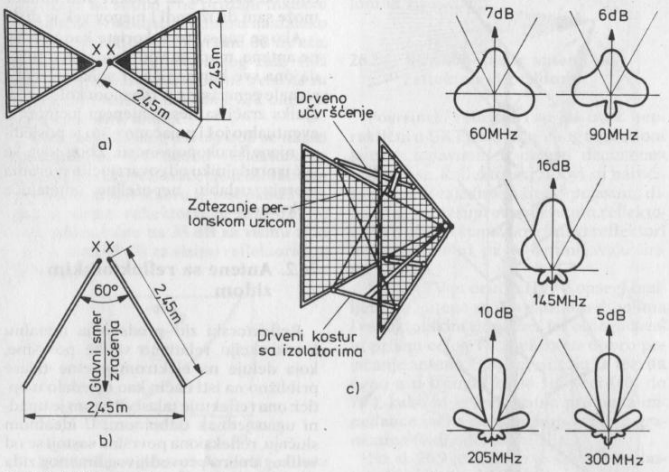
26.1.3. Pojednostavljena rog–antena

To je širokopojasna antena koja je usko povezana sa savijenim dipolom u obliku lepeze. Ona je naročito pogodna za prijem celog VVF spektra sa dobrim pojačanjem. To je prava širokopojasna antena; rezonantne praznine se ne javljaju u celom frekventnom području od oko 50 MHz pa naviše, sve do područja decimetarskih talasa. Zapaža se da pojačanje antene kontinualno raste sa frekvencijom. Na sl. 26.6 prikazana je ova antena sa svim potrebnim podacima o dimenzijama.

Kao što je prikazano na sl. 26.6a, to su dva jednostranična trougla, čija stranica iznosi 2,45 m. To znači da ugao α iznosi 60°. Vrhovi trouglova međusobno se približavaju u tački napajanja XX. Na sl. 26.6b vidi se da je to leptirasti dipol čije su polovine jedna prema drugoj savijene pod uglom od 60°. Glavni smer zračenja (odnosno glavni smer prijema) poklapa se sa simetralom ugla.

Amater *DL1FQ* proverio je konstrukciju kod koje su okviri trouglova napravljeni od čelične cevi, a na njih je razapeta pocinčana gvozdena mreža (širina petlje mreže 20 mm). Na sl. 26.6c prikazano je kako se može izvesti mehaničko učvršćenje ove malo obimnije konstrukcije. Pogodno je dijagonalno zatezanje plastičnim užetom ili staklenim koncem.

Na sl. 26.6d dati su horizontalni dijagrami zračenja i podaci o pojačanju koje je izmerio amater *DL1FQ*. Na frekvenciji od 60 MHz zračenje je približno kružno, a pojačanje u tri glavna snopa iznosi maksimalno 7 dB. U UKT radio-području (90 MHz) može se računati sa dobrim prijemom na najmanje 300° punog kruga. Za



Sl. 26.6. Pojednostavljena rog-antena: a – pogled spreda, b – pogled vertikalno odozgo, c – predlog mehaničke konstrukcije (bočni pogled), d – dijagrami zračenja za različite frekvencije (prema amateru DL1FQ)

rad u opsegu od 2 m (145 MHz) navodi se neverovatno veliko pojačanje od 16 dB. U oblasti III TV opsega, ono ponovo opada na uobičajene vrednosti. Kada se izvrši detaljna provera, navedeni podaci o pojačanju moraće se verovatno korigovati na niže vrednosti. Korisnici ovakvih površinskih dipola postavljenih pod uglom, ističu uvek odlične širokopojasne prijemne osobine ovih antena.

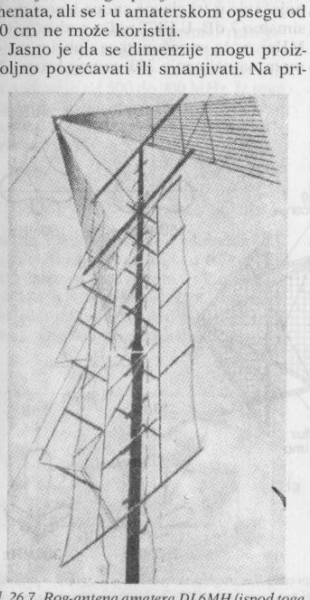
Na sl. 26.7 prikazana je rog–antena koju je proverio amater *DL6MH*. Upotrebljeni su trouglovi od aluminijumskih cevi, čija je dužina stranice 3 m. Od vrha trougla u kome se vrši napajanje, prema spoljašnjoj strani trougla postavljeno je petnaest aluminijumskih cevi prečnika 8 mm. Antena je odlična za prijem UKT radio-opsega, a daje dobre rezultate i u I TV opsegu. U opsegu od 2 m ona je po vrednosti jednaka grupnoj anteni od 12 elemenata, ali se i u amaterskom opsegu od 70 cm ne može koristiti.

Jasno je da se dimenzije mogu proizvoljno povećavati ili smanjivati. Na primer, ako je potrebna približno kružna karakteristika u UKT radio-opsegu, dimenzije se smanje tako da stranica iznosi 1,65 m. Na taj način može se postići dovoljno pojačanje antene u opsegu od 2 m, a u celom III TV području mogu se očekivati dobri rezultati.

Kod rog–antene čiji su trouglovi postavljeni pod uglom od 60°, dužina stranice trougla i najveća radna talasna dužina nalaze se u odnosu od oko 1 : 2. To znači da se, npr., rog–antena čija je stranica 3 m, može koristiti počevši od radne talasne dužine od 6 m = 50 MHz. Pojačanje kontinualno raste sa povećanjem frekvencije, sve dok se dijagram zračenja ne počne da deli na veći broj snopova.

Impedanca u napojnoj tački XX iznosi na donjoj graničnoj frekvenciji oko 300 Ω i raste sa povećanjem radne frekvencije do oko 380 Ω. Zbog toga je za napajanje antene pogodan komercijalni trakasti vod od 300 Ω. Gubici su manji ako se upotrebi dvožični vod sa vazduhom kao izolatorom i karakterističnom impedancom od oko 350 Ω. Ovakav vod amater može sam da izgradi i njegov vek je duži.

Ako se rog–antene koriste kao predajne antene, mora se voditi računa o tome da ona sve harmoničke i neharmoničke signale generisane u izlaznom kolu predajnika zrači sa nesmanjenom jačinom – eventualno još i pojačano – što je posledica njene širokopojasnosti. Zbog toga se već u predajniku odgovarajućim merama moraju oslabiti nepoželjne ometajuće frekvencije.



Sl. 26.7. Rog-antena amatera DL6MH (ispod toga biskver-antena ispred reflektorskog zida)

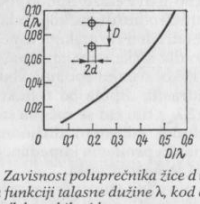
26.2. Antene sa reflektorskim zidom

Reflektorski zid predstavlja metalnu konstrukciju relativno velike površine, koja deluje na elektromagnetne talase približno na isti način kao ogledalo u optici: ona reflektuje talase. Pri tom je upadni ugao jednak odbojnom. U idealnom slučaju, refleksiona površina sastoji se od velikog dobro provodljivog limenog zida (u teoretskom idealnom slučaju: beskonačno velika površina beskonačno velike provodljivosti).

Ako petlje mreže nisu veće od λ/200 onda je reflektorsko dejstvo mreže približno jednako dejstvu ravne metalne površine. Istraživanja opisana u literaturi pod [1] pokazala su da se kompaktan reflektorski zid može zameniti i mrežom paralelnih žica, ako se, u zavisnosti od talasne dužine, uspostavi određeni odnos između poluprečnika žice i razmaka žica. Ta zavisnost je prikazana na sl. 26.8. U toku ovih istraživanja je istovremeno dokazano da prečnik žice može biti mnogo manji nego što je prikazano na dijagramu; a da ne dođe do znatnijeg pogoršanja efikasnosti reflektorskog zida. Zbog uštede materijala i manje otpornosti vetru kod mnogih reflektorskih zidova konstruisanih od štapova razmak između štapova treba da bude oko λ/20. Mnogi amateri prave reflektorske zidove od guste mreže koja se koristi i za izradu ograda za čuvanje pilića. Mreža se mora razapeti tako da međusobno prepletene ivice njenih petlji budu paralelne sa uzdužnom osom antene. Amater retko koristi reflektorske površine sačinjene od paralelnih cevi. One su skupe i ne pružaju nikakve električne prednosti u odnosu na daleko jeftinije reflektorske površine od mreže.

Za dimenzije reflektorskog zida važi sledeće praktično pravilo: *one treba da su u svakom smeru za najmanje λ/2 duže od dimenzija same antene.*

Kod polutalasnog dipola koji se nalazi na razmaku λ/4 ispred reflektorskog zida, odnos između zračenja u direktnom i reflektovanom smeru iznosi oko 25 dB, ako je visina reflektorskog zida 0,82 λ; ovaj odnos raste na 38 dB za visinu zida od 2 λ, a na 45 dB za visinu reflektorskog zida od 4 λ.



Sl. 26.8. Zavisnost poluprečnika žice d i razmaka žica D u funkciji talasne dužine λ, kod električno gustih reflektorskih zidova (prema literaturi pod [1])

Teoretski, dobije se maksimalno pojačanje (7 dB) ako je polutalasni dipol postavljen neposredno ispred reflektorskog zida (razmak 0,05 λ). Pri tom se pretpostavlja beskonačno veliki i idealno provodljivi reflektorski zid. U praksi se ne mogu koristiti ekstremno mali razmaci dipola, jer veliko približavanje prouzrokuje povećane omske gubitke u reflektorskom zidu; osim toga, mnogo se smanjuje impedanca u priključnoj tački, pa dipol ima malu širinu opsega.

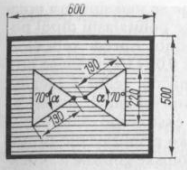
Razmaci reflektora između oko 0,1 λ i 0,35 λ povoljni su u pogledu pojačanja. Treba izbegavati razmak od 0,5 λ; pri tom razmaku, glavni snop razdvaja se u dva jaka bočna snopa. Veoma je pogodan i razmak dipola od 0,65 λ do 0,85 λ. Ako se kod takvih razmaka upotrebi dovoljno veliki i električno gust reflektorski zid postiže se pojačanje od 5 dB ± 1 dB. Oba maksimuma pojačanja koja zavise od razmaka naročito su povoljni za primenu u širokom frekventnom opsegu. Još veća pojačanja postižu se pomoću reflektorskih zidova, koji su postavljeni pod uglom ili su savijeni.

26.2.1. Širokopojasne antene sa reflektorskim zidom

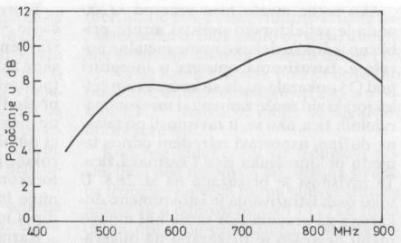
Površinski reflektori su još uvek nepraktični u UKT području; zbog toga se oni koriste uglavnom u oblasti decimetarskih talasa. Reflektorski zidovi su naročito pogodni zajedno sa širokopojasnim dipolima, jer nasuprot podešenim reflektorima u obliku štapa, površinski reflektori nisu rezonantni, pa ne ograničavaju širinu opsega.

U UVF TV području (IV/V opseg) omiljene su antene sa površinskim dipolima i reflektorskim zidovima, jer omogućavaju prijem celog TV spektra uz dobro pojačanje antene. U ovom slučaju se teži da ugao α u trouglu bude što veći (60° do 70°), kako bi se frekventna promena impedance tačke napajanja zadržala u granicama (vidi odeljak 26.1.1).

Na sl. 26.9 prikazana je skica trouglastog dipola ispred reflektorskog zida, koji je dimenzionisan za prijem frekventnog područja od 450 do 900 MHz. Iz dijagra-



Sl. 26.9. Jednostavna širokopojasna antena sa trouglastim dipolima čiji je α = 70° i sa reflektorskim zidom (razmak reflektorskog zida 120 mm)



Sl. 26.10. Izmerena promena pojačanja u zavisnosti od frekvencije za trouglasti dipol ispred reflektorskog zida prema sl. 26.9

ma izmerene promene pojačanja u odnosu na podešeni polutalasni dipol (sl. 26.10) dobije se da pojačanje raste od oko 5 dB na kanalu 21 do oko 10 dB na kanalu 60. Razmak dipola i reflektorskog zida iznosi 120 mm. Otpornost u priključnoj tački je oko 170 Ω, što je uslovljeno velikim uglom α od 70°. Ako se napaja vodom od 240 Ω, koeficijent stojećih talasa je manji od 2 u celom frekventnom području. Moguće je i napajanje koaksijalnim kablom preko polutalasne petlje, čime se širina opsega vrlo malo ograničava.

Ako impedanca u tački napajanja treba da iznosi približno 240 Ω, ugao se mora smanjiti na oko 45°. Usled toga, širina opsega se malo smanjuje, a nešto je veća frekventna promena impedance priključne tačke.

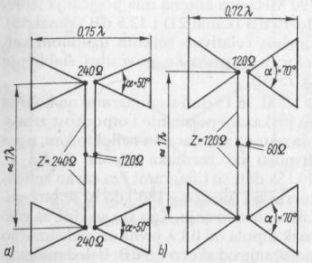
26.2.2. Širokopojasni dipoli u više etaža sa reflektorskim zidom

Primenjujući jednotalasne dipole u obliku trougla, mogu se iskoristiti prednosti niza dipola i u vezi sa reflektorskim zidom. Kod postavljanja širokopojasnih dipola u etaže javljaju se, uglavnom, problemi napajanja; napajanje pojedinih nivoa ne sme da prouzrokuje znatno pogoršanje širokopojasnih karakteristika. Zbog toga po mogućnosti, treba izbegavati elemente za transformaciju i težiti prilagođenju realnih otpornosti.

Ako je potrebno da se dva jednotalasna trouglasta dipola postave u etaže, bilo bi zgodno da priključna impedanca pojedinog dipola bude oko 480 Ω, jer bi se tada paralelnim vezivanjem obe ulazne impedance u centralnoj tački napajanja dobilo 240 Ω. Prema sl. 26.2 ugao leptirastog dipola iznosio bi samo oko 15°. Posledica toga bila bi relativno mala širina opsega, a povećala bi se i frekventna promena impedance priključne tačke. Zbog toga, mali uglovi α ne predstavljaju povoljno rešenje.

Ako su potrebne samo dve etaže, onda je povoljnije odabrati ugao α od oko 50°, čime se, prema sl. 26.2, postiže da impedanca priključne tačke bude približno 248 Ω. Paralelnim spajanjem, u centralnoj tački napajanja dobija se impedanca od 120 Ω. Ako se priključi vod od 240 Ω, usled neprilagođenja, koeficijent stojećih talasa biće 2 : 1. To se, bar za prijemni rad, može prihvatiti kao kompromisno rešenje, jer su prednosti ovakve antene mnogo veće u odnosu na onu sa malim uglom α. Na sl. 26.11a prikazano je ovo kompromisno rešenje za leptiraste dipole sa uglom α od 50° u dve etaže. Spojni vod sastoji se od proizvoljno dugačkog voda od 240 Ω, koji je određen razmakom između etaža. Centralna tačka napajanja nalazi se u geometrijskoj sredini spojnog voda. Razmak leptirastih dipola od reflektorskog zida je 0,2 λ, s tim što se računa sa najvećom radnom talasnom dužinom. Kod ovog razmaka promena impedance tačke napajanja je veoma mala.

Druga povoljnija mogućnost prikazana je na sl. 26.11b. U ovom slučaju, ugao α je 70°, pri čemu otpornost priključne tačke



Sl. 26.11. Napajanje leptirastih dipola u dve etaže ispred reflektorskog zida: a – ugao α = 50°, razmak do reflektorskog zida 0,2 λ, b – ugao α = 70°, razmak do reflektorskog zida 0,15 λ (reflektorski zid nije prikazan)

pojedinog dipola iznosi još samo oko 170 Ω (vidi sl. 26.2). Ako se dipol približi reflektorskom zidu na oko 0,15 λ (računa se najveća radna talasna dužina), otpornost priključne tačke smanjiće se na približno 120 Ω, ali će postati manje zavisna od frekvencije. Tada bi se oba dipola mogla spojiti proizvoljnom dužinom voda od 120 Ω. Nakon toga u centralnoj tački napajanja javlja se simetrična otpornost od približno 60 Ω. Preko širokopojasnog transformatora za simetriranje (vidi poglavlje 7) može se tada napajati komercijalnim koaksijalnim kablom. Često se može izostaviti transformator za simetriranje i kabl priključiti direktno.

Ako je razmak između etaža dva jednotalasna leptirasta dipola oko 1 λ, u zavisnosti od frekvencije, mogu se očekivati antenska pojačanja između 9 i 12,5 dB. Preduslov je da se leptirasti dipoli u etažama nalaze ispred dovoljno velikog reflektorskog zida. U navedenom slučaju može se smatrati da je dovoljno velika refleksna površina visine oko 2 λ i širine oko 1 λ.

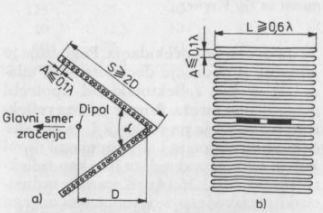
26.2.3. Dipol sa ugaonim reflektorom

Velika antenska pojačanja mogu se postići i sa jednostavnim dipolima, ako se postave u žižu ugaonog reflektorskog zida. Budući da je prilikom refleksije odbojni ugao talasa jednak njihovom upadnom uglu, može se dokazati da se najveći deo zračenja koje stigne do reflektorskog zida, reflektuje prema dipolu (pod pretpostavkom da se dipol nalazi u žiži ugaonog reflektora). Kod ugaonog reflektora sa ravnim površinama žiža nije definisana, jer ona postoji samo za parabolično savijene površine. Međutim, i ovaj nepotpuni način koncentrisanja zračenja omogućava postizanje znatnih pojačanja antene.

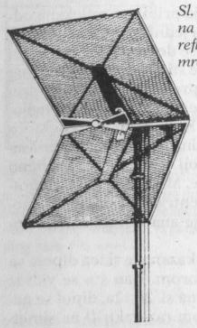
Na sl. 26.12 prikazana je skica dipola sa ugaonim reflektorom. Kao što se vidi iz bočnog pogleda na sl. 26.12a, dipol se nalazi na određenom razmaku D na simetrali ugla α, pod kojim su postavljene reflektorske površine. Ugao α je 90°, ređe 60°, a u izuzetnim slučajevima 45°. Optimalni razmak dipola D zavisi od ugla α. Dužina krakova S treba da bude najmanje dvostruko veća od razmaka dipola ($S \geq 2D$); veće dužine krakova povećavaju pojačanje.

Ako u pogledu širine opsega nema posebnih zahteva, onda se kao napajani element koristi ili pruženi ili savijeni polutalasni dipol. U tom slučaju, širina L ugaonog reflektora mora biti najmanje 0,6 λ. Duži dipoli zahtevaju odgovarajuće šire ugaone reflektore.

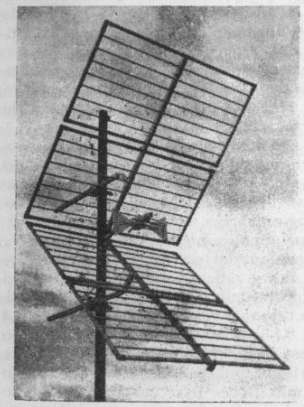
Ako se reflesione površine izrade od pojedinačnih štapova ili žica kao na sl. 26.12b, onda razmak žica treba da bude $A \leq 0{,}1$ λ. U praksi se nailazi i na znatno veće razmake. Ako nema štapova, može se upotrebiti i bakarna žica prečnika 1 do 2 mm. Bočne letve ugaonog kostura se probuše, pa se žica provlači sa jedne stra-



Sl. 26.12. Dipol sa ugaonim reflektorom: a – bočni pogled, b – pogled spreda



Sl. 26.13. Širokopojasna antena sa ugaonim reflektorom od žičane mreže



Sl. 26.14. Širokopojasni dipol sa ugaonim reflektorom za IV/V opseg

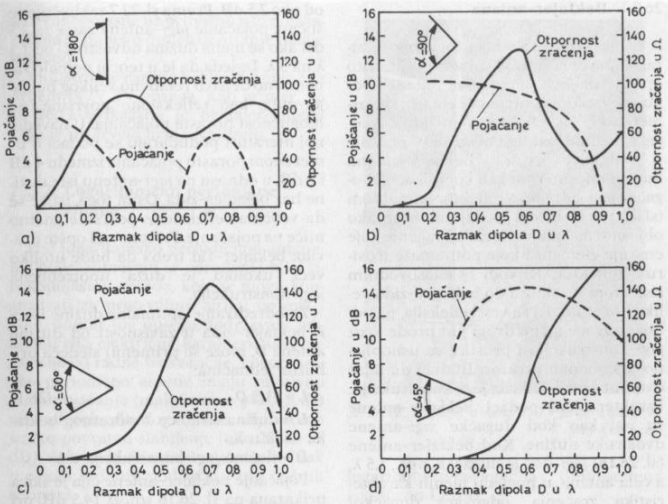
ne na drugu bez prekidanja. Pogodnije je naročito u području decimetarskih talasa, da se kao reflektorski zid upotrebi gusta žičana mreža. Primer takvog reflektora prikazan je na sl. 26.13. U ovom slučaju upotrebljen je i širokopojasni dipol koji je savijen pod uglom isto kao reflektorski zid. Na sl. 26.14 prikazana je industrijski proizvedena širokopojasna antena sa ugaonim reflektorom za TV prijem na IV/V opsegu. U opsegu od 470 MHz do 790 MHz ova antena ima pojačanja između 10 dB (kanal 21) i 12,5 dB (kanal 55). Uprkos relativno retkom ugaonom reflektoru, postiže se povratno slabljenje ≧ 25 dB.

Na sl. 26.15 dati su dijagrami na kojima su prikazani pojačanje i otpornost zračenja antena sa ugaonim reflektorom, u zavisnosti od razmaka dipola D. Na sl. 26.15a dati su dijagrami i za ravan reflektorski zid (ugao α = 180°) da bi se omogućilo upoređivanje. Kao što se vidi, za razmak dipola od 0,1 λ javlja se maksimalno pojačanje od skoro 7,5 dB. Usled male otpornosti zračenja od 25 Ω i zbog velikog približavanja reflektorskom zidu javljaju se veoma veliki omski gubici pa se ovo pojačanje ne može postići u praksi. Razmak od 0,2 λ predstavlja povoljnije rešenje (pojačanje = 6 dB). Kriva otpornosti zračenja potvrđuje navedenu činjenicu da se otpornost priključne tačke dipola ne menja kada razmak dipola iznosi 0,2 λ.

Na sl. 26.15b prikazane su krive za ugaoni reflektor pod 90°. $D = 0{,}33$ λ je povoljan razmak; pojačanje iznosi 10 dB, a otpornost zračenja je 60 Ω. Iz dijagrama na sl. 26.15c proizlazi da je za reflektor pod uglom od 60° najpogodniji razmak dipola 0,5 λ; pojačanje tada iznosi 12,5 dB, a otpornost zračenja je oko 75 Ω. Najveće pojačanje postiže se pomoću reflektora pod uglom od 45° (sl. 26.15d). Za maksimalno pojačanje od 14,5 dB razmak dipola mora biti $D = 0{,}6$ λ; pri tom se javlja otpornost zračenja od 50 Ω. Ova otpornost je još povoljna za prilagođenje.

Za napajanje je uvek bolje da se dobiju otpornosti priključne tačke koje se nalaze u području karakterističnih impedanci komercijalnih koaksijalnih kablova. Svi navedeni oblici mogu se napajati koaksijalnim kablom preko četvrttalasnog lonca za simetriranje ili nekog drugog transformatora za simetriranje. Ako je potrebno napajanje pomoću voda od 240 Ω, pruženi polutalasni dipol treba zameniti savijenim dipolom.

U tabeli 26.1 date su geometrijske dimenzije antena sa ugaonim reflektorom za amaterske opsege od 2 m i 70 cm. Pojedine vrednosti odnose se na sl. 26.12 (svi podaci dati su u mm).



Sl. 26.15. Dijagram pojačanja i otpornosti zračenja dipola sa ugaonim reflektorom u zavisnosti od razmaka dipola D: a – dipol ispred ravnog reflektorskog zida (ugao = 180°), b – polutalasni dipol sa reflektorom pod uglom od 90°, c – polutalasni dipol sa reflektorom pod uglom od 60°, d – polutalasni dipol sa reflektorom pod uglom od 45°

Tabela 26.1

DIMENZIJE ANTENA SA UGAONIM REFLEKTOROM ZA 145 MHz i 435 MHz

Frekventni opseg u MHz	145	145	435	435	435
Ugao α	90°	60°	90°	60°	45°
Dužina kraka S	1370	2060	460	700	830
Širina reflektor. zida L	1250	1250	420	420	420
Razmak dipola D	683	1035	228	345	414
Dužina dipola	970	970	320	320	320
Razmak štapova A	125	125	40	40	40
Pojačanje u dB	10	12,5	10	12,5	14,5
Otpornost priklj. tačke u Ω	60	75	60	75	50

Svi podaci dati su u mm.

26.3. Specijalni oblici antena sa uzdužnim zračenjem

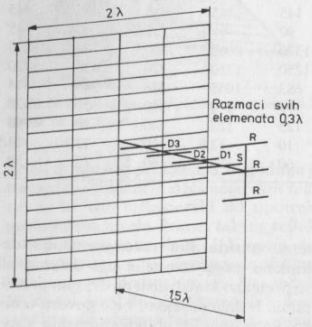
Najpoznatiji i najrasprostranjeniji oblik antene sa uzdužnim zračenjem je *jagi*–antena. Postoji još niz antenskih sistema sa uzdužnim zračenjem. Oni se delimično mogu izvesti iz *jagi*–sistema, ali se pretežno konstruišu na drugim principima. U daljem tekstu biće govora o nekoliko poznatijih oblika antenskih sistema, koji su značajni i za radio-amaterstvo.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

26.3.1. Bekfajer–antena

Engleski naziv bekfajer (backfire = vatra, paljba koja se vraća unatrag) slikovito opisuje način zračenja ove antene. Odnosno zračenje antenskih elemenata usmereno je ka reflektorskom zidu od kojeg se odbija pod uglom od 180° i emituje u slobodan prostor. Bekfajer–antena može se posmatrati kao kombinacija dugačke *jagi*–antene sa reflektorskim zidom (sl. 26.16). U slučaju predaje, može se lako objasniti način njenog rada: zračenje koje emituje element i koje potpomaže trostruki reflektor (R) vodi se talasovodnim sistemom direktora do bekfajer–zida velike površine. Tu se vrši refleksija, pa odbijeno zračenje po drugi put prođe kroz *jagi*–konstrukciju i prostire se usmereno u slobodan prostor. Budući da talas dva puta prolazi kroz *jagi*–konstrukciju, karakteristični podaci bekfajer–antene su isti kao kod dugačke *jagi*–antene dvostruke dužine. Kod bekfajer–antene (sl. 26.16) *jagi*–deo je dugačak, npr., 1,5 λ, a cela antena, u pogledu njenih karakteristika zračenja, odgovara dugačkoj *jagi*–anteni dužine 3 λ, sa dvostrukim brojem elemenata.

Teorija tvrdi da se udvostručenjem dužine antene i broja elemenata pojačanje *jagi*–antene može povećati najviše za 3 dB; međutim, zbog neizbežnih gubitaka u praksi je ostvaren porast pojačanja samo



Sl. 26.16. Bakfajer-antena

od oko 2,5 dB. Prema sl. 22.7 zaključuje se slično: pojačanje *jagi*–antene raste za 2,3 dB ako se njena dužina udvostruči od 1,5 λ na 3 λ. Izgleda da je u teoriji pomalo zanemarno dejstvo relativno velikog bekfajer–zida, kao refleksione površine, na mogućnost porasta pojačanja. U navedenoj literaturi podudaraju se podaci o izmerenom porastu pojačanja između 4 dB i 6 dB, u odnosu na *jagi*–antenu iste dužine bez bekfajer–zida. Osim toga, ističe se da veličina refleksione površine znatno utiče na pojačanje. Pri tom važi opšte pravilo: bekfajer–zid treba da bude utoliko veći, ukoliko je duža upotrebljena *jagi*–konstrukcija.

Za određivanje optimalne dužine ivica L bekfajer–zida u zavisnosti od dužine antene D, može se primeniti sledeća približna jednačina:

$$L = \sqrt{1{,}5\,D} \qquad (26.1)$$

L = dužina stranice kvadratnog bekfajer–zida u λ,

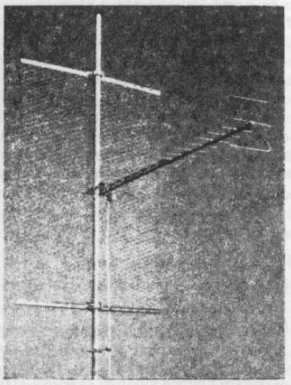
D = dužina *jagi*–konstrukcije u λ

Pojačanje bekfajer–antene čija je skica prikazana na sl. 26.16 iznosi 14,5 dB, pri horizontalnom uglu zračenja od 28° (vertikalni ugao zračenja oko 35°). Pri tom se pretpostavlja da je dužina stranice bekfajer–zida 2 λ, da je *jagi*–konstrukcija dugačka 1,5 λ i dimenzionisana za maksimalno pojačanje. *Jagi*–antena koja je optimalno dimenzionisana bez reflektorskog zida, znatno menja svoje rezonantne karakteristike kada se poveže sa bekfajer–refleksionom površinom. Da bi se ponovo dobilo maksimalno pojačanje, moraju se promeniti sve dužine elemenata, dok se njihovi razmaci mogu zadržati. Kao približno pravilo važi činjenica da se napajani element i reflektori moraju produžiti, a direktori se moraju skratiti.

Amateri ne mogu optimalno prilagoditi bekfajer–antenu. Iz mehaničkih razloga, bekfajer–antena mogla bi se koristiti u amaterske svrhe samo u opsegu od 70 cm. Umesto nje koriste se dugačke *jagi*–antene slične po kvalitetu, ali jeftinije i manje komplikovane. Ako već postoji mogućnost postavljanja velikih reflektorskih zidova kakvi su potrebni za bekfajer–antenu, onda je bolje izgraditi antenu u više etaža sa reflektorskim zidom. One

su širokopojasne uz približno isto pojačanje, pa je njihovo dimenzionisanje manje kritično.

Industrija je razvila bekfajer–antene za prijem IV/V TV opsega. Kao primer, na sl. 26.17 prikazana je bekfajer–antena koju je proizvela firma Kathrein.



Sl. 26.17. Bakfajer-antena za TV prijem (fabrički foto Kathrein)

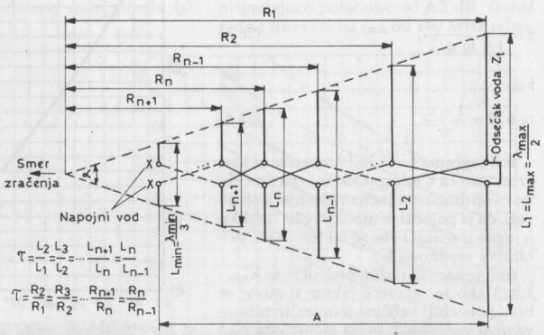
26.3.2. Logaritamsko periodične antene

Pod logaritamsko periodičnim antenama podrazumevaju se određeni oblici širokopojasnih antena, koje se mogu konstruisati za proizvoljnu širinu opsega i koje, unutar tog opsega, zadržavaju približno iste električne karakteristike, nezavisno od radne frekvencije. Logaritamsko periodične antene imaju relativno malo pojačanje (maksimalno oko 8,5 dB više od polutalasnog dipola), ali i veoma veliko povratno slabljenje (oko 25 do 35 dB), dok im je dijagram zračenja jednak u celom radnom području i bez bočnih snopova.

Logaritamsko-periodične antene sastoje se od sistema napajanih elemenata koji mogu biti različitih geometrijskih oblika [5], [6]. Najjednostavnija konstrukcija je sa elementima u obliku štapa, koji predstavljaju napajane dipole. Ona se može lako objasniti, proračunati i mehanički realizovati. Ovakva antena naziva se logaritamsko-periodična dipol–antena (skraćeno LPDA).

Na sl. 26.18 prikazana je skica jedne LPDA sa ucrtanim parametrima koji služe kao osnova za proračun konstrukcije.

Električne osobine ovakvih antena ponavljaju se periodično sa logaritmom frekvencije. Periodične promene, npr., pojačanja i otpornosti priključne tačke antene u suprotnosti su sa činjenicom da



Sl. 16.18. Skica za dimenzionisanje logaritamsko periodičnih dipol-antena

su to pravi širokopojasni oblici antena. Međutim, odgovarajućim dimenzionisanjem promene unutar jedne periode mogu se smanjiti tako da se električne karakteristike antene smatraju približno konstantnim u zadatom frekventnom opsegu. Na sl. 26.18 vidi se da se LPDA sastoji od velikog broja dipola različitih dužina i razmaka, koji su međusobno spojeni ukrštenim dvožičnim vodom. Frekventno područje koje se može koristiti određeno je dužinama L_{max} najdužeg dipola i L_{min} najkraćeg dipola. Pri tom važi odnos:

$$L_{max} = \frac{\lambda_{max}}{2} \text{ i } L_{min} = \frac{\lambda_{min}}{3} \qquad (26.2)$$

Gustina postavljanja dipola između L_{max} i L_{min} određena je pomoću bezdimenzionog faktora τ i ugla α. Parametri LPDA zavise od faktora τ, koji može biti između 0,5 i oko 0,96.

Prema sl. 26.18 može se izvesti da je:

$$\tau = \frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{R_n - R_{n+1}}{R_{n-1} - R_n} \qquad (26.3)$$

Maksimalno pojačanje antene javlja se kada razmak između dva susedna dipola iznosi λ/4. Iz ovoga uslova proizilaze relacije:

$$R_{n-1} - R_n = \frac{L_{n-1}}{2} \cdot \tau \qquad (26.4)$$

i

$$\tau = \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \alpha/2}, \qquad (26.5)$$

kao i

$$\operatorname{tg} \alpha/2 = \frac{1-\tau}{\tau} \qquad (26.6)$$

Iz dijagrama na sl. 26.19 mogu se očitati vrednosti za τ, odnosno α, koje su potrebne za optimalno dimenzionisanje. Uopšte važi, da je pojačanje utoliko veće, ukoliko je ugao α manji i što se faktor τ više približava vrednosti 1.

Ako je zadato radno područje sa λ_{max} i λ_{min} i ako se odabere faktor τ, može se brzo proceniti veličina antene, izračunavanjem potrebnog broja elemenata E_n i dužine antene A:

$$E_n = 1 + \frac{\lg 1{,}5 \cdot \frac{f_{max}}{f_{min}}}{\lg \frac{1}{\tau}} \qquad (26.7)$$

i

$$A = \frac{\lambda_{max}}{4} \cdot \left(1 - \frac{1}{1{,}5\,\frac{f_{max}}{f_{min}}} \right) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \qquad (26.8)$$

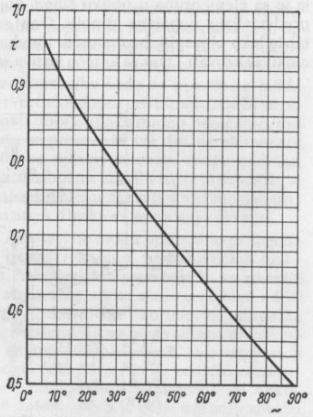
Budući da je $\operatorname{tg} \alpha/2 = \frac{1-\tau}{\tau}$,

može se uvrstiti za $\operatorname{ctg} \alpha/2 = \frac{\tau}{1-\tau}$,

pao je

$$A = \frac{\lambda_{max}}{4} \cdot \frac{\tau}{1-\tau} \cdot \left(1 - \frac{1}{1{,}5\,\frac{f_{max}}{f_{min}}} \right) \qquad (26.9)$$

Odnos frekvencija f_{max}/f_{min}, koji se javlja u jednačinama 26.7, 26.8 i 26.9, odnosi se na najvišu radnu frekvenciju f_{max} i na najnižu frekvenciju f_{min}.



Sl. 26.19. Zavisnost između ugla α i periode τ za optimalno dimenzionisanje LPDA

Kod LPDA simetrični napojni vod priključuje se uvek u tačkama X–X najkraćeg dipola (sl. 26.18). Kada antena radi kao predajna, talas se prvo širi duž pobudnog voda, praktično bez zračenja. Priključeni dipoli, koji su prekratki u odnosu na radnu talasnu dužinu, deluju samo kao kapacitivno reaktivno opterećenje. Zračenje počinje tek kod dipola čija dužina odgovara λ/3 radne talasne dužine i u njemu učestvuje više dipola koji slede jedan iza drugog. Aktivna zona zračenja, ograničena je dipolom, čija geometrijska dužina odgovara približno λ/2 radne talasne dužine. Svi sledeći duži dipoli više ne doprinose zračenju.

Priključnu impedancu R_u u tački napajanja X–X određuje, takođe, faktor τ i ugao α. Sa dijagrama na sl. 26.20 mogu se očitati približne vrednosti R_u za odabranu vrednost faktora τ, a u zavisnosti od α. R_u podleže slabim periodičnim promenama u zavisnosti od frekvencije. Uopšte može se reći da se realizovana otpornost tačke napajanja kreće između 50 Ω i 120 Ω. Za izračunavanje karakteristične impedance Z_0 simetričnog voda koji spaja pojedine dipole, mora se prvo odrediti srednja karakteristična impedanca Z priključenih dipola:

$$Z\,(\Omega) = 120 \ln \left(0{,}575\,\frac{L_n}{d_n} \right), \qquad (26.10)$$

gde je: L_n – dužina n-tog dipola (sl. 26.18),

d_n – prečnik n-tog dipola.

Ista karakteristična impedanca Z za sve dipole dobije se samo onda kada je stepen vitkosti L_n/d_n jednak za svaki dipol, tj. kada bi se upotrebili elementi različitih prečnika. Budući da to u praksi nije moguće, prečnik elemenata ostaje isti, a računa se sa srednjom vrednošću. Nakon toga može se izračunati karakteristična impedanca Z_0 spojnog voda:

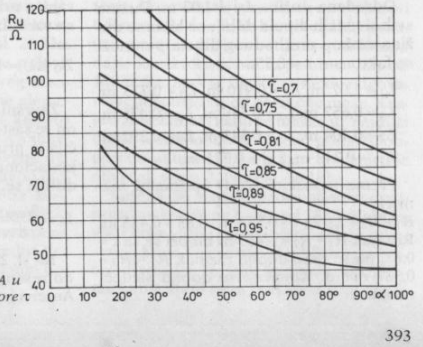
$$Z_0(\Omega) = \left[\frac{1}{\sqrt{\tau}} \cdot \frac{R_u}{2Z} + \sqrt{\left(\frac{R_u}{2Z\sqrt{\tau}} \right)^2 + 1} \right] \cdot R_u\,(\Omega) \qquad (26.11)$$

Proračunavanje Z i Z_0 često nije potrebno, jer je u praksi, u većini slučajeva $Z_0 \approx R_u$. To važi, pre svega, za »vitke« dipole sa $Z > R_u$ i za $\tau > 0{,}5$.

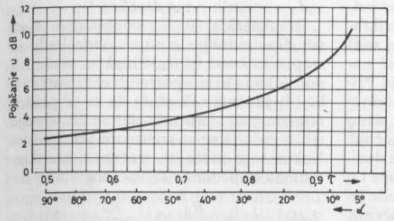
Pojačanje optimalno dimenzionisane LPDA kreće se između 2,5 dB i maksimalno 11 dB (u odnosu na rezonantni polutalasni dipol), kao što je prikazano na sl. 26.21, pri čemu se iz mehaničkih razloga ne može realizovati teoretski moguće maksimalno pojačanje.

Primer

Prema sl. 26.18 treba proračunati LPDA za frekventno područje od 140 MHz do 475 MHz i za dati faktor $\tau = 0{,}85$. Budući da je potrebno optimalno dimenzionisanje, sa dijagrama na sl. 26.19 očita se ugao $\alpha = 20°$ koji odgovara $\tau = 0{,}85$, pa se zatim sa dijagrama na sl. 26.21 dobije pripadajuće pojačanje od 6,2 dB. Donja radna frekvencija f_{min} od 140 MHz odgo-



Sl. 26.20. Ulazna otpornost R_U LPDA u zavisnosti od ugla α za različite faktore τ



Sl. 26.21. Pojačanje LPDA u odnosu na rezonantni polutalasni dipol, u zavisnosti od α i τ, kada je optimalno dimenzionisana prema sl. 26.19

vara talasnoj dužini λ od 2,14 m. To znači da je $L_1 = L_{max} = \lambda_{max}/2 = 1{,}07$ m. Gornja granična frekvencija f_{max} iznosi 475 MHz = 0,632 m. Iz toga sledi da je $L_{min} = \lambda_{min}/3 = 0{,}210$ m. Broj potrebnih dipola E_n dobije se iz jednačine (26.7):

$$E_n = 1 + \frac{\lg 1{,}5 \cdot \frac{475}{140}}{\lg \frac{1}{0{,}85}} = 11 \text{ dipola.}$$

Dužina antene A prema jednačini (26.9) iznosi:

$$A = \frac{2{,}14 \text{ m}}{4} \cdot \frac{0{,}85}{4 - 0{,}85} \cdot \left(1 - \frac{1}{1{,}5 \frac{475}{140}} \right) = 2{,}436 \text{ m}$$

Određena dužina L_1 je 1,07 m. Dužina svih sledećih dipola dobije se kada se dužina svakog prethodnog dipola pomnoži sa faktorom $\tau = 0{,}85$:

$L_1 = 1{,}07$ m, $L_2 = 0{,}910$ m, $L_3 = 0{,}773$ m, $L_4 = 0{,}657$ m, $L_5 = 0{,}559$ m, $L_6 = 0{,}475$ m, $L_7 = 0{,}404$ m, $L_8 = 0{,}343$ m, $L_9 = 0{,}292$ m, $L_{10} = 0{,}248$ m, $L_{11} = 0{,}211$ m.

Prema jednačini (26.4) optimalni razmak $R_1 - R_2 = L_1/2 \cdot \tau = 0{,}535 \text{ m} \cdot 0{,}85 = 0{,}455$ m. Razmak $R_1 - R_2 = 0{,}455$ m množi se sa $\tau = 0{,}85$, pa se tako dobije razmak $R_2 - R_3 = 0{,}387$ m itd. Konačno se dobiju sledeći razmaci:

$R_1 - R_2 = 0{,}455$ m, $R_2 - R_3 = 0{,}387$ m,
$R_3 - R_4 = 0{,}329$ m, $R_4 - R_5 = 0{,}279$ m,
$R_5 - R_6 = 0{,}237$ m, $R_6 - R_7 = 0{,}201$ m,
$R_7 - R_8 = 0{,}171$ m, $R_8 - R_9 = 0{,}146$ m,
$R_9 - R_{10} = 0{,}124$ m, $R_{10} - R_{11} = 0{,}105$ m.

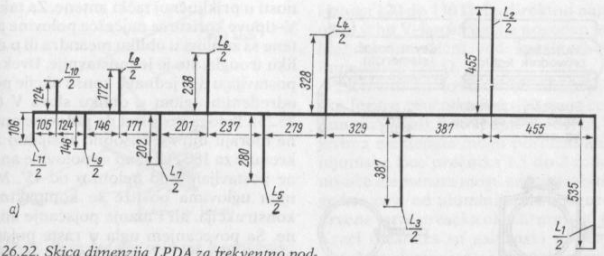
Prema sl. 26.20 odredi se otpornost u tački napajanja $R_u = 92\ \Omega$. Ako se svi dipoli izrade od metalne cevi prečnika 10 mm, prema jednačini (26.10) dobije se da najduži dipol L_1 ima karakterističnu $Z = 494\ \Omega$, dok se za najkraći dipol L_{11} izračuna da je $Z = 300\ \Omega$. Zbog toga se kao srednja karakteristična impedanca Z dipola može uvrstiti vrednost od 400 Ω. Prema jednačini (26.11) karakteristična impedanca spojnog voda Z_O iznosiće 105 Ω. Budući da je $Z_O \approx R_u$, neprilagođenje se može zanemariti (koeficijent stojećih talasa $s = 1{,}14$). Kod praktične izrade ukrštenog voda karakteristične impedance od 105 Ω postoje mehaničke poteškoće, jer bi odnos razmaka između sredina provodnika D prema prečniku provodnika d morao iznositi samo 1,25 : 1. Odgovarajuća približna formula za okruglu žicu sa vazduhom kao dielektrikom glasi:

$$Z_O\ (\Omega) = 120 \ln \frac{2D}{d} \qquad (26.12)$$

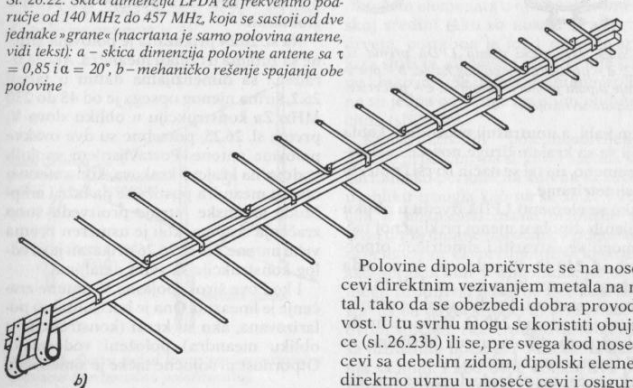
Završni odsečak voda Z_t nije kritičan, on se sastoji od jednostavne žičane petlje čija je pružena dužina oko 200 mm. Orijentaciona vrednost dužine odsečka voda dobije se iz:

$$L_t = \frac{\lambda_{max}}{8}.$$

Na sl. 26.22b prikazano je konstruktivno rešenje sa mehaničkim prednostima. Antena je podeljena na dve jednake polovine (»grane«). Svaka polovina ima sopstveni nosač elemenata na koji se montiraju samo one polovine elemenata koje se međusobno smeju direktno spojiti. Jedna takva polovina proračunate LPDA sa dimenzijama prikazana je na sl. 26.22a. Nosač elemenata druge, jednake polovine, postavlja se izolovano od prvog nosača elemenata tako da se polovine elemenata iste dužine dopune u dipol, kao što je skicirano na sl. 26.22b. Na ovaj način se, uz istu električnu efikasnost, izbegnu ukršteni vodovi i dobije se istovremeno mehanički pojednostavljena, stabilna konstrukcija. Sada spojni vod predstavljaju nosači elemenata, čija se karakteristična impedanca Z_O odredi prema jednačini (26.12). Ako je $D = 25$ mm i $d = 20$ mm dobije se, npr., $Z_O = 109\ \Omega$.

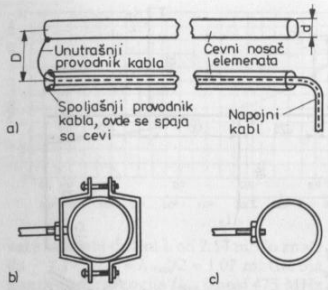


Sl. 26.22. Skica dimenzija LPDA za frekventno područje od 140 MHz do 457 MHz, koja se sastoji od dve jednake »grane« (nacrtana je samo polovina antene, vidi tekst): a – skica dimenzija polovine antene sa τ = 0,85 i α = 20°, b – mehaničko rešenje spajanja obe polovine



Polovine dipola pričvrste se na noseće cevi direktnim vezivanjem metala na metal, tako da se obezbedi dobra provodljivost. U tu svrhu mogu se koristiti obujmice (sl. 26.23b) ili se, pre svega kod nosećih cevi sa debelim zidom, dipolski elementi direktno uvrnu u noseće cevi i osiguraju protivnavrtkom (sl. 26.23c). Noseće cevi su kvadratnog profila (sl. 26.22b). To je naročito pogodno za pričvršćenje polovina dipola i za mehaničko učvršćenje antene. Ako razmak između obe cevi iznosi 6,5 mm ($D/d \approx 1{,}4$), komercijalne kvadratne cevi sa dužinom stranice od 16 mm daju karakterističnu impedancu Z_O od 109 Ω. Razmak se fiksira pomoću odgovarajućih komadića od plastične mase. Krajevi nosećih cevi koji se nalaze uz najduži dipol, međusobno se spajaju pomoću obujmice antenskog jarbola, čime nastaje odsečak voda Z_t (vidi sl. 26.18).

Antena se napaja proizvoljnom dužinom koaksijalnog kabla od 75 Ω. Kabl se vodi kroz jednu od nosećih cevi do otvorenog kraja koji se nalazi u blizini najkraćeg dipola (sl. 26.23a). Na tom kraju omotač kabla spoji se sa cevi kroz koju je po-



Sl. 26.23. Mehanički detalji LPDA prema sl. 26.22: a – priključak napojnog kabla, b – pričvršćenje dipola pomoću obujmice, c – pričvršćenje dipola uvrtanjem

ložen kabl, a unutrašnji provodnik kabla spoji se sa krajem druge noseće cevi. Istovremeno, na taj se način izvrši i potrebno simetriranje.

Ako se elementi LPDA izvedu u obliku savijenih dipola u njenoj priključnoj tački mogu se ostvariti i simetrične otpornosti od 240 Ω. Pogodno je da se tada odabere konstrukcija kao na sl. 26.18, pri čemu se savijeni dipoli spajaju pomoću trakastog voda od 240 Ω, koji se između svakog para dipola uvrne aksijalno za 180° (promena polariteta).

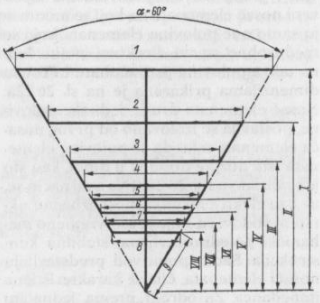
Ako se centar pobude dugačke *jagi*-antene izvede pomoću logaritamsko-periodičnog sistema savijenih dipola, dobije se, uz odgovarajuće dimenzionisanje niza direktora, superširokopojasna antena za TV opsege sa velikim pojačanjem [7].

Logaritamsko-periodična polovina antene može se napraviti u različitim oblicima. Takozvani zubi takve antene sastoje se delimično od kompaktnih limenih konstrukcija; u VVF i UVF opsegu one se često izvode kao žičani skelet sa trouglastim zubima ili sa zubima u obliku meandra. To su uvek antene sa uzdužnim zračenjem, čija polarizacija odgovara njihovom položaju. To znači da je, npr., horizontalno postavljena antena i polarizovana horizontalno.

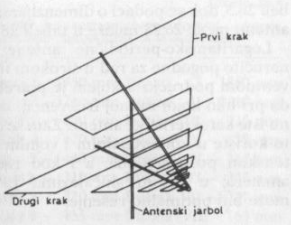
Ako se dve logaritamsko periodične polovine antene postave u obliku slova V, postižu se veća pojačanja uz veće otpornosti u priključnoj tački antene. Za takve V–tipove koriste se najčešće polovine antene sa zubima u obliku meandra ili u obliku trougla, što je jednostavnije. Uvek se postavljaju dve jednake konstrukcije pod određenim uglom u obliku slova V (sl. 26.25). Iz toga proizlazi da polovine antene moraju biti međusobno aksijalno zakrenute za 180°. Obično se polovine antene postavljaju pod uglom ψ od 45°. Manjim uglovima postiže se kompaktnija konstrukcija, ali i manje pojačanje antene. Sa povećanjem ugla ψ raste pojačanje, ali sistem tada postaje već previše glomazan.

Na sl. 26.24 prikazana je polovina antene sa zubima u obliku meandra. Ako je izrađena sa dimenzijama datim u tabeli 26.2, širina njenog opsega je od 48 do 230 MHz. Za konstrukciju u obliku slova V, prema sl. 26.25, potrebne su dve ovakve polovine antene. Postavljanjem spojnih vodova na krajeve krakova, kod antene u obliku meandra postiže se da faza i amplituda antenske struje proizvedu snop zračenja sistema, koji je usmeren prema vrhu antene. Na sl. 26.26 prikazan je predlog konstrukcije sa svim detaljima.

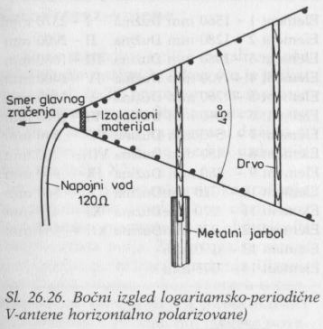
I kod ove širokopojasne V–antene zračenje je linearno. Ona je horizontalno polarizovana, ako su kraci (konstrukcije u obliku meandra) položeni vodoravno. Otpornost priključne tačke je simetrična



Sl. 26.24. Logaritamsko-periodična polovina antena u obliku meandra: α = 60°, τ = 07, ψ = 45°



Sl. 26.25. Raspored dve polovine logaritamsko-periodične V-antene prema sl. 26.24; ugao između polovina antene ψ = 45°



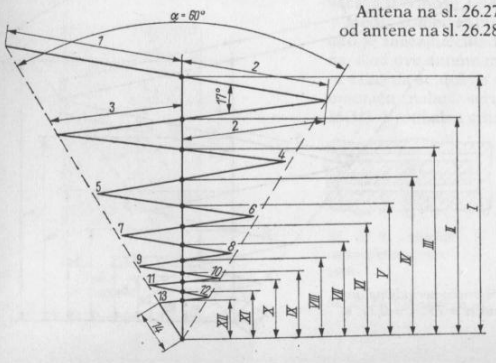
Sl. 26.26. Bočni izgled logaritamsko-periodične V-antene horizontalno polarizovane)

i iznosi 120 do 130 Ω. Za direktno napajanje u vrhu V–konstrukcije pogodan je okloplјeni simetrični vod karakteristične impedance 120 Ω.

Elementi su izrađeni od aluminijumske legure prečnika 8 do 10 mm (cev ili pun materijal). Kao spojni vodovi na krajevima elemenata mogu poslužiti aluminijumske žice prečnika 1,5 do 3 mm. Za nosače elemenata mogu se upotrebiti pogodne cevi od aluminijumske legure ili drvene letve preseka oko 30 mm · 30 mm. Kraci meandra su galvanski spojeni sa nosačem elemenata u njihovoj geometrijskoj sredini. Ako su nosači izrađeni od drveta, potrebna je još i metalna traka koja služi za galvansko povezivanje sredina krakova. Obe polovine antene izolovane su jedna od druge drvenim podupiračima (sl. 26.26).

Konstruktivnim pojednostavljenjem antene prikazane na sl. 26.24 nastala je logaritamsko-periodična antena sa zubima u obliku trougla kao na sl. 26.27 i 26.28, čija je efikasnost ostala približno ista. Ovaj oblik antene naročito je pogodan za orijentacione eksperimente sa logaritamsko-periodičnim V–antenama, jer se one mogu izraditi od bakarne žice koja se postavlja na odgovarajući drveni nosač. I u ovom slučaju, žice trouglova spojene su sa uzdužnim nosačem u tačkama ukrštanja sa njim. I kod ovog oblika, dve polovine antene u obliku slova V moraju se postaviti pod uglom $\psi \geq 45°$, kao i kod elemenata u obliku meandra.

Antena na sl. 26.27 ima veće pojačanje od antene na sl. 26.28, jer je ugao zračenja



Sl. 26.27. Logaritamsko periodična polovina antene sa trouglastim zubima: α = 60°, τ = 0,84, ψ = 45°

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

veći, a elementi su gušće postavljeni (faktor $\tau = 0{,}84$). Konstrukcija se može skratiti prema željenom frekventnom opsegu. Pri tom treba voditi računa da najduži krak mora biti $\geq \lambda/2$ (u odnosu na λ_{max}). Ako bi se, npr., na anteni datoj na sl. 26.27 izostavili kraci 1 – 2 i 2 – 3, onda bi krak 3 – 4 sa svojih 1980 mm bio najduži element. Ako se on izjednači sa $\lambda/2$, dobija se najniža frekvencija od oko 76 MHz. To znači da širina opsega iznosi 76 do 230 MHz. Ako se ista mera preduzme na anteni datoj na sl. 26.28, dobiće se opseg širine od 100 do 230 MHz, jer je dužina kraka 3 – 4 samo 1500 mm.

Dužine i razmaci za polovinu antene koja je prikazana na sl. 26.27 dati su u tabeli 26.3, dok se podaci o dimenzijama za antenu na sl. 26.28 nalaze u tabeli 26.4.

Logaritamsko-periodične antene su naročito pogodne za rad u širokom frekventnom području u kojem je potrebno da pri bilo kojoj radnoj frekvenciji ostanu iste karakteristike antene. Zato se često koriste u komercijalnim i vojnim antenskim postrojenjima, a i kod radioamatera; u nekim slučajevima LPDA može biti optimalno rešenje.

Tabela 26.2

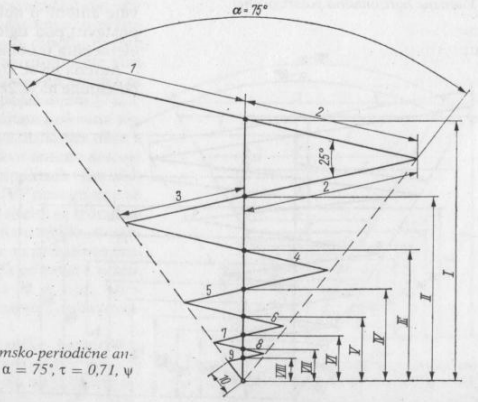
DIMENZIJE LOGARITAMSKO-PERIODIČNE ANTENE PREMA sl. 26.24 (ŠIRINA OPSEGA 48 do 230 MHz)

Element 1 – 3000 mm	Dužina	I – 2600 mm
Element 2 – 2120 mm	Dužina	II – 1840 mm
Element 3 – 1500 mm	Dužina	III – 1300 mm
Element 4 – 1060 mm	Dužina	IV – 920 mm
Element 5 – 750 mm	Dužina	V – 650 mm
Element 6 – 530 mm	Dužina	VI – 460 mm
Element 7 – 375 mm	Dužina	VII – 325 mm
Element 8 – 265 mm	Dužina	VIII – 230 mm
Element 9 – 265 mm		

Tabela 26.3

DIMENZIJE LOGARITAMSKO-PERIODIČNE ANTENE PREMA sl. 26.27 (ŠIRINA OPSEGA 48 do 230 MHz)

Element 1 – 1560 mm	Dužina	I – 2370 mm
Element 2 – 1280 mm	Dužina	II – 2000 mm
Element 3 – 1080 mm	Dužina	III – 1680 mm
Element 4 – 900 mm	Dužina	IV – 1400 mm
Element 5 – 760 mm	Dužina	V – 1185 mm
Element 6 – 640 mm	Dužina	VI – 1000 mm
Element 7 – 540 mm	Dužina	VII – 840 mm
Element 8 – 450 mm	Dužina	VIII – 707 mm
Element 9 – 380 mm	Dužina	IX – 600 mm
Element 10 – 320 mm	Dužina	X – 560 mm
Element 11 – 270 mm	Dužina	XI – 420 mm
Element 12 – 225 mm	Dužina	XII – 353 mm
Element 13 – 190 mm		
Element 14 – 375 mm		



Sl. 26.28. Polovina logaritamsko-periodične antene sa trouglastim zubima; α = 75°, τ = 0,71, ψ = 45°

Tabela 26.4

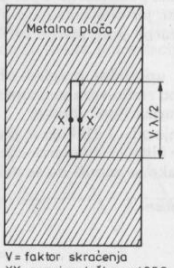
DIMENZIJE LOGARITAMSKO-PERIODIČNE ANTENE PREMA sl. 26.28 (ŠIRINA OPSEGA 48 do 230 MHz)

Element 1 – 1750 mm	Dužina	I – 1850 mm
Element 2 – 1240 mm	Dužina	II – 1310 mm
Element 3 – 880 mm	Dužina	III – 925 mm
Element 4 – 620 mm	Dužina	IV – 655 mm
Element 5 – 440 mm	Dužina	V – 462 mm
Element 6 – 310 mm	Dužina	VI – 327 mm
Element 7 – 220 mm	Dužina	VII – 231 mm
Element 8 – 155 mm	Dužina	VIII – 163 mm
Element 9 – 110 mm		
Element 10 – 176 mm		

26.4. Prorez–antene

Ako se iz sredine velike metalne ploče izreže traka dužine $\lambda/2$, kao što je prikazano na sl. 26.29, nastali prorez može se koristiti kao antena. Širina proreza mora biti mala u odnosu na njegovu dužinu, a pobuđivanje se vrši na sredini uzdužnih strana u tački XX.

Prorez ima iste karakteristike zračenja kao polutalasni dipol, ali sa obrnutom raspodelom magnetnih i električnih komponenata polja. Zbog toga se zamenjuje i ravan polarizacije zračenja. Ulazna impedanca veoma uskog proreza u centralnoj tački napajanja XX iznosi oko 485 Ω. Otpornost u priključnoj tački se povećava kada se prorez širi. Ova pojava je u suprotnosti sa ponašanjem dipola u obliku štapa. Zbog toga se prorez mora malo skratiti u odnosu na $\lambda/2$ da bi se ostvarila rezonanca. Širi prorez zahteva veće skraćenje od užeg.



V = faktor skraćenja
XX = napojna tačka, ≈ 485 Ω

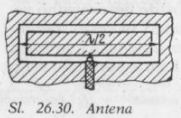
Sl. 26.29. Površinska prorez-antena

Prorez–antena napaja se simetrično u sredini proreza. Prema sl. 26.29 u tačku XX može se pravilno priključiti dvožični vod sa karakterističnom impedancom oko 500 Ω. Takav napojni vod je veoma nepraktičan, jer bi odnos razmak/prečnik oba provodnika morao iznositi oko 30 : 1 (vidi sl. 5.4).

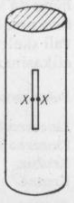
Budući da otpornost opada prema krajevima proreza, sam prorez može se iskoristiti za transformaciju impedance. Pomeranjem tačke napajanja XX iz sredine prema jednom od krajeva proreza dobije se manja otpornost priključne tačke antene. Zbog toga se karakteristika zračenja veoma malo promeni. Širina frekventnog opsega prorez–antena zavisi od širine proreza. Ukoliko je prorez širi to je i frekventni opseg širi – što je analogno dipolu kod kojeg se frekventni opseg povećava sa povećanjem debljine elemenata. Proširenje krajeva proreza naročito utiče na proširenje opsega prorez–antene.

Ako se prorez napravi u obliku savijenog dipola (sl. 26.30), ulazna impedanca se smanjuje u odnosu 4 : 1. Takav savijeni prorez može se pobuđivati koaksijalnim kablom karakterističnе impedance 75 Ω. I u ovom slučaju, dipol sa prorezom ponaša se suprotno od normalnog dipola; poznato je da se kod normalnog dipola, izvedenog u obliku petlje, impedanca povećava u odnosu 1 : 4.

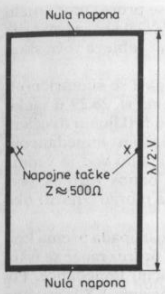
Među komercijalnim antenama naročito je značajna cilindrična prorez–antena. Kod ove antene metalna ploča savije se tako da se dobije cilindar u čijem se omotaču nalazi vertikalan prorez (sl. 26.31). Vertikalna cilindrična prorez–antena zrači kružno u horizontalnoj ravni i usnopljava u vertikalnoj ravni. Otpornost u priključnoj tački cilindrične antene raste na 600 do 1000 Ω. Ako se više cilindričnih prorez–antena postavi jedna iznad druge, zadržava se horizontalno kružno zračenje, a vertikalni ugao zračenja se smanjuje. Napojni vod postavlja se kroz unutrašnjost cilindra do priključnih tačaka na prorezima. Sa cilindričnim prorez–antenama dobije se veoma stabilna konstrukcija koja je najčešće samonoseća. Otpor vetru je veoma mali, a može se još više smanjiti ako se otvoreni prorezi prekriju izolacionim materijalom. Karakteristike zračenja odgovaraju mnogim radio-službama, ap su u VVF i UVF području veoma rasprostranjene razne verzije cilindričnih prorez–antena.



Sl. 26.30. Antena sa savijenim prorezom



Sl. 26.31. Cilindrična prorez-antena



Sl. 26.32. Skeletna prorez-antena

Ako se metalna ploča u kojoj se nalazi prorez sve više smanjuje, ostane konačno još samo uski okvir oko proreza, koji ipak poseduje karakteristične osobine ravne antene sa prorezom. Na sl. 26.32 prikazana je takva skeletna prorez–antena. Ona je nekad uživala veliki ugled među amaterima, pre svega zbog toga što je objavljeno da se njom postiže neverovatno veliko pojačanje. Amateri su često izgrađivali skeletnu prorez–antenu, jer su želeli efikasnu antenu za koju je potrebno malo materijala i malo prostora. Ova antena je postala manje popularna kada se pokazalo da skeletna prorez–antena ne predstavlja nikakvo »čudo« od antene. Zefrid (*Seefried*) je izvršio odgovarajuća merenja, koja su pokazala da efikasnost skeletne prorez–antene odgovara jednostavnom, pruženom polutalasnom dipolu. Nije utvrđeno da postoji ikakvo pojačanje u odnosu na jednostavan polutalasni dipol. Budući da je ulazna otpornost skeletne prorez–antene visokoomska, i to oko 500 Ω, teško je izvršiti besprekorno prilagođenje napojnog voda. To može biti razlog neuspeha koji se ponekad javlja pri upotrebi ove antene.

Skeletnoj prorez–anteni pripisivane su osobine koje ona iz fizikih razloga, nije mogla imati, ali to ne znači da je ovaj oblik antene neupotrebljiv. On se u novije vreme uspešno koristi kao pobudni element kod *jagi*–antena u više etaža (vidi tačke 22.4.3 i 22.4.4).

26.5. Antene sa kružnom polarizacijom

Kao što je već objašnjeno u odeljku 21.1, prednosti kružne polarizacije dolaze do izražaja u slučaju kada sa istim kvalitetom treba primati vertikalno, horizontalno ili koso polarizovane talase. Jasno je da je kružno polarizovana prijemna antena najpogodnija za prijem kružno polarizovanih talasa. Zbog toga se može reći da se kružna polarizacija može univerzalno koristiti, jer ona omogućava i prijem svake linearne polarizacije uz isto pojačanje.

Sledeći uporedni pregled objašnjava odnose kod radio-veza sa istom i sa različitom polarizacijom antene:

Slabljenje od – 3 dB koje se javlja između kružne i linearne polarizacije može se objasniti ako se zamisli da se pri kružnoj polarizaciji emitovana snaga predajnika deli na pola u vertikalnoj i u horizontalnoj ravni. Zbog toga je kod linearno polarizovane prijemne antene aktivna samo »vertikalna polovina« ili »horizontalna polovina«, već prema njenom položaju. Polovina snage odgovara slabljenju od – 3dB. Zbog toga, linearno polarizovana prijemna antena može da primi samo oko 7/10 prijemnog napona koji se nalazi u kružno polarizovanom polju. Slabljenje između linearne horizontalne polarizacije i linearne vertikalne polarizacije iznosi oko – 20 dB, tj. aktivna je samo 1/10 postojećeg prijemnog napona.

Polarizacija prijemne antene:	*Polarizacija predajne antene:*	*Slabljenje:*
Linearna horizontalna,	Linearna horizontalna,	0 dB,
Linearna horizontalna,	Linearna vertikalna,	oko 20 dB,
Kružna,	Kružna,	0 dB,
Kružna.	Linearna vertikalna, ili horizontalna.	– 3dB.

Bitan (*Bittan*) je, na osnovu praktičnih eksperimenata u amaterskom opsegu od 2 m [2] odredio ostale prednosti kružnom polarizacijom uspostavljena je veza sa udaljenim dolinama i sa zaklonjenim oblastima, sa kojima se nije mogla uspostaviti radio-veza linearnom polarizacijom. Kod višestrukih refleksija očigledno je da je kružna polarizacija pogodnija od linearne polarizacije. Još jedna veoma značajna prednost javlja se prilikom uspotavljanja radio-veza sa stanicama u vozilima (mobilne stanice). U toku vožnje stalno se menjaju uslovi okoline, pa su i refleksije različite. Vertikalno polarizovane štap–antene se, skoro uvek, povijaju usled vožnje, a često se i klate. Usled zajedničkog dejstva ovih spoljašnjih uticaja javljaju se stalne promene amplitude, faze i smera polarizacije. Posledica toga je pojava fedinga. To je naročito izraženo kod vertikalnih mobilnih antena, jer većina prepreka ima vertikalne ivice. Najveći deo isprekidanog fedinga, koji nastaje usled promena smera polarizacije, nestaje kada se upotrebi kružno polarizovana antena. Merenjem kroz gustu šumu na udaljenosti od 4 km konstatovano je slabljenje vertikalne polarizacije za oko 40 dB, horizontalne polarizacije za 12 dB, a kružne polarizacije samo za 3 dB. To se slaže sa stečenim iskustvom da su prednosti kružne polarizacije utoliko veće, ukoliko je lošiji UKT položaj.

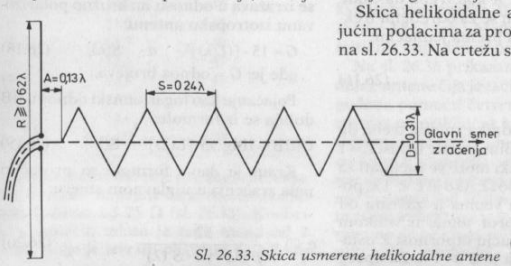
Sve kružno polarizovane usmerene antene obično su izvedene kao usmerena helikoidalna antena ili kao ukrštena *jagi*–antena. Helikoidalni bim je mehanički malo teže napraviti, ali se napaja veoma jednostavno. Ukrštena *jagi*–antena može se mehanički relativno jednostavno izraditi, ali je izrada sistema za napajanje komplikovanija.

26.5.1. Helikoidalna antena

Ova interesantna usmerena antena poznata je i pod nazivima *spiralna antena, antena u vidu zavojnice, antena u vidu vadičepa i heliks–bim.*

Ako se provodnik namota u spiralu nastaje kružna polarizacija. Pri tom, dužina namotaja mora iznositi 1 λ. Uzimajući u obzir faktor skraćenja, to odgovara prečniku zavojaka D od oko 0,31 λ. Osim toga, pretpostavlja se da postoje najmanje tri zavojaka; čistoća kružne polarizacije raste sa brojem zavojka. Jednostavna žičana spirala, gore navedenih dimenzija, zrači u dva smera duž uzdužne ose spirale. Pomoću reflektorske ploče, zračenje se usmerava na jednu stranu, pri čemu se javlja pojačanje jednostrano usmerenog aksijalnog zračenja.

Skica helikoidalne antene sa pripadajućim podacima za proračun prikazana je na sl. 26.33. Na crtežu su zavojci zavojnice



Sl. 26.33. Skica usmerene helikoidalne antene

uprošćeni. Prečnik zavojnice D = 0,31 λ može se izračunati za odgovarajuću frekvenciju iz:

$$D\ (\text{cm}) = \frac{9300}{f\ (\text{MHz})} \qquad (26.13)$$

Iz prečnika spirale može se odrediti obim spirale L:

$$L = \pi \cdot D \qquad (26.14)$$

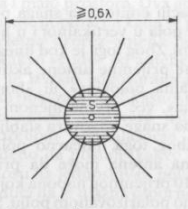
Još jedna važna karakteristična veličina ove antene je ugao koraka spirale, koji služi za proračun razmaka zavojaka S. Dozvoljeni su uglovi između 6° i 24°, ali je uobičajen ugao od 14°, jer se pod tim uglom postižu najpovoljnije karakteristike antene. Za ugao od 14° dobije se razmak zavojaka S od 0,24 λ. Proračun za odgovarajuću frekvenciju vrši se pomoću obrasca:

$$S\ (\text{cm}) = \frac{7200}{f\ (\text{MHz})} \qquad (26.15)$$

Prečnik reflektora može biti mali, ali bi ipak trebalo da bude veći od 0,5 λ, jer tada ne utiče na ulaznu otpornost sistema. Velike površine reflektora obezbeđuju veoma jako povratno slabljenje. Srednja vrednost, pogodna za upotrebu, dobije se ako je prečnik reflektora dva puta veći od prečnika spirale ($2D = 0{,}62\ \pi$). Ploča reflektora je obično kružnog oblika, ali dozvoljene su i kvadratne metalne ploče. U UVF području skoro uvek se upotrebljavaju kompaktne limene ploče. Radi uštede materijala i smanjenja težine mogu se koristiti i reflektori kao na sl. 26.34 ili na sl. 26.37, naročito u VVF području. Reflektor je od početka namotaja udaljen za razmak A koji treba da bude 0,13 λ (oko S/2). On se za određenu frekvenciju izračunava prema jednačini:

$$A\ (\text{cm}) = \frac{3200}{f\ (\text{MHz})} \qquad (26.16)$$

Prečnik d provodnika spirale treba da bude 0,02 λ. Ako obim spirale iznosi $L = 1$ λ, u priključnoj tački može se računati sa otpornošću Z od 136 Ω. Ako je $L < 1$ λ, postaje $Z < 136$ Ω i veoma je zavisna od frekvencije. Nasuprot tome, u velikom frekventnom području otpornost Z ostaje konstantna kada je $L \geqslant 1$ λ. Za opseg



S = limena ploča, proizvoljnog prečnika sa rupom u sredini radi provođenja napojnog kabla

Sl. 26.34. Pojednostavljeni reflektor za helikoidalnu antenu

spirale L između 0,75 i 1,35 λ važi približna jednačina za proračun otpornosti priključne tačke Z:

$$Z(\Omega) = 136 \cdot L(\lambda) \qquad (26.17)$$

Tačka napajanja je nesimetrična, pa se napajanje vrši koaksijalnim kablom.

Budući da se ulazna otpornost malo menja sa frekvencijom, helikoidalna antena poseduje dobre osobine u pogledu širokopojasnosti. Ako je razmak zavojaka $S = 0{,}24$ λ – što odgovara uglu od 14° – tada unutar korisnog frekventnog područja 1 : 1,6 koeficijent stojećih talasa nije veći od 1,35.

Pojačanje i osobine usnopljavanja helikoidalne antene zavise od broja zavojaka n, obima spirale L i razmaka zavojaka S. Pojačanje je približno proporcionalno broju zavojaka n. Kraus je dao približne formule za proračun pojačanja G, koje važe za uglove između 12° i 15°, kao i od najmanje 3 zavojka pa naviše. Pojačanje se izražava u odnosu na kružno polarizovanu izotropsku antenu:

$$G = 15 \cdot [(L(\lambda)]^2 \cdot n \cdot S(\lambda), \qquad (26.18)$$

gde je: G = odnos brojeva.

Pojačanje kao logaritamski odnos u dB dobija se iz formule:

$$G(\text{dB}) = 10\lg\{15 \cdot [L(\lambda)]^2 \cdot n \cdot S(\lambda)\}. \qquad (26.19)$$

Kraus je dao i formulu za proračun ugla zračenja α u glavnom smeru:

$$\alpha\ (^\circ) = \frac{52}{L\ (\lambda) \cdot \sqrt{n \cdot S\ (\lambda)}} \qquad (26.20)$$

I ovaj obrazac važi samo za ugao koraka spirale između 12° i 15° i za broj zavojaka $n \geqslant 3$.

Za helikoidalnu antenu kaže se da je kružno polarizovana, mada je, ustvari, eliptično polarizovana. Odnos velike prema maloj osi ove elipse je ipak veoma mali, a sa porastom broja zavojaka postaje još manji. Odnos osa R_A dobije se iz obrasca:

$$R_A = \frac{2n+1}{2n}. \qquad (26.21)$$

To znači da se, npr., velika osa elipse prema maloj, kod minimalnog broja zavojaka, $n = 3$, odnosi kao 7 : 6, dok je taj odnos $n = 7$ još samo 15 : 14.

U tabeli 26.5 navedeno je očekivano pojačanje u dB za pripadajućim uglom zračenja u zavisnosti od broja zavojaka n. Proračun je izvršen prema obrascima (26.19), odnosno (26.20). Pri tom se pretpostavlja uobičajeno dimenzionisanje, $S = 0{,}24$ λ (14°) i $D = 0{,}31$ λ (obim spirale 1 λ). Rezultat proračuna po jednačini (26.19) odnosi se na izotropsku antenu (tačkasti izvor zračenja); da bi se omogućilo brže upoređivanje, podaci o pojačanju u tabeli 26.5 izraženi su u odnosu na polutalasni dipol, kao što je i uobičajeno.

Tabela 26.5

POJAČANJE I UGAO ZRAČENJA HELIKOIDALNE ANTENE PREMA sl. 26.33 U ZAVISNOSTI OD BROJA NAMOTAJA n

Broj namotaja n	Pojačanje dB	Ugao zračenja °
3	7,9	61
4	9,1	53
5	10,2	47
6	11,0	43
7	11,7	40
8	12,3	37
9	12,8	35
10	13,2	33
11	13,6	31,5
12	14,0	30

Ako napojni vod nije predugačak, antena se može napajati direktno koaksijalnim kablom od 75 Ω (sl. 26.33). Koeficijent stojećih talasa je tada manji od 2. Ipak, bolje je izvršiti pravilno prilagođenje pomoću koaksijalnog četvrttalasnog transformatora.

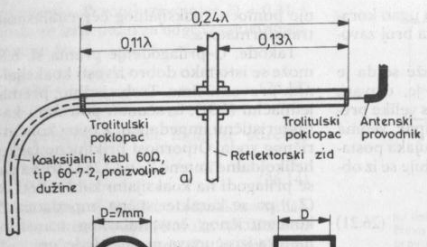
Takođe, Q–prilagođenje prema sl. 6.8 može se isto tako dobro izvesti koaksijalnim provodnicima. Treba jedino, prema jednačini (5.31), izračunati potrebnu karakterističnu impedancu Z ovog koncentričnog voda. Otpornost priključne tačke helikoidalne antene Z_A od 125 Ω treba da se prilagodi na koaksijalni kabl od 60 Ω (Z_U), pa se karakteristična impedanca Z koncentričnog četvrttalasnog transformatora izračunava prema sledećem:

$$Z = \sqrt{Z_A \cdot Z_U} = \sqrt{125\ \Omega \cdot 60\ \Omega} = 86{,}6\ \Omega.$$

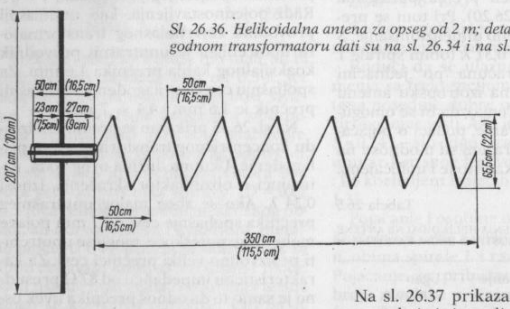
Prema sl. 5.5 koncentrični vod sa vazduhom kao izolatorom imaće željenu karakterističnu impedancu od oko 87 Ω, ako je odnos spoljašnjeg prečnika unutrašnjeg provodnika prema unutrašnjem prečniku spoljašnjeg provodnika 1 : 4,4. Radi pojednostavljenja, kao unutrašnji provodnik četvrttalasnog transformatora upotrebljen je unutrašnji provodnik koaksijalnog kabla prečnika 1,6 mm. Za spoljašnju cev Q–prilagođenja unutrašnji prečnik je 1,6 mm · 4,4 ≈ 7 mm.

Na sl. 26.35 prikazan je predlog za izradu koncentričnog transformatora za prilagođenje. Ukupna dužina ovog voda, uzimajući u obzir faktor skraćenja, iznosi 0,24 λ. Ako se zbog malog unutrašnjeg prečnika spoljašnje cevi od 7 mm pojave mehaničke poteškoće, mogu se upotrebiti proizvoljno veliki prečnici cevi. Za karakterističnu impedancu od 87 Ω presudno je samo to da odnos prečnika uvek ostane 4,4 : 1. Kada amater sam izrađuje ovakav koncentrični vod, često je jednostavnije da spoljašnji provodnik bude kvadratnog preseka. U tom slučaju odnos $D : d = 3{,}8 : 1$ (sl. 5.6) obezbeđuje karakterističnu impedancu od 87 Ω.

Na sl. 26.36 prikazana je skica helikoidalne antene čija je tačka napajanja prilagođena pomoću četvrttalasnog transformatora na priključak koaksijalnog kabla. Upisane dimenzije obezbeđuju rezonancu antene u opsegu od 2 m, a u zagradama se nalaze odgovarajuće vrednosti za rad u opsegu od 70 cm. Kod ovog rešenja prečnik reflektora je 1 λ. Samo se po sebi razume da se ploča reflektora može smanjiti do prečnika od 0,63 λ, ne



Sl. 26.35. Koncentričan četvrttalasni transformator za prilagođenje za usmerenu helikoidalnu antenu: a – uzdužni presek b – poprečni presek



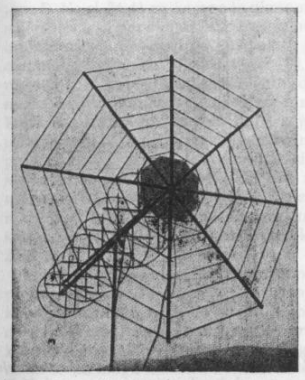
Sl. 26.36. Helikoidalna antena za opseg od 2 m; detalji o reflektoru i prilagodnom transformatoru dati su na sl. 26.34 i na sl. 26.35.

menjajući ostale vrednosti. Prema tabeli 26.5, pomoću ove antene postiže se pojačanje od 11,7 dB i ugao zračenja od 40°.

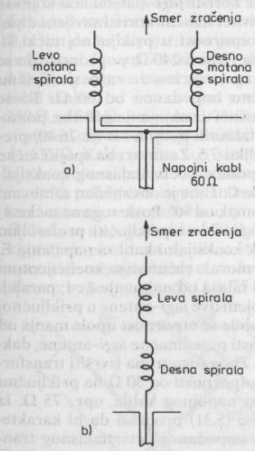
Za izradu zavojnice pogodan je aluminijum prečnika 10 mm, koji se koristi i za gromobranske instalacije. Standardne trgovačke dimenzije ovih aluminijumskih šipki odgovaraju potrebnim dužinama, a i savijaju se veoma dobro. Namotaji zavojnice mogu se smestiti na odgovarajući drveni skelet. Metalni antenski jarbol sme se pričvrstiti samo na stražnjoj strani reflektorskog zida. U tom slučaju, ceo sistem postaje preglomazan, pa je zbog toga često pogodnije da se antena u njenom težištu postavi na drveni stub.

Na sl. 26.37 prikazana je helikoidalna antena, koju je izgradio i proverio amater DL6MH. Kod ove antene upotrebljen je reflektor od žice u obliku paukove mreže. Konstruktor naročito ističe izvanrednu oštrinu usmeravanja.

Ako se zračenje sa kružnom polarizacijom prima pomoću antene sa linearnom polarizacijom i obrnuto, onda se iz polja uzima samo polovina energije koja bi se mogla preneti kada su polarizacije jednake. To znači gubitak od 3 dB. Međutim, postoje mogućnosti da se linearno polarizovani talasi emituju i primaju pomoću helikoidalne antene. U tu svrhu dve jednake spiralne antene spajaju se u jednu grupu (sl. 26.38a), pri čemu se postavlja uslov da smer motanja obe spirale mora



Sl. 26.37. Helikoidalna antena po amateru DL6MH



Sl. 26.38. Linearna polarizacija pomoću dve helikoidalne antene sa suprotnim spiralama: a – paralelan spoj spirala, b – serijski spoj spirala

biti suprotan (jedna leva i jedna desna spirala).

Ako je smer namotavanja isti, polarizacija ostaje eliptična. Ako se dve suprotno namotane spirale postave jedna pored druge u istom horizontalnom nivou, polarizacija je horizontalna. Vertikalna polarizacija nastaje kada se dve spirale postave vertikalno jedna iznad druge. Linearna polarizacija može se postići i u slučaju kada se dve jednake, suprotno namotane spirale spoje aksijalno jedna iza druge (sl. 26.38b). Međutim, ovaj raspored nema praktičan značaj, jer se javljaju mehaničke i električne poteškoće.

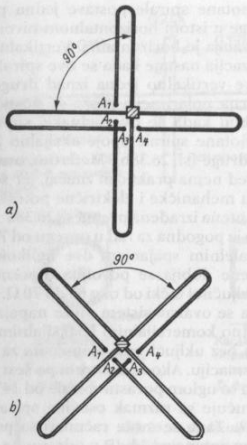
Antena izrađena prema sl. 26.38a naročito je pogodna za rad u opsegu od 70 cm. Paralelnim spajanjem dve helikoidalne antene dobija se povoljna otpornost u priključnoj tački od oko 65 do 70 Ω. Zbog toga se ovakav sistem može napajati direktno komercijalnim koaksijalnim kablom bez uključivanja elemenata za transformaciju. Ako se upotrebi po šest zavojaka sa uglom porasta spirale od 14°, preporučuje se razmak osovina spirale od 1,5 λ. Tada se može računati sa pojačanjem antene od 14 dB u odnosu na polutalasni dipol.

26.5.2. *Jagi*–antene sa kružnom polarizacijom

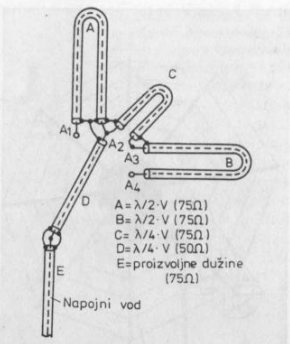
Kružna polarizacija *jagi*–sistema postiže se na taj način što se dve potpuno jednake *jagi*–antene rasporede u prostoru tako da razlika polarizacije iznosi 90° (npr., jedan sistem sa horizontalnom polarizacijom, a drugi sa vertikalnom polarizacijom) i da se oba sistema pobuđuju sa međusobnim faznim pomakom od 90°. Pod ovim uslovima nastaje obrtno polje koje se može okretati nadesno (u smeru kazaljke na satu) ili nalevo (suprotno od smera kazaljke na satu). Kada se primaju linearno polarizovani talasi, smer obrtanja kružne polarizacije nema značaja.

Obično se oba *jagi*–sistema izgrade na zajedničkom uzdužnom nosaču, a elementi se postave u obliku krsta (sl. 26.39). Aktivni elementi povezani su paralelno, pa se rezultantna otpornost u priključnoj tački smanji na polovinu vrednosti otpornosti zračenja pojedinačnog sistema. Istovremeno, visokofrekventna snaga predajnika deli se ravnomerno na oba sistema. To znači da svaka linearno pola-

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 26.39. Ukršten raspored kružno polarizovanih jagi-antena (aktivni elementi); a – u obliku krsta sa vertikalnim i horizontalnim sistemom, b – »položeni krst«, pri čemu je svaki sistem postavljen pod uglom od 45° prema vertikali



sl. 26.40. Sistem napajanja kružno polarizovanih ukrštenih jagi-antena prema sl. 26.39.

rizovana prijemna antena prima kružno polarizovano zračenje predajnika sa gubitkom od 3 dB. Fazni pomak od 90° između dva *jagi*–sistema koji je potreban za kružnu polarizaciju, ostvari se jednostavno tako što se jedan od sistema pobuđuje preko četvrttalasne »zaobilazne petlje«. Sprega zračenjem između oba *jagi*–sistema treba da bude minimalna da bi praktično delovala samo sprega preko četvrttalasne petlje. Najmanji mogući međusobni uticaj spregom putem zračenja između dva *jagi*–sistema postiže se tako što se jedan sistem polarizuje vertikalno, a drugi horizontalno (sl. 26.39a). Često je dovoljno da se unakrsno raspoređeni elementi obrnu aksijalno za 45°, tako da se pri pogledu odozgo vidi »ležeći krst«, pri čemu su elementi koso polarizovani (sl. 26.39b). Električna efikasnost je ista, a elementi antene su u manjoj sprezi sa vertikalnim antenskim jarbolom.

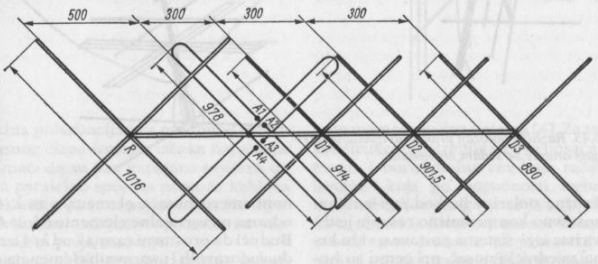
Ako se koriste *jagi*–sistemi kod kojih se kao aktivni element koristi savijeni dipol čija je otpornost u priključnoj tački simetrična i iznosi 240 Ω, pogodno je da se tačka napajanja izvede za nesimetričnu priključnu impedancu od 60 Ω. To se može postići uz najmanje gubitke, pomoću polatalasnih petlji A i B (sl. 26.40) prema odeljku 7.5. Zatim treba spojiti tačke A_2 i A_3 pomoću četvrttalasnog koaksijalnog voda C. Time je obezbeđen zahtevani fazni pomak od 90°. Posle toga na tačke A_2 i A_3 mogao bi se priključiti proizvoljno dugačak koaksijalni kabl za napajanje E, ali bi se moralo računati sa koeficijentom stojećih talasa od najmanje 2 : 1; paralelnim spojem dve *jagi*–antene u priključnoj tački dobije se otpornost upola manja od otpornosti pojedinačne *jagi*–antene, dakle 30 Ω. Zbog toga treba izvršiti transformaciju otpornosti od 30 Ω na priključnu vrednost napojnog kabla, npr., 75 Ω. Iz jednačine (5.31) proizlazi da bi karakteristična impedanca četvrttalasnog transformatora D morala iznositi oko 48 Ω (vidi odeljak 6.5). Budući da se ne proizvodi kabl od 48 Ω, treba upotrebiti kabl od 50 Ω (npr., tip 50 – 3 – 1), pri čemu se može zanemariti neprilagođenje. Konačno, E od 75 Ω, proizvoljne dužine, može se priključiti pravilno u pogledu impedance na kraj četvrttalasnog transformatora D. Na sl. 26.41 prikazana je ukrštena *jagi*–antena sa pet elemenata, koja se pobuđuje na opisani način. Konstruktor je ovu antenu nazvao *G3JVQ* – tvister [2], a na slici su dati i svi podaci o njenim dimenzijama za amaterski opseg od 2 m. Relativna dužina antene iznosi 0,7 λ, a pojačanje je oko 7,5 dB. I sve druge kružno polarizovane ukrštene kombinacije *jagi*–antena sa otpornošću od 240 Ω mogu se napajati na principu prikazanom na sl. 26.40; npr., *jagi*–antene sa tri, šest i devet elemenata prema odeljku 22.2.

Transformacione elemente unutar napojnog voda treba izbegavati, jer spajanje kablova različitih karakterističnih impedanci zahteva dodatna sredstva i besprekorno zaptivanje od vlage. Osim toga, često se ne mogu nabaviti komadi kabla sa karakterističnom impedancom koja je potrebna za četvrttalasni transformator D. U tom slučaju, jednostavnije rešenje je da se izostavi četvrttalasni komad kabla D, s tim da se napajani savijeni dipoli izvedu kao dvostruko savijeni dipoli (sl. 4.2). Zbog toga se otpornost u priključnoj tački svakog od dva sistema povećava sa 240 Ω na 540 Ω. Petlje A i B (sl. 26.40) transformišu otpornost pojedinačnih sistema na 135 Ω. Kako su dva *jagi*–sistema paralelno spojena preko četvrttalasnog komada C, priključna impedanca celog sistema smanji se na polovinu, tj. na oko 68 Ω. Tada se napojni kabl od 70 Ω može priključiti direktno na A_2 ili na A_3. Ako se upotrebe napojni kablovi sa karakterističnom impedancom 60 Ω ili 75 Ω, neprilagođenje je veoma malo. Na sl. 26.42 prikazan je sistem ukrštenih *jagi*–antena sa sedam elemenata, kod koga su primenjeni takvi dvostruko savijeni dipoli i gde je za sve elemente upotrebljena traka od aluminijumske legure širine 20 mm. Noseća cev je kvadratnog preseka (22 mm · 22 mm), pa su sve zaokrenute polovine elemenata mogle da se pričvrste direktno na noseću cev pomoću vijaka. Na sl. 26.43 prikazani su ostali detalji. Relativna dužina antene je 0,85 λ, a pojačanje iznosi oko 8,5 dB.

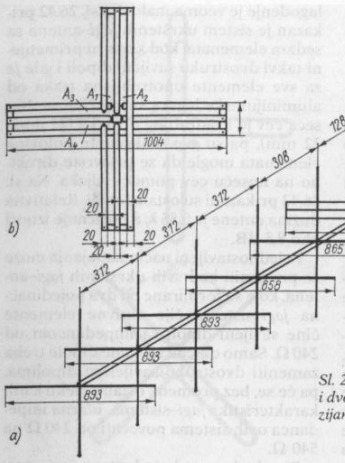
Pojednostavljeni način napajanja može se primeniti kod svih ukrštenih *jagi*–antena, koje su formirane od dva pojedinačna *jagi*–sistema čije aktivne elemente čine savijeni dipoli sa impedancom od 240 Ω. Samo obične savijene dipole treba zameniti dvostruko savijenim dipolima, pa će se, bez promene ostalih električnih karakteristika *jagi*–sistema, ulazna impedanca ovih sistema povećati od 240 Ω na 540 Ω.

Ponekad se grade i ukrštene *jagi*–antene čiji se aktivni elementi sastoje od pruženih dipola, a napajanje je izvedeno preko gama–prilagođenja [3]. Na taj način se uštede dve polutalasne petlje, ali zato treba uložiti više sredstava da se naprave gama–elementi sa mogućnošću podešavanja, što je mehanički teže realizovati. Za njihovo optimalno podešavanje potrebno je mnogo vremena, a kroz polovine elemenata antene često teku različite struje, što je uslovljeno nesimetričnim gama–pobuđivanjem.

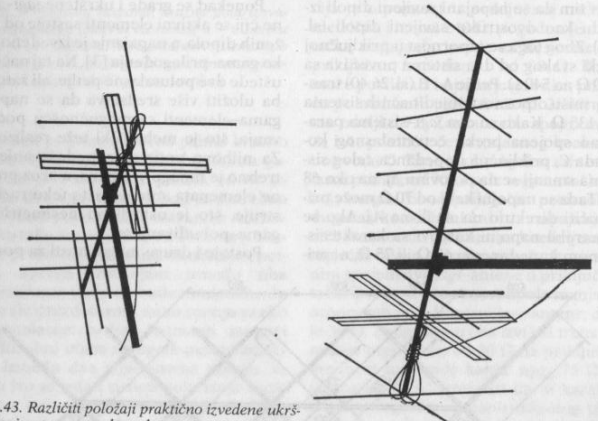
Postoje i druge mogućnosti za postiza-



Sl. 26.41. G3JVQ – tvister (sistem napajanja na sl. 26.40)

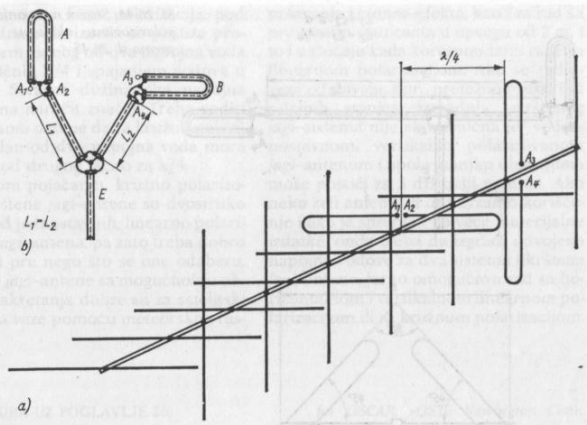


Sl. 26.42. Ukrštena jagi-antena sa sedam elemenata i dvostruko savijenim dipolima; a – skica sa dimenzijama, b – detalj ukrštenog dvostruko savijenog dipola



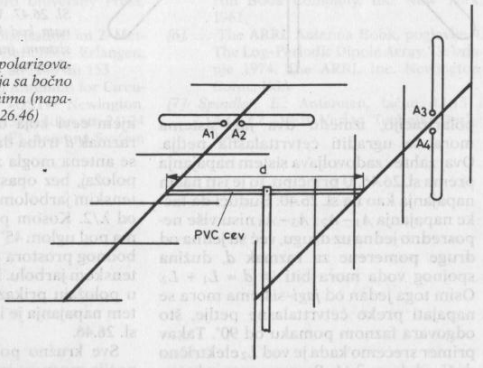
Sl. 26.43. Različiti položaji praktično izvedene ukrštene jagi-antene sa sedam elemenata

nje kružne polarizacije kod *jagi*–antena. Jednostavno kompromisno rešenje je da se dva ista *jagi*–sistema postave u vidu krsta na zajednički nosač, pri čemu su horizontalni elementi pomereni u uzdužnom smeru nosača elemenata za λ/4 u odnosu na vertikalne elemente (sl. 26.44). Budući da prostorni razmak od λ/4 između vodoravnih i uspravnih elemenata odgovara faznom pomaku od 90°, postiže se



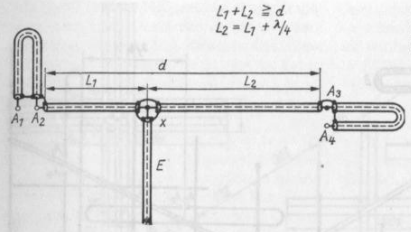
Sl. 26.44. Ukrštena jagi-antena čiji su jagi-sistemi uzdužno pomereni: a – skica konstrukcije, b – sistem napajanja za kružnu polarizaciju

Sl. 26.45. Kružno polarizovana jagi-kombinacija sa bočno pomerenim sistemima (napajanje je prema sl. 26.46)

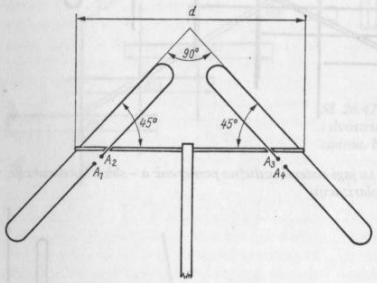


kružna polarizacija bez posebnog četvrttalasnog člana između tačaka napajanja. To znači da su oba napajana savijena dipola paralelno spojena pomoću kablova iste dužine, pa se napajaju u fazi; fazni pomak nastaje isključivo prostornim razmeštajem polja zračenja.

Sledeći oblik izgradnje kružno polarizovanih *jagi*–antena zasniva se na bočnom razmeštaju dva sistema [4]. Za takvu konstrukciju potrebna su dva nosača elementa i horizontalna cev koja razdvaja nosače i koja, po mogućnosti, treba da bude od izolacionog materijala (npr., od PVC, sl. 26.45). Elementi antene nalaze se u istoj ravni zračenja, pa prostorni razmeštaj ne prouzrokuje fazni pomak. Stoga, da bi kod ovog oblika postigli kružnu



Sl. 26.46. Sistem napajanja za kružno polarizovanu ukrštenu jagi-antena prema sl. 26.45



Sl. 26.47. Varijanta rasporeda elemenata kod kružno polarizovanih jagi-sistema (nacrtani su samo napajani elementi)

polarizaciju, između dva *jagi*–sistema mora se ugraditi četvrttalasna petlja. Ovaj zahtev zadovoljava sistem napajanja prema sl. 26.46. U principu, to je isti način napajanja kao na sl. 26.40. Budući da tačke napajanja $A_1 - A_2$ i $A_3 - A_4$ nisu više neposredno jedna uz drugu, već su jedna od druge pomerene za razmak d, dužina spojnog voda mora biti $\geq d = L_1 + L_2$. Osim toga jedan od *jagi*–sistema mora se napajati preko četvrttalasne petlje, što odgovara faznom pomaku od 90°. Takav primer srećemo kada je vod L_2 električno duži od L_1 za $\lambda/4$. Prema ovom odnosu bira se priključna tačka X napojnog kabla E. Ako je potreban član za prilagođenje, on se kao četvrttalasni transformator D priključi između tačke X i napojnog kabla E (vidi sl. 26.40).

Ovakva konstrukcija je naročito pogodna za satelitski prijem (npr., OSKAR), jer se antenski sistem može lako zaokrenuti u vertikalni položaj aksijalnim obrtanjem cevi koja održava razmak. Bočni razmak d treba da bude što manji. Da bi se antena mogla zaokrenuti u vertikalni položaj, bez opasnosti od sudara sa antenskim jarbolom, d mora biti nešto veće od $\lambda/2$. Kosom polarizacijom *jagi*–sistema pod uglom 45° dobija se malo više slobodnog prostora prema vertikalnom antenskom jarbolu. Elementi se tada nalaze u položaju prikazanom na sl. 26.47. Sistem napajanja je i u ovom slučaju kao na sl. 26.46.

Sve kružno polarizovane *jagi*–kombinacije mogu se izvesti tako da se iz prostorije radio-stanice mogu prebaciti na kružnu ili linearnu polarizaciju. Radi toga mora se položiti poseban napojni vod od svakog pojedinačnog sistema do preklopnika. Oba napojna voda moraju biti iste dužine. Tada se svaki sistem može koristiti sam kao linearno polarizovana antena sa odgovarajućim polarizacionim položajem (horizontalna ili vertikalna, odnosno kosa polarizacija pod 45°). Kružna polarizacija se postiže produžavanjem jednog od dva napojna voda za električnih $\lambda/4$ i spajanjem vodova u paralelu. Stvarna dužina oba napojna voda nema naročit značaj. Treba voditi računa samo o tome da za kružnu polarizaciju jedan od dva napojna voda mora biti duži od drugog tačno za $\lambda/4$.

Pri istom pojačanju, kružno polarizovane ukrštene *jagi*–antene su dvostruko skuplje od jednostavnih, linearno polarizovanih *jagi*–antena, pa zato treba dobro razmisliti pre nego što se one odaberu. Ukrštene *jagi*–antene sa mogućnošću obrtanja i zakretanja dobre su za satelitski prijem, za veze pomoću meteorskog raspršavanja i *aurora*–efekta, kao i za rad sa prevoznim stanicama u opsegu od 2 m, i to i u slučaju kada korespondenti rade sa linearnom polarizacijom. Ako se radio-veze održavaju, npr., pretežno preko FM relejnih stanica, izgradnja ukrštenog *jagi*–sistema nije ekonomična jer se jednostavnom, vertikalno polarizovanom *jagi*–antenom i upola manjim ulaganjima može postići za 3 dB bolji rezultat. Ako neko želi antenu za univerzalno korišćenje i ako je spreman na veće materijalne izdatke, onda treba da izgradi odvojene napojne vodove za dva sistema ukrštene *jagi*–antene, jer to omogućava rad sa horizontalnom i vertikalnom linearnom polarizacijom ili sa kružnom polarizacijom.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 26

[1] Moullin, E.B.: »Radio A...als«, poglavlje 5 i poglavlje 11, Oxford University Press, New York 1949

[2] Bittan, T.: Zirkular Polarisation im 2–Meter–Band, »UKW–Berichte«, Erlangen, 13 (1973) sveska 3, str. 148 do 153

[3] Nose, K.: Crossed Yagi Antennas for Circular Polarisation, »QST« Newington, Conn., USA, 57 (1973) Januar, str. 21–24

[4] Nose, K.: A simple Az–EL Antenna System for OSCAR, »QST« Newington Conn. USA, (1973), jun, str. 11 do 12

[5] Jasik, H.: Antenna Engineering Handbook, 18.3 Log–Periodic Antennas, McGraw Hill Book Company, Inc. New York, 1961

[6] . . .: The ARRL Antenna Book, poglavlje 4, The Log–Periodic Dipole Array, 13. izdanje 1974, The ARRL Inc. Newington, Conn., USA

[7] Spindler, E.: Antennen, tačke 4.1.15 i 4.2.1.2.2., VEB Verlag Technik, Berlin 1968

27. Oblici kratkotalasnih antena u VVF i UVF opsegu

Moglo bi se pretpostaviti da dugačke žičane antene i drugi oblici antena koje se uspešno koriste u kratkotalasnom području nisu pogodni za predaju i prijem u VVF području, jer se vrlo retko upotrebljavaju u ovom delu frekventnog spektra. Međutim, prema pravilu sličnosti, karakteristične osobine antene ne menjaju se bez obzira na to za koju su radnu frekvenciju dimenzionisane. Zbog toga se svi oblici antena, tipični za kratkotalasno područje, sa istim uspehom mogu koristiti i u UKT području.

U određenim slučajevima, primena V–antene i romb–antene može biti veoma svrsishodna. Njihova prednost je velika širina opsega, a mana što ih je teško izraditi kao obrtne antene. Zbog toga se koriste za uspostavljanje UKT veza na velikim udaljenostima unutar ograničenog sektora smerova. One daju dobre rezultate na prijemnim stanicama i kao širokopojasne TV antene. Od obrtnih oblika kratkotalasnih antena u VVF opsegu, za radio-amatere značajne su antene *kjubikal–kvad* i obruč–antena (ringbim).

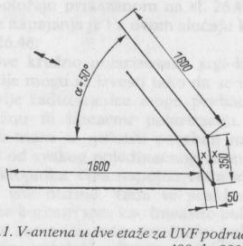
27.1. V–antena za UVF opseg u više etaža

Na sl. 27.1 prikazana je skica V–antene u dve etaže koja je dimenzionisana za UVF područje od 400 do 800 MHz. Antena je zbog toga pogodna za dobar prijem amaterskog opsega od 70 cm i celokupnog IV i V UVF TV područja.

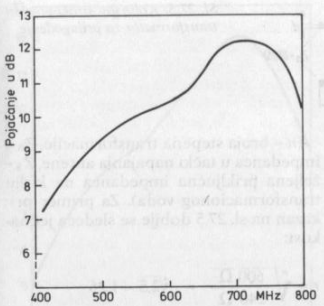
Za izradu ove antene potrebna su dva komada okruglog aluminijuma prečnika 10 mm i dužine 355 cm. Oni se saviju tako da se dobiju delovi antene u obliku slova U čiji su krakovi dugački 160 cm. Zatim se ta dva dela postave pod uglom od 50°, kao što je prikazano na sl. 27.1. Sredine malih vertikalnih delova čija je dužina 35 cm moraju biti međusobno razmaknute 5 cm. U geometrijskoj sredini ovog dela paralelnih žica nalaze se tačke napajanja XX. Tu se može priključiti simetrični napojni vod karakteristične impedance 240 do 300 Ω. Za pričvršćenje antene treba konstruisati odgovarajući drveni nosač.

Na sl. 27.2 prikazana je promena pojačanja u dB sa frekvencijom (u odnosu na podešeni polutalasni dipol). Iz toga proizlazi da se u amaterskom opsegu od 70 cm može računati sa prosečnim pojačanjem od 8 dB; dužina krakova za ovaj opseg iznosi oko 2,3 λ. Na kanalu 21 (IV opseg) pojačanje već iznosi 8,7 dB, a na kanalu 50 (V opseg) ono naraste do maksimuma od 12,2 dB. Za ovo maksimalno pojačanje dužina krakova iznosi oko 3,8 λ. Do kraja opsega (kanal 60) pojačanje opet opada na 10,5 dB.

Odabrani ugao između krakova α od 50° optimalan je za dužinu krakova od 3,8 λ (vidi sl. 11.13), pa se zbog toga najveće pojačanje opsega javlja kod 700 MHz. U amaterskom opsegu od 70 cm minimalna



Sl. 27.1. V-antena u dve etaže za UVF područje od 400 do 800 MHz



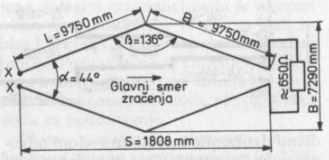
Sl. 27.2. Pojačanje V-antene u dve etaže prema sl. 27.1. u zavisnosti od frekvencije (pojačanje u dB u odnosu na λ/2 dipol)

vrednost razmaka etaža je $\lambda/2$ (35 cm); to je oko 0,85 λ u odnosu na visokofrekventni kraj opsega. Ovim kompromisnim rešenjem dvoetažne V–antene omogućeno je njeno korišćenje u širokom opsegu radnih frekvencija. Međutim, postizanje velike širine frekventnog opsega plaćeno je većom frekventnom zavisnošću impedance i stvaranjem bočnih opsega u dijagramu zračenja.

27.2. Romb–antene u VVF i UVF području

Budući da se izrađuje od jednostavne bakarne žice, fiksno montirana zaključena romb–antena je veoma jeftina i pogodna prijemna UKT antena. Nasuprot završnom otporniku predajne antene koji se retko nalazi u prodaji, a zbog visoke cene još teže kupuje, završni otpornik prijemne antene je običan ugljenoslojni otpornik koji se jeftino prodaje u svakoj specijalizovanoj radnji. Pored toga, nema potrebe kompromisom u pogledu širine frekventnog opsega, jer je prirodna širina opsega zaključenog romba veoma velika.

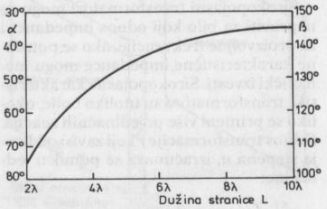
Zaključena romb–antena u VVF području poseduje širinu opsega koja se proteže od frekvencije za koju je antena dimenzionisana do oko 40% prema višim frekvencijama i 30% prema nižim frekvencijama. To znači da se, npr., romb–antena dimenzionisana za 140 MHz može koristiti u opsegu od 88 do 196 MHz.



Sl. 27.3. Romb-antena za VVF područje od 130 do 260 MHz

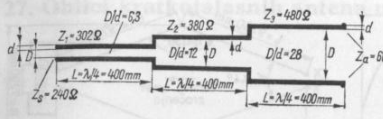
Na sl. 27.3 prikazana je skica VVF romba koji je optimalno dimenzionisan za frekvenciju od 185 MHz. On pokriva frekventno područje od oko 130 do 260 MHz zbog toga se može koristiti za prijem i u amaterskom opsegu od 2 m i u celom III TV području. Za dužinu kraka L od 6 λ optimalan je ugao α između krakova je od 44°. Na sl. 27.4 prikazana je zavisnost ugla α, odnosno β od dužine kraka L u kojim se postižu najpovoljnije karakteristike zračenja. Antena čije su dimenzije date na sl. 27.3, na frekvenciji za koju je dimenzionisana, ima pojačanje oko 12 dB u odnosu na polutalasni dipol. Budući da romb poseduje završni otpornik, zračenje se širi u jednom smeru (vidi odeljak 12.4). Kao završni otpornik upotrebljava se komercijalni ugljenoslojni otpornik, vrednost otpornosti je oko 650 Ω (nije kritična), a disipacija proizvoljna.

Ulazna impedanca XX takve romb–antene kreće se, na žalost, između 450 i 600 Ω, već prema frekvenciji i završnom otporniku. Zbog toga se antena mora pobu-



Sl. 27.4. Optimalni ugao α (odnosno β) romb antene u zavisnosti od dužine stranice L u λ

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 27.5. Kolinsov širokopojasni transformator za prilagođenje

đivati dvožičnim napojnim vodom odgovarajuće karakteristične impedance koji je amater sam izgradio. Kod direktnog priključka komercijalnog trakastog voda (240 do 300 Ω) javlja se neprilagođenje. Povoljno rešenje prilagođenja simetričnog voda od 240 Ω je uključivanje širokopojasnog *Kolinsovog* transformatora za prilagođenje. To je stepenasta transformacija sa više četvrttalasnih transformatora čije je prednost u tome što imaju širok frekventni opseg. Ako se pretpostavi da je ulazna impedanca romba 600 Ω i ako se ona želi transformisati na 240 Ω, može se primeniti rešenje kao na sl. 27.5. Transformacija se vrši u četiri stepena i po sledećem redosledu: 600 Ω na 480 Ω, 480 Ω na 380 Ω, 380 Ω na 302 Ω i 302 Ω na 240 Ω. Na ovaj način *Kolinsov* transformator dobije širinu frekventnog opsega od oko 4 : 1. Pojedine sekcije Z_1, Z_2 i Z_3 sa različitim karakterističnim impedancama dugačke su po $\lambda/4$ u odnosu na srednju radnu frekvenciju (frekvenciju za koju je izvršeno dimenzionisanje) antene. Ona u ovom slučaju iznosi 185 MHz = 1,62 m, pa je mehanička dužina četvrttalasnih sekcija po 400 mm. Potrebni odnosi razmak/prečnik (D/d) za različite karakteristične impedance dati su na sl. 27.5, a mogu se očitati sa dijagrama na sl. 5.4. Na kraju Z_S ovog transformatora može se priključiti vod od 240 Ω i to pravilno u pogledu prilagođenja impedance.

Širokopojasni transformatori mogu se napraviti za bilo koji odnos impedanci i za proizvoljne frekvencije, ako se potrebne karakteristične impedance mogu mehanički izvesti. Širokopojasne karakteristike transformatora su utoliko bolje, ukoliko se primeni više pojedinačnih sekcija. Odnos transformacije r koji zavisi od broja stepena n, izračunava se pomoću jednačine:

$$r = \sqrt[n]{\frac{Z_A}{Z_S}} \qquad (27.1)$$

(n – broja stepena transformacije, Z_A – impedanca u tački napajanja antene, Z_S – željena priključna impedanca na kraju transformacionog voda). Za primer prikazan na sl. 27.5 dobije se sledeća jednakost:

$$r = \sqrt[n]{\frac{600\ \Omega}{240\ \Omega}} = \sqrt[4]{2{,}5} = 1{,}26$$

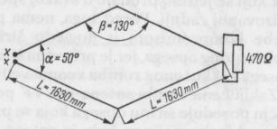
Za pojedine četvrttalasne sekcije potrebne karakteristične impedance izračunaju se na sledeći način:

$Z_1 = Z_S \cdot r = 240\ \Omega \cdot 1{,}26 = 302\ \Omega,$
$Z_2 = Z_1 \cdot r = 302\ \Omega \cdot 1{,}26 = 380\ \Omega,$
$Z_3 = Z_2 \cdot r = 380\ \Omega \cdot 1{,}26 = 480\ \Omega.$

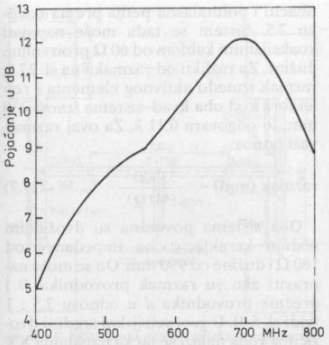
Sa $Z_3 \cdot r = 480\ \Omega \cdot 1{,}26 = 604\ \Omega$ postiže se na kraju voda impedanca antene od oko 600 Ω.

Na sl. 27.6 prikazana je jednostavna romb–antena za UVF područje. Njen ugao α iznosi 50°, a završena je otpornikom od 470 Ω. Ovaj za romb–antenu relativno mali završni otpornik odabran je da bi se dobila što manja ulazna impedanca (oko 400 Ω). Antena se može napajati simetričnim vodom od 300 Ω, pri čemu koeficijent stojećih talasa u celom frekventnom području iznosi manje od 2 : 1. Na sl. 27.7 prikazana je promena pojačanja u zavisnosti od prijemne frekvencije.

Romb–antena se može, takođe, postaviti u više vertikalnih etaža na sličan način kao V–antena (sl. 27.1). Razmak etaža iznosio bi 350 mm. Završni otpornici po-



Sl. 27.6. Romb-antena za UVF područje 400 do 800 MHz



Sl. 27.7. Pojačanje UVF romb-antene prema sl. 27.6, u zavisnosti od frekvencije (pojačanje je u dB u odnosu na λ/2 dipol)

većavaju se na oko 600 Ω, da se u centralnoj tački napajanja dobije simetrična priključna impedanca od 240 do 300 Ω.

Sve zaključene romb–antene mogu se koristiti i kao predajne antene, ako se završni otpornik može opteretiti sa najmanje ½ VF snage predajnika.

27.3. *Kjubikal–kvad* za UKT

Glavne prednosti *kjubikal–kvada* su njegova kompaktna konstrukcija koja zauzima malo prostora, mogućnost da se za izgradnju elemenata, umesto skupih cevi, upotrebe jednostavne žice, kao i činjenica da jednostavna *kjubikal–kvad* antena već predstavlja antenski sistem u dve etaže sa odgovarajuće dobrim karakteristikama usnopljenja u vertikalnoj ravni. Zbog toga je ona, kada radi kao prijemna antena, manje osetljiva na smetnje izazvane varničenjima nego *jagi*–antena u jednom nivou sa kojom se može uporediti.

27.3.1. **Jednostavni** *kjubikal–kvad*

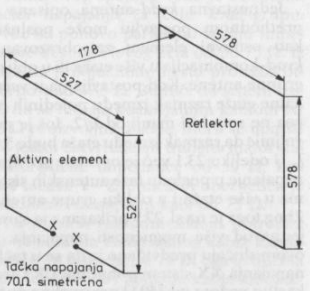
Kjubikal–kvad prema sl. 27.8 pogodan je za prenosne i prevozne radio-stanice. Novija istraživanja pokazala su da se antena nalazi u rezonanci kada je ukupan obim napajanog *kvad*–elementa veći za oko 1,5% od 1 λ, što je suprotno od opšte teorije. Poznavanje ove činjenice omogućava konstruisanje *kvad*–antena koje stupaju u rezonancu bez dodatnih ograničenja voda za podešavanje.

Obim napajanog elementa *kjubikal–kvad* antene za opseg od 2 m (sl. 27.8) iznosi 2108 mm, čemu odgovara dužina stranice od 527 mm. Ovim dimenzijama odgovara rezonanca na 144,5 MHz. Obim reflektora iznosi 2312 mm, čemu odgovara dužina stranice od 578 mm. Aktivni element i reflektor postavljeni su na razmaku od 178 mm, što odgovara 0,08 λ. Iz toga, u tački napajanja proizlazi impedanca od približno 70 Ω.

Pojačanje ove antene iznosi oko 5 dB, a odnos direktnog i povratnog signala je oko 13 dB. Najmanji koeficijent stojećih talasa izmeren je na rezonantnoj frekvenciji od 144,5 MHz i iznosio je 1 : 1,035. On postaje maksimalan na visokofrekventnom kraju opsega na 146 MHz i iznosi 1 : 1,23.

Napajanje se može vršiti koaksijalnim kablom od 70 Ω proizvoljne dužine, ukoliko je on simetriran kod tačke napajanja. Za to je pogodan *Pozijev* član za simetriranje prema odeljku 7.2. Ako se prihvati mali porast koeficijenta stojećih talasa moguće je i napajanje koaksijalnim kablom od 60 Ω.

Pomoću sledećih obrazaca može se izvršiti preračunavanje antene za bilo koju



Sl. 27.8. Kjubikal-kvad za opseg od 2 m

drugu rezonantnu frekvenciju VVF područja:

1. *Aktivni element:*

$$\text{ukupan obim (mm)} = \frac{304635}{f\,(\text{MHz})} \qquad (27.2)$$

$$\text{dužina stranice (mm)} = \frac{76150}{f\,(\text{MHz})} \qquad (27.3)$$

2. *Reflektor:*

$$\text{ukupan obim (mm)} = \frac{334000}{f\,(\text{MHz})} \qquad (27.4)$$

$$\text{dužina stranice (mm)} = \frac{83500}{f\,(\text{MHz})} \qquad (27.5)$$

Razmak D između aktivnog elementa i reflektora za otpornost u priključnoj tački antene od 70 Ω je:

$$D\ (\text{mm}) = \frac{25720}{f\,(\text{MHz})} \qquad (27.6)$$

Otpornost priključne tačke antene i pojačanje rastu ako se povećava razmak između aktivnog elementa i reflektora. Maksimum nastupa za razmak od 0,12 λ. Ostali detalji o *kjubikal–kvadu* objašnjeni su u odeljku 15.1.

27.3.2. **Kjubikal–kvad u više etaža**

Jednostavna *kvad*–antena opisana u prethodnom poglavlju može poslužiti kao osnovni element za obrazovanje *kvad*–kombinacija u više etaža ili u obliku grupne antene. Kod postavljanja u vertikalne etaže razmak između pojedinih nivoa ne sme biti manji od $\lambda/2$. Još je povoljnije da razmak između etaža bude 5/8 λ. U odeljku 23.1 već je opisano pravilno napajanje u pogledu faze antenskih sistema u više etaža i u obliku grupe antena. Zbog toga je na sl. 27.9 prikazana je samo jedna od više mogućnosti napajanja. U ovom slučaju predviđeno je da se u tački napajanja XX sistem pobuđuje UKT trakastim vodom od 240 Ω proizvoljne dužine. Po potrebi, u tački XX može se ubaciti i polutalasna petlja prema odeljku 7.5. Sistem se tada može napajati koaksijalnim kablom od 60 Ω proizvoljne dužine. Za razliku od razmaka na sl. 27.8, razmak između aktivnog elementa i reflektora kod oba kvad–sistema iznosi 230 mm; to odgovara 0,11 λ. Za ovaj razmak važi odnos:

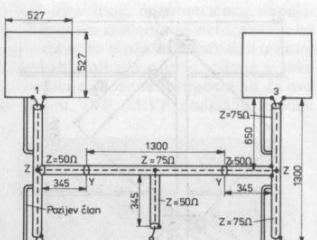
$$\text{razmak (mm)} = \frac{33000}{f\,(\text{MHz})} \qquad (27.7)$$

Oba sistema povezana su dvožičnim vodom karakteristične impedance od 180 Ω i dužine od 990 mm. On se može napraviti ako su razmak provodnika D i prečnik provodnika d u odnosu 2,5 : 1 (vidi sl. 5.4). U geometrijskoj sredini dvožičnog voda nalazi se tačka napajanja XX sa simetričnom impedancom od 240 Ω.

Pojačanje ovog antenskog sistema u odnosu na polutalasni dipol iznosi oko 7,5 dB. Dodatno pojačanje od oko 2,5 dB nastaje isključivo usnopljavanjem u vertikalnoj ravni, a horizontalna širina zra-



Sl. 27.9. Kjubikal-kvad u dve etaže za opseg od 2 m



Sl. 27.10. Skica kvad-grupe (reflektori nisu ucrtani, vidi sl. 27.9)

čenja ostaje kao kod jednostavnog *kvada*.

Antena je dimenzionisana za rezonantnu frekvenciju od 144,5 MHz; u celoj širini opsega od 2 m koeficijent stojećih talasa je manji od 1 : 1,2.

27.3.3. *Kvad*–**grupa za opseg od 2 m**

Kvad–grupa na sl. 27.10 predstavlja veoma efikasnu antenu sa pojačanjem od oko 11 dB. U ovom slučaju, četiri uobičajena *kjubikal–kvada* sastavljena su u grupnu antenu. Radi bolje preglednosti na sl. 27.10 nisu ucrtani kvadrati reflektora. Razmaci i dimenzije reflektora isti su kao na sl. 27.9.

Tehnički je interesantno da se ova antena pobuđuje isključivo pomoću koaksijalnog kabla. Budući da se komadi kabla karakteristične impedance od 75 Ω i od 50 Ω moraju naizmenično spajati, moraju se upotrebiti i odgovarajući koaksijalni konektori ili T–razvodnici. Na žalost, takvi koaksijalni elementi su veoma skupi. Vešt radio-amater, može izbeći troškove nabavke ovih skupih elemenata ako, uz malo spretnosti, lemljenjem ostvari čist spoj i siguran kontakt između koaksijalnih kablova različite karakteristične impedance. Pri tom je naročito važno da se obezbedi dobra zaptivenost spojenih mesta od atmosferskih uticaja.

Pojedinačni *kvad*–sistemi identični su sistemu prikazanom na sl. 27.8. Samo je razmak između aktivnog elementa i reflektora dimenzionisan sa 230 mm (sl. 27.9). Otpornost u priključnoj tački svakog sistema je simetrična i iznosi 75 Ω. Da bi se mogao priključiti nesimetričan koaksijalni kabl od 75 Ω, svakoj tački napajanja treba dodati *Pozijev* član za simetriranje (vidi odeljak 7.2).

Priključne tačke 1 i 2, kao i 3 i 4 spojene su koaksijalnim kablom od 75 Ω, dužine 1300 mm. Dužinu ovog kabla određuje razmak etaža, pa se ona može proizvoljno birati, jer nije u pitanju podešeni vod, ali ipak ne treba da bude kraća od $\lambda/2$.

Kod vertikalnih spojnih vodova priključak se izvodi u njihovoj geometrijskoj sredini. Budući da su u toj tački paralelno vezane ulazne impedance oba spojena sistema, u njoj se javlja samo polovina priključne impedance (37,5 Ω). Zbog toga je u priključeni vod ubačen koaksijalni četvrttalasni transformator koji na svom izlazu transformiše impedancu ponovo na 75 Ω. Karakteristična impedanca četvrttalasnog komada mora iznositi 50 Ω. Transformator se sastoji od komada koaksijalnog kabla od 50 Ω čija je dužina 345 mm, pri čemu je uračunat faktor skraćenja od 0,66 (0,66 · λ/4).

Impedanca u tačkama Y ponovo iznosi 75 Ω, pa se one međusobno mogu spojiti pomoću proizvoljno dugačkog koaksijalnog kabla od 75 Ω. Zbog toga se horizontalni razmak između sistema u dve etaže može slobodno birati. U ovom slučaju upotrebljen je kabl dužine 1300 mm, pa bočni razmak iznosi 1 λ. Geometrijska sredina ovog spojnog voda je centralna tačka napajanja za celu *kvad*–grupu. Ovde se ponovo paralelno vezuju impedance desnog i levog dela od po 75 Ω. Iz toga na priključnom mestu proizlazi otpornost od 37,5 Ω. Budući da sistem treba da se napaja koaksijalnim kablom od 75 Ω proizvoljne dužine, mora se ubaciti još jedan četvrttalasni transformator karakteristične impedance od 50 Ω, kao kod tačaka Y – Z. U tački X obezbeđen je priključak za napojni kabl od 75 Ω.

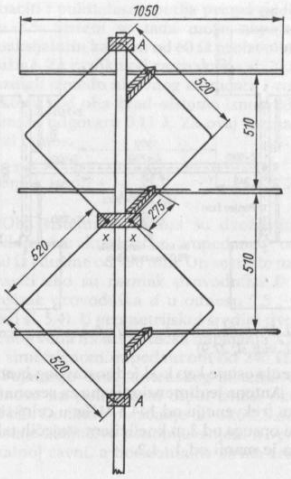
Za opisani razvodni sistem potrebna su tri komada koaksijalnog kabla karakteristične impedance 75 Ω, čija je dužina po 1300 mm i tri komada kabla karakteristične impedance 50 Ω, čija je dužina po 345 mm.

Za pravilno funkcionisanje antene potrebno je da se pojedini delovi napajaju u fazi. To znači da se u priključnim tačkama 1, 2, 3 i 4 kabl mora jednako priključiti, npr., svi unutrašnji provodnici kabla povezuju se sa levim priključkom (sl. 27.10). Spojna mesta pojedinih kablova moraju biti električno i mehanički besprekorno urađena. Treba voditi računa o tome da se spoljašnji provodnik koaksijalnog kabla električno ne prekine na mestima spajanja i odvajanja. Najbolje je da se posle lemljenja spojena mesta zaliju gustim sintetičkim lepkom i, obmotavanjem i lakiranjem, zaštite od prodora vlage. Koaksijalni kablovi nisu osetljivi na spoljašnje uticaje. Oni se mogu pričvrstiti na noseći skelet pomoću obujmica.

Antena je dimenzionisana za 144,5 MHz, širina opsega iznosi približno 3 MHz; u celom opsegu od 2 m koeficijent stojećih talasa je uvek manji od 1 : 1,5. Povratno slabljenje je oko 18 dB.

27.3.4. **Hibridni dvostruki** *kvad* **po amateru** *DL7KM*

Amater *DL7KM* je razvio interesantnu varijantu *kjubikal–kvada* i nazvao je hibridni dvostruki *kvad*. Pokazalo se da je to veoma dobra antena u opsezima od 2 m i od 70 cm. Kao što se vidi na sl. 27.11, dvostruka *kvad*–petlja je upotrebljena kao aktivni element. Nju sačinjavaju dva žičana kvadrata sa stranicama dugim 520 mm koji su postavljeni jedan iznad drugog. Tačka napajanja nalazi se u sredini sistema na mestu spajanja oba kvadrata i njena impedanca iznosi 60 Ω simetrično. Kod ove varijante *kvada* vidi se da su izostavljene uobičajene reflektorske petlje. One su zamenjene sa tri podešena reflektorska štapa dužine od po 1050 mm. To pojednostavljuje konstrukciju i, prema iskustvima *DL7KM* poboljšava karakteristike antene. Međusobni razmak reflektora je kritičan, kao i njihov položaj i udaljenost od aktivnog elementa. Srednji reflektor se nalazi tačno u visini tačke napajanja XX, a oba druga reflektora postavljeni su na razmaku od 510 mm iznad i ispod njega. Oni su montirani na nosač na razmaku od 275 mm (0,13 λ) iza *kvad*–elementa. Reflektori su izrađeni od punog materijala ili od cevi prečnika 10 mm.

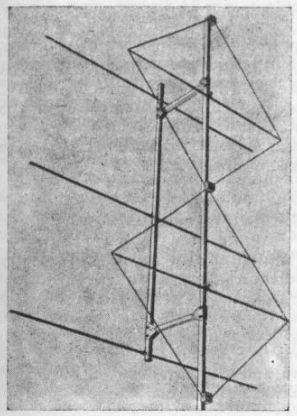


Sl. 27.11. Hibridni dvostruki kvad po amateru DL7KM

Za izradu aktivnog elementa amater *DL7KM* je upotrebio golu bakarnu žicu preseka 16 mm² i dužine 4,16 m; žicu je savio tako da stranice *kvada* budu 520 mm. Polazeći od teoretskih razmatranja vrhovi A dvostrukog *kvada* mogli su se uzemljiti, ali se ipak pokazalo da se čvorovi napona ne nalaze uvek tačno na vrhu i da se pomeraju sa promenom frekvencije. Uzemljenje vrhova povećava slabljenje, a time se smanjuje pojačanje. Zbog toga su tačke A odvojene od metalnog antenskog jarbola pomoću pločica od izolacionog materijala.

Tačka X–X je simetrična prema zemlji, pa se mora ubaciti transformator za simetriranje kada se priključuje nesimetričan koaksijalni kabl od 60 Ω. Za to je pogodan *Pozijev* član za simetriranje prema odeljku 7.2, koji se može lako napraviti, ili *EMI*–petlja prema odeljku 7.3. Praktična istraživanja su pokazala, da se napojni vod može priključiti i bez simetriranja.

Usled direktnog, nesimetričnog napajanja dijagram zračenja se deformiše tako malo da se to može zanemariti, a u omotaču kabla nikada nisu utvrđene visoke frekvencije. Može se pretpostaviti da ova pojava u VVF i UVF području nastaje zato što se moraju koristiti napojni kablovi, čija električna dužina iznosi više talasnih dužina.

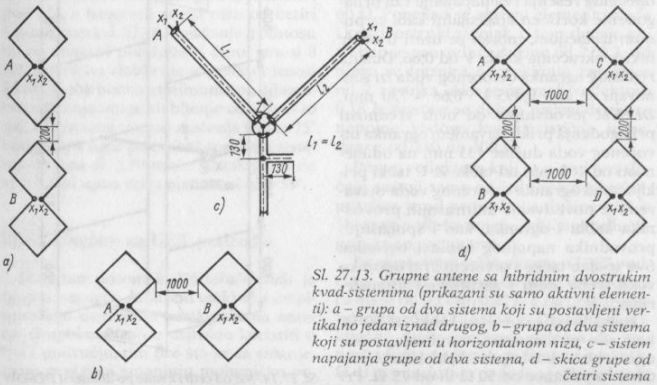


Sl. 27.12. Praktično rešenje hibridnog dvostrukog kvada po amateru DL7KM (foto: O. Oberrender, DM2CRD)

Izgleda da relativno dugački napojni vodovi uspešno slabe postojeće nesimetrije tako da se one više ne javljaju kao smetnje. Na tu pojavu bitno utiče i okolnost da vrhovi dvostrukog *kvada* nisu uzemljeni.

Tačna merenja pojačanja pokazala su da ono iznosi 9 dB u odnosu na rezonantni polutalasni dipol i da je povratno slabljenje 25 dB. Horizontalni ugao zračenja iznosi 67°, a vertikalni 54°. Ove vrednosti dobijene su za direktno napajanje koaksijalnimm kablom od 60 Ω, pri čemu je koeficijent stojećih talasa iznosio s = 1,1. Na sl. 27.12 prikazan je izgled hibridnog dvostrukog *kvada*.

Ako se sve dimenzije navedene za hibridnu antenu u obliku dvostrukog *kvada* za opseg od 2 m smanje na 1/3, javlja se rezonanca u amaterskom opsegu od 70 cm. Sa ovom antenom postignuti su dobri rezultati i u UVF području. Zbog relativno malih troškova izgradnje, zbog malog otpora prema vetru i velikog pojačanja, hibridni dvostruki *kvad* pogodan je i kao pojedinačni sistem za grupne antene. Na sl. 27.13 prikazane su skice grupnih antena koje se već uspešno koriste u opsezima od 2 m i od 70 cm.



Sl. 27.13. Grupne antene sa hibridnim dvostrukim kvad-sistemima (prikazani su samo aktivni elementi): a – grupa od dva sistema koji su postavljeni vertikalno jedan iznad drugog, b – grupa od dva sistema koji su postavljeni u horizontalnom nizu, c – sistem napajanja grupe od dva sistema, d – skica grupe od četiri sistema

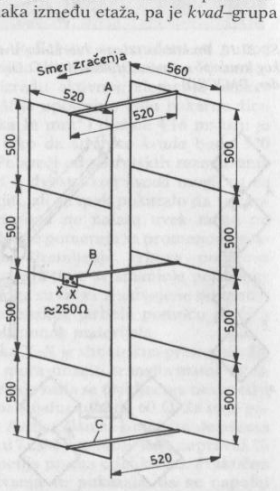
Na sl. 27.13a prikazana je grupa od dva sistema koji su postavljeni vertikalno jedan iznad drugog, čime je postignuto teoretsko pojačanje od 3 dB u odnosu na pojedinačni sistem. Pri tom je horizontalni ugao zračenja ostao 67°, a vertikalni ugao zračenja je sužen na oko 30°. Isto dodatno pojačanje postiže se i grupom od dva sistema postavljena u horizontalni niz prema sl. 27.13b. Kod ove gurpe smanjuje se horizontalni ugao zračenja na 40°, a vertikalni ugao zračenja ostaje 54°. Najpovoljnija mogućnost napajanja ovakvih grupa od dva sistema prikazana je na sl. 27.13c. Od sistema A i B vode koaksijalni kablovi od 60 Ω proizvoljne dužine l_1 i l_2 do centralne tačke spajanja Z. Pri tom treba voditi računa da l_1 i l_2 moraju biti potpuno iste dužine i da se unutrašnji provodnici kabla spajaju sa tačkom X_1, a spoljašnji provodnici kabla sa X_2. U tačku Z dovodi se i stvarni napojni kabl od 60 Ω, pa se u njoj međusobno spajaju tri unutrašnja i tri spoljašnja provodnika kabla. Sistemi A i B spojeni su međusobno paralelno u tački Z, pa se javlja impedanca od 30 Ω. Ona se pomoću ogranka voda prema odeljku 6.6, transformiše na karakterističnu impedancu napojnog kabla od 60 Ω (sl. 27.13c). Prema dijagramu na sl. 6.13, otvoreni ogranak voda mora biti udaljen od tačke Z za 0,095 λ, a njegova dužina treba da iznosi takođe 0,095 λ. Pošto je kod opisanog rešenja i za napajanje i za prilagođenje korišćen koaksijalni kabl sa punom izolacijom, morao se uzeti u obzir faktor skraćenja kabla *V* od 0,66. Dužina i razmak ogranka otvorenog voda izračunavaju se kao 0,095 λ · 0,66 = 130 mm. *DL7KM* je odstupio od ovih vrednosti prilagođenja priključivanjem ogranka otvorenog voda dužine 133 mm na udaljenosti od 108 mm od tačke Z. U tački priključenja ogranka otvorenog voda ostvareno je povezivanje unutrašnjih provodnika kabla i ogranka, kao i spoljašnjih provodnika napojnog kabla i ogranka. Sve spojne tačke i otvoreni kraj ogranka voda treba zaliti i zaštititi od atmosferilija.

Jasno je da se umesto kabla od 60 Ω, koji više ne odgovara standardu, može upotrebiti i koaksijalni kabl karakteristične impedance od 50 Ω ili od 75 Ω. Pri tom se na oba pobudna voda javlja zanemarljivo malo neprilagođenje, a stvarni napojni kabl može se potpuno prilagoditi odgovarajućim dimenzionisanjem prilagodnog ogranka.

Veoma jednostavno može se napajati i grupa od četiri sistema, sastavljena od dve grupe od po dva sistema (sl. 27.13d). I ovde se upotrebljava isključivo koaksijalni kabl od 60 Ω koji se priključuje kao na sl. 23.16b ili 23.16c. Koristi se isti sistem napajanja koji je opisan u tački 23.4.3 za grupu *HB9CV*. Može se računati sa pojačanjem od 14 dB, pri čemu horizontalni ugao zračenja iznosi oko 40°, a vertikalni ugao zračenja 30°.

27.3.5. **Niz od četiri** *kvada*

Amater *DL6DW* razvio je i opisao još jednu varijantu *kvad*–antene [1]. Kao što je prikazano na sl. 27.14, to je novi način direktnog spajanja četiri sistema *kjubikal–kvad* sa horizontalnom polarizacijom koja su postavljena u vertikalni niz. Kod ove antene odustalo se od optimalnih razmaka između etaža, pa je *kvad*–grupa



Sl. 27.14. Niz od četiri kvada po amateru DL6DW

zamišljena kao naročito lagana i efikasna antena, koja se može rastaviti i koja je naročito pogodna za prenosne uređaje.

Kod originalnog rešenja amatera *DL6DW*, svi vertikalni delovi antene izrađeni su od bakarne pletenice, a svi horizontalni delovi od tanke cevi od mesinga ili bakra (npr., prečnik 3,5 mm, debljina zida od 0,5 mm). Kada se izvade tri poprečna držača razmaka A, B i C čije su dužine po 520 mm, aktivne sekcije i reflektori mogu se lako smotati u male rolne pogodne za transport.

Pokazalo se da se kod ove varijante ne mogu koristiti uobičajene dimenzije *kvada*, već se obimi napajanih elemenata od 1 λ i reflektorskih četverougaonika moraju malo smanjiti. Rezonanca se dobije kada obim aktivnih *kvad*–elemenata iznosi 0,99 λ i kada obim reflektora iznosi 1,025 λ, a razmak λ/4. Sa dimenzijama koje su date na sl. 27.14, na srednjoj frekvenciji postiže se rezonanca opsega od 145 MHz.

Otpornost u tački napajanja X–X niza od četiri *kvada* iznosi 200 do 250 Ω. To znači da se antena u centralnoj tački napajanja može direktno napajati trakastim vodom od 240 Ω proizvoljne dužine, pri čemu je ostvareno prilagođenje i izvršeno simetriranje. I koaksijalni kabl se može priključiti bez problema, ako se polutalasna petlja ubaci prema odeljku 7.5. Merni rezultati su objavljeni u literaturi pod [2], a izmereni su na nizu od četiri *kvada* prema sl. 27.14. Pojačanje u odnosu na rezonantni polutalasni dipol iznosi 8 dB. Povratno slabljenje je veliko i iznosi 24 dB, a oba bočna minimuma na dijagramu zračenja imaju slabljenje od skoro 30 dB. Horizontalni ugao zračenja je oko 75° i odgovara uglu pojedinačnog *kvad* sistema. Prema sl. 3.19 može se zaključiti da vertikalni ugao zračenja iznosi oko 50°.

27.4. *Ringbim* za UKT područje

Direktan potomak *Kjubikal–kvada* je *ringbim*–antena, koja je u tački 15.4.2 opisana kao usmerena kratkotalasna antena. *Ringbim* se može uspešno koristiti u UKT području, tim pre što se sa smanjenjem prečnika smanjuju mehaničke poteškoće pri izradi prstenastih elemenata. *Ringbim* za UKT područje odgovara po vrednostima karakteristike zračenja, pojačanja i otpornosti priključne tačke anteni *kjubikal–kvad* koja se smatra vodećom. Prema tome, podaci navedeni u tačkama 15.4.1 i 15.2 važe i za *ringbim* u UKT području.

Za izgradnju UKT *ringbim*–antene, po mogućnosti, upotrebljava se žica od aluminijumske legure prečnika 8 do 12 mm, jer je taj materijal tako stabilan da ga oluje i inje ne mogu deformisati. Naročito je dobro rešenje da se bakarna žica uvuče u cev od termoplastičnog materijala (npr., vinidur) odgovarajuće dužine, pa da se ona u zagrejanom stanju savije u odgovarajući prstenasti oblik. Krajevi termoplastične cevi se zavare ili se zalepe jedan za drugi tako da čine potpuno hermetizovan obruč. Međutim, pre toga se iz ovih krajeva moraju izvući krajevi bakarne žice ili kroz odgovarajuće kratke proreze ili rupe u plastičnoj cevi. Na ovaj način dobijaju se veoma lagani, i na atmosferilije otporni prstenasti elementi. Već sa jednim jednostavnim prstenom postiže se pojačanje od dobrih 1 dB – u odnosu na polutalasni dipol. Otpornost priključne tačke iznosi 110 Ω. Dužina napajanog elementa je 1,03 λ.

Ako se na razmaku od 0,2 λ postavi reflektor, pojačanje antene raste na 5 dB, a otpornost tačke napajanja postaje reda 60 Ω. Ponekad se aktivni element izvede i kao dvostruki zavojak. U tom slučaju potreban je provodnik dužine od 2,02 λ; od njega se formira neprekinuta zavojnica od 2 zavojka. Ako je razmak reflektora 0,18 λ, postiže se dobro prilagođenje za napojne vodove karakteristične impedance od 240 do 300 Ω.

Prsten reflektora koji se u svakom slučaju sastoji samo od jednog zavojka, napravljen je od provodnika dužine 1,08 λ. Njegovo podešavanje je kritično i odlučujuće za snagu antene.

Za *ringbim* od tri elementa u UKT području preporučuje se da razmak reflektora bude od 0,17 do 0,22 λ, a razmak direktora između 0,12 i 0,15 λ. Otpornost priključne tačke ovakvog sistema sa jednostrukim napajanim prstenom je oko 30 Ω. U ovom slučaju *pogodno* je da se koak-

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

sijalni napojni kabl prilagodi pomoću omega–člana, prema odeljku 6.4. Obim prstena direktora iznosi 0,95 λ (skice i predlozi za izgradnju *ringbim* antene dati su na sl. 15.11 i 15.12).

Sledeći obrasci za proračun odnose se na frekvenciju i važe za prstenaste elemente u UKT području:

Pružena dužina S aktivnog elementa:

$$S\,(\text{cm}) = \frac{31000}{f\,(\text{MHz})} \qquad (27.8)$$

pružena dužina R aktivnog elementa:

$$R\,(\text{cm}) = \frac{32800}{f\,(\text{MHz})} \qquad (27.9)$$

pružena dužina D direktora

$$D\,(\text{cm}) = \frac{28500}{f\,(\text{MHz})} \qquad (27.10)$$

Iz toga se dobiju sledeće dužine za *ringbim* u opsegu od 2 m (rezonantna frekvencija 145 MHz):

$S = 214$ cm; $R = 226$ cm; $D = 196$ cm.

Za orijentacione eksperimente sa UKT *ringbimom* preporučuje se da se kao nosači provodnika koriste prstenovi isečeni od šperploče. Kao termoplastična cev za postavljanje i učvršćenje prstenastog žičanog provodnika, amateri mogu dobro poslužiti i hulahop–obruči.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 27

[1] *Ragaller, M.:* Die 4–Quad Serie, eine leistungsfaehige tragbare Antenne für das 2-m Band, »UKW–Berichte«, Erlangen 10 (1970), sveska 4, str. 200 do 202, Verlag Hans J. Dohlus, Erlangen

[2] *Schwarzbeck, G.:* Messungen an einer 4–Quad Serie für das 2-m Band, »UKW–Berichte«, Rathsberg 14 (1974), sveska 4, str. 203 do 208, Verlag Hans J. Dohlus, Rathsberg

Roggensack, D.: Hybrid Doppel–Quad Antenne fuer VHF/UHF, Funk–Technik, 29 (1974), sveska 9, str. 326 do 328

28. Amaterske antene za korišćenje u pokretu

Povremeno se amaterski radio-uređaj kratkotrajno koristi na raznim proizvoljnim lokacijama. Na izletima i uopšte u prirodi često se radi u pokretu. Takav nestacionaran rad se naziva *prenosni rad.*

Sa porastom motorizacije povećava se i broj radio-amatera koji u toku vožnje automobilom koriste prenosni rad; tada se govori o *prevoznom radu.* Sa razvojem poluprovodničke tehnike naročito se proširio prevozni rad. U Evropi se kod rada u pokretu daje prednost opsegu od 2 m, i to kako zbog prostiranja, tako i zbog mogućnosti izgradnje efikasnih prevoznih antena. U vezi sa tim treba još pomenuti »lov na lisicu«, koji se od igre razvio u veoma omiljenu vrstu sporta koji u istoj meri zahteva i tehničko i fizičko zalaganje. Za ovaj specijalni pravac radioamaterstva potrebne su antene koje po svojim tehničkim i mehaničkim karakteristikama dobro odgovaraju svim specijalnih zahtevima.

28.1 Prenosne antene

Kod »normalnog« prenosnog rada pronađe se lokacija na kojoj se očekuju povoljni uslovi prostiranja. Lokacija za kratke talase mora se birati sa drugog stanovišta nego za UKT.

Naročito povoljne lokacije za kratke talase su one na kojima je dobra provodljivost tla i gde je bliža okolina slobodna. Lokacije na bregovima nisu pogodne za jonosfersko prostiranje u KT području.

Za upotrebljivost lokacije odlučujuća je, pre svega, provodljivost tla, naročito onda, kada se upotrebljavaju vertikalne antene. Na primer, u neposrednoj blizini reka i jezera mogu se očekivati dobri uslovi prostiranja. Pojedinačno drveće ili šume ne smetaju prostiranju kratkih talasa, ali zato treba izbegavati približavanje vazdušnim vodovima ili većim metalnim konstrukcijama.

U UKT području u kome, praktično, nema refleksije od jonosfere, povoljne uslove pruža što je moguće viša lokacija. U ovom slučaju izbor lokacije je najznačajniji, a istovremeno i najjednostavniji, jer se ne moraju uzimati u obzir uslovi zemljišta.

Za prenosni rad pogodni su svi uobičajeni oblici KT i UKT antena, ukoliko postoje odgovarajuće potporne tačke ili ako se one mogu napraviti, kao i ako transport sastavnih delova antene nije nepremostiva teškoća. Budući da izgradnja komplikovanih antenskih sistema za uglavnom kratkotrajan prenosni rad nije ekonomična, u kratkotalasnom području daje se prednost najjednostavnijim žičanim antenama, čiju geometrijsku dužinu unapred određuje razmak postojećih tačaka na koje se učvršćuje antena (drveće itd.). Kod takvih L ili T-antena rezonanca se može postići pomoću nesimetričnog *Kolinsovog* filtra. Za napajanje nije potreban poseban vod, jer se predajnik uvek može postaviti neposredno uz priključnu tačku antene i jer se u slobodnom prostoru ne javljaju TV i radio-smetnje. Najefikasnije su vertikalne antene na lokacijama sa dobrom provodljivošću zemljišta (npr., na obali jezera ili na močvarnom tlu, vidi i odeljak 19.1). Drvo često predstavlja pogodan oslonac za vertikalnu ili kosu četvrttalasnu žičanu antenu, čiji se kraj na zemlji, takođe, priključi preko *Kolinsovog* filtra direktno na izlazni stepen predajnika. Samo sasvim mali broj radioamaterskih stanica ima rasklopivi ili teleskopski stub dovoljne dužine za kratke talase, pa su one nezavisne od prirodnih

oslonaca. Budući da uspeh prenosnog rada zavisi prvenstveno od izbora lokacije, treba poneti dovoljnu količinu antenske žice i odgovarajući *Kolinsov* filtar. Antena se tada postavlja u skladu sa lokalnim uslovima.

Kod prenosnog rada u opsegu od 2 m i u opsegu od 70 cm nema nikakvih problema sa antenama. Veoma uspešno se mogu koristiti *jagi*-antene svih veličina, lake konstrukcije i sa mogućnošću rastavljanja. U većini slučajeva, kao antenski jarbol može poslužiti jednostavan stub od cevi koje se utiču jedna u drugu, dužine od oko 3 m; nosač se može lako napraviti od pojedinačnih sekcija cevi.

Ručni radio-telefoni male snage za bliske veze koriste četvrttalasni štap, koji se postavi direktno na uređaj. Veći dometi postižu se *jagi*-antenama lake konstrukcije (vidi odeljak 22.2) ili antenom amatera *HB9CV* (vidi tačku 22.1.2).

28.2. Prevozne KT antene

Kod rada iz vozila na kratkim talasima veoma je ograničen izbor antena. Može se koristiti, pre svega, mehanički skraćena četvrttalasna antena u vidu vertikalnog štapa. Takve vertikalne antene mogu se dimenzionisati na punu mehaničku četvrttalasnu dužinu (oko 2,50 m) samo za rad u opsegu od 10 m. Saobraćajni propisi, a i sam zdrav razum sprečavaju da se pri radu na većim talasnim dužinama koriste prirodne rezonantne dužine antena. U tom slučaju može se raditi jedino sa uključenim produžnim zavojnicama, pri čemu se javljaju već poznate mane: loš koeficijent korisnog dejstva, mala širina opsega i otežano napajanje.

28.2.1. Mehaničko rešenje skraćenih vertikalnih antena

Stabilnost antenskog štapa je mehanički problem. Štap treba da bude elastičan, ali ne sme da osciluje u toku vožnje. Budući da se antenski štap u većini slučajeva može pričvrstiti samo u njegovom podnožju, njegovo suprotstavljanje vetru na njega deluje kao sila poluge koja raste sa povećanjem brzine. Zbog toga antenska cev treba da bude tanka, da pruža mali otpor vetru i da se prečnik prema vrhu, po mogućnosti, konično smanjuje, jer je delovanje vetra najjače na delu poluge koji je najviše udaljen od tačke učvršćenja.

Radi čvrstoće štap-antena treba da bude iz jednog komada; sa druge strane, poželjno je da se može rastavljati, kako bi se u datom slučaju mogla smestiti i u unutrašnjost vozila. Na kraju, antena se mora lako skidati sa podnožja, jer je to neophodno prilikom ulaska u garažu.

Za talasne dužine veće od 10 m potrebna je produžna zavojnica. Radi stabilnosti za nju je najpovoljnije mesto u podnožju štapa. Međutim, tu se nalazi maksimum struje, pa su gubici u zavojnici najveći. Ako se produžna zavojnica postavi bliže vrhu antene, povećava se otpornost zračenja, a time i stepen korisnog dejstva. Kao kompromisno rešenje predlaže se da se produžna zavojnica ubaci na mesto koje je za oko 1/3 do $\frac{1}{2}$ dužine štapa udaljeno od priključne tačke.

Smatra se da je najpovoljnija tačka za pričvršćenje KT prevozne antene stražnji branik kola, odnosno njegovi nosači. Tu postoji dovoljna čvrstoća, a može se izvesti i dobar galvanski spoj sa ostalim metalnim delovima vozila. Međutim, u većini slučajeva najznačajnije je da se prilikom pričvršćavanja antene ne ošteti karoserija.

Preporučuje se da se između antenskog štapa i tačke pričvršćenja postavi elastično podnožje antene. Pogodne su spiralne opruge iz elastičnih sedišta motocikla (prečnik opruge oko 30 mm, prečnik žice opruge oko 2 mm). Uz malo mehaničarske veštine od toga se dâ napraviti upotrebljivo podnožje. Elastičan spoj pomoću opruge amortizuje potrese izazvane neravninama puta, tako da se oni slabije prenose na antenu nego kada je veza kruta. Kada je postavljen na opругu štap prilikom dodira sa preprekama popusti, pa se ne lomi lako. Optimalni uslovi za rad u pokretu postižu se ako je mehanička frekvencija oscilovanja kompletne antene, montirana na opsegu, oko 1 Hz. Tada pretežno kratki i česti udarci na putu ne mogu pobuditi antenu na mehaničko oscilovanje, pa štap-antena miruje i pri lošim uslovima na putu.

Mehanička dužina vertikalnih prevoznih KT antena je između 2,40 i 3 m. Tradicionalni materijal antenskog štapa je metalna cev, a naročito su pogodne cevi koje se koriste za izradu industrijskih auto-antena. Dobro i jeftino rešenje je upotreba tankih bambusovih štapova koji se mogu sastavljati i koji se mogu naći u trgovinama sa ribolovačkom opremom. Oni služe kao nosači antenskog provodnika koji se na bambusov štap najjednostavnije može učvrstiti pomoću lepljive trake. Naročito su pogodni ribolovački štapovi od poliester smole ojačane staklenim vlaknima (fiberglas). U tom slučaju antenski provodnik postavlja se u unutrašnjost cevi. Budući da je ovaj materijal istovremeno i dobar izolator, produžna zavojnica sa svojim nosačem može se navući direktno na antenski štap.

Postoji čitav niz manje ili više upotrebljivih rešenja za mehaničku izradu antene od kojih su samo neka delimično opisana. Jedna mehanički besprekorna i na prvi pogled dobro ostvarena prevozna antena će ipak promašiti svrhu ukoliko je lošim električnim rešenjem još više umanjen njen i onako loš koeficijent korisnog dejstva.

28.2.2. Električne karakteristike skraćenih vertikalnih antena

Najpovoljniji stepen korisnog dejstva antene postiže se kada se sa četvrttalasnom prevoznom antenom radi u amaterskom opsegu od 10 m; ona može da radi sa mehaničkom dužinom od oko 2,40 m kao *Markonijeva* antena bez produžnih zavojnica. Potrebni protivteg, odnosno »zemlju« predstavljaju metalni delovi vozila i njihova kapacitivnost prema tlu.

Na sl. 19.2 date su električne karakteristike takve četvrttalasne antene. Prema *Ridenbergovom* odnosu, jednačina 19.5, njena otpornost zračenja R_z je oko 40 Ω. Prema jednačini, 19.6 otpornost u priključnoj tački R_u jednaka je zbiru otpornosti zračenja R_z i ukupne otpornosti gubitaka R_g. Budući da otpornosti gubitaka ne doprinose zračenju, nego deo energije koja otpada na njih pretvaraju u toplotne gubitke, stepen korisnog dejstva η postaje utoliko manji, što su otpornosti gubitaka R_g veće u odnosu na otpornost zračenja R_z:

$$\eta = \frac{R_z}{R_z + R_g} \qquad (28.1)$$

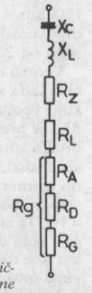
Ako se pretpostavi da otpornost zračenja R_z iznosi 36 Ω i da zbir otpornosti gubitaka R_g iznosi 12 Ω, onda ulazna otpornost R_u iznosi oko 48 Ω · ($R_u = R_z + R_g$). Stepen korisnog dejstva prema jednačini (28.1) iznosi:

$$\eta = \frac{36}{(36 + 12)} = 0{,}75$$

što odgovara 75%.

Najveću komponentu otpornosti gubitaka R_g prevoznih antena predstavljaju gubici usled uzemljenja R_G. Osim toga, kod skraćenih vertikalnih antena na ukupne gubitke mogu znatno uticati i gubici R_L u produžnoj zavojnici. Ostale komponente R_g su gubici u izolaciji, koji se javljaju kao dielektrični gubici R_D (pre svega u izolatoru podnožja antene) i gubici u provodnicima R_A koje, sačinjavaju gubici zbog omske otpornosti antenskog provodnika prema jednačini 5.13, uzimajući u obzir skin-efekt koji zavisi od frekvencije. R_A i R_D su obično znatno manji od R_G i R_L, pa se zbog toga često ne uzimaju u obzir.

Na sl. 28.1 prikazana je ekvivalentna šema skraćene četvrttalasne antene. Skraćenje antene u odnosu na četvrttalasnu rezonancu prouzrokuje kapacitivnu reaktancu X_C. Ona se kompenzuje ekvivalentnom induktivnom reaktancom X_L koju predstavlja produžna zavojnica ($X_L = X_C$). Zbog toga se javlja rezonanca uprkos skraćenju antene. Sa X_C i X_L je serijski vezana otpornost zračenja R_z i otpornost gubitaka R_g koja se sastoji



Sl. 28.1. Ekvivalentna šema mehanički skraćene četvrttalasne antene

od otpornosti gubitaka usled uzemljenja R_G, gubitaka u zavojnici R_L, dielektričnih gubitaka R_D i gubitaka u provodnicima R_A.

Prvo treba utvrditi kako na otpornost zračenja R_z utiče skraćenje antene. Poznato je da je R_z utoliko manje ukoliko je antena više skraćena. Ova zavisnost se vidi i iz *Ridenbergovog* odnosa, jednačina (19.5); mehaničko skraćenje antene istovremeno znači skraćenje efektivne visine antene H_{eff}. Praktičan obrazac za proračun otpornosti zračenja R_z (u omima) glasi:

$$R_z(\Omega) = \frac{H^2}{312} \qquad (28.2)$$

gde je: H = dužina antene izražena u ugaonim stepenima.

Primer 1

Prevozna antena dužine 3 m treba da radi u opsegu od 80 m. Kolika je otpornost zračenja R_z?

Srednja talasna dužina opsega od 80 m iznosi oko 82 m = 360°. Iz toga se može izračunati ugaoni ekvivalent za mehaničku dužinu antene od 3 m:

$$\frac{3\text{ m} \cdot 360^\circ}{82\text{ m}} \approx 13^\circ$$

$H = 13°$, $H^2 = 169$;

$$R_z = \frac{169}{312}\Omega \approx 0{,}54\ \Omega.$$

Ako bi ista antena radila u opsegu od 40 m (λ = 42,5 m), ugaona električna dužina antene bila bi oko 25°, što odgovara otpornosti zračenja od 2 Ω. Za rad u opsegu od 20 m, R_z bi iznosio oko 9 Ω.

Veoma male otpornosti zračenja, naročito kada se radi u opsegu od 80 m, uzrokuju veoma loš stepen korisnog dejstva. Ako se pretpostavi da zbir otpornosti gubitaka iznosi 12 Ω (što je sasvim realna vrednost), prema jednačini (28.1) za gornji primer i za opseg od 80 m dobije se stepen korisnog dejstva η od 0,043 = 4,3%. To znači da se više od 95% VF energije koju daje predajnik pretvara u beskorisne toplotne gubitke. Pod istim uslovima može se izračunati stepen korisnog dejstva od 14,3%, pri radu u opsegu od 40 m i stepen korisnog dejstva od 43%, pri radu u opsegu od 20 m. Iz toga se može zaključiti koliko je važno da otpornosti gubitaka budu što manje i da čak na izgled i najmanja greška (npr., loš kontakt) može imati katastrofalne posledice za stepen korisnog dejstva.

Na žalost, nema praktičnih mogućnosti da se efikasno smanje gubici usled uzemljenja R_G. Kao što je šematski prikazano na sl. 28.2, struje pomaka I_V teku iz spoljašnjeg prostora u zemlju kao konvekcione struje I_K i kreću se prema priključnoj tački antene (vidi sl. 19.4). Prilikom prevoznog rada struje se delimično sabiraju u metalnom telu vozila. Budući da je površina vozila uvek mnogo manja od $\lambda/4$ – bar u niskofrekventnim amaterskim opsezima – ona ne može da posluži kao dovoljan protivteg, pa deluje kao kapacitivnost prema zemlji. Merenja na prevoznoj anteni dugačkoj 3 m u opsegu od 80 m dala su prosečne vrednosti za R_G od oko 10 Ω.

28.2.2.1. *Produžne zavojnice za skraćene četvrttalasne antene*

Antena koja je mehanički skraćena u odnosu na četvrttalasnu rezonancu ima kapacitivnu reaktivnu komponentu X_C. Njena vrednost dobije se iz odnosa:

$$X_C = \frac{Z_A}{\operatorname{tg} H} \qquad (28.3)$$

gde je: Z_A – karakteristična impedanca antenskog štapa izračunata iz jednačine (19.7),
H – dužina štapa u ugaonim stepenima, čije je izračunavanje objašnjeno u primeru 1.

Primer2

Kao primer ponovo uzimamo prevoznu antenu dužine 3 m za opseg od 80 m, čija je ugaona dužina H već određena sa 13°. Iz trigonometrijskih tablica očitava se da tangens od 13° iznosi 0,23087. Prečnik antenskog štapa d treba da bude 10 mm, pa se za dužinu antene L od 3 m = 3000 mm dobije stepen vitkosti $S = L/d$ = 300. Tada je prema jednačini (19.7) karakteristična impedanca Z_A = 361 Ω. Kapacitivna reaktanca X_C izračunava se prema jednačini (28.3):

$$\frac{361\ \Omega}{0{,}23087} = 1570\ \Omega \qquad (28.3)$$

Da bi se kompenzovala kapacitivna reaktanca X_C od 1570 Ω, induktivna reaktivna reaktanca X_L produžne zavojnice mora iznositi, takođe, 1570 Ω. pri tom se produžna zavojnica nalazi u trbuhu struje, dakle u priključnoj tački antene.

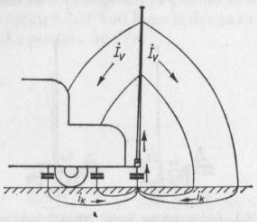
Iz X_L određuje se induktivnost produžne zavojnice L u zavisnosti od frekvencije prema jednačini:

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \qquad (28.4)$$

Ako je frekvencija f uvrštena u MHz, L je u μH. Na sl. 6.19, može se bez proračuna očitati L u zavisnosti od X_L za datu frekvenciju f.

Induktivna otpornost X_L od 1570 Ω, koja je izračunata za primer 2, na frekvenciji f = 3,7 MHz odgovara induktivnosti L od oko 68 μH.

Da bi otpornost gubitaka R_L ostala u određenim granicama, dobrota Q zavojnice mora biti što veća. Dobre amaterski izrađene zavojnice sa malim gubicima, retko dostignu veću dobrotu od Q = 300. Za veliku dobrotu Q potrebna je, između ostalog, što deblja žica velike površinske provodljivosti i povoljan faktor oblika. Za njega važi praktično pravilo da se dužina zavojnice prema prečniku zavojnice mora odnositi kao 2 : 1. Otpornost gubitaka zavojnice R_L izračunava se iz jednačine:



Sl. 28.2. Šematski prikaz prostiranja struje kod vertikalne antene na vozilu

$$R_L = \frac{X_L}{Q} \qquad (28.5)$$

Ako se pretpostavi da je faktor dobrote Q = 300, onda R_L produžne zavojnice, za koju je u primeru 2 izračunato X_L = 1570 Ω, iznosi već više od 5 Ω i time znatno smanjuje stepen korisnog dejstva. Već je napomenuto da se stepen korisnog dejstva mehanički skraćene četvrttalasne antene može poboljšati ako se potrebna produžna zavojnica ne postavi u podnožje antene, već približno u njenu sredinu. Pogodnije je da zavojnica bude u sredini antene, jer se tada otpornost zračenja R_z skoro udvostruči, što je adekvatno poboljšanje stepena korisnog dejstva. Na zavojnicu uzdignutu iznad podnožja antene manje deluju prigušujući uticaji okoline koji se zbog približavanja delovima karoserije ne mogu izbeći kod zavojnice u podnožju antene. Ako je razmak zavojnice od svih metalnih delova jednak najmanje dvostrukom prečniku zavojnice, dobrota zavojnice se neće smanjiti. Postavljanje zavojnice u centar antene nije pogodno, pre svega, iz statičkih i mehaničkih razloga. Ne mogu se napraviti minijaturne kvalitetne zavojnice kroz koje protiču relativno velike struje. Relativno velike i teške zavojnice ugrađene na sredini kraka poluge stvaraju znatno statičko opterećenje. Budući da zavojnica nimalo ne doprinosi zračenju, izgleda da je povoljnije da se ona postavi u podnožje antene; ona tada podiže deo antene koji zrači za svoju dužinu iznad područja prigušnog delovanja karoserijskih delova. Otpornost u priključnoj tački skraćene četvrttalasne antene je veoma mala, pa se uvek mora predvideti sklop za prilagođenje napajanja, koji se sa produžnom zavojnicom u podnožju antene može kombinovati u jednu celinu. O tome da li će se produžna zavojnica postaviti u podnožju ili u sredini antene, odlučuje se od slučaja do slučaja, procenjujući očekivane prednosti i mane.

Ako se produžna zavojnica postavi u sredinu antene, treba uzeti u obzir da se ona tada više ne nalazi u maksimumu struje. Zbog toga, za kompenzaciju kapacitivne reaktivne otpornosti X_C više nije dovoljna induktivnost izračunata za za-

vojnicu u podnožju antene. Uopšte, u literaturi pod [2], [3] navodi se da je induktivnost produžne zavojnice u geometrijskoj sredini skraćenog antenskog provodnika približno dva puta veća od induktivnosti zavojnice koja je proračunata za podnožje iste antene. Tačne vrednosti za induktivnost zavojnice u sredini antene dobiju se kada se induktivnost L, koja je izračunata za zavojnicu u podnožju antene, pomnoži sa faktorom 1,43. Za produžnu zavojnicu koja je od podnožja udaljena za 1/3 dužine antene, ovaj faktor iznosi oko 1,16. Tačni i detaljni podaci o proračunu navedeni su u literaturi pod [1].

Kod veoma skraćenih četvrttalasnih antena širina opsega je veoma mala. Kao orijentaciona vrednost za štap-antenu od 3 m, sa zavojnicom u podnožju može se pretpostaviti širina opsega od 35 kHz, pri radu na opsegu od 80 m; ako se upotrebi zavojnica u sredini antene, širina opsega se smanjuje na oko 25 kHz. Da bi se rezonanca antene mogla uvek naknadno podešavati, upotrebljavaju se zavojnice kod kojih se pomoću klizača menja induktivnost a reče variometri. Ponekad se za promenu induktivnosti koriste i jezgra od mesinga, koja se delimično mogu daljinski upravljati potezanjem užetom. Međutim, ove mere su problematične, jer obično pogoršavaju dobrotu zavojnice.

Prema jednačini (19.9) širina opsega je $O = f_{rez}/Q$. Q predstavlja dobrotu antene koja se izračunava prema jednačini 19.8 ($Q = Z_A/R_u$). Z_A je karakteristična impedanca antenskog štapa koja se dobije iz jednačine 19.7. R_u predstavlja otpornost priključne tačke antene koja je zbir otpornosti zračenja R_z i otpornosti gubitaka R_g ($R_u = R_z + R_g$).

Iz toga sledi:

$$O = f_{rez} \cdot \frac{R_u}{Z_A} \qquad (28.6)$$

Opširni primeri proračuna nalaze se u literaturi pod [1].

28.2.2.2. *Prilagođenje skraćenih vertikalnih antena na napojni vod*

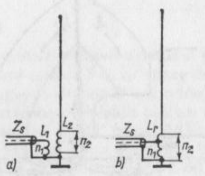
Po pravilu, otpornost priključne tačke veoma skraćenih prevoznih antena R_u je između 10 i 20 Ω, pri čemu su otpornosti gubitaka često pretežan deo ulazne otpornosti. Čak se i kod neskraćenih četvrttalasnih antena, npr., za prevozni rad u opsegu od 10 m, može računati da otpornost priključne tačke ne prelazi vrednost od 40 Ω, jer ne postoje protivtegovi. Ako se na takvoj anteni izmeri veća otpornost priključne tačke, onda to samo pokazuje da se javljaju natprosečno velike otpornosti gubitaka.

Pokretne antene se uvek napajaju kratkim komadom koaksijalnog kabla, koji se u svakom slučaju mora prilagoditi impedanci priključne tačke vertikalne antene. Za to su pogodna, pre svega, prilagođenja opisana u tački 19.4.1 i koja se, uopšte, primenjuju kod četvrttalasnih antena. Međutim, ako se u priključnoj tački skraćenog vertikalnog štapa nalazi produžna zavojnica, onda se ona može istovremeno koristiti i kao induktivnost za spregu. Na sl. 28.3 prikazani su primeri ovakve primene, gde su obe šeme identične po načinu delovanja. Na sl. 28.3a prikazan je VF transformator čiji je sekundarni namotaj L_2 sa brojem zavojaka n_2 unapred određen, jer je to produžna zavojnica antene. Broj zavojaka n_1 zavojnice za spregu dobije se iz odnosa:

$$n_1 = n_2 \sqrt{\frac{Z_S}{\omega L_2}} \qquad (28.7)$$

gde je: Z_S – karakteristična impedanca upotrebljenog koaksijalnog kabla
ωL_2 – induktivna reaktanca zavojnice L_2.

Na sl. 28.3b data je ista šema samo je VF transformator izveden kao tzv. autotransformator. Kod ovog jednostavnog rešenja mogu se javiti poteškoće u pogledu



Sl. 28.3. Jednostavna šema transformatora za prilagođenje štap-antene sa zavojnicom u podnožju

stepena sprege, slabljenje viših harmonika je malo, a rasipne induktivnosti se ne mogu izbeći. Pouzdanija je šema na sl. 28.4, čija kombinacija L_S/C_S predstavlja rezonantno kolo male dobrote za predajnu frekvenciju i gde C_S deluje kao paralelan spoj za više harmonike. Ovim rešenjem se istovremeno vrši i prilagođenje, jer se karakteristična impedanca kabla Z_S transformiše na ulaznu otpornost R_u antene. Potrebna kapacitivnost C_S izračunava se iz odnosa:

$$C_S\,(\text{pF}) = \frac{10^9}{2\pi f\,(\text{kHz}) \sqrt{R_u\,(\Omega) \cdot Z_S\,(\Omega)}} \qquad (28.8)$$

gde je: f – frekvencija, R_u – otpornost u priključne tačke antene, Z_S – karakteristična impedanca napojnog kabla.

Induktivnost L_S dobije se iz jednačine:

$$L_S\,(\mu\text{H}) = \frac{\sqrt{R_u\,(\Omega) \cdot Z_S\,(\Omega)} \cdot 10^3}{2\pi f\,(\text{kHz})} \qquad (28.9)$$

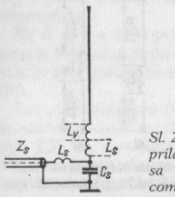
Primer

Skraćenu prevoznu antenu sa rezonantnom frekvencijom od 3700 kHz i sa otpornošću priključne tačke R_u od 20 Ω, treba prilagoditi na koaksijalni kabl od 60 Ω. Za šemu prema sl. 28.4 treba izračunati vrednosti C_S i L_S.

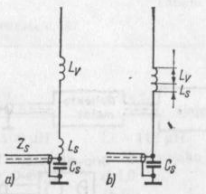
C_S = 1240 pF,

L_S = 1,49 μH.

Pogodno je da se kapacitivnost C_S sastoji od nepromenljivog kondenzatora i paralelno spojenog trimera, jer se tada može lako vršiti korekcija. U ovom slučaju radi se o prilagođenju prema *Zefridu* (vidi tačku 6.7.2), kod koga je druga zavojnica L_S postala deo L_V.



Sl. 28.4. Poboljšana šema prilagođenja štap-antene sa produžnom zavojnicom



Sl. 28.5. Prilagođenje koaksijalnog kabla na otpornost priključne tačke skraćene vertikalne antene; a – zavojnica L_S u priključnoj tački antene, b – zavojnica L_S je izvedena kao sastavni deo produžne zavojnice L_V u sredini antene

Na sl. 28.5a prikazana je druga šema prilagođenja sa *L*-članom. U ovom slučaju se zavojnica L_S nalazi u podnožju antene vezana sa antenskim provodnikom. Ona se bez ikakvih posledica, može priključiti na produžnu zavojnicu L_V u sredini antene, pa je tada potrebna samo jedna zajednička zavojnica $L_V + L_S$ (sl. 28.5b). Ako se produžna zavojnica L_V nalazi u podnožju antene, ona se opet može kombinovati sa L_S. Potrebna induktivnost L_S izračuna se iz jednačine

$$L_S\,(\mu\text{H}) = \frac{\sqrt{R_u\,(\Omega) \cdot (Z_S\,(\Omega) - R_u\,(\Omega)} \cdot 10^3)}{2\pi f\,(\text{kHz})} \qquad (28.10)$$

gde je: R_u – impedanca u priključnoj tački antene
Z_S – karakteristična impedanca koaksijalnog kabla
f – frekvencija

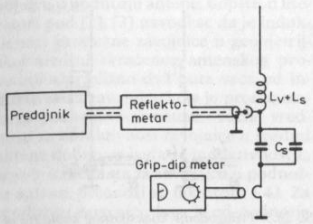
Za određivanje kapacitivnosti C_S služi odnos:

$$C_S\,(\text{pF}) = \frac{2\pi f\,(\text{kHz}) \cdot Z_S\,(\Omega) \sqrt{\dfrac{R_u\ \ (\Omega)}{Z_S\,(\Omega) - R_u\,(\Omega)}}}{10^3} \qquad (28.11)$$

Primer

Prevozna antena sa rezonantnom frekvencijom od 3700 kHz i sa otpornošću priključne tačke R_u od 16 Ω treba da se prilagodi na koaksijalni kabl od 60 Ω po-

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 28.6. Raspored mernih instrumenata za podešavanje prevozne antene prema sl. 28.5

moću šeme na sl. 28.5. L_S i C_S se izračunaju:

$L_S = 1{,}14\ \mu H, \quad C_S = 836\ pF.$

I kod ove šeme kapacitivnost C_S treba da se sastoji od nepromenljivog kondenzatora, sa kojim je paralelno vezan trimer.

Za tačno podešavanje i prilagođenje skraćene prevozne antene neophodni su grid-dip metar i indikator stojećih talasa. Za prilagođenje L člana prema sl. 28.5 najpogodniji način merenja prikazan je na sl. 28.6.

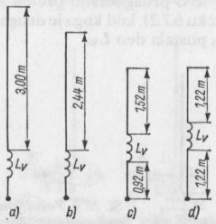
Način podešavanja

Prvo se odvoji napojni vod i prekine vod koji spaja C_S sa masom. Umesto tog spojnog voda veže se mala zavojnica sa jednim namotajem, koja služi kao zavojnica za spregu sa grid–dip metrom. Zatim se izvrši kontrola rezonance antene pomoću grid-dip metra; odstupanja od željene rezonantne frekvencije koriguju se na produžnoj zavojnici L_V. Nakon toga priključi se koaksijalni kabl kojim je spregnut reflektometar.

Antena se iz predajnika pobuđuje njenom rezonantnom frekvencijom, a na reflektometru se očita koeficijent stojećih talasa, pa se potom zabeleži. Napojni kabl se ponovo odvoji , a trimer C_S se malo razdesi u smeru većih vrednosti kapacitivnosti. Usled toga se smanji rezonantna frekvencija antene koja se kontroliše grid-dip metrom, pa se korekcijom na zavojnici L_V rezonantna frekvencija ponovo dovede na prvobitnu vrednost. Posle toga opet se priključi napojni kabl i ustanovi novi koeficijent stojećih talasa. Ako se on smanjio u odnosu na prethodno očitanu vrednost. C_S je razdešen u »pravom« smeru, a u obrtnom slučaju, C_S se mora podesiti na manju vrednost kapacitivnosti. Ovo podešavanje ponavlja se istim redosledom sve dok se ne postigne najmanja moguća vrednost koeficijenta stojećih talasa. Zatim se ukloni petlja za spregu grid-dip metra i C_S ponovo spoji direktno sa multim potencijalom. Usled toga se malo razdesi rezonanca antene, ali to se može otkloniti malom korekcijom L_V. Dokaz da je to postignuto je ako reflektometar opet pokaže minimalan koeficijent stojećih talasa.

28.2.2.3. *Podaci o dimenzijama mehanički skraćenih prevoznih antena*

Pod određenim uslovima mogu se dati podaci o dimenzionisanju produžne zavojnice L_V u zavisnosti od dužine antene. Proračunati podaci mogu poslužiti samo kao približne vrednosti, jer nije moguće uzeti u obzir uticaje okoline koji se menjaju od slučaja do slučaja. Induktivnosti navedene u tabeli 28.1 odnose se na karakterističnu impedancu štap-antene Z_A od 360 Ω, što odgovara prečniku provodnika od oko 8 mm. Za tanje štap-antene potrebne su nešto veće induktivnosti, a za deblje provodnike antene one se neznatno smanjuju. Dati podaci za zavojnicu znače: d – prečnik žice u mm, D – prečnik zavojnice u mm i L – dužina zavojnice u mm. Zavojnice se motaju tako da se iskoristi cela navedena dužina zavojnice; to se



Sl. 28.7. Mehanički skraćene četvrtlalasne vertikalne antene za prevozni rad (uz tabelu 28.1)

Tabela 28.1

PODACI O DIMENZIJAMA MEHANIČKI SKRAĆENIH PREVOZNIH ANTENA PREMA sl. 28.7

Rezonantna frekvencija	Izvedba antene prema: sl. 28.7a	sl. 28.7b	sl. 28.7c	sl. 28.7d
3700 kHz	L_V = 65 μH ≈ 66 zavojaka d=1,5; D=50; L=200	L_V = 83 μH ≈ 81 zavojaka d=1,5; D=50; L=200	L_V = 100 μH ≈ 70 zavojaka d=1,0; D=60; L=150	L_V = 118 μH ≈ 88 zavojaka d=1,0; D=50; L=200
7050 kHz	L_V = 17 μH ≈ 20 zavojaka d=2,0; D=70; L=80	L_V=22 μH ≈ 25 zavojaka d=2,0; D=65; L=100	L_V=32 μH ≈ 32 zavojaka d=1,5; D=60; L=100	L_V=35 μH ≈ 35 zavojaka d=1,5; D=60; L=110
14150 kHz	L_V=3,3 μH ≈ 10 zavojaka d=2,0; D=60; L=75	L_V=4,7 μH ≈ 11 zavojaka d =2,0; D=70; L=70	L_V=7,0 μH ≈ 13 zavojaka d=1,5; D=60; L=60	L_V=8,0 μH ≈ 16 zavojaka d=1,5 D=50; L=50
21150kHz	L_V=0,7 μH ≈ 5 zavojaka d=2,0; D=40; L=50	L_V=1,5 μH ≈ 7 zavojaka D=2,0; D= 50; L=60	L_V=1,85 μH ≈ 8 zavojaka d=2,0; D=40; L=40	L_V=2,1 μH ≈ 8 zavojaka d=2,0; D=50; L=50

najpotpunije postiže kada je razmak namotaja jednak prečniku žice d. Velika dobrota postiže se sa posrebrenom bakarnom žicom na keramičkom zvezdastom telu zavojnice. Pogodna su i tela od polistirola. Ako nema posrebrene bakarne žice, može poslužiti debela lakirana bakarna žica. Za ostale prečnike zavojnice, potrebni podaci o zavojnici pri datoj induktivnosti mogu se naći u nomogramima koji se nalaze u amaterskoj literaturi (npr., Elektronisches Jahrbuch 1966, nomogram 3).

Na sl. 28.7 a do d prikazane su dužine antene i položaji produžne zavojnice L_V za koje važe induktivnosti L_V date u tabeli 28.1.

Za rad u opsegu od 10 m nisu potrebne produžne zavojnice; dužina antene od oko 2,50 m omogućava uspostavljanje približno četvrttalasne rezonance. Ako je štap-antena dugačka 3 m, javlja se već induktivna reaktivna komponenta, pa se ona mora kompenzovati uključivanjem redne kapacitivnosti (vidi podtačku 19.4.1.5). Prilikom izgradnje mehanički skraćenih prevoznih vertikalnih antena, najveće poteškoće stvara mehaničko i električno rešenje produžne zavojnice, naročito u opsegu od 80 m. Ako se amater pri tom ne ograniči isključivo na korišćenje preporučene »mobilne frekvencije« od 3690 kHz, induktivnost L_V mora biti promenljiva u određenim granicama, budući da kod ranije opisanih antena za opseg od 80 m širina opsega iznosi samo oko 30 kHz. Ako se želi izbeći promenljiva induktivnost L_V, gornji deo antene može se izvesti poput teleskopa. Tada postoji mogućnost da se promenom mehaničke dužine antenskog štapa rezonanca antene menja u određenim granicama. Za amaterska područja viših frekvencija širina opsega ovakvih štap-antena dovolj-

na je u celom amaterskom opsegu, pa većinom nije potrebno naknadno podešavanje prilikom promene frekvencije.

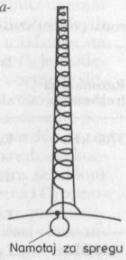
Naročite poteškoće javljaju se kada treba raditi na više opsega. Mehanički najjednostavnije i električno najpovoljnije rešenje je u tome da se produžna zavojnica, odnosno zavojnica i gornji deo štapa izvedu tako da se mogu menjati. Poznata su i rešenja sa prekopčavanjem i to ponekad pomoću releja – ali ona do sada nisu ušla u širu upotrebu.

28.2.2.4. *Skraćene vertikalne antene sa raspodeljenom induktivnošću antene u vidu zavojnice*

Ako se zavojci produžne zavojnice raspodele po dužini antene tako da se cela antena sastoji još samo od dugačke zavojnice, rezonanca se javlja već kod malih mehaničkih dužina zavojnice. Međutim, gusto namotana, a time i veoma kratka antena u vidu zavojnice ima veoma loše karakteristike zračenja. Ali ako se zavojnica razvuče toliko da njena mehanička dužina bude približno jednaka skraćenoj četvrttalasnoj anteni, njene karakteristike zračenja su najmanje jednake karakteristikama vertikalne antene sa produžnom zavojnicom iste dužine. Budući da danas postoje nosači zavojnica od sintetičkog materijala (ribolovački štapovi od fiberglasa, polistirol i PVC cevi), koji se mogu dobro iskoristiti, često su takve antene u vidu zavojnice najbolje rešenje za antenu na vozilu.

Ako se zavojnica namota na nosač tako da se u području velikih struja nalazi mali broj zavojaka na velikom međusobnom razmaku (veliki ugao koraka navoja) i ako se ugao koraka zavojka kontinualno smanjuje do čvora struje, dobije se povoljna sinusna raspodela struje na anteni. Iz toga proizlazi nekoliko prednosti u odnosu na vertikalnu štap-antenu iste dužine sa zavojnicom u sredini. Otpornost zračenja R_z antene u vidu zavojnice veća je za faktor 1,6, a posledica toga je nešto veća impedanca u priključnoj tački antene i malo veća širina opsega. Sa druge strane, relativno mali prečnik provodnika i velika dužina provodnika kod

Sl. 28.8. Antena u vidu zavojnica na krovu vozila



antene u vidu zavojnice uslovljava povećanje gubitaka u provodniku.

Najpovoljnije mesto za postavljanje antene u vidu zavojnice je krov vozila, jer su tu najmanji uticaji okoline i jer se antena nalazi iznad veće metalne površine. Antena u vidu zavojnice može biti veoma laka i kratka, a kada se montira na krov vozila, ona je pri istoj mehaničkoj dužini mnogo bolja u pogledu karakteristika zračenja od antene na stražnjem delu vozila sa zavojnicom u sredini.

Na sl. 28.8 prikazana je skica antene u vidu zavojnice iznad metalne površine (krova vozila). U priključnoj tački antene nalazi se namotaj za spregu sa grid-dip metrom pomoću koga se kontroliše rezonanca. Broj zavojaka koji je potreban za rezonancu zavisi od dužine zavojnice, od razmaka zavojaka i od prečnika. Računsko određivanje mehaničkih podataka za zavojnicu nije moguće, jer se iz statičkih razloga prednost daje koničnim nosačima, a i zato što se zavojnica namotava sa različitim uglom koraka navoja.

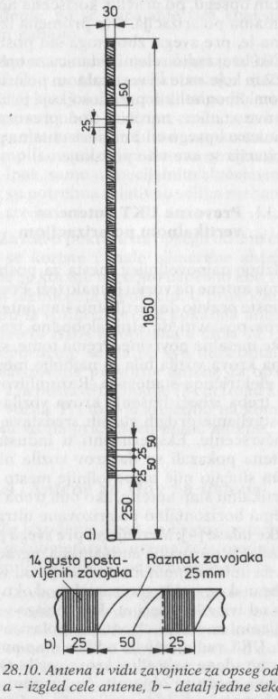
Kao što je već napomenuto, najpovoljnije karakteristike zračenja dobiju se kada se zavojnica namotava na nosač pod uglom koraka zavojka koji se kontinualno smanjuje, tako da su zavojci zavojnice veoma razmaknuti u podnožju antene, dok su na vrhu antene sasvim jedan uz drugi. Ovakav način motanja zavojnice nije mehanički jednostavan, pa se zbog toga rade bira stepenasto promenljivo namotavanje, kao što je prikazano na anteni u vidu zavojnice za opseg od 15 m (sl. 28.9). U ovom slučaju kao telo zavojnice služi štap od fiberglasa dužine 1,35 m, čiji



Sl. 28.9. Vertikalna antena u vidu zavojnice za prevozni rad u opsegu od 15 m

se spoljašnji prečnik smanjuje od 10 mm na dnu do 4 mm na vrhu. Na donjih 10 mm ne namotava se zavojnica, jer su oni potrebni za učvršćenje štapa. Zavojnica počinje sekcijom dugačkom 130 mm, u kojoj se zavojci žice nalaze na međusobnom razmaku od 25 mm. Korak zavojka menja se stepenasto sledećim sekcijama i iznosi 12, 6 i 3 mm, dok se, konačno, u poslednjoj sekciji dužine 380 mm zavojnica namotava bez razmaka između zavojaka. Na štap treba namotati oko 12,45 m lakirane bakarne žice prečnika 0,8 mm. Ova dužina žice je nešto veća nego što je potrebno; na taj način je stvorena mogućnost da se prilikom podešavanja, po potrebi odmota višak žice počevši od vrha antene pa dok se ne postigne rezonanca. Posle podešavanja rezonance namotaji se učvrste pogodnim lakom ili lepkom. Širina opsega ovih antena iznosi oko 500 kHz; ona je veća nego što je potrebno za opseg od 21 MHz.

Kod antene u vidu zavojnice za opseg od 80 m dobro se pokazao nešto izmenjen način namotavanja. Kao što je prikazano na sl. 28.10, gusto namotane zone smenjuju se sa retko namotanim. Na cev od sintetičkog materijala dužine 1,85 m i spoljašnjeg prečnika 30 mm, na dužini od 1,60 m namotano je oko 37 m lakirane bakarne žice prečnika 0,6 do 0,8 mm, na način koji je prikazan na sl. 28.10b. Kao nosač zavojaka može poslužiti cev od PVC ista kao cevi koje se upotrebljavaju za izgradnju vodovoda. I u ovom slučaju rezonanca se podešava odmotavanjem zavojaka na gornjem delu antene. Rezonanca antene u vidu zavojnice može se malo izmeniti na jednostavan način – pomoću praktične »doskočice«. Ako je potrebna viša frekvencija, uzak sektor gustih zavojaka obmota se trakom aluminijumske folije. Ako frekvencija treba da bude niža,



Sl. 28.10. Antena u vidu zavojnice za opseg od 80 m: a – izgled cele antene, b – detalj jedne sekcije namotaja

aluminijumska manžetna zameni se feromagnetnim materijalom, npr., obmota se komadom magnetne trake. I za antenu u vidu zavojnice važi da su njene karakteristike zračenja bolje što je duža.

28.3. UKT antene za rad u pokretu

UKT amater mora se prvo odlučiti da li će za rad u pokretu koristiti horizontalnu ili vertikalnu polarizaciju. U novije vreme za prevozni rad na UKT opsezima koriste se skoro isključivo vertikalna polarizacija, dok je ranijih godina u VVF amaterskom opsegu, po pravilu, korišćena horizontalna polarizacija. Ova promena izvršena je, pre svega, zbog toga što postoji veliki broj radio-relejnih stanica za opseg od 2 m koje rade sa vertikalnom polarizacijom. Zbog velikih prednosti koje pružaju ove stanice, naročito kod prevoznih stanica u opsegu od 2 m, horizontalna polarizacija se sve više potiskuje.

28.3.1. Prevozne UKT antene sa vertikalnom polarizacijom

Izbor najpovoljnijeg mesta za postavljanje antene na vozilu je malo teži. Postoji opšte pravilo da vertikalnu štap-antenu treba postaviti da stoji slobodno iznad veće metalne površine. Prema tome, sredina krova vozila bila bi najbolje mesto sa električnog stanovišta. Razumljivo je da treba izbeći bušenje krova vozila ili postavljanje drugih ružnih sredstava za pričvršćenje. Eksperimenti u industriji antena pokazali su da krov vozila ni u kom slučaju nije najpovoljnije mesto za vertikalnu štap antenu, ako ona treba da prima horizontalno polarizovane ultrakratke talase [4]. Merenja su pre svega pokazala da normalna auto-antena, ugrađena na uobičajenom mestu (bočno od vetrobranskog stakla, na razmaku od oko 10 cm od ivice karoserije), daje mnogo veći prijemni napon horizontalno polarizovanih UKT radio-emisija od iste štap-antene, ugrađene na sredini krova vozila. Ova pojava može se objasniti činjenicom da metalne ivice kabine vozila vrše savijanje prvobitno horizontalnih linija polja, tako da se u blizini vertikalne štap-antene ove linije približavaju vertikali i time u vertikalnoj meri odgovaraju polarizaciji antene. Najveći prijemni napon izmeren je kod električne dužine štap-antene od 3/8 λ.

Ova saznanja do kojih se došlo u području UKT radio-difuzije, mogu se bez naročitih ograničenja preneti i na amaterski opseg od 2 m. Znači, može se smatrati da je i za vertikalnu antenu od 2 m najpovoljnije mesto bočno od vetrobranskog stakla, koje se i inače preporučuje za ugradnju auto-antena. To znači da se normalna teleskopska auto-antena može uspešno koristiti i kao antena za opseg od 2 m.

Četvrttalasna štap-antena, omiljena u KT području, nije značajna kao prevozna antena u opsegu od 2 m. Otpornost u priključnoj tački takve *Markonijeve* antene iznosi oko 30 Ω i na nju utiču oblik, dimenzije i vrsta karoserije vozila. Efektivna visina je mala, a prilagođenje na koaksijalni napojni kabl često je otežano.

Vertikalni polutalasni štap bio bi znatno pogodniji u pogledu prijemnih i predajnih karakteristika, ali on se kod prevoznog rada mora napajati na kraju iz mehaničkih razloga. Ulazna otpornost je velika (> 500 Ω), a izolator u podnožju mora biti prvoklasnog kvaliteta (maksimum napona).

Štap-antena od 5/8 λ često se označava kao najefikasniji oblik vertikalno polarizovane antene za prevozni rad u opsegu od 2 m. Sa ovom antenom postižu se dobri rezultati zbog njene relativno velike efektivne visine. Značajno je i to što je u njenom dijagramu u ravni *H* vertikalni elevacioni ugao naročito mali. Neznatnom promenom dužine štapa može se postići da realna komponenta otpornosti u priključnoj tački antene bude oko 60 Ω. Ako se upotrebi teleskopski štap, veoma se pojednostavljuje podešavanje antene. Kod mehaničke dužine od 5/8 λ postoji kapacitivna reaktivna komponenta, pa se ona mora kompenzovati induktivnom reaktancom (produžna zavojnica). Već prema faktoru skraćenja, dužina štapa antene od 5/8 λ za opseg od 2 m iznosi između 1100 mm i 1200 mm, što se može

postići svakom komercijalnom teleskopskom auto-antenom. Induktivnost zavojnice u podnožju antene iznosi približno 0,35 μH. Ostali podaci o ovoj mobilnoj anteni koja se može preporučiti dati su u tački 25.1.3. U literaturi pod [5] opisana je teleskopska antena koja može raditi po izboru: kao četvrttalasna ili kao antena od 5/8 λ u opsegu od 2 m.

28.3.2. Prevozne UKT antene sa horizontalnom polarizacijom

Da bi uspostavljene radio-veze ostale stabilne i prilikom promene smera vožnje, prevozne, horizontalno polarizovane UKT antene treba da imaju horizontalni dijagram zračenja u obliku kruga. Taj zahtev ne ispunjava, npr. pruženi polutalasni dipol; njegov dijagram zračenja u obliku osmice ima dve jasno izražene nule.

Prstenasti dipol, koji je nastao od polutalasnog dipola, ispunjava želju u pogledu kružne karakteristike, ali je skoro u svim smerovima za oko 6 dB lošiji od pojačanja pruženog polutalasnog dipola u njegovim glavnim smerovima zračenja. Uprkos tome, halo-antena je veoma omiljena, što se može pripisati pre svega njenom lepom izgledu. Prstenasti dipol za opseg od 2 m detaljno je opisan u tački 25.2.1.

Da bi se izbegao gama-član, koji je potreban kod jednostavnog prstenastog dipola i da bi se dobila mehanički malo stabilnija konstrukcija, često se prevozna halo-antena za opseg od 2 m izvodi kao savijeni dipol. Halo-antena se može napraviti jednostavno; normalni savijeni polutalasni dipol formira se u oblik prstena, pri čemu krajevi dipola ne smeju biti na međusobnom razmaku manjem od 50 mm. Otpornost u priključnoj tački jednostavnog prstenastog dipola iznosi samo oko 50 Ω, pa se kod savijenog dipola u obliku prstena može računati sa četvorostrukom ulaznom impedancom (200 Ω). Ako treba izvršiti prilagođenje na vod od 240 Ω, onda gornji i donji provodnik savijenog dipola moraju biti različite debljine (odeljak 4.1). Budući da je potreban odnos transformacije od oko 1 : 5 (sl. 4.4), dobije se da je odnos prečnika $d_2/d_1 = 2$, pri odnosu razmak/prečnik D/d_2 od 9 (vidi sl. 4.3). Pomoću polutalasne petlje za prilagođenje (odeljak 7.5) na savijeni prstenasti dipol može se priključiti i koaksijalni kabl od 60 Ω.

Ugaoni savijeni dipol nema elegantan izgled. Međutim, kao što se vidi na sl. 25.1, njegova horizontalna karakteristika zračenja je povoljnija za rad na amaterskom opsegu od 2 m od karakteristika halo-antene. Ugaoni savijeni dipol opisan je u tački 25.2.2. Dobra antena može se napraviti i sa jednostavnim ugaonim polutalasnim dipolom kome se doda gama-prilagođenje, pa se napajanje vrši koaksijalnim kablom.

Antena u obliku malteškog krsta (tačka 25.2.5) i antena »veliki točak« (tačka 25.2.6) jesu još dve horizontalno polarizovane antene sa kružnim zračenjem koje se mogu koristiti i za rad u pokretu. Ovi komplikovani oblici antena primenjuju se, ipak, samo u specijalnim slučajevima, jer su potrebna relativno velika mehanička sredstva i rad.

Za rad u pokretu na opsegu od 2 m često se koriste i male usmerene antene. One se koriste naročito uspešno kod raznih takmičenja u pokretu. U praktičnom radu iz vozila dobro se pokazala antena amatera *HB9CV* (opisana u tački 22.1.2). Preporučuje se da se sve horizontalno polarizovane prevozne antene za opseg od 2 m postave najmanje 75 cm iznad krova vozila. Pri tom je svejedno na kom je delu vozila pričvršćen nosač antene.

28.4. Antene za »lov na lisicu«

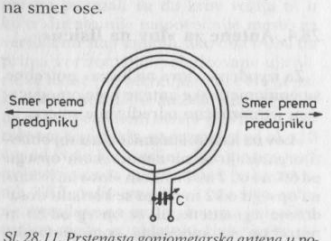
Za izvođenje »lova na lisicu« potrebne su goniometarske antene koje omogućavaju jednoznačno određivanje smera.

»Lov na lisicu« i takmičenja u toj oblasti organizuju se na amaterskom opsegu od 80 m i od 2 m. Prilikom »lova na lisicu« na opsegu od 2 m mogu se koristiti dosadašnje *jagi*-antene, ali za opseg od 80 m potrebne su specijalne goniometarske antene.

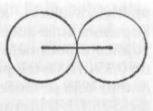
28.4.1. Goniometarske antene za opseg od 80 m

Za »lov na lisicu« u opsegu od 80 m koriste se isključivo okvir-antene (ram-antene) ili feritne antene. Obe reaguju na magnetnu komponentu elektromagnetnog polja, pa se nazivaju i magnetne antene.

Najjednostavnija okvirna antena pogodna za goniometrisanje sastoji se od obrtnog okvira na čijem se obimu nalazi određen broj zavojaka žice. Osa obrtanja je vertikalna. Okvir se izvodi u obliku prstena, kvadrata ili višeugaonika. Antenu predstavlja velika zavojnica čije su dimenzije veoma male u odnosu na prijemnu talasnu dužinu. U njoj se indukuje napon srazmeran magnetnoj komponenti elektromagnetnog polja. Kada se površina okvira nalazi u smeru prostiranja elektromagnetnih talasa u njoj se indukuje maksimalna vrednost napona. Ako je »široka strana« okvira okrenuta u smeru predajnika odnosno upravno na smer prostiranja elektromagnetnih talasa, prijemni napon je minimalan. Na sl. 28.11 prikazana je prstenasta okvirna antena u položaju maksimalnog prijemnog napona za predajnik koji se nalazi u smeru označenom strelicom. Međutim, isti prijem dobije se i ako se predajnik nalazi u suprotnom smeru obrnutom za 180° (isprekidana strelica). Na sl. 28.12 pogled odozgo prikazan je dijagram zračenja ove okvirne antene. To je poznati oblik dijagrama u vidu osmice – kao kod polutalasnog dipola, sa bitnom razlikom što se oba nulta mesta kod okvirne antene nalaze u smeru ose, već su pomerena za 90° poprečno na smer ose.



Sl. 28.11. Prstenasta goniometarska antena u položaju maksimuma prema predajniku



Sl. 28.12. Dijagram zračenja okvirne antene, čije su dimenzije veoma male u odnosu na prijemnu talasnu dužinu

Efektivnu visinu H_{eff} okvirne goniometarske antene određuju površinu okvira *A* i broj zavojaka u okviru *n* prema odnosu:

$$H_{eff} = \frac{2\pi\, nA}{\lambda} \qquad (28.12)$$

Na primer, efektivna visina prstenaste okvirne antene prečnika 0,26 m sa 5 zavojaka u okviru (okvirna antena prijemnika za »lov na lisicu« tipa Gera I) iznosi u opsegu od 80 m samo oko 0,021 m = 21 mm. Zbog toga je napon U_o koji daje okvir veoma mali. Podešavanjem rezonance antene pomoću obrtnog kondenzatora *C* (sl. 28.11) može se dobiti rezonantni napon U_{rez}, koji je veći od napona okvira za faktor dobrote *Q*:

$$U_{rez} = U_o \cdot Q \qquad (28.13)$$

I otpornost zračenja R_z uobičajenih geoniometarskih antena za »lov na lisicu« je veoma mala i iznosi:

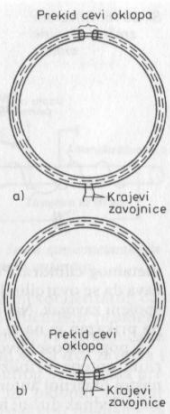
$$R_z\,(\Omega) \approx 31200 \left(\frac{nA}{\lambda^2}\right)^2 \qquad (28.14)$$

Za kružni okvir obima *S* (jednačina 28.14) prelazi u

$$R_z\,(\Omega) \approx 197 \cdot n^2 \cdot \left(\frac{S}{\lambda}\right)^4$$

To znači da je povećanje S/λ znatno efikasnije od povećanja broja zavojaka *n*.

Radi poboljšanja usmerenog dejstva, magnetne antene se postavljaju u elektrostatički metalni oklop. Zbog toga se kod prstenastih goniometarskih antena zavojci okvira uvlače u cev od bakra ili lakog metala. Pri tom se mora voditi računa da cev oklopa ne sme biti zatvoreni, kratko spojeni prsten. Oklop se mora prekinuti ili kod tačke napajanja (28.13b) ili tačno na suprotnoj strani od tačke napajanja (28.13a). Namotaji okvira smešteni u cev oklopa ne smeju se prekinuti na



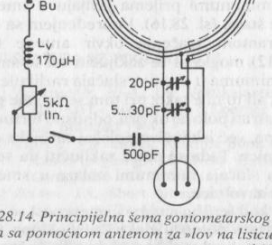
Sl. 28.13. Prstenaste goniometarske antene sa elektrostatičkim oklopom: a – cev oklopa je prekinuta na suprotnoj strani od tačke napajanja, b – cev oklopa je prekinuta kod tačke napajanja

mestu prekidanja oklopa; oni predstavljaju neprekinutu kružnu zavojnicu kod koje se izvode samo krajevi. Na krajeve zavojnice priključi se promenljivi kondenzator za podešavanje.

U savremenim prijemnicima za »lov na lisicu« koriste se samo tranzistori za koje je poznato da imaju relativno malu ulaznu otpornost. Zbog toga se mora izvršiti prilagođenje visokoomskog kola okvira na niskoomski tranzistorski ulaz. Prilagođenje se vrši pomoću odvojenog zavojka za spregu ili se na »hladnom« kraju okvirne zavojnice odvoji jedan zavojak i na tom mestu priključi tranzistorki ulazni stepen.

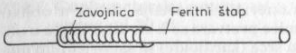
Opisane okvirne antene daju dobre goniometarske rezultate, ali su oni uvek dvoznačni. Iz karakteristike usmerenosti (sl. 28.21) vidi se da se javljaju dva minimuma i dva maksimuma, koji ne omogućavaju određivanje prave strane. Jednoznačno goniometrisanje moguće je samo kada se horizontalni dijagram zračenja goniometarskog okvira pretvori u jednobočni, npr., u obliku kardioide. Za određivanje strane potrebna je dodatna pomoćna antena, u kojoj se stvara napon usled električnog polja. Napon je po veličini u fazi jednak naponu indukovanom u goniometarskom okviru usled magnetnog polja. Ako se oba napona superponiraju, karakteristika zračenja okvira u obliku osmice pretvara se u karakteristiku u obliku srca (kardioide) sa samo jednim nultim mestom. Tada je moguće jednoznačno određivanje smera. Pomoćnu antenu predstavlja vertikalna štap-antena električne dužine λ/4. Da bi se sa kratkom štap antenom dužine oko 1 m dobila četvrttalasna rezonanca treba joj dodati odgovarajuću produžnu zavojnicu L_V. Vrednost napona pomoćne antene podešava se pomoću obrtnog slojevitog ugljenog otpornika, koji je ubačen u dovodni vod. Na sl. 28.14 prikazana je principijelna šema goniometarskog okvira sa pomoćnom antenom, čija je izrada i primena detaljno opisana u literaturi pod [6].

Češće se nailazi na feritne antene za »lov na lisicu« u opsegu od 80 m nego na goniometarsku okvir antenu koja zauzima dosta prostora. One su po dimenzijama znatno manje od okvirnih goniometaraskih antena. Kao što je prikazano na sl. 28.15, feritna antena se sastoji od feritnog štapa na koji je namotana zavojnica. U trgovini se najčešće nalaze feritni štapovi prečnika 8 do 10 mm i dužine 65 do 200 mm. Kao optimalni odnos dužina/prečnik navodi se 16 do 20. Za goniometarske antene za »lov na lisicu« naročito je



Sl. 28.14. Principijelna šema goniometarskog okvira sa pomoćnom antenom za »lov na lisicu« u opsegu od 80 m

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 28.15. Feritna antena

pogodan sinterovani materijal Manifer 240, jer poseduje najpovoljnije karakteristike u frekventnom području između 2 MHz i 6 MHz. Štap prečnika 10 mm isporučuje se u dužinama od 160 mm i od 200 mm. Početna permeabilnost materijala Manifer 240 iznosi 120 ± 20%.

Položaj zavojnice na feritnom štapu značajan je u pogledu dobrote kola i efikasne permeabilnosti. Ona se zbog toga ne postavlja na sredinu štapa, već malo pomereno prema kraju (sl. 28.15) i izoluje se od štapa međuslojem od oko 1 mm. Kasnije se pomeranjem iz tog položaja može postići određeno podešavanje. Potreban broj namotaja n na zadatu induktivnost L može se sa dovoljnom tačnošću izračunati pomoću obrasca:

$$n = k \cdot \sqrt{L(\mu H)}, \qquad (28.15)$$

gde je: k – faktor materijala (daje ga proizvođač), L – induktivnost. Zavojnica se namotava u jednom sloju, cilindrično od visokofrekventne pletenice.

Efektivna visina H_{eff} feritne antene iznosi:

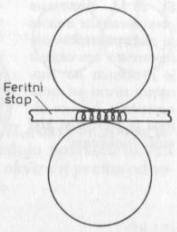
$$H_{eff} = \frac{2\pi n q \mu_{eff}}{\lambda} \qquad (28.16)$$

gde je: n – broj zavojaka zavojnice, q – presek feritnog štapa, μ_{eff} – efektivna permeabilnost feritnog materijala, λ – talasna dužina.

Dijagram zračenja feritne antene je, takođe, u obliku poznate osmice, pri čemu se minimumi prijema javljaju u smeru ose štapa (sl. 28.16). Upoređenjem sa dijagramom zračenja okvir antene (sl. 28.12) moglo bi se zaključiti da se smer minimuma u ova dva slučaja razlikuje za 90°, ali to nije tako; pri tom se ne sme posmatrati položaj okvira, odnosno feritnog štapa, već isključivo položaj zavojaka zavojnice. Tada se može zaključiti da se u oba slučaja minimumi nalaze u smeru ose zavojnice.

I kod feritne antene usmerenost se poboljšava pomoću električnog oklopa. On se sastoji od tankog uzdužno prosečenog

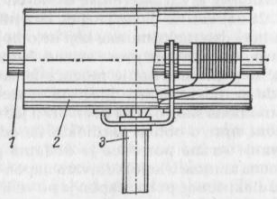
Sl. 28.16. Dijagram zračenja feritne antene



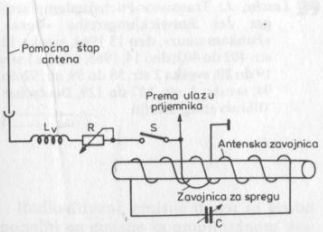
metalnog cilindra. Prosecanjem se sprečava da se ovaj cilindar pretvori u kratko spojeni zavojak. Način postavljanja oklopa prikazan je na sl. 28.17.

U pogledu osetljivosti i usmerenosti feritna antena približno odgovara prstenastoj okvirnoj anteni, čiji je prečnik prstena jednak dužini feritnog štapa. Budući da je komercijalna dužina feritnih štapova najviše 20 cm, osetljivost feritne antene je ograničena, a osetljivost okvirne antene nije ograničena. Mana feritne antene je nešto manja osetljivost, ali zato ima velike prednosti: konstrukcija joj je kompaktna i može se izraditi jednostavno i sa malo sredstava.

Na sl. 28.18 prikazana je principijelna šema goniometarske feritne antene sa pomoćnom antenom za određivanje smera. Antenska zavojnica na feritnom štapu, zajedno sa obrtnim kondenzatorom C predstavlja rezonantno kolo, koje se može podesiti na »frekvenciju lisice« u opsegu od 80 m. Za prečnik feritnog štapa od 10 mm orijentacione vrednosti antenske zavojnice su oko 25 do 30 zavojaka



Sl. 28.17. Obrtna feritna antena sa elektrostatičkim oklopom: 1 – feritni štap, 2 – oklopni cilinder sa uzdužnim prorezom, 3 – obrtna osovina



Sl. 28.18. Principijelna šema goniometarske feritne antene sa pomoćnom antenom

od VF pletenice i obrtni kondenzator, odnosno trimer, sa mogućnošću promene kapacitivnosti od 6 do 30 pF. Zavojnica za spregu dimenzioniše se sa dva zavojka i nalazi se na kraju nultog potencijala prijemnika, odnosno uz oklopni cilindar koji nije nacrtan. Drugi kraj zavojnice za spregu obično se, preko kondenzatora vodi na bazu ulaznog tranzistora. Sa tim krajem zavojnice za spregu spojen je i ugljenoslojni otpornik R i produžna zavojnica L_V pomoćne štap-antene. L_V se često izostavlja, a za R su uobičajene vrednosti od 10 kΩ linearno (nije kritična). Prekidač S nije potreban, ako se pomoćna štap-antena izvede tako da se može utaknuti. Kao pomoćna antena može se upotrebiti, na odgovarajući način obrađena šipka sa točka bicikla. Detaljna uputstva o izgradnji prijemnika za »lov na lisicu« sa okvirnim i feritnim goniometarskim antenama data su u literaturi koja je navedena na kraju ovog poglavlja.

28.4.2. Goniometarske antene za »lov na lisicu« u opsegu od 2 m

Do sada nije poznato da su izrađene specijalne antene za »lov na lisicu« u amaterskom opsegu od 2 m, jer postoji dovoljno veliki izbor postojećih usmerenih antena za opseg od 2 m, koje mogu ispuniti sve želje u pogledu oštrine usmerenosti i osetljivosti. Preovlađuju horizontalno polarizovane *jagi*-antene sa tri elementa i retko se upotrebljava više elemenata. U odeljku 22.2 opisani su takvi kratki oblici *jagi*-antena. Ponekad je dovoljna i jednostavna izvedba sa dva elementa, uključujući specijalne oblike antene amatera *HB9CV* (vidi odeljak 22.1) i antenu *kjubikal-kvad* (vidi odeljak 27.3). Dodaci za određivanje smera nisu potrebni, jer su navedeni sistemi usmereni na jednu stranu.

Glomazne *jagi*-antene mogu ometati »lovca na lisicu« na terenu (npr., u žbunju). Zbog toga su potrebne kompaktne konstrukcije, kod kojih se može smanjiti bar mehanička širina antene. Prvi korak na tom putu bila bi antena *kjubikal-kvad* koja je za polovinu uža od *jagi*-antene, ali zato viša i zahteva glomazniji noseći kostur.

Budući da se pomoću savremenih tranzistora mogu izgraditi veoma osetljivi prijemnici za »lov na lisicu« u opsegu od 2 m, pojačanje goniometarske antene nije najznačajnije; najvažnija je oštrina usmerenosti. Polazeći od ovog saznanja, mogu se koristiti veoma skraćeni elementi antene u obliku zavojnice. Poznato je da se zbog toga smanjuje pojačanje antene, ali i da se oštrina usmerenosti najvećim delom zadržava. Mogu se zamisliti konstrukcije takvih skraćenih goniometarskih antena za opseg od 2 m, slično kao na sl. 17.7, pri čemu se kratke plastične cevi mogu koristiti kao nosači zavojnice, na koje se zavojnica direktno namotava. »Lovci na lisicu« zainteresovani za eksperimentisanje, mogu izvršiti dalja poboljšanja u ovoj oblasti.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 28

[1] *Rohrbacher, H.–A.:* Die Vertikalantenne, »DL–QTC«, sveska 4 do 6 Koerner Verlag, Stuttgart 1964
[2] *A.R.R.L.:* The A.R.R.L. Antenna Book, 8. izdanje, poglavlje 15, West Hartford, Conn., 1956
[3] *Belrose, J.S.:* Short Antennas for Mobile Operation, The Mobile Manual for Radio Amateurs, drugo izdanje, West Hartford, Conn. 1960

[4] *Fiebranz, A.:* Antennenanlagen fuer Rundfunk-und Fernsehempfang, str. 215, Verlag fuer Radio-Foto-Kinotechnik GmBH, Berlin, 1961
[5] *Heinrich, K.:* Umschaltbare Antenne fuer Funksprechgeraete und Peilempfaenger im 2-m Band, »UKW-Berichte« 7 (1967) sveska 1, str. 48 do 52, Verlag Hans J.Dohlus,Erlangen
[6] *Lesche, J.:* Transistor-Fuchsjagdempfaenger der Entwicklungsreihe »Gera«, »Funkamateur«, deo 13 1964, sveska 12 str. 402 do 403; deo 14, 1965, sveska 1 str. 19 do 20; sveska 2 str. 58 do 59, str. 92 do 94; sveska 4, str. 127 do 129, Deutscher Militärverlag, Berlin

29. Antene za radio i TV prijem

Radio-difuzne emisije mogu se grubo podeliti na emisije sa amplitudnom modulacijom (AM) i emisije sa frekventnom modulacijom (FM). Radio-difuzija u područjima dugih, srednjih i kratkih talasa koristi isključivo amplitudnu modulaciju. FM radio-emisije su kvalitetnije i njima pripadaju frekventni opsezi u VVF području.

Za AM radio-difuziju u oblasti 1 (Evropa, azijski deo SSSR-a i Afrika) važi sledeća podela frekvencija:

dugi talasi	150 .... 285 kHz
	(isključivo 160 .... 255 kHz
srednji talasi	525 .... 1605 kHz
kratki talasi	5950 .... 6200 kHz
	(opseg od 49 m)
	7100 .... 7300 kHz
	(opseg od 41 m)
	9500 .... 9775 kHz
	(opseg od 31 m)
	11700 .... 11975 kHz
	(opseg od 25 m)
	15100 .... 15450 kHz
	(opseg od 19 m)
	17700 .... 17900 kHz
	(opseg od 16 m)
	21450 .... 21750 kHz
	(opseg od 13 m)
	25600 .... 26100 kHz
	(opseg od 11 m)

FM radio-difuziji u oblasti 1 stoje na raspolaganju dva frekventna opsega:

87,5.... 100 MHz
(opseg II prema CCIR propisu),
66 .... 73 MHz
(OIRT propis).

U socijalističkim zemljama FM radio-difuzija emituje se prema OIRT propisima. Izuzetak su NDR i SFR Jugoslavija, sa CCIR propisima, i Poljska sa OIRT i sa CCIR propisima. Svi predajnici ostalih evropskih zemalja rade prema CCIR propisima.

Za TV radio-difuziju u VVF području u Evropi postoje različiti propisi. Svima je zajednička podela na VVF opseg nižih frekvencija (do oko 50 MHz) i na opseg viših frekvencija (do oko 200 MHz). Detaljan prikaz evropskih TV opsega po svim propisima dat je u prilogu sa tabelama.

Za UVF televiziju u oblasti 1 važi jedinstveni frekventni opseg od 470 do 855 MHz u koji je smešteno šezdeset osam TV kanala.

Detaljnije o amaterskim radio-vezama treba videti u poglavlju 33.

29.1. Prostiranje talasa u opsezima AM radio-difuzije

Radi procene mogućnosti prijema u opsezima radio-difuzije moraju se dopuniti izlaganja o prostiranju talasa (poglavlje 2). To važi naročito za kratke talase, u čijih se osam radio-opsega uočavaju različite karakteristike prostiranja.

29.1.1. Karakteristike prostiranja kratkih talasa

Kao što je već objašnjeno u odeljku 2.3, prostorni talas je najznačajniji za prostiranje kratkih talasa. Stanje jonosfere je presudno za domet kratkotalasnih emicija, jer se refleksije događaju uglavnom u njenom sloju F. Pri tom se talasi u opsegu od 10 m do 25 m (f = 30 MHz do 12 MHz) koriste po danu, kada je zbog Sunčevog zračenja jonizacija maksimalna. Zbog toga su u toku dana za prijem signala iz velike udaljenosti najpovoljniji kratkotalasni opsezi od 11 m, 13 m, 16 m i 19 m.

U sumrak su za prijem najpogodniji opsezi od 25 m i od 31 m. Prijem sa velikih udaljenosti na opsezima od 41 m i od 49 m najbolji je u toku noći, jer se u to vreme iz jonosfere izgubi sloj D koji ih slabi, pa je jonizacija viših slojeva još dovoljna za refleksiju ovih talasnih dužina. Na radio-opsezima od 41 m i 49 m obično se u toku celog dana mogu primati signali iz Evrope; zbog toga su praktično svi radio-prijemnici podešeni tako da na kratkim talasima primaju bar opseg od 49 m.

Naravno, ova gledišta ne predstavljaju kruta pravila, jer se jonosfera stalno menja u zavisnosti od ciklusa sunčeve aktivnosti i od doba godine i dana (vidi tačku 2.1.3). Pri tome značajnu ulogu imaju i geografska dužina i širina prijemnog mesta.

Polarizacija kratkih talasa menja se prilikom prolaza kroz jonosferu. Linearno polarizovani talas napušta jonosferu eliptično ili kružno polarizovan (vidi tačku 1.1.7). Zbog toga nije naročito važno da li je kratkotalasna prijemna antena horizontalno ili vertikalno polarizovana. Obično, prednost se daje horizontalnoj polarizaciji, jer ona ne podleže toliko uticaju tla kao vertikalna antena. Osim toga, lokalne industrijske i atmosferske smetnje pretežno su vertikalno polarizovane, pa horizontalno polarizovana antena obično prima manji nivo smetnji.

29.1.2. Karakteristike prostiranja srednjih talasa

U toku dana sloj D toliko slabi talase srednjetalasnog područja da ne dolazi do refleksije do viših slojeva jonosfere. Zbog toga, siguran domet srednjetalasnog predajnika po danu odgovara dometu prizemnog talasa. Prizemni srednji talasi slede zakrivljenost Zemlje; njegov domet je utoliko veći, ukoliko je veća provodljivost tla. Prizemni talas koji se prostire iznad površine vode trpi najmanje slabljenje. Slabljenje prizemnog talasa je utoliko veće, ukoliko je manja talasna dužina koja se koristi.

Sa zalaskom Sunca brzo nestaje apsorpcioni sloj D pa se tada srednji talasi mogu prostirati i kao prostorni talasi. To objašnjava pojavu velikog broja predajnih signala u večernjim i noćnih časovima. Snažni srednjetalasni predajnici mogu se tada čuti na rastojanjima od 4000 do 5000 km. U prvim jutarnjim časovima, kada evropski veliki predajnici imaju pauzu, ponekad se mogu primati i prekomorski srednjetalasni predajnici.

Uopšte, mogućnosti prijema na srednjim talasima iz velike udaljenosti bolje su zimi nego u toku leta, jer se zimi smanjuje jonizacija apsorpcionog sloja D, a manji je i nivo atmosferskih smetnji.

U određenoj zoni, počevši od udaljenosti od predajnika oko 60 km, sastaju se prizemni i prostorni talas sa različitom, stalno promenljivom fazom. Već prema odnosu faza prizemnog i prostornog talasa na mestu prijema javljaju se najčešće periodična pojačanja i slabljenja prijemnog signala, što je poznato kao *feding*. Feding je često povezan i sa jakim izobličenjem prijema; koje se ne može otkloniti automatskom regulacijom fedinga u prijemniku. Kod udaljenih predajnika nema više ovih pojava fedinga, jer tada nestaje prizemni talas ili je bar toliko oslabljen da više ne može doći do efikasne interferencije sa prostornim talasom.

29.1.3. Karakteristike prostiranja dugih talasa

Uslovi prostiranja dugih talasa skoro su nezavisni od aktivnosti Sunca i godišnjeg doba. Postoji samo slab uticaj doba dana, s tim što su noću signali malo jači nego danju.

Prizemni i prostorni talasi postoje u toku celog dana. Dugi talasi prodiru strmo u jonosferu, tamo se reflektuju, ali pri tom istovremeno trpe i jako slabljenje. Zbog toga su za višestruke refleksije potrebni jaki predajnici. Predajnici velike snage obezbeđuju stabilne domete, koji su u velikoj meri nezavisni od stanja jonosfere. Dugi talasi se mogu primati i ispod površine vode (npr., u zaronjenim podmornicama). Dubina njihovog prodiranja u vodu iznosi oko 10 m. Prijem na dugim talasima ometaju atmosferske smetnje, uglavnom u toku letnjih meseci. Zbog toga se u tropskim oblastima dugi talasi ne mogu koristiti za radio-veze.

29.2. Antene za prijem radio-emisija na kratkim, srednjim i dugim talasima

Zračenje radio–predajnika u području srednjih i dugih talasa uvek je vertikalno polarizovano. Prijem se vrši sa nesimetričnim antenama, čiji protivteg predstavlja zemlja. Talasno područje se proteže od 200 do 2000 m, pa ne postoji mogućnost da se izgrade antene dužine koja je potrebna za rezonancu. Zbog toga su srednjetalasne i kratkotalasne antene uvek prekratke. Kod veoma male otpornosti zračenja, otpornost u priključnoj tački antene približno je jednaka kapacitivnoj reaktanci koja zavisi od kapacitivnosti antene (antenskog provodnika prema zemlji) i prijemne frekvencije. Odgovarajući prijemni naponi uslovljavaju da ulaz prijemnika bude visokoomski. Za područje srednjih i dugih talasa kao orijentaciona vrednost za ulaznu otpornost prijemnika uzima se 2500 Ω. Prilagođenje se ne može izvršiti, jer je za celo frekventno područje nemoguće prilagoditi frekventno zavisnu kapacitivnu otpornost antene na neku vrednost čisto omske otpornosti.

29.2.1. Visoko podignute antene

Visoko podignuta žičana antena je jedini oblik antene čiji se prijemni deo pretežno nalazi u neometanom polju predajnika i najčešće i izvan polja smetnji od električnih instalacija. Ako se pretpostavi da je na nekoliko metara iznad visine krova jačina polja 100%, prema *Mebeovim* merenjima, na drugim visinama dobiju se sledeće prosečne vrednosti neometane jačine polja:

na tavanu: 70. . . . . 80%,
na drugom spratu: 50%
na prvom spratu: 20%,
u prizemlju: 5. . . 10%,
u podrumu: 3. . . 5%.

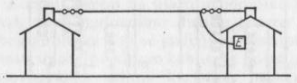
Zbog toga se od sobne antene može očekivati samo deo prijemnog napona koji je moguć na tom mestu. Tome treba dodati da se sobne i pomoćne antene skoro uvek nalaze u neposrednoj blizini kućnih električnih instalacija i da od njih primaju napone smetnji.

Velika osetljivost savremenih radio-prijemnika i jaki radio-predajnici omogućavaju dobar prijem, čak i sa pomoćnim antenama. Sve veći zahtevi u pogledu izbora programa i prijema radio-emisija bez smetnji zahtevaju da se i danas ponekad koristi visoka žičana antena.

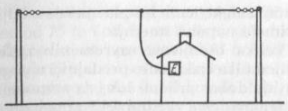
29.2.1.1. *L – antene i T – antene za srednje i duge talase*

Iz konstrukcionih razloga L-antena je najčešći oblik žičane antene sa jednim provodnikom za prijem srednjih i dugih talasa. Ona se sastoji od jedne žice, koja je, preko izolatora horizontalno ili koso zategnuta između dve što više potporne tačke. Na jednom kraju ove žice priključen je vertikalni provodnik koji vodi nadole (sl. 29.1). Dužina i visina postavljanja ovakve žičane antene nije određena; postoji jednostavno pravilo – što je moguće više, što je moguće slobodnije i da ne bude prekratko. Mora se izbegavati blizina ostalih vazdušnih vodova i većih metalnih masa; gde to nije moguće antenski provodnik treba postaviti što vertikalnije (pod pravim uglom) prema ostalim žičanim vodovima. Uzimajući u obzir lokalne okolnosti, ukupna dužina antenskog provodnika može biti 15 do 30 m. Provodnik može biti od komercijalne bakarno-bronzane antenske pletenice prečnika 1,5 do 3 mm, što se pokazalo kao najpogodnije. Okrugla žica od bakra, odnosno od legura bakra, ista je po vrednosti u električnom pogledu, ali je manje fleksibilna.

Čelična žica sa bakarnim omotačem odlikuje se veoma velikom otpornošću na zatezanje. Mogu se upotrebiti i izolovane žice i pletenice; izolacija ne utiče nepovoljno. Mogu se koristiti svi provodnici koji se odlikuju čvrstoćom na lom i otpornošću na koroziju. Nisu dozvoljeni



Sl. 29.1. L-antena



Sl. 29.2. T-antena

prečnici ⩽ 1 mm, jer su oni opasni za ptice.

Horizontalni deo antene najčešće se izoluje jajastim izolatorima od tačaka u kojima je učvršćen. Oni se moraju montirati tako da ne budu opterećeni na zatezanje već na pritisak.

T-antena je još jedan poznati oblik žičane antene (sl. 29.2). Ona se po spoljašnjem izgledu razlikuje od L-antene time što se vertikalni odvod ne priključuje na kraj, već u sredinu horizontalnog dela antene. Bitne razlike između ova dva oblika antena ne postoje ni u pogledu efikasnosti ni u načinu delovanja. Nije potrebno da se vertikalni odvod T-antene priključi tačno u geometrijsku sredinu horizontalnog dela antene.

Sasvim je razumljivo da se L-antene i T-antene za srednje i duge talase mogu uspešno koristiti i kao kratkotalasne prijemne antene. Sve visoke žičane antene moraju posedovati efikasnu gromobransku zaštitu u skladu sa propisima.

29.2.1.2. *L-antene za radio-prijem bez smetnji*

I žičane antene koje su postavljene visoko iznad lokalnog oblaka smetnji mogu primati jake smetnje preko vertikalnog priključnog voda. U takvim slučajevima smetnje se mogu znatno smanjiti ako se antena izgradi kao što je prikazano na sl. 29.3. Za to nisu potrebna velika materijalna sredstva. Transformator T_1 na strani antene sa prenosnim odnosom 5 : 1 pretvara impedancu antene na manju vrednost tako da se prilagodi napojni vod priključen na sekundarni zavojak. Za napojni vod treba koristiti dvožilni vod sa međusobno upredenim žilama. U tu svrhu se može upotrebiti dvožilni gumeni izolovani kabl koji se koristi za mrežne gajtane. Njegova karakteristična impedanca iznosi oko 50 Ω. Takav vod prikuplja vrlo malo smetnji iz svoje okoline.

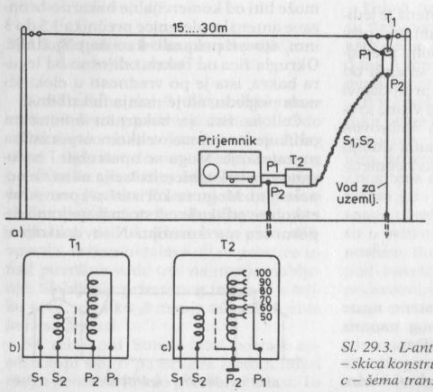
Transformator T_2 na strani prijemnika priključen je kao transformator za podizanje impedance; izvedeni priključci zavojnice omogućavaju najpovoljnije prilagođenje na ulaznu otpornost prijemnika. Ona iznosi oko 2500 Ω za duge i srednje talase.

U svakom transformatoru između primarnog i sekundarnog namotaja nalazi se elektrostatički oklop od lima koji doprinosi smanjenju smetnji, jer smanjuje štetnu kapacitivnu spregu zavojnica.

Transformatori su namotani na tela čiji je prečnik 50 mm, a smešteni su u kućišta, čiji je prečnik najmanje 100 mm. Za to mogu dobro poslužiti kutije od belog lima sa poklopcem. Svi namotaji su lakirane bakarne žice prečnika 0,4 mm.

Kod transformatora T_1 (sl. 29.3b) na telo se prvo namota 100 zavojaka. Zatim sledi elektrostatički oklop napravljen od trake tankog mesinganog lima, široke 25 mm. Njena dužina se odseče tako da se krajevi nalaze na međusobnom razmaku od oko 3,5 mm (lim ne sme predstavljati kratko spojeni namotaj). Oklopni lim spaja se sa uzemljenim krajem namotaja P_2. Ispod i iznad oklopnog lima nalazi se sloj izolacionog papira koji sprečava oštećenje namotaja. Na sredini oklopnog lima namota se sekundarni namotaj od 20 zavojaka. Kućište transformatora T_1 se ne uzemljava.

Kod transformatora T_2 (sl. 29.3c) prvo se na telo namota sekundarni namotaj S_1–S_2 od 20 zavojaka. Zatim sledi elektrostatički oklop. Preko njega se postavlja primarni namotaj, takođe, od 100 zavojaka. Na njemu se nalaze različiti odvojci, kao što je prikazano na slici. Početak namotaja P_2 spojen je sa oklopnim limom, kućištem, vodom za uzemljenje i sa priključnicom za uzemljenje prijemnika. P_1 je vezan sa antenskim priključkom prijemnika. Prijemnik se podesi na slab, udaljeni predajnik, pa se P_1 poveže sa odvojkom namotaja na kome se dobije najjači prijem. Transformator T_2 treba da bude što je moguće bliže ulazu prijemnika.



Sl. 29.3. L-antena za radio-prijem bez smetnji: a – skica konstrukcije, b – šema transformatora T_1, c – šema transformatora T_2

29.2.1.3. *Vertikalne štap-antene sa oklopljenim vodom između antene i prijemnika*

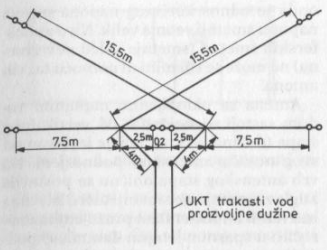
Kod kvalitetnih antenskih postrojenja – naročito kod zajedničkih antena – dovod od antene do prijemnika izvodi se kao oklopljeni vod. To onemogućava sakupljanje smetnji koje su naročito jake u blizini tla gde u gusto naseljenim oblastima postoji visok nivo električnih smetnji. Ako se antenski provodnik nalazi na velikoj visini – dakle izvan lokalnih smetnji – onda je odnos korisnog napona prema naponu smetnji veoma velik. Nivo atmosferskih smetnji (smetnje usled nevremena) ne može se smanjiti ni pomoću takvih antena.

Antena sa oklopljenim napojnim vodom sastoji se, najčešće, od vertikalnog štapa (dužina = 3 m), koji je izolovan od svog nosača antenskim podnožjem. Na vrh antenskog štapa obično se postavlja kugla za smanjenje smetnji usled iskrenja izazvanih atmosferskim pražnjenjima naročito u sparnim letnjim danima. U podnožju antene namenjene za prijem dugih, srednjih i kratkih talasa, nalazi se iskrište za odvod prenapona.

Sa slobodnom dužinom od 3 m antena je čak i u kratkotalasnom području još daleko od četvrttalasne rezonance. To znači da antena u svim područjima predstavlja veliku kapacitivnu reaktancu. Ako bi se na takav antenski provodnik direktno priključio koaksijalni kabl, došlo bi do kapacitivnog deljenja napona između kapacitivnosti antene (oko 30 pF) i kapacitivnosti kabla (oko 80 pF/m). Zbog toga bi se na kraju kabla dobio samo manji deo napojna indukovanog u anteni i to utoliko manji što je kabl duži. Da bi se to izbeglo neophodno je da se velika reaktanca priključne tačke antene transformiše na nižu vrednost i to pomoću odgovarajućeg transformatora. Za to se koriste širokopojasni transformatori namotani na feritna jezgra sa što manjim kapacitetom namotaja. Budući da ulaz radio-prijemnika nije napravljen za priključak koaksijalnog kabla, na kraju napojnog kabla kod predajnika mora se dodati još jedan transformator koji će karakterističnu impedancu koaksijalnog kabla prilagoditi na ulaznu otpornost radio-prijemnika. Transformatori za srednje i duge talase nisu pogodni za prenošenje kratkih talasa. Ako je potreban naročito dobar prijem kratkih talasa, mora se upotrebiti još jedan par transformatora bez feritnog jezgra.

Korisni napon na ulazu prijemnika je mali zbog nedovoljne dužine antene i zbog gubitaka koji se javljaju u transformatorima i dovodnom kablu. Ali pošto je, istovremeno, odnos korisnog napona prema naponu smetnji veliki, najčešće se

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 29.4. Širokopojasni dvostruki dipol za prijem kratkih talasa

može potpuno iskoristiti dobra osetljivost savremenih prijemnika. Čak je i prednost velikog odnosa korisnog napona prema naponu smetnji takvog antenskog postrojenja danas iluzorna, jer se svi savremeni radio-prijemnici opremaju sa ugrađenim feritnim antenama koje se ne mogu isključiti i koje primaju sve smetnje iz okoline. Izuzetak su samo neki specijalni prijemnici.

29.2.1.4. *Širokopojasne KT prijemne antene*

Za prijem kratkih talasa mogu se dobro koristiti svi oblici L-antena i T-antena koje su uobičajene u područjima srednjih i dugih talasa. Ipak, pri tom treba imati u vidu da su duže žičane antene, čija je karakteristika zračenja skoro kružna u srednjetalasnom području, izrazito usmerene kod prijema kratkih talasa.

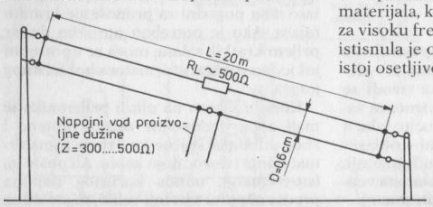
Dvostruki dipol prema amateru *DM2ANM*, čija je širina opsega 2 do 26 MHz, naročito je pogodan za prijem kratkih talasa. Ova antena prima približno kružno i može se priključiti na prijemnik pomoću trakastog voda od 240 Ω proizvoljne dužine (sl. 29.4). Dužine krakova dipola odabrane su tako da se rezonance pojedinačnih dipola preklapaju. Radi postizanja prilagođenja, trakasti vod se razdvoji kod tačaka napajanja (vidi odeljak 6.1). Uglovi pod kojim su postavljeni kraci dipola nisu kritični i biraju se prema lokalnim uslovima.

Dobre prijemne karakteristike antena *T2FD* ističu svi njihovi korisnici (vidi odeljak 12.2). Kao aperiodična antena, ona poseduje veoma veliku širinu opsega koja obuhvata sva KT radio-područja. Pored toga, ona nema izražene smerove ni nulta mesta u dijagramu zračenja, a pogodna je i za prijem srednjih i dugih talasa. U kratkotalasnom području ulazna otpornost radio-prijemnika je reda veličine 600 Ω, pa postoji čak i prilagođenje, jer otpornost u priključnoj tački antene *T2FD* iznosi 300 do 600 Ω u zavisnosti od završnog otpornika R_L. Ne postavljaju se nikakvi zahtevi u pogledu mogućnosti opterećenja završnog otpornika R_L, pa se upotrebljavaju komercijalni UKT slojni otpornici bilo koje snage.

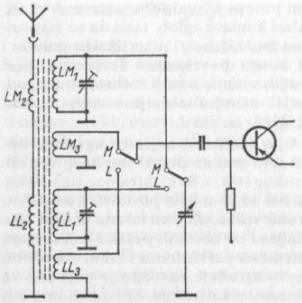
Na sl. 29.5 prikazane su najpovoljnije dimenzije za radio-prijem na kratkim talasima (širina opsega 5 do 25 MHz). Ostali električni i mehanički podaci dati su u odeljku 12.2.

29.2.2. **Feritne štap-antene**

Feritna štap-antena je direktni potomak okvir-antene, koja je imala značajnu ulogu u početnim godinama radio-difuzije, kada je pripadala opremi tadašnjih prenosnih prijemnika i nekih kućnih radio-aparata. Sa razvojem fero-magnetnih materijala, koji su bez gubitaka i pogodni za visoku frekvenciju, feritna štap-antena istisnula je okvirnu antenu. Pri približno istoj osetljivosti i usmerenom dejstvu, feritna antena zauzima samo oko 1/20 prostora potrebnog za okvir-antenu. Ona je zbog toga danas postala integralni deo skoro svih kućnih, prenosnih i džepnih radio-prijemnika.



Sl. 29.5. Širokopojasna antena T2FD (frekventno područje 5 do 25 MHz)



Sl. 29.6. Feritna štap-antena u ulaznom kolu prijemnika

Kao što je prikazano na sl. 29.6, ulazno kolo prijemnika sa feritnom antenom razlikuje se od konvencionalnog ulaznog kola samo po tome što induktivnosti LM_1 i LL_1 zavojnice za spregu sa spoljašnjom antenom LM_2 i LL_2, kao i namotaji za dovod signala na bazu tranzistora LM_3 i LL_3, nisu namotani na uobičajeni nosač zavojnica, već na štap feritne antene. Zavojnice feritne antene izvode se najčešće u obliku jednoslojnog cilindra. U radio-prijemnicima koriste se feritni štapovi za srednje i duge talase. Za prijem kratkih talasa preporučuje se upotreba pomoćne antene, mada postoje i feriti koji su posebno, pogodni za kratke talase. Zavojnice koje se radi podešavanja mogu pomerati po ugrađenom feritnom štapu, predstavljaju istovremeno induktivnost ulaznog kola prijemnika. Zbog toga se feritna antena u većini slučajeva ne može isključiti. U nekim prijemnicima feritna antena je montirana tako da se može obrtati u kućištu, pa se spretnim usmeravanjem ove antene može izbeći prijem signala iz pravca najjačeg izvora smetnji. Dodatna antenska priključnica omogućava upotrebu zajedničke žičane ili pomoćne antene.

U tački 28.4.1 opširnije je opisan način rada i karakteristike okvirnih i feritnih antena. Mada se podaci odnose prvenstveno na goniometarske antene za opseg od 80 m, teoretski nije različita ni primena ovih antena kod radio-prijemnika.

29.2.3. **Auto-antene**

Radio-prijemnik u vozilu smešten je unutar metalne karoserije, u koju mogu prodreti samo veoma oslabljeni visokofrekventni talasi. Zbog toga je za takve prijemne uređaje neizbežna antena koja je montirana izvan karoserije. Najčešće se na probušeni deo karoserije montiraju štap-antene dužine 1 do 2 m u približno vertikalnom položaju. U slučajevima kada nije poželjno bušenje karoserije ili kada je teško izvesti, postoje specijalni tipovi antena za pričvršćenje na prozor automobila ili u žljeb za odvod kiše. Upotrebljavaju se i antene sa jakim permanentnim magnetom u podnožju. One se drže na površinama svih čeličnih karoserija bez ikakvih drugih sredstava za pričvršćenje. Za dovod do prijemnika služe što kraći koaksijalni kablovi malog kapaciteta i karakteristične impedance od oko 180 Ω.

Auto-antene su veoma kratke u odnosu na talasnu dužinu koju primaju, a nalaze se i na malom razmaku od tla. One zbog toga daju samo male prijemne napone. Da bi se ipak omogućio radio-prijem, auto-antena se uvek uključuje u ulazno kolo prijemnika i podešava zajedno sa njim. Zbog različitih kapaciteta antene – u zavisnosti od dužine štapa i dužine kabla – auto-prijemnici imaju antenski trimer, koji se na frekvenciji od oko 600 kHz (antena treba da bude izvučena) podešava na najveću jačinu primljenog zvuka (odnosno na najjači šum prijemnika). Ovo podešavanje može se izvršiti kod najvećeg broja tipova prijemnika samo kada je ukupna kapacitivnost antene manja od 70 pF (kapacitivnost antenskog štapa u odnosu na karoseriju + kapacitivnost unutrašnjeg provodnika prema oklopu dovodnog kabla.

Antenski štap se skoro uvek izrađuje poput teleskopa. Upotrebljavaju se i antenski štapovi od sintetičkog materijala (najčešće poliester smole ojačane staklom) u kojima se nalazi metalna žica koja služi kao antenski provodnik. Oni se ne mogu slomiti, a potpuno se ispravljaju i posle najjačeg naprezanja na savijanje.



Sl. 29.7. Auto-antena sa mogućnošću uvlačenja i zaključavanja



Sl. 29.8. Teleskopska bočna antena sa savitljivim delom

Kod teleskopskih antena razlikujemo one koje se mogu uvući i one koje se ne mogu uvlačiti. Prve se mogu potpuno ugurati u zaštitnu cev ugrađenu u karoseriju. Takve antene se često mogu izvući samo pomoću ključa koji se isporučuje sa njima (sl. 29.7). Druge antene za uvlačenje mogu se sa sedišta vozača izbaciti pomoću ručne poluge ili elektromehaničkim putem. U podnožju antene često se nalazi kuglasti zglob, tako da se štap-antena može dovesti u vertikalan položaj i na kosim površinama karoserije. Kod drugih antena, iz istih razloga, iznad podnožja antene ubačen je savitljiv komad (sl. 29.8).

Auto antena se najčešće ugrađuje ispred leve prečke pored prednjeg vetrobranskog stakla. Sa električnog stanovišta, antena bi se mogla postaviti i na desnu stranu vozila, ali leva strana je ipak više udaljena od obesnih pešaka koji savijaju antenu na parkiranom vozilu. Navedeno mesto ugradnje naročito je pogodno za pontonske karoserije. Antena montirana na tom mestu omogućava i najbolji UKT prijem. Ovu pojavu, koja je na prvi pogled u suprotnosti sa teorijom, prouzrokuju izobličenja polja do kojih dolazi kada horizontalno polarizovani UKT talasi naiđu na metalne površine karoserije. Očigledno je da ta izobličenja polja deluju povoljno na udaljenosti od 10 cm od leve strane vetrobranskog stakla, pa se auto-antena sa vertikalnom polarizacijom na tom mestu nalazi u približno vertikalno polarizovanom polju.

Auto antena se ređe postavlja na krov automobila, jer se izbegava da se on buši, a duži dovodni vod do prijemnika poništava prednost koju pruža slobodan položaj antene.

Montaža antene na zadnjem delu kola ima još veće mane. Budući da dovodni kabl do prijemnika mora biti dugačak do 4 m, prekorači se kapacitivnost koja je dozvoljena na ulazu prijemnika, pa se antenskim trimerom u prijemniku ne može izvršiti podešavanje. Zbog toga se prevelika kapacitivnost antene mora smanjiti na dozvoljenu maksimalnu vrednost od 70 pF, i to pomoću serijskog kondenzatora ugrađenog u antenski utikač. Pri tom se javlja gubitak napona od najmanje 40%. Pokazalo se da nije značajna tvrdnja da antena na stražnjem delu vozila, budući da je udaljenija od motora, prima manje smetnji izazvanih radom sistema za električno paljenje i eksplozijama u motoru, jer je i antena na prednjem delu vozila dobro zaštićena od takvih smetnji metalnom karoserijom.

29.3. **Antene za TV prijem**

Ovo poglavlje sadrži podatke o dimenzijama različitih jednostavnih tipova TV antena, što su želeli mnogi amateri koji vole eksperimentisanje. Tehnika TV antena je u velikoj meri identična sa izgradnjom UKT antena za radio-amatre, pa se njihov način rada ne mora posebno opisivati.

Prema pravilu o reciprocitetu, antena zadržava iste karakteristike bez obzira na to da li se koristi kao predajna ili kao prijemna antena. Prema tome, karakteristike kao što su pojačanje, usmerenost, otpornost priključne tačke antene itd. ostaju iste kod svake antene i u slučaju predaje i u slučaju prijema. Još jednu važnu tvrdnju daje pravilo o sličnosti. On kaže da se antena čije su karakteristike i dimenzije poznate za određenu radnu frekvenciju može dimenzionisati i za bilo koju drugu frekvenciju, pri čemu se ne menjaju njene karakteristične osobine. U praksi se to radi tako što se za sve veličine izračunaju frekventno zavidni faktori za preračunavanje, pa se onda oni koriste za dimenzionisanje antena za druge radne frekvencije. Tako je, npr., moguće preračunati proverenu TV antenu za korišćenje u amaterskom opsegu od 2 m, pa se ta antena koristi i kao predajna antena sa istim karakteristikama.

Međutim, ne sme se zaboraviti da se za dobru prijemnu TV antenu postavljaju drugačiji zahtevi u pogledu njenih karakteristika zračenja nego za antenu namenjenu amaterskim područjima. Kod amaterskih antena daje se prvenstvo pojačanju koje treba da se postigne, po mogućnosti, najviše pomoću smanjenja vertikalnog ugla zračenja. Za amatersku antenu dovoljna je širina opsega od 2 MHz u opsegu od 2 m, a od 4 MHz u području od 70 cm; ne zahteva se veliko povratno slabljenje mali horizontalni ugao zračenja i eliminisanje bočnih snopova. Nasuprot tome, za dobru TV antenu – naročito za TV u boji – zahtevaju se veće širine opsega i bolja usmerenost posebno u horizontalnoj ravni, jer je neophodno efikasno izbegavanje smetnji (refleksija, smetnji na kanalima itd.). Iz tih razloga ne mora značiti da jedan oblik antene, koji se u radio-amaterstvu pokazao kao naročito dobar, uvek predstavlja dobru TV antenu.

Treba još konstatovati da ne postoje čudotvorne antene, tj. nema antena koje uz minimalna sredstva bacaju u senku efikasnost prijema industrijskih antena sa više elemenata. Pojačanje antene uvek je povezano sa prostornim protezanjem njene konstrukcije. Ove zavisnosti detaljno su objašnjene u podtački 3.2.3.3.

Savremene industrijske *jagi*-antene dostigle su trenutno nivo koji amaterski sopstveni razvoj ni u kom slučaju ne može postići ili čak prevazići. Besmisleno je nastojanje da se prijemne karakteristike ovih antena poboljšaju mehaničkim izmenama. Uspeh se može postići samo merama kao što je zamena dotrajalih trakastih vodova i otklanjanje ostalih pojava korozije, podešavanje najpovoljnijeg smera prijema i eventualna promena mesta na koje je postavljena antena.

Za *jagi*-antene koje se radi dobrog pojačanja prvenstveno koriste kao prijemne TV antene važi praktično pravilo da pojačanje napona približno odgovara korenu iz broja elemenata. Prema tome, pojačanje napona, npr., *jagi*-antene od devet elemenata iznosiće $\sqrt{9} = 3$. Trostruko povećanje napona odgovara pojačanju od 9,5 dB. Dakle, odgovara vrednosti koja je potvrđena u praksi. Još jedno praktično pravilo kaže da svako udvostručenje broja elemenata daje porast pojačanja od 3 dB. Kod dužih *jagi*-antena može se približno tačno odrediti zavisnost pojačanja od relativne dužine antene. Pod pojmom relativne dužine antene podrazumeva se dužina horizontalnog nosača antenskih elemenata izražena u odnosu na radnu talasnu dužinu. Prema sl. 22.8 može se odrediti očekivano pojačanje bilo koje *jagi*-antene u zavisnosti od njene relativne dužine.

Kada amater sam gradi TV antenu, ne bi trebalo da odabere komplikovanu uskopojasnu antenu, jer su takvi oblici kritični za dimenzionisanje, a prečnik cevi i nosač elemenata znatno utiču na rezonantne dužine. Pravilno je da se za sopstvenu izgradnju odaberu tipovi antena čija izgradnja nije kritična i čija je širina opsega velika, jer takve antene daju do-

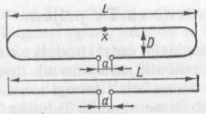
bre rezultate i u slučaju kada se razdese usled uticaja okoline. U ovom poglavlju opisane su TV antene za sopstvenu izgradnju koje su odabrane sa tog stanovišta. Sve navedene *jagi*-antene izgrađuju se potpuno od metala, tj. za učvršćenje elemenata upotrebljen je metalni nosač, na koji se direktno pričvršćuje sredina svakog elementa. Prečnik elemenata može biti 8 do 12 mm, ukoliko nije navedeno drugačije. Pri tom je svejedno da li se koriste cevi ili pun materijal. Mogu se upotrebiti i profili ili trake od aluminijumske legure. Sve antene prikazane su sa horizontalnom polarizacijom.

29.3.1. **Antena sa jednim elementom**

Kod dobrih uslova prijema često je dovoljan rezonantni pruženi ili savijeni polutalasni dipol. U opštem slučaju njemu se pripisuje pojačanje od 0 dB, pa se onda koristi kao referentna antena za upoređivanje antena.

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje 0 dB, povratno slabljenje 0 dB, otpornost priključne tačke 60 Ω (pruženi dipol), odnosno 240 Ω (savijeni dipol), horizontalni ugao zračenja oko 80°, vertikalni ugao zračenja 360°.



Sl. 29.9. Skica za dimenzionisanje dipola sa jednim elementom prema tabeli 29.1

U tabeli 29.1 navedene su rezonantne dužine dipola za VVF TV područja prema CCIR i OIRT propisima. Podaci se odnose na sl. 29.9.

Razmak tačaka napajanja a nije kritičan. On može iznositi između 10 i 30 mm. Udaljenost d kod savijenih dipola dimenzioniše se u opsezima E–2 do E–4, odnosno R–I do R–V sa 100 mm ± 20%. U visokofrekventnim opsezim E–5 do E–12 i R–VI do R–XII bira se *d* 50 mm ± 10%. Savijeni dipol se sme uzemljiti u tački označenoj sa X.

29.3.2. **Antena sa dva elementa**

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje antene 4 dB, povratno slabljenje 8 dB, impedanca priključne tačke 240 Ω simetrična, relativna dužina antene 0,27 λ, horizontalni ugao zračenja 75°, vertikalni ugao zračenja 140°.

Tabela 29.1

REZONANTNE DUŽINE PRUŽENIH I SAVIJENIH DIPOLA PREMA sl. 29.9. ZA VVF TV

Kanali prema CCIR	Dužina *L*	Kanali prema OIRT	Dužina *L*
E- 2 (47 ... 54 MHz)	2850	R-I (48,5 ... 56,5 MHz)	2760
E- 3 (54 ... 61 MHz)	2500	R-II (58 ... 66 MHz)	2340
E- 4 (61 ... 68 MHz)	2230	R-III (76 ... 84 MHz)	1820
E- 5 (174 ... 181 MHz)	808	R-IV (84 ... 92 MHz)	1650
E- 6 (181 ... 188 MHz)	780	R-V (92 ... 100 MHz)	1500
E- 7 (188 ... 195 MHz)	750	R-VI (174 ... 182 MHz)	800
E- 8 (195 ... 202 MHz)	722	R-VII (182 ... 190 MHz)	770
E- 9 (202 ... 209 MHz)	696	R-VIII (190 ... 198 MHz)	736
E-10 (209 ... 216 MHz)	675	R-IX (198 ... 206 MHz)	705
E-11 (216 ... 223 MHz)	655	R-X (206 ... 214 MHz)	680
E-12 (223 ... 230 MHz)	632	R-XI (214 ... 222 MHz)	655
		R-XII (222 ... 230 MHz)	635

Svi podaci dati su u mm.

Tabela 29.2.

DIMENZIJE ZA ANTENU SA DVA ELEMENTA PREMA SL. 29.10

Kanali CCIR	dužine *L*	*R*	razmak *A*	kanali OIRT	dužine *L*	*R*	razmak *A*
E-2	2710	3040	1640	R-I	2640	2960	1600
E-3	2380	2550	1440	R-II	2200	2480	1340
E-4	2100	2350	1290	R-III	1680	1900	1000
E-5	733	938	430	R-IV	1550	1720	900
E-6	707	902	415	R-V	1400	1580	840
E-7	680	870	400	R-VI	730	932	428
E-8	656	840	388	R-VII	700	894	410
E-9	635	810	375	R-VIII	670	856	395
E-10	608	785	362	R-IX	645	825	380
E-11	597	760	352	R-X	622	795	368
E-12	575	738	340	R-XI	600	766	355
				R-XII	576	740	342

Svi podaci dati su u mm.

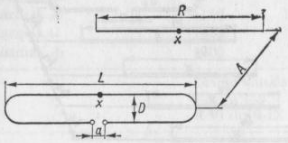
Cela konstrukcija je od metala, tačke za uzemljenje i za učvršćenje označene su sa X (sl. 29.10). Prečnik metalnog nosača elemenata je 25 mm ± 30%. Razmaci a i d su kao što je dato u tački 29.3.1. Podaci u tabeli 29.2 odnose se na sl. 29.10.

29.3.3. *Jagi*-**antena sa tri elementa**

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje antene 5 dB, povratno slabljenje 12 dB, impedanca priključne tačke 240 Ω simetrično, relativna dužina antene oko 0,24 λ, horizontalni ugao zračenja 70°, vertikalni ugao zračenja 120°.

Cela konstrukcija je od metala, tačke za uzemljenje i učvršćenje označene su sa X (sl. 29.11). Prečnik metalnog nosača elemenata je 20 mm ± 20%. Razmaci a i d su kao što je dato u tački 29.3.1. Podaci u tabeli 29.3 odnose se na sl. 29.11.

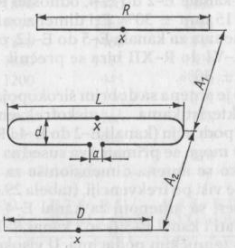


Sl. 29.10. Skica za dimenzionisanje antene sa dva elementa prema tabeli 29.2

29.3.4. *Jagi*-**antena sa četiri elementa**

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje antene 6 dB, povratno slabljenje 14 dB, impedanca priključne tačke 240 Ω simetrično, relativna dužina antene 0,6 λ, horizontalni ugao zračenja 65°, vertikalni ugao zračenja 95°.



Sl. 29.11. Skica za dimenzionisanje jagi-antene sa tri elementa prema tabeli 29.3

Tabela 29.3.

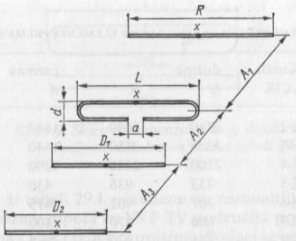
DIMENZIJE ZA JAGI-ANTENE SA TRI ELEMENTA PREMA SL. 29.11

Kanali CCIR	Dužine *L*	*R*	*D*	Razmaci *A*1	*A*2
E-2	2800	3400	2480	880	530
E-3	2450	2970	2170	770	470
E-4	2170	2630	1930	670	410
E-5	845	970	705	264	210
E-6	815	930	677	255	205
E-7	785	895	650	245	195
E-8	758	867	630	240	190
E-9	733	835	610	230	180
E-10	710	810	590	220	175
E-11	690	785	570	215	170
E-12	670	760	555	208	165
OIRT					
R-I	2720	3300	2420	850	510
R-II	2280	2770	2020	700	430
R-III	1750	2140	1560	550	340
R-IV	1580	1920	1400	490	310
R-V	1440	1750	1290	460	280
R-VI	840	970	705	265	210
R-VII	810	923	670	255	205
R-VIII	775	885	645	240	195
R-IX	745	850	620	232	185
R-X	718	820	598	225	180
R-XI	685	790	575	217	170
R-XII	670	765	555	210	165

Svi podaci dati su u mm.

Cela konstrukcija je od metala, tačke za uzemljenje i za učvršćenje označene su sa X (sl. 29.12). Prečnik svih elemenata iznosi za kanale E–2 do E–4, odnosno R–I do R–V 15 mm ± 30%. Pri dimenzionisanju elemenata za kanale E–5 do E–12, odnosno R–VI do R–XII bira se prečnik od 11 mm ± 30%.

To je antena sa dobrim širokopojasnim karakteristikama. U niskofrekventnom VVF području (kanali E–2 do E–4 i R–I do R–V) mogu se primati dva susedna kanala, ako se antena dimenzioniše za kanal koji je viši po frekvenciji, (tabela 29.4). Na primer, sa antenom za kanal E–4 može primati i kanal E–3 (kao i kanal R–II) pri istim tehničkim podacima. U visokofrekventnom VVF području (kanali E–5 do E–12 i R–VI do R–XII) širina opsega je



Sl. 29.12. Skica za dimenzionisanje jagi-antene sa četiri elementa prema tabeli 29.4

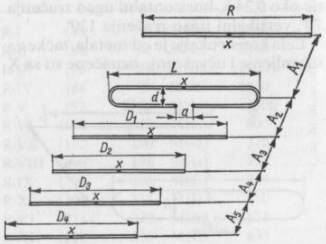
dovoljna čak i za najmanje tri susedna kanala, pri čemu se, takođe, dimenzionisanje mora odabrati za kanal sa najvišom frekvencijom. Na primer, antena za kanal E–8 može primati i kanale E–7 i E–6, kao i R–VIII, R–VII i R–VI. Takve antene nazivaju se antene za grupe kanala.

29.3.5. *Jagi*-**antena sa šest elemenata za grupe kanala**

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje antene 8 dB, povratno slabljenje 15 dB, impedanca priključne tačke 240 Ω simetrično, relativna dužina antene 0,9 λ, horizontalni ugao zračenja 55°, vertikalni ugao zračenja 73°.

Cela konstrukcija je od metala, tačke za



Sl. 29.13. Skica za dimenzionisanje jagi-antena sa šest elemenata prema tabeli 29.5

Tabela 29.4

DIMENZIJE ZA JAGI-ANTENE SA 4 ELEMENTA PREMA SL. 29.12

Kanali CCIR	Dužine *L*	*R*	*D*1	*D*2	Razmaci *A*1	*A*2	*A*3
E-2	3100	3600	2500	2450	1630	430	1320
E-3	2740	3200	2220	2180	1440	380	1180
E-4	2450	2870	1970	1940	1300	360	1040
E-5	925	1080	745	735	490	130	400
E-6	890	1040	720	705	470	125	385
E-7	860	1000	690	680	455	120	370
E-8	830	965	670	660	440	115	355
E-9	800	935	645	635	425	112	345
E-10	775	905	625	615	410	110	335
E-11	750	875	605	595	395	105	325
E-12	725	850	590	580	385	100	315
OIRT							
R-I	2950	3460	2400	2350	1550	400	1280
R-II	2530	2960	2040	2000	1330	360	1100
R-III	1980	2320	1620	1570	1050	280	850
R-IV	1820	2120	1470	1440	950	260	780
R-V	1670	1940	1350	1320	870	230	720
R-VI	920	1075	744	730	485	130	395
R-VII	880	1030	710	700	465	125	380
R-VIII	845	985	684	670	445	120	365
R-IX	810	948	655	645	430	114	350
R-X	780	915	630	620	415	110	340
R-XI	752	880	610	600	400	106	325
R-XII	726	850	588	577	385	102	315

Svi podaci dati su u mm.

Tabela 29.5.

DIMENZIJE ZA JAGI-ANTENE SA ŠEST ELEMENATA ZA GRUPE KANALA PREMA SL. 29.13

	Grupe kanala(E- =CCIR, R- = OIRT)				
	R-I E-2 E-3	R-II E-3 E-4	R-II E-4 FM-OIRT	R-III R-IV	R-IV R-5 FM-CCIR
Dužina *L*	2600	2340	2200	1720	1580
Dužina *R*	3130	2800	2630	2070	1900
Dužina *D*1	2220	1990	1870	1470	1350
Dužina *D*2	2240	2010	1890	1485	1365
Dužina *D*3	2210	1980	1860	1460	1345
Dužina *D*4	2170	1945	1830	1435	1320
Razmak *A*1	1430	1280	1200	945	870
Razmak *A*2	348	312	295	230	212
Razmak *A*3	1150	1030	965	765	705
Razmak *A*4	1010	900	843	665	615
Razmak *A*5	1100	985	920	730	670
	Grupe kanala E-5 do E-9 R-VI do R-IX	E-6 do E-10 R-VII do R-X	E-7 do E-11 R-VIII do R-XI	E-8 do E-12 R-IX do R-XII	
Dužina *L*	735	721	700	678	
Dužina *R*	883	866	839	812	

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Dužina D_1	628	616	598	580
Dužina D_2	638	623	603	584
Dužina D_3	622	613	594	576
Dužina D_4	617	602	584	566
Razmak A_1	404	396	384	372
Razmak A^2	98	96	93	90
Razmak A_3	327	318	310	300
Razmak A_4	285	280	270	262
Razmak A_5	311	305	295	286

Svi podaci dati su u mm.

Tabela 29.6.

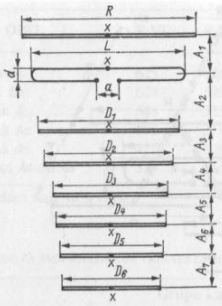
DIMENZIJE ZA JAGI-ANTENE SA OSAM ELEMENATA PREMA SL. 29.14

Kanali CCIR	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
Dužina L	772	742	715	690	665	644	622	602
Dužina R	882	854	824	796	768	750	722	695
Dužine D_1 di D_8	712	684	660	635	612	596	578	556
Razmak A_1	274	264	255	246	237	230	223	216
Razmak A_2	174	168	162	156	150	145	141	137
Razmak A_3	246	237	228	221	212	205	198	193
Razmak A_4	163	156	150	145	140	136	132	128
Razmak A_5	178	171	165	159	154	148	143	139
Razmak A_6	191	183	175	168	164	158	153	149
Razmak A_7	211	203	195	188	182	177	171	165
Kanali OIRT		R-VI	R-VII	R-VIII	R-IX	R-X	R-XI	R-XII
Dužina L		768	733	704	675	650	627	604
Dužina R		886	845	813	780	750	723	697
Dužine D_1 do D_6		708	676	650	623	600	578	558
Razmak A_1		274	262	251	241	232	224	216
Razmak A_2		173	166	159	153	147	142	137
Razmak A_3		246	234	225	216	208	200	193
Razmak A_4		162	155	148	142	137	132	128
Razmak A_5		177	169	162	156	150	145	139
Razmak A_6		190	180	173	166	160	154	149
Razmak A_7		210	201	193	185	178	172	165

Svi podaci dati su u mm.

uzemljenje i za učvršćenje obeležene su sa X (sl. 29.13). Prečnik svih elemenata iznosi 11 mm ± 30%. Za prečnik nosača elemenata nema strogog propisa, on se bira prema mehaničkim zahtevima.

Širina opsega ove antene za grupu kanala prekriva u niskofrekventnom delu VVF područja najmanje dva susedna TV kanala, pri čemu se dimenzioniše za rezonancu na kanalu čija je frekvencija viša. Iz mehaničkih razloga ovakva antena sa šest elemenata predstavlja najviše što se može izgraditi u sopstvenoj režiji za opseg I. Položaj FM radio-difuzije u OIRT raspodeli frekvencije omogućava da se dimenzionisana antena koristi, prema potrebi za FM radio-difuziju i za susedni TV kanal. Takve kombinacije uzete su u obzir u tabeli 29.5. U visokofrekventnom VVF području širina opsega iznosi najmanje pet susednih kanala. To znači da su za celo područje dovoljna četiri dimenzionisanja koja se međusobno preklapaju.



Sl. 29.14. Skica za dimenzionisanje jagi-antene sa osam elemenata prema tabeli 29.6

29.3.6. *Jagi*-antene sa osam elemenata

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje antene 9,5 dB, povratno slabljenje 15 dB, impedanca priključne tačke 240 Ω simetrično, relativna dužina antene 0,87 λ, horizontalni ugao zračenja 48°, vertikalni ugao zračenja 57°.

To je tipična antena za jedan kanal sa relativno velikim pojačanjem. Svi direktori su iste dužine. Cela konstrukcija je od metala, tačke za uzemljenje i za učvršćenje označene su sa X (sl. 29.14). Prečnik svih elemenata iznosi 10 mm ± 20%. Preporučuje se da prečnik metalnog nosača elemenata bude 20 mm ± 20%.

29.3.7. *Jagi*-antena sa devet elemenata

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje antene 11 dB, povratno slabljenje 18 dB, impedanca priključne tačke 240 Ω simetrično, relativna dužina antene 1,6 λ (tip dugačke *jagi*-antene), horizontalni ugao zračenja 40°, vertikalni ugao zračenja 50°.

Cela konstrukcija je od metala, tačke za uzemljenje i za učvršćenje označene su sa X (sl. 29.15). Prečnik svih elemenata iznosi 10 mm ± 20%. Prečnik nosača elemenata iznosi 20 do 25 mm.

29.3.8. *Jagi*-antena sa trinaest elemenata za grupe kanala

Osnovu ove dugačke *jagi*-antene predstavlja *jagi*-antena sa šest elemenata za grupu kanala koja je opisana u tački 29.3.5. Kao proširenje dodata su dva reflektora radi povećanja povratnog slabljenja, kao i pet direktora. Relativno velika širina opsega osnovne antene zadržana je u potpunosti.

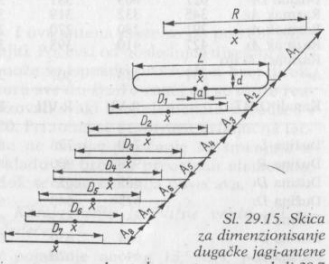
Budući da se radi o anteni koja je sastavljena iz delova, mogu se izostaviti i oba dodatna reflektora i potreban broj direktora sve do veličine osnovne antene (šest elemenata). Međutim, antena se može i povećati dodavanjem još direktora. Dužina dodatnih direktora treba da bude ista kao D_9, a i svi razmaci direktora treba da budu kao A_{10}. Povećanjem antene na 17 elemenata pojačanje raste na 12,5 dB. Ako se antena smanji, npr., na osam elemenata, pojačanje opada na 9 dB.

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

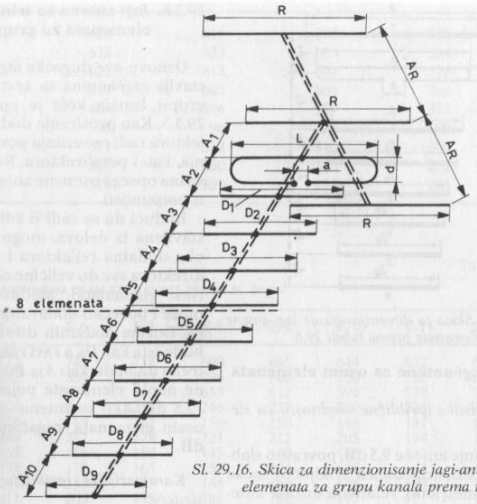
pojačanje antene 11,5 dB, povratno slabljenje 23 dB, impedanca priključne tačke 240 Ω simetrično, relativna dužina antene 3,4 λ, horizontalni ugao zračenja 40°, vertikalni ugao zračenja 44°.

Cela konstrukcija je od metala, tačke za uzemljenje i učvršćenje označene su sa X (sl. 29.16). Prečnik svih elemenata iznosi 11 mm ± 30%. Prečnik metalnog nosača elemenata nije kritičan i može da bude 20 do 30 mm.

Sve vrednosti date su u mm.



Sl. 29.15. Skica za dimenzionisanje dugačke jagi-antene sa devet elemenata prema tabeli 29.7



Sl. 29.16. Skica za dimenzionisanje jagi-antene sa 13 elemenata za grupu kanala prema tabeli 29.8

Tabela 29.7

DIMENZIJE ZA DUGAČKU JAGI-ANTENU SA DEVET ELEMENATA PREMA SL. 29.15.

Kanali CCIR	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12
Dužina L	762	734	707	682	661	637	613	597
Dužina R	943	908	875	843	815	788	763	735
Dužina D_1	689	663	639	616	595	575	557	539
Dužina D_2	678	652	628	606	585	566	648	531
Dužina D_3	672	647	623	601	580	561	542	526
Dužina D_4	661	636	612	591	571	552	534	518
Dužina D_5	650	625	602	581	561	542	525	509
Dužina D_6	638	614	590	571	551	533	516	500
Dužina D_7	627	603	581	561	542	523	507	491
Razmak A_1	345	332	319	308	298	288	279	270
Razmak A_2	291	280	270	260	251	243	235	228
Razmak A_3	427	410	395	381	368	356	345	334
Razmaci A_4 do A_8	331	318	307	296	286	276	268	260
Kanali OIRT		R-VI	R-VII	R-VIII	R-IX	R-X	R-XI	R-XII
Dužina L		760	726	698	672	646	620	598
Dužina R		938	900	862	828	795	763	735
Dužina D_1		685	655	628	604	580	558	539
Dužina D_2		675	648	620	595	573	550	531
Dužina D_3		665	642	615	590	568	546	526
Dužina D_4		658	630	604	580	558	537	518
Dužina D_5		646	620	594	570	548	528	509

Kanali OIRT	R-VI	R-VII	R-VIII	R-IX	R-X	R-XI	R-XII
Dužina D_6	625	610	585	561	540	520	500
Dužina D_7	624	599	574	551	530	510	491
Razmak A_1	348	333	317	302	292	280	270
Razmak A_2	289	278	266	256	246	238	228
Razmak A_3	425	408	390	375	360	346	334
Razmaci A_4 do A_8	328	316	302	288	278	270	260

Svi podaci dati su u mm.

Tabela 29.8.

DIMENZIJE ZA JAGI-ANTENE SA TRINAEST ELEMENATA ZA GRUPE KANALA PREMA sl. 29.16

	Grupe kanala E-5 do E-9 R-VI do R-IX	E-6 do E-10 R-VII DO R-X	E-7 do E-11 R-VIII do R-XI	E-8 do E-12 R-IX do R-XII
Dužina L	735	721	700	678
Dužina R	883	866	839	812
Dužina D_1	628	616	598	580
Dužina D_2	638	632	603	584
Dužina D_3	622	613	594	576
Dužina D_4	617	602	584	566
Dužina D_5	595	580	563	548
Dužina D_6	575	561	543	528
Dužina D_7	553	540	524	508
Dužina D_8	532	518	504	490
Dužina D_9	532	518	504	490
Razmaci A_R	220	214	208	203
Razmak A_1	404	396	384	372
Razmak A_2	98	96	93	90
Razmak A_3	327	318	310	300
Razmak A_4	285	280	270	262
Razmak A_5	311	305	295	286
Razmaci A_6 do A_{10}	311	305	295	285

Sve vrednosti date su u mm.

29.3.9. *Jagi*-antena sa 20 elemenata za grupe kanala

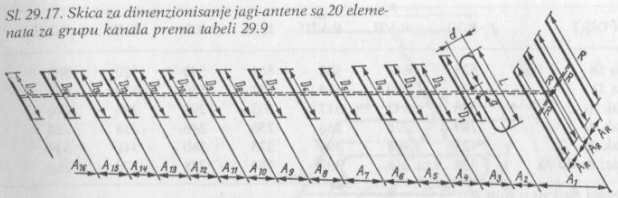
Širina opsega ove snažne antene sa 20 elemenata je tako velika da se visokofrekventno VVF TV područje može pokriti samo sa 2 dimenzionisanja. Ovaj oblik antene može se koristiti i kao antena za područje kanala E–5 do E–12 i R–VI do R–XII, ako se odaberu dimenzije za kanal E–9 do E–12, odnosno R–IX do R–XII iz tabele 29.9. Tada se mogu primati svi kanali, s tim što se samo na kanalu E–5, odnosno R–IV, pojačanje malo smanjuje.

I ova antena može se po potrebi smanjiti. Počevši od poslednjeg direktora D_{15} može se ispustiti proizvoljan broj direktora sve do D_3. To znači da se može realizovati svaki broj elemenata između 8 i 20. Pri tome se otpornost priključne tačke ne menja; pojačanje se smanjuje u skladu sa brojem preostalih elemenata, dok se ugao zračenja povećava.

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje antene 15,5 dB, povratno slabljenje 27 dB, impedanca priključne

Sl. 29.17. Skica za dimenzionisanje jagi-antene sa 20 elemenata za grupu kanala prema tabeli 29.9



tačke 240 Ω simetrično, relativna dužina antene 4 λ, horizontalni ugao zračenja 26°, vertikalni ugao zračenja 27°. Cela konstrukcija je od metala (sl. 29.17). Četiri reflektora služe za veće povratno slabljenje. Prečnik svih elemenata je 10 mm ± 20%. Prečnik metalnog nosača elemenata je 20 do 30 mm.

Tabela 29.9.

DIMENZIJE ZA JAGI-ANTENE SA 20 ELEMENATA ZA GRUPE KANALA PREMA sl. 29.17

	Grupe kanala E-5 do E-8 R-VI do R-IX	E-9 do E-12 R-IX do R-XII
Dužina L	844	743
Dužina R	1055	928
Dužina D_1	642	564
Dužina D_2	621	547
Dužina D_3	609	535
Dužine D_4 do D_7	604	530
Dužina D_8 do D_{15}	590	520
Razmak A_1	232	204
Razmak A_2	112	98
Razmak A_3	136	120
Razmak A_4	445	395
Razmaci A_5 do A_{16}	422	372
Ratmaci A_R	226	199

Sve vrednosti date su u mm.

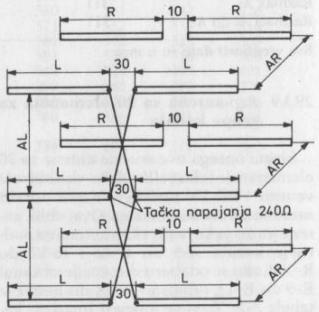
29.3.10. TV grupne antene

U visokofrekventnom delu VVF TV opsega (III CCIR opseg), pored *jagi*-antena značajne su i grupne antene. Grupne antene su kombinacija jednotalasnih dipola, koje se postavljaju ispred reflektora – a ponekad i ispred reflektorskih zidova (vidi poglavlje 23). To su antene sa poprečnim zračenjem koje se nazivaju i *fazne antene*. One se pretežno koriste kada nema refleksija prijemnog signala i kada nije potrebno oštro usnopljavanje u horizontalnoj ravni.

Grupne antene su širokopojasne, pa su zbog toga pogodne za prijem više TV kanala. Postoji mnogo mogućnosti za izgradnju grupnih antena, ali je odabrana grupna antena od 12 elemenata, koja je dimenzionisana za grupe kanala E–5 do E–8, odnosno R–IV do R–IX i E–9 do E–12, odnosno R–IX do R–XII, kao što je navedeno u tabeli 29.10. Svi potrebni tehnički detalji nalaze se u poglavlju 23.

Neosporno je da grupne antene imaju velike prednosti u električnom pogledu, ali se ipak moraju navesti i neke važne mehaničke poteškoće.

One se ne mogu izraditi potpuno od metala kao *jagi*-antene. Polovine elemenata moraju se učvrstiti u mestima njihovog naponskog minimuma koja su za λ/4 udaljena od njihovih krajeva. Međutim, čak i tada elementi moraju biti izolovani od svojih nosača. Osim toga, grupne antene uvek imaju veću površinu izloženu uticaju vetra, pa im je zbog toga potrebna naročito stabilna konstrukcija. Grupna antena se danas sve češće zamenjuje *jagi*-antenama u više etaža i *jagi*-grupama.



Sl. 29.18. Skica grupne antene od 12 elemenata prema tabeli 29.10

Tabela 29.10

DIMENZIJE ZA GRUPNU ANTENU OD 12 ELEMENATA PREMA sl. 29.17

	Grupe kanala E–5 DO E-8 R-VI do R-IX	E-9 do E-12 R–IX do R-XII
Dužine L	708	620
Dužine R	800	700
Razmak etaža A_L	790	685
Razmak reflektora A_R	242	210

Svi podaci dati su u mm.

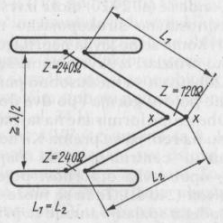
29.3.11. TV *jagi*-antene u više etaža

Prednosti plitkog zračenja (mali vertikalni ugao zračenja) grupne antene mogu se postići svakom *jagi*-antenom tako što se *jagi*-antene postave u dva ili više nivoa vertikalno jedna iznad druge. Jednostavna mehanička konstrukcija potpuno metalne *jagi*-antene i osobina da grupne antene zrače plitko spajaju se u efikasnu i ekonomičnu kombinaciju. *Jagi*-antene u više etaža zahtevaju samo jedan vertikalni noseći stub (suprotno grupnoj anteni) na koji se pričvršćuju pojedine *jagi*-etaže. Osim toga, nisu potrebni nikakvi izolatori.

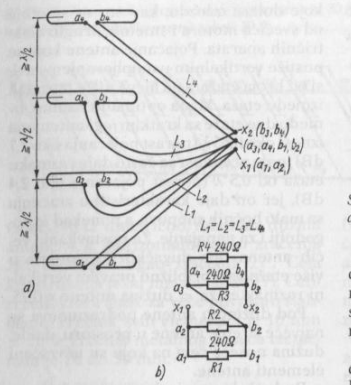
Ako se dve ili više jednakih horizontalno polarizovanih antena postave u etaže jedna iznad druge javlja se usnopljenje u vertikalnoj ravni. Postavljanje u etaže ne utiče na horizontalni ugao zračenja. Antene u više etaža preporučuju se naročito na prijemnim mestima gde postoji veliki nivo lokalnih smetnji. Zbog malog vertikalnog ugla zračenja antena ne prima ili sa velikim slabljenjem prima sve smetnje koje dolaze odozdo, kao što su smetnje od svećica motora i smetnje drugih električnih aparata. Pojačanje antene koje se postiže vertikalnim usnopljavanjem zavisi od broja etaža, a na njega utiče i razmak između etaža. Mada optimalni razmak između dve etaže sa kratkim *jagi*-antenama iznosi oko 0,65 λ (porast pojačanja oko 2,7 dB) ipak, prednost se često daje razmaku etaža od 0,5 λ (porast pojačanja oko 2,4 dB), jer on daje karakteristiku zračenja sa malo bočnih snopova, a ponekad je pogodniji i za napajanje. Za postavljanje većih antena tipa dugačkih *jagi*-antena u više etaža važi približno pravilo: vertikalni razmak etaža = dužina antene × 0,75.

Pod dužinom antene podrazumeva se najveće širenje antene u prostoru, dakle, dužina noseće cevi na koju su učvršćeni elementi antene.

Budući da sve *jagi*-antene za koje su date tabele dimenzija za izgradnju imaju otpornost priključne tačke od 240 Ω, one se mogu međusobno spojiti simetričnim vodom od 240 Ω, proizvoljne dužine koja zavisi od odabranog razmaka etaža. U geometrijskoj sredini tog spojnog voda priključuje se napojni vod od 240 Ω (sl. 29.19). Na tom mestu paralelno su spojene otpornosti priključnih tačaka obe antene (od po 240 Ω), pa se u centralnoj priključnoj tački dobije impedanca od 120 Ω. To znači da ne postoji prilagođenje ako se signal do prijemnika vodi pomoću voda od 240 Ω. Zbog toga se izgubi oko 6% napona (0,5 dB), što je približno ista vrednost koja se gubi i sa elementom za



Sl. 29.19. Dve horizontalne antene postavljene u dve vertikalne etaže na proizvoljnom razmaku ⩾ λ/2 (nacrtani su samo napajani savijeni dipoli)



Sl. 29.20. Pravilno povezivanje u pogledu impedance i faze četiri antene, koje su postavljene u četiri etaže, vertikalno jedna iznad druge: a – šema spajanja, b – ekvivalentna šema

transformaciju. Budući da se ne javlja veće pogoršanje prijema i da se ne sužava širina opsega za TV prijemne antene sa kratkim vodovima do prijemnika može se preporučiti jednostavan, neprilagođen način napajanja. Trakasti vod koji spaja obe etaže ne sme se uvrnuti, tj. moraju se međusobno spojiti levi priključci u gornjoj i donjoj etaži, jer bi se u suprotnom slučaju dobilo napajanje u protivfazi, a time i sasvim »iskrivljen« dijagram zračenja.

Ako četiri iste *jagi*-antene treba međusobno spojiti na proizvoljnom razmaku etaža, onda se (sl. 29.20) može izvršiti veoma jednostavno širokopojasno napajanje, pri kome se ne javlja neprilagođenje. Kao što proizlazi iz ekvivalentne šeme na sl. 29.20b, uvek su međusobno paralelno spojene po dva gornja i po dva donja nivoa. Obe grupe formirane na taj način vezane su na red, pa se prema Kirhofovom zakonu u centralnoj tački napajanja X_1–X_2 opet javlja otpornost pojedinačnog nivoa (240 Ω). Tada se može izvršiti prilagođeno spajanje antene sa prijemnicima pomoću voda od 240 Ω. Na sl. 29.21 prikazana je varijanta grupe od četiri antene, koje su pravilno u pogledu impedance i faze, po istom principu priključene za širokopojasno napajanje. Da bi se sve etaže pobuđivale u fazi, treba voditi računa o sledećim pravilima:

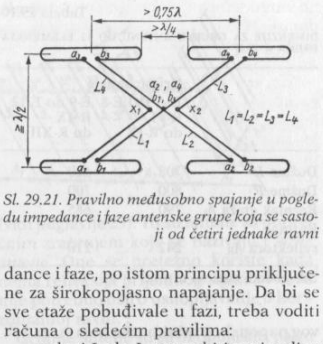
– vodovi L_1 do L_4 mogu biti proizvoljne dužine, ali ta dužina mora biti jednaka kod svih tih vodova ($L_1=L_2=L_3=L_4$);

– karakteristična impedanca vodova mora odgovarati otpornosti priključne tačke pojedine etaže. Budući da je otpornost tačke napajanja opisanih antena 240 Ω, vodovi L_1 do L_4 izrađuju se od komercijalnog voda od 240 Ω;

– treba voditi računa da se vodovi pravilno priključe, a i b se ni u kom slučaju ne smeju zameniti (obeležiti žile).

Radi bolje preglednosti na primerima međusobnog spajanja nacrtani su samo napajani savijeni dipoli.

Ako je potrebna transformacija otpornosti tačke napajanja, najbolje je da se upotrebi četvrttalasni transformator prema odeljku 6.5 ili četvrttalasni vod za prilagođenje prema odeljku 6.6.

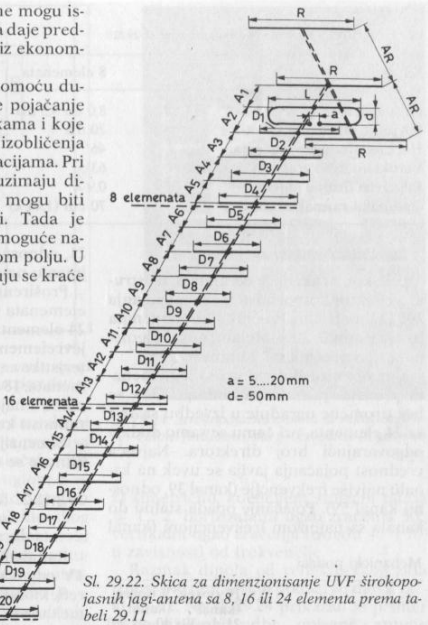


Sl. 29.21. Pravilno međusobno spajanje u pogledu impedance i faze antenske grupe koja se sastoji od četiri jednake ravni

29.3.12. UVF TV antene

IV i V UVF TV opseg proteže se na području talasnih dužina od 63 cm pa do 38 cm. Iz toga proizlazi da je dužina antenskih elemenata u IV i V opsegu samo oko 1/3 dužine elemenata u III opsegu (CCIR). Antene zbog toga uzimaju samo oko 1/3 napona. To znači da antena u IV opsegu zaostaje za oko 9 dB za istom antenom u III opsegu. Ova okolnost, zajedno sa činjenicom da u UVF području već i male prepreke izazivaju jake refleksije, skoro uvek zahteva oštro usmerene snažne antene. Dugačke *jagi*-antene mogu ispuniti ove zahteve, pa se njima daje prednost, kako iz tehničkih tako i iz ekonomskih razloga.

Ponekad se događa da se pomoću dugačke *jagi*-antene ne postigne pojačanje koje se navodi u karakteristikama i koje je izmereno. Uzrok tome su izobličenja polja na nekim prijemnim lokacijama. Pri tome, pojedini naponi koje uzimaju direktori dugačkih *jagi*-antena mogu biti međusobno fazno pomereni. Tada je ukupni napon uvek manji od moguće najveće vrednosti u ravnomernom polju. U takvim slučajevima preporučuju se kraće *jagi*-antene u etažama ili da se pređe na širokopojasne specijalne oblike antena male dužine (antene sa poprečnim zračenjem). Ove poslednje su dobre i kao sobne ili tavanske antene.



Sl. 29.22. Skica za dimenzionisanje UVF širokopojasnih jagi-antena sa 8, 16 ili 24 elementa prema tabeli 29.11

29.3.12.1. *UVF jagi–antene*

UVF *jagi*-antene ne razlikuju se po konstrukciji od *jagi*-antena za VVF TV područje. Njihova širina opsega je uvek dovoljna za više susednih kanala, a danas se već mogu konstruisati i UVF jagi-antene čija širina opsega prekriva celo IV/V područje. Pri tome, pojačanje antene malo opada od kanala najviše frekvencije prema kanalu najniže frekvencije.

Prilikom montaže UVF *jagi*-antene treba naročito voditi računa o tome da se vertikalni noseći stub antene ne sme jednostavno pričvrstiti u težištu antene, bočno na nosač elemenata, kao kod VVF *jagi*-antena. Posledica toga bilo bi znatno pogoršanje karakteristika antene. Zbog toga se u UVF područjima treba pridržavati načina montaže industrijskih antena. Kod njih se kratke *jagi*-antene obično pričvršćavaju iza reflektora ispred stuba, dok se dugačke *jagi*-antene obično spajaju sa nosećim stubom pomoću donjeg držača (vidi sl. 24.1).

Opisane UVF *jagi*-antene sa 8, 16 i 24 elemenata ispunjavaju sve uslove za samostalnu amatersku izgradnju. To su antene za celo područje koje obezbeđuju dobar prijem TV u boji, a mogu se, po potrebi, izvesti i u etažama. Optimalni razmaci etaža za maksimalno pojačanje dati su za svaki stepen gradnje.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Tabela 29.11

UVF JAGI-ANTENA SA 8, 16 i 24 elemenata prema sl. 29.22

Karakteristike	8 elemenata	16 elemenata	24 elemenata
Pojačanje antene	8,0 do 9,5 dB	12 do 13,5 dB	15 do 17 dB
Povratno slabljenje	20 dB	23 dB	28 dB
Horizontalni ugao zračenja	46°	33°	22°
Vertikalni ugao zračenja	63°	36°	23°
Relativna dužina antene	0,9 λ	3,4 λ	5,8 λ
Optimalni razmak etaža	70 cm (1,44 λ)	97 cm (2,0 λ)	140 cm (2,88 λ)

Zajednički podaci su:

cela konstrukcija je od metala, trostruki reflektor, otpornost tačke napajanja 240 Ω simetrično. Prečnik svih elemenata iznosi 9 mm ± 20%. Metalni nosač elemenata ima prečnik od 20 mm ± 20%.

U ovom nizu, antena sa osam elemenata predstavlja osnovnu antenu. Ona se bez promene ugrađuje u izvedbu sa 16 i sa 24 elementa, pri čemu se samo dodaje odgovarajući broj direktora. Najveća vrednost pojačanja javlja se uvek na kanalu najviše frekvencije (kanal 39, odnosno kanal 59). Pojačanje opada stalno do kanala sa najnižom frekvencijom (kanal 21, odnosno kanal 40) i tada postiže najmanju navedenu vrednost.

Proširenje osnovne antene od osam elemenata nije ograničeno samo na 16 ili 24 elementa. Mogu se odabrati i svi brojevi elemenata između toga a da se karakteristike antene ne pogoršaju (npr. 13 elemenata, 18 elemenata itd.). Podaci o antenama imaju tada odgovarajuće međuvrednosti koje se mogu lako oceniti.

Dimenzije koje su date u tabeli 29.11 odnose se na konstrukciju na sl. 29.22.

Mehanički podaci

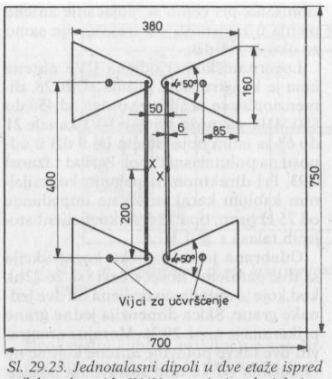
	IV opseg (kanal 21 do 39)	V opseg (kanal 40 do 59)
Dužina *L* savijenog dipola	284	226
Dužina *R* reflektora	349	278
Dužine direktora		
D_1	212	168
D_2	204	162
D_3, D_4	202	160
D_5, D_6, D_7, D_8	199	159
D_9, D_{10}, D_{11}, D_{12}	197	157
D_{13}, D_{14}, D_{15}, D_{16}	195	155
D_{17}, D_{18}, D_{19}, D_{20}	195	155
Razmaci reflektora A_R	117	94
Razmaci elemenata		
A_1	77	61
A_2	22	17
A_3	63	51
A_4	132	105
A_5	139	112
A_6 do A_{21}	149	119

Svi podaci dati su u mm.

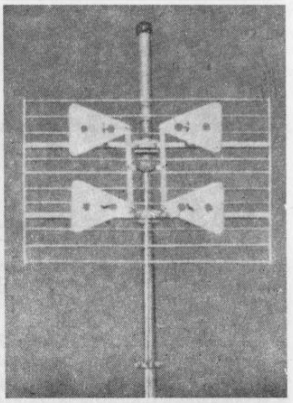
29.3.12.2. *UVF jednotalasni dipoli u obliku trougla ispred reflektorskog zida*

Radio-amateru koji se interesuje i za TV odgovaraju širokopojasne antene sa reflektorskim zidom, jer su one ravne i mehanički robusne. Jednotalasne antene ispred reflektorskog zida mogu se koristiti uz srednje pojačanje i veliku širinu opsega kao antene za pronalaženje i izbor najpovoljnije lokacije za antenu koju treba postaviti. Ako je prijemno polje dovoljno jako, one se mogu upotrebiti i kao antene za rad, naročito u slučaju kada treba primati više kanala koji su udaljeni jedan od drugog. Budući da ove antene zauzimaju malo prostora naročito su pogodne za postavljanje ispod krova ili u sobi, a za to su *jagi*-antene obično prevelike.

U tački 26.2.1 detaljno je opisan najjednostavniji jednotalasni leptir-dipol ispred reflektorskog zida za frekventni opseg od 450 do 900 MHz (vidi i sl. 26.9 i sl. 26.10). Zbog velikog ugla od 70°, ova jednostavna antena ima veliku širinu opsega i konstantnu otpornost priključne tačke u celom IV/V opsegu.



Sl. 29.23. Jednotalasni dipoli u dve etaže ispred reflektorskog zida IV/V opseg (svi podaci dati su u mm)



Sl. 29.24. Širokopojasna antena sa reflektorskim zidom (industrijske proizvodnje (Kathrein)

Na sl. 29.23. prikazani su jednotalasni dipoli u etažama; širina opsega prekriva celo UVF područje. U ovom slučaju, dva jednotalasna leptir-dipola sa uglom α = 50° postavljena su jedan iznad drugog na razmaku od 140 mm ispred reflektorskog zida. Radi bolje preglednosti reflektorski zid ucrtan je samo sa spoljašnjom konturom. O različitim mogućnostima i osobinama reflektorskih zidova govoreno je u odeljku 26.2. Najjednostavniji i najjeftiniji reflektorski zid sastoji se od ploče od presovanog materijala odgovarajuće veličine, na koju se nalepi aluminijumska folija za domaćinstvo. Takav reflektorski zid može se koristiti samo u prostorijama.

Leptir-dipoli se pričvrste na reflektorski zid pomoću držača od izolacionog materijala čija je dužina 140 mm. To ne mora biti izolacioni materijal velikog kvaliteta. Ako se zadrži položaj vijaka za učvršćenje kao na sl. 29.23, mogu se bez značajnijih gubitaka čak upotrebiti metalni nosači. U tom slučaju, delovi antene su uzemljeni preko reflektorskog zida.

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje antene u području 470 do 790 MHz iznosi između 9 dB (470 MHz) i 12 dB (790 MHz); povratno slabljenje > 20dB, otpornost priključne tačke 240 Ω simetrično, koeficijent stojećih talasa ≦ 1 : 2, horizontalni ugao zračenja 50°, vertikalni ugao zračenja između 40° i 70° u zavisnosti od frekvencije.

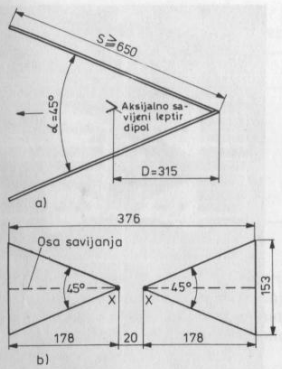
Razmak dipola od reflektorskog zida iznosi 140 mm. Ostali podaci su dati u tački 26.2.2. Na sl. 29.24 prikazan je primer industrijske izvedbe opisane antene (Kathrein).

29.3.12.3. *Antene sa ugaonim reflektorom za UVF TV*

Antena sa ugaonim reflektorom je omiljena i efikasna, a proizvodi se i industrijski (vidi sl. 26.14). Ovaj tip antene je već detaljno opisan u odeljku 26.2.3. Širokopojasna izvedba za područje od 470 do 790 MHz prikazana je na sl. 29.25. U mehaničkom pogledu ona odgovara anteni sa aksijalno savijenim trouglastim dipolom (sl. 26.13). Širina L ugaonog reflektora (vidi sl. 26.12b) ne vidi se na sl. 29.25; ona treba da bude ≧ 450 mm, veća širina poboljšava povratno slabljenje.

Karakteristike (približne vrednosti) su sledeće:

pojačanje antene između 10 dB i 14,5 dB (u zavisnosti od frekvencije), povrat-



Sl. 29.25. Antena sa ugaonim reflektorm (α = 45° za IV i V opseg: a – bočni izgled, b – detalj leptir-dipola; svi podaci dati su u mm.

no slabljenje > 24 dB, otpornost priključne tačke 240 Ω simetrično, koeficijent stojećih talasa 1 : 3. Ostali podaci su dati u tački 26.2.3.

Ugaoni reflektor može se izvesti i sa α = 60°. U tom slučaju, razmak dipola mora biti D = 248 mm, pa je dužina kraka S ≧ 500 mm. Kod ove verzije sa α = 60° maksimalno moguće pojačanje ograničeno je na 12,5 dB.

29.3.12.4. *Logaritamsko-periodične UVF TV antene*

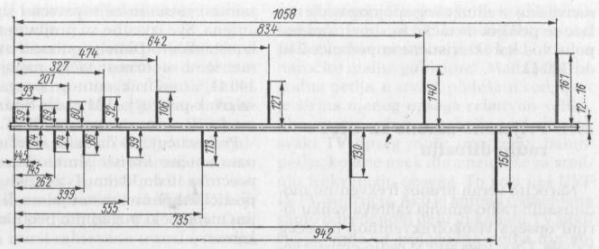
Mada logaritamsko-periodične antene zahtevaju veća mehanička sredstva u odnosu na *jagi*-antene istog pojačanja (vidi tačku 26.3.2), one pružaju neke prednosti koje opravdavaju njihovo korišćenje kao TV antena. To je pre svega na mestima gde se na istom kanalu javljaju smetnje ili jake refleksije, gde logaritamsko-periodična antena pomaže time što prima samo iz pravca u koji je usmerena, a slabi za 25 do 35 dB signale iz svih ostalih smerova. Ova skoro idealna karakteristika usmerenosti postoji po celoj širini frekventnog opsega za koji je antena dimenzionisana, pri čemu se pojačanje antene menja u zavisnosti od frekvencije samo za oko ± 0,4 dB.

Logaritamsko-periodična UVF antena koja je konstruisana prema sl. 26.28, dimenzioniše se za širinu opsega od 450 do 850 MHz, pa može primati UVF kanale 21 do 68 sa istim pojačanjem od 9 dB u odnosu na polutalasni dipol. Period τ iznosi 0,93. Pri direktnom napajanju koaksijalnim kablom karakteristične impedance od 75 Ω (npr., tipa 75-5-A) koeficijent stojećih talasa $s \leq 1{,}3$.

Odabrana je mehanička konstrukcija sa dve paralelne noseće cevi (sl. 26.22b), kod koje je antena sastavljena od dve jednake grane. Skica dimenzija jedne grane prikazana je na sl. 29.26. Moraju se napraviti dve takve polovine antene koje se na rastojanju od 10 mm sastave na nosaču tako da se polovine elemenata iste dužine dopune kao na sl. 26.22b. Dužine elemenata koje su date na sl. 29.26 mere se od sredine nosača elemenata.

U originalnoj izvedbi obe noseće cevi su kvadratnog profila 12,7 mm × 12,7 mm; mogu se upotrebiti i komercijalne kvadratne cevi od aluminijuma 16 mm × 16 mm. Dužina im je po 1250 mm, a postavljene su paralelno na međusobnom razmaku od 10 mm. Razmak se fiksira odgovarajućim komadićima izolacionog materijala. Krajevi cevi koji se nalaze pored najdužeg elementa antene međusobno su spojeni metalnom obujmicom. Na taj način oba nosača elemenata predstavljaju paralelan vod koji je na jednoj strani kratko spojen. Cev kvadratnog preseka odabrana je zato što se na nju mogu dobro pričvrstiti elementi antene. Uspešno se može upotrebiti i uobičajena aluminijumska cev kružnog preseka.

Elementi se sastoje od aluminijumskih cevi prečnika 6 do 8 mm. Na svakom elementu po jedan kraj se spljošti, savije i zatim pričvrsti vijkom na površinu kvadratne cevi – kao što se vidi na sl. 26.22b. U električnom pogledu postiže se isti efekt, ako se upotrebe otpadne trake aluminijuma širine oko 10 mm (širina nije kritična), koje su jeftinije i jednostavnije se pričvršćuju. Treba voditi računa da se ostvari dobro provodljiv spoj polovina elemenata sa nosačima elemenata.



Sl. 29.26. Pojedinačna grana logaritamračenja koje ometa i talasomer (apsorpcioni frekvencmetar)

Koaksijalni kabl se priključuje kao što je opisano u tački 26.3.2 i prikazano na sl. 26.23a. Uostalom, logaritamsko-periodična dipol-antena prikazana na sl. 26.22 izgrađena je na istom principu, ali za drugo frekventno područje, pa se podaci mogu koristiti na odgovarajući način.

Ako se logaritamsko-periodična dipol-antena proširi nizom direktora po *jagi*-principu, dobije se širokopojasna antena sa velikim pojačanjem. Takve TV antene sa logaritamsko-periodičnim sistemom pobuđivanja savijenih dipola opisane su u literaturi pod [1].

29.3.12.5. *Ostali oblici širokopojasnih UVF TV antena*

V-antena u etažama koja je opisana u odeljku 27.1 (sl. 27.1 i sl. 27.2), ima približno iste karakteristike kao antena sa jednotalasnim dipolima u etažama ispred reflektorskog zida (sl. 29.23). Kao što proizlazi prema sl. 27.2, ona se može koristiti u celoj širini IV i V opsega sa pojačanjem između najmanje 9 dB i najviše 12 dB. Osim toga ona se može primeniti i kao prijemna antena za UKT FM II radio-područje (CCIR). Budući da V-antena u etažama deluje u području od 87,5 do 100 MHz kao ugaona jednotalasna antena, Njen horizontalni dijagram je približno kružnog oblika (vidi sl. 10.31). Dvostruki krakovi utiču na dobru širinu opsega, a neprilagođenje, koje se javlja pri FM radio-prijemu (maksimalno oko 1 : 3) nema značaja. Antena se može izgraditi prema dimenzijama koje su date na sl. 27.1.

Za UVF TV prijem može se koristiti i oblik antene koji je opisan u tački 26.1.3 kao pojednostavljena rog-antena. Ona je prikazana na sl. 26.6, pa ako se umesto navedene dužine stranice od 2,45 m uzme 800 mm, može se računati na početku IV opsega (kanal 21) sa pojačanjem od 10 dB. Pojačanje se povećava kontinualno i dostiže na visokofrekventnom kraju opsega (kanal 60) 15 dB. Uslov je da se oba krila dipola izrade po mogućnosti od aluminijumskog lima. Krila dipola su, u svakom slučaju, postavljena pod uglom 60°. Praktično pravilo za ove antene je da pri svakom udvostručenju frekvencije pojačanje poraste za 6 dB.

U specijalnim slučajevima može biti interesantna i UVF romb-antena (sl. 27.6). Kao što proizlazi prema sl. 27.7, maksimalno pojačanje postiže se za navedene dužine stranica *L* u viskofrekventnom delu UVF TV područja (kanal 50). Pri tom relativna dužina stranice romba iznosi oko 4 λ. Iz dijagrama (sl. 12.9 i sl. 27.4) mogu se izvaditi podaci pomoću kojih se može veoma jednostavno konstruisati bilo koja romb-antena. Naročito povoljni uslovi napajanja javljaju se kada se dva ista UVF romba postave vertikalno jedan iznad drugog. Razmak između etaža može iznositi 800 mm za primenu u IV i V opsegu, pri čemu se pojačanje poveća za oko 2,5 dB. Tačke napajanja u obe ravni međusobno se spajaju paralelnim žičanim vodovima karakteristične impedance oko 500 Ω koji nisu ukršteni. U geo-

metrijskoj sredini ovog spojnog voda nalaze se priključne tačke za simetrični napojni vod karakteristične impedance 240 do 300 Ω.

29.4. Prijemne antene za UKT radio-difuziju

Naročito veran prenos frekventno modulisanih radio-emisija zahteva veliku širinu opsega visokofrekventnog nosećeg kanala. Zbog toga su FM radio-emisije vezane na VVF područje. Za oblast 1 internacionalno su propisana frekventna područja od 66 do 73 MHz (λ = 4,55 do 4,11 m), prema OIRT normama, i 87,5 do 100 MHz (λ = 3,43 do 3,00 m), prema CCIR normama.

Budući da se metarski talasi prostiru preko troposfere, njihov siguran domet je oko 15% veći od teoretski moguće optičke vidljivosti (vidi odeljak 2.4). Često se postignu veći dometi koje uslovljava troposfera, a retko se postižu veći dometi usled jonosferskih refleksija. Da bi se pokrilo što veće područje sa UKT radio-predajnicima, oni se postavljaju na visoke lokacije i podižu se visoki nosači antena.

Savremeni UKT radio-prijemnici pod povoljnim uslovima mogu dovoljno kvalitetno primati jake UKT radio-predajnike već i sa dipolima ugrađenim u kutiju prijemnika ili sa pomoćnim antenama. Veće zahteve zadovoljava rezonantna UKT antena. Ona je neophodna za besprekoran prijem stereoemisija, jer on zahteva veće napone iz antene od običnog prijema. Za FM prijem računa se sa minimalnim nivoom od 40 dB μV (= 100 μV), dok za besprekoran prijem stereo FM emisija antena mora dati najmanje 50 dB μV korisnog napona (= 163 μV).

Za FM radio-područja, uz podnošljive troškove, može se realizovati *jagi*-antena sa pojačanjem do oko 8 dB. To znači da nivo korisnog napona koji potiče od FM predajnika mora biti relativno velik već na jednostavnom dipolu, jer se odgovarajućim velikim usmerenim antenama može podići samo za oko 2,5 puta.

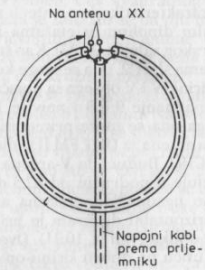
Dimenzije i tehnički podaci o antenama za UKT radio-prijem, koje se navode u daljem tekstu, namenjeni su amaterima zainteresovanim za sopstvenu izgradnju antena. Sve izvedbe su potpuno metalne konstrukcije. Dimenzionisane su za simetričnu otpornost tačke napajanja od 240 Ω, širina frekventnog opsega prekriva uvek područja FM radio-difuzije prema CCIR, odnosno prema OIRT.

Preporučuje se da se za izradu elemenata antene koristi aluminijumska cev prečnika 10 do 30 mm. Isti uspeh može se postići i sa punim materijalom ili bilo kojim mehanički pogodnim profilima i trakama.

Prijemne antene za FM radio-difuziju ne razlikuju se ni po mehaničkoj konstrukciji ni po električnim karakteristikama od antena koje se koriste u TV područjima. U opštem slučaju ne primenjuju se specijalni oblici antena. Otpornost priključne tačke svih opisanih antena je 240 Ω simetrično, pa je prilagođena propisanoj ulaznoj impedanci radio-prijemnika. U tabeli 29.12 nisu navedene specijalne konstrukcije, jer se one nalaze u odeljku 29.3 na sl. 29.9 do sl. 29.13. Pripadajuće karakteristike navedene su u tačkama od 29.3.1 do 29.3.5.

29.5. Balun-vod za TV i UKT radio-difuzne antene

Danas se skoro sve industrijski proizvedene UKT TV i radio-antene isporučuju sa simetričnom priključnom otpornošću od 240 Ω. To pravilo važi i za antene



Sl. 29.27. Skica za dimenzionisanje polutalasne petlje za prilagođenje prema tabeli 29.13.

sopstvene konstrukcije koje su opisane u ovom poglavlju.

U električnom pogledu povoljnije je, a za duže vreme i ekonomičnije da se stacionarne antene napajaju koaksijalnim kablom, kao što je već objašnjeno. Prilagođenje simetrične antene čija je otpornost u tački napajanja 240 Ω na koaksijalni kabl, može se najjednostavnije i sa najmanje gubitaka izvršiti primenom balun-transformatora (vidi odeljak 7.5), koji se naziva i petljom za prilagođenje. Ona treba da izvrši zahtevanu transformaciju u odnosu 4 : 1 (240 Ω : 60 Ω) i da istovremeno obezbedi prelaz sa sistema, koji je simetričan prema zemlji, na nesimetričan sistem, a može se izvesti pomoću komada koaksijalnog kabla od 60 Ω na najjednostavniji način prema sl. 29.27. Geometrijska dužina L petlje iznosi $\lambda/2 \times$ faktor skraćenja upotrebljenog kabla. Faktor skraćenja V uobičajenih koaksijalnih kablova iznosi 0,66; kod dielektrika od polietilenske pene on je 0,83 (kablovi sa naročito malim gubicima). Mada je prilagodna petlja, u stvari, podešeni vod, ipak je širina njenog opsega relativno velika. Zbog toga se bez posebnih posledica za svaki TV opseg može upotrebiti balun-petlja, koja se uvek dimenzioniše za srednju frekvenciju opsega. To važi i za UVF IV i V područja. Ako je antena namenjena samo određenom delu ili kanalu TV područja, onda se prilagodna petlja dimenzioniše za srednju frekvenciju tog dela područja ili kanala.

U tabeli 29.13 date su mehaničke dužine L prilagodnih petlji za sva TV i UKT radio-područja, ako se koriste kablovi sa faktorima skraćenja od 0,66, 0,77 i 0,83.

Tabela 29.12.

PODACI O DIMENZIJAMA UKT RADIO-ANTENA PREMA OIRT I CCIR

	Područje	66...73 MHz	87,5...100 MHz
Antena sa jednim elementom (sl. 29.9) Karakteristike u tački 29.3.1	Dužina L	2075	1470
Antena sa dva elementa (sl. 29.10)	Dužina L	2020	1420
	Dužina R	2250	1650
Karakteristike u tački 29.3.2	Razmak A	1220	975
Jagi-antena sa tri elementa (sl. 29.11)	Dužina L	2040	1440
	Dužina R	2440	1740
Karakteristike u tački 29.3.3	Dužina D	1780	1270
	Razmak A_1	640	480
	Razmak A_2	380	280
Jagi-antena sa četiri elementa (sl. 29.12)	Dužina L	2280	1580
	Dužina R	2670	1850
	Dužina D_1	1860	1280
	Dužina D_2	1820	1250
Karakteristike u tački 29.3.4	Razmak A_1	1220	830
	Razmak A_2	320	230
	Razmak A_3	980	690
Jagi-antena sa šest elemenata (sl. 29.13)	Dužina L	2200	1580
	Dužina R	2630	1900
	Dužina D_1	1870	1350
	Dužina D_2	1890	1365

	Područje	66...73 MHz	87,5...100 MHz
Karakteristike u tački 29.3.5	Dužina D_3	1860	1345
	Dužina D_4	1830	1320
	Razmak A_1	1200	870
	Razmak A_2	295	212
	Razmak A_3	965	705
	Razmak A_4	843	615
	Razmak A_5	920	670

Svi podaci dati su u mm.

Tebela 29.13.

GEOMETRIJSKA DUŽINA PROVODNIKA L POLUTALASNE PRILAGODNE PETLJE PREMA sl. 29.27 ZA SVE TV I UKT RADIO ANTENE

Dužina L za:	TV kanali E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9
V = 0,66	2020	1770	1570	562	541	521	502	485
V = 0,77	2355	2065	1835	654	617	604	582	562
V = 0,83	2545	2230	1978	708	682	656	633	611
	E-10	E-11	E-12					
V = 0,66	470	454	440					
V = 0,77	539	527	512					
V = 083	592	572	554					
	TV kanali OIRT R-I	R-II	R-III	R-IV	R-V	R-VI	R-VII	
V = 0,66	1980	1650	1270	1150	1055	562	538	
V = 0,77	2310	1925	1480	1343	1228	656	630	
V = 0,83	2495	2080	1600	1450	1330	708	678	
	R-VIII	R-IX	R-X	R-XI	R-XII			
V = 0,66	515	495	476	460	442			
V = 0,77	600	578	555	535	515			
V = 0,83	649	624	600	580	557			
	UVF TV kanali (IV i V opseg) Kanal 21-25	Kanal 26-30	Kanal 31-35	Kanal 36-40	Kanal 41-45	Kanal 46-50	Kanal 51-55	Kanal 56-60
V = 0,66	202	186	173	162	152	143	135	128
V = 0,77	235	221	202	188	177	167	158	149
V = 0,83	255	234	218	204	192	180	170	161

	UVF TV kanali (IV i V opseg) Kanal 21-25	Kanal 26-30	Kanal 31-35	Kanal 36-40	Kanal 41-45	Kanal 46-50	Kanal 51-55	Kanal 56-60
	Antene za UKT radio-prijem CCJR (87,5 ... 100 MHz) OIRT (66 ... 73 MHz)							
V = 0,66	1053				1415			
V = 0,77	1230				1650			
V = 0,83	1327				1783			

Svi podaci dati su u mm.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 29

[1] *Spindler, E.:* Antennen, 4.1.15 i 4.2.1.2.2., Veb Verlag Technik, Berlin, 1968

Fiebranz, A.: Antenn enanlagen fuer Rundfunk und Fernsehempfang, 1. izdanje, Verlag Technik, Berlin 1961

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

30. Slabljenje neželjenih zračenja

Prema paragrafu 8 nemačkog Propisa o otklanjanju radio-smetnji od 3. aprila 1959. godine smatra se da su radio-smetnje otklonjene, ako se u anteni ometanog prijemnog uređaja ne javlja napon smetnji veći od 5 μV ili ako odnos korisnog napona prema naponu smetnji nije manji od sledećih vrednosti:

– *radio-difuzija i radio-telefonija sa amplitudnom modulacijom:*

$$\frac{\text{korisni napon}}{\text{napon smetnji}} \geqslant \frac{100}{1} = 40 \text{ dB};$$

– *radio-difuzija i radio-telefonija sa frekventnom modulacijom:*

$$\frac{\text{korisni napon}}{\text{napon smetnji}} \geqslant \frac{10}{1} = 20 \text{ dB};$$

– *radio-telegrafija (uključujući prenos slika radio-vezom)*

$$\frac{\text{korisni napon}}{\text{napon smetnji}} \geqslant \frac{50}{1} = 34 \text{ dB};$$

– *televizija*

$$\frac{\text{korisni napon}}{\text{napon smetnji}} \geqslant \frac{200}{1} = 46 \text{ dB};$$

Prema paragrafu 9 Propisa, u slučaju ometanja službe za otklanjanje radio-smetnji nemačke pošte, prva proverava da li ometani prijemni uređaj odgovara utvrđenim uslovima i da li se radio-smetnje mogu otkloniti odgovarajućim merama na ometanom prijemnom uređaju. Ako konstrukcija ometanog prijemnog uređaja odgovara tehničkim zahtevima, onda je, prema paragrafu 7, vlasnik izvora smetnji dužan da na svoj trošak otkloni smetnje u skladu sa uslovima koje propisuje paragraf 8. Ako vlasnik izvora smetnji, uprkos pismenom zahtevu službe za otklanjanje radio-smetnji nemačke pošte, ne izvrši svoju obavezu prema paragrafu 7, nakon isteka datog roka ili ako odbija da otkloni smetnje, prema paragrafu 10, nemačka pošta je ovlašćena da otkloni smetnje na svoj račun. Služba za otklanjanje smetnji nemačke pošte može narediti obustavu rada i zapečatiti uređaj dok se ne otklone smetnje.

U NDR su prema propisu o amaterskoj radio-službi od 1. avgusta 1977. godine utvrđene granične vrednosti nepoželjnih bočnih zračenja za amaterske radio-uređaje.

Za bočna zračenja važi sledeća definicija: bočna zračenja su zračenja na jednoj ili više frekvencija izvan potrebne širine opsega, čiji se nivo može smanjiti bez uticaja na prenos odgovarajuće vesti. Bočna zračenja obuhvataju harmonična, parazitna i međufrekventna zračenja. Dozvoljena granična vrednost je najmanji odnos jačina polja korisnog signala i bočnog zračenja izmerenih u smeru maksimalnog zračenja. Pri tom izlazni stepen predajnika mora raditi sa najvećom modulacijom, a dozvoljena je i višetonska modulacija.

Nezavisno od propisa, bočna zračenja moraju biti na najnižoj vrednosti koja se može postići u tehničkom pogledu i koja isključuje ometanje drugih radio-službi uključujući radio-difuziju i televiziju. Dozvoljene granice industrijski proizvedenih amaterskih radio-uređaja moraju odgovarati uslovima koji su postavljeni u odobrenju za proizvodnju.

Tabela 30.1

GRANIČNE VREDNOSTI BOČNIH ZRAČENJA AMATERSKIH RADIO-UREĐAJA

Frekventno područje (MHz)	Dozvoljene granične vrednosti bočnih zračenja u frekventnom području	
	⩽ 40 MHz	⩾ 40 MHz
3,5 – 3,8 7,0 – 7,1 14,9 – 14,35 21,0 – 21,45 28,0 – 29,7	40 dB $\left(=\frac{100}{1}\right)$	60 dB $\left(=\frac{1000}{1}\right)$
144,0 – 146,0 430,0 – 440,0	60 dB $\left(=\frac{1000}{1}\right)$	60 dB $\left(=\frac{1000}{1}\right)$
5650 – 5670 10000 – 10500	Nije utvrđeno	

30.1. Uopšte o otklanjanju radio-smetnji

Radio-amater radi sa uređajima koji mogu proizvesti velike radio-smetnje i on je obavezan da ih otkloni u slučaju ometanja. Sama antena ne može biti izvor smetnji, jer ona ne proizvodi elektromagnetne oscilacije, već služi samo za njihov prenos. To znači da antena ili njen vod za napajanje zrači oscilacije koje ometaju samo kada predajnik »šalje« smetnje. Zbog toga osnovno pravilo pri svakom otklanjanju smetnji je da prvo treba otkloniti izvor zračenja koje ometa.

Izvori smetnji u amaterskim uređajima su, pre svega, svi oscilatori koji, kao što je poznato, pored željene osnovne frekvencije zrače još čitav spektar viših harmonika kao smetnji ostalih frekvencija koje su nastale kao neželjeni nusproizvod procesa mešanja. Visokofrekventni pojačavački stepeni i umnožavači frekvencije mogu se pobuditi na divlje sopstvene oscilacije usled neadekvatne izgradnje i zbog nedostatka neutralizacije. Radio-smetnje nastaju i usled prevelike modulacije, prilikom usmeravanja i zbog električnog varničenja (npr., na tasteru).

Radio-smetnje se mogu prenositi različitim putevima. Loše oklapanje predajnika i loše uzemljenje naročito utiču na direktno širenje smetnji preko električne instalacije, zemljovoda ili drugih električnih provodnika. Najveći domet imaju smetnje koje zrači antensko postrojenje.

U skladu sa temom, prvo ćemo opisati mere za otklanjanje radio-smetnji koje se mogu preduzeti na antenskom postrojenju ili neposredno na izlaznom stepenu predajnika. One mogu biti uspešne samo ako glavni deo zračenja koje ometa stvarno potiče od antenskog postrojenja. Takav primer imamo kada je:

– predajnik besprekorno oklopljen i uzemljen;

– izvršeno filtriranje svih vodova koji izlaze iz predajnika i svih dovoda energije;

– opšta koncepcija predajnika u skladu sa savremenim tehničkim saznanjima.

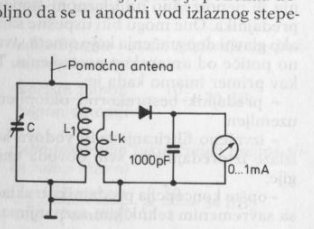
30.2. Mere za otklanjanje radio-smetnji

Za otklanjanje radio-smetnji ne postoji neko jednostavno opštevažeće praktično pravilo; smetnje koje se javljaju veoma su raznovrsne u pogledu njihovog izvora, puta prenošenja i oblika u kome se javljaju na ometanom prijemniku. Zbog toga se mora raditi sistematski i prvo pokušati da se odrede frekvencije ometanja i mesto njihovog maksimalnog zračenja. Pri tom može dobro poslužiti jednostavan

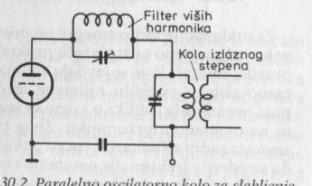
apsorpcioni frekvencmetar–talasomer (sl. 30.1). Kolo za podešavanje L_1–C treba da odgovara frekventnom području, koje je interesantno, a preporučuje se prethodno grubo baždarenje pomoću generatora. Zavojnica za spregu L_k ima 1/5 broja zavojaka zavojnice L_1; kao dioda može poslužiti svaki tip germanijumske diode za VF usmeravanje.

Kratkom pomoćnom antenom (dužine 25 do 30 cm) pretražuje se okolina izlaznog stepena predajnika i istovremeno se podešava frekvencija talasomera. Kada se utvrdi postojanje frekvencije koja ometa treba izvršiti njeno upoređivanje sa podacima iz tabele 34.2 i tako proveriti da to nije neki od viših harmonika. Ako se tom prilikom utvrdi da je to frekvencija koja se ne uklapa u šemu harmonika, ona najčešće potiče od samopobude nekog stepena predajnika ili je proizvod mešanja. Frekvencije ometajućih signala koje zrači antena mogu se, u svakom slučaju, utvrditi na anodi izlaznog stepena predajnika.

Ako je frekvencija smetnji harmonik korisne frekvencije, onda je ponekad dovoljno da se u anodni vod izlaznog stepena ubaci paralelno rezonantno kolo, koje je podešeno na frekvenciju smetnji (sl. 30.2). To rezonantno kolo se grubo podesi pomoću grid–dip metra; fino podešavanje vrši se u toku rada i to na najmanje zračenje smetnji. Takva rezonantna kola, koja su podešena na frekvenciju smetnji, tehničari nazivaju »zamkama« (engleski: traps). Stepen u protivtaktu zahteva u svakom anodnom vodu iste »zamke«. Ako je zračenje smetnji širokopojasno ili na više frekvencija, onda više nisu efikasne jednostavne »zamke«, jer su one selektivna rezonantna kola koja sprečavaju zračenje samo u usko ograničenom delu spektra smetnji. Zbog toga se zamke danas retko upotrebljavaju.



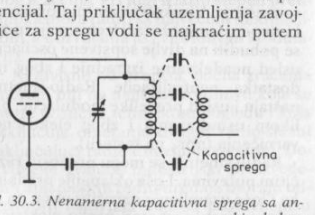
Sl. 30.1. Jednostavan indikator zračenja koje ometa i talasomer (apsorpcioni frekvencmetar)



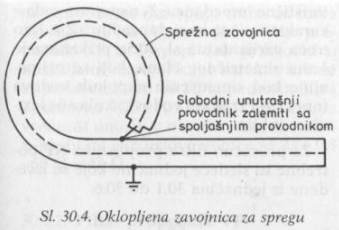
Sl. 30.2. Paralelno oscilatorno kolo za slabljenje viših harmonika u izlaznom stepenu

Viši harmonici u izlaznom kolu prenose se pretežno usled nenamerne kapacitivne sprege sa antenskim kolom, jer najčešće korišćena induktivna sprega istovremeno ima i komponente kapacitivne sprege (sl. 30.3). Male kapacitivnosti zavojnice predstavljaju za korisnu frekvenciju, najčešće, još veliku kapacitivnu reaktancu, pa za tu frekvenciju preovlađuje induktivna sprega. Poznato je da kapacitivnareaktanca kondenzatora opada sa porastom frekvencije. To znači da za visoke frekvencije viših harmonika mala kapacitivnost sprežne zavojnice izlaznog kola, može predstavljati skoro otvoren put prema anteni.

Radi smanjenja kapacitivne sprege, a time i zračenja harmonika korisne frekvencije, sprega antene treba da se izvede, po mogućnosti, na hladnom kraju zavojnice izlaznog kola. Ako je antenska zavojnica namotana preko zavojnice izlaznog kola, onda se kraj zavojnice za spregu, koji se nalazi na strani vrućeg kraja anodne zavojnice, mora dovesti na nulti potencijal. Taj priključak uzemljenja zavojnice za spregu vodi se najkraćim putem



Sl. 30.3. Nenamerna kapacitivna sprega sa antenskim kolom



Sl. 30.4. Oklopljena zavojnica za spregu

do šasije predajnika. Za to je pogodna bakarna traka, jer ima malu induktivnost. Simetrični međuvezni vodovi uzemljuju se u sredini zavojnice; nesimetrični međuvezni vodovi sa koaksijalnim kablom uzemljuju se na spoljašnjem provodniku kabla. U UKT području zavojnice za spregu nesimetričnog međuveznog voda mogu se, takođe, napraviti od koaksijalnog kabla (sl. 30.4). Pomoću oklopljene zavojnice za spregu postiže se praktično čisto induktivna sprega, tj. sa izuzetno malom kapacitivnošću.

Harmonici koji teku unutrašnjim provodnikom kabla prema anteni, mogu se relativno jednostavno isfiltrirati pomoću antenske sprege ili pomoću filtra. Pri tom se ne obuhvataju frekvencije smetnji koje se šire spoljašnjim provodnikom kabla prema anteni. Slabljenje viših harmonika pomoću induktivne sprege sa antenskim kolom efikasno je samo kada se pravilnim oklapanjem predajnika spreči da harmonici usled rasipanja stignu do spoljašnjeg provodnika kabla.

Većina antenskih sprega (vidi poglavlje 8) efikasno slabi više harmonike pomoću dodatne selektivnosti. Za filtriranje harmonika i ostalih frekvencija smetnji pogodni su antenski filtri koji poseduju osobinu da, po potrebi, ne propuštaju ili propuštaju cela područja frekvencija. Karakteristike takvih filtera su njihovi propusni i nepropusni opsezi. Unutar propusnog opsega filtar treba da prenosi sve frekvencije bez gubitaka. Nasuprot tome, filtar ne sme unutar nepropusnog opsega preneti snagu do potrošača ili je prenosi u sasvim malom obimu, tj. filtar treba frekvencijama unutar nepropusnog opsega da zatvori put prema anteni. Sastavni delovi filtara ne smeju trošiti energiju. Taj zahtev ispunjavaju kapacitivnosti i induktivnoti, koji u idealnom slučaju deluju kao reaktance. Zbog toga se antenski filtri izrađuju isključivo od kapacitivnosti i induktivnosti.

Prelaz od propusnog prema nepropusnom opsegu u idealnom slučaju, morao bi biti skokovit. Budući da sastavni delovi ipak nisu sasvim bez gubitaka, prelaz je više ili manje strm. Frekvencija na kojoj se javlja prelaz od nepropusnog prema propusnom opsegu naziva se *kritična frekvencija* ili *granična frekvencija* f_{gr}. Na graničnoj frekvenciji induktivna reaktanca jednaka je kapacitivnoj reaktanci filtra.

Budući da se filtri nalaze unutar prilagođenih antenskih vodova prilagođenje se ne sme pokvariti. Zbog toga ulazna i izlazna impedanca filtra mora biti jednaka karakterističnoj impedanci Z napojnog voda. Osim toga, mora se sačuvati simetrija; nesimetrični napojni vod zahteva nesimetrično izgrađen filtar, a simetrični filtri namenjeni su simetričnim napojnim vodovima.

Prema nameni razlikuju se sledeće osnovne vrste filtara:

filtar propusnik NF, filtar propusnik opsega,

filtar propusnik VF, filtar nepropusnik opsega.

Kod proračuna filtara mora se poći od sledećih osnovnih jednačina, koje su značajne u celoj VF tehnici:

kružna frekvencija:

$$\omega = 2\pi f = 6{,}28\, f \qquad (30.1)$$

$\pi = 3{,}14$ (konstanta), f = frekvencija;

– impedanca:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}, \qquad (30.2)$$

L – induktivnost, C – kapacitivnost;

– induktivna reaktanca:

$$R_L = \omega L; \qquad (30.3)$$

– kapacitivna reaktanca:

$$R_C = \frac{1}{\omega C}; \qquad (30.4)$$

uslov rezonance:

$$\omega_{gr} L = \frac{1}{\omega_{gr} C} \cdot \qquad (30.5)$$

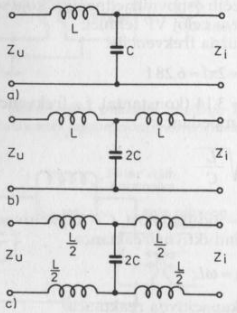
– kružna frekvencija granične frekvencije:

$$\omega_{gr} = 2\pi f_{gr} \qquad (30.6)$$

Pomoću ovih osnovnih jednačina mogu se zamenom formirati nove jednačine koje omogućavaju jednostavan proračun filtara.

30.2.1. Filtar propusnik NF

Osobine filtra propusnika NF je da, počevši od određene granične frekvencije f_{gr}, propušta sve frekvencije koje se nalaze ispod nje (propusni opseg); sve više frekvencije filtar ne propušta (nepropusni opseg). Najjednostavniji tip filtara propusnika NF sastoji se od induktivnosti L i poprečno spojene kapacitivnosti C (sl. 30.5a). Nepropusno dejstvo poluočlana je najčešće premalo. Zbog toga se daje prednost tzv. punom članu, koji je prikazan na sl. 30.5b kao nesimetrični spoj. Ako se izvrši, npr., dimenzionisanje za impedancu z od 60 Ω, onda je ovaj član pogodan za uključivanje u napojni vod od koaksijalnog kabla od 60 Ω (ulazna impedanca Z_u = izlazna impedanca, Z_i = karakteristična impedanca, Z_v napojnog voda = karakteristična impedanca filtra Z_{fi}). Kao treća varijanta na sl. 30.5c prikazana je šema simetričnog člana, koji se primenjuje kod simetričnih napojnih vodova (npr., UKT trakasti vodovi, »kokošije lestvice« itd.).



Sl. 30.5. Filtri propusnici NF u vidu T članova: a – nesimetričan poluočlan, b – nesimetričan puni član, c – simetričan puni član

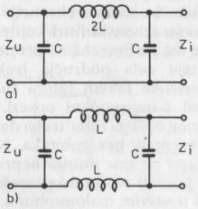
Za proračun filtra propusnika NF potrebne su sledeće jednačine koje su izvedene iz jednačina 30.1 do 30.6:

$$\text{induktivnost } L = \frac{Z_{fi}}{\omega_{gr}} \qquad (30.7)$$

$$\text{kapacitivnost } C = \frac{1}{\omega_{gr} \cdot Z_{fi}} \qquad (30.8)$$

Filtri propusnici NF za otklanjanje smetnji češće se izvode kao π članovi (sl. 30.6), nego kao T–članovi. Ovaj filtar je poznat svakom radio-amateru kao *Kolinsov* filtar. I za ovu šemu L i C se izračunavaju prema jednačinama (30.7) i (30.8).

U praksi postoje male razlike prilikom dimenzionisanja T i π–članova. Karakteristična impedanca u propusnom području filtra propusnika NF je realna, ali nije konstantna vrednost. Kod T–spoja ona opada prema graničnoj frekvenciji, dok se kod π–spoja povećava sa približavanjem graničnoj frekvenciji. Zbog toga, kod T–člana treba odabrati malo veću nominalnu impedancu filtra Z_{fi} nego što je priključna otpornost Z_v. Naprotiv π–spoj zahteva malo manju impedancu filtra Z_{fi}. Povoljni odnosi dobiju se kada se kod filtra propusnika NF u T–spoju odabere impedanca filtra Z_{fi} od $1{,}25 \cdot Z_v$;



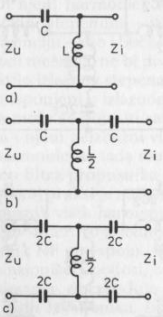
Sl. 30.6. Filtri propusnici NF kao π-članovi: a – nesimetričan π-član, b – simetričan π-član

nasuprot tome u π–spoju treba da bude $Z_{fi} = 0{,}8 \cdot Z_v$. Na primer, ako se filtar propusnik NF u T–spoju želi priključiti u koaksijalni napojni kabl karakteristične impedance Z_v od 60 Ω, impedanca filtra Z_{fi} iznosiće $1{,}25 \cdot 60\ \Omega = 75\ \Omega$, pa će se ta vrednost unositi u obrasce. Ako se radi o π–spoju, za iste uslove dobiće se $Z_{fi} = 0{,}8 \cdot 60\ \Omega = 48\ \Omega$.

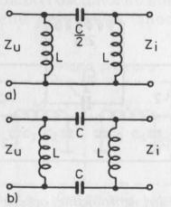
30.2.2. Filtar propusnik VF

Osobina filtra propusnika VF je da od određene granične frekvencije f_{gr} propušta sve više frekvencije. Filtar ne propušta nijednu frekvenciju koja je niža od granične frekvencije. Razlika u odnosu na filtar propusnik NF je u tome što se kod filtra propusnika VF kapacitivnosti nalaze u uzdužnom vodu, a induktivnosti u poprečnom. I u ovom slučaju razlikuje se T–spoj (sl. 30.7) i π–spoj (sl. 30.8).

Jednačine date za proračun filtra propusnika NF za L jednačina 30.7 i za C jednačina 30.8, važe i za filtar propusnik VF; i ovde za T–spoj Z_{fi} iznosi $1{,}25 \cdot Z_v$ a za π–spoj Z_{fi} iznosi $0{,}8 \cdot Z_v$. Za otklanjanje smetnji na predajnicima, u opštem slučaju, nisu potrebni filtri propusnici VF. Nasuprot tome, oni se često postavljaju na ulaz prijemnika – pretežno kod TV prijemnika – radi sprečavanja prodiranja smetnji koje potiču od amaterskih predajnika.



Sl. 30.7. Filtri propusnici VF u T-spoju: a – nesimetričan poluočlan, b – nesimetričan pun član, c – simetričan pun član

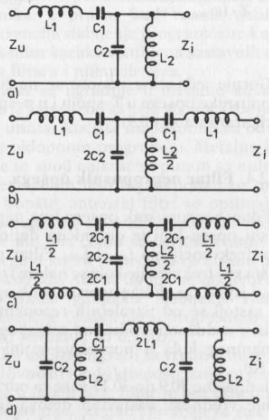


Sl. 30.8. Filtri propusnici VF u π-spoju: a – nesimetričan π-član, b – simetričan π-član

30.2.3. Filtar propusnik opsega

Kao što sam naziv kaže, filtar propusnik opsega propušta određeni frekventni opseg. To propusno područje ograničeno je definisanim frekvencijama f_{max} (najviša frekvencija) i f_{min} (najniža frekvencija).

Filtar ne propušta nijednu frekvenciju višu od f_{max} i nižu od f_{min}. Kao što je pri-



Sl. 30.9. Filtri propusnici opsega u T i π-spoju: a – nesimetričan poluočlan, b – nesimetričan član u T spoju, c – simetričan član u T spoju, d – nesimetričan član u π-spoju

kazano na sl. 30.9, filtar propusnik opsega sastoji se od serijskog rezonantnog kola u uzdužnom vodu (L_1–C_1) i od paralelnog rezonantnog kola u poprečnom vodu (L_2–C_2). Za proračun filtra propusnika opsega moraju se izračunati kružne frekvencije ω_{max} i ω_{min} za gornju i donju graničnu frekvenciju f_{max} i f_{min} (prema jednačini 30.1). Iz njih se dobije i srednja rezonantna frekvencija f_{sr} (sredina propusnog opsega), a iz nje i srednja kružna frekvencija ω_{sr} (prema jednačini 30.1). Kada su utvrđene vrednosti ω_{sr}, ω_{max} i ω_{min} mogu se izračunati vrednosti sastavnih delova prema sledećim jednačinama:

$$L_1 = \frac{Z}{(\omega_{max} - \omega_{min})} \qquad (30.9)$$

$$L_2 = \frac{Z \cdot (\omega_{max} - \omega_{min})}{\omega_{sr}} \qquad (30.10)$$

$$C_1 = \frac{(\omega_{max} - \omega_{min})}{Z \cdot \omega_{sr}^2} \qquad (30.11)$$

$$C_2 = \frac{1}{Z \cdot (\omega_{max} - \omega_{min})} \qquad (30.12)$$

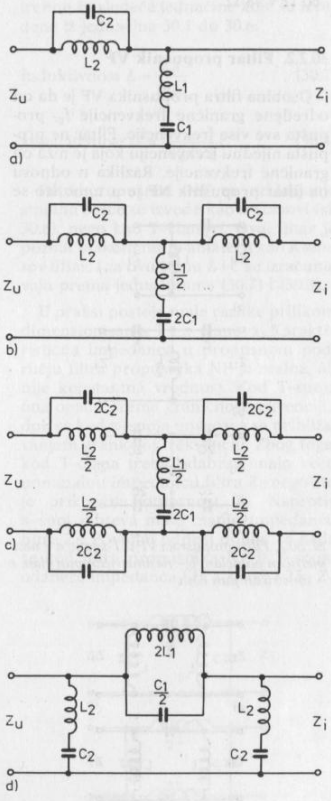
Gornje jednačine odnose se na filtre propusnike opsega u T–spoju i u π–spoju (prikazani na sl. 30.9).

30.2.4. Filtar nepropusnik opsega

Filtar nepropusnik opsega ima nepropusni opseg koji je ograničen definisanim frekvencijama f_{max} i f_{min}. Filtar propušta sve frekvencije koje se nalaze iznad f_{max} i ispod f_{min}. Filtar nepropusnik opsega sastoji se od paralelnih rezonantnih kola u uzdužnom vodu i od serijskog rezonantnog kola u poprečnoj grani (sl. 30.10).

Jednačine 30.9 do 30.12 važe za određivanje vrednosti sastavnih delova filtra nepropusnika opsega. Treba, takođe, uvrstiti ω_{max}, ω_{min} i ω_{sr}. Prema tome, proračun se ne razlikuje u odnosu na filtar propusnik opsega. Drugačijim rasporedom serijskih i paralelnih rezonantnih kola, od šeme za propuštanje opsega dobije se šema za nepropuštanje opsega i obrnuto.

I za filtre propusnike opsega, kao i za filtre nepropusnike opsega, za impedancu filtra Z_{fi} kod T–spoja treba uvrstiti $1{,}25 \cdot Z_v$ a kod π–spoja $0{,}8 \cdot Z_v$.



Sl. 30.10. Filtri nepropusnici opsega u T i π-spoju: a – nesimetrični poluočlan, b – nesimetrični T član, c – simetrični T član, d – nesimetrični π član

30.2.5. Praktično izvedeni antenski filtri za amaterske KT predajnike

Antenski filtri nemaju nikakvu svrhu ako kućište predajnika ili priključeni spojni kablovi ili kabl za napajanje predajnika zrače frekvencije smetnji. To znači da visoke frekvencije smeju napuštati predajnik samo preko antenske utičnice. Zbog toga moraju biti ispunjeni svi zahtevi u pogledu oklapanja i uzemljenja predajnika i u vezi sa filtriranjem svih dovodnih vodova koji su navedeni na kraju odeljka 30.1. Zahtev da tehnička koncepcija predajnika bude savremena znači da se, pre svega, mora izvršiti i oklapanje i slabljenje sprege pojedinih stepena unutar predajnika, kako osnovna frekvencija oscilatora i njeni harmonici, stvoreni u umnožavačkim stepenima – izuzimajući radnu frekvenciju – kao i bočni harmonici i proizvodi mešanja, ne bi prodrli u oscilatorno kolo izlaznog stepena. Kada su ovi zahtevi ispunjeni u izlaznom stepenu predajnika može se pojaviti samo radna frekvencija i njeni neizbežni viši harmonici. Viši harmonici se tada mogu isfiltrirati pomoću filtra propusnika NF.

U amaterskoj praksi je najomiljeniji filtar nepropusnik viših harmonika provereni *Kolinsov*–filter. To je jednostavan filtar propusnik NF u π–spoju. Ako se pravilno dimenzioniše i podesi, on u mnogim slučajevima obezbeđuje dovoljno slabljenje viših harmonika. Dimenzionisanje i podešavanje ovog filtra opisano je u podtački 8.1.1.1. *Kolinsov* filtar, ipak, nije svemoguće sredstvo protiv nepoželjnih zračenja, naročito u slučaju kada je on istovremeno i oscilatorno kolo u izlaznom stepenu predajnika (anodno kolo kod cevnog predajnika, odnosno kolektorsko kolo kod tranzistorskog predajnika) i time predstavlja jedino selektivno kolo u predajniku. Da bi se kod kratkotalasnih predajnika ispunili strogi zahtevi u pogledu sprečavanja zračenja smetnji, veoma često se u antensko kolo moraju ugraditi druga selektivna kola.

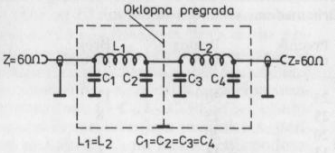
30.2.5.1. *Nesimetrični dvočlani filtar propusnik NF*

Naročito kod većih izlaznih snaga i kod jake modulacije izlaznog stepena predajnika koji radi u klasi C, dolazi do stvaranja viših harmonika. Ovi harmonici dospevaju preko napojnog kabla do antene koja ih zrači. Pod pretpostavkom da se antena napaja preko dobro prilagođenog koaksijalnog kabla, može se u napojni vod uključiti filtar propusnik NF (sl. 30.11). Ovaj filtar nepropusnik viših harmonika, koji se sastoji od dva jednaka fiksno podešena π filtra, slabi drugi harmonik za oko 30 dB, treći harmonik za oko 48 dB i četvrti harmonik za oko 60 dB. Slabljenje viših harmonika raste teoretski stalno sa porastom rednog broja harmonika. U praksi, kod veoma visokih frekvencija slabljenje je ograničeno kompleksnim karakteristikama sastavnih delova filtara i njihovih veza.

Filtar se ugrađuje u metalno kućište koje je zatvoreno sa svih strana. Obe sekcije unutar kućišta međusobno su odvojene oklopnom pregradom. Metalno kućište se spoji najkraćim putem sa nultim potencijalom izlaznog stepena predajnika. Uopšte, antenski filtri se optimalno dimenzionišu za svaki amaterski opseg posebno, pri čemu se ograničavamo na opsege u kojim se javljaju radio-smetnje u toku rada. Ako se upotrebe sastavni delovi malih gubitaka, slabljenje radne frekvencije (slabljenje u propusnom opsegu) je manje od 0,5 dB.

Ako se filtar izgradi sa vrednostima kapacitivnosti i induktivnosti, koje su navedene u tabeli 30.2, filtar je bez posebnog podešavanja, odmah spreman za rad.

Sve zavojnice se namotavaju bez nosača od žice debele 2 mm, pa se mogu podesiti na nominalnu vrednost induktivnosti razvlačenjem ili sabijanjem. Budući da

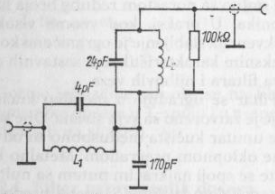


Sl. 30.11. Nesimetrični dvočlani filtar propusnik u NF, u π-spoju

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

radio-amateri retko raspolažu instrumentom za merenje induktivnosti, filtar se podešava pomoću grid-dip metra. U tu svrhu oba kondenzatora C_2 i C_3 prvo se kratko spoje sa kućištem povezivanjem izvoda iz kućišta pomoću bakarne trake. Na taj način su nastala dva međusobno nezavisna paralelna rezonantna kola (L_1–C_1 i L_2–C_4). Oba se deformisanjem zavojnice moraju podesiti na radnu frekvenciju koja se kontroliše pomoću grid-dip metra. Zatim se uklone trake za kratak spoj, pa je filtar spreman za korišćenje.

Kondenzatori treba da imaju male gubitke; ne postavljaju se veliki zahtevi u pogledu njihovog probojnog napona. Ako je VF snaga, npr., 100 W, napon na koaksijalnom kablu od 60 Ω iznosi oko 110 V, a povećava se kod anodne modulacije za odgovarajuće vršne vrednosti. Zbog toga, za snage do 100 W zadovoljavaju keramički kondenzatori naizmeničnog ispitnog napona od 350 V. Pri tom, treba obezbediti da se u napojnom vodu ne javljaju stojeći talasi (tačno prilagođenje), jer se u suprotnom slučaju mogu ja-



Sl. 30.12. Kompaktan filtar propusnik NF za KT predajnik male snage ($L_a = L_2 = 8$ zavojaka bakarne lak-žice od 1 mm na prečniku od 6 mm, zavojak uz zavojak)

viti veliki prenaponi koji razaraju kondenzatore.

Kompaktni filtar (sl. 30.12) upotrebljava se u prijemnicima firme *Motorola* za vozila i može se koristiti na amaterskim opsezima kao filtar propusnik NF ispod 30 MHz. Ovde je izostavljen oklop između oba člana. Radi smanjenja međusobnog uticaja L_1 i L_2, zavojnice su jedna prema drugoj postavljene pod uglom od 90°, kao što je prikazano na šemi. Otpornik od 100 Ω/0,5 W služi za odvođenje statičkih antenskih naboja pri prevoznom radu. Filtar je malih dimenzija, pa se zajedno sa njegovom oklopnom kutijom može smestiti u KT predajnik.

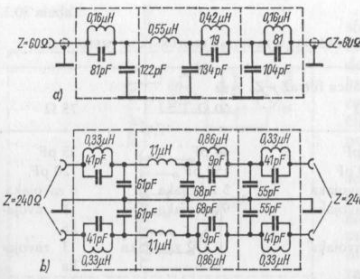
30.2.5.2. *Tročlani filtar propusnik NF sa povećanom strminom*

Većim zahtevima u pogledu slabljenja viših harmonika odgovara tročlani filtar propusnik NF (sl. 30.13). Nesimetrična izvedba na sl. 30.13a predviđena je za uključivanje u koaksijalni napojni vod od 60 Ω, dok se izvedba na sl. 30.13b upotrebljava za simetričan vod od 240 Ω. Filtar se nalazi u kutiji oklopljenoj sa svih strana i pregrađenoj u tri dela. Nepropusno područje počinje na 35 MHz, pa filtar može da slabi sve smetnje u TV opsezima i u UKT radio-području. U celom nepropusnom području slabljenje viših harmonika iznosi oko 60 do 70 dB. Filtar se može koristiti za sve KT predajnike, čija je radna frekvencija ispod 30 MHz.

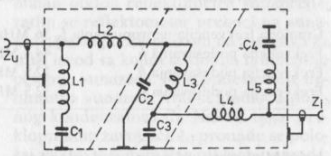
Na sl. 30.14 prikazana je slična šema filtra. To je, takođe, tročlani filtar propusnik NF, koji je smešten u tri oklopljena dela kućišta. U šemi na sl. 30.13 nalazila

PODACI O DIMENZIONISANJU FILTRA PROPUSNIKA NF PREMA sl. 30.11. Tabela 30.2.

Amaterski opseg m	Kapacitivnosti C_1 do C_4 pF	Induktivnosti L_1 i L_2 µH	Orijentacione vrednosti za L_1 i L_2 Prečnik mm	Dužina mm	Broj zavojaka
80	820	2,2	25	50	13
40	390	1,3	25	25	8
20	220	0,57	20	20	7
15	150	0,38	13	18	6
10	100	0,30	13	22	6



Sl. 30.13. Tročlani filtar propusnik NF sa povećanom strminom ne propušta od 35 MHz na više: a – nesimetričan filtar za koaksijalni vod od 60 Ω, b – simetričan filtar za trakasti vod od 240 Ω



Sl. 30.14. Nesimetrični tročlani filtar propusnik NF, ne propušta područje iznad 35 MHz

su se paralelna rezonantna kola u uzdužnim vodovima filtra, a kod filtra na sl. 30.14, u poprečni vod smeštena su serijska rezonantna kola. Rezonantna kola povećavaju strminu porasta slabljenja u nepropusnom području. Paralelna rezonantna kola u uzdužnoj grani filtra deluju kao zaprečna kola za svoju rezonantnu frekvenciju, tj. ne propuštaju rezonantnu frekvenciju. Serijska rezonantna kola u poprečnoj grani jesu provodna kola koja se nazivaju i usisna kola. Ona propuštaju svoju rezonantnu frekvenciju i odvode je na nulti potencijal; ne propuštaju nijednu drugu frekvenciju. Praktično dejstvo je u oba slučaja isto. U tabeli 30.3 dati su podaci o dimenzionisanju filtra prema sl. 30.14 i navedene su frekvencije podešavanja čije objašnjenje sledi. Podaci su za uobičajene impedance kablova od 52, 60 i 75 Ω.

Sve zavojnice su od bakarne lakirane žice debljine 1,5 do 2,0 mm. One se namotavaju na vreteno prečnika 11 mm, pa prečnik zavojnice posle skidanja sa vretena iznosi 12 do 13 mm.

Za pravilno podešavanje filtra potreban je grid-dip metar sa frekventnim opsegom od 20 do 50 MHz. Prvo se obe zavojnice L_2 i L_4 izvode iz filtra, a obe priključne utičnice Z_u i Z_i kratko se spoje sa masom (oklop). Na taj način su dobijena tri međusobno nezavisna paralelna rezonantna kola: L_1–C_1, L_5–C_4 i L_3–C_2–C_3. Sabijanjem ili razvlačenjem zavojnice L_1 podesi se kolo L_1–C_1 na frekvenciju podešavanja f_1, koja je navedena u tabeli 30.3 (provera se vrši grid-dip metrom). Na isti način postupi se sa kolom L_5–C_4. Zatim se kolo L_3–C_2–C_3 podesi deformisanjem zavojnice L_3 na frekvenciju podešavanja f_2. Posle toga pažljivo se odlemi podešena zavojnica L_3, pri čeu se ona ne sme promeniti mehanički. Istovremeno se uklone kratki spojevi sa ulazne i izlazne priključnice, pa se ponovo zaleme zavojnice L_2 i L_4. Nakon toga, zavojnica L_2 promeni se mehanički tako da grid-dip metar, za kompleks C_1–L_1–L_2–C_2, pokaže rezonancu na frekvenciji podešavanja f_3. Prilikom ovog podešavanja ne sme se menjati L_1. Na isti način postupi se sa zavojnicom L_4, s tim što za kompleks C_4–L_5–L_4–C_3, takođe, važi frekvencija podešavanja f_3. Zatim se već podešena zavojnica L_3 opet pažljivo ugradi; time je filtar podešen i pripremlen za rad. Preporučuje se konačna kontrola sa grid-dip metrom. Pri tom se na svakoj zavojnici (L_1 do L_5) mora pokazati frekvencija zaprečavanja f_{gr} od oko 36 MHz kao rezonantna frekvencija.

30.2.5.3. *Antenski filtar sa mogućnošću podešavanja propusnog opsega*

Kod do sada opisanih antenskih filtara radi se isključivo o filtru propusniku NF, čiji je zadatak da isfiltrira više harmonike predajnika koji se nalaze u antenskom

Tabela 30.3.

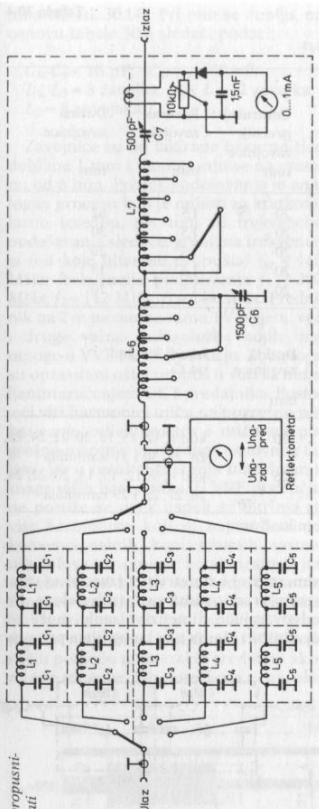
PODACI O DIMENZIONISANJU I O FREKVENCIJAMA PODEŠAVANJA ZA FILTAR PROPUSNIK NF PREMA sl. 30.14.

	Impedanca filtra $Z = Z_u = Z_i$ 52Ω	60 Ω	75 Ω
Kapacitivnosti C_1, C_4	50 pF	46 pF	35 pF
Kapacitivnosti C_2, C_3	170 pF	150 pF	120 pF
Podaci o zavojnicama L_2, L_5	5 zavojaka	5 zavojaka	6 zavojaka
Podaci o zavojnicama L_2, L_4	8 zavojaka	9 zavojaka	11 zavojaka
Podaci o zavojnici L_3	9 zavojaka	10 1/2 zavojaka	13 zavojaka
Granična frekvencija nepropuštanja f_{gr}	36 MHz	36 MHz	36 MHz
Frekvencija podešavanja f_1	44,4 MHz	45,5 MHz	47 MHz
Frekvencija podešavanja f_2	22,5 MHz	25,4 MHz	25,2 MHz
Frekvencija podešavanja f_3	32,5 MHz	32,2 MHz	31,8 MHz

kolu. Međutim, oni ne mogu da slabe zračenje smetnji čija je talasna dužina veća od radne talasne dužine. Da bi se to postiglo, potrebni su filtri propusnici opsega koji uskopojasno filtriraju korisnu frekvenciju i svim drugim frekvencijama koje se nalaze ispod ili iznad radne frekvencije sprečavaju prolaz prema anteni. Takav podešeni antenski filtar propusnik opsega, koji zadovoljava visoke zahteve u pogledu sprečavanja zračenja smetnji, razvio je *DL3HC*, a opisao ga je *DJ4DY* u literaturi pod [3].

Kao što se vidi na šemi (sl. 30.15), na ulazu antenskog filtra za svaki kratkotalasni amaterski opseg nalazi se po jedan dvočlani filtar propusnik NF u π–spoju. Ovi filtri propusnici NF merodavni su za slabljenje viših harmonika, oni se preklapaju na željeni opseg pomoću preklopnika sa dve sekcije i odgovaraju filtrima na sl. 30.11. Posle fiksno podešenog niza filtara smešten je indikator stojećih talasa (npr., reflektometar prema odeljku 31.2), koji treba da ostane uvek spregnut sa dovodom L_6 jer on omogućava optimalno podešavanje prilikom promene frekvencije unutar amaterskog opsega. U istom kućištu nalazi se zavojnica L_6, koja se može prekopčavati sa obrtnim kondenzatorom C_6. U susednom delu oklopljenog kućišta nalazi se promenljiva zavojnica L_7, obrtni kondenzator C_7 i merni transformator sa priključenim instrumentom za merenje vršnih VF napona.

U vezi sa mehaničkom konstrukcijom treba napomenuti da je propisano da filtar ima odvojene oklopljene delove, koji su na šemi prikazani isprekidanom linijom. Pojedini odeljci mogu se izraditi od izolacionih pločica kaširanih bakarnom folijom (koje se koriste za izradu štampanih kola). Za odeljke fiksno podešenih filtara propusnika NF najmanje dimenzije su 100 mm · 50 mm · 50 mm. Ako se odaberu manje dimenzije, javlja se nedozvoljeno veliko slabljenje kola. Preklopnik opsega ima dve sekcije sa 1 · 5 kontakata. Ulazni i izlazni segmenti treba da budu na međusobnom razmaku od najmanje 30 mm da ne bi došlo do sprege između obe sekcije preklopnika. Zavojnice L_6 i L_7, koje pripadaju delu za podešavanje, postavljaju se tako da njihove električne ose budu upravne jedna na drugu; njihov razmak od okolnih zidova kućišta treba da bude u svim smerovima najmanje 50 mm. Preklopnici treba da se smeste što je moguće bliže zavojnicama; mogu se upotrebiti normalni merni preklopnici koji imaju 12 položaja i čija je osovina izolovana. Svi nepromenljivi kondenzatori su keramički ili od stirofleksa, čiji naizmenični probojni napon ne sme biti manji od 500 V. Podaci o dimenzijama za izgradnju ovog filtra dati su u tabeli 30.4.



Sl. 30.15. Šema antenskog filtra propusnika opsega koji se može podešavati

Amater može sam izraditi merni transformator indikatora vršnih VF napona. Feritno jezgro sa dve rupe navuče se na dovod prema antenskoj priključnici; kroz drugu rupu jezgra provuku se dva zavojka bilo kakve lakirane bakarne žice, čiji se krajevi priključe kao što je prikazano na šemi.

Prilikom podešavanja filtra priključe se predajnik i antena, reflektometar se postavi na »unapred«, a preklopnik opsega na željeni amaterski opseg. Izlazni stepen predajnika prvo se podesi na maksimalan otklon reflektometra »unapred«; zatim se reflektometar prebaci na »unazad«, pa se preklopnikom na zavojnici L_6 traži izvod sa kojim se dobija minimalno očitanje »unazad«. Fino podešavanje minimuma »unazad« vrši se pomoću obrtnog kondenzatora C_6. Nakon toga, preklopnikom zavojnice L_7 pronađe se položaj za koji je minimalan otklon »unazad«, pa se konačno pokuša pronaći nula otklona »unazad« pomoću obrtnog kondenzatora C_7. Ovaj proces podešavanja treba ponavljati sve dok se ne dobije optimum. Optimum se sastoji u tome da se pri maksimalnom otklonu »unapred« javlja skoro nulti otklon »unazad«. Konačno, izlazni stepen predajnika podesi se još jedanput na maksimalan otklon »unapred«. Rezultat podešavanja može se očitati i na indikatoru VF vršnih napona.

Podešena optimalna mesta za sve opsege treba obeležiti. Ona služe za kasnije osnovno podešavanje filtara u radu. Prilikom promene frekvencije unutar opsega menja se tada još samo C_7. Činjenica da se C_7 mora naknadno podešavati već kod malih promena frekvencije predajnika od oko 30 kHz, predstavlja znak velike dobrote filtra propusnika opsega. Zbog toga, filtar treba ostaviti u antenskom dovodu i prilikom prijema, jer tada nestaju mnoga zviždanja i pojave unakrsne modulacije.

Ovaj antenski filtar koristi se isključivo za priključak koaksijalnih kablova karakteristične impedance između 50 i 75 Ω. Kablovi se moraju prilagoditi impedanci u priključnoj tački antene, a mora postojati i prilagođenje između izlaza predajnika i ulaza filtra. Ako se filtar savesno izgradi, slabljenje signala koji prolazi kroz

Tabela 30.4

PODACI O DIMENZIJAMA ZA ANTENSKI FILTAR PREMA sl. 30.15

Fiksno podešeni π-filtar:

Opseg	Kapacitivnosti	Induktivnosti	Broj zavojaka	Unutrašnji prečnik zavojnice	Razmak zavojaka	Dužina zavojnice
	pF	μH		mm	mm	mm
80m	$C_1 = 910$	$L_1 = 2{,}30$	18	20	1,5	62
40 m	$C_2 = 450$	$L_2 = 1{,}15$	9	20	1,5	30
20 m	$C_3 = 230$	$L_3 = 0{,}56$	6	20	1,5	20
15 m	$C_4 = 150$	$L_4 = 0{,}38$	4	20	1,5	13
10 m	$C_5 = 100$	$L_5 = 0{,}28$	3	20	1,5	10

Zavojnice podešavanog dela filtra:

	Broj zavojaka	Unutrašnji prečnik zavojnice	Razmak zavojaka	Dužina zavojnice	Izvodi brojani od C_6
		mm	mm	mm	
L_6	32	40	2	130	kod 6, 12, 15, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 29, 30 i 31 namotaja
L_7	30	40	2	125	kod 4, 9, 12, 15, 18, 20, 22, 24, 26, 27, 28 i 29 namotaja

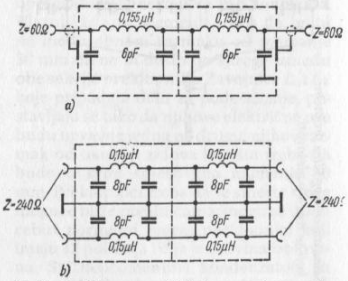
Sve zavojnice su od posrebrene bakarne žice prečnika 2 mm.

filtar iznosi oko – 1 dB, slabljenje prvog višeg harmonika je oko – 60 dB, a slabljenje bočnih signala prvog reda iznosi oko – 40 dB.

30.2.5.4. *Antenski filtar za UKT predajnik*

Viši harmonici koje proizvodi izlazni stepen predajnika od 2 m nalaze se u opsezima 288 do 292 MHz, 432 do 438 MHz, 576 do 584 MHz itd. To znači da se javljaju samo smetnje na kanalima IV i V TV područja (kanal 34 do 35 i kanal 52 do 53). Na žalost, umnožavači frekvencije, koji se nalaze ispred izlaznog stepena, proizvode pored željenih signala još čitav niz nepoželjnih viših harmonika koji se pojačavaju, umnožavaju i mešaju u izlaznom stepenu. Zbog toga je često potrebno da se i predajnik u opsegu od 2 m obezbedi filtrom radi sprečavanja smetnji usled viših harmonika u III TV opsegu.

Na sl. 30.16 prikazan je filtar propusnik NF od dva člana za predajnik od 2 m u nesimetričnoj i simetričnoj izvedbi sa unesenim vrednostima sastavnih delova. Uz odgovarajuće dimenzionisanje može se upotrebiti i šema troćlanog filtra propus-



Sl. 30.16. Filtar prpusnik NF u π-spoju za predajnik od 2 m: a – nesimetričan filtar za koaksijalni kabl od 60 Ω, b – simetričan filtar za priključak voda od 240 Ω

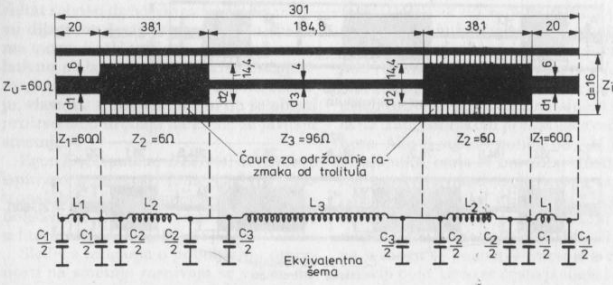
nika NF (sl. 30.14). Pri tom se dobiju, na osnovu tabele 30.2 sledeći podaci;

$C_1, C_4 = 10$ pF; $C_2, C_3 = 40$ pF;
$L_1, L_5 = 3$ zavojka; $L_2, L_4 = 2$ zavojka
$L_3 = 5$ zavojaka.

Zavojnice su od lakirane bakarne žice debljine 1 mm i namotavaju se na vreteno od 6 mm. Proces podešavanja je analogan procesu koji je opisan za kratkotalasnu izvedbu, pri tom su frekvencije podešavanja sledeće: granična frekvencija (od koje filtar ne propušta) $f_{gr} = 160$ MHz; frekvencija podešavanja $f_1 = 200$ MHz; $f_2 = 112$ MHz; $f_3 = 144$ MHz. Predajnik na 2 m ne ometa samo TV prijem, već i druge važne radio-službe kojih ima mnogo u VVF i UVF području. Zbog toga su opravdani oštri propisi u vezi sa neželjenim zračenjem UKT predajnika. Postojeći viši harmonici utiču na pogrešno pokazivanje reflektometra i utiču na pogrešno merenje veće snage osnovnog talasa, jer u rezultat merenja ulazi i suma snage viših harmonika. U VVF području ne postiže se uvek uspeh sa filtrima za više harmonike, koji su napravljeni od konvencionalnih koncetrisanih sastavnih delova (zavojnice i kondenzatori), jer induktivnosti žičnih veza i sopstvene rezonance zavojnica deluju na visokim frekvencijama kao jake smetnje. Osim toga tačno podešavanje filtra u VVF području pomoću amaterskih sredstava skoro nije moguće. Tih poteškoća nema ako se filtar za VVF i UVF područje izradi u koaksijalnoj tehnici. Takve filtre propusnike NF prvi je konstruisao i opisao amater *DJ3QC* u obliku koaksijalnog kola za amaterski predajnik u opsegu od 2 m [1]. Za njihovu konstrukciju potrebna je mehanička veština, ali filtri su veoma kompaktni, odlično sprečavaju prolaz višim frekvencijama i nije potrebno podešavanje.

Na sl. 30.17 prikazan je presek jednostavnog koaksijalnog filtra propusnika NF prema amateru *DJ3QC*. Spoljašnji provodnik sastoji se od bakarne ili mesingane cevi dužine 301 mm i unutrašnjeg prečnika 16 mm. Metalni unutrašnji provodnik podeljen je na pojedine sekcije različitih prečnika. Oba dela unutrašnjeg provodnika dužine po 38,1 mm i prečnika 14,4 mm prevučena su odgovarajućom čaurom od izolacionog materijala, koja, sa jedne strane, deluje kao dielektrik, a sa druge strane, kao stabilno mehaničko učvršćenje unutrašnjeg provodnika u spoljašnjoj cevi. U originalnoj izvedbi upotrebljene su čaure od teflona, ali mogu poslužiti i drugi kvalitetni sintetički materijali, ako se vodi računa o njihovoj dielektričnoj konstanti. Filtar je zaključen sa obe strane odgovarajućim koaksijalnim konektorima od 60 Ω, koji nisu prikazani na sl. 30.17.

Na sl. 30.17 prikazana je i ekvivalentna šema filtra. Pri tom je uzeto u obzir da svaki deo voda sam za sebe treba posmatrati kao π–član. U ovom slučaju, sve in-



Sl. 30.17. Koaksijalni filtar propusnik NF za predajnik u opsegu od 2 m prema amateru DJ3QC sa ekvivalentnom šemom (podaci su u mm; crtež nije u razmeri)

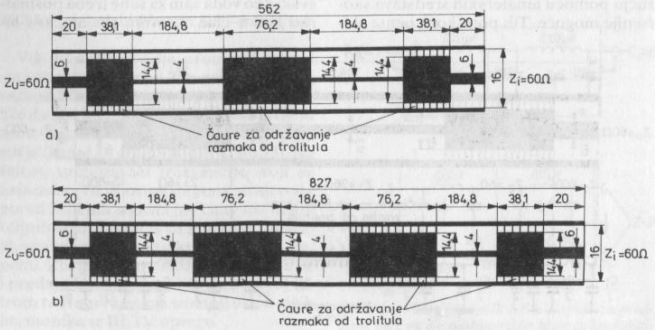
duktivnosti i kapacitivnosti zavisne su od frekvencije. Proračun filtra može se izvršiti samo na osnovu tačne ekvivalentne šeme. On je jednostavan, ali traje dugo, pa se praktično može izvesti samo pomoću računara. Ako se u pogledu dimenzija poštuju preporuke amatera *DJ3QC* postižu se optimalne vrednosti.

Kriva slabljenja jednočlanog filtra (sl. 30.17) daje već u III TV području vrednosti oko 8 dB, drugi harmonik (290 MHz) slabi već sa 20,5 dB, a kod četvrtog harmonika postiže se maksimalno slabljenje od 33 dB. Na sl. 30.19 prikazane su ostale vrednosti slabljenja. Slabljenje frekvencije od 145 MHz koju propušta iznosi manje od 0,1 dB.

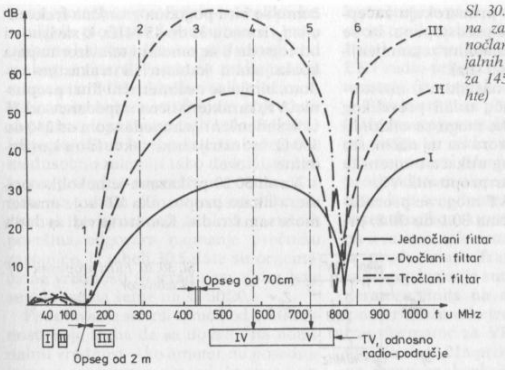
Više osnovnih filtara može se povezati u niz, kao što je prikazano na sl. 30.18. Pri tom su uvek srednji delovi provodnika od 60 Ω, dužine 38,1 mm, sastavljeni u jedan neprekinut komad dvostruke dužine (76,2 mm). Kod višečlanog filtra slabljenje viših harmonika se povećava, a krive postaju strmije. Na sl. 30.18a date su dimenzije dvočlanog π–filtra. Na sl. 30.18b prikazan je troćlani filtar. Izmerene krive slabljenja za različite izvedbe filtara date su na sl. 30.19. Na slici se može videti da postoji određeno slabljenje i frekvencija nižih od 144 MHz. To proizlazi iz činjenice da su malo oslabljene frekvencije od 48 MHz, 72 MHz i ostale neharmonične frekvencije. Slabljenje četvrtog i petog harmonika predajnika od 2 m, koji naročito ugrožavaju kanale IV i V TV područja, veoma je veliko.

Ako se navedene dimenzije dužina skrate na 1/3 isti filtri mogu se napraviti i za amaterske predajnike u opsegu od 70 cm. U literaturi pod [1] dati su detaljni mehanički podaci i konstrukcioni crteži za ove odlične koaksijalne filtre.

Filtri su efikasni u punoj meri samo ako je izvršeno tačno prilagođenje njihove ulazne otpornosti Z_u i izlazne otpornosti Z_i na priključeni predajnik, odnosno napojni vod. To istovremeno znači da antena mora biti rezonantna i prilagođena na njen napojni vod. Poznato je da stojeći talasi u napojnom vodu ometaju prilagođenje i time utiču na efikasnost filtra. Već je u okviru opisa vrsta antena i njihovog napajanja ukazano na različitu osetljivost raznih oblika antena na zračenje smetnji. U osnovi važi da antenska postrojenja sa niskoomskim tačno prilagođenim napojnim vodovima prouzrokuju najmanje zračenje smetnji. U tačno prilagođenje spada i očuvanje simetrije. Na primer, koaksijalni kabl se sme, priključiti na simetričnu antenu samo preko transformatora za simetriranje.



Sl. 30.18. Višečlani filtar propusnik NF prema amateru DJ3QC; a – koaksijalni dvočlani π-filtar, b – koaksijalni troćlani π-filtar (dimenzije su u mm; crtež nije u razmeri)



Sl. 30.19. Izmerena frekventna zavisnost slabljenja jednočlanog i višečlanih koaksijalnih filtara propusnika NF za 145 MHz (iz UKW-Berichte)

30.2.6. Poboljšanje zaštite od smetnji na komercijalnim elektronskim uređajima

Radio-amateru je neprijatno kada mu susedi kažu da njegov predajnik prouzrokuje smetnje pri TV i radio-prijemu ili da utiče na kvalitet reprodukcije pojačavača, magnetofona i gramofona. Često loš predajnik nije uzrok smetnji, već tehnički nedostaci korišćenih prijemnika ili pojačavača. Uprkos tome u interesu dobrosusedskih odnosa, radio-amater treba da se potrudi da pronađe uzrok smetnji i da rezultat saopšti dotičnom susedu. Na osnovu dijagnoze često je sopstvenim snagama moguće otkloniti uzrok smetnji uz relativno mala sredstva; u težim slučajevima, kada treba raditi u ometanom uređaju, vlasniku treba savetovati da se obrati proizvođaču uređaja na kome se javljaju smetnje.

Egon Koh, (amater *DL1HM*) detaljno je ispitivao otpornost komercijalnih elektronskih uređaja na smetnje i njihovo poboljšavanje. Dobijene rezultate objavio je u literaturi pod [4], [5], [6], [7].

Sledeća izlaganja o poboljšanju otpornosti na smetnje zasnivaju se većim delom na saznanjima koja je stekao navedeni autor.

30.2.6.1. *Smetnje usled zračenja na TV prijemnicima i njihovo otklanjanje*

Smetnje na TV slici naročito nerviraju gledaoce, pa su one zbog toga najveća briga amatera koji radi sa predajnikom. Na žalost, one se nalaze na prvom mestu po broju žalbi. Uvek treba prvo proveriti da li je prijemna antena pravilno izgrađena i uzemljena. U vezi s tim treba napomenuti da su širokopojasni antenski pojačavači, koji se još često koriste bez selektivnih delova na ulazu, glavni krivci za smetnje koje se prenose zračenjem. Kod njih može doći čak do samopobude i u tom slučaju deluju kao predajnici smetnji.

Prema podacima datim u literaturi pod [6], najveći deo smetnji pri TV prijemu nastaje zbog nedovoljne selekcije, a usled prevelikog nivoa ometajućih signala na tranzistorskom predpojačavaču tjunera. Ako ti signali potiču od AM i SSB predajnika, onda se oni zbog smetnji usled unakrsne modulacije mogu zapaziti na ekranu u obliku širih ili užih horizontalnih pruga ili kao moare. Pri tom često nestane čak i sinhronizacija slike ili redova, a mogu se pojaviti i smetnje u reprodukciji boje. Uz to se često javljaju i smetnje u tonu, pa se čuje modulacija predajnika koji ometa. Nasuprot tome, jaki sig-

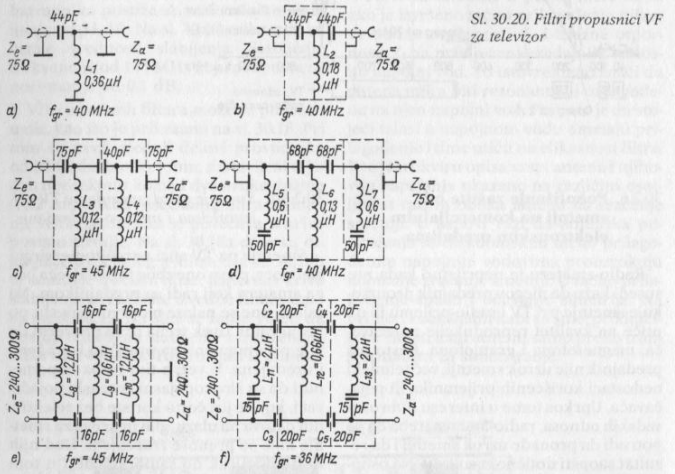
YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

nali FM predajnika prouzrokuju začepljavanje tranzistora u predstepenu, što se uočava po jačim ili slabijim zatamnjenjima koja se javljaju na slici.

Sve smetnje koje nastaju u tranzistorskom predpojačavaču usled prevelikog nivoa stranih signala, mogu se otkloniti bez zahvata u televizoru na taj način, što se između antenskog utikača i antenske utičnice uključi filtar propusnik VF.

Filtri propusnici VF mogu se proračunati pomoću jednačina 30.1 do 30.8, pri čemu se bira pogodna granična frekvencija f_{gr} između 35 do 45 MHz. U zavisnosti od toga da li se ometani televizor napaja koaksijalnim kablom ili trakastim vodom, biraju se nesimetrični filtri propusnici VF, karakteristične impedance od 75 Ω ili simetrični sa impedancom od 240 do 300 Ω. Industrija nudi takve filtre kao dodatne delove.

Na sl. 30.20 prikazano je nekoliko primera filtara propusnika VF koje amater može sam izraditi. Kao što se vidi sa datih



Sl. 30.20. Filtri propusnici VF za televizor

Tabela 30.5.

ORIJENTACIONE VREDNOSTI ZA DIMENZIONISANJE ZAVOJNICA U FILTRIMA PROPUSNICIMA VF PREMA sl. 30.20

Šema na slici	Zavojnica	Induktivnost	Broj zavojaka	Prečnik zavojnice	Dužina zavojnice	Prečnik žice
30.20a	L_1	0,36 μH	12	8mm	14mm	0,8-mm-CuL
30.20b	L_2	0,18 μh	8	8 mm	14 mm	0,8-mm-CuL
30.20c	L_3, L_4	0,12 μH	6,5	8 mm	14 mm	0,8-mm-CuL
30.20d	L_5, L_7	0,60 μH	16	8 mm	14mm	0,8-mm-CuL
	L_6	0,13 μH	7	8 mm	14 mm	0,8-mm-CuL
30.20e	L_8, L_{10}	1,2 μH	16	12 mm	20 mm	0,6-mm-CuL
	L_9	0,6 μH	16	8 mm	16 mm	0,8-mm-CuL
30.20f	L_{11}, L_{13}	2,0 μH	26	12 mm	34 mm	0,8-mm-CuL
	L_{12}	0,66 μH	17	8 mm	16 mm	0,8-mm-CuL

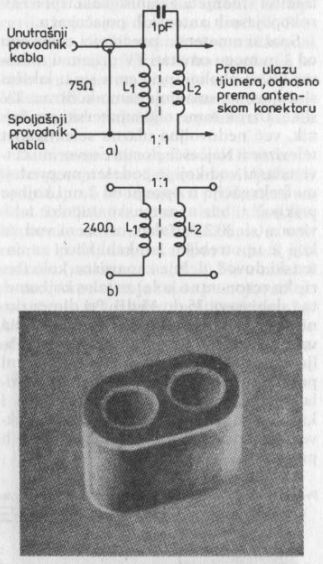
*Zavojnice L_8 i L_{10} su sa izvodom u sredini

šema, potreban materijal – nekoliko keramičkih pločastih kondenzatora i malo lakirane bakarne žice – može se naći kod svakog amatera. Potrebna mala kućišta mogu se izraditi od izolacionih pločica sa kaširanom bakarnom folijom koje služe za proizvodnju štampanih kola. Bakarne folije pojedinih strana kućišta moraju se međusobno zalemiti tako da kućište čini jednu prirodno neprekinutu celinu. Kućišta se moraju dimenzionisati tako, da razmak zavojnica od okolnih metalnih površina odgovara najmanje prečniku zavojnice. U tabeli 30.5 date su orijentacione vrednosti za izradu zavojnica koje se odnose na šeme na sl. 30.20.

Podešavanje se vrši samo kod induktivnosti koje treba da se dovedu na nominalnu vrednost. Ako amater ne poseduje instrument za merenje induktivnosti, zavojnica se veže u paralelno rezonantno kolo sa kondenzatorom C uskih tolerancija, pa se grid-dip metrom izmeri rezonantna frekvencija f_{rez}. Iz C i f_{rez} može se, na poznati način, izračunati nepoznata induktivnost L zavojnice. Podešavanje na nominalnu induktivnot vrši se stiskanjem ili razvlačenjem zavojnice.

Još jedan uzrok smetnji u tjuneru jesu struje u oklopu koje se javljaju u dovodnom kablu od antene. One su naročito jake kada se dužina dovodnog antenskog kabla slučajno nađe u rezonanci sa talasnom dužinom predajnika koji ometa. U tom slučaju, kod koaksijalnih antenskih dovoda ne pomažu filtri propusnici VF, jer se struje u oklopu šire po spoljašnjem provodniku kabla i na taj način dolaze do ulaza prijemnika zaobilazeći filtar. Prema literaturi pod [6], struje u oklopu antenskog kabla nastaju zbog lošeg uzemljenja spoljašnjeg omotača kabla. Ovim smetnjama naročito su podložni televizori sa nesimetričnim ulazom od 75 Ω, kod kojih priključci nisu pravi koaksijalni priključci konvencionalnog tipa. Tu su srednji provodnik i oklop vezani preko odvojnog kondenzatora sa ulazom tjunera i sa šasijom televizora, što je potrebno iz bezbednosnih razloga (zbog mrežnog napona koji se nalazi na šasiji). Odvojni kondenzator sprečava pouzdano uzemljenje omotača kabla. Osim toga on potpomaže da se preko spoljašnjeg provodnika kabla zračenjem prenose viši harmonici linijskog oscilatora priključenog televizora. Usled toga se kod dugotalasnog, KT i UKT radio-prijema javljaju slabije ili jače smetnje na razmaku od po 15625 Hz.

U frekventnom području od 40 do 800 MHz, smetnje nastale usled struja u oklopu mogu se otkloniti pomoću VF transformatora za galvansko odvajanje. Neki proizvođači za ulaze od 240 Ω i 75 Ω nude filtre koji se jednostavno utaknu između antenskog konektora i priključnog kabla, pa u samom televizoru nije potrebno ništa preduzimati. Transformatori za galvansko odvajanje smanjuju i zračenje generatora linija na antenski kabl. Sam amater može vrlo jednostavno napraviti transformator za VF galvansko odvajanje. Na sl. 30.21a prikazana je principijelna šema za koaksijalni kabl, a na sl. 30.21b za simetrične vodove od 240 Ω.



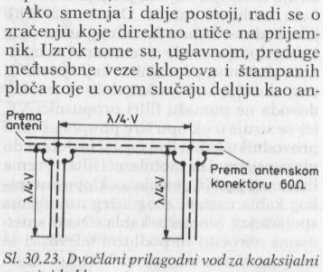
Sl. 30.21. VF transformatori za galvansko odvajanje; a – za koaksijalni kabl, b – za trakasti vod od 240 Ω, c – jezgro sa dve rupe

One se razlikuju samo malo po spoju i po broju zavojaka. Namotavanje se vrši bifilarno (sa dve žice), čime se postiže zahtevani prenosni odnos od 1 : 1. Feritna jezgra sa dve rupe koriste se kao telo transformatora, a prečnik upotrebljene žice određuje se prema veličini rupa u koje se smešta namotaj. Za izvedbu od 75 Ω dovoljna su 2 · 2 zavojka, a za 240 Ω zadovoljavaju 2 · 3 zavojka. Pogodna su i mala feritna prstenasta jezgra. U slučaju nužde može se proći i bez feritnog jezgra, ali se tada mora uzeti dvostruki broj namotaja. Orijentacione vrednosti su 2 · 4 zavojka, odnosno 2 · 6 zavojaka lakirane bakarne žice od 1 mm, bifilarni namotaji sa razmakom između namotaja od 1 mm na telu zavojnice prečnika 7 mm. Prema literaturi pod [2], takvi VF transformatori za galvansko odvajanje mogu se dobro upotrebiti i za slabljenje ometajućih kratkotalasnih i srednjetalasnih signala ispred širokopojasnih antenskih pojačavača.

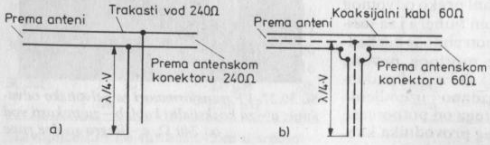
Snažni amaterski predajnici u opsegu od 2 m mogu ometati TV prijem u njihovoj bližoj okolini, pri čemu se, u lakšim slučajevima, smanjuje samo kontrast TV slike. Uzrok tome nije amaterski predajnik, već nedovoljna ulazna selektivnost televizora. Najčešće pomaže otvoreni četvrttalasni vod koji je podešen na predajnu frekvenciju u opsegu od 2 m i koji se priključi u blizini antenske utičnice televizora (sl. 30.22). Takav otvoreni vod za koji je upotrebljen isti kabl kao i za antenski dovod, deluje kao usisno kolo (serijsko rezonantno kolo) za talas koji ometa i slabi ga za 35 do 45 dB. Pri dimenzionisanju dužine četvrttalasnog voda treba uzeti u obzir faktor skraćenja V upotrebljenog kabla. Isto dejstvo ima i zatvoreni polutalasni vod (vidi sl. 5.29). Ovakvi prilagodni vodovi mogu dobro poslužiti i kao usisna kola za ometajuće UKT frekvencije ispred širokopojasnih antenskih pojačavača.

Ukoliko slabljenje jednostavnog prilagodnog voda nije dovoljno, može se postaviti još jedan isti prilagodni vod na četvrttalasnom razmaku na napojnom kablu (sl. 30.23). Time se udvostručava slabljenje smetnji na oko 70 dB. Pri dimenzionisanju četvrttalasnog razmaka između oba prilagodna voda, mora se uzeti u obzir faktor skraćenja V upotrebljenog napojnog voda. Prilagodni vodovi, koji su podešeni na 145 MHz, slabe i korisni signal na niskofrekventnom početku III TV opsega (kanal 5 CCIR) za oko 12 dB [2]. Ipak, ovo slabljenje korisnog signala opada prema višim frekvencijama sve do 0 dB na kanalu 12 (CCIR). Ako se smetnje ne mogu otkloniti pomoću filtra propusnika VF i pomoću VF transformatora za galvansko odvajanje, onda je to znak da visoka frekvencija prodire u televizor preko priključenih vodova ili direktnim zračenjem. Da bi se to proverilo, treba prvo odvojiti sve priključke, kao što je kabl za daljinsko upravljanje ili vod za drugi zvučnik i na ulaz mreže ugraditi mrežni filtar. Taj spoj se može izvesti kao na sl. 30.24. Prigušnica je namotana bifilarno na feritno prstenasto jezgro (sl. 30.24b), a induktivnost po namotaju iznosi približno 1,8 mH.

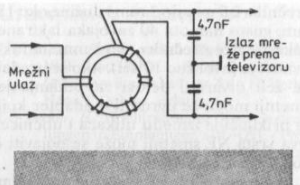
Ako smetnja i dalje postoji, radi se o zračenju koje direktno utiče na prijemnik. Uzrok tome su, uglavnom, preduge međusobne veze sklopova i štampanih ploča koje u ovom slučaju deluju kao an-

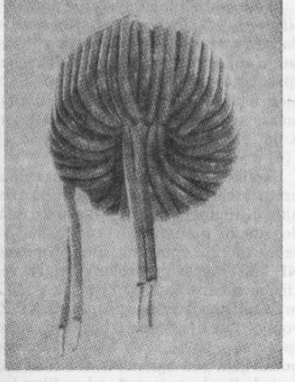


Sl. 30.23. Dvočlani prilagodni vod za koaksijalni napojni kabl



Sl. 30.22. Otvoreni četvrtlalasni prilagodni vod: a – za simetričan trakasti vod, b – za nesimetričan koaksijalni kabl





Sl. 30.24. Filtriranje mrežnog napona na kablu za napajanje televizora: a – principijelna šema, b – ferokart – prstenastro jezgro sa namotajem (foto: Egon Koh, DL1HM)

tene preko kojih dospevaju nepoželjni signali smetnji do kritičnih delova televizora. Istu posledicu mogu izazvati i nepovoljni spojevi sa masom na pojedinim pločicama. Otklanjanje smetnji usled direktnog zračenja zahteva intervenciju u televizoru. Zbog toga treba prepustiti proizvođaču televizora da odluči o merama koje treba preduzeti za otklanjanje smetnji.

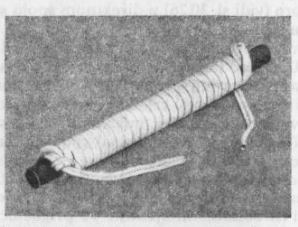
Kratko rečeno, postoje tri relativno jednostavne, ali efikasne mogućnosti za otklanjanje smetnji na televizoru: VF transformator za galvansko odvajanje, filtar propusnik VF i filtriranje mrežnog napona. Uvek je korisno da ove tri stvari budu spremne.

30.2.6.2. *Smetnje usled zračenja kod ostalih komercijalnih elektronskih uređaja*

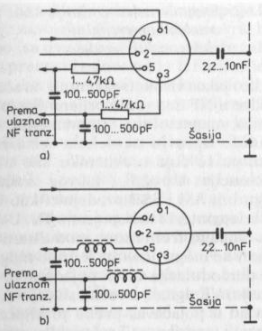
Ako jako visokofrekventno zračenje prodre u NF deo radio-prijemnika, pojačavača, magnetofona ili gramofona, ono se može ispraviti na nekom sastavnom delu, pa se čuje u zvučniku kao niska frekvencija. Uzročnici takvog zračenja mogu biti AM i SSB predajnici kao i radio-teleprinteri i uskopojasna TV. U opštem slučaju, frekventno modulisani VF signali ne mogu ometati, jer nije moguća FM demodulacija u NF pojačavaču. Nepoželjni VF signali, u većini slučajeva, dospevaju u pojačavač preko priključenih mrežnih vodova, mikrofonskih, gramofonskih i magnetofonskih kablova, kao i preko kablova za priključak zvučnika.

Na određenom poluprovodničkom sastavnom delu, VF signal smetnji se ispravlja, pojačava i dospeva u zvučnik. Prema tome da li nisko-frekventni signal smetnji nastaje ispred ili iza regulacije jačine zvuka, jačina smetnje se može podešavati ili ona ostaje konstantna – nezavisno od položaja regulatora jačine zvuka.

Da bi se utvrdilo da li visoke frekvencije dospevaju u uređaj preko priključenih vodova, prvo se odvoje svi priključeni vodovi. Spoljašnji zvučnici – ukoliko su priključeni – zamene se slušalicama sa spiralnim priključnim kablom i ubaci prigušnica (prikazana na sl. 30.24) u mrežni dovod. Ako smetnja i tada postoji, radi se o zračenju koje direktno utiče na uređaj. Ako se smetnja više ne javlja, »krivac« se određuje tako što se priključni kablovi je-



Sl. 30.25. VF prigušnica za zvučnik na feritnom antenskom štapu (foto: Egon Koh, DL1Hm)

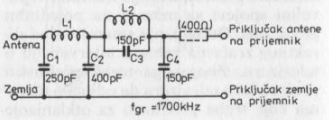


Sl. 30.26. Priključivanje VF elemenata za otklanjanje smetnji na standardizovane NF petopolne konektore: a – za srednje i visokoomske izvore, b – kod niskoomskih izvora

dan za drugim vraćaju u pripadajuće konektore. Ponekad su to dugački kablovi zvučnika kod stereo-uređaja, koji za ometajući VF signal deluju kao antena. Pomoć: na izlaz zvučnika postavlja se VF prigušnica za otklanjanje smetnji (sl. 30.25). Ona se sastoji od feritnog antenskog štapa dužine 140 mm i prečnika 10 mm. Na štapu se nalazi 25 gusto motanih zavojaka dvožilnog fleksibilnog kabla 2 · 0,5 mm (sl. 30.25). Dobro može poslužiti i prstenasto feritno jezgro sa bifilarnim namotajem (sl. 30.24b). Ako se ispostavi da drugi kablovi (npr., kabl za slušalice, mikrofon ili magnetofon) deluju kao »prijemne antene za smetnje«, prvo treba ispitati da li je kontakt 2 ulaznog konektora (vidi sl. 30.26) u direktnom spoju sa šasijom uređaja. Ako nije, između tačke 2 i mase priključi se kondenzator od 2,2 do 10 nF, kao što je prikazano na slici. Ako se radi o izvorima srednje i visoke otpornosti (magnetofoni, kristalna gramofonska zvučnica i kristalni mikrofoni), tada se NF vodovi 3 i 5 (sl. 30.26a) spoje sa masom preko RC člana. Ako se radi o niskoomskim izvorima (magnetna glava, dinamički mikrofon) priključe se LC članovi (sl. 30.26b). Minijaturne VF prigušnice mogu se naći u prodaji; one se mogu i napraviti na taj način što se na feritni štapić prečnika 2,5 mm do 3 mm i dužine oko 15 mm, gusto namota 40 zavojaka lakirane bakarne žice prečnika oko 3 mm (induktivnost je približno 10 μH). Ako se uređaj ne želi otvarati, delovi za otklanjanje smetnji mogu se ugraditi u adapter koji se priključuje između utikača i utičnice. Ova vrsta NF smetnji može se pojaviti i kod TV prijemnika.

Ako nepoželjno VF zračenje prodire u NF deo uređaja, treba se obratiti proizvođaču za savet. Detaljna uputstva o postavljanju dijagnoze, određivanju lokacije i sprečavanju prodiranja smetnji zračenjem u komercijalne elektronske uređaje nalaze se u objavljenim člancima Egona Koha, navedenim u literaturi pod [5] i [6].

Ukoliko osnovni talas amaterskog predajnika ometa radio-prijem na srednjim ili dugim talasima, što se inače retko događa, ne pomažu filtri propusnici VF, već se moraju upotrebiti filtri propusnici NF, koji sprečavaju prolaz svim frekvencijama iznad oko 1700 kHz. Na sl. 30.27 prikazan je takav filtar propusnik NF. Zavojnice L_1 i L_2 ne smeju biti međusobno spregnute, pa se zbog toga njihove ose postavljaju pod uglom 90°. Ovi filtri rade malo bolje ako se između izlaza filtra i antenske utičnice priključi ugljenoslojni otpornik od 400 Ω (ucrtano isprekidanom linijom). Prijem kratkih talasa znatno oslabi kada se upotrebljavaju ovakvi filtri, jer se te frekvencije nalaze u nepropusnom području filtra.



Sl. 30.27. Filtar propusnik NF za AM radio-prijemnik bez kratkih talasa
Podaci o zavojnicama: L_1 = 65 zavojaka lakirane bakarne žice sa svilenom izolacijom prečnika 0,65 mm na cilindričnom telu prečnika 38 mm – zavojci su namotani jedan uz drugi; L_2 = 41 zavojak, ostalo kao kod L_1. Između ove dve zavojnice ne sme doći do međusobne sprege!

LITERATURA UZ POGLAVLJE 30

[1] *Dohlus, H.J.:* Koaxiale Tiefpassfilter für VHF und UHF, »UKW–Berichte« 4 (1964), april, sveska 1, str. 5 do 17, Verlag Hans J. Dohlus, Erlangen

[2] *Becker, H.:* Hochfrequente Stoereinstrahlungen in Empfaenger, »DL–QTC« 1969, sveska 1, str. 3 do 16, W. Koerner Verlag, Stuttgart 1969

[3] *Heine, B.:* Ein wirklich wirksames Antennenfilter, Neukircher Funk–Brief, D–6689 Goettelborn, 7 (1974), br. 34, str. 115 do 118

[4] *Koch, E.:* Einstrahlfestigkeit von Fernseh–und Rundfunkempfaengern der Saison 1975/76, Funkschau, München 47 (1975), sveska 18, str. 115 do 118

[5] *Koch, E.:* Prüfung der Einstrahlfestigkeit von NF–Verstaerkern, Funkschau, München 48 (1976), sveska 8, str. 309 do 311.

[6] *Koch, E.:* Einstrahlfestigkeit »nachgeruestet«, 1. deo, Funkschau, München 47 (1975), sveska 23, str. 73 do 76 i 2. deo Funkschau, München 47 (1975), sveska 24, str. 83 do 86

[7] *Koch, E.:* Jetzt einstrahlungsfeste Farbfernsehgeraete, Funkschau, München 46 (1974), sveska 24, str. 916 do 918.

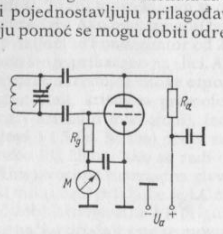
31. Merni uređaji za antene

Svakom radio-amateru je poznato da prijemnik ili predajnik koji je sam izgradio, posle sklapanja mora tačno podesiti, jer se samo tada postiže očekivana snaga. Na žalost ovo saznanje nije prihvaćeno kod antena koje amateri sami grade. Tek kada se izvrši tačno podešavanje i kada se to merenjem potvrdi, antena može raditi pod optimalnim uslovima.

Najpovoljniji uslovi rada antenskog postrojenja mogu se obezbediti samo ako se raspolaže određenim minimumom mernih instrumenata. Industrijski proizvedeni precizni instrumenti su veoma skupi, pa su za radio-amatera nedostižni. Radio-amater mora sam da izgradi instrumente, pri čemu mora odustati od najveće moguće tačnosti merenja koja u praksi i nije potrebna.

Instrumenti sopstvene izrade za prilagođenje antene nisu ni u kom slučaju komplikovani i ne zahtevaju skupe specijalne delove. Ovo se odnosi naročito na antene koje se napajaju koaksialnim kablom. U tom slučaju, minimalna oprema se sastoji od grid–dip metra, koji amater uvek poseduje, i od reflektometra, koji se može napraviti sa malim sredstvima. Postoji još niz drugih instrumenata za antenu koji pojednostavljuju prilagođavanje ili uz čiju pomoć se mogu dobiti određeni podaci o anteni. Za normalno podešavanje antene na najbolje prilagođenje takvi instrumenti ipak nisu neophodno potrebni.

U sledećem tekstu opisani su najvažniji instrumenti i pomoćna sredstva za merenje na antenama koje amater može sam izraditi.



Sl. 31.1. Osnovna šema grid-dip metra

31.1. Grid-dip metar i slični uređaji za proveru rezonance

Poznati grid-dip metar je merač rezonance koji se može svestrano upotrebljavati. On zbog toga spada u osnovnu opremu amaterske radio-stanice. Glavna oblast primene obuhvata određivanje i približno merenje rezonantne frekvencije oscilatornih kola, pa se on može uslovno upotrebiti i prilikom podešavanja antena. Osim toga, on je pogodan i kao VF generator za napajanje mostova sa impedancama.

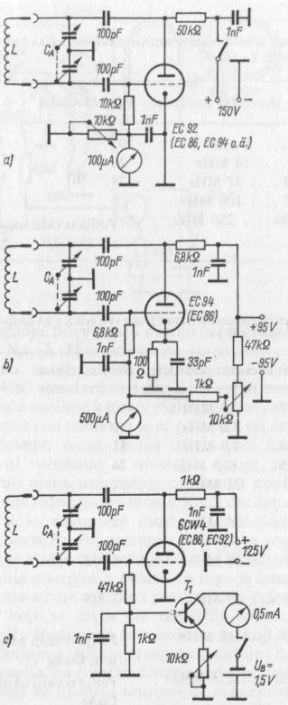
Na sl. 31.1 prikazan je prvobitni oblik grid-dip metra. On se sastoji od jednostavne šeme oscilatora sa promenljivom frekvencijom oscilovanja. U dovodnom vodu upravljačke rešetke cevi oscilatora nalazi se instrument za indikaciju struje rešetke (engleski naziv za rešetku je: grid) koja uvek postoji kada oscilator osciluje. Ako se zavojnica grid-dip metra približi drugom rezonantnom sklopu i ako su oba kola u rezonanci, onda ispitivano kolo koje ne osciluje uzima energiju iz kola koje osciluje. To oduzimanje energije uočava se na instrumentu koji meri struju rešetke kao veće ili manje opadanje struje rešetke (tzv. rezonantni dip). Za mehaničku izgradnju jednostavnih grid-dip metara nije potrebno ništa specijalno, pojedinosti o tome nalaze se u većini amaterskih knjiga i časopisa. Radi bolje preglednosti, u sledećim šemama proverenih grid-dip metara nisu ucrtani mrežni delovi i dodatni sklopovi (tonski modulator itd). Orijentacione vrednosti za dimenzionisanje oscilatornog kola date su zajednički za sve oblike u tabeli.

31.1.1. Univerzalne jednocevne šeme

Šeme prikazane na sl. 31.2 koristi *Kolpicov* (Colpitts) oscilator koji je uobičajen za grid-dip metar. Njegova glavna prednost je u tome što nije potrebna zavojnica za povratnu spregu ni izvod na zavojnici, jer se oscilacije proizvode kapacitivnom deobom napona. Na zavojnicama A nema jednosmernog napona, a one nemaju ni galvansku vezu sa nultim potencijalom šeme. Prema sl. 31.2a osetljivost instrumenta podešava se pomoću promenljivog otpornika (oko 10 kΩ), koji istovremeno služi kao dodatni odvodni otpornik rešetke i kao šent za instrument.

Na sl. 31.2b prikazan je sličan grid-dip metar, sa poboljšanim podešavanjem. U ovom slučaju, pomoću katodnog otpornika pozitivno se povećava katodni potencijal u odnosu na upravljačku rešetku, a istovremeno se na rešetku dovodi, takođe, pozitivni prednapon preko promenljivog delitelja napona (10 kΩ). Ova kombinacija omogućava lako podešavanje radne tačke i doprinosi da opseg podešavanja i otklon instrumenta budu veći (veći dip).

Prema šemi na sl. 31.2c predviđen je nuvistor *6CW4*. Za izbor ove moderne subminijaturne specijalne cevi sa odličnim električnim osobinama presudno je bilo to što zahteva malo prostora i što je struja grejanja mala. Mogu se upotrebiti i druge triode uz odgovarajuće dimenzionisanje anodnog otpornika i eventualnog odvodnog otpornika rešetke. To je konvencionalna šema oscilatora. Novost u ovoj šemi je jednosmerni tranzistorski pojačavač koji povećava osetljivost instrumenta. U originalni uređaj ugrađen je tranzistor *2N1264*, ali on se može zameniti skoro sa svakim drugim NF tranzistorom (npr., *GC 105* ili sl.).



Sl. 31.2. Izbor jednostavnih šema univerzalnih grid-dip metara

Sve *Kolpicove* šeme ove vrste osciluju i u celom VVF području, ako su dobro izvedene (kratki provodnici) i sa navedenim tipovima cevi. Budući da se kapacitivnosti cevi samo malo međusobno razlikuju, podaci za kola takve šeme približno su istih vrednosti. Zbog toga su u tabeli 31.1 dati podaci za promenljivi kondenzator C_A od 2 × 140 pF kao orijentacione vrednosti za dimenzionisanje sprežnih zavojnica L, pri čemu se pojedina područja podešavanja uvek preklapaju po frekvenciji. Tabela 31.2 odnosi se na promenljivi kondenzator C_A od 2 · 50 pF. Da

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Tabela 31.1

DIMENZIONISANJE SPREŽNIH ZAVOJNICA L ZA GRID-DIP METAR U KOLPICOVOJ SEMI; KONDENZATOR ZA PODEŠAVANJE 2 × 140 PF

Frekventno područje	Broj zavojaka	Vrsta žice	Telo zavojnice
2 .... 5 MHz	102	0,16 mm CuL	19 mm prečnik
5 .... 14 MHz	26	0,3 mm CuL	19 mm prečnik
14 .... 37 MHz	8	0,5 mm CuL	19 mm prečnik
37 .... 100 MHz	2	2,0 mm CuL	19 mm prečnik
100 .... 250 MHz	Petlja u vidu ukosnice dugačka 38 mm, razmak provodnika 6 mm, vrsta žice 2,0 ... 2,5 mm CuAg		

Tabela 31.2.

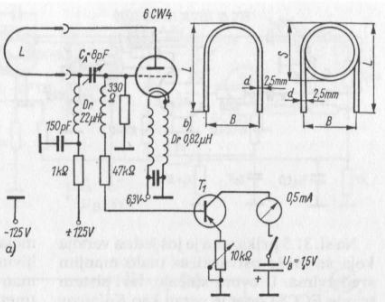
DIMENZIONISANJE SPREŽNE ZAVOJNICE L ZA GRID-DIP METAR U KOLPICOVOJ SEMI; KAPACITIVNOST ZA PODEŠAVANJE 2 × 50 pF

Frekventno područje	Broj zavojaka	Vrsta žice	Telo zavojnice
1,7 .... 3,2 MHz	195	0,16 mm CuL	19 mm prečnik
2,7 .... 5,0 MHz	110	0,25 mm CuL	19 mm prečnik
4,4 .... 7,8 MHz	51	0,25 mm CuL	19 mm prečnik
7,5 .... 13,5 MHz	24	0,25 mm CuL	19 mm prečnik
12 .... 22 MHz	21	0,50 mm CuL	19 mm prečnik (dužina zavojnice 20 mm)
20 .... 36 MHz	14	0,50 mm CuL	19 mm prečnik (dužina zavojnice 12 mm)
33 .... 60 MHz	8 1/2	0,80 mm CuL	(19 mm prečnik (dužina zavojnice 13 mm)
54 .... 99 MHz	3 3/4	0,80 mm CuL	19 mm prečnik (dužina zavojnice 8 mm)
90 .... 165 MHz	Petlja u vidu ukosnice dugačka 85 mm, razmak 12 mm, vrsta žice 2,0 mm CuAg		
150 .... 275 MHz	Petlja u vidu ukosnice dužine 32 mm, razmak 6 mm, vrsta žice 2,0 mm CuAg		

bi se moglo pokriti celo frekventno područje, potreban je veći broj zavojnica koje se utiču; istovremeno se poboljšava tačnost očitavanja. Ukoliko nije drugačije navedeno, zavojnice se izvode kao jednoslojne, u obliku cilindra, na telima od sintetičkog materijala čiji je prečnik 19 mm.

31.1.2. Grid-dip metar za UVF

Na sl. 31.3 prikazana je šema grid-dip metra sa nuvistorom (*6CW4*) koji se može upotrebljavati do 700 MHz. Slični rezultati mogu se postići i sa UVF triodom *EC86*. Promenljivi kondenzator C_A (8 pF) vezan je na red sa kapacitivnošću cevi; zbog toga se i za UVF oscilatorna kola dobije još umeren odnos L/C. Neuobičajeno mali odvodni otpornik rešetke od 330 Ω sprečava preveliku pobudu oscilatora; ali on utiče i na to da rezonantni dip koji se javlja pri odvođenju energije bude veoma mali. Zbog toga je i u ovu šemu uključen isti jednosmerni tranzistorski pojačavač kao na sl. 31.2c. Anodni dovod i dovod rešetke izvedeni su preko VF prigušnica, čija je induktivnost oko 22 µH. I u vodove grejanja neposredno uz podnožje cevi, uključeno je filtriranje pomoću malih induktivnosti (0,82 µH) – kao što je uobičajeno u UVF području. Sprežne zavojnice koje se utiču, sastoje se od petlji u vidu ukosnice različite dužine i one su na jednosmernom naponu. Ako se na žice zavojnice navuče kvalitetna cevčica od izolacionog materijala, obezbeđena je zaštita od dodira. Orijentacione vrednosti za dimenzionisanje zavojnica prema skici na sl. 31.3b date su u tabeli 31.3.



Sl. 31.3. Grid-dip metar za VVF i UVF: a – šema, b – skica dimenzionisanja sprežnih zavojnica koje se utiču

31.1.3. Grid-dip metar kombinovan sa cevnim voltmetrom

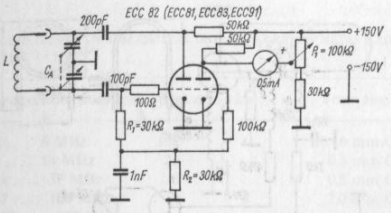
Da bi se dobio izražen rezonantni dip, jednostavni grid-dip metri moraju se čvrsto spregnuti sa ispitivanim kolom. Čvrsta sprega utiče na relativno veliko razdešavanje kola, a time i na povećanje nesigurnosti prilikom merenja. Zbog toga se daje prednost šemama koje, bez većih ulaganja, povećavaju osetljivost indikacije. Na sl. 31.4 prikazana je proverena šema sa dvostrukom triodom *ECC82* (*DARC* standardna šema 1). Levi sistem triode osciluje kao normalni *Kolpicov* oscilator i ne razlikuje se ni po čemu od dosadašnjih šema. Druga trioda radi kao cevni voltmetar u mostnom spoju, pri čemu njena unutrašnja otpornost predstavlja jednu granu mosta. Kada oscilator osciluje, ravnoteža mosta se podešava pomoću P_1. Pri merenju rezonance menja se stanje oscilovanja cevi usled oduzimanja energije, a posledica toga je smanjenje struje rešetke i prednapona rešetke koji se javlja na delitelju napona R_1–R_2. Budući da taj prednapon, koji se smanjuje u slučaju rezonance, deluje i na upravljačku rešetku drugog sistema cevi, menja se njegova unutrašnja otpornost, pa se poremeti ravnoteža mosta. Zbog toga se dobije osetljiv pozitivan otklon instrumenta i u slučaju veoma labave sprege sa mernim objektom.

Tabela 31.3.

DIMENZIJE SPREŽNIH ZAVOJNICA ZA UVF GRID-DIP METAR PREMA Sl. 31.3.

Frekventno područje	Dimenzije prema skici na sl. 31.3b			
	L	S	B	d
270. ... 325 MHz	70 mm	17,5 mm	13 mm	2,5 mm prečnik
315. ... 375 MHz	80 mm	–	13 mm	2,5 mm prečnik
370. ... 460 MHz	50 mm	–	13 mm	2,5 mm prečnik
415. ... 515 MHz	42 mm	–	13 mm	2,5 mm prečnik
445. ... 565 MHz	32 mm	–	13 mm	2,5 mm prečnik
545. ... 730 MHz	13 mm	–	13 mm	2,5 mm prečnik

Po mogućnosti treba upotrebiti posrebrenu bakarnu žicu.

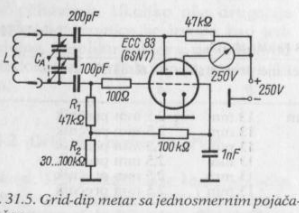


Sl. 31.4. Grid-dip metar sa cevnim voltmetrom

Na sl. 31.5 prikazana je još jedna verzija koja se može ostvariti sa malo manjim sredstvima. U ovom slučaju, levi sistem triode ECC83 opet je vezan kao *Kolpicov* oscilator. Drugi sistem cevi predstavlja pojačavač jednosmerne struje, pri čemu jednosmerni voltmetar služi kao indikacioni instrument i kao radni otpornik. Merno područje voltmetra treba da odgovara približno vrednosti primenjenog anodnog napona (npr., 250 V). Budući da napon ne može da se smanji na nulu, ni da se poveća do maksimalnog radnog napona, indikacioni instrument je zaštićen od svakog preopterećenja.

I kod ove šeme rezonantni dip se registruje pozitivnim otklonom voltmetra. Osetljivost indikacije je dobra, ali se može još povećati ako se instrument uključi na manji merni opseg napona. Za prvo podešavanje delitelj napona R_1–R_2 zamenjuje se potenciometrom (200 Ω). Kada Kolpicov oscilator osciluje, potenciometar se podesi tako da se na voltmetru očita oko $\frac{1}{4}$ maksimalnog jednosmernog anodnog napona. Podešene vrednosti otpornosti delitelja napona izmere se pomoću om-metra, pa se zatim potenciometar zameni odgovarajućim nepromenljivim otpornicima. Time je uređaj spreman za rad. Dovoljno je da se koristi voltmetar koji se može utaknuti; tada se može upotrebiti bilo koji voltmetar sa odgovarajućim mernim područjem.

Za dimenzionisanje oscilatornih kola u obe šeme važe tabele 31.1 i 31.2.

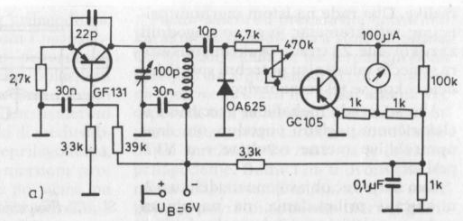


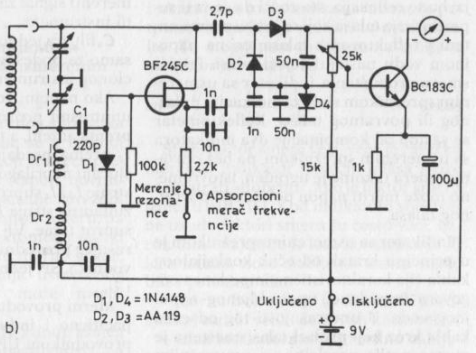
Sl. 31.5. Grid-dip metar sa jednosmernim pojačavačem

31.1.4. Tranzistorski dip metar

Indikatori rezonance sa poluprovodnicima, pored malih dimenzija, imaju još i veliku prednost nezavisnosti od mreže. Zbog toga izgleda da su naročito pogodni za merenje na antenama. Na žalost, ova mogućnost korišćenja je veoma ograničena; u opštem slučaju, tranzistorski oscilator ne može se upotrebiti za napajanje mostova za merenje impedance, jer je snaga komercijalnih VF tranzistora premala.

Na sl. 31.6a prikazana je šema tranzistorskog dip-metra za kratkotalasno područje u čijem se oscilatoru nalazi VF tranzistor *GF131*. Pobuđivanje na oscilovanje izvedeno je kapacitivno između kolektora i emitera, pa je i u ovom slučaju za oscilatorno kolo potrebna samo jednostavna zavojnica bez izvoda. Napon oscilatora ispravlja se u poluprovodničkoj diodi i dospeva kao ispravljeni jednosmerni napon na bazu tranzistorskog pojačavača jednosmerne struje. Rezonanca sa mernim objektom se indicira kao naglo opadanje jednosmerne struje (dip), koje pokazuje indikacioni instrument sa kretnim kalemom (puni otklon je 100 µV). Za napon napajanja od 6 V potrošnja struje iznosi ok 3 mA. Tranzistorski dip-metri





Sl. 31.6. Poluprovodnički dip metar sa indikacionim pojačavačem; a – tranzistorski dip metar, b – moderni FET dip metar

uvek zahtevaju pojačavač za indikator; to važi i za nove verzije u čijem se oscilatoru nalazi tranzistor sa efektom polja ili tunel–dioda.

U literaturi pod [1] opisan je moderni FET–dip metar, čija je šema prikazana na sl. 31.6b. Očigledna je srodnost šeme oscilatora sa cevnim grid–dip metrom (npr., sl. 31.2), pa se podaci o oscilatornom kolu mogu uzeti iz tabele 31.1 i 31.2 bez promena. U šemi se nalazi nekoliko korisnih finesa. Tako D_1 pospešuje stabilizaciju VF amplitude i istovremeno smanjuje sadržaj viših harmonika u oscilacijama. Germanijumske diode D_2 i D_3 predstavljaju šemu za udvostručavanje napona, dok D_4 stabiliše radnu tačku tranzistora *BC183* kada se smanjuje napon baterije. VF prigušnica Dr_1 predstavlja jednu od uobičajenih minijaturnih izvedbi sa samo nekoliko namotaja žice na feritnom telu. Dr_2 služi za sprečavanje prolaza niskih frekvencija i njena induktivnost je oko 1 µH. C_1 i C_2 treba da budu keramički pločasti disk–kondenzatori sa malim negativnim temperaturnim koeficijentom (npr., N 75). Za indikaciju može poslužiti mikroampermetar od 100 µA do 500 µA. Kada se prekine vod za napajanje, uređaj radi kao veoma osetljiv apsorpcioni merač frekvencije.

31.2. Indikatori stojećih talasa (indikatori sa usmerenim sprežnikom i reflektometri)

Za merenje odnosa stojećih talasa na napojnom vodu, a time i stepena prilagođenja, naročito su pogodni indikatori sa usmerenim sprežnikom i reflektometri. Oni se prave isključivo u koaksijalnoj tehnici. Između indikatora sa usmerenim sprežnikom i reflektometra nema bitne

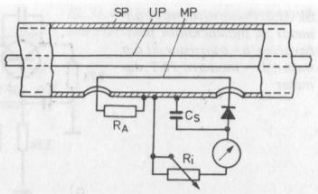
razlike. Oba rade na istom mernom principu; reflektometar je samo pogodniji za rukovanje. Za izradu ovakvih indikatora stojećih talasa nisu potrebni specijalni delovi koji se teško nabavljaju.

Ako se izrade mehanički precizno i u električnom pogledu pogodno, oni daju upotrebljive merne rezultate i u VVF području.

Kao što je već objašnjeno u odeljku 5.2, u slučaju prilagođenja, na napojnom vodu se nalazi samo jedan talas koji se kreće prema anteni. Kod neprilagođenja javlja se refleksija, što znači da se vrši superpozicija talasa koji se kreću prema anteni i reflektovanih talasa; pa na napojnom vodu nastaju stojeći talasi. Prema smeru propuštanja, indikator sa usmerenim sprežnikom služi za indikaciju polaznog ili povratnog talasa. Reflektometar se sastoji od kombinacije dva indikatora sa usmerenim sprežnikom, pa bez obrtanja smera u kome je ugrađen, istovremeno može meriti napon polaznog i povratnog talasa.

Indikator sa usmerenim sprežnikom je u principu kratak odsečak koaksijalnog kabla čija karakteristična impedanca odgovara impedanci upotrebljenog napojnog voda. U unutrašnjosti tog odsečka kabla kroz koji prolazi talas smeštena je merna petlja–paralelno sa unutrašnjim provodnikom. Ona se – već prema smeru u kome je postavljen usmereni sprežnik – spregne ili sa polaznim ili sa povratnim talasom, usled čega se u njenom kolu javi određeni napon. Taj VF napon se ispravi u diodi, pa se može očitati na osetljivom indikacionom instrumentu sa kretnim kalemom.

Na sl. 31.7 prikazana je šema takvog indikatora, pri čemu je prikazan presek odsečka koaksijalnog voda. Odsečak koaksijalnog voda, kao glavnu granu, sačinjava spoljašnji provodnik SP i unutrašnji provodnik UP. Merna grana sastoji se od merne petlje koju čine merni provodnik MP u unutrašnjosti koaksijalnog kabla; on je preko otpornika R_A povezan sa spoljašnjim provodnikom SP. Na drugom kraju mernog provodnika MP u poluprovodničkoj diodi vrši se ispravljanje indukovanog VF signala. Ovaj ispravljeni (usmereni) signal zatim dolazi na indikacioni instrument.



Sl. 31.7. Principijelna konstrukcija indikatora sa usmerenim sprežnikom

C_s filtrira jednosmerni napon, a R_i služi samo za podešavanje osetljivosti indikacionog instrumenta.

Ako napojni vod nije prilagođen, kroz unutrašnji provodnik UP teče struja I_d prema anteni, a takođe i povratna struja I_r prema predajniku usled refleksije u slučaju neprilagođenja. Budući da su VF struje I_d i I_r suprotnog smera, javlja se rezultantna struja I_z kao razlika $I_d - I_r$. Nasuprot tome, VF napon U_z između unutrašnjeg provodnika UP i spoljašnjeg provodnika SP jednak je zbiru napona U_d i U_r.

Merni provodnik MP spregnut je i kapacitivno i induktivno sa unutrašnjim provodnikom UP. Usled postojećeg zbirnog napona U_z, napon U_c se prenosi kapacitivnom spregom na merni provodnik, pa se usled toga javlja odgovarajuća VF struja u mernom kolu. Budući da je U_z zbir napona, jačina indukovane struje zavisi od toga koliki je deo napona prouzrokovan polaznim talasom, a koliki povratnim talasom. Stanje je drugačije kod VF struje koja se istovremeno javlja usled induktivne sprege unutrašnjeg provodnika UP i mernog provodnika MP. Njena jačina i smer zavise od antenske struje koja se javlja kao razlika $I_d - I_r$. Budući da se u mernoj grani istovremeno nalaze struje koje su izazvane kapacitivnom i induktivnom spregom, one se zbrajaju ili oduzimaju u zavisnosti od njihove faze, već prema smeru struje I_z u unutrašnjem provodniku.

Pretpostavlja se da je merni provodnik dimenzionisan po dužini tako i razmaknut od unutrašnjeg provodnika UP toliko

da su, u slučaju potpunog prilagođenja, struje izazvane kapacitivnom i induktivnom spregom u mernom provodniku jednake po jačini. Već prema polaritetu mernog provodnika, odnosno prema smeru u kome je postavljen usmereni sprežnik, struje će se sabrati ili međusobno poništiti. U slučaju neprilagođenja, obe struje indukovane u mernom provodniku neće biti jednake po jačini, pa kroz mernu granu uvek teče određena razlika struja, na osnovu čije jačine može da se odredi stepen prilagođenja.

31.2.1. Karakteristike indikatora stojećih talasa sa usmerenim sprežnikom

Kao glavni smer usmerenog sprežnika označava se smer u kome se u mernoj grani meri napon talasa koji se kreće prema anteni (»unapred«). Napon povratnog talasa (»unazad«) pokazuje sprežnik kada je postavljen u obrnutom smeru, pa radi u protivsmeru. Reflektometar sadrži dve suprotno postavljene merne grane, tako da se bez okretanja usmerenog sprežnika istovremeno može meriti »unapred« i »unazad«.

Između merne petlje MP i unutrašnjeg provodnika UP postoji kapacitivnost C_u, a istovremeno je i između MP i spoljašnjeg provodnika SP kapacitivnost C_s. Obe kapacitivnosti predstavljaju delitelj napona, pa određuju deo napona koji se javlja u mernom provodniku U_c.

$$U_c = U_z \cdot \left(\frac{C_s}{C_u + C_s} \right) \tag{31.1}$$

Faktor sprege ak usmerenog sprežnika je količnik napona indukovanog u mernom kolu U_c i napona U_z koji vlada u glavnoj grani u slučaju prilagođenja

$$ak = \frac{U_c}{U_z} \tag{31.2}$$

Pri merenju talasnosti nije potrebno poznavati tačnu vrednost faktora sprege *ak*. On je uvek manji od 1 i kod date glavne grane zavisi od položaja i dimenzija mernog provodnika.

Faktor smera ad predstavlja najvažniju karakteristiku indikatora stojećih talasa. On se dobije kada se usmereni sprežnik priključi na suprotan smer, pri čemu se na njegovom izlazu ne nalazi antena već otpornik bez refleksije, čija vrednost otpornosti odgovara karakterističnoj impedanci sprežnika. To znači da je izvršeno prilagođenje. Budući da u ovom slučaju nema reflektovanih talasa, ne bi se smeli pojaviti povratni naponi u mernoj grani. Ipak, na mernom izlazu javlja se napon greške U_g, koji potiče od polaznog talasa i ukazuje na to da indikator ne može potpuno da razlikuje polazni i povratni talas. Ta mogućnost razlikovanja izražava se faktorom smera *ad*

$$ad = \frac{U_r}{U_c} = \frac{U_g}{U_z} \cdot \frac{1}{ak} \tag{31.3}$$

Što je faktor smera veći, veća je i greška merenja. Indikator stojećih talasa može se smatrati »dobrim«, ako je faktor smera između 0,01 i 0,1. Kod indikatora sopstvene izrade faktori smera su često veći. Uzrok tome najčešće je loša konstrukcija ili loša izrada. Loše slabljenje smera može biti i prividno ako:

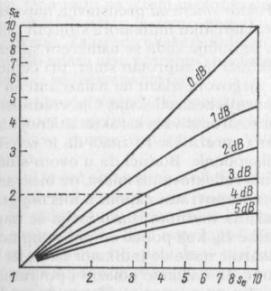
– merna frekvencija (frekvencija predajnika) sadrži veliki deo viših harmonika,

– izlaz indikatora nije pravilno zaključen,

– zaključni otpornik nije realan za mernu frekvenciju.

Ako ne postoji proporcionalnost između podele na skali indikacionog instrumenta i dovedenog napona, merenja mogu biti pogrešna. Karakteristike poluprovodničke diode nisu linearne, pa se ne može zadržati linearna podela skale instrumenta sa kretnim kalemom. Preporučuje se da se instrument ponovo baždari ako je vezan sa predviđenom mernom diodom. Pri tom se može koristiti jednosmeran napon, jer je podela skale izvršena u relativnim jedinicama. Da bi se indikacioni instrument mogao koristiti i u druge svrhe, često se ugradi tako da se može vaditi. U tom slučaju ne treba menjati prvobitnu podelu skale, već se izradi njegova kriva baždarenja koja važi za mernu diodu.

I mesto postavljanja indikatora stojećih talasa utiče na tačnost njegovog poka-



Sl. 31.8. Faktor talasnosti s_e, na kraju napojnog voda, u zavisnosti od faktora talasnosti s_a, na početku napojnog voda, i od slabljenja kabla u dB (primer je ucrtan isprekidanom linijom)

zivanja. Iz praktičnih razloga obično se zadržava redosled: izlazni stepen predajnika – *Kolinsov* filtar – reflektometar – napojni vod – antena. U slučaju neprilagođenja u priključnoj tački antene, javlja se refleksija, pa se povratni talas kreće opet preko napojnog voda do izlaza predajnika.

Budući da je napojni vod sa gubicima, dolazi do slabljenja povratnog talasa. Reflektometar se nalazi skoro na kraju povratnog puta, pa može da pokaže oslabljen povratni talas, a rezultat merenja daje povoljniji odnos stojećih talasa, nego što je on u stvari. Ako treba izvršiti tačno merenje, reflektometar se mora spregnuti u neposrednoj blizini priključne tačke antene; pravilan redosled treba da bude: izlazni stepen predajnika – *Kolinsov* filtar – napojni vod – reflektometar – antena.

Na sl. 31.8 prikazan je koristan nomogram koji daje slabljenje povratnog talasa u zavisnosti od slabljenja kabla i vrednosti talasnosti.

Primer

Predajna antena za opseg od 2 m napaja se koaksijalnim kablom tipa 60–7–2, dužine 25 m. Na početku napojnog kabla izmerena je talasnost s_a od 2,0. Treba odrediti stvarnu talasnost, koja bi se izmerila na kraju napojnog voda kao s_e.

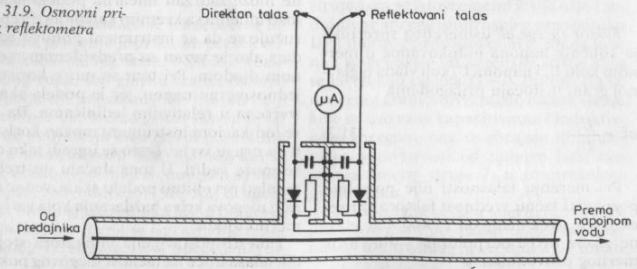
Prvo se iz karakteristika kabla tipa 1,5/6,6 odredi vrednost slabljenja za 150 MHz, koja iznosi oko 8 dB/100 m. Za dužinu kabla od 25 m dobija se slabljenje od 2 dB. Nakon toga, krene se horizontalno od faktora talasnosti $s_a = 2$, na ordinati sl. 31.8, do preseka sa krivom slabljenja od 2 dB, pa se na apscisi očita stvarna talasnost $s_e = 3{,}4$. Primer je ucrtan isprekidanom linijom.

Kada su poznati s_a i s_e, nomogram omogućava i procenu slabljenja kabla.

31.2.2. Šeme reflektometara i njihovo praktično izvođenje

Radio-amateri retko upotrebljavaju jednostavan indikator stojećih talasa sa usmerenim sprežnikom. Budući da amateri uvek sami grade ovaj indikator, veća sredstva za izgradnju reflektometra praktično se svode samo na poluprovodničku

Sl. 31.9. Osnovni prikaz reflektometra



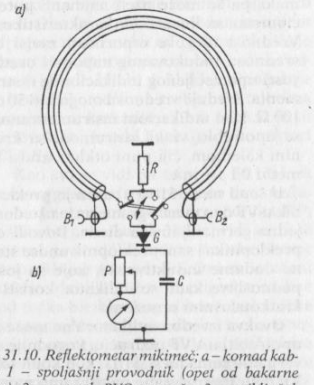
diodu i eventualno jednostavan preklopnik. Zbog toga su opisane samo šeme reflektometara koje su pogodnije za rad. Na sl. 31.9 prikazana je osnovna šema reflektometra. Sve druge šeme ili izvedbe mogu se svesti na ovu osnovnu. Razlike se pretežno odnose na mehaničke varijante i male promene šeme merne grane. Ako se uporede sl. 31.7 i 31.9 lako se uočava da je reflektometar ustvari indikator sa direktivnim sprežnikom, ali sa dvostrukom mernom granom.

Opisane varijante reflektometara su višestruko proverene amaterske konstrukcije koje su opširno opisane i u priručnoj literaturi. Međutim, u pogledu tačnosti očitavanja one ne mogu konkurisati industrijski proizvedenim preciznim instrumentima. Sopstvena izrada je, ipak, mnogo jeftinija. Osim toga, amateru su dovoljna relativna merenja, a za podešavanje antene često je dovoljno da reflektometar sopstvene izrade pokaže samo da li se usled određenih mera talasnost na napojnom vodu povećava ili smanjuje. Time se ne želi reći da su amaterske konstrukcije loše; kada se uređaj izradi precizno u skladu sa zahtevima VP tehnike i kada se izvrši baždarenje, dobije se visoka tačnost pokazivanja. Međutim, ko ne razume način rada i primenu indikatora stojećih talasa (vidi tačku 31.2.1) i sa preciznim reflektometrom može izmeriti pogrešne vrednosti.

31.2.2.1. *Reflektometar zvani mikimeč (Mickeymatch)*

Reflektometar *mikimeč* deluje primitivno, ali je veoma koristan indikator stojećih talasa na koaksijalnim kablovima. Ponekad se naziva i *monimeč* (engleski izraz *monimeč* (monimach) znači monitor prilagođenja). Ovaj naziv ukazuje na pretežnu upotrebu reflektometra kao monitora, tj. da ostaje stalno u napojnom vodu kao merni instrument u toku rada. On je jeftin, može se napraviti brzo i jednostavno, a daje u svim kratkotalasnim opsezima merne rezultate koji zadovoljavaju u praksi. Prikazan je na sl. 31.10. U principu to je mehanički veoma pojednostavljen reflektometar kod koga je izbegnuta čak obično uvek potrebna druga merna dioda. Za njegovu izradu potreban je komad koaksijalnog kabla dužine 160 mm, čija je karakteristična impedanca jednaka otpornosti napojnog voda (ne zahteva se isti tip kabla). Pogodno je da kabl bude što deblji, jer je tada lakše da se obradi. Prvo se skine spoljašnji omotač od izolacionog materijala (PVC omotač) na dužini od 140 mm. Pri tome treba voditi računa da na krajevima kabla ostane još po 10 mm izolacionog omotača (vidi sl. 31.10a). Sledeći trik zahteva malo strpljenja i osetljivost prstiju: tanku izolovanu žicu treba progurati između metalnog spoljašnjeg provodnika i dielektrika, kao drugi unutrašnji provodnik. Obično se spoljašnji provodnik od bakarnog opleta može malo stisnuti. Tada je relativno lako progurati žicu uz pomoć odgovarajuće alatke (npr., igla za kukičanje). Na sl. 31.10a prikazan je tako pripremljen kabl.

Ako je upotrebljen koaksijalni kabl sa slojevitim dielektrikom (poliizobutilen) postoji veoma jednostavna mogućnost da se merni provodnik učvrsti. Skine se



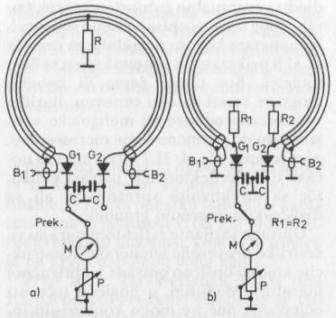
Sl. 31.10. Reflektometar mikimeč; a – komad kabla: 1 – spoljašnji provodnik (opet od bakarne žice), 2 – ostatak PVC omotača, 3 – priključak spoljašnjeg provodnika, 4 – unutrašnji provodnik, 5 – izolovana žica ispod spoljašnjeg provodnika; b – električna šema reflektometra

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

spoljašnji zaštitni omotač (PVC), pa se spoljašnji provodnik laganim stiskanjem pažljivo izvuče nadole sa dielektrika. U oslobođenu izolaciju zaseče se uzdužni rez, u koji se zategnuto postavi merni provodnik. Da bi provodnik bio kraći, kabl se savije u petlju tako da oba kraja dođu jedan nasuprot drugog. Na sl. 31.10b prikazana je cela šema indikatora i na njoj se vidi kako se na oba kraja »pravog« unutrašnjeg provodnika kabla B_1 i B_2 postave odgovarajući konektori (ženski ili muški koaksijalni konektori) koji omogućavaju jednostavno uključivanje ovog komada kabla. Naknadno ubačena merna petlja, prema šemi, spaja se najkraćim putem sa priključcima preklopnika čiji su gubici mali. R je ugljenoslojni otpornik od 30 do 150 Ω (vrednost otpornosti nije kritična) male snage. Pogodno je da se R izvede kao paralelan spoj više pojedinačnih otpornika, jer se na taj način smanjuje ukupna induktivnost ovog završnog otpornika. G je komercijalna VF germanijumska dioda (npr., OA 705), koja ispravlja indukovani VF napon. Filtriranje se vrši keramičkim disk-kondenzatorom C od 2 do 10 nF. Potenciometar P služi kao promenljivi predotpor indikacionog instrumenta. Opterećenje je veoma malo, pa se može uzeti najmanji potenciometar sa linearnom karakteristikom. Vrednost njegove otpornosti zavisi od vrednosti indukovanog napona i osetljivosti upotrebljenog indikacionog instrumenta. Srednje vrednosti mogu biti 50 do 100 Ω. Kao indikacioni instrument može se upotrebiti svaki instrument sa kretnim kalemom, čiji puni otklon iznosi između 0,1 i 1 mA.

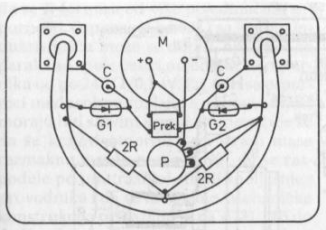
U šemi na sl. 31.10 ubačen je preklopnik u VF deo merne grane, pa je ušteđena jedna germanijumska dioda. Dovodi do preklopnika i sam preklopnik unose štetne dodatne induktivnosti, koje su još i podnošljive kada se indikator koristi u kratkotalasnim opsezima.

Ovakva izvedba indikatora ne može se upotrebiti u VVF području. Pogodnije su varijante šema na sl. 31.11, kod kojih se u VF delu merne grane nalazi samo merni provodnik i završni otpornici. Šema nije kritična i za obe diode, jer se tu nalazi samo jednosmerni napon.



Sl. 31.11. Varijante šeme u mernoj grani reflektometra mikimeč

Kod šeme na sl. 31.11a mora se voditi računa o tome da se završni otpornik R, koji je zajednički za obe merne grane, priključi tačno u geometrijsku sredinu merne petlje. Na sl. 31.12 dat je predlog konstrukcije ove šeme, u kome je R podeljen u dva pojedinačna otpornika. Pogodna vrednost za R iznosi oko 120 Ω; paralelan spoj dva pojedinačna otpornika uslovljava njihovu vrednost od 240 Ω (ili i 2 · 220 Ω prema IEC standardu). Prilikom spajanja R treba voditi računa o kratkim provodnicima, naročito i o tome da završni otpornik bude zalemljen sasvim uz odvojak na mernom provodniku. Faktor smera može se poboljšati promenom tačaka uzemljenja ovih završnih otpornika i drugim vrednostima otpornika. I obe diode treba zalemiti što je moguće bliže krajevima mernog provodnika. Da bi se izbeglo štetno pregrejavanje, diode se leme što je moguće brže; pri tom se izvod diode drži sa pljosnatim kleštima koja brzo odvode toplotu. Po mogućnosti treba upotrebiti sparene diode, koje se u pogledu jednakosti karakteristike mogu izmeriti čak i sa jednosmernim naponom. Pogodan tip je OA705, ali mogu se koristiti i svi drugi VF tipovi. Ako se koriste koaksijalni konektori iz TV prijemnika, može se napraviti kvalitetan prelaz prema kablovskoj petlji. Za izradu kablovske petlje naročito je dobar koaksijalni kabl od 60 Ω sa vazdušnim šupljinama.



Sl. 31.12. Predlog izrade mikimeča prema sl. 31.11a

Varijanta šeme na sl. 31.11b nema srednji odvojak na mernoj petlji; umesto srednjeg odvojka potrebna su dva završna otpornika (R_1 i R_2 od oko 60Ω). Ova šema u električnom pogledu odgovara šemi na sl. 31.9.

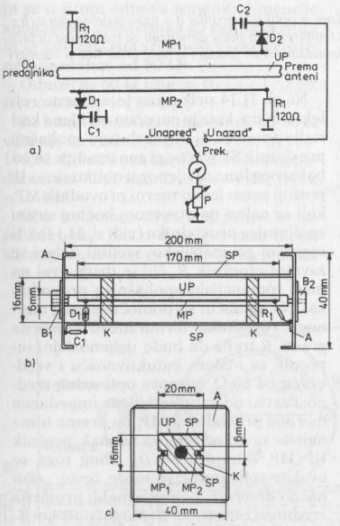
Podešavanje i baždarenje svih izvedbi reflektometara opisan je u podtački 31.2.2.3.

31.2.2.2. *Izvedbe reflektometra sa krutim vodovima*

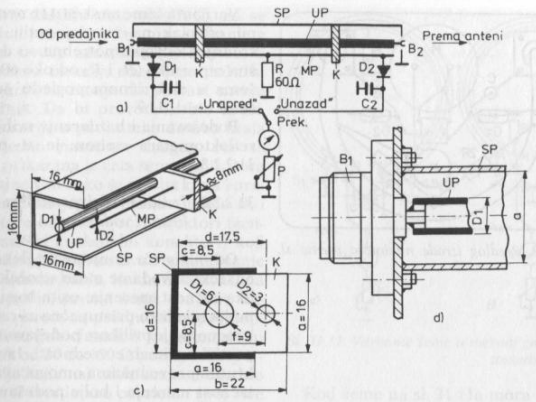
Od *mikimeča* sa njegovim fleksibilnim odsečkom voda ne može se očekivati velika tačnost merenja; osim toga, merna petlja nije lako pristupačna za naknadne izmene, pa je prilikom podešavanja teško postići optimalne vrednosti. Izvedbe sa krutim provodnicima omogućavaju veću tačnost merenja i bolje podešavanje. Za njihovu izradu treba uložiti više mehaničkih sredstava i truda.

Na sl. 31.13 prikazana je jedna od najjednostavnijih konstrukcija. Glavna grana izrađena je poput odsečka koaksijalnog kabla i sastoji se od unutrašnjeg provodnika UP, koji je napravljen od štapa ili cevi prečnika 6 mm, i od spoljašnjeg provodnika SP koji je napravljen od dva pravougaona lima dužine 200 mm i širine 20 mm. Oba lima nalaze se jedan nasuprot drugom na razmaku od 16 mm, tako da je unutrašnjost otvorena na obe bočne strane (vidi sl. 31.13b i 31.13c). Spoljašnje provodnike od lima treba na krajevima povezati sa komadima lima A, na koje su pričvršćeni ženski koaksijalni konektori B_1 i B_2.

Kao što se vidi na šemi (sl. 31.13a), za mernu granu su upotrebljena dva međusobno nezavisna merna provodnika MP_1 i MP_2. Na preseku (sl. 31.13c) vidi se da se merni provodnici nalaze na obe strane unutrašnjeg provodnika. Oni su izrađeni od žice debljine 1,6 mm; pogodne su žice od točka bicikla zbog njihove mehaničke krutosti. Merne provodnike treba učvrstiti pomoću dva profilisana izolaciona komada K tako da nisu moguće velike promene položaja. Na taj način se prilikom podešavanja postiže potrebna paralelnost sa unutrašnjim provodnikom UP, kao i pogodan razmak (oko 6 mm). Profi-



Sl. 31.13. Reflektometar sa spoljašnjim provodnikom u obliku traka: a – šema merne grane (spoljašnji provodnik glavne grane nije ucrtan), b – mehanička izvedba (uzdužni presek), c – mehanička izvedba (poprečni presek)



Sl. 31.14. Reflektometar sa spoljašnjim provodnikom u obliku U-profila: a – principijelna šen a, b – skica izgleda (bez lima sa konektorom), c – presek (istovremeno skica dimenzija za izolacione držače K, d – detalj limenog poklopca sa koaksijalnim konektorom B1 (podaci u mm; crtež nije u razmeri

lisani komadi K su od izolacionog materijala sa malim gubicima (npr., polistirol ili polietilen) i oni mehanički podupiru unutrašnji provodnik UP i oba spoljašnja provodnika u vidu trake SP. Dimenzije oba komada lima A su po 40 mm · 40 mm. Oni su savijeni po obimu, što omogućava pričvršćivanje oklopnih limova pomoću vijaka.

Karakteristična impedanca reflektometra za navedene dimenzije iznosi 60 Ω. Mehanička dužina reflektometra može se po potrebi produžiti ili skratiti. Ukoliko je niža radna frekvencija, utoliko mora biti veća snaga potrebna za postizanje punog otklona instrumenta. Ako je npr., pri radu u opsegu od 10 m u glavnoj grani dovoljna snaga od 1 W, onda pri talasnoj dužini od 80 m snaga mora iznositi oko 8 W da bi se dobio puni otklon u smeru protoka. Ova razlika je uslovljena odnosom radne talasne dužine i dužine mernog provodnika u λ. Zbog toga se postiže povećanje napona na instrumentu, ako se produži merni provodnik. Duži merni provodnik zahteva i povećanje mehaničke dužine odsečka voda, pri čemu se ne menjaju ostale dimenzije.

Na sl. 31.14 prikazana je varijanta reflektometra, koja je naročito omiljena kod radio-amatera. U ovom slučaju spoljašnji provodnik SP glavne grane izrađuje se od bakarnog lima savijenog u obliku slova U; postoji samo jedan merni provodnik MP, koji se nalazi na otvorenoj bočnoj strani spoljašnjeg provodnika (vidi sl. 31.14b). U njegovoj geometrijskoj sredini nalazi se završni otpornik R, čiji je drugi kraj na masi (potencijalu spoljašnjeg provodnika). Na taj način su pomoću jednog mernog provodnika formirane dve merne grane. R treba da bude ugljenoslojni otpornik sa malom induktivnošću i vrednošću od 60 Ω. Njegova optimalna vrednost zavisi od karakteristične impedance mernog provodnika MP, pa prema tome najviše zavisi od odnosa razmak/prečnik UP/MP, odnosno D_1/D_2. Zbog toga se ovakav reflektometar može često »konačno doterati« pomoću malih promena vrednosti otpornika R. Mogućnost korišćenja na VF zavisi od toga koliko je mala induktivnost otpornika R. Budući da se pri paralelnom spajanju više pojedinačnih induktivnosti ukupna induktivnost smanjuje (Kirhofov zakon), povoljno je

da se R formira od više pojedinačnih otpornosti. Otpornost od 60 Ω sa malom induktivnošću može se dobiti, npr., ako se paralelno spoje četiri pojedinačna otpornika od po 240 Ω/0,1 W. Pri tom se otpornici međusobno spajaju, a njihovi krajevi moraju biti sasvim kratki. Preporučuje se da se krajevi otpornika na strani mase razmaknu u vidu zraka za 90°, da se raspodele po unutrašnjoj strani spoljašnjeg provodnika i da se tu zaleme. Mehanička konstrukcija prikazana je na sl. 31.14b do d. Karakteristična impedanca reflektometra datih dimenzija iznosi 60 Ω. Pri tom treba smatrati da je minimalni prečnik unutrašnjeg provodnika $D_1 = 6$ mm; ako se upotrebi tanji provodnik, ne može se više garantovati da će se održati razmak i paralelnost SP i MP. Zbog toga se preporučuju deblji unutrašnji provodnici. Za druge prečnike provodnika, moraju se u istom odnosu izmeniti dimenzije spoljašnjeg provodnika a i razmaka c (da bi se zadržala ista vrednost karakteristične impedance od 60 Ω).

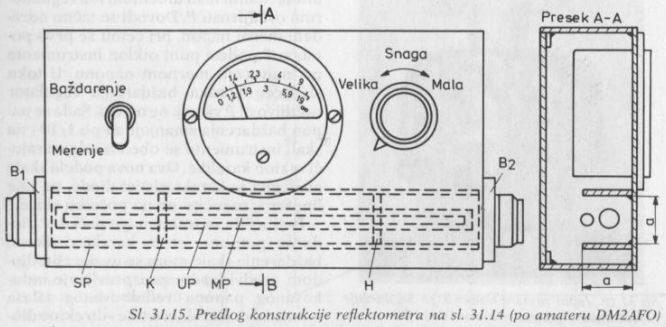
Odnosi za 60 Ω iznose: $D_1 : a = 1 : 2{,}66$; $D_1 : c = 1 : 1{,}41$.

Za karakterističnu impedancu od 50 Ω važe sledeći odnosi: $D_1 : a = 1 : 2$; $D_1 : c = 1 : 1{,}33$. Konačno za karakterističnu impedancu od 72 Ω važi: $D_1 : a = 1 : 2{,}9$; $D_1 : c = 1 : 1{,}45$.

Oba izolaciona držača K prave se od polistirolske ploče debele 8 mm ili od sličnog materijala sa malim gubicima. Za dužinu spoljašnjeg provodnika SP – a to znači i za dužinu unutrašnjeg provodnika UP i mernog provodnika MP – ne daju se dimenzije, jer su one proizvoljne u širokim granicama. U opštem slučaju dužina je 150 do 300 mm. Ona se određuje prema radnoj talasnoj dužini kojoj se daje prednost i kao što je već napomenuto – prema osetljivosti indikacionog instrumenta. Ako se dužina kreće unutar navedenih granica, onda ne utiče na princip funkcionisanja indikatora.

Na sl. 31.15 prikazana je koncepcija cele konstrukcije reflektometra. Ona nije obavezna; na primer, po potrebi jednosmerni deo merne grane može se montirati i na suprotnoj strani. Pokazalo se da umesto lima, za izradu spoljašnjeg provodnika može dobro poslužiti materijal sa kaširanim bakrom koji se inače koristi za štampana kola. Ploče se mogu lako i lepo seći a da se ne deformišu. Za izvedbu prema sl. 31.13 potrebne su dve trake materijala širine 20 mm; spoljašnji provodnik u obliku slova U prema sl. 31.14 izrađen je lemljenjem triju traka. U oba slučaja kaširani bakar mora se nalaziti na unutrašnjoj strani spoljašnjeg provodnika.

Za mehaničku izvedbu indikatora stojećih talasa postoji čitav niz konstrukcionih rešenja, pomoću kojih se može postići naročito velika tačnost merenja, ali ona opet zahtevaju mnogo mehaničkog preciznog rada. Kako većina amatera za-



Sl. 31.15. Predlog konstrukcije reflektometra na sl. 31.14 (po amateru DM2AFO)

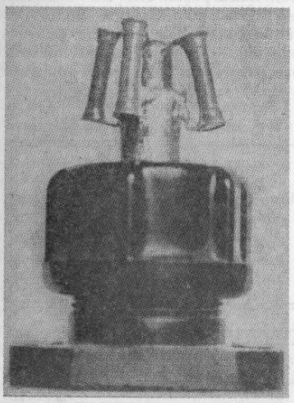
stupa racionalno mišljenje da ne treba graditi onoliko dobro koliko je to moguće, već samo koliko je potrebno, takve poboljšane konstrukcije nisu do sada postale značajne.

31.2.2.3. *Podešavanje i baždarenje reflektometara*

Da bi se reflektometar mogao podesiti, njegova »antenska strana« (konektor B_2) mora se zaključiti realnim otpornikom od 60 Ω. Šema reflektometra je tada tako opterećena da se ukupna snaga (direktan talas) troši u završnom otporniku, pa se povratni talas ne može reflektovati. Prilagođenje je ostvareno – faktor talasnosti $s = 1$ – kada se u mernoj grani, koja je uključena na »unazad« ne javlja napon. Kod reflektometara sopstvene izrade, iz raznih razloga, to u početku nije tako, pa treba pokušati da se pomoću podešavanja što više približi ovom idealnom stanju.

Opteretni otpornik – naziva se i *veštačka antena ili apsorber* – mora biti u stanju da celokupnu VF snagu predajnika pretvori u toplotu.

Radi korišćenja otpornika male snage proces podešavanja vrši se pri smanjenoj snazi predajnika. Na sl. 31.16 prikazan je veoma praktičan opteretni otpornik. On se sastoji od četiri paralelno spojena ugljenoslojna otpornika od po 240 Ω, zalemljena na komercijalni muški koaksijalni konektor. Mogućnost opterećenja ovakve veštačke antene jednaka je zbiru opterećenja koja mogu podneti pojedinačni otpornici. Što je veći broj paralelno spojenih otpornika, manja je štetna ukupna induktivnost kombinacije, pod pretpostavkom da se otpornici spoje praktično bez žičanih krajeva. Rezultantna otpornost paralelnog spoja mora uvek biti 60 Ω (odnosno mora biti jednaka onoj otpornosti za koju je dimenzionisana karakteristična impedanca reflektometra). Ostali opteretni otpornici, namenjeni sopstvenoj izradi, opisani su u odeljku 31.8.



Sl. 31.16. Jeftin završni otpornik za baždarenje reflektometra (prema amateru DM2AEO

Budući da kompleksne karakteristike sastavnih delova rastu sa frekvencijom, za podešavanje treba odabrati što veću frekvenciju. Tada je podešavanje naročito kritično, ali je bar sigurno da su podešene najbolje vrednosti i za niže radne frekvencije. Prema tome, kratkotalasni reflektometar podešava se na oko 28 MHz, a ako će se koristiti i u opsegu od 2 m, frekvencija podešavanja iznosi oko 145 MHz.

Pogodno je da se, kao što je već napomenuto, prethodno izbaždare diode koje će se ugraditi u merni instrument. Baždarenje se vrši sa jednosmernim naponom. U toku baždarenja dioda treba da se nalazi u propusnom smeru vezana na red sa indukcionim instrumentom i sa regulatorom osetljivosti P. Dovodi se tačno određeni merni napon, pri čemu se prvo pomoću P podesi puni otklon instrumenta pri najvećem mernom naponu. U toku sledećeg koraka baždarenja regulator osetljivosti P više se ne menja. Sada se napon baždarenja smanjuje za po 1/10 i na skali instrumenta se obeleži odgovarajući otklon kazaljke. Ova nova podela skale analogna je karakteristici diode, pa nije linearna, naročito ne na početku skale.

Budući da se teško mogu naći dve diode sa potpuno istom karakteristikom, baždarenje skale mora se uvek vršiti diodom predviđenom za ispravljanje indukovanog napona reflektovanog talasa (»unazad«). Karakteristike »direktne diode« treba da se slažu sa karakteristikama »povratne diode« bar u pogledu struje koja izaziva pun otklon indikacionog instrumenta.

Pomoću jednačina 5.15 do 5.25 u odeljku 5.2 opširno su objašnjene veze između odnosa napona i faktora talasnosti. Prema jednačini 5.15 dobije se faktor talasnosti (koeficijent stojećih talasa KST).

$$s = \frac{U_{max}}{U_{min}}.$$

Budući da kod reflektometra U_{max} odgovara naponu direktnog talasa U_d i da U_{min} odgovara naponu reflektovanog talasa U_r, može se napisati i

$$s = \frac{U_d}{U_r}.$$

U našem slučaju propusni napon, nezavisno od njegove stvarne vrednosti, uvek se podešava pomoću regulatora osetljivosti P tako da indikacioni instrument bude na punom otklonu. Zbog toga se može napisati $U_d = 1$. Izmerene vrednosti napona U_r uvek su manje od 1. Tada faktor talasnosti iznosi:

$$s = \frac{1 + U_r}{1 - U_r} \qquad (31.4)$$

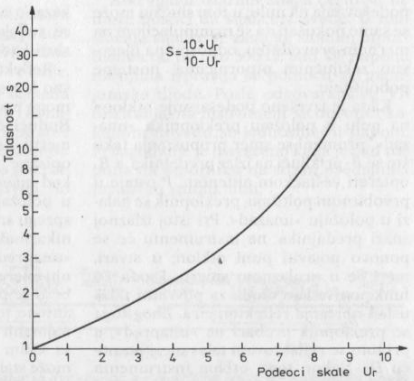
Ako je skala instrumenta pomoću diode izbaždarena na deset podeljaka, onda se pojedinim podeljcima skale, primenom jednačine 31.4, mogu odrediti sledeći faktori talasnosti:

Podaci skale s =										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,0	1,2	1,5	1,9	2,3	3,0	4,0	5,7	9,0	19	∞

Ako se ne želi raditi sa ovim »neravnim« vrednostima, skala se može i baždariti i u celim vrednostima faktora talasnosti.

Na sl. 31.17 mogu se očitati međuvrednosti baždarenja skale za željene vrednosti faktora talasnosti s, pri čemu se pretpostavlja da je skala podeljena u deset jednakih skokova napona. Ako skalu ne treba baždariti direktno u vrednostima talasnosti, kriva na sl. 31.17 može se koristiti i kao kriva baždarenja.

Prema tome, indikacioni instrument se može baždariti jednosmernim naponom još pre stvarnog podešavanja reflektometra. Pri tom važi pravilo da će podela skale biti utoliko ravnomernija, ukoliko je osetljiviji indikacioni instrument. Uobičajeni su indikacioni instrumenti sa kretnim kalemom, čiji je pun otklon 0,1 mA, ali mogu se upotrebiti još i oni čiji



Sl. 31.17. Faktor talasnosti s u zavisnosti od odnosa napona U_d : U_r (U_d je uvek jednaka 10 podeoka skale)

puni otklon iznosi 1 mA. Vrednost regulatora osetljivosti P zavisi od unutrašnje otpornosti indikacionog instrumenta, praktične srednje vrednosti su 50 ili 100 kΩ.

Opšte uputstvo za podešavanje svih reflektometara:

Zaključiti konektor reflektometra B_2 (antenska strana) sa opteretnim otpornikom, kao što je opisano; na konektor B_1 priključi se izlaz predajnika (eventualno preko *Kolinsovog* filtra). Preklopnik reflektometra postaviti na »unapred«, uključiti predajnik i spregu predajnika podesiti tako da instrument reflektometra pokaže maksimalan mogući napon. Ovaj položaj odgovara optimalnom opterećenju predajnika. Pomoću regulatora osetljivosti P podesiti otklon kazaljke indikacionog instrumenta tako da otklon bude pun (10 delova skale). Nakon toga, prekopčati u položaj »unazad«, kazaljka instrumenta će se pomeriti na manju vrednost, u iznimnim slučajevima vratiće se na nulu. Najčešće ostane otklon koji se kod reflektometara sa pristupačnim mernim provodnikom pokušava smanjiti pažljivim pomeranjem priključka diode D_2 duž mernog provodnika. Ako je konstrukcija dobra i ako je zaključni otpornik realan, ovom merom dovešće se otklon skoro do nule. Kod jednostavnog *mikimeča* veoma je ograničena mogućnost podešavanja na nulu; u tom slučaju može se samo pokušati da se manipulacijom na mernom provodniku, odnosno na njegovim zaključnim otpornicima, postigne poboljšanje.

Kada je izvršeno podešavanje otklona na nulu u položaju preklopnika »unazad«, promeni se smer propuštanja tako što se B_2 priključi na izlaz predajnika, a B_1 opteretni veštačkom antenom. P ostaje u prvobitnom položaju, preklopnik se nalazi u položaju »unazad«. Pri istoj izlaznoj snazi predajnika, na instrumentu će se ponovo pojaviti puni otklon; u stvari, meri se u prolaznom smeru. Dioda D_1 funkcioniše kao dioda za povratni talas usled obrtanja reflektometra. Zbog toga se preklopnik prebaci na »unapred«, a pri tom se reflektovani talas meri pomoću D_1. Nakon toga, otklon instrumenta mora se ponovo dovesti na nulu pažljivim pomeranjem diode D_1. Time je podešavanje završeno, pa se reflektometar ponovo vrati u normalni propusni smer.

Preveliki faktor smera *ad* može se prepoznati po tome što se prilikom merenja realnim zaključnim otpornikom još uvek javlja napon reflektovanog talasa. Uzroci ove pojave objašnjeni su još u tački 31.2.1 Promenom otpornika u mernoj grani ili malim premeštanjem mernog provodnika mogu se uspostaviti malo povoljniji odnosi. Osim toga, treba voditi računa da se na prelazima od koaksijalnog unutrašnjeg provodnika na koaksijalne utičnice B_1 i B_2 ne pojave udarni talasi, tj. ne sme nastupiti nikakva skokovita promena karakteristične impedance. Ako se teži da greška merenja bude što manja, reflektometar se mora praviti veoma brižljivo, iako se radi o veoma jednostavnim šemama.

Treba još napomenuti da diode reflektometra mogu eventualno postati uzrok pojave TV smetnji. Poznato je da šeme sa diodama kao umnoživači frekvencije daju dobre više harmonike. Ovaj način rada može nastupiti i kod reflektometara, pa oni počnu da proizvode više harmonike. Pomoć može biti filtriranje i postavljanje prigušnica na putu jednosmernog napona između dioda i indikacionog instrumenta. U opštem slučaju je dovoljno uobičajeno blokiranje, kao što je prikazano na šemama, naročito onda kada se reflektometar nalazi u kućištu koje služi kao oklop.

Reflektometri se mogu veoma raznovrsno koristiti, a uz pogodnu konstrukciju mogu naći primenu i u opsegu od 70 cm. Budući da su oni najvažniji amaterski merni instrumenti za antene, detaljno su opisane pojedine konstrukcije. Već se kod *mikimeča* može izvršiti podešavanje u položaju »unapred« na najpovoljniju spregu snage u izlaznom stepenu predajnika; maksimalni napon direktnog talasa »unapred« odgovara optimalnom sprezanju energije. U položaju »unazad« veoma brzo se pronađe rezonantna frekvencija antene; to je frekvencija na kojoj se javlja najmanji mogući koeficijent stojećih talasa. Osim toga, pomoću reflektometra se može stalno kontrolisati rezultat podešavanja antene, s tim što se posmatra porast ili opadanje povratnog napona. Budući da je slabljenje usled prolaza talasa kroz reflektometar veoma malo, on se može ostaviti u napojnom vodu radi stalne kontrole prilagođenja.

Reflektometar ovakvog tipa može se korisno upotrebiti i kod antena koje se napajaju prilagođenim simetričnim vodom od 240 Ω. Tada je potrebno da se balun-član (sl. 7.6) uključi kao transformator za simetriranje između izlaza reflektometra i napojnog voda.

31.3. Indikatori stojećih talasa za simetrične napojne vodove

Poneke amaterske antene napajaju se prilagođenim simetričnim vodom pri čemu se često koristi UKT trakasti vod. Za indikaciju stojećih talasa kod takvih antena razvijeni su jednostavni indikatori koji rade na principu reflektometra. To su veoma jednostavna kontrolna sredstva pomoću kojih se ne mogu vršiti kvalitativna merenja, pa se samo procenjuje faktor prilagođenja.

31.3.1. Indikator sa dve sijalice za trakaste vodove

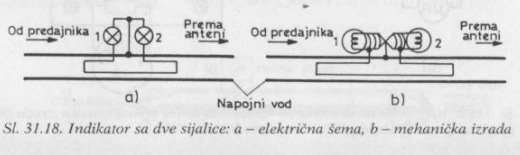
Kod ovog vrlo jednostavnog indikatora ulogu pokazivanja stojećih talasa preuzimaju male sijalice. Na sl. 31.18 prikazane su električna šema i mehaničko rešenje.

Petlja za spregu napravi se od komada trakastog voda koji je upotrebljen i za napojni vod. Dužina petlje za spregu ne sme biti $\lambda/4$. Ona se po pravilu dimenzioniše oko $\lambda/10$ ili kraće. Oba kraja voda su kratko spojena, u sredini se vod razdvoji. Na taj način petlja dobije izgled malog savijenog dipola. Na mestu prekida obe žile se najkraćim putem vode do priključne tačke na grlu obe sijalice. Njihovi srednji kontakti međusobno se zaleme, pa se kratkim komadom provodnika galvanski vežu sa najbližim provodnikom napojnog voda. Ponekad se može ubosti čioda, pa rupu kasnije pažljivo zalemiti. Zbog male toplotne inertnosti žarnog vlakna dobro može poslužiti sijalica tipa 3,8 V/0,07 A. Petlja za spregu postavi se na bilo koje mesto što bliže napojnom vodu i u tom položaju se pričvrsti plastičnom samolepljivom trakom.

Izlaznu snagu predajnika treba pre merenja što više smanjiti a zatim polako povećavati sve dok sijalice ne zasvetle srednjom jačinom. Ako je prilagođenje približno ostvareno, onda će sijalica 1 na strani predajnika mnogo jače svetleti od sijalice 2 koja se nalazi u smeru antene. Jasno je uočljiv princip reflektometra: sijalica 1 uzima energiju iz polaznog talasa (»unapred«), dok tinjalica 2 reaguje samo na reflektovani talas (»unazad«).

Cilj sledećih podešavanja na delovima za prilagođenje antene je da se postigne stanje kada će sijalica 2 ostati tamna, dok sijalica istovremeno svetli punim sjajem. U tom slučaju su nestali stojeći talasi i ostvareno je dovoljno dobro prilagođenje.

Kod malih izlaznih snaga često se ne može postići da sijalice zasvetle. U tom slučaju sijalice se zamene slojnim otpornicima od po oko 500 Ω; pad VF napona na njima ispravlja se pomoću germanijumske diode. Posle odgovarajućeg VF filtriranja, na instrument sa obrtnim kalemom dovedu se jednosmerni naponi. Prilagođenje je ostvareno kada je pad napona na otporniku na strani predajnika približno jednak nuli.



Sl. 31.18. Indikator sa dve sijalice: a – električna šema, b – mehanička izrada

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

31.3.2. **Merači VF napona kao indikatori stojećih talasa**

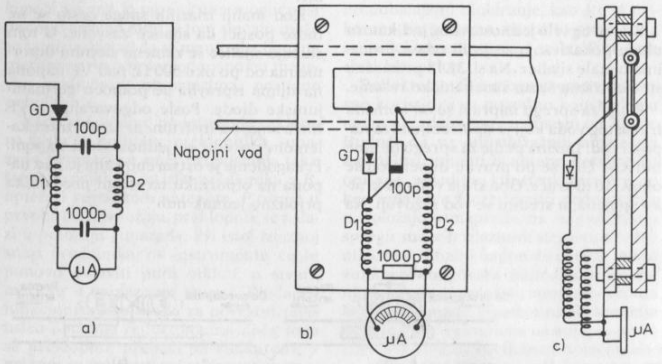
U daljem tekstu biće opisani instrumenti koji omogućavaju kvantitativno merenje stojećih talasa. Na principu mernog voda mere se VF amplitude na većem delu voda. Koeficijent stojećih talasa dobija se upoređenjem dobijenih vrednosti napona U_{max} i U_{min}.

U praksi ova merna metoda nije tako dobro prihvaćena kao ranije opisani indikator sa dve sijalice. Uzroci su nešto veća mehanička sredstva i komplikovan proces merenja.

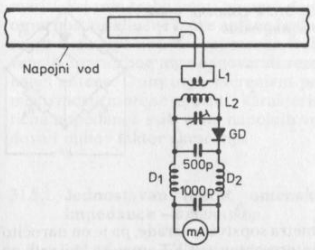
Prilikom merenja napona duž napojnog voda obavezno se pretpostavlja da je stepen sprege između indikatora i ispitivanog trakastog voda jednak u svakoj mernoj tački. Radi toga konstruisati klizač u kome se nalazi petlja za spregu i koji može da klizi duž napojnog voda, slično kao što klizi pokretni deo logaritamskog računara. Na sl. 31.19 prikazan je primer takvog merenja. To je žičana petlja pomoću koje se VF napon uzima induktivno iz napojnog voda. Germanijumska dioda GD ispravlja visoku frekvenciju. Dobijeni jednosmerni napon vodi se preko filtra do mikroampermetra gde se meri. Budući da karakteristika ispravljanja poluprovodničke diode nije linearna, instrument treba ponovo baždariti zajedno sa diodom (vidi odeljak 31.2). Petlja za spregu je manjih dimenzija od petlje kod indikatora sa dve lampe. U kratkotalasnom području njena dužina može iznositi 5 do 10 cm, a za rad u opsegu od 2 m dovoljna je dužina od oko 2 cm. Obe jednake prigušnice D_1 i D_2 treba da budu dimenzionisane za frekventno područje koje se ispituje. Za sve KT opsege mogu se upotrebiti unakrsne zavojnice sa induktivnošću od oko 0,5 mH. U UKT području upotrebljavaju se slobodne prigušnice od oko 20 zavojaka. Lakirana bakarna žica namotava se na olovku. Indikacioni instrument ne mora obavezno da bude mikroampermetar; može poslužiti i manje osetljivi instrument, čiji je puni otklon oko 1 mA.

Petlja za spregu sastoji se od bakarne žice debljine 1 mm i smeštena je u polistirol ploču. Da bi se utisnula u termoplastični polistirol, savijena žičana petlja zagreje se na pegli, pa se zatim »upegla« u pločicu. U suprotnu pločicu ugradi se putanja za napojni vod, i to tako da obe pločice čvrsto naležu jedna na drugu i da se klizač (a time i merna pelja), ipak, može kretati uvek na istom razmaku duž napojnog voda. Na sl. 31.19c taj razmak je nešto uvećan radi bolje preglednosti.

Ako se indikator pomera duž napojnog voda, instrument će pokazivati relativnu



Sl. 31.19. Merenje stojećih talasa: a – električna šema, b – mehanička izrada (prednji izgled), c – mehanička izrada (bočni izgled)



Sl. 31.20. Selektivni merač stojećih talasa

vrednost VF napona. U slučaju prilagođenja napon je jednak u svakoj tački trakastog voda, što znači da u napojnom vodu nema stojećih talasa.

Neprilagođenje se uočava po pomeranju kazaljke, jer se javljaju maksimumi i minimumi napona. Količnik ove dve vrednosti, prema jednačini 5.15, daje neposredno faktor talasnosti s (koeficijent stojećih talasa–KST). Merač radi aperiodično i zbog toga pokazuje sve frekvencije koje se javljaju. Ako frekvencija predajnika sadrži mnogo viših harmonika, merni podatak može biti pogrešan.

Na sl. 31.20 prikazana je šema koja radi na istom principu, ali selektivno isključuje uticaj viših harmonika i daje naročito osetljivo merenje. U ovoj šemi je zavojnica za spregu vezana sa zavojnicom L_1 (1 do 2 zavojka) preko komada trakastog voda (Z oko 70 Ω) ili preko pločice. Zavojnica L_1 spreže se sa zavojnicom u kolu L_2 tako da se sprega može što više menjati. Oscilatorno kolo L_2–C podešeno je na frekvenciju predajnika. Ono predstavlja apsorpciono kolo iza koga sledi ispravljač i instrument sa obrtnim kalemom. Primena i rukovanje su isti kao kod prethodno opisanog merača.

Opisani merači mogu se koristiti i za merenje na otvorenim nepodešenim napojnim vodovima sopstvene izrade i bilo koje karakteristične impedance, s tim što su potrebne odgovarajuće mehaničke izmene.

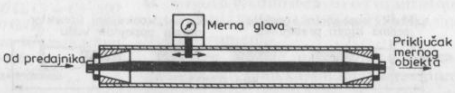
31.4. Merni vod

Merenje talasnosti na VF vodu ne omogućava samo određivanje koeficijenta stojećih talasa, već i utvrđivanje aktivnih i reaktivnih otpornosti priključenih potrošača. Zbog toga, laboratorije u VVF i UVF području primenjuju tzv. *merne vodove*. Merni vod je mehanički kruta imitacija koaksijalnog kabla sa tačno definisanom karakterističnom impedancom. Po spoljašnjem provodniku mernog voda na kome se nalazi uzdužni prorez klizi merna glava i putem kapacitivno spregnute sonde uzima merni napon sa unutrašnjeg provodnika (sl. 31.21).

Industrijski proizvedeni merni vodovi su precizni uređaji fine mehanike sa velikom tačnošću merenja. Cena takvih uređaja je veoma visoka, pa ih amateri pojedinačno ne mogu lako nabaviti ili izgraditi. Osim toga, praktične mogućnosti korišćenja mernog voda ograničene su na UVF područje i na deo VVF područja.

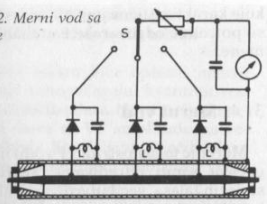
Mehaničko pojednostavljenje precizног mernog voda sastoji se u tome da se odustane od klizne merne glave i da se predvidi nekoliko fiksnih mernih tačaka koje su podeljene duž voda (sl. 31.22). Merni vod sa tri diode konstruiše se za datu frekvenciju u VVF ili UVF području (dužina voda i položaj mernih tačaka). Time je područje primene veoma ograničeno. Prirodno je da merenje u tri tačke ne daje tako dobre rezultate kao kontinualno merenje napona. Induktivnosti L sa kapacitetom dioda svaki put formiraju rezonantno kolo koje je podešeno na mernu frekvenciju.

Primitivna imitacija mernog voda sa više mernih tačaka dobije se od komada koaksijalnog kabla čiji se unutrašnji pro-

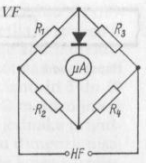


Sl. 31.21. Šematski prikaz mernog voda

Sl. 31.22. Merni vod sa tri diode



Sl. 31.24. Osnovna šema VF mernog mosta



vodnik oslobodi na više tačaka da bi se mogla uvesti sonda VF merne glave. Radi toga se na različitim mestima skine spoljašnji zaštitni omotač kabla, pa se spoljašnji provodnik (oplet od bakarne žice ili trake) pomeri ili probije toliko da se pojavi mali kružni isečak dielektrika. Kada se on otvori dođe do unutrašnjeg provodnika kabla. Zatim se probušena perla od keramike ili fina plastična cevčica utisne i nalepi u nastalu rupu tako da se unutrašnji provodnik kabla može dodirnuti spolja pomoću fine sonde. Sve predviđene merne tačke treba napraviti na opisani način (sl. 31.23). Dužina mernog voda treba da iznosi najmanje 0,75 λ. Na njoj se predviđene merne tačke podele ravnomerno. Karakteristična impedanca mernog voda mora odgovarati karakterističnoj impedanci napojnog kabla koji se želi ispitati. Merni kabl se uključi u dovod energije između izlaza predajnika i napojnog voda.

Pomoću sonde VF cevnog voltmetra ili nekog drugog VF merača napona utvrdi se VF napon na pojedinim mernim tačkama. Ako se izmere različiti naponi, onda nema prilagođenja. Isti napon na svim mernim tačkama ukazuje na to da je napojni kabl pravilno prilagođen na antenu. Budući da se napon ne meri kontinualno, ne mogu se jednoznačno odrediti maksimumi i minimumi, pa se ne dobiju ni kvantitativni podaci o faktoru talasnosti. Ovakav provizoran merni vod, u UVF području ipak radi bolje od reflektometra sopstvene izrade, pa je on naročito interesantan za UKT amatera koji radi na opsezima od 70 cm i 2 m.

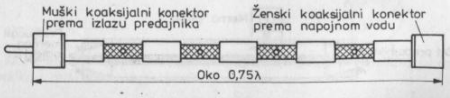
31.5. Mostovi kao uređaji za merenje prilagođenja

VF merni most tipa Vitstonovog mosta jeste pomoćno sredstvo za prilagođavanje antena. On se može vrlo lako napraviti, a primena mu je višestruka. Takvi merači poznati su pod različitim imenima; svi oni rade na istom principu, bez obzira na to da li se zovu *antenaskop* ili *mečmejker*. Na sl. 31.24 prikazana je osnovna šema mosta.

Most se napaja visokom frekvencijom. Otpornici upotrebljeni u mostu moraju imati realnu otpornost za frekvenciju napajanja. R_1 i R_2 su međusobno potpuno jednaki (tačnost 1% ili veća), sama vrednost otpornosti je manje značajna. Pod ovom pretpostavkom, u slučaju ravnoteže mosta (merni instrument pokazuje nulu), dobiju se sledeći odnosi:

$$R_1 = R_2;\quad R_1 : R_2 = 1 : 1,$$
$$R_3 = R_4;\quad R_3 : R_4 = 1 : 1.$$

Ako se umesto R_4 priključi nepoznata otpornost i ako se za R_3 upotrebi baždareni obrtni otpornik (bez indukcije), u slučaju nultog pokazivanja instrumenta vrednost R_3 predstavlja aktivnu nepoznatu otpornost. To znači da se otpornost priključne tačke antene može direktno



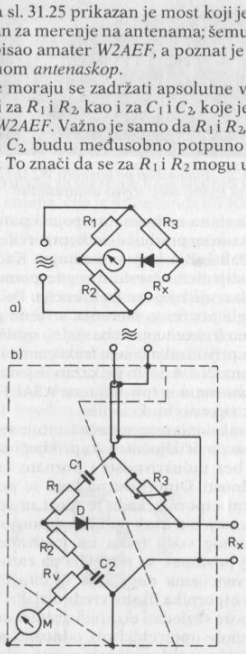
Sl. 31.23. Provizorni merni vod sa više mernih tačaka

meriti. Pri tom treba imati na umu da je otpornost priključne tačke antene realna samo u slučaju rezonance; merna frekvencija mora zbog toga odgovarati rezonanci antene. Osim toga, merenjem pomoću mosta može se utvrditi i karakteristična impedanca svih vrsta napojnih vodova i njihov faktor skraćenja.

31.5.1. **Jednostavan merač antenske impedance** – *antenaskop*

Na sl. 31.25 prikazan je most koji je pogodan za merenje na antenama; šemu mu je opisao amater *W2AEF*, a poznat je pod imenom *antenaskop*.

Ne moraju se zadržati apsolutne vrednosti za R_1 i R_2, kao i za C_1 i C_2, koje je naveo *W2AEF*. Važno je samo da R_1 i R_2, kao i C_1 i C_2, budu međusobno potpuno jednaki. To znači da se za R_1 i R_2 mogu uzeti



Sl. 31.25. Antenaskop: a – principijelna šema VF mernog mosta; b – šema antenaskopa prema amateru W2AEF, $R_1 = R_2 = 200\ \Omega$, $C_1 = C_2 = 500$ pF, R_3 – obrtni otpornik od 500 Ω lin.; R_V – predotpor indikacionog instrumenta; M – indikacioni instrument sa skretnim kalemom, puni otklon oko 0,2 mA; D – germanijumska dioda

otpornici od 150 Ω, 250 Ω ili sličnih vrednosti samo ako su dva jednaka otpornika na raspolaganju. To isto važi i za C_1 i C_2.

Nije potrebno nabavljati skupe merne otpornike uskih tolerancija. Jeftinije je da se iz veće količine jednakih otpornika pomoću mernog mosta ili om-metra odaberu dva otpornika iste vrednosti.

Kao obrtni otpornik R_3 može se upotrebiti samo slojni otpornik sa malom induktivnošću; žičani potenciometar ne odgovara. Mali potenciometar od mase, kome se eventualno skine poklopac, često omogućava zadovoljavajuće merne rezultate i u UKT području do 150 MHz. Prilikom montaže, pre svega, treba voditi računa o tome da štetne kapacitivnosti između R_3 i okolnih delova, kao i oklopa, budu što manje. Zbog toga, potenciometar treba pričvrstiti odvojeno od prednje ploče na prešpan, a osovinu potenciometra izvesti izolovano kroz prednju metalnu ploču. Vrednost otpornika od 500 Ω odabrana je da bi se mogle meriti sve normalno očekivane vrednosti otpornosti priključne tačke napojnih vodova. Otpornik od 500 Ω ne može se uvek naći u trgovini, pa se može upotrebiti i češći slojni potenciometar od 1 kΩ linearno. Paralelno sa njim spoji se slojni otpornik od 1 kΩ; pomoću ove kombinacije može se postići dobra raspodela tačaka baždarenja po uglu obrtanja. Sve više se prelazi na antene sa koaksijalnim napajanjem, pa se često merno područje *antenoskopa* može ograničiti na 100 Ω. U tom slučaju, za R_3 treba uzeti slojni obrtni otpornik od 100 Ω, jer se time dobije veća tačnost pri očitavanju unutar tog opsega.

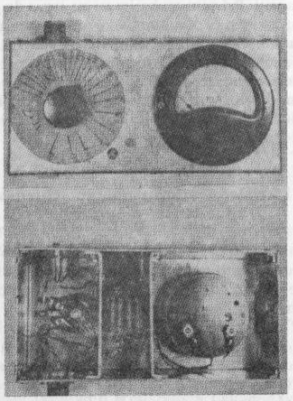
Obrtni otpornik se izbaždari jednosmernom strujom pomoću preciznog ommetra, pa se na obrtno dugme postavi skala, sa koje se direktno mogu očitavati otpornosti na koje je potenciometar postavljen. Kada je most u ravnoteži, tj. kada instrument pokazuje nulu, otpornost koja se meri jednaka je otpornosti koja se očita na skali obrtnog otpornika. R_V je predotpor indikacionog instrumenta. Njegova vrednost zavisi od unutrašnje otpornosti i željene osetljivosti indikacionog instrumenta.

Amater *W2AEF* upotrebljava instrument sa skretnim kalemom; njegov puni

otklon iznosi 0,2 mA. Preporučuje se korišćenje naročito osetljivih indikacionih instrumenata (npr., sa punim otklonom od 0,05 ili 0,1 mA). Da bi se izbeglo ometanje ravnoteže mosta, oni se moraju priključiti uvek preko visokoomskog predotpora. Nema posebnih zahteva u pogledu karakteristika germanijumske diode; pogodni su skoro svi komercijalni tipovi VF ispravljača, npr., *GA100*.

Vodovi u granama mosta moraju imati minimalnu induktivnost i kapacitivnost, pa zbog toga moraju biti što kraći, pri tom treba voditi računa o mehaničkoj simetriji. Ceo merač se smešta u kućište. U njemu se naprave tri odvojena oklopljena odeljka u koja se ugrađuju sastavni delovi (sl. 31.25b, oklop je ucrtan isprekidanom linijom). Most je na masi na jednoj strani, što znači da nije simetričan prema zemlji. Time je konstrukcija pojednostavljena i manje je kritično njeno izvođenje. Prema tome, merač je naročito pogodan za priključak nesimetričnih vodova (npr., koaksijalni kabl). Međutim, sa dovoljnom tačnošću može se vršiti merenje i na simetričnim vodovima i antenama. Oklop se ne uzemljuje. Zbog toga, dobro je da se merač postavi na izolovane nožice i da se površina kućišta prevuče izolacionim zaštitnim lakom. Pogodna je i kutijica od ploče sa kaširanim bakrom. Kao što je već napomenuto, obrtni otpornik montira se u njegovom oklopu, na pločicu od izolacionog materijala, tako da bude odmaknut što više od svih metalnih površina oko njega. Njegovi metalni delovi ne smeju se spojiti sa oklopom.

Antenaskop se bez promena može koristiti i u kratkotalasnom i u UKT području. Granica upotrebljivosti na UKT zavisi od mehaničke konstrukcije i od pojedinačnih delova. Kao VF generator za napajanje mosta pogodan je grid-dip metar, kao i svaki drugi VF generator sa promenljivom frekvencijom i dovoljnom izlaznom snagom (npr., signal-generator). Dovedena VF snaga ne treba da prekoračí 1 W, kako ne bi ugrozila diodu i merni instrument. Za napajanje mosta dovoljna je snaga od oko 0,2 W. VF sprega može se ostvariti veoma jednostavno pomoću petlje od 1 do 3 zavojka. Petlja i zavojnica kola grid-dip metra spregnu se tako čvrsto da se na instrumentu pojavi pun otklon kada su priključnice R_x otvorene (priključak kabla koji se ispituje). Kada se grid-dip metar čvrsto spregne, pomeri se baždarenje njegove frekvencije. Da bi se izbegla pogrešna merenja, stvarno generisanu frekvenciju treba stalno osluškivati na prijemniku čija je frekvencija izbaždarena. Na sl. 31.26 prikazan je jednostavan *antenaskop* (po amateru W2AEF) koji ipak sigurno funkcioniše.



Sl. 31.26. Antenaskop po amateru W2AEF; gore: prednji izgled, dole: izgled unutrašnjosti

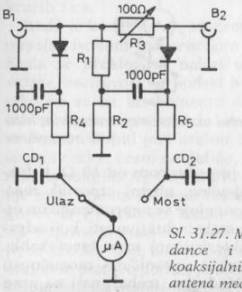
Funkcionisanje merača ispituje se tako što se na priključnice R_x priključi otpornik bez induktivnosti i poznate omske vrednosti. Otpornost na koju se postavi obrtni otpornik kada je most uravnotežen mora biti uvek jednaka otpornosti ispitivanog voda (nula na instrumentu). Ovaj postupak se ponavlja na različitim frekvencijama napajanja sa čitavim nizom otpornika fiksne vrednosti. Pri tome se može sagledati do kojih granica se merač može upotrebljavati, odnosno gde se još može uočiti ravnoteža mosta usled nedovoljno oštrog otklona. U KT području postižu se uvek besprekorni merni rezultati, dok na frekvencijama UKT sastavni delovi postaju više ili manje kompleksni, zbog čega se više ne može podesiti ravnoteža mosta. Pažljivom izmenom načina

vođenja provodnika, dužine provodnika i sastavnih delova, često se može postići da antenaskop daje još upotrebljive rezultate i u opsegu od 2 m. Jednostavne mosne šeme potpuno otkazuju u opsegu od 70 cm.

Industrijski proizvedeni merni mostovi za prilagođenje dostižu gornje granične frekvencije od oko 250 MHz, zahvaljujući naročito pogodnoj konstrukciji i kompenzaciji reaktivnih otpornosti. Kada se ispita funkcionisanje antenaskopa, on se može primenjivati u praktičnim merenjima.

31.5.2. Merač impedance i talasnosti koaksijalnih kablova i antena–*mečmejker*

Mosna šema, poznata kao *mečmejker* nije ništa drugo nego *antenaskop* koji je konstruisan za merenje koaksijalnih kablova i antena, čija je impedanca do 100 Ω. Osim toga, u ovom meraču se nalazi još jedan VF ispravljač koji omogućava merenje VF napona napajanja. Na sl. 31.27 prikazana je šema *mečmejkera*. Kućište se opet deli u tri oklopljena odeljka; u srednjem odeljku nalazi se germanijumska dioda koja je potrebna za merenje ulaznog napona i koja je sa svojim filtrima oklopljena odvojeno od sastavnih elemenata mosta. Promenljivi obrtni otpornik od 100 Ω izveden je bez induktivnosti. Za njegovu montažu važe napomene date za obrtni otpornik *antenaskopa*. Nepromenljivi otpornici R_1 i R_2 moraju biti međusobno potpuno jednaki. Za njihovu otpornost može se odabrati bilo koja vrednost između 40 i 80 Ω. To treba da budu tipovi sa malom induktivnošću i sa mogućnošću opterećenja do 1 W. Predotpori mernog instrumenta R_4 i R_5 su normalni otpornici, a njihove vrednosti određuje indikacioni instrument. Kod instrumenata sa kretnim kalemom i punim otklonom od 0,1 mA pogodne vrednosti su R_4 = 15 kΩ i R_5 = 7,5 kΩ. Treba voditi računa o tome da je $R_4 : R_5 = 2 : 1$. CD_1 i CD_2 su provodni kondenzatori od oko 1000 pF (vrednost kapacitivnosti nije kritična). Obrtni otpornik se baždari pomoću tačnih merača otpornosti (pri tom se moraju odvojiti Ge-diode). Izmerene vrednosti obeleže se na preglednoj skali na svakih 10 Ω.



Sl. 31.27. Merač impedance i talasnosti koaksijalnih kablova i antena mečmejker

Kada se merač napravi treba izvršiti podešavanje i ispitivanje funkcionisanja. Radi toga prvo se zatvori izlaz B_2 /vod koji se ispituje) sa poznatim otpornikom bez induktivnosti (npr., 60 Ω). Preklopnik instrumenata postavi se u položaj »ulaz«. Na ulaz merača dovede se toliki VF signal da se kazaljka instrumenta otkloni do polovine skale. Za to je potrebno oko 0,2 W VF snage koju može dati grid-dip metar. Zatim se instrument prebaci u položaj »most« i obrtni otpornik podesi tako da se most dovede u ravnotežu (nula napona). Vrednost otpornosti koja se očita na obrtnom otporniku mora tačno odgovarati vrednosti otpornosti koja se ispituje. Provera mosta može se ponoviti na različitim frekvencijama napajanja i sa različitim završnim otpornicima. Zatim se razdvoji završni otpornik, pa izlaz koji služi za priključak ispitivanog voda ostane otvoren. Merač se napaja VF signalom koji se podesi tako da indukacioni instrument u položaju »ulaz« ponovo pokaže polovinu skale. Kada se preklopnik prebaci na »most«, mora se dobiti puni otklon skale (odnos predotpora je 2 : 1). Ako se ne dobije pun otklon, treba menjati R_5 sve dok se ne dobije puni otklon. Isti postupak se ponavlja sa kratko spojenim izlazom B_2. Pri istom ulaznom naponu, u položaju »most« mora se ponovo dobiti puni otklon, a u položaju »ulaz« polovina otklona. Ako se ne dobiju ovi otkloni,

onda otpornici R_1 i R_2 nisu međusobno sasvim jednaki. Nakon toga, skala instrumenta može se baždariti za direktno očitavanje koeficijenta stojećih talasa, odnosno faktora talasnosti s kao što sledi: obrtni otpornik postavi se na označeni položaj od 60 Ω, a izlaz B_2 zaključi se sa neinduktivnim otpornikom od 60 Ω. VF napon napajanja podesi se tako da se u položaju »ulaz« dobije polovina otklona na skali instrumenata. Kada se preklopnik prebaci na »most« kazaljka se mora vratiti na nulu, što odgovara faktoru talasnosti s od 1 (KST = 1 : 1). Nakon toga, kao završni otpornici priključuju se različiti otpornici poznatih omskih vrednosti, i svaki put se zabeleži otklon instrumenata u položaju »most«. Pri tome, ulazni napon mora ostati konstantan, a ne sme se menjati ni položaj obrtnog otpornika. Ako završni otpornik iznosi, npr., 120 Ω, onda vrednost otklona mernog instrumenta odgovara KST od 2 : 1 (120 Ω : 60 Ω); ako je završni otpornik 240 Ω, faktor talasnosti biće s = 4. Pomoću dovoljnog broja završnih otpornika može se na osnovu izmerenih vrednosti konstruisati tačna kriva baždarenja. Vrednosti faktora talasnosti mogu se uneti direktno na skalu instrumenta. Pri praktičnom merenju treba voditi računa o sledećim napomenama:

a – obrtni otpornik mora se postaviti uvek na omsku vrednost koja je jednaka karakterističnoj impedanci upotrebljenog koaksijalnog kabla;

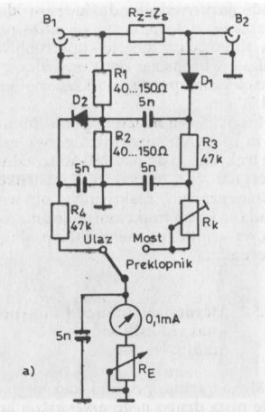
b – pre svakog merenja ulazni napon (položaj »ulaz«) mora se podesiti tačno na polovinu skale;

c – prilikom merenja na anteni, frekvencija napajanja mora odgovarati rezonantnoj frekvenciji antene.

Pravilnom primenom *mečmejkera* mogu se sa dovoljnom tačnošću rešiti svi problemi prilagođenja u praksi na KT.

31.5.3. Merni mostovi za prilagođenje sa nepromenljivim mernim otpornikom

Amater često koristi samo jednu vrstu kabla za napajanje svojih predajnih antena, najčešće koaksijalni kabl sa karakterističnom impedancom od 60 Ω. U takvim slučajevima, obrtni otpornik *mečmejkera* zamenjuje se nepromenljivim otpornikom male induktivnosti, koji odgovara karakterističnoj impedanci kabla. Time su malo ograničene mogućnosti merenja. Međutim, treba imati na umu



Sl. 31.28. Šema mosta sa nepromenljivim mernim otpornikom

da je veoma tešno nabaviti obrtni otpornik koji predstavlja čistu aktivnu otpornost još i u UKT području. Nasuprot tome, u prodaji se nalaze fiksni otpornici naročito male induktivnosti (UKT otpornici), koji omogućavaju da se postignu više gornje granične frekvencije mosta.

Na sl. 31.28 prikazana su dva primera šema mostova za merenje stojećih talasa sa nepromenljivim mernim otpornikom R_z. Njegova vrednost iznosi 50, 60, 70 ili 75 Ω, već prema karakterističnoj impedanci Z_s napojnog voda. Osim toga R_z mora biti ugljenoslojni otpornik male induktivnosti i uske tolerancije, a opterećenje od 0,5 W obično zadovoljava. Za ostali deo šeme kao i za podešavanje važe napomene koje su date za *mečmejker*.

Otpornosti R_3 i R_4 su iste vrednosti. To su nepromenljivi predotpori za indikacioni instrument. Oni su veći što je instrument osetljiviji. Ako su predotpori veliki, onda je pokazivanje napona većim delom linearno, pa nije potrebno posebno baždarenje indikacionog instrumenta u vezi sa diodom. Svi upotrebljeni kondenzatori su keramički disk–kondenzatori od po 5000 pF (vrednost nije kritična između 1000 i 10000 pF). Otpornik za podešavanje R_k potreban je samo kod prvog podešavanja. Njegova vrednost iznosi oko 1 kΩ. R_E je regulator osetljivosti, čija vrednost zavisi od unutrašnje otpornosti indikacionog instrumenta. Oklop prikazan isprekidanom linijom označava da je R_z smešten u sopstvenu oklopljenu pregradu, pri čemu se ovaj otpornik mora zalemiti između B_1 i B_2 pomoću što kraćih žica.

Kada je konektor B_2 otvoren, most se napaja visokom frekvencijom preko B_1. Kada se preklopnik nalazi u položaju »ulaz«, osetljivost se podesi pomoću R_E tako da se na instrumentu dobije pun otklon. Kada se prebaci na »most«, mora se ponovo dobiti pun otklon. Budući da se pun otklon često ne dobije, vrši se korekcija pomoću R_k. On služi za podešavanje instrumenta na puni otklon kada je konektor B_2 otvoren. Zatim se preklopnik ponovo prebaci na »ulaz« i konektor B_2 se kratko spoji; ako je potrebno, puni otklon se ponovo podesi pomoću R_E. Preklapanjem na »most« mora se opet dobiti isti otklon kazaljke, a ako se ne dobije, znači da R_1 i R_2 nisu sasvim jednaki ili da između grana mosta postoje sprege usled rasipanja. Ovo podešavanje treba izvesti sa više frekvencija napajanja ili bar na najvišoj i najnižoj radnoj frekvenciji predviđenog područja (npr., u opsezima od 80 m i od 10 m). Dobijeni rezultati omogućavaju analizu postojećih grešaka. Na primer, ako R_1 i R_2 nisu po vrednosti sasvim jednaki, a most je dobro konstruisan, pogrešno pokazivanje biće isto na svim frekvencijama. Naprotiv, ako se konstatuju različite vrednosti greške na raznim frekvencijama, onda se može pretpostaviti da sastavni delovi mosta nisu dobro raspoređeni, pa se javljaju rasipne induktivnosti ili rasipne kapacitivnosti.

Pri konstrukciji VF mernih mostova treba voditi računa o sledećim opštevažećim pravilima:

a – u VF grani mosta priključne žice sastavnih delova moraju biti što kraće;

b – otpornici R_z, R_1 i R_2 moraju se ugraditi tako da budu udaljeni od okolnih metalnih delova najmanje za svoj dvostruki prečnik;

c – sastavne delove u VF grani treba rasporediti tako da njihov međusobni uticaj usled induktivne ili kapacitivne sprege bude što manji.

Da bi se proverila ravnoteža mosta, prvo se – kao kod svakog merenja sa mostom – izvrši osnovno podešavanje; kada je priključnica B_2 otvorena pomoću R_E treba podesiti da se u oba položaja preklopnika uvek dobije tačno pun otklon instrumenta. Zatim se na B_2 priključi otpornik čija vrednost tačno odgovara otpornosti R_z. U položaju »ulaz« mora se javiti puni otklon (eventualno naknadno podesiti pomoću R_E). Kada se preklopnik prebaci u položaj »most«, kazaljka instrumenta mora se vratiti na nulu. Ako se kod svih frekvencija zadrži ravnomerno određeni otklon, onda R_z i završni otpornik nemaju tačno istu vrednost otpornosti. Ako je odstupanje od nule zavisno od frekvencije, znači da induktivnost otpornika R_z nije dovoljno mala ili da postoje sprege usled rasipanja.

Ako između otklona na skali i VF napona postoji proporcionalnost i ako se podela skale podudara sa 10 jednako velikih

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

intervala napona, onda se faktor talasnosti s dobije na poznati način (sl. 31.17), u zavisnosti od očitanih delova skale u položaju »most«.

31.6. Instrumenti za merenje jačine polja

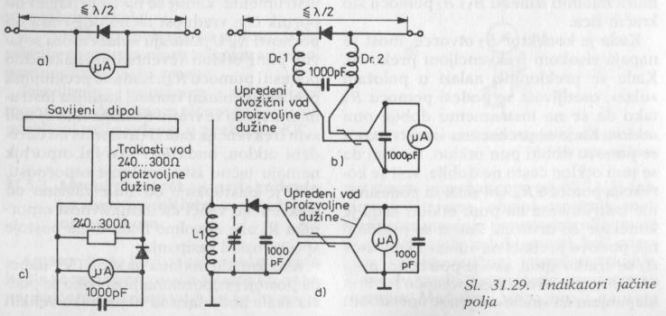
Jednostavni indikatori jačine polja mogu se upotrebiti kao pomoć prilikom podešavanja antene i za kontrolu karakteristike zračenja usmerenih antena. Uz njihovu pomoć može se »fino doterati« veći broj antena.

Na sl. 31.29 prikazane su šeme nekoliko jednostavnih indikatora jačine polja. Na sl. 31.29a prikazan je najjednostavniji indikator: polutalasni dipol u čijoj se sredini nalazi poluprovodnička dioda. Paralelno sa njom vezan je osetljivi mikroampermetar kao instrument za indikaciju. Merni dipol ne mora biti dugačak $\lambda/2$; on se može skratiti po želji, ali pri tom opada osetljivost indikatora. Ako je usmerena antena horizontalno polarizovana, merni dipol se mora obesiti horizontalno. Merni dipol se postavlja što dalje od predajne antene i na istoj visini. Ako antena zrači u smeru indikatora jačine polja, na mernom instrumentu se javlja manji ili veći otklon. Jačinu polja na indikatoru mora očitavati druga osoba, što je veoma komplikovano i nezgodno.

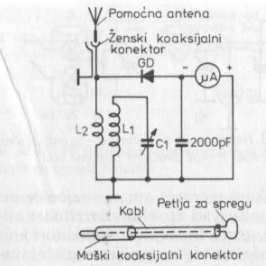
Instrument može biti odvojen od dipola (sl. 31.29b), pri čemu se oni međusobno povezuju proizvoljno dugačkim upredenim dvožičnim vodom. Nakon toga instrument se može postaviti tako da se na njemu očitava direktno u toku podešavanja antene. Prigušnice Dr_1 i Dr_2 su jednostavne četvrttalasne prigušnice u UKT području. Za ostale kratkotalasne opsege dovoljne su VF prigušnice induktivnosti oko 1 mH (nije kritično).

Indikator na sl. 31.29c radi sa savijenim dipolom. UKT trakasti vod proizvoljne dužine prilagođen je svojom karakterističnom impedancom na otpornost u priključnoj tački savijenog dipola. Na kraju trakastog voda nalazi se otpornik od 240 do 300 Ω koji ga zaključuje pravilno u pogledu impedance. U ovom slučaju, ispravljanje VF signala vrši se na kraju napojnog voda. Ova šema se može dobro koristiti u UKT području. Za primenu na kratkim talasima nezgodno je to što dipol petlja zahteva relativno veliki prostor.

Na sl. 31.29d prikazan je indikator jačine polja koji je pogodan naročito za kratke talase. U ovom slučaju kratka pomoćna antena prima VF zračenje. Pad napona koji se javlja u VF prigušnici L_1 ispravlja se pomoću Ge–diode i vodi do instrumenta pomoću proizvoljno dugačkog dvožičnog voda (upredeni kabl, žica za električno zvonce itd.). Cela šema može se uzemljiti na jednoj strani. Veća osetljivost postiže se kada se zavojnici L_1 paralelno doda promenljivi kondenzator C (ucrtan isprekidanom linijom), čime se stvori paralelno rezonantno kolo. Njego-



Sl. 31.29. Indikatori jačine polja



Sl. 31.30. Selektivni merač jačine polja

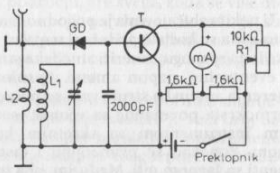
vo područje podešavanja mora obuhvatiti frekvenciju koju treba izmeriti. Prilikom promene frekvencije oscilatorno kolo se svaki put mora naknadno podesiti. Poluprovodničke diode, koje se nalaze u svim izvedbama, mogu biti bilo kog VF tipa (npr., *GA100*). Za indikacione instrumente nema posebnih zahteva; njihov pun otklon mora iznositi samo ⩽ 0,5 mA. Ovi jednostavni merači omogućavaju relativno merenje jačine polja, približno snimanje dijagrama zračenja obrtnih usmerenih antena, kao i procenjivanje povratnog slabljenja.

U nekim slučajevima poželjni su selektivni merači polja, dakle, uređaji koji pokažu jačinu polja tek kada se podese na određenu frekvenciju. Oni odjedinjavaju funkciju indikatora jačine polja i talasomera. Ovaj zahtev ispunjavaju, npr., i poznati uređaji za testiranje antene. Amateru kao pouzdan merač može poslužiti i obični talasomer sa apsorpcionim kolom i indikatorom jačine polja prikazan na sl. 31.30. L_1 zajedno sa C_1 predstavlja promenljivo paralelno rezonantno kolo. Budući da ono treba da bude što selektivnije, ne sme ga prigušivati ni pomoćna antena ni poluprovodnička dioda. Zbog toga se koristi mala zavojnica za spregu L_2, koja je labavo spregnuta sa kolom L_1–C_1. Pomoćna antena prima VF signal, pa se pri velikim jačinama polja na mernom instrumentu javlja otklon a da pri tom kolo L_1–C_1 nije u rezonanci sa predajnom frekvencijom. Kada se izvrši naknadno podešavanje na rezonancu, instrument pokazuje izraženi maksimum. Kod polja manje jačine, instrument reaguje tek kada je kolo podešeno na rezonancu sa frekvencijom predajnika. Zavojnice se mogu izvesti tako da se mogu utaknuti, slično kao kod grid-dip metra, pa se na taj način prekriju svi željeni opsezi. C_1 je promenljivi kondenzator krajnjeg kapaciteta od oko 50 pF; njegova skala može se izbaždariti po frekvenciji. Podaci o zavojnicama koje se utiču mogu se odrediti na osnovu tabela 31.1 i 31.2. Kao indikacioni instrument pogodan je instrument sa kretnim kalemom i sa punim otklonom do 1 mA.

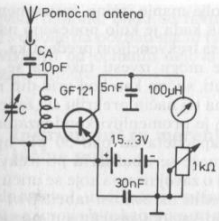
Primena ovog merača je višestruka. Na primer, ako se umesto pomoćne antene priključi komad koaksijalnog kbla na čijem se kraju nalazi zavojnica za spregu, onda se pojedini stepeni u predajniku mogu proveravati i lokalizovati izvori zračenja smetnji. Selektvini indikator jačine polja može dobro poslužiti i za neutralizaciju cevi predajnika. Ako se između nultog potencijala i indikacionog instrumenta priključe slušalice, dobije se detektorski prijemnik koji omogućava slušanje modulacije sopstvenog predajnika (tzv. monitor).

Očitavanje VF napona nije linearno, već približno kvadratno. Ako se upotrebi instrument velike osetljivosti i priključi predotpor odgovarajuće vrednosti (oko 10 kΩ), očitavanje postane znatno linearnije.

Ako se doda jednostepeni tranzistorski jednosmerni pojačavač, može se znatno povećati osetljivost selektivnog merača jačine polja. Takva šema prikazana je na sl. 31.31. Tranzistor pojačava struju oko 10 puta, što zavisi od njegovih karakteristika. Zbog toga se mogu koristiti jeftini i robusni merni instrumenti. U pogledu



Sl. 31.31. Selektivni merač jačine polja sa tranzistorskim jednosmernim pojačavačem



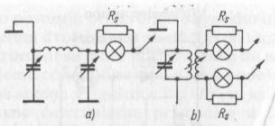
Sl. 31.32. Selektivni merač jačine polja sa VF tranzistorom

svojstava tranzistora nema naročitih zahteva, pogodan je skoro svaki NF tip. Napon koji je ispravljen u poluprovodničkoj Ge–diodi dovodi se do baze tranzistora. Kolektorska struja se kompenzuje pomoću R_1 koji je u mosnom spoju, tako da instrument pokazuje nulu kada nema signala. Podešavanje nule treba češće ponavljati, jer promene temperature utiču na zaostalu struju tranzistora.

Za šemu na sl. 31.32 potreban je tranzistor sa višom graničnom frekvencijom. Da bi se moglo meriti i u opsegu od 2 m, treba odabrati tip *GF121* ili neki drugi VF tranzistor sa što manjom strujom kolektora. LC kolo treba dimenzionisati za predviđenu radnu frekvenciju. Da niski ulazni otpor tranzistora ne bi jako prigušivao rezonantno kolo, baza je spojena sa izvodom na »hladnom« kraju zavojnice. Dužina pomoćne antene zavisi od talasne dužine i od jačine merenog polja.

31.7. Jednostavni instrumenti za merenje VF struja i VF napona

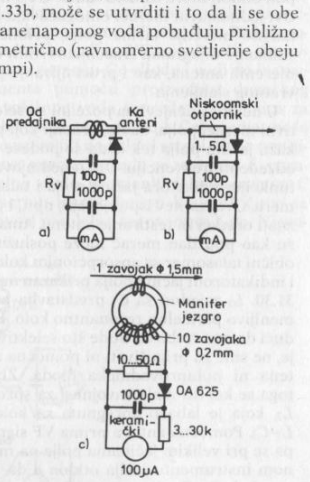
U nekim slučajevima je pogodno (naročito kada se koriste podešeni napojni vodovi) da se mogu izmeriti antenska struja i, eventualno, napon antene. Apsolutna merenja antenske struje vrše se pomoću termokrsta povezanog sa veoma osetljivim instrumentom sa skretnim kalemom. Ponekad se primenjuju i instrumenti sa žarnom niti. Međutim, oba instrumenta su skupa i podložna preopterećenju.



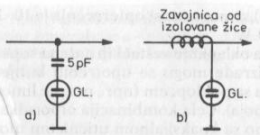
Sl. 31.33. Indikator sa sijalicom: a – za jednožični napojni vod, b – za dvožični napojni vod

Prilikom merenja amater najčešće ne mora poznavati apsolutnu vrednost antenske struje. Dovoljni su indikatori koji omogućavaju da se prilikom podešavanja uoči maksimum antenske struje. U najjednostavnijem slučaju, između izlaza predajnika i napojnog voda uključuju se sijalice (npr., sijalice za skale) koje pokazuju maksimalnu antensku struju na taj način što jarko zasvetle (sl. 31.33).

Paralelni otpornici R_S »šentiraju« sijalice, oni sprečavaju njihovo pregorevanje u određenim granicama i istovremeno smanjuju štetnu induktivnost žarne niti. Kada su sijalice raspoređene kao na sl. 31.33b, može se utvrditi i to da li se obe grane napojnog voda pobuđuju približno simetrično (ravnomerno svetljenje obeju lampi).



Sl. 31.34. Merač antenske struje: a – VF struja se dovodi pomoću petlje za spregu, b – merenje pada napona na niskoomskom otporniku, c – VF strujni transformator

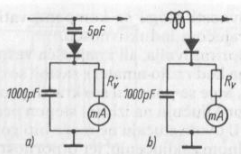


Sl. 31.35. VF indikator napona pomoću kapacitivno spregnute tinjalice

Instrumenti za merenje struje prikazani na sl. 31.34 razlikuju se međusobno samo po načinu sprezanja sa napojnim vodom. Kao sastavni delovi za ispravljanje mogu se upotrebiti sve uobičajene VF poluprovodničke diode (npr., *GA100* i svi drugi *GA* tipovi). Osetljivost ovakvih merača je mnogo veća od indikatora sa sijalicama.

Ponekad je dobro ako postoji mogućnost indikacije maksimuma i minimuma VF napona. Tinjalica je upotrebljiv indikator napona.

Ona se priključuje kapacitivno na napojni vod kao na sl. 31.35. Kod predajnika srednjih snaga dovoljno je da se kapacitivno približi napojnom vodu, pa da tinjalica zasvetli. Veoma osetljiva merna šema može se dobiti ako se VF napon ispravi pomoću poluprovodničke diode, pa zatim dovede na instrument sa skretnim kalemom (sl. 31.36). Vrednost predotpora R_V određena je unutrašnjom otpornošću indikacionog instrumenta i osetljivošću koja se želi postići. Svi kondenzatori prikazani na ovoj šemi keramičkog su tipa. Treba još ukazati na manu koja može nastati zbog upotrebe diode u antenskom kolu: usled nelinearne karakteristike diode, pri ispravljanju javljaju se viši harmonici radne frekvencije. Oni mogu da se spregnu sa antenom, pa da ih ona zrači. To znači da diode mogu biti uzrok nepoželjne pojave smetnji TV i radioprijema.



Sl. 31.36. Osetljivi merač VF napona

31.8. Apsorberi (veštačke antene)

Apsorber spada u najvažnija pomoćna sredstva amaterske radio-stanice. Jednostavnog je oblika i predstavlja završni otpornik, koji deluje omski i čija je otpornost dimenzionisana tako da se uspostavi prilagođenje u pogledu otpornosti. Poznato je da se energetski vod karakteristične impedance od 60 Ω mora zaključiti aktivnom otpornošću od 60 Ω; u tom slučaju vlada prilagođenje, pa se ne javljaju stojeći talasi i završni otpornik celokupnu energiju pretvara u toplotu, pri čemu se ne javlja zračenje. Kada se na energetski vod, umesto antene, priključi takav opteretni otpornik, on se naziva veštačkom antenom, što jezički nije sasvim ispravno.

Apsorberi se mogu višestruko koristiti. Oni nisu potrebni samo pri podešavanju predajnika, već i za merenje snage i za baždarenje antenskih mernih instrumenata. Mogućnost opterećenja apsorbera mora se uskladiti sa svrhom primene; ako treba da služi kao veštačka antena, onda mora apsorbovati celokupnu VF snagu predajnika. Na žalost, specijalni otpornici velike snage i istovremeno bez induktivnosti veoma su skupi i teško se nabavljaju. Zbog toga se radio-amateru preporučuju samo kombinacije komercijalnih ugljenoslojnih otpornika, koje on sam napravi i koje potpuno odgovaraju potrebama u radio-amaterstvu.

Žičani otpornici ne mogu se upotrebljavati zbog njihove velike induktivnosti. Ugljenoslojni otpornici se ugraviranom spiralom mogu se samo uslovno koristiti u KT području, pre svega, kada se više otpornika spoji paralelno. Pogodniji su glatki slojni otpornici. Najbolji su otpornici napravljeni od mase, pre svega grafitno-borni otpornici.

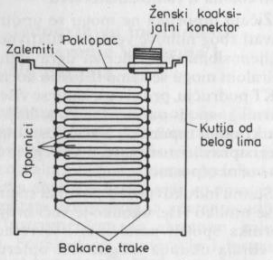
Štetna induktivnost otpornika smanjuje se utoliko više, ukoliko je veći broj otpornika spojen paralelno; istovremeno se zbraja ukupna mogućnost opterećenja. Međutim, prilikom paralelnog spajanja zbrajaju se i nepoželjne kapacitivnosti otpornika. U slučaju potrebe, štetne ka-

pacitivnosti mogu se kompenzovati odgovarajućom induktivnošću.

Najprimitivnija, ali i najčešća veštačka antena kod radio-amatera sastoji se od sijalica, koje se pomoću što kraćih provodnika priključuju na izlazni stepen predajnika. U ovom slučaju ne može biti govora o realnom zaključenju, jer otpornost sijalica sa metalnim vlaknom mnogo zavisi od temperature. Odnos otpornosti u hladnom stanju i otpornosti u zagrejanom stanju iznosi 1 : 10 do 1 : 15. Povoljnije su sijalice sa ugljenim vlaknom čija se otpornost menja samo u odnosu oko 1 : 2.

Radio-amateru se često pruža mogućnost da nabavi veći broj jednakih slojnih otpornika iz starih zaliha. Za izradu upotrebljive veštačke antene odgovaraju vrednosti do maksimalno oko 3 kΩ sa mogućnošću opterećenja > 0,5 W.

Budući da se apsorber uvek koristi u vezi sa koaksijalnim vodovima, njegova ukupna otpornost najčešće iznosi 60 Ω, ređe 50,70 i 75 Ω. Ako amater poseduje, npr., veći broj otpornika od 1,5 kΩ snage po 1 W, tada treba paralelno spojiti 25 otpornika da bi se dobila ukupna otpornost od 60 Ω, pri čemu je mogućnost opterećenja 25 W (1500 : 60 = 25). Ako se raspolaže otpornicima manjih omskih vrednosti (npr., 150 Ω/2 W) onda se upotrebljava serijsko-paralelna veza otpornika. Na primer, vežu se uvek po dva otpornika na red (300 Ω), a 5 takvih redova spoje sa međusobno paralelno. Na taj način dobije se ukupna otpornost od 60 Ω (300 : 5 = 60), a mogućnost opterećenja je 10 · 2 W = 20 W.



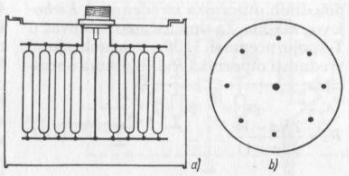
Sl. 31.37. IMETRIČAN T-spoj, b – nesimetričan T-spoj, c – simetričan π-spoj, d – nesimetričan π-spoj

Za oklapanje veštačkih antena sopstvene izrade mogu se upotrebiti kutije od lima sa poklopcem (npr., prazne limenke od boja). Cela kombinacija otpornika zajedno sa koaksijalnom utičnicom montira se na poklopac, kao što je prikazano na sl. 31.37. Spoljašnji provodnik koaksijalne utičnice zalemljen je na metalni poklopac, a unutrašnji provodnik se produži bakarnom trakom, po čijoj su površini raspoređene odgovarajuće rupe kroz koje se proguraju priključne žice otpornika i zaleme. Bakarna traka na suprotnoj strani treba da bude stabilna, jer ona predstavlja glavni mehanički oslonac celog sklopa. Ona je savijena na kraju prema poklopcu i trajno spojena kao vod za masu sa poklopcem. I na ovoj traci nalaze se rupe za žice otpornika. Otpornici su smešteni u više paralelnih kolona po celoj širini limenke, što se ne vidi na datom crtežu.

Velika prednost ovog načina konstrukcije sastoji se u tome što se mogućnost opterećenja ovakve veštačke antene može približno utrostručiti u odnosu na nominalnu vrednost, ako se kutija napuni transformatorskim uljem – u slučaju nužde i retkim motornim uljem. Pomoću ulja brže se odvodi toplota, pa se otpornici mogu više opteretiti.

Na sl. 31.38 prikazana je konstrukcija koja je malo povoljnija u električnom pogledu, jer se više približava koaksijalnoj tehnici. I u ovom slučaju koristi se limenka, a ženski koaksijalni konektor se montira u centar poklopca. Unutrašnji provodnik koaksijalnog konektora produži se tako da odgovara dužini otpornika koji će se upotrebiti, pa se taj produžetak spoji sa kružnom pločom (sl. 31.38b). Koncentrično prema priključnoj tački unutrašnjeg provodnika na metalnoj ploči izbušeni su otvori za učvršćenje otpornika. Budući da je spoljašnji provodnik koaksijalnog konektora galvanski spojen sa metalnim poklopcem, gornji krajevi otpornika mogu se zalemiti direktno na poklopac limenke. Može se napraviti i druga okrugla ploča sa većim otvorom u centru. Ona se spaja galvanski i na velikoj površini sa spoljašnjim koaksijalnim provod-

Sl. 31.38. Veštačka antena približno koaksijalne konstrukcije: a – presek, b – donja priključna ploča (ploča unutrašnjeg provodnika



nikom, kao što je nacrtano na slici. Na nju se postavljaju gornji krajevi otpornika. I ovaj apsorber može se napuniti transformatorskim uljem radi povećanja mogućnosti opterećenja.

Ako je predajnik zaključen realno pomoću veštačke antene, na osnovu merenja napona može se lako utvrditi njegova izlazna VF snaga. Pomoću VF sonde diodnog voltmetra izmeri se napon U na unutrašnjem provodniku. Budući da je otpornost opterećenja R (veštačka antena) poznata, snaga P se dobije prema jednačini:

$$P = \frac{U_{\text{eff}}}{R} \tag{31.5}$$

Pri tom se U uvrsti kao efektivni napon. Ako se meri vršni napon, U_v, onda se izmerena vrednost napona mora pomnožiti sa faktorom 0,707 da bi se dobio efektivni napon. U tom slučaju lakše je upotrebiti jednačinu:

$$p = \frac{U_v^2}{2R}, \tag{31.6}$$

kod koje se direktno uvrsti vršni VF napon. Pri tom se meri ukupna snaga, uključujući postojeće više i bočne harmonike. Određivanje udela viših i bočnih harmonika može se izvršiti pomoću selektivnog cevnog voltmetra.

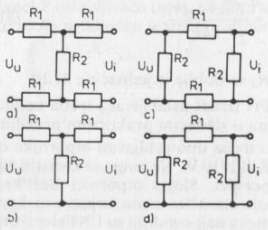
31.9. Oslabljivači (atenuatori)

Prilikom snimanja karakteristika antene, pri određivanju pojačanja antene i za upoređivanje jačine polja na tehnički besprekoran način (izveštaj o prijemu), radio-amateru su potrebni oslabljivači.

Oslabljivači kao pasivni četveropoli uključuju se u vezu između mernog objekta (npr., antene) i indikatora (npr., prijemnika). Njihovo slabljenje je izraženo u dB, a često se može regulisati kontinualno ili pomoću preklopnika. Tada se nazivaju i promenljivi oslabljivači.

Razlikuju se simetrični i nesimetrični oslabljivači, već prema tome gde će se primenjivati. Oni ne smeju uticati na karakterističnu impedancu voda ni kvariti prilagođenje. Jednostavni oslabljivači mogu se upotrebiti samo za slabljenje do najviše 20 dB (10 : 1), jer je slabljenje preslušavanja manje što je uneseno slabljenje veće. Ukoliko su potrebne veće vrednosti slabljenja, mora se priključiti više oslabljivača (jedan iza drugog), koji su dimenzionisani na odgovarajući način. U tom slučaju, zbrajaju se vrednosti slabljenja pojedinih oslabljivača.

U zavisnosti od načina povezivanja otpornika razlikuju se T–spoj (sl. 31.39a i 31.31b) i π–spoj (sl. 31.39c i 31.39d). Oni su isti po dejstvu i po utrošku sredstava, ali se ipak prednost daje π–spoju. Proračun



Sl. 31.39. Oslabljivači: a – simetričan T-spoj, b – nesimetričan T-spoj, c – simetričan π-spoj, d – nesimetričan π-spoj

pojedinih otpornika izveden je iz *Kirhofovog* zakona. Za simetričan oslabljivač u T–spoju, prema sl. 31.39a, izračunavaju se vrednosti otpornika R_1 i R_2 prema obrascima:

$$R_1 = \frac{Z\,(a-1)}{2\,(a+1)} \tag{31.7}$$

$$R_2 = \frac{2Z_a}{a^2-1}, \tag{31.8}$$

gde je: Z–ulazna i izlazna otpornost oslabljivača u omima, a – količnik ulaznog i izlaznog napona (odnos slabljenja).

Za proračun simetričnog oslabljivača u π–spoju (sl. 31.39c) važe obrasci:

$$R_1 = \frac{Z\,(a^2-1)}{4a} \tag{31.9}$$

$$R_2 = \frac{Z\,(a+1)}{a-1} \tag{31.10}$$

Kod simetričnog T-spoja (sl. 31.39b), R_1 se određuje prema obrascu:

$$R_1 = \frac{Z(a-1)}{a+1}, \tag{31.11}$$

a R_2 prema jednačini 31.8.

Za nesimetrični π-spoj (sl. 31.39d) važi odnos:

$$R_1 = \frac{Z\,(a^2-1)}{2a}, \tag{31.12}$$

R_2 se dobije iz jednačine 31.10.

Pri izradi oslabljivača treba voditi računa o sledećim praktičnim pravilima:

– treba upotrebljavati otpornike od $\frac{1}{4}$, 1/8 ili 1/10 W. Ne mogu se koristiti žičani otpornici. Slojni otpornici bez kapice imaju naročito malu sopstvenu kapacitivnost; najpogodniji su UKT slojni otpornici;

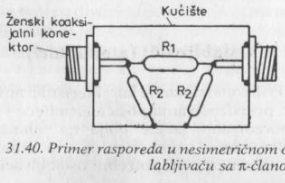
– ni jednu spojnu žicu ne treba uvrnuti. Po mogućnosti spajati same otpornike međusobno. Svaki centimetar žice unosi štetne induktivnosti i kapacitivnosti u šemu. Zbog toga, i dovode do oslabljivača treba što više skratiti;

– izrada treba da bude sa malim kapacitivnostima, tj. otpornici ne smeju uticati jedan na drugi ili taj uticaj može biti vrlo mali. Zbog toga, otpornike treba postaviti, po mogućnosti, pod pravim uglom jedan u odnosu na drugi.

Za baždarenje i upoređivanje u antenskoj tehnici treba koristiti samo nesimetrične oslabljivače povezane preko koaksijalnih vodova, jer se oklapanjem unutrašnjeg provodnika, koje je uslovljeno konstrukcijom, postiže relativno veliko slabljenje preslušavanja. I sam oslabljivač mora biti oklopljen.

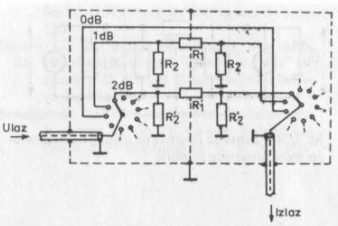
Kada se proračunaju vrednosti otpornosti, skoro uvek se dobiju rezultati koji ne odgovaraju vrednostima otpornika koji se mogu kupiti, pa se zato pomoću otpornog mernog mosta iz veće količine otpornika pronađu odgovarajuće vrednosti. Amater *DM2AKD* preporučuje sledeći postupak izrade »nezgodnih« vrednosti otpornika: otpornik bez spiralnog ureza na otpornom sloju čija je vrednost nešto niža od željene, obradi se tako što se po njemu struže u aksijalnom smeru, na jednom mestu. Pri tom se na mernom mostu posmatra povećanje otpornosti. Kada se dođe u blizinu željene vrednosti, fino podešavanje se vrši pomoću četkice od staklene vune dok se ne dobije tražena vrednost. Zatim se strugano mesto prevuče zaštitnim lakom. Kod otpornika sa spiralnim urezom na otpornom sloju ne preporučuje se aksijalna obrada; u tom slučaju je pogodnije da se produži postojeći spiralni usek.

Primer izrade oklopljenog nesimetričnog oslabljivača sa π–članom (sl. 31.39d)



Sl. 31.40. Primer rasporeda u nesimetričnom oslabljivaču sa π-članom

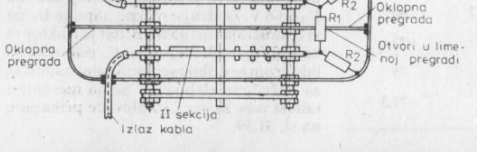
prikazan je na sl. 31.40. Preporučuje se da se izradi više oslabljivača sa različitim slabljenjima; tada se odgovarajućim vezivanjem jednog oslabljivača iza drugog može ostvariti bilo koja vrednost slabljenja, a dobije se i veoma dobro slabljenje preslušavanja. Veoma su praktični oslabljivači sa mogućnošću preklapanja. Takav oslabljivač prikazan je na sl. 31.41; njegova šema je data na sl. 31.42. Obrtni preklopnik (kružni preklopnik) sa dve keramičke sekcije i sa 8 do 12 položaja pripremi se tako da se obe sekcije razdvoje limenom pločom i na taj način zaštite (oklopom) jedna od druge. Ostali oklopni limovi postave se tako da se svaka sekcija preklopnika nalazi u odvojenom oklopljenom odeljku. Pregradni zid između obe sekcije izbuši se u blizini svake kontaktne opruge radi provlačenja otpornika R_1. Oba otpornika R_2 postave se u odgovarajuće odeljke i najkraćim putem spoje sa masom. Dovodni i odvodni koaksijalni kablovi postave se do kontakata u sekciji I, odnosno sekciji II. Spoljašnji provodnici kabla spoje se na velikoj površini sa oklopom u blizini kontaktne ušice. U tabeli 31.4 date su vrednosti za R_1 i R_2 izračunate pomoću jednačina 31.12 i 31.10, a za najčešće potrebnu karakterističnu impedancu od 60 Ω. Ove vrednosti odgovaraju slabljenjima od 1 do 20 dB. Podaci se odnose isključivo na nesimetričan π–spoj (sl. 31.39d) i važe i za nepromenljive i za promenljive oslabljivače.



Sl. 31.42. Šema promenljivog oslabljivača prema sl. 31.41 (ucrtani su samo položaji preklopnika 0 dB, 1 dB i 2 dB)

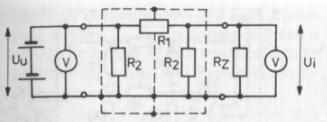
Veoma su pogodni promenljivi oslabljivači čije se slabljenje može kontinualno regulisati. Na primer, različiti proizvođači nude regulatore slabljenja sa karakterističnom impedancom od 60 Ω i sa mogućnošću regulisanja unutar 60 dB, pri čemu osnovno slabljenje iznosi 10 dB. Međutim, maksimalno slabljenje ovakvih oslabljivača obično se ne može iskoristiti u VF području, jer se ne mogu izbeći neželjene induktivne sprege između ulaza i izlaza, što onemogućava postizanje dovoljno velikih vrednosti slabljenja preslušavanja. Kontinualno promenljivi oslabljivači moraju se baždariti na predviđenim radnim frekvencijama, jer su zavisni od frekvencije.

Vrednosti slabljenja nepromenljivih i promenljivih oslabljivača mogu se proveriti pomoću jednostavne šeme prikazane na sl. 31.43. Iz izvora jednosmernog napona dovodi se ulazni napon U_u (npr., 6,0 V), koji se kontroliše voltmetrom. Izlaz oslabljivača zaključen je otpornikom R_z, koji mora odgovarati karakterističnoj impedanci Z oslabljivača (npr., 60 Ω). Paralelno sa R_Z priključen je drugi voltmetar



Sl. 31.41. Konstrukcija promenljivih oslabljivača

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs



Sl. 31.43. Šema za ispitivanje oslabljivača pomoću jednosmernog napona

Tabela 31.4

VREDNOSTI R_1 I R_2 NESIMETRIČNIH OSLABLJIVAČA U π-SPOJU PREMA sl. 31.39d ZA KARAKTERISTIČNU IMPEDANCU OD 60 Ω

Odnos dB	U_u/U_i a	R_1 Ω	R_2 Ω
1	1,122	6,9	1043
2	1,259	13,9	523
3	1,413	22	350
4	1,585	28,6	265
5	1,778	36,5	215
6	1,995	44,8	181
7	2,24	50	155
8	2,51	63,4	140
9	2,82	70	120
10	3,16	85	115
11	3,55	98	107
12	3,98	111,8	100,3
13	4,47	127,4	96,6
14	5,01	144	90
15	5,62	163,3	86
16	6,31	184,6	82,6
17	7,08	205,7	80
18	7,95	236	77
19	8,91	267	75
20	10,00	297	73,3

Tabela 31.5

NOMINALNE VREDNOSTI ZA U_i PRI MERNOM NAPONU U_u OD 6,0 V U ZAVISNOSTI OD SLABLJENJA U dB (ŠEMA MERENJA PREMA sl. 31.43)

Slabljenje dB	Ulazni napon U_u(V)	Izlazni napon U_i(V)	Faktor m
0	6,0	6,0	1
1	6,0	5,35	0,891
2	6,0	4,77	0,795
3	6,0	4,25	0,708
4	6,0	3,79	0,631
5	6,0	3,37	0,562
6	6,0	3,01	0,501
7	6,0	2,68	0,447
8	6,0	2,39	0,398
9	6,0	2,13	0,355
10	6,0	1,90	0,316
11	6,0	1,69	0,282
12	6,0	1,51	0,251
13	6,0	1,34	0,224
14	6,0	1,20	0,200
15	6,0	1,07	0,178
16	6,0	0,95	0,158
17	6,0	0,85	0,141
18	6,0	0,76	0,126
19	6,0	0,67	0,112
20	6,0	0,60	0,100

na kome se čita smanjeni napon U_i. Iz količnika U_u/U_i može se dobiti slabljenje u dB.

U tabeli 31.5 prikazana je zavisnost izlaznog napona U_i od slabljenja u dB za nepromenljivu vrednost ulaznog napona U_u od 6 V. Za druge merne napone U_u, uz vrednosti slabljenja u dB, dat je i faktor m koji im pripada. Kada se U_u pomnoži sa faktorom m dobije se nominalni napon U_i za određeno slabljenje. Šema merenja i tabela važe za sve oslabljivače prikazane na sl. 31.39.

[1] *Waxweiler, R.:* Ein Dip– und Absorptionsfrequenzmeter, cq–DL, Baunatal 46 (1975), sveska 8, str. 466 do 467

A. R. R. L.: The Radio Amateur's Handbook, 39. izdanje, strane 523 do 526, West Harrtford, Conn. 1962

Becker, J.: FET–Dipmeter, Funk–Technik, Berlin 26 (1971), sveska 14, strana 519 do 520

Damm, G.: Ein Reflektometer für 144 MHz, »Funkamateur« 13 (1964), sveska 10, strana 328 do 329, Deutscher Militaerverlag, Berlin

Sondgeroth, C.: The Gate Dipper, »CQ«, sveska 3, strana 30 do 31, Cowan Publishing Corp., Port Washington, N. Y. 24, 1968

32. Merenja na antenama u amaterskoj praksi

U komercijalnom sektoru merenja na antenama se vrše veoma tačno i izdvajaju se znatna sredstva za kvalitetne merne uređaje. I radio-amater ne sme odustati od proveravanja svoje antene pomoću jednostavnih mernih uređaja koji mu stoje na raspolaganju; ovaj relativno mali posao uvek se isplati. Naravno, merni instrumenti sopstvene izrade ograničeni su u pogledu područja primene i tačnosti merenja. U radio-amaterstvu nije važno da se dobiju apsolutne vrednosti tehničkih parametara; dovoljno je ako se merenjem dobiju relativne vrednosti iz kojih se može sagledati stanje podešenosti i tendencija podešavanja antenskog postrojenja.

Danas se skoro sve savremene prilagođene antene napajaju pomoću koaksijalnog kabla, što je uzeto u obzir prilikom opisivanja uređaja za merenje prilagođenja (poglavlje 31). Ako se još koriste simetrični napojni vodovi, onda se oni veoma jednostavno mogu prilagoditi pomoću polutalasne petlje ili namotanog dvožičnog voda (tačka 7.7.1), pa opisani merni uređaji mogu da se primenjuju univerzalno (vidi odeljke 7.5 do 7.7).

Kod antena koje se napajaju podešenim napojnim vodovima nisu potrebna posebna merenja; ako se pravilno primene uređaji za podešavanje na strani predajnika (antenska sprega, *Kolinsov* filtar – vidi poglavlje 8.2), rezonanca i prilagođenje uspostavljaju se automatski.

Indikator stojećih talasa (reflektometar) neophodan je radi uspostavljanja optimalnih uslova rada kod prilagođenih antena. Ako reflektometar pokaže da na vodu nema stojećih talasa, onda su nepotrebna sva ostala merenja, jer ovo stanje prilagođenja znači da je antena u rezonanci i da je otpornost zračenja antene jednaka karakterističnoj impedanci napojnog voda – odnosno da su uspostavljeni optimalni uslovi rada. Sve ostale šeme koje su opisane u poglavlju 31, u osnovi, predstavljaju dopunske uređaje pomoću kojih se može podesiti minimalna talasnost ili koje omogućavaju utvrđivanje ostalih karakteristika antene, kao što je širina opsega i karakteristika zračenja.

32.1. Merenja stojećih talasa reflektometrom

Prednost reflektometara opisanih u tački 31.2.2 je u tome što i na visokim frekvencijama (npr., u opsegu od 2 m) omogućavaju još upotrebljivu indikaciju stojećih talasa i što se kao eksploatacioni merni uređaji mogu stalno ostaviti u napojnom vodu. U tački 31.2.1 detaljno su opisane merne greške koje se mogu javiti pri upotrebi reflektometara.

Prvo podešavanje antene pomoću reflektometra malo je komplikovanije nego, npr., pomoću *antenaskopa*; reflektometar pokazuje samo stepen neprilagođenja. On ne daje podatak o tome da li su stojeći talasi izazvani lošim prilagođenjem otpornosti priključne tačke antene na karakterističnu impedancu napojnog kabla ili ih je izazvala antena koja nije u rezonanci (induktivna ili kapacitivna reaktanca tačke napajanja). U tom slučaju, radna frekvencija se pomera prema višim i prema nižim frekvencijama i pri tom se posmatra reflektometar. Ako se prilikom podešavanja u jednom od ova dva smera talasnost smanjila, može se računati da je rezonanca antene razdešena i da su se zbog toga javile reaktivne komponente u tački napajanja. Kada je antenski provodnik prekratak, može se postići poboljšanje koeficijenta stojećih talasa, ako se frekvencija predaje pomeri prema višim frekvencijama i obratno. Ako se, naprotiv, ne utvrdi smanjenje talasnosti ni u jednom smeru podešavanja frekvencije, može se pretpostaviti da je impedanca tačke napajanja antene realna, ali da njena vrednost ne odgovara karakterističnoj impedanci napojnog kabla. Na osnovu indikacije talasnosti može se odrediti odstupanje vrednosti otpornosti, ali ne i njegov smer. Ako je, npr., na napojnom vodu od 60 Ω utvrđen faktor talasnosti $s = 2$, onda otpornost tačke napajanja antene može biti ili 30 Ω (1 : 2) ili 120 Ω (2 : 1).

Kada se antena podešava pomoću reflektometra, voditi računa o tome da se prvo moraju kompenzirati reaktance koje postoje u tački napajanja, pa se tek tada može izvršiti tačno prilagođenje otpornosti. Ponekad, podešavanje treba ponoviti još jedanput, jer promene na elementima za prilagođenje prouzrokuju novo razdešavanje rezonance antene.

32.2. VF mostovi u praktičnom merenju na antenama

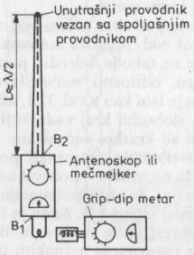
Mosne šeme kao kod *antenaskopa* (tačka 31.5.1) ili *mečmejkera* (tačka 31.5.2) mogu se svestranije primenjivati od reflektometara. Međutim, problematična je njihova izrada i njihovo baždarenje u VVF području.

VF merni mostovi ne mogu se koristiti bez VF generatora promenljive frekvencije čija VF snaga treba da bude oko 0,5 W. Radio-predajnik može poslužiti kao VF generator u mostu ako se njegova izlazna snaga može ograničiti na oko 2 W. Višak snage može se apsorbovati opteretnim otpornikom ili odgovarajućim sijalicama (vidi odeljak 31.8). Kao generator za napajanje, radio-amateri najčešće upotrebljavaju grid-dip metar (vidi odeljak 31.1). Tranzistorski dip metri ne mogu se koristiti zbog toga što daju premalu snagu. Nedostatak grid-dip metara je nestabilnost i nemogućnost dovoljno tačnog očitavanja njihove radne frekvencije. Te mane nisu značajne kod grubih merenja, a sa malo strpljenja (i uz istovremeno praćenje i očitavanje frekvencije grid-dip metra na amaterskom prijemniku) mogu se izvršiti i fina merenja.

32.2.1. Određivanje rezonantne dužine i faktora skraćenja proizvoljnih VF vodova

Tačna geometrijska dužina polutalasnog voda, u zavisnosti od njegovog faktora skraćenja, može se odrediti pomoću *antenaskopa*, odnosno *mečmejkera* na sledeći način: uzeti ne previše kratak komad voda koji treba izmeriti, pa obesiti i kratko spojiti na jednom kraju. Otvoreni kraj voda spojiti (kao na sl. 32.1) sa ispitnim konektorom B_2 *antenaskopa*. Ulazni konektor B_1 *antenaskopa* zaključiti sa zavojnicom (orijentaciona vrednost oko 3 zavojka) sa kojom se spregne zavojnica grid-dip metra. Obrtni otpornik *antenaskopa* nalazi se na nuli (kratak spoj). Promenom stepena sprege grid-dip metra kazaljku instrumenta u mostu postaviti približno na puni otklon; zatim frekvenciju grid-dip metra pažljivo menjati od nižih prema višim vrednostima, dok se ne dobije prva nula na mostu. Za tu mernu frekvenciju električna dužina voda iznosi tačno $\lambda/2$.

Jednostavnim proračunom dobije se faktor skraćenja voda pomoću koga se može odrediti mehanička dužina voda za svaku drugu frekvenciju.



Sl. 32.1. Blok-šema za određivanje faktora skraćenja VF vodova

Primer

Kod komada koaksijalnog kabla dužine 3,30 m, merni most pokaže nulu na frekvenciji od 30 MHz. Tome odgovara talasna dužina od 10 m; $\lambda/2 = 5{,}00$ m. Prema tome faktor skraćenja V iznosi:

$$V = \frac{\text{mehanička dužina}}{\text{električna dužina}} = \frac{3{,}30\ \text{m}}{5{,}00\ \text{m}} = 0{,}66$$

Budući da ravnoteža mosta ne nastupa samo pri $\lambda/2$ nego i na svim umnošcima $\lambda/2$ radi kontrole može se pronaći i druga nula na mostu. Ona bi morala nastati na 60 MHz, pa bi električna dužina kabla za ovu frekvenciju iznosila tačno 1 λ.

Da bi se na mostu stvarno pronašla nula koja je na najnižoj frekvenciji, može se prethodno približno izračunati frekventno područje u kome se mora pojaviti polutalasna rezonanca. Za ovakvo određivanje dužine dovoljno je da se zna da je faktor skraćenja V koaksijalnog kabla oko 0,66, trakastog voda oko 0,82 i otvorenog dvožičnog voda (vazduh kao dielektrik) približno 0,95.

Pravilno dimenzionisanje polutalasnog voda kontroliše se pomoću *antenaskopa*. Most se napaja frekvencijom za koju je namenjen polutalasni vod. Slobodni kraj voda zaključi se bilo kakvim neinduktivnim otpornikom poznate omske vrednosti. Otpornik, ipak, mora biti unutar mernog područja mosta. Kada se postigne ravnoteža mosta, vrednost na koju je postavljen obrtni otpornik, mora biti jednaka vrednosti zaključnog otpornika na kraju voda.

Često je potreban tačno podešeni četvrttalasni vod. Njegova mehanička dužina može se, takođe, odrediti pomoću *antenaskopa*, odnosno *mečmejkera*. Šema merenja je ista kao na sl. 32.1, ali u ovom slučaju, slobodni kraj voda koji se meri ne spoji se kratko, već ostane otvoren. Pomoću obrtnog otpornika ponovo se traži nula na mostu – počevši od najniže frekvencije. Za tu frekvenciju dužina voda iznosi tačno $\lambda/4$. Kada je ispitivani vod otvoren, nula na mostu dobija se uvek na razmacima jednakim umnošku neparnog broja i četvrttalasne dužine ($3/4\ \lambda$, $5/4\ \lambda$, $7/4\ \lambda$ itd.).

Pomoću četvrttalasnog voda, *antenaskopom* se može odrediti i karakteristična impedanca tog voda. Radi toga se otvoreni kraj četvrttalasnog voda zaključi neinduktivnim otpornikom poznate vrednosti (npr., 100 Ω), pa se promenljivim obrtnim otpornikom traži nula na mostu. Očitana vrednost otpornosti odgovara ulaznoj otpornosti Z_u četvrttalasnog voda, a njegovu izlaznu otpornost Z_i predstavlja završni otpornik. Prema jednačini (5.31) karakteristična impedanca Z četvrttalasnog voda može se izračunati iz $Z = \sqrt{Z_u \cdot Z_i}$

Primer

Četvrttalasni vod zaključen je otpornikom Z_i od 100 Ω. Na promenljivom obrtnom otporniku mernog mosta, u slučaju ravnoteže, očitana je otpornost od 36 Ω.

Ako se ove vrednosti uvrste u jednačinu (5.31), dobije se

$$Z = \sqrt{36\ \Omega \cdot 100\ \Omega} = 60\ \Omega$$

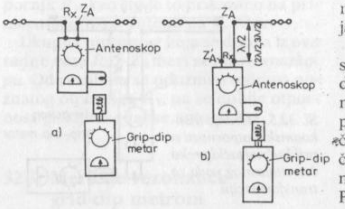
Prema tome, karakteristična impedanca Z četvrttalasnog voda iznosi 60 Ω. Budući da je karakteristična impedanca VF vodova nezavisna od frekvencije, dobijena vrednost odgovara upotrebljenom tipu voda.

Na taj način mogu se izvršiti baždarenja, npr., četvrttalasnog promenljivog transformatora (sl. 6.9) ili provere polutalasnih petlji i ostalih elemenata za transformaciju.

32.2.2. Određivanje ulazne otpornosti antene

Utičnice R_x *antenaskopa* (odnosno *mečmejkera)* priključe se direktno na tačke napajanja antene Z_A (sl. 32.2a). Ako je rezonantna frekvencija antene jednaka frekvenciji kojom se napaja most (frekvenciji grid-dip metra, pronaći će se jednoznačna nula mosta. Vrednost promenljivog otpornika *antenaskopa*, koja se očita kada je most uravnotežen, odgovara otpornosti priključne tačke antene.

Ako se ne može podesiti izražena nula na mostu, onda to najčešće znači da se u tački napajanja antene nalaze reaktivne komponente odnosno da antena nije u



Sl. 32.2. Blok-šema merenja za određivanje otpornosti priključne tačke antene Z_A: a – direktno merenje, b – merenje preko polutalasnog produžnog voda

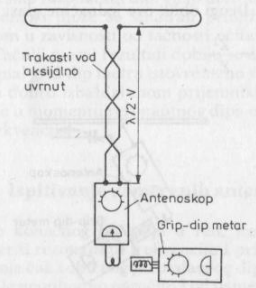
rezonanci sa frekvencijom napajanja. Tada se frekvencija napajanja mosta menja sve dotle dok se ne pronađe izrazita nula na mernom mostu. Frekvencija koja je tada podešena na generatoru mosta odgovara stvarnoj rezonantnoj frekvenciji antene. Ako se ona nalzi izvan željenog amaterskog opsega, mora se izvršiti korekcija rezonance odgovarajućom promenom dužine antene, pri čemu se kontrola vrši na mostu koji se napaja zahtevanom frekvencijom.

Često nije moguće ili je nezgodno meriti direktno na anteni. U takvim slučajevima koristi se saznanje da vod čija je električna dužina tačno $\lambda/2$ ili njen celobrojni umnožak transformiše svaku otpornost sa ulaznih stezaljki na izlazne stezaljke u odnosu 1 : 1. Pri tome, karakteristična impedanca voda nema naročit značaj (podešen vod). Između antene i mernog uređaja može se, dakle, priključiti vod od $\lambda/2$ ($2 \cdot \lambda/2$, $3 \cdot \lambda/2$, $4 \cdot \lambda/2$ itd.) proizvoljne karakteristične impedance, kao što je prikazano na sl. 32.2b. Na drugom kraju ovog voda dobije se isti rezultat merenja kao na priključnoj tački antene. Tačnu mehaničku dužinu polutalasnog produžnog voda za datu frekvenciju treba izmeriti ranije, pomoću *antenaskopa*, kao što je opisano u tački 32.2.1.

Merenje pomoću produžnog voda preporučuje se i kada su priključne tačke antene lako pristupačne, a naročito kod visokih frekvencija. Ako se radi direktno na priključnoj tački antene i ako se merni uređaj ili lice koje meri primaknu blizu, može se promeniti rezonantna frekvencija antene.

Generator mosta mora se induktivno spregnuti sa *antenaskopom*. Ako se utvrdi da se očitanje impedance menja sa stepenom sprege, onda istovremeno postoji prevelika kapacitivna sprega. U tom slučaju može pomoći labavija sprega, pri čemu se položaj grid-dip zavojnice malo menja u odnosu na zavojnicu za spregu. Ponekad se mora ubaciti međutransformator sa elektrostatičkim oklopom između namotaja za spregu. Sprega između generatora mosta i mosta treba da bude jaka samo toliko da se kod otvorenih priključnica R_x *antenaskopa* dobije pun otklon na instrumentu mosta. To istovremeno znači da sprega može biti utoliko labavija, ukoliko je indikacioni instrument osetljiviji. Osim toga, labava sprega daje najmanje odstupanje frekvencije grid-dip oscilatora.

Budući da su *antenaskop* i *mečmejker* po konstrukciji nesimetrični uređaji, najbolji merni rezultati dobiju se ako su i otpornosti koje se mere nesimetrične prema zemlji. Zbog toga se simetrične tačke napajanja antene sa većom impedancom mogu meriti pomoću polutalasne petlje (sl. 7.6) koja se priključi između antene i instrumenta. Kako ovaj transformator za simetriranje istovremeno transformiše u odnosu 4 : 1, vrednost impedance koja se očita na *antenaskopu* mora se pomnožiti sa faktorom 4 da bi se dobila stvarna ot-



Sl. 32.3. Poboljšanje šema merenja simetričnih antena sa aksijalno uvrnutim trakastim vodom

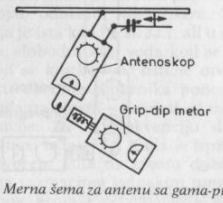
pornost u priključnoj tački (bez petlje). Ako se ne vrši pretvaranje simetrije, mora se meriti (prema sl. 32.3) preko polutalasnog produžnog trakastog voda, koji se aksijalno uvrne više puta, kao što je naznačeno na šemi. Ovo aksijalno uvrtanje malo ublažava razliku u simetriji.

Ako se u napojnoj tački antene nalaze elementi za prilagođenje i transformaciju (npr., T–prilagođenje, gama–prilagođenje ili omega–prilagođenje), onda antenaskop meri otpornost u napojnoj tački koja je transformisana ovim elementima. Na sl. 32.4 prikazana je šema merenja za napajani element antene sa gama–prilagođenjem. Na taj veoma jednostavan način, putem stalne kontrole sa *antenaskopom* može se izvršiti pravilno podešavanje gama–člana na nominalnu vrednost impedance. To isto važi i za sve ostale elemente prilagođenja.

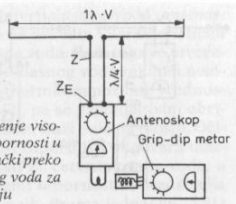
Ako treba meriti velike otpornosti u priključnoj tački antene, npr., impedancu tačke napajanja jednotalasnog dipola, onda merno područje *antenaskopa* nije dovoljno. Međutim, merenje se, ipak, može izvršiti na sledeći način: u priključnu tačku antene postavi se četvrttalasni vod poznate karakteristične impedance i na njegov slobodni kraj priključi se *antenaskop*, kao na sl. 32.5.

Zatim se merenjem utvrdi ulazna otpornost Z_u četvrttalasnog voda. Budući da je poznata karakteristična impedanca Z ovog voda, iz jednačine (5.31) može se izračunati impedanca priključne tačke Z_A. Drugi oblik ove jednačine glasi:

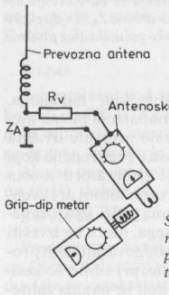
$$Z_A = \frac{Z^2}{Z_u} \qquad (32.1)$$



Sl. 32.4. Merna šema za antenu sa gama-prilagođenjem



Sl. 32.5. Merenje visokoomskih otpornosti u priključnoj tački preko četvrttalasnog voda za transformaciju



Sl. 32.6. Blok-šema merenja za veoma male otpornosti u priključnoj tački

Primer

Četvrttalasni vod koji je prethodno izmeren *antenaskopom*, sastoji se od UKT trakastog voda čija je karakteristična impedanca $Z = 240\ \Omega$. *Antenaskopom* je izmereno da ulazna impedanca Z_u ovoga voda ima vrednost od 30 Ω. Ako se to uvrsti u jednačinu (32.1) dobije se impedanca u priključnoj tački antene:

$$Z_A = \frac{(240\ \Omega)^2}{30\ \Omega} = 1920\ \Omega$$

I ekstremno male otpornosti u priključnoj tački (< 10 Ω), koje su, npr., uobičajene kod prevoznih antena, mogu se meriti pomoću *antenaskopa*. I u ovom slučaju, između antene i instrumenta mogao bi se priključiti četvrttalasni vod za transformaciju (sl. 32.5), pri čemu bi ubačeni četvrttalasni komad koaksijalnog kabla od 60 Ω sprečavao da se prekorači merni opseg *antenaskopa* prema višim vrednostima. Mnogo je jednostavnije da se između tačke napajanja antene i *antenaskopa* uključi poznati neinduktivni otpornik R_V, kao što je to prikazano na primeru prevozne antene na sl. 32.6.

Ukupna otpornost koja se dobija iz ove redne veze $R_V + Z_A$ meri se na *antenaskopu*. Od rezultata se oduzme vrednost poznatog otpornika R_V, pa se dobije otpornost priključne tačke antene Z_A.

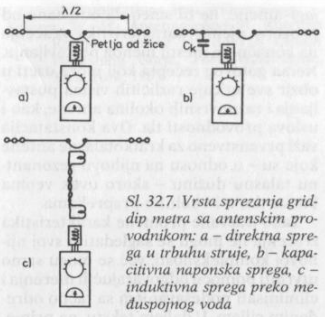
32.3. Merenje rezonance grid-dip metrom

Tehnički besprekorna metoda određivanja rezonantne frekvencije antene, koja istovremeno omogućava i procenu širine njenog opsega, opisana je u prethodnom poglavlju. Za brzo, ali manje egzaktno merenje rezonance potreban je samo grid-dip metar. On je neophodan kada se npr., kod kratkotalasne *jagi*–antene određuju sopstvene rezonance reflektora i direktora.

Nasuprot oscilatornom kolu sa koncentrisanim sastavnim delovima (rezonantno kolo od zavojnica i kondenzatora), pri merenju rezonance antene i kod harmonika osnovnog talasa grid-dip metar pokazuje opadanje struje rešetke (dip struje rešetke). Antene sa velikom širinom opsega ne mogu se meriti pomoću grid-dip metra, jer se kod njih više ne može uočiti jasno izražen rezonantni dip. Najčešće se iz praktičnih razloga odustaje od merenja rezonance širokopojasnih antena. Ukoliko su ta merenja ipak neophodna, može se primeniti metoda sa *antenaskopom*, koja omogućava i merenja kod širokopojasnih antena.

Radi merenja rezonance antene, od antenskog provodnika mora se odvojiti njegov napojni vod. Priključne tačke napajanja antene premoste se kratkom žičanom petljom, kao na sl. 32.7a. Zavojnica grid-dip metra spregne se sa tom petljom od žice u trbuhu struje antenskog provodnika. Maksimum struje se uvek nalazi udaljen od kraja podešene antene za $\frac{1}{4}$ talasne dužine, što znači da je on kod polutalasnog dipola u sredini antene.

Ako se, izuzetno, rezonanca mora meriti u blizini maksimuma napona, onda se grid-dip metar, preko malog kondenzatora za spregu C_K, spaja direktno sa antenskim provodnikom. Pri tome se mora uzeti u obzir da kapacitivnost za spregu može uticati na razdešavanje antene; ovaj uticaj je utoliko manji, ukoliko se odabere manji C_K (vidi sl. 32.7b).



Sl. 32.7. Vrsta sprezanja grid-dip metra sa antenskim provodnikom: a – direktna sprega u trbuhu struje, b – kapacitivna naponska sprega, c – induktivna sprega preko međuspojnog voda

Ako se želi smanjiti uticaj blizine lica koje meri na razdešavanje antene, onda se grid-dip metar spreže sa antenskim provodnikom preko međuspojnog voda, kao na sl. 32.7c. Međuspojni vod se sastoji od komada UKT trakastog voda ili od uvrnutog dvožičnog voda na čijim se krajevima nalazi mali namotaj za spregu (oko 3 zavojka).

Prvo se uspostavi veoma čvrsta sprega i približno odredi frekvencija. Zatim se sprega olabavi tek toliko da se još uvek javlja slab rezonantni dip. Tako utvrđena frekvencija može se smatrati približno tačnom u zavisnosti od tačnosti očitavanja. Tačniji merni rezultati dobiju se ako se signal grid-dip metra istovremeno sluša na dobro izbaždarenom prijemniku i ako se u momentu rezonantnog dipa očita frekvencija.

32.4. Ispitivanje usmerenih antena

Pre konačnog puštanja u rad, treba proveriti rezonantnu frekvenciju i prilagođenje čak i običnog polutalasnog dipola; to je neophodno naročito kod usmerenih antena. Na primer, ako neko uloži sredstva za izgradnju kratkotalasne

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

jagi–antene, ne bi smeo da odustane od provere njenih karakteristika zračenja na konačnom mestu njenog postavljanja. Nema gotovog recepta koji može uzeti u obzir sve uticaje različitih visina postavljanja i raznovrsnih okolina antene, kao i uslova provodnosti tla. Ova konstatacija važi prvenstveno za kratkotalasne antene koje su – u odnosu na njihovu rezonantnu talasnu dužinu – skoro uvek veoma bliske tlu, a i okolnim preprekama.

Tako izazvane promene karakteristika zračenja ne mogu se sagledati u svoj njihovoj kompleksnosti, već se mogu samo utvrditi pomoću odgovarajućih merenja i eliminisati podešavanjem sa tačno određenim ciljem. U daljem tekstu, na primeru kratkotalasne *jagi*–antene biće opisano kako se može izvesti podešavanje u toku rada primenjujući merne uređaje navedene u poglavlju 31. Ova izlaganja važe i za ostale vrste antena.

Prvo se odvoji napojni vod od antene, pa se tačke napajanja kratko spoje pomoću male zavojnice za spregu (vidi sl. 32.7a) i rezonantne frekvencije izmere pomoću grid-dip metra. U napojnoj tački *jagi*–antene sa tri elementa javljaju se tri rezonantna dipa: jedan izrazito dubok i relativno oštro ograničen dip, koji pokazuje rezonantnu frekvenciju aktivnog elementa, jedan slab dip – niži po frekvenciji – koji odgovara sopstvenoj rezonanci reflektora i jedan, takođe, mali dip na višim frekvencijama za sopstvenu rezonancu direktora. Pri tom se rezonanca aktivnog elementa, mora nalaziti približno u sredini amaterskog opsega, rezonanca reflektora ispod donje granice opsega i rezonanca direktora iznad gornje granice opsega. Ako to nije tako, produžava se reflektor, odnosno skraćuje direktor. Kod usmerenih antena koje se nalaze na maloj visini iznad tla, izmerena rezonantna frekvencija je niža od proračunate. U takvim slučajevima, ukoliko se ne može povećati visina postavljanja, svi elementi se moraju malo skratiti sa obe strane, dok se ne postigne željena rezonantna frekvencija.

Posle ovog prvog grubog ispitivanja, sa tačaka napajanja skine se petlja za spregu sa grid-dip metrom, pa se na njih priključe merni instrumenti kao na sl. 32.2b. Polutalasni produžni vod napravljen je od istog kabla kao i vod koji će se kasnije koristiti za napajanje sistema; dužina voda može biti i umnožak celog broja i $\lambda/2$. Da bi se to utvrdilo, prethodno ga treba izmeriti postupkom opisanim u tački 31.2.1. Promenljivi otpornik *antenaskopa* postavi se na vrednost karakteristične impedance napojnog voda. Zatim se frekvencija grid-dip metra menja tako dugo dok se ne pojavi nula na mostu. Frekvencija koja se tada očita na grid-dip metru i koju treba kontrolisati pomoću baždarenog prijemnika, predstavlja stvarnu rezonantnu frekvenciju antene.

Ako se može pronaći samo jedan minimum mosta i to sa zaostalim otklonom, onda se mora podesiti promenljivi obrtni otpornik *antenaskopa* tako da se pojavi jednoznačna nula mosta. Tada je određena rezonantna frekvencija antene, a istovremeno i njena impedanca u tački napajanja (očitana vrednost na obrtnom otporniku).

Ako izmerena otpornost priključne tačke odstupa samo malo od karakteristične impedance napojnog voda i ako nema elemenata za transformaciju, mogu se izvršiti male korekcije promenom dužine direktora. Ako je impedanca tačke napajanja premala, direktor se malo skraćuje na obe strane. Pri produžavanju direktora kod prevelike otpornosti u priključnoj tački treba biti oprezan, jer vlastita rezonanca direktora ne sme da bude unutar amaterskog opsega.

Ako je aktivni element prilagođen sa T–članom, gama–prilagođenjem ili omega–prilagođenjem nema nikakvih poteškoća pri podešavanju potrebne impedance u tački napajanja. Kod gama–prilagođenja se menjanjem izvoda na aktivnom elementu podesi željena priključna otpornost, a pomoću obrtnog kondenzatora istovremeno se kompenzira induktivna reaktanca, tj. pomoću ovog kondenzatora može se uticati na rezonantnu frekvenciju aktivnog elementa. Naizmeničnim podešavanjem izvoda i kondenzatora, uz kontrolisanje *antenaskopom*, konačno se postigne željeno prilagođenje u vezi sa rezonancom na radnoj frekvenciji. Time je završeno podešavanje antene.

LITERATURA UZ POGLAVLJE 32

Orr, W. I.: Antenna Evaluation, beam antenna handbook, 2. izdanje, poglavlje 13, Radio Publications, Inc., Wilton, Conn.

Scherer, W. M.: Antennascope–54. Antenna Roundup, strana 119 do 128, Cowan Publishing Corp., Port Washington, New York, 1963

33. Propisi za izgradnju antena

Ako se koriste nepravilno postavljena antenska postrojenja, ona mogu ugroziti opštu sigurnost i prouzrokovati ekonomske i zdravstvene štete. Zbog toga je zakonodavac doneo obavezne propise o izgradnji, radu i održavanju antenskih postrojenja, koji u opštem interesu, obezbeđuju minimalnu sigurnost. U daljem tekstu biće objašnjeni, a delom i navedeni, najvažniji od postojećih propisa, odredbi i preporuka.

33.1. Nemački građevinski propis

Nemački građevinski propis (Deutsche Bauordnung = DBO) od 2. 10. 1958. (objavljen u Službenom listu NDR, posebno izdanje, br. 287) propisuje koje se antene moraju prijaviti, odnosno za koje treba podneti zahtev.

U paragrafu 21. DBO zahteva da svako ko želi nešto izgraditi ili izmeniti mora podneti zahtev za izgradnju ili prijavu izgradnje. Obaveza naručioca gradnje je da obezbedi zahtev ili prijavu gradnje.

Amater treba da zna da su stubovi od metala, armiranog betona ili drveta građevinska postrojenja u smislu DBO.

Prema paragrafu 22 DBO, mora se tražiti dozvola za izgradnju predajnih uređaja, dalekovoda i stubova, kao i temelja i potpornih konstrukcija za pogonska postrojenja. Na primer, ta dozvola se mora tražiti kada se želi izgraditi drveni rešetkasti stub kao nosač antene.

Na osnovu paragrafa 24, državni građevinski organ može odustati od propisane obaveze o građevinskom zahtevu iz paragrafa 22, ili može smatrati da je dovoljna prijava gradnje, ako je procedura dobijanja građevinske dozvole u nesrazmeri sa veličinom i značajem građevinskog poduhvata.

Prema paragrafu 23 DBO, građevinska prijava je potrebna kada postavljenje velike antene i antenska postrojenja premašuju vrh krova za više od 5 m.

Prema paragrafu 24 DBO, državna građevinska nadzorna služba, umesto propisane građevinske prijave, mora tražiti građevinski zahtev, ako je on potreban iz konstrukcijskih, građevinsko-pravnih ili drugih razloga. To isto važi i za građevinske mere koje ne podležu ni građevinskom zahtevu ni građevinskoj prijavi.

Paragrafi 292 i 293 DBO sadrže specijalne odredbe o antenskim postrojenjima.

Prema paragrafu 292 zabranjeno je učvršćivanje antena na pojedinačne dimnjake. Na grupe dimnjaka, krovne nadgradnje, krovne nosače i sl. mogu se pričvrstiti ili zategnuti antenska postrojenja samo kada dimenzije i stanje tih delova zadovoljava u pogledu podnošenja opterećenja koja se očekuju. Antenski jarboli (stubovi) mogu se pričvrstiti na zgrade samo kada je obezbeđeno i dokazano da će sigurno biti stabilni. Prema potrebi mora se podneti statički dokaz. Osim toga, u paragrafu 292 kaže se da se antenska postrojenja mogu izgraditi i održavati na ili iznad javnih saobraćajnih površina, električnih provodnika i telefonskih provodnika samo sa dozvolom organa nadležnog za eksploataciju i upravljanje ovim površinama ili instalacijama.

Ako se žele izgraditi postrojenja (npr., antenska) na udaljenosti od 5 km oko spoljašnje granice aerodroma, prema paragrafu 10 DBO, potrebno je odobrenje ministarstva za saobraćaj. Ako se postrojenja nalaze unutar zatvorenih naselja, odobrenje se mora dobiti samo ako postrojenja nadvisuju okolne građevine. Ovo odobrenje je potrebno i na razmaku od 15 km od spoljašnje granice aerodroma, ako postrojenje nadvisuje srednju visinu zemljišta za više od 40 m.

Prema paragrafu 293. noseći stubovi zajedničkih antena mogu se obuhvatiti gromobranskom zaštitom ako su pravilno uzemljeni. Treba voditi računa o tome da sve veći broj postavljenih TV i UKT antena ne sme ugroziti izgled ulica ili mesta.

33.2. Stručni standard

Stručni standard *TGL 200–7051*, list 2 (*prijemna antenska postrojenja za radio i TV – zahtevi u pogledu bezbednosti*), obavezan je od 1. 4. 1971. za sve stacionarne prijemne antene i za sve prenosne prijemne antene koje su privremeno stacionarno postavljene.

U daljem tekstu citiraće se najvažnije odredbe iz ovog stručnog standarda (numerisanje poglavlja odgovara TGL).

U poglavlju 2 obrađeni su *opšti zahtevi* u okviru kojih je pod 2.1 objašnjeno da se pored zahteva iz ovog standarda moraju poštovati i odredbe iz drugih pravnih akata, naročito iz oblasti građevinarstva (DBO), kao i zaštite na radu i protivpožarne zaštite (ASAO, ABAO, BAO i dr.), kao npr., ASAO 331/1, paragraf 43 »radovi uz krov i na krovu« i ASAO 336/1 »delatnost dimničara«.

2.2. Antenska postrojenja na krovovima ne smeju onemogućavati ili otežavati prolaz na predviđenim prilazima dimnjacima niti rad dimničara. Takođe, ne sme se ometati ili otežavati prilaz i opsluživanje ostalih uređaja. Na svim putevima i prilazima, ispod ili iznad krova, kao i iznad otvora dimnjaka mora se ostaviti vertikalni razmak od najmanje 2 m i bočni razmak od ivica staze najmanje od 0,3 m. Mesta na kojima postoji opasnost od saplitanja, zapinjanja i sl. moraju se vidno obeležiti. Antenski dovodi i uzemljenja ne smeju se polagati preko staza kojim se prolazi, ni duž njihovih spoljašnjih ivica. Nije dozvoljeno polaganje antenskih dovoda i uzemljenje kroz dimnjake, čak i ako se ne koriste, a ni kroz ventilacione kanale.

2.3. Nije dozvoljeno postavljanje antena na meko pokrivenim krovovima (npr., od slame ili od trske), antenski dovodi se ne smeju provesti kroz takve krovove. Kod zgrada sa takvim krovovima moraju se antene postaviti odvojeno od zgrade, ukoliko se ne može upotrebiti antena prema podtački 4.1.1.2. Razmak između antene i krova mora biti najmanje 1 m.

2.4. Žice ili užad na spoljašnjim antenama moraju biti prečnika najmanje 1 mm.

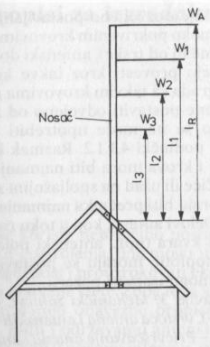
2.5. Delovi antena, koji u toku rada ili u slučaju kvara (npr., antenski pojačavač) odaju toplotu, moraju se postaviti tako da ne mogu izazvati požar.

Poglavlje 3, *Mehanički zahtevi*, deli se na 3.1 – *Čvrstoća antena i antenskih nosača* i na 3.2 – *Pričvršćavanje antena i antenskih nosača.*

3.1.1. Antena mora podnositi mehanička naprezanja koja se javljaju u njenim delovima i mora izdržati uticaj vremenskih prilika kojim je izložena. Ne smeju se upotrebljavati cevi sastavljene spojnicom sa navojem (cevnim, »mufnama«). Sastavi cevi moraju se osigurati od odvrtanja i smicanja i na svakom mestu moraju odgovarati zahtevima u pogledu čvrstoće.

3.1.2.1. Kao osnova za proračun čvrstoće antena i antenskih nosača moraju se uzeti opterećenja prema *TGL 200 – 0614*, list 2; od ovoga se izuzimaju antene i antenski nosači navedeni u podtački 3.1.2.2.

3.1.2.2. Antenske konstrukcije sastavljene od antene (a) i nosača ukupne dužine do 10 m proračunavaju se sa pritiskom zaustavljanja vetra od $q = 70\ kp/m^2$ i sa srednjim koeficijentom $c = 1{,}0$, ako površina antene izložena vetru ne iznosi više od $F_1 = 0{,}25\ m^2$. Ove antenske konstrukcije mogu se postaviti do visine od 40 m iznad tla, a na zgradama i do više od 40 m visine ako ne strče izvan krova za više od 10 m. Pod nazivom zgrade ne podrazumevaju se vitke građevine kao što su tornjevi, visoki samostalni dimnjaci, fabrički dimnjaci i stubovi. Pri tom, treba voditi računa o građevinskim propisima (npr., DBO, paragraf 10). U predelima u kojima se na osnovu iskustva mogu očekivati veći udari vetra ili jako leđenje treba uzeti u obzir i takva naprezanja i povećati pretpostavljene vrednosti opterećenja.



Sl. 33.1. Opterećenja nosača antene vetrom

3.1.2.3. Proračun dimenzija cevi za nosače antena čija je ukupna dužina, uključujući i antenu, do 10 m.

Opterećenje antene vetrom W_i koje mora preuzeti nosač antene dobije se iz: jednačine:

$$W_i = c \cdot q \cdot A_i = A_w \cdot q;$$

W_i – opterećenje antene vetrom u kp, c – koeficijent (bez dimenzije), q – pritisak zaustavljanja u kp/m^2, A_i – najveća površina antene (u m^2) koja je izložena vetru (površine koje se nalaze jedna iza druge moraju se sabrati), A_w – površina pritiska vetra antene u m^2.

Kada se postavi više antena na isti nosač (vidi sl. 33.1), treba izvršiti proračun za svaku pojedinu antenu, iako su antene različito izvedene.

$$W_A = \frac{W_1 \cdot l_1 + W_2 \cdot l_2 + W_3 \cdot l_3 \ldots W_n \cdot l_n}{l_R} =$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot l_i}{l_R}$$

W_A – opterećenje antena vetrom u odnosu na vrh nosača antene,

l_R – razmak između najviše tačke nosača antene i gornje tačke učvršćenja (slobodna dužina), $l_{1\ldots n}$ – razmak između tačke učvršćenja svake antene i gornje tačke učvršćenja nosača antene. Kod antenskih nosača koji nisu zategnuti važi sledeći odnos:

$$W = \frac{w \cdot \sigma_{doz}}{l_R} = W_A + \frac{1}{2} W_R =$$

$$= W_A + \frac{1}{2} (c \cdot q \cdot d \cdot l_R) = \sum_{i=1}^{i=n} W_i;$$

W – ukupno opterećenje vetrom u odnosu na vrh nosača antena,

W_R – opterećenje vetrom samog nosača antena, d – prečnik nosača antena u obliku cevi, w – moment otpornosti, σ_{doz} – dozvoljeno naprezanje materijala.

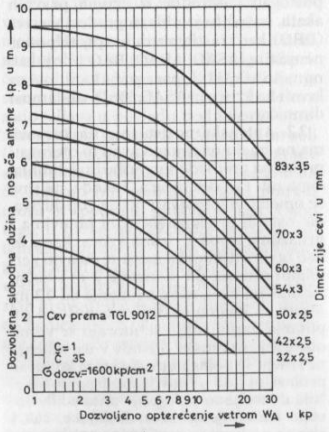
3.1.2.4. Proračun momenta ukleštenja za nosač antena istog preseka koji nije zategnut

Moment ukleštenja M dobije se iz jednačine:

$$M = W_A \cdot l_R + W_R \cdot \frac{1}{2} l_R$$

3.1.2.5. Proizvođač antene mora (u tehničkim podacima) definisati površinu A_w koja je izložena pritisku vetra i koja je potrebna za proračun opterećenja vetrom prema podtački 3.1.2.3.

Ako se tačka učvršćenja antene ne poklapa sa napadnom tačkom opterećenja vetrom, onda se mora uzeti u obzir i



Sl. 33.2. Dozvoljena slobodna dužina nosača antena

razmak između tačke učvršćenja i napadne tačke. Dozvoljena slobodna dužina antenskog nosača kružnog preseka, u zavisnosti od opterećenja vetrom, dobije se iz dijagrama na sl. 33.2. Na istoj slici date su i vrednosti pogodnih dimenzija za bešavnu vruće valjanu čeličnu cev (Č. 35), prema *TGL 9012.*

Primeri proračuna antenskih nosača

1. Jednostavna antena prema sl. 33.3

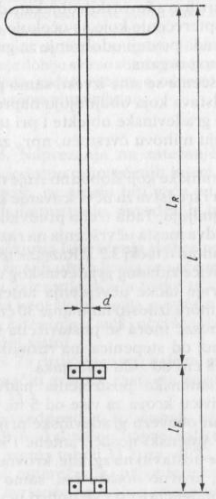
Poznato je

VVF antena sa jednim elementom i površinom $A_1 = 0{,}03$ m^2 treba da se postavi na visinu od 3,5 m iznad krova. Visina zgrade iznosi 35 m.

Traži se

Dimenzije cevi: *Proračun*

Prema podtački 3.1.2.2 standarda, dozvoljeno je postavljanje antene na zgradi ove visine. Opterećenje vetrom iznosi:



Sl. 33.3. Skica dimenzija za primere proračuna 1 i 2

$W_A = W_1 = c \cdot q \cdot A_1 = 1{,}0 \cdot 70 \cdot 0{,}03 = 2{,}1$ kp.

Iz dijagrama na sl. 33.2, za $W_A = 2{,}1$ kp i $l_R = 3{,}5$ m dobije se prečnik cevi $d = 32$ mm i debljina zida $s = 2{,}5$ mm. Zbog toga se odabere cev 32 · 2,5 mm prema *TGL 9012.*

2. Antena prema sl. 33.3 (drugi primer)

Poznato je

VVF antena sa $A_1 = 0{,}1$ m^2, visina lokacije je 37 m iznad tla. Na raspolaganju je cev 32 · 2,5 mm (prema TGL 9012) dužine $l = 5$ m.

Traži se

Dozvoljena slobodna dužina l_R za nosač antene

Proračun

Opterećenje vetrom $W_A = W_1 = 1{,}0 \cdot 70 \cdot 0{,}1 = 7{,}0$ kp. Prema sl. 33.2, za dozvoljenu slobodnu dužinu dobije se $l_R = 2{,}2$ m. To znači da se ne može iskoristiti dužina postojeće cevi.

3. Antena prema sl. 33.4

Poznato je

Mesto postavljanja antene je na građevini visine 55 m.

Površine antena su:
$A_1 = 0{,}045$ m^2 (dva nivoa),
$A_2 = 0{,}08$ m^2,
$A_3 = 0{,}075$ m^2.

Gornja antena treba da se postavi pod pravim uglom prema donjim antenama. Prema podtački 3.1.2.3 standarda, u proračunu se to ne sme uzeti u obzir. Dužina nosača antene je $l_R = 6{,}5$ m. Razmaci antena od gornje tačke učvršćenja su $l_1 = 6$ m; $l_2 = 4{,}4$ m; $l_3 = 3$ m.

Traži se

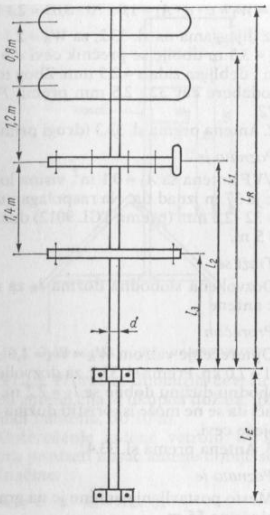
Dimenzije cevi

Proračun

Na zgradi visine 55 m dozvoljena je visina nosača antene od 6,5 m.

Prema podtački 3.1.2.3 standarda, moraju se proračunati momenti opterećenja za svaku antenu; momenti se sabiraju i pri tom se pretpostavlja kao da svi deluju u istom smeru:

$W_1 = c \cdot q \cdot A_1 = 1{,}0 \cdot 70 \cdot 0{,}045 = 3{,}15$ kp,
$W_2 = c \cdot q \cdot A_2 = 1{,}0 \cdot 70 \cdot 0{,}08 = 5{,}6$ kp,
$W_3 = c \cdot q \cdot A_3 = 1{,}0 \cdot 70 \cdot 0{,}075 = 5{,}25$ kp.



Sl. 33.4. Skica dimenzija za primer 3

$$W_A = \frac{W_1 \cdot l_1 + W_2 \cdot l_2 + W_3 \cdot l_3}{l_3} =$$

$$= \frac{3{,}115 \cdot 6 + 5{,}6 \cdot 4.4 + 5{,}25 \cdot 3}{6{,}5} =$$

$= 9{,}1$ kp

Dimenzionisanje cevi

Prema sl. 33.2 potrebna je cev 70 · 3, po *TGL 9012*, za $l_R = 6{,}5$ m i $W_A = 9{,}1$ kp.

Moment ukleštenja

Opterećenje antene vetrom iznosi $W_A = 9{,}1$ kp. Opterećenje cevi vetrom iznosi:

$W_R = c \cdot q \cdot A_R = 1{,}0 \cdot 70 \cdot 0{,}07 \cdot 6{,}5 = 31{,}9$ kp.

Prema: $M = W_A \cdot l_R + W_R \cdot \frac{l_R}{2}$,

dobije se momenat ukleštenja kao

$M = 9{,}1 \cdot 6{,}5 + 31{,}9 \cdot 3{,}25 = 163$ kpm.

To znači da je, prema tački 3.2.1 standarda, potreban dokaz čvrstoće.

3.2. Pričvršćivanje antena i antenskih nosača

3.2.1. Dovoljna čvrstoća učvršćenja antenskog nosača mora se dokazati. Dokaz nije potreban ako momenat ukleštenja nosača antene iznosi manje od 50 kpm.

3.2.2. Kod uobičajenog načina učvršćenja pomoću dve obujmice na delovima zgrade, npr., gredi krova ili na zidu, mesta ukleštenja za nosač antene koji je duži od 1 m moraju biti na najmanjem razmaku od 10% od ukupne dužine, ali minimalno na 75 cm na gredi krova i na 50 cm na zidu.

3.2.3. Na zidu ili betonu nije dozvoljeno učvršćavanje pomoću gipsa.

3.2.4. Radi sigurnosti, u radu nije dozvoljeno učvršćavanje nosača antena, antena ili zatega na pojedinačnim dimnjacima.

Učvršćenje ili zatezanje na grupi dimnjaka, slobodnim dimnjacima, fabričkim dimnjacima, kamin–tornjevima, ventilacionim šahovima i ostalim krovnim nadgradnjama dozvoljeno je samo kada je čvrstoća ovih građevinskih objekata dovoljna za opterećenje koje se očekuje od antene i kada postoji odobrenje za gradnju nadležnog organa.

Učvršćenje se sme izvesti samo pomoću sredstava koja obujmljuju napred navedene građevinske objekte i pri tom ne smanjuju njihovu čvrstoću, npr., zasecanjem.

Za dimnjake koji slobodno stoje dozvoljena su i sredstva za učvršćavanje koja ih ne obujmljuju. Tada treba predvideti najmanje dva mesta učvršćenja na razmaku propisanom u tački 3.2.2. Razmak između gornje ivice zidanog građevinskog objekta i gornje tačke učvršćenja antenskog nosača mora iznositi najmanje 30 cm. Antenski nosač mora se postaviti na strani suprotnoj od stepenica, na razmaku najmanje 8 cm od zida dimnjaka.

Ako antenska postrojenja nadvisuju gornju ivicu krova za više od 5 m, treba poštovati obavezu građevinske prijave.

3.2.5. Antenski nosači, antene i zatege smeju se postaviti na zgrade, krovne nadgradnje, krovne nosače i sl. samo kada postoji mogućnost da se dobro učvrste.

3.2.6. Pri dimenzionisanju antenskih provodnika i zatega treba računati sa trostrukom sigurnošću u odnosu na opterećenje na kidanje.

3.2.7. Čvrstoća na zatezanje materijala od kojih su izrađene pune žice i užad ne sme biti manja od vrednosti navedenih u tabeli 33.1.

Tabela 33.1

ČVRSTOĆA NA ZATEZANJE RAZLIČITIH MATERIJALA

Materijal	Čvrstoća na zatezanje kp/mm^2	Čvrstoća na trajno zatezanje kp/mm^2
Bakar	40	30
Čelik σ_v = 55	55	44
σ_B = 70	70	56
σ_B =120	120	90
Aluminijum 99,5	16	8
Čelik/Aluminijum sa odnosom preseka*1 npr., 1 : 6	30	24

Upotreba materijala, koji nisu navedeni dozvoljena je, samo ako se ne istežu i ako su postojane na atmosferilije i svetlost.

*1 Čvrstoća na trajno zatezanje ili čvrstoća na zatezanje dobiju se kao zbir čvrstoća pojedinih materijala, vodeći računa o odnosu preseka čelika prema aluminijumu.

3.2.8. Naprezanja na zatezanje žica i užadi dodatno opterećenih injem, ledom ili vetrom, ne smeju biti veća od maksimalnih naprezanja navedenih u tabeli 33.2.

U tačkama učvršćenja slobodno zategnutih žica ili užadi javlja se veće naprezanje na zatezanje. Kada tačke učvršćenja nisu na istoj visini, javlja se veće naprezanje na zatezanje u tački učvršćenja koja je na većoj visini.

3.2.9. Za različite materijale ne smeju se prekoračiti granice raspona navedene u tabeli 33.3.

Ove vrednosti su izračunate uzimajući u obzir maksimalno naprezanje na zatezanje prema tabeli 33.2, na –40°C, bez dodatnog opterećenja i pri opterećenju užeta do čvrstoće na trajno zatezanje na –5° C sa dvostrukim dodatnim opterećenjem.

Dodatno opterećenje zbog leda je:

$$P_z = \frac{400 + 20d}{q};$$

P_z – dodatno opterećenje u $\frac{p}{m \cdot mm^2}$,

d – prečnik užeta u mm, q – presek užeta u mm^2.

3.2.10. Vrednosti provesa na različitim temperaturama ne smeju biti ni veće ni manje od navedenih u tabeli 33.4.

Proves je izračunat za polazno stanje na –40° C za maksimalna naprezanja na zatezanje prema tabeli 33.2.

3.2.11. Na žicama i užadima ne sme biti čvorova.

3.2.12. U zatvorenim kukama žica i užadi treba primeniti omče.

3.2.13. Ispitno opterećenje (na zatezanje i pritisak) upotrebljenih izolatora u antenskim dovodima ili zategama od žice

Tabela 33.2

NAPREZANJE NA ZATEZANJE ŽICA I UŽADI

Žica/uže		Maksimalno naprezanje na zatezanje kp/mm^2
Puna žica od	bakra	12
	aluminijuma 99,5	6
	ostalih materijala	35% od čvrstoće na trajno zatezanje
Uže od	bakra	19
	aluminijuma 99,5	8
	čelika σ_B = 55	28
	σ_B = 70	38
	σ_B = 120	55
	ostalih materijala	50% od čvrstoće na trajno zatezanje
Čelično-alumijumska užad sa odnosom preseka Č : Al	1 : 6	12 (u odnosu na ukupan presek)
	1 : 3	18 (u odnosu na ukupan presek)

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Tabela 33.3

GRANIČNI RASPONI ZA UŽAD

Materijal		Granični raspon u m Prečnik u mm						
		1,5	2	3	4	5	6	8
Bakar		–	20	38	65	90	120	160
Aluminijum 99,5		–	–	20	33	50	65	100
Čelik $\sigma_B = 55$		24	40	81	135	200	270	450
$\sigma_B = 70$		30	52	105	180	265	350	570
$\sigma_B = 120$		45	75	160	265	380	510	830
Čelik/aluminijum sa odnosom preseka Č : Al	1 : 6	–	20	42	72	105	140	220
	1 : 3	–	28	60	100	150	200	330

i užeta mora odgovarati čvrstoći na zatezanje žica ili užadi.

3.2.14. Mesta na kojima se dodiruju različiti metali moraju se zaštititi od korozije.

4. Električni zahtevi

4.1. Zaštita od groma i od atmosferskih prenapona

4.1.1. Antena i antenski dovod

4.1.1.1. Spoljašnje antene

4.1.1.1.1. Provodljivi delovi antena postavljeni izvan građevina, kao i metalne konstrukcije na krovu koje se upotrebljavaju za nošenje ili učvršćenje antena, moraju se pomoću voda za uzemljenje, prema podtački 4.1.2.2, spojiti sa uzemljenjem, prema podtački 4.1.2.1. Izuzimaju se spoljašnje antene prema odredbi 4.1.1.2.1, poslednji stav.

Ako iz pogonskih razloga nije moguća električno provodljiva veza, onda se vod za uzemljenje može prekinuti preko iskrišta prema odredbi 4.1.2.3.1 – gruba zaštita.

Za odvođenje atmosferskih prenapona koji mogu ugroziti zaštitne kondenzatore u uređajima, potrebna je fina zaštita, prema odredbi 4.1.2.3.1, ako otpornost jednosmernoj struji između antene i zemlje iznosi više od 500 Ω.

Antensko postrojenje izgrađeno prema ovom standardu predstavlja deo gromobranske zaštite zgrade, ako su pored zahteva iz ovog standarda zadovoljeni i zahtevi iz *TGL 200–0616*.

4.1.1.1.2. Ako se na zgradi nalazi gromobranska zaštita ili ako se ona izgrađuje, antena se mora uključiti u gromobransku zaštitu. Tada važe zahtevi prema *TGL 200 – 0616*.

4.1.1.1.3. Ako antenske nosače koji nisu električno provodljivi treba zaštititi protiv razaranja (raspadanja), onda se na antenskom nosaču mora postaviti pocinčana čelična žica prečnika najmanje 3 mm ili bakarna žica preseka od najmanje 6 mm, koja se vodi od vrha nosača i koja se mora uzemljiti prema tački 4.1.2.

Ako zbog VF razloga nije moguće upotrebiti žicu koja se polaže u jednom komadu, ona se može prekinuti pomoću iskrišta prema odredbi 4.1.2.3.1.

4.1.1.1.4. Ako izolatore treba zaštititi od razaranja, onda se premošćavaju iskrištima. Napon aktiviranja ovih iskrišta mora biti niži od probojnog napona izolatora.

4.1.1.2. Unutrašnje antene i antene koje su njima ravne.

4.1.1.2.1. Uzemljenje radi izjednačenja atmosferskih prenapona može se izostaviti kod:

– sobnih antena, ugrađenih antena i antena u kućištu;

– antena ispod krova, ako su njihova najisturenija tačka i dovod udaljeni najmanje 0,5 m od unutrašnje strane krova i od dimnjaka, kao i od ventilacionih uređaja, te ako je antenski dovod položen kroz unutrašnjost zgrade. Za antenske dovode koji su položeni spolja važe zahte-

Tabela 33.4

PROVES ŽICA I UŽADI

Materijal		Rasponi u m	Minimalne vrednosti provesa u cm na temperaturi od °C								
			–40	–30	–20	–10	0	+10	+20	+30	+40
Žice	Bakar	20	4	6	8	15	20	25	29		
		30	9	10	13	16	21	28	34	40	45
		40	15	18	22	27	34	42	50	57	64
	Aluminijum 99,5	20	3	3	4	6	11	18	25	31	35
		30	5	6	9	13	20	30	39	47	54
		40	9	11	15	22	32	43	55	65	74
Užad	Bakar	20	3	3	3	4	5	6	8	10	15
		30	6	6	7	8	10	12	16	20	26
		40	10	11	12	14	17	21	26	32	40
	Aluminijum 99,5	20	2	2	3	4	5	8	14	21	27
		30	4	5	6	8	10	16	25	34	42
		40	7	8	10	13	18	26	37	48	59
	Čelik $\sigma_B = 55$	20	2	2	2	2	2	3	3	4	4
		30	4	4	4	4	5	6	7	8	9
		40	6	6	7	8	9	10	11	13	16
	Čelik $\sigma_B = 70$	20	1	1	1	1	1	2	2	2	2
		30	3	3	3	3	3	4	4	4	5
		40	5	5	5	5	6	6	7	7	8
	Čelik $\sigma_B = 120$	20	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		30	2	2	2	2	2	3	3	3	3
		40	3	3	3	3	4	4	4	4	5
	Čelik/Al sa odnosom preseka Č : Al 1 : 6	20	2	2	2	3	3	4	5	7	12
		30	4	4	4	5	6	8	11	15	22
		40	6	7	8	9	11	13	18	24	34
	1 : 3	20	1	1	2	2	2	3	3	3	4
		30	3	3	3	4	4	5	6	7	8
		40	5	5	6	7	8	9	11	13	15

vi prema *TGL 200–0616*, ukoliko se ne mogu ostvariti sledeći razmaci;

– spoljašnje antene čija je najviša tačka i antenski dovod udaljen najmanje 3 m ispod metalnog oluka ili 2 m ispod oluka od neprovodljivog materijala i čiji antenski dovod nije udaljen više od 2 m od spoljašnjeg zida zgrade (npr., antene koje se učvršćuju na okvir prozora).

4.1.1.2.2. Ako zgrada poseduje gromobransku zaštitu prema *TGL 200–0616*, minimalni razmak *D* najisturenije tačke antene ili antenskog dovoda od delova gromobranske zaštite mora se odabrati prema sledećem izrazu:

$$D \geq \frac{1}{5} R,$$

gde je: *D* – najmanji razmak u m, *R* – ukupna otpornost uzemljenja gromobranske zaštite u omima.

4.1.1.2.3. Ako nije ispunjen uslov iz odredbe 4.1.1.2.2, onda se mora uspostaviti provodljiva veza do gromobranske zaštite. Za ovu vezu se mogu iskoristiti iskrišta prema odredbi 4.1.2.3.1 (gruba zaštita).

4.1.1.3. Antenski dovodi

Da bi se sprečilo preskakanje struje groma prema uzemljenim delovima u zgradi, na mestima koja su ugrožena požarom, između antenskog dovoda i vidljivo položenih uzemljenih instalacija zgrade ili delova zgrade mora se postaviti mesto za preskok. Mesto za preskok mora biti manje udaljeno od mesta ugroženog požarom i ako je to moguće mora se postaviti iznad njega.

Opasnost od požara postoji ako se zapaljive materije nalaze u području preskoka.

Instalacije zgrade koje su povezane sa zemljom jesu, npr., metalne vodovodne cevi, cevi za gas, centralno grejanje, delovi lifta i gvozdene stepenice.

4.1.2. *Uzemljenje*

4.1.2.1. Sredstva za uzemljenje

4.1.2.1.1. Kao sredstva za uzemljenje treba upotrebiti:

– metalne cevi ako su provodljivo povezane sa mrežom cevi koja je položena u zemlju na velikom prostoru. To su, npr., mreže vodovodnih cevi, ali ne i mreže cevi za grejanje sa toplotnom izolacijom. Cevi za gas ne smeju biti jedino sredstvo za uzemljenje;

– gromobranska uzemljenja prema *TGL 200–0616*;

– čelične konstrukcije i armirane konstrukcije čeličnih ili betonskih zgrada;

– zaštitno uzemljenje elektrotehničkih postrojenja za niski napon. Vod za uzemljenje antene treba tada priključiti neposredno na priključnu stezaljku za uzemljenje. Ne sme se koristiti zaštitni vod elektrotehničkog postrojenja.

4.1.2.1.2. Ako ne postoje sredstva za uzemljenje, prema odredbi 4.1.2.1.1, za antenu se mora izvesti posebno uzemljenje.

4.1.2.1.3. Ako u zgradi postoji više uzemljenih sistema instalacije, svrsishodno je da se međusobno povežu, ukoliko se tome ne protive pogonsko-tehnički razlozi.

Za spajanje sa elektrotehničkim uređajima važi *TGL 200–0603*, list 7.

4.1.2.1.4. U mrežama kod kojih je nulovanje dozvoljeno kao zaštitna mera, a u zgradi ne postoji uzemljenje, uzemljenje antene mora se povezati sa nultim vodom, prema *TGL 200–0602*, list 3, pomoću voda za uzemljenje. Presek ovog voda za uzemljenje mora iznositi: za bakar najmanje 16 mm², kod pocinčane čelične žice najmanje 25 mm².

4.1.2.1.5. U mrežama u kojima je dozvoljeno zaštitno uzemljenje (vidi *TGL 200–0602*, list 3) dozvoljeno je da se uzemljivač antene poveže sa svim ostalim uzemljivačima. Povezivanje sa srednjim provodnikom nije dozvoljeno.

4.1.2.2. Vodovi za uzemljenje

4.1.2.2.1. Dimenzije

Vodovi za uzemljenje ne smeju biti manji po dimenzijama od vrednosti navedenih u tabeli 33.5.

Žice od bakra ili aluminijuma mogu biti u plastičnom zaštitnom omotaču, NYA prema *TGL 21804*, list 5.

Odvodi i gromobrani, metalne cevi i drugi delovi građevine dovoljnih prečnika, npr., protivpožarne stepenice, mogu biti delovi voda za uzemljenje.

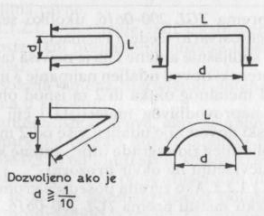
Oluci ne mogu biti delovi voda za uzemljenje.

Cevi za gas su sporedni odvodi i nisu dozvoljene kao jedini vodovi za uzemljenje.

Vodovi za uzemljenje, dimenzija navedenih u tabeli 33.5, za polaganje unutar zgrada mogu se izvesti iz zgrade do dužine od 1 m, npr., priključak na antenu, antenski nosač ili zaštitu od prenapona.

4.1.2.2.2. Polaganje vodova

Ako se na zgradu postavlja više antena na njihovom međusobnom razmaku manjem od 10 m, onda se vodovi za uzemljenje moraju međusobno povezati, ukoliko se tome ne protive pogonsko-tehnički razlozi. Ako dužina vodova za uzemljenje pojedinačnih antena do priključnog mes-



Sl. 33.5. Primeri zaobilaznog polaganja vodova za uzemljenje

Tabela 33.5

MINIMALNE DIMENZIJE VODOVA ZA UZEMLJENJE

Materijal	Polaganje izvan zgrada	Polaganje u zgradama
Čelik, pocinčan	Žica prečnika 8 mm Uže nije dozvoljeno Traka 20 mm × 2,5 mm Žica sa termoplastičnim zaštitnim omotačem. Najmanja debljina zašt. omotača 1 mm, žica prečnika 4,5 mm ili preseka 16 mm²	Žica prečnika 4,5 mm ili preseka 16 mm²
Bakar	Žica prečnika 8 mm Uže prečnika 7 × 3 mm Traka 20 mm × 2,5 mm Žica sa termoplastičnim zaštitnim omotačem. Najmanja debljina zida zašt. omotača 1 mm, žica prečnika 3,5 mm ili presek 10 mm²	Žica prečnika 3,5 mm ili preseka 10 mm²
Aluminijum	Žica prečnika 10 mm Uže nije dozvoljeno Traka 25 mm × 4 mm Žica sa termoplastičnim zaštitnim omotačem. Najmanja debljina zida zašt. omotača 1 mm, žica prečnika 4,5 mm ili preseka 16 mm²	Žica prečnika 4,5 mm ili preseka 16 mm²

ta zajedničkog odvoda uzemljenja iznosi manje od 10 m, dozvoljen je zajednički odvod. Ako je dužina veća od 10 m, moraju se položiti odvojeni vodovi za uzemljenje.

Vodovi za uzemljenje moraju se položiti najkraćim putem do uzemljenja. Najpogodnije je ako se vod položi vertikalno. Dozvoljeno je mestimično postavljanje voda za uzemljenje u horizontalnom ili kosom položaju, npr., kada se vodi oko isturenih delova zgrade. Pri tome, razmak između dve tačke između kojih se nalazi zaobilazak (*d* na sl. 33.5) mora biti veći od 1/10 dužine voda između tačaka gde počinje i završava se zaobilazak (vidi sl. 33.5).

Vodovi za uzemljenje, prema odredbi 4.1.2.2.1, moraju se položiti tako da se vide; ne smeju se postaviti u zaštitne cevi ili ispod žbuke. Ipak, prilikom kratkog provođenja kroz zid ili plafon dozvoljeno je polaganje u zaštitne cevi.

Na drvetu je dozvoljeno polaganje vodova za uzemljenje bez obujmica za održavanje razmaka.

4.1.2.2.3. Mesta spajanja

Po mogućnosti, spajanje vodova za uzemljenje treba izbegavati i ne sme se spajati neposredno na drvetu ili u blizini lako zapaljivih materijala.

Mesta spajanja moraju biti pristupačna i ne smeju se razlabaviti.

Spajanje sa provodljivim cevima, npr., sa cevima za grejanje ili sa vodovodnim cevima mora se izvesti pomoću obujmica sa površinom dodira od najmanje 10 cm².

Vodomeri i slični aparati moraju se premostiti provodnikom prema odredbi 4.1.2.2.1. Izolacione spojnice koje su ugrađene u cevovode i koje služe za električno odvajanje ne smeju se galvanski premostiti; cevovodi koji su odvojeni od zemlje pomoću takvih izolacionih spojnica, ne smeju se spojiti sa vodovima za uzemljenje.

Na mestima spajanja treba koristiti kombinacije metala, čija elektrohemijska razlika potencijala nije veća od 1,15 V.

4.1.2.3. Zaštita od prenapona

4.1.2.3.1. Dimenzionisanje mesta preskoka

Gruba zaštita

Kao gruba zaštita priznaju se zaštitna iskrišta, razdvojna iskrišta, mesta preskoka, izolatori i ostali izolacioni međuslojevi, čiji preskočni razmak u vazduhu iznosi najviše 30 mm ili čija izolacija poseduje

odgovarajuću vrednost probojnog napona.

Na vazdušnom razmaku od 1 mm između dve metalne ivice, ugla ili vrha, može se računati pri vazdušnom pritisku od 101 kN/m^2 i pri relativnoj vlažnosti vazduha do 70% sa preskočnim naponom od približno 1000 V. Kod zaobljenih ivica ili uglova i kod loptastih oblika povećava se preskočni napon na oko 3000 V.

Fina zaštita

Kao fina zaštita podrazumevaju se preskočna mesta koja reaguju na jednosmerni napon od najviše 1000 V i čija je mogućnost odvođenja najmanje 0,5 Ws.

Dozvoljena je istovremena gruba i fina zaštita.

Izgradnja i ugradnja preskočnih mesta

Izolacioni materijal u području preskočnih iskrišta mora biti teško zapaljiv, npr., PVC.

Preskočna mesta moraju biti odvojena od zapaljivih materijala (npr. drveta) najmanje 10 cm, a od lako zapaljivih materijala (npr. trska, slama, seno) najmanje za 60 cm ili se moraju ograditi materijalom čija je otpornost na požar najmanje 0,5 h (*TGL 10685*, list 2).

U odvodnicima prenapona vidi *TGL 200 –1726*.

U odeljku 4.2, *Zaštita od prelaza napona iz električnih instalacija*, obrađuje se razmak između fiksno položenih vodova i zaštitne mere kod antena sa koaksijalnim VF kablovima ili antenskim pojačavačima.

Minimalni razmak između provodljivih delova antene i provodljivih delova nekog električnog uređaja sa naponima iznad 65 V do 1000 V (efektivne vrednosti) mora iznositi u unutrašnjosti zgrade 10 mm, a spolja 20 mm.

Ako je upotrebljen antenski pojačavač, njegova priključna stezaljka za zaštitni provodnik mora se spojiti sa uzemljenjem antene. Prenos električne energije preko antenskog dovoda (npr., za pogon antenskih pojačavača na stubu ili električnih uređaja za okretanje antene) dozvoljen je kada:

– pogonski nominalni napon ne prelazi 65 V (efektivna vrednost), kod naizmenične struje, ili 100 V, kod jednosmerne struje, u odnosu na zemlju i kada priključeni uređaji odgovaraju *TGL 200–0602*, list 3;

– dovod antene ima odgovarajuću probojnu čvrstoću;

– kada se koristi mali napon do 42V (efektivna vrednost) za napajanje energijom. U tom slučaju, dozvoljena je upotreba simetričnog VF voda prema *TGL 200–1579*, list 9 (npr., UKT trakasti vod) za antenski dovod.

Ako se kao zaštitna mera za antenski pojačavač koristi mali napon, prema *TGL 200–0602*, list 3, onda je iz VF razloga dozvoljeno eventualno uzemljenje strane malog napona samo:

– ako se mali napon stvara pomoću zaštitnog transformatora prema *TGL 200–1766*, list 1;

– ako su delovi antenskog pojačavača pod naponom pokriveni radi zaštite od slučajnog dodira.

U odeljku 4.3 *Ukrštanja* nalaze se opšte odredbe o kojima se mora voditi računa kod ukrštavanja antenskih postrojenja, kao i zahtevi u slučaju nadukrštanja i podukrštanja. Pod nadukrštanjem podrazumeva se ukrštanje kod koga se prijemno antensko postrojenje nalazi iznad ukrštenog elektrotehničkog postrojenja ili iznad javnih saobraćajnica. Kod podukrštanja, prijemno antensko postrojenje smešteno je ispod elektrotehničkog postrojenja.

4.3.1.1. Ako su ispunjeni zahtevi navedeni u tačkama od 4.3.2 do 4.3.4, dozvoljeno je ukrštanje antena i njihovih delova:

– iznad ili ispod drugog elektrotehničkog postrojenja koje nije zaštićeno od dodira sa svih strana;

– iznad javnih saobraćajnica, npr., ulice, trgovi, autoputevi, rečni tokovi, šinska vozila, žičana vozila.

4.3.1.2. Prema zahtevima navedenim u tačkama od 4.3.2 do 4.3.4, kod antenskih postrojenja koja se ukrštaju sa drugim elektrotehničkim postrojenjima u slobodnom prostoru ili sa saobraćajnicama, ili koja se približavaju navedenim objektima, treba obezbediti:

– da ne može doći do dodira usled koga bi naponi iz drugog postrojenja prešli na antensko postrojenje, ili obratno;

– da se ukrštena ili približena elektrotehnička postrojenja ne mogu međusobno povezati pomoću delova antenskog postrojenja;

– da se ne mogu ugroziti javne saobraćajnice.

4.3.1.3. Ako se antensko postrojenje nalazi u blizini postrojenja jake struje kod delova antene koji bi se, u slučaju loma, dodirnuli sa postrojenjem jake struje, moraju biti ispunjeni zahtevi navedeni u tačkama od 4.3.1 do 4.3.3.

4.3.1.4. Antenska postrojenja navedena u podtačkama od 4.3.1.2 i 4.3.1.3 mogu se izgraditi, održavati ili skidati na ili iznad javnih saobraćajnih površina, provodnika jake struje i PTT vodova samo sa odobrenjem nadležnih organa.

4.3.1.5. Prilikom postavljanja antenskih postrojenja navedenih u podtačkama od 4.3.1.2 i 4.3.1.3, treba se pridržavati zahteva prema *TGL 200–0619*, list 1.

4.3.1.6. Razmaci između antenskih postrojenja i drugih postrojenja navedeni u tabeli 33.6 ne smeju biti manji.

Za fiksne instalacije u slobodnom prostoru važe zahtevi navedeni u tački 4.2.1. Minimalni razmaci se ne smeju prekoračiti ni na temperaturi od –5°C sa dodatnim opterećenjem, npr., prouzrokovanim injem, snegom i ledom, kao ni na temperaturi od +40°C, niti na vetru (vidi *TGL 200–0614*, list 2).

4.3.2. *Ukrštanja*

4.3.2.1.1. Ukrštanje elektrotehničkih postrojenja u slobodnom prostoru sa naponom iznad 1 kV (efektivna vrednost) nije dozvoljeno.

4.3.1.2.2. Kod ukrštanja elektrotehničkih postrojenja u slobodnom prostoru sa naponima ispod 1 kV (efektivna vrednost) moraju biti ispunjeni najmanje sledeći uslovi:

– na mestu ukrštanja antensko postrojenje se mora izvesti sa većom sigurnošću, (tačka 4.3.4);

– mora se obezbediti da u slučaju prekida delova antene koji su pod naponom ne dođe do dodira sa ukrštenim delovima ili da dodirnuti delovi nemaju napon veći od 65 V (efektivna vrednost) duže od 0,1 sekunde. Pri tom treba uzeti u obzir uticaj bočnog vetra.

4.3.2.2. Ukrštanja sa elektrotehničkim postrojenjima napona do 65 V (efektivna vrednost) prema zemlji.

Na mestu ukrštanja sa telekomunikacionim vodovima javnih službi, npr., železnice, pošte, elektrodistribucije, bezbednosnih organa i vodova informacionih postrojenja, prema *TGL 200–7099*, (npr., uređaji za obezbeđenje života i predmeta, kao što su alarmni protivpožarni uređaji, alarmni uređaji protiv prepada i krađe), antensko postrojenje se mora izvesti sa povećanom bezbednosti, kao što je opisano u tački 4.3.4.

4.3.2.3. Ukrštanje sa javnim saobraćajnicama.

Na mestu ukrštanja antensko postrojenje se mora izvesti sa povećanom sigurnosti (tačka 4.3.4). Kod ukrštanja sa postrojenjima električne železnice ili drugih električnih vozila, moraju se ispuniti zahtevi naveden u podtački 4.3.2.1.

4.3.2.4. Ukrštanje sa predajnim antenskim postrojenjima.

Prijemne antene koje se ukrštaju sa predajnim antenama moraju se izvesti sa povećanom sigurnošću, (tačka 4.3.4).

4.3.3. *Podukrštanje*

4.3.3.1. Podukrštanje elektrotehničkih postrojenja sa naponima iznad 65 V (efektivna vrednost) prema zemlji.

Pri podukrštanju u slobodnom prostoru vodova koji nisu sa svih strana zaštićeni od dodira sa naponom iznad 65 V (efektivna vrednost) prema zemlji, mora biti ispunjen jedan od sledećih zahteva:

– donje ukršteno elektrotehničko postrojenje na mestu ukrštanja mora biti izvedeno po *TGL 200–0614*, list 3;

– mora se obezbediti da i u slučaju prekida donjeg ukrštenog elektrotehničkog postrojenja preveliki naponi dodira ne dospeju na delove antenskog postrojenja. Pri tom se mora uzeti u obzir bočno dejstvo vetra.

4.3.3.2. Podukrštanja sa elektrotehničkim postrojenjima čiji je napon ispod 65 V (efektivna vrednost) prema zemlji

Nema posebnih zahteva u pogledu sigurnosti.

4.3.4. *Antene sa povećanom sigurnošću*

4.3.4.1. Delovi antenskog postrojenja koji određuju mehaničku čvrstinu celog ovog postrojenja samo u najnepovoljnijem slučaju mogu da se opterete polovinom naprezanja koje je dozvoljeno prema poglavlju 3.

4.3.4.2. Zabranjena je primena antenske pletenice (žičanog užeta)

5. Sigurnost rada

Antenska postrojenja moraju se održavati u stanju koje odgovara zahtevima ovog standarda; moraju se otkloniti mane, koje predstavljaju opasnost.

Ostali standardi:

TGL 200–0616	Zaštita od groma za građevine i postrojenja koja nisu elektrotehnička;
TGL 200–1679	VF kablovi i vodovi;
TGL 200–7035	Antenska postrojenja, pojmovi;
TGL 200–7047	list 1, VVF i UVF prijemne antene, tehnički zahtevi;
TGL 200–7051/03	Elektrotehnički domaćinski aparati–prijemne antene za RTV–održavanje;
TGL 200–7052	List 1, predajne i prijemne antene za radiosslužbe, sigurnosni zahtevi;
TGL 200–7052	List 2, predajne i prijemne antene za radiosslužbe, održavanje;
TGL 9012	Bešavne čelične cevi, vruće valjane, dimenzije, odstupanja.
TGL 10685, list 2	Građevinska protivpožarna zaštita, klase otpornosti na požar, otpornost na požar građevinskih konstrukcija;
TGL 12351/01	Elektronski uređaji za domaćinstvo – zajednička postrojenja;
TGL 25609	Elektronski uređaji za domaćinstvo – antenski pojačavači.

Tabela 33.6

NAJMANJI RAZMACI PRI UKRŠTANJU

Ostali uređaji			Antenska postrojenja	
			Minimalni razmaci su u m	
Naponi su dati u efektivnim vrednostima			antene, uključujući antenski dovod	Uzemljeni delovi postrojenja prema standardu
Spoljašnja elektronska postrojenja	> 1 kV	– Delovi koji su u toku rada pod naponom	4[1]	*TGL 200–0603* list 3 2,5[1]
		– Uzemljeni delovi prema *TGL 200–0603*, list 3	2	–
	⩽ 1 kV ali ipak 1 kV	Delovi koji su u toku rada pod naponom	2	*TGL 200–0602* list 3 –
		– Uzemljeni delovi prema *TGL 200–0602* list 3	1	–
	⩽ 65 V	– Delovi koji su pod naponom u toku rada	1	–
		– Uzemljeni delovi	–	–
Električna vozila (železnice, tramvaji, trolejbusi)	> 1 kV ⩽ 1 kV	Visina iznad postrojenja voznog voda	Nedozvoljeno 3	– 3
		Uzemljeni delovi	–	–[2]
Vozovi koji nisu električni		Visine iznad gornje ivice šina	6	6
Javne saobraćajnice [3]			6	6

1) Kod napona iznad 110 kV povećavaju se razmaci za $\frac{150}{U_n - 110}$,

pri čemu je U_n radni napon električnog postrojenja u kV.

2) Galvanska veza nije dozvoljena.

3) Iznad plovnih puteva najmanje 2,5 m iznad jarbola pri najvišem vodostaju.

33.3. Ostali propisi i preporuke o sigurnosti u radu

Pri postavljanju antenskih postrojenja dešavaju se teške nesreće, često i smrtni slučajevi. Uzrok je uvek nepoštovanje postojećih odredbi o zaštiti na radu. Na primer, propisana je upotreba sigurnosnih gurtni i sigurnosnih pojaseva za rad na krovovima i stubovima. Za jednostavne radove koji se mogu obaviti sa lestvicama, propisana maksimalna dužina lestvica je 8 m. Svake lestvice treba ispitati pre upotrebe. Oštećene prečke i prečke koje se okreću moraju se neodložno izmeniti. Nije dozvoljeno zakucavanje prečki. Lestvice se moraju postavljati tako da se ne mogu klizati, preturati i oboriti. Pored toga, ne smeju se jako ljuljati. Lestvice se ne smeju oslanjati na nesigurne oslonce (npr., staklo, šipke, zategnute žice).

Kada se radi na krovovima ili stubovima, mora se obezbediti (ograditi ili označiti) područje na koje mogu pasti alatke ili drugi predmeti. Radovi na postavljanju antena ne smeju ugroziti bezbednost saobraćaja. Alat treba pažljivo smestiti u torbu, u toku rada ne sme se ostavljati na delovima antene ili stuba ni držati na kolenima. Kada se posao završi, radno mesto i njegovu okolinu treba dovesti u red. Opasan je ružan običaj da se ostave otpaci od žice.

Kada se postavljaju stubovi, sve osobe koje ne učestvuju u radu moraju se udaljiti sa prostora na koji stub može pasti. Ako se ne grade posebni temelji, mora se ukopati 1/6 dužine stuba, ali ne manje od 1,6 m i zatim dobro nabiti. Pri uspravljanju treba koristiti vile ili viljuškasti podupirač. Donji kraj stuba mora se učvrstiti tako da se stub ne može podići. Voditi računa da se pri uspravljanju stuba, ne stane na njega. Na stub se može popeti tek kada je rupa za stub potpuno zatrpana. Pri penjanju na stub treba koristiti propisani bezbednosni pojas koji se pre upotrebe optereti telesnom težinom radi kontrole.

Ako se približava oluja treba obustaviti sve radove na antenskom postrojenju.

U slučajevima nedoumice, pre podizanja većih antenskih postrojenja, amater treba obavezno da se obrati nadležnoj inspekciji rada, koja uvek daje jednoznačna i obavezna obaveštenja.

Stalni porast broja UKT i TV antena prati i znatan porast oštećenja zgrada usled udara groma u antene. Ispitivanje takvih oštećenja pokazalo je da u većini slučajeva nije postojalo propisano uzemljenje ili da je prelazna otpornost uzemljenja bila prevelika. Mnoge antene se danas montiraju bez potrebne sručnosti ili se postavljaju provizorno za prvi TV prijem. Ako je TV slika dobra, provizorne antene često postaju stalno rešenje. One tada ugrožavaju bezbednost prolaznika i mogu prouzrokovati velike štete usled udara groma. Kada su antene loše izvedene, grom posle udara ulazi preko delova antene koji štrče izvan krova u unutrašnjost zgrade i tamo pronađe put najmanje otpornosti prema zemlji. To su najčešće električne instalacije i drugi metalni vodovi. Pri tome nastaju velike štete na zgradama i uređajima usled topolotnog i eksplozivnog dejstva, kao i elektrodinamičkih sila, što često dovodi do požara i ugrožava život i zdravlje stanara.

Pokazalo se da grom udara i u antene postavljene ispod krova, mada se za njih

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

ne zahteva gromobranska zaštita. To se dešava kada se antena nalazi preblizu krova ili u blizini odvoda postojećih gromobranskih postrojenja.

Radio-amater gradi pretežno sam svoje uređaje i antene. Takođe, antenu montira sam ili uz pomoć prijatelja i suseda, pod rukovođenjem i odgovornošću naredbodavca. Zbog toga se od odgovornog amatera mora zahtevati da se strogo pridržava svih postojećih odredbi o postavljanju antenskih postrojenja i da zbog sopstvene bezbednosti dopusti stručnjaku da ispita postrojenje i da ga odobri.

34. Dodatak

Tabela 34.1

AMATERSKI FREKVENTNI OPSEZI

Na konferenciji održanoj u Atlantik Sitiju 1947. godine radio-amaterima I oblasti dodeljeni su sledeći frekventni opsezi:

3500 do	3800	kHz =	opseg od	80	(85,7 do 79,0 m),
7000 do	7150	kHz =	opseg od	40 m	(42,9 do 42,0 m),
14000 do	14350	kHz =	opseg od	20 m	(21,43 do 20,9 m),
21000 do	21450	kHz =	opseg od	15 m	(14,29 do 14,0 m),
28000 do	29700	kHz =	opseg od	10 m	(10,71 do 10,1 m),
144 do	146	MHz =	opseg od	2 m	(208,3 do205,5 cm)
420 do	460	MHz =	opseg od	70 cm	(71,5 do 65,2 cm)
1215 do	1300	MHz =	opseg od	24 cm	(24,69 do 23,08 cm),
2300 do	2450	MHz =	opseg od	12 cm	(13,04 do 12,24 cm),
5650 do	5670	MHz=	opseg od	6 cm	(5,31 do 5,29 cm),
10000 do	10500	MHz =	opseg od	3 cm	(3,0 do 2,86 cm)

Unutar ovih opsega, zemlje iz I oblasti oslobodile su svojim amaterima frekventne opsege različitog obima. Opseg od 160 m nije naveden, jer je on dozvoljen samo u pojedinim zemljama uz ograničenje snage. Ostali opsezi su predviđeni u području centimetarskih talasa.

Tabela 34.2.

VIŠI HARMONICI AMATERSKIH FREKVENTNIH OPSEGA

Tabela 34.2.1

UKT AMATERSKI OPSEZI

	MHz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 m	144,0	288,0	432,0	576,0	720,0	864,0	1008,0	1152,0	1296,0	1440,0
	144,2	288,4	432,6	576,8	721,0	865,2	1009,4	1153,6	1297,8	1444,0
	144,4	288,8	433,2	577,6	722,0	866,4	1010,8	1155,2	1299,6	1444,0
	144,6	289,2	433,8	578,4	723,0	867,6	1012,2	1156,8	1301,4	1446,0
	144,8	289,6	434,4	579,2	724,0	868,8	1013,6	1158,4	1303,2	1448,0
	145,0	290,0	435,0	580,0	725,0	870,0	1015,0	1160,0	1305,0	1450,0
	145,2	290,4	435,6	580,8	726,0	871,2	1016,4	1161,6	1306,8	1452,0
	145,4	290,8	436,2	581,6	727,0	872,4	1017,8	1163,2	1308,6	1454,0
	145,6	291,2	436,8	582,4	728,0	873,6	1019,2	1164,8	1310,4	1456,0
	145,8	291,6	437,4	583,2	729,0	874,8	1020,6	1166,4	1312,2	1458,0
	146,0	292,0	438,0	584,0	730,0	876,0	1022,0	1168,0	1314,0	1460,0
70 cm	432	864	1296	1728	2160	2592	3024	3456	3888	4320
	433	866	1299	1732	2165	2598	3031	3464	3897	4330
	434	868	1302	1736	2170	2604	3038	3472	3906	4340
	435	870	1305	1740	2175	2610	3045	3480	3915	4350

Tabela 34.2.2

KT AMTERSKI OPSEZI

MHz	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
80 m	3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5	35,0
	3,6	7,2	10,8	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	32,4	36,0
	3,7	7,4	11,1	14,8	18,5	22,2	25,9	29,6	33,3	37,0
	3,8	7,6	11,4	15,2	19,0	22,8	26,6	30,4	34,2	38,0
40 m	7,0	14,0	21,0	28,0	35,0	42,0	49,0	56,0	63,0	70,0
	7,05	14,1	21,15	28,2	35,25	42,3	49,35	56,4	63,5	70,5
	7,1	14,2	21,3	28,4	35,5	42,6	49,7	56,8	63,9	71,0
	7,15	14,3	21,45	28,6	35,75	42,9	50,05	57,2	64,35	71,5
20 m	14,0	28,0	42,0	56,0	70,0	84,0	98,0	112,0	126,0	140,0
	14,1	28,2	42,3	56,4	70,5	84,6	98,7	112,8	126,9	141,0
	14,2	28,4	42,6	56,8	71,0	85,2	99,4	113,6	127,8	142,0
	14,3	28,6	42,9	57,2	71,5	85,8	100,1	114,4	128,7	143,0
	14,35	28,7	43,05	57,4	71,75	86,1	100,45	114,8	129,15	143,5
15 m	21,0	42,0	63,0	84,0	105,0	126,0	147,0	168,0	189,0	210,0
	21,1	42,2	63,3	84,4	105,5	126,6	147,7	168,8	189,9	211,0
	21,2	42,4	63,6	84,8	106,0	127,2	148,4	169,6	190,8	212,0
	21,3	42,6	63,9	85,2	106,5	127,8	149,1	170,4	191,7	213,0
	21,4	42,8	64,2	85,6	107,0	128,4	149,8	171,2	192,6	214,0
	21,45	42,9	64,35	85,8	107,25	128,7	150,15	171,6	193,05	214,5
10 m	28,0	56,0	84,0	112,0	140,0	168,0	196,0	224,0	252,0	280,0
	28,2	56,4	84,6	112,8	141,0	169,2	197,4	225,6	253,8	282,0
	28,4	56,8	85,2	113,6	142,0	170,4	198,8	227,2	255,6	284,0
	28,6	57,2	85,8	114,4	143,0	171,6	200,2	228,8	257,4	286,0
	28,8	57,6	86,4	115,2	144,0	172,8	201,6	230,4	259,2	288,0
	29,0	58,0	87,0	116,0	145,0	174,0	203,0	232,0	261,0	290,0
	29,2	58,4	87,6	116,8	146,0	175,2	204,4	233,6	262,8	292,0
	29,4	58,8	88,2	117,6	147,0	176,4	205,8	235,2	264,5	294,0
	29,6	59,2	88,8	118,4	148,0	177,6	207,2	236,8	266,4	296,0
	29,7	59,4	89,1	118,8	148,5	178,2	207,9	237,6	267,3	297,0

Tabela 34.3

MEHANIČKE DUZINE ANTENA ZA AMATERSKE KT OPSEGE (SREĐENE PO POLUTALASIMA)

Opseg od 80 m

λ	3500 kHz	3600 kHz	3800 kHz
0,5	40,71 m	39,58 m	37,50 m
1,0	83,57 m	81,25 m	76,97 m
1,5	126,43 m	122,92 m	116,45 m
2,0	169,28 m	164,58 m	155,92 m
2,5	212,14 m	206,25 m	195,39 m
3,5	255,00 m	247,92 m	234,87 m

Opseg od 40 m

λ	7000 kHz	7100 kHz
0,5	20,36 m	20,07 m
1,0	41,78 m	41,19 m
1,5	63,21 m	62,32 m
2,0	84,64 m	83,45 m
2,5	106,07 m	104,58 m
3,0	127,50 m	125,70 m
3,5	148,93 m	146,83 m
4,0	170,35 m	167,95 m

Opseg od 20 m

λ	14000 kHz	14350 kHz
0,5	10,18 m	9,93 m
1,0	20,88 m	20,38 m
1,5	31,60 m	30,84 m
2,0	42,32 m	41,29 m
2,5	53,03 m	51,74 m
3,0	63,04 m	62,19 m
3,5	74,46 m	72,64 m
4,0	85,18 m	83,09 m
4,5	95,90 m	93,54 m
5,0	106,60 m	103,99 m
5,5	117,32 m	114,44 m
6,0	128,04 m	124,89 m
6,5	138,75 m	135,34 m
7,0	149,46 m	145,79 m
7,5	160,18 m	156,24 m
8,0	170,90 m	166,69 m

Opseg od 15 m

λ	21000 kHz	21450 kHz
0,5	6,78 m	6,64 m
1,0	13,93 m	13,64 m
1,5	21,07 m	20,63 m

Opseg od 15 m

λ	21000 kHz	21450 kHz
2,0	28,21 m	27,62 m
2,5	35,36 m	34,61 m
3,0	42,50 m	41,61 m
3,5	49,64 m	48,60 m
4,0	56,79 m	55,60 m
4,5	63,93 m	62,59 m
5,0	71,07 m	69,58 m
5,5	78,21 m	76,57 m
6,0	85,36 m	83,57 m
6,5	92,50 m	90,56 m
7,0	99,64 m	97,55 m
7,5	106,79 m	104,55 m
8,0	113,93 m	111,54 m
8,5	121,05 m	118,53 m
9,0	128,21 m	125,52 m
9,5	135,36 m	135,52 m
10,0	142,50 m	139,51 m

Opseg od 10 m

λ	28000 kHz	29000 kHz	29700 khz
0,5	5,04 m	4,96 m	4,75 m
1,0	10,39 m	10,03 m	9,80 m
1,5	15,75 m	15,21 m	14,85 m
2,0	21,11 m	20,38 m	19,90 m
2,5	26.46 m	25,55 m	24,95 m
3,0	31,82 m	30,72 m	30,00 m
3,5	37,18 m	35,90 m	35,05 m
4,0	42,54 m	41,07 m	40,10 m
4,5	47,89 m	46,24 m	45,15 m
5,0	53,25 m	51,41 m	50,20 m
5,5	58,61 m	56,58 m	55,25 m
6,0	63,96 m	61,76 m	60,30 m
6,5	69,32 m	66,93 m	65,35 m
7,0	74,68 m	72,10 m	70,40 m
7,5	80,04 m	77,27 m	75,45 m
8,0	85,39 m	82,45 m	80,50 m
8,5	90,75 m	87,62 m	85,55 m
9,0	96,11 m	92,79 m	90,60 m
9,5	101,46 m	97,97 m	95,65 m
10,0	106,82 m	103,14 m	100,70 m
10,5	112,18 m	108,31 m	105,76 m
11,0	117,53 m	113,48 m	110,81 m
11,5	122,89 m	118,66 m	115,86 m
12,0	142,61 m	137,62 m	134,38 m

Tabela 34.4

OBRASCI ZA PRERAČUNAVANJE DUŽINE ANTENSKIH ELEMENATA U ODNOSU NA λ/2 i 1λ

Dužina elemenata u odnosu na λ/2		Dužina elemenata u odnosu na 1λ	
$\frac{\lambda}{2} \cdot 1{,}0 = \frac{150000}{f}$	$\frac{\lambda}{2} \cdot 0{,}87 = \frac{130500}{f}$	$1{,}0\lambda = \frac{300000}{f}$	$0{,}87\lambda = \frac{261000}{f}$
$0{,}99 = \frac{148500}{f}$	$0{,}86 = \frac{129000}{f}$	$0{,}99\lambda = \frac{297000}{f}$	$0{,}86\lambda = \frac{258000}{f}$
$0{,}98 = \frac{147000}{f}$	$0{,}85 = \frac{127500}{f}$	$0{,}98\lambda = \frac{294000}{f}$	$0{,}85\lambda = \frac{255000}{f}$
$0{,}97 = \frac{145500}{f}$	$0{,}84 = \frac{126000}{f}$	$0{,}97\lambda = \frac{291000}{f}$	$0{,}84\lambda = \frac{252000}{f}$
$0{,}96 = \frac{144000}{f}$	$0{,}83 = \frac{124500}{f}$	$0{,}96\lambda = \frac{288000}{f}$	$0{,}83\lambda = \frac{249000}{f}$
$0{,}95 = \frac{142500}{f}$	$0{,}82 = \frac{123000}{f}$	$0{,}95\lambda = \frac{285000}{f}$	$0{,}82\lambda = \frac{246000}{f}$
$0{,}94 = \frac{141000}{f}$	$0{,}81 = \frac{121500}{f}$	$0{,}94\lambda = \frac{282000}{f}$	$0{,}81\lambda = \frac{243000}{f}$
$0{,}93 = \frac{139500}{f}$	$0{,}80 = \frac{120000}{f}$	$0{,}93\lambda = \frac{279000}{f}$	$0{,}80\lambda = \frac{240000}{f}$
$0{,}92 = \frac{138000}{f}$	$0{,}79 = \frac{118500}{f}$	$0{,}92\lambda = \frac{276000}{f}$	$0{,}79\lambda = \frac{237000}{f}$
$0{,}91 = \frac{136500}{f}$	$0{,}78 = \frac{117000}{f}$	$0{,}91\lambda = \frac{273000}{f}$	$0{,}78\lambda = \frac{234000}{f}$
$0{,}90 = \frac{135000}{f}$	$0{,}77 = \frac{115500}{f}$	$0{,}90\lambda = \frac{270000}{f}$	$0{,}77\lambda = \frac{231000}{f}$
$0{,}89 = \frac{133500}{f}$	$0{,}76 = \frac{114000}{f}$	$0{,}89\lambda = \frac{267000}{f}$	$0{,}76\lambda = \frac{228000}{f}$
$0{,}88 = \frac{132000}{f}$	$0{,}75 = \frac{112500}{f}$	$0{,}88\lambda = \frac{264000}{f}$	$0{,}75\lambda = \frac{225000}{f}$

Rezultati su u mm, f u MHz.

Tabela 34,5

FREKVENCIJE EVROPSKIH TV OPSEGA I KANALA

Većina evropskih TV predajnika radi prema preporukama CCIR *(Comite Consultatif International Radiocommunication* = Međunarodni savetodavni komitet za radio komunikacije) ili prema preporukama OIRT *(Organisation Internationale de radiodiffusion et de Television* = Međunarodna organizacija za radio-difuziju i televiziju) sa 625 linija po slici. Izuzetak čine britanski standard sa 405 linija i francuski standard sa 819 linija za emitovanje na VVF TV kanalima. U UVF TV području rade svi evropski predajnici, bez izuzetka, sa standardnih 625 linija (zaključak Evropske radio-konferencije u Štokholmu 1961. godine).

Unutar tih propisa o redovima postoje različiti »standardi« čiji se najvažniji tehnički podaci navode na početku sledećih tabela sa frekvencijama. Za dimenzionisanje TV antena značajne su ipak samo frekvencije kanala prema različitim standardima.

Tabela 34.5.1

EVROPSKI TV OPSEZI PREMA CCIR NORMAMA

(SRN, NDR, Danska, Finska, Grčka, holandija, Norveška, Austrija, Portugal, Švedska, Švajcarska, Španija, SFR Jugoslavija, Turska, Kipar)

Sistem: »Gerber-standard«.
Slika: negativna modulacija, 625 linija, frekvencija promene slike 25 Hz, širina video-frekventnog opsega 5 MHZ.
Ton: frekventna modulacija sa devijacijom od ± 50 kHz
Širina propusnog kanala; 7 MHz za VVF, 8 MHz za UVF
Oznaka kanala: E – . .

Frekvencija

	Granice kanala u MHz	Nosilac slike u MHz	Nosilac tona u MHz	Srednja talasna dužina u m
I opseg				
Kanal E-1	41 ... 47		neće se koristiti	
Kanal E-2	47 ... 54	48,25	53,75	6,00
Kanal E-2A	48,5 ... 55,5	49,75	55,25	5,80
Kanal E-3	54 ... 61	55,25	60,75	5,20
Kanal E-4	61 ... 68	62,25	67,75	4,65
III opseg				
Kanal E-5	174 ... 181	175,25	180,75	1,69
Kanal E-6	181 ... 188	182,25	187,75	1,63
Kanal E-7	188 ... 195	189,25	194,75	1,57
Kanal E-8	195 ... 202	196,25	201,75	1,51
Kanal E-9	202 ... 209	203,25	208,75	1,46
Kanal E-10	209 ... 216	210,25	215,75	1,41
Kanal E-11	216 ... 223	217,25	222,75	1,37
Kanal E-12	223 ... 230	224,25	229,75	1,33
IV opseg				
Kanal 21	470 ... 478	471,25	476,75	63
Kanal 22	478 ... 486	479,25	484,75	62,5
Kanal 23	486 ... 494	487,25	492,75	61
Kanal 24	494 ... 502	495,25	500,75	60
Kanal 25	502 ... 510	503,25	508,75	59
Kanal 26	510 ... 518	511,25	516,75	58

	Granice kanala u MHz	Nosilac slike u MHz	Nosilac tona u MHz	Srednja talasna dužina u m
Kanal 27	518 ... 526	519,25	524,75	57,5
Kanal 28	526 ... 534	527,25	532,75	56,5
Kanal 29	534 ... 542	535,25	540,75	55,5
Kanal 30	542 ... 550	543,25	548,75	55
Kanal 31	550 ... 558	551,25	556,75	54
Kanal 32	558 ... 566	559,25	564,75	53
Kanal 33	566 ... 574	567,25	572,75	52,5
Kanal 34	574 ... 582	575,25	580,75	51,5
Kanal 35	582 ... 590	583,25	588,75	51
Kanal 36	590 ... 598	591,25	596,75	50,5
Kanal 37	598 ... 606	599,25	604,75	50
V opseg				
Kanal 38	606 ... 614	607,25	612,75	49
Kanal 39	614 ... 622	615,25	620,75	48,5
Kanal 40	622 ... 630	623,25	628,75	48
Kanal 41	630 ... 638	631,25	636,75	47
Kanal 42	638 ... 646	639,25	644,75	46,5
Kanal 43	646 ... 654	647,25	652,75	46
Kanal 44	654 ... 662	655,25	660,75	45,5
Kanal 45	662 ... 670	663,25	668,75	45
Kanal 46	670 ... 678	671,25	676,75	44,5
Kanal 47	678 ... 686	679,25	684,75	44
Kanal 48	686 ... 694	687,25	692,75	43,5
Kanal 49	694 ... 702	695,25	700,75	43
Kanal 50	702 ... 710	703,25	708,75	42,5
Kanal 51	710 ... 718	711,25	716,75	42
Kanal 52	718 ... 726	719,25	724,75	41,5
Kanal 53	726 ... 734	727,25	732,75	41
Kanal 54	734 ... 742	735,25	740,75	40,5
Kanal 55	742 ... 750	743,25	748,75	40,3
Kanal 56	750 ... 758	751,25	756,75	39,8
Kanal 57	758 ... 766	759,25	764,75	39,3
Kanal 58	766 ... 774	767,25	772,75	38,9
Kanal 59	774 ... 782	775,25	780,75	38,5
Kanal 60	782 ... 790	783,25	788,75	38,2
Kanal 61	790 ... 798	791,25	796,75	37,9
Kanal 62	798 ... 806	799,25	804,75	37,5
Kanal 63	806 ... 814	807,25	812,75	37,1
Kanal 64	814 ... 822	815,25	820,75	36,8
Kanal 65	822 ... 830	823,25	828,75	36,4
Kanal 66	830 ... 838	831,25	836,75	36,1
Kanal 67	838 ... 846	839,25	844,75	35,7
Kanal 68	846 ... 854	847,25	852,75	35,4

Osim toga, Evropska VVF/UVF konferencija u Štokholmu 1961. godine predvidela je za UVF TV još i frekventno područje 854 MHz do 958 MHz (kanal 69 do kanal 81). Do sada još nije izvršena dodela frekvencija predajnicima u tom području.

Tabela 34.5.2

EVROPSKI TV OPSEZI PREMA OIRT NORMAMA

(Albanija, Bugarska, Čehoslovačka, Poljska, Rumunija, SSSR, Mađarska)

Sistem: OIRT norme.
Slika: negativna modulacija, 625 linija, frekvencija promene slike 25 Hz, širina video-frekventnog opsega 6 MHz.
Ton: frekventna modulacija sa devijacijom od ± 50 kHz.
Širina prenosnog kanala: 8 MHz.
Oznaka kanala: R – . .

Frekvencije

	Granice kanala u MHz	Nosilac slike u MHz	Nosilac tona u MHz	Srednja talasna dužina u m
R-I	48,5 ... 56,5	49,75	56,25	5,75
R-II	58,0 ... 66,0	59,25	65,75	4,86
R-III	76,0 ... 84,0	77,25	83,75	3,76
R-IV	84,0 ... 92,0	82,25	91,75	3,41
R-V	92,0 ... 100	93,25	99,75	3,13
R-VI	174 ... 182	175,25	181,75	1,68
R-VII	182 ... 190	183,25	189,75	1,61
R-VIII	190 ... 198	191,25	197,75	1,55
R-IX	198 ... 206	199,25	205,75	1,49
R-X	206 ... 214	207,25	213,75	1,43
R-XI	214 ... 222	215,25	221,75	1,38
R-XII	222 ... 230	223,25	229,75	1,35

UVF frekventna područja odgovaraju CCIR normama.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Tabela 34.5.3.

TV OPSEZI U VELIKOJ BRITANIJI

Sistem: britanski standard.

Slika: pozitivna modulacija, 405 linija, frekvencija promene slike 25 Hz, širina video-frekventnog opsega 3 MHz.

Ton: amplitudna modulacija.

Širina prenosnog kanala: 5 MHz (kanal 1 sa 7 MHz)

Oznaka kanala: B – . .

Frekvencije

Kanal	Granice kanala u MHz	Nosilac slike u MHz	Nosilac tona u MHz	Srednja talasna dužina u m
B-1	41,25 ... 46,25	45,00	41,50	6,88
B-2	48,00 ... 53,00	51,75	48,25	5,95
B-3	53,00 ... 58,00	56,75	53,25	5,41
B-4	58,00 ... 63,00	61,75	58,25	4,96
B-5	63,00 ... 68,00	66,75	63,25	4,58
B-6	176 ... 181	179,75	176,25	1,68
B-7	181 ... 186	184,75	181,25	1,63
B-8	186 ... 191	189,75	186,25	1,59
B-9	191 ... 196	194,75	191,25	1,55
B-10	196 ... 201	199,75	196,25	1,51
B-11	201 ... 206	204,75	201,25	1,47
B-12	206 ... 211	209,75	206,25	1,44
B-13	211 ... 216	214,75	211,25	1,41
B-14	216 ... 221	219,75	216,25	1,37

UVF frekventna područja odgovaraju CCIR normama.

Tabela 34.5.4

TV OPSEZI U FRANCUSKOJ
(Francuska, Luksemburg, Monako)

Sistem: francuska VVF norma.

Slika: pozitivna modulacija, 819 linija, frekvencija promene slike 25 Hz, širina video-frekventnog opsega 10,4 MHz.

Ton: amplitudna modulacija.

Širina prenosnog kanala: 13,15 MHz (kanal 8 sa 14 MHz).

Oznaka kanala: F – . .

Frekvencija

Kanal	Granice kanala u MHz	Nosilac slike u MHz	Nosilac tona u MHz	Srednja talasna dužina u m
F-2	41,15 ... 54,30	52,40	41,25	6,40
F-4	54,30 ... 67,45	65,55	54,40	4,98
F-5	162,10 ... 175,25	164,00	175,15	1,78
F-6	162,15 ... 175,30	173,40	162,25	1,78
F-7	175,25 ... 188,40	177,15	188,30	1,65
F-8	174,00 ... 188,00	185,25	174,10	1,65
F-8A	175,30 ... 189,45	186,55	175,40	1,65
F-9	188,40 ... 201,55	190,30	201,45	1,53
F-10	188,45 ... 201,60	199,70	188,55	1,53
F-11	201,55 ... 214,70	203,45	214,60	1,44
F-12	201,60 ... 214,75	212,85	201,70	1,44

UVF frekventna područja odgovaraju CCIR normama.

Tabela 34.5.5

TV OPSEZI U ITALIJI

Sistem: »gerber-standard« sa podelom kanala, koja je drugačija.

Slika: negativna modulacija, 625 linija, frekvencija promene slike 25 Hz, širina video-frekventnog opsega 5 MHz.

Ton: frekventna modulacija sa devijacijom ± 50 kHz.

Širina prenosnog kanala: 7 MHz za VVF, 8 MHz za UVF.

Oznaka kanala: slova A do H (VVF).

Frekvencije

	Granice kanala u MHz	Nosilac slike u MHz	Nosilac tona u MHz	Srednja talasna dužina u m
A	52,5 ... 59,5	53,75	59,25	5,37
B	61,0 ... 68,0	62,25	67,75	4,66
C	81,0 ... 88,0	82,25	87,75	3,35
D	174,0 ... 181,0	175,25	180.75	1,69
E	183,0 ... 190,0	184,25	189,75	1,61
F	191,0 ... 198,0	192,25	197,75	1,54
G	200,0 ... 207,0	201,25	206,75	1,47
H	209,0 ... 216,0	210,25	215,75	1,42
H_1	216,0 ... 223,0	217,25	222,75	1,37

UVF frekventna područja odgovaraju CCIR normama.

Tabela 34.6

FREKVENCIJE EVROPSKE UKT RADIO-DIFUZIJE

U zemljama koje su proglasile OIRT-norme kao obavezne frekventno modulisane UKT radiodifuzija emituje se u frekventnom području od

66 MHz do 73 MHz.

Unutar ovog područja nije predviđena obavezna podela kanala.

UKT predajnici za radio-difuziju u svim ostalim evropskim zemljama rade prema CCIR normama u II opsegu sa frekventnim područjem od

87,5 MHz do 100 MHz.

Opseg je podeljen u 42 kanala – počinje od kanala 2, a završava se kanalom 43. Razmak kanala iznosi 300 kHz. Zbog sve veće gustine predajnika, Evropska VVF/UVF konferencija je u Štokholmu 1961. godine izvršila novu raspodelu frekvencija za UKT radio-predajnike. Da bi se stvorili novi kanali, smanjen je razmak između njih na 100 kHz, pa je sada na raspolaganju 124 kanala. zadržan je stari način obeležavanja kanala od 2 do 43. Budući da se u svakom kanalu po starim oznakama nalaze 3 frekvencije, one se označavaju pomoću oznake uz gornji deo broja koji označava kanal.

Primer

kanal 24 = 94,2 MHz deli se sada na:
kanal 24° = 94,2 MHz,
kanal 24⁻ = 94,1 MHz,
kanal 24 ⁺ =94,3 MHz.

Podela kanala

Kanal		MHz	Kanal		MHz	Kanal		MHz	Kanal		MHz
	2°	87,6		12+	90,7	23–		93,8		33°	96,9
	2+	87,7	13–		90,8		23°	93,9		33+	97,0
3–		87,8		13°	90,9		23+	94,0	34–		97,1
	3°	87,9		13+	91,0	24–		94,1		34°	97,2
	3+	88,0	14–		91,1		24°	94,2		34+	97,3
4–		88,1		14°	91,2		24+	94,3	35–		97,4
	4°	88,2		14+	91,3	25–		94,4		35°	97,5
	4+	88,3	15–		91,4		25°	94,5		35+	97,6
5–		88,4		15°	91,5		25+	94,6	36–		97,7
	5°	88,5		15+	91,6	26–		94,7		36°	97,8
	5+	88,6	16–		91,7		26°	94,8		36+	97,9
6–		88,7		16°	91,8		26+	94,9	37–		98,0
	6°	88,8		16+	91,9	27–		95,0		37°	98,1
	6+	88,9	17–		92,0		27°	95,1		37+	98,2
7–		89,0		17°	92,1		27+	95,2	38–		98,3
	7°	89,1		17+	92,2	28–		95,3		38°	98,4
	7+	89,2	18–		92,3		28°	95,4		38+	98,5
8–		89,3		18°	92,4		28+	95,5	39–		98,6
	8°	89,4		18+	92,5	29–		95,6		39°	98,7
	8+	89,5	19–		92,6		29°	95,7		39+	98,8
9–		89,6		19°	92,7		29+	95,8	40–		98,9
	9°	89,7		19+	92,8	30-		95,9		40°	99,0
	9+	89,8	20–		92,9		30°	96,0		40+	99,1
10–		89,9		20°	93,0		30+	96,1	41–		99,2
	10°	90,0		20+	93,1	31–		96,2		41°	99,3
	10+	90,1	21–		93,2		31°	96,3		41+	99,4
11–		90,2		21°	93,3		31+	96,4	42–		99,5
	11°	90,3		21+	93,4	32–		96,5		42°	99,6
	11+	90,4	22–		93,5		32°	96,6		42+	99,7
12–		90,5		22°	93,6		32+	96,7	43–		99,8
	12°	90,6		22+	93,7	33–		96,8		43°	99,9

Tabela 34.7

PRERAČUNAVANJE FREKVENCIJE U TALASNU DUŽINU I OBRNUTO

U sledećoj tabeli svaka kolona može predstavljati kHz odnosno m; preračunavanje je moguće u oba smera.

240000	1,25	18000	16,667	13800	21,739	9600	31,250	5400	55,555
120000	2,5	17900	16,760	13700	21,898	9500	31,579	5300	56,604
60000	5,0	17800	16,854	13600	22,059	9400	31,915	5200	57,692
40000	7,5	17700	16,949	13500	22,222	9300	32,258	5100	58,824
30000	10,0	17600	17,045	13400	22,388	9200	32,608		
29500	10,17	17500	17,143	13300	22,556	9100	32,967	5000	60000
29000	10,34	17400	17,242	13200	22,727			4900	61,224
28500	10,51	17300	17,341	13100	22,901	9000	33,333	4800	62,500
28000	10,71	17200	17,442			8900	33,708	4700	63,830
27500	10,91	17100	17,544	13000	23,077	8800	34,091	4600	65,217
27000	11,11			12900	23,256	8700	34,483	4500	66,667
26500	11,32	17000	17,647	12800	23,437	8600	34,884	4400	68,182
26000	11,54	16900	17,751	12700	23,622	8500	35,294	4300	69,767
25500	11,76	16800	17,857	12600	23,810	8400	35,714	4200	71,429
25000	12,00	16700	17,964	12500	24,000	8300	36,145	4100	73,171
24500	12,24	16600	18,072	12400	24,193	8200	36,585		
24000	12,50	16500	18,182	12300	24,390	8100	37,037	4000	75,000
23500	12,77	16400	18,293	12200	24,590			3900	76,923
23000	13,04	16300	18,405	12100	24,793	8000	37500	3800	78,947
22500	13,33	16200	18,519			7900	37,975	3700	81,080
22000	13,63	16100	18,633	12000	25,000	7800	38,461	3600	83,333
21500	13,97			11900	25,210	7700	38,961	3500	85,714
21000	14,28	16000	18,750	11800	25,424	7600	39,474	3400	88,235
20500	14,63	15900	18,868	11700	25,641	7500	40,000	3300	90,909
		15800	18,987	11600	25,862	7400	40,540	3700	93,750
20000	15,000	15700	19,108	11500	26,087	7300	41,096	3100	96,774
19900	15,75	15,600	19,231	11400	26,316	7220	41,667		
19800	15,151	15500	19,355	11300	26,549	7100	42,254	3000	100,00
19700	15,228	15400	19,480	11200	26,786			2900	103,45
19600	15,306	15300	19,608	11100	27,027	7000	42,857	2800	107,14
19500	15,385	15200	19,737			6900	43,478	2700	111,11
19400	15,464	15100	19,867	11000	27,273	6800	44,118	2600	115,38
19300	15,544			10900	27,523	6700	44,777	2500	120,00
19200	15,625	15000	20,000	10800	27,778	6600	45,455	2400	125,00
19100	15,707	14900	20,134	10700	28,037	6500	46,154	2300	130,43
		14800	20,270	10600	28,302	6400	46,874	2200	136,36
19000	15,789	14700	20,408	10500	28,521	6300	47,619	2100	142,65
18900	15,873	14600	20,548	10400	28,846	6200	43,387		
18800	15,975	14500	20,690	10300	29,126	6100	49,180	2000	150,00
18700	16,043	14400	20,833	10200	29,412			1900	157,89
18600	16,129	14300	20,979	10100	29,703	6000	50,00	1800	166,67
18500	16,216	14200	21,127			5900	50,847	1700	176,47
18400	16,304	14100	21,276	10000	30,000	5800	51,724	1600	187,50
18300	16,393			9900	30,303	5700	52,631	1500	200,00
18200	16,483	14000	21,428	9800	30,612	5600	53,571	1490	201,34
18100	16,574	13900	21,583	9700	30,928	5500	54,545	1480	202,70

1470	204,08	1270	236,22	1070	280,37	870	344,83	670	447,76
1460	205,48	1260	238,10	1060	283,02	860	348,84	660	454,54
1450	206,90	1250	240,00	1050	285,71	850	352,94	650	461,54
1440	208,33	1240	241,93	1040	288,46	840	357,14	640	468,75
1430	209,79	1230	243,90	1030	291,26	830	361,45	630	476,19
1420	211,27	1220	245,90	1020	294,12	820	365,85	620	483,87
1410	212,77	1210	247,93	1010	297,03	810	370,37	610	491,80
1400	214,28	1200	250,00	1000	300,00	800	375,00	600	500,00
1390	215,83	1190	252,10	990	303,03	790	379,75	590	508,47
1380	217,39	1180	254,24	980	306,12	780	384,61	580	517,24
1370	218,98	1170	256,41	970	309,28	770	389,61	570	526,32
1360	220,59	1160	258,62	960	312,50	760	394,74	560	535,71
1350	222,22	1150	260,87	950	315,79	750	400,00	550	545,45
1340	223,88	1140	263,16	940	319,15	740	405,40	540	555,55
1330	225,56	1130	265,49	930	322,58	730	410,96	530	566,03
1320	227,27	1120	267,86	920	326,09	720	416,67	520	576,72
1310	229,01	1110	270,27	910	329,67	710	422,54	510	588,24
1300	230,77	1100	272,73	900	333,33	700	428,57	500	600,00
1290	232,56	1090	275,23	890	337,08	690	434,78		
1280	234,38	1080	277,78	880	340,91	680	441,18		

Tabela 34.8

PRERAČUNAVANJE METARA U MHz, OPSEG OD 10 M DO 100 m (PODELA U INTERVALIMA OD PO 0,1 M)

m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz
10,1	29,703	20,1	14,925	30,1	9,966,7	40,1	7,481,3	50,1	5,988,0	60,1	4,991,7	70,1	4,279,6	80,1	3,745,3	90,1	3,329,7		
10,2	29,411	20,2	14,851	30,2	9,933,7	40,2	7,462,6	50,2	5,976,1	60,2	4,983,3	70,2	4,275,5	80,2	3,740,7	90,2	3,326,0		
10,3	29,126	20,3	14,778	30,3	9,901,0	40,3	7,443,6	50,3	5,964,1	60,3	4,975,0	70,3	4,271,4	80,3	3,735,9	90,3	3,322,2		
10,4	28,846	20,4	14,706	30,4	9,868,5	40,4	7,425,8	50,4	5,953,7	60,4	4,966,9	70,4	4,267,4	80,4	3,731,2	90,4	3,318,5		
10,5	28,571	20,5	14,634	30,5	9,836,0	40,5	7,407,3	50,5	5,940,6	60,5	4,958,6	70,5	4,255,3	80,5	3,726,7	90,5	3,314,9		
10,6	28,301	20,6	14,563	30,6	9,804,0	40,6	7,389,0	50,6	5,928,9	60,6	4,950,5	70,6	4,249,3	80,6	3,722,0	90,6	3,311,2		
10,7	28,037	20,7	14,493	30,7	9,772,0	40,7	7,371,0	50,7	5,917,1	60,7	4,942,3	70,7	4,243,3	80,7	3,717,5	90,7	3,307,6		
10,8	27,778	20,8	14,423	30,8	9,740,2	40,8	7,353,0	50,8	5,905,6	60,8	4,934,2	70,8	4,237,3	80,8	3,712,9	90,8	3,303,9		
10,9	27,522	20,9	14,353	30,9	9,708,7	40,9	7,335,0	50,9	5,893,9	60,9	4,926,1	70,9	4,231,3	80,9	3,708,3	90,9	3,300,3		
11,0	27,273	21,0	14,285	31,0	9,677,4	41,0	7,317,5	51,0	5,882,5	61,0	4,918,0	71,0	4,225,3	81,0	3,703,7	91,0	3,296,7		
11,1	27,027	21,1	14,218	31,1	9,646,2	41,1	7,299,3	51,1	5,870,9	61,1	4,910,0	71,1	4,219,4	81,1	3,699,2	91,1	3,293,1		
11,2	26,786	21,2	14,151	31,2	9,615,5	41,2	7,281,5	51,2	5,859,4	61,2	4,902,0	71,2	4,213,5	81,2	3,694,6	91,2	3,289,4		
11,3	26,549	21,3	14,084	31,3	9,585,0	41,3	7,263,8	51,3	5,847,9	61,3	4,894,0	71,3	4,207,6	81,3	3,690,0	91,3	3,285,8		
11,4	26,316	21,4	14,019	31,4	9,554,0	41,4	7,246,3	51,4	5,836,5	61,4	4,886,0	71,4	4,201,7	81,4	3,685,5	91,4	3,282,2		
11,5	26,087	21,5	13,954	31,5	9,523,8	41,5	7,228,8	51,5	5,825,1	61,5	4,878,0	71,5	4,195,7	81,5	3,680,9	91,5	3,278,7		
11,6	25,862	21,6	13,889	31,6	9,493,6	41,6	7,211,5	51,6	5,813,9	61,6	4,870,1	71,6	4,190,0	81,6	3,676,5	91,6	3,275,1		
11,7	25,641	21,7	13,825	31,7	9,463,7	41,7	7,194,2	51,7	5,802,7	61,7	4,862,2	71,7	4,184,2	81,7	3,672,0	91,7	3,271,5		
11,8	25,424	21,8	13,761	31,8	9,433,8	41,8	7,177,0	51,8	5,791,6	61,8	4,854,3	71,8	4,178,3	81,8	3,667,5	91,8	3,268,0		
11,9	25,210	21,9	13,699	31,9	9,404,4	41,9	7,160,0	51,9	5,780,3	61,9	4,846,6	71,9	4,172,5	81,9	3,663,0	91,9	3,264,4		
12,0	25,000	22,0	13,636	32,0	9,375,0	42,0	7,142,8	52,0	5,769,0	62,0	4,838,7	72,0	4,166,7	82,0	3,658,6	92,0	3,260,8		
12,1	24,793	22,1	13,575	32,1	9,345,6	42,1	7,125,9	52,1	5,758,1	62,1	4,830,9	72,1	4,160,8	82,1	3,654,1	92,1	3,257,3		
12,2	24,590	22,2	13,514	32,2	9,316,6	42,2	7,109,0	52,2	5,747,1	62,2	4,823,1	72,2	4,155,1	82,2	3,649,7	92,2	3,253,8		
12,3	24,390	22,3	13,453	32,3	9,288,0	42,3	7,092,2	52,3	5,736,1	62,3	4,815,3	72,3	4,149,4	82,3	3,645,2	92,3	3,250,3		
12,4	24,193	22,4	13,393	32,4	9,259,2	42,4	7,075,3	52,4	5,725,2	62,4	4,807,8	72,4	4,143,6	82,4	3,640,8	92,4	3,246,8		
12,5	24,000	22,5	13,333	32,5	9,230,8	42,5	7,058,8	52,5	5,714,2	62,5	4,800,0	72,5	4,137,9	82,5	3,636,4	92,5	3,243,2		
12,6	23,809	22,6	13,274	32,6	9,202,4	42,6	7,042,2	52,6	5,703,4	62,6	4,792,3	72,6	4,132,2	82,6	3,631,9	92,6	3,239,7		
12,7	23,622	22,7	13,216	32,7	9,174,2	42,7	7,025,7	52,7	5,692,6	62,7	4,784,7	72,7	4,126,6	82,7	3,627,2	92,7	3,236,2		
12,8	23,437	22,8	13,158	32,8	9,146,4	42,8	7,009,3	52,8	5,682,1	62,8	4,777,0	72,8	4,120,9	82,8	3,623,2	92,8	3,232,7		
12,9	23,255	22,9	13,100	32,9	9,118,4	42,9	6,993,0	52,9	5,671,0	62,9	4,769,4	72,9	4,115,2	82,9	3,618,8	92,9	3,229,2		
13,0	23,077	23,0	13,043	33,0	9,091,0	43,0	6,976,7	53,0	5,660,0	63,0	4,761,9	73,0	4,109,6	83,0	3,614,4	93,0	3,225,8		
13,1	22,901	23,1	12,987	33,1	9,063,4	43,1	6,960,5	53,1	5,649,7	63,1	4,754,3	73,1	4,103,9	83,1	3,610,1	93,1	3,222,3		
13,2	22,722	23,2	12,931	33,2	9,036,0	43,2	6,944,4	53,2	5,639,1	63,2	4,746,8	73,2	4,098,4	83,2	3,605,7	93,2	3,218,8		
13,3	22,556	23,3	12,875	33,3	9,009,0	43,3	6,928,3	53,3	5,628,5	63,3	4,739,3	73,3	4,092,8	83,3	3,601,4	93,3	3,215,4		
13,4	22,388	23,4	12,820	33,4	8,982,0	43,4	6,912,4	53,4	5,617,9	63,4	4,731,9	73,4	4,087,2	83,4	3,597,1	93,4	3,212,0		
13,5	22,224	23,5	12,766	33,5	8,955,2	43,5	6,896,5	53,5	5,607,5	63,5	4,724,4	73,5	4,081,6	83,5	3,592,7	93,5	3,208,6		
13,6	22,059	23,6	12,712	33,6	8,928,6	43,6	6,880,7	53,6	5,597,0	63,6	4,716,9	73,6	4,076,1	83,6	3,588,5	93,6	3,205,1		
13,7	21,898	23,7	12,658	33,7	8,902,0	43,7	6,865,0	53,7	5,586,6	63,7	4,709,5	73,7	4,070,6	83,7	3,584,2	93,7	3,201,7		
13,8	21,739	23,8	12,605	33,8	8,875,4	43,8	6,849,3	53,8	5,576,2	63,8	4,702,2	73,8	4,065,0	83,8	3,580,0	93,8	3,198,3		
13,9	21,583	23,9	12,553	33,9	8,849,6	43,9	6,833,3	53,9	5,565,9	63,9	4,694,8	73,9	4,059,5	83,9	3,575,7	93,9	3,194,8		
14,0	21,429	24,0	12,500	34,0	8,823,4	44,0	6,818,2	54,0	5,555,6	64,0	4,687,5	74,0	4,054,1	84,0	3,571,4	94,0	3,191,5		
14,1	21,277	24,1	12,448	34,1	8,797,8	44,1	6,802,7	54,1	5,545,3	64,1	4,680,1	74,1	4,048,5	84,1	3,567,2	94,1	3,188,1		
14,2	21,127	24,2	12,397	34,2	8,772,3	44,2	6,787,3	54,2	5,535,0	64,2	4,672,8	74,2	4,043,2	84,2	3,562,9	94,2	3,184,7		
14,3	20,979	24,3	12,345	34,3	8,746,9	44,3	6,772,0	54,3	5,524,7	64,3	4,665,5	74,3	4,037,9	84,3	3,558,7	94,3	3,181,4		
14,4	20,833	24,4	12,295	34,4	8,720,8	44,4	6,756,8	54,4	5,514,6	64,4	4,658,3	74,4	4,032,6	84,4	3,554,5	94,4	3,178,2		
14,5	20,690	24,5	12,245	34,5	8,695,6	44,5	6,741,6	54,5	5,504,5	64,5	4,651,1	74,5	4,026,8	84,5	3,550,3	94,5	3,174,6		
14,6	20,548	24,6	12,194	34,6	8,670,4	44,6	6,726,5	54,6	5,494,5	64,6	4,644,0	74,6	4,021,5	84,6	3,546,1	94,6	3,171,2		
14,7	20,408	24,7	12,146	34,7	8,645,4	44,7	6,711,3	54,7	5,484,5	64,7	4,636,8	74,7	4,016,1	84,7	3,541,9	94,7	3,167,9		
14,8	20,270	24,8	12,097	34,8	8,620,6	44,8	6,696,3	54,8	5,474,5	64,8	4,629,6	74,8	4,010,7	84,8	3,537,7	94,8	3,164,5		
14,9	20,134	24,9	12,048	34,9	8,595,8	44,9	6,681,3	54,9	5,464,5	64,9	4,622,6	74,9	4,005,4	84,9	3,533,5	94,9	3,161,2		
15,0	20,000	25,0	12,000	35,0	8,571,4	45,0	6,666,7	55,0	5,454,6	65,0	4,615,4	75,0	4,000,0	85,0	3,529,4	95,0	3,157,9		

Tabela 34.8 – nastavak

m	MHZ	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz	m	MHz
15,1	19,867	25,1	11,952	35,1	8,547,0	45,1	6,652,1	55,1	5,444,7	65,1	4,608,3	75,1	3,994,6	85,1	3,525,2	95,1	3,154,6		
15,2	19,737	25,2	11,905	35,2	8,522,8	45,2	6,637,1	55,2	5,434,7	65,2	4,601,2	75,2	3,989,4	85,2	3,521,1	95,2	3,151,2		
15,3	19,608	25,3	11,858	35,3	8,498,6	45,3	6,622,3	55,3	5,424,9	65,3	4,594,3	75,3	3,984,1	85,3	3,517,0	95,3	3,148,0		
15,4	19,480	25,4	11,811	35,4	8,474,6	45,4	6,608,1	55,4	5,415,1	65,4	4,587,1	75,4	3,978,8	85,4	3,512,8	95,4	3,144,6		
15,5	19,355	25,5	11,765	35,5	8,450,6	45,5	6,591,4	55,5	5,405,4	65,5	4,580,1	75,5	3,973,5	85,5	3,508,7	95,5	3,141,4		
15,6	19,231	25,6	11,719	35,6	8,427,0	45,6	6,579,0	55,6	5,395,7	65,6	4,573,2	75,6	3,968,3	85,6	3,504,7	95,6	3,138,1		
15,7	19,108	25,7	11,673	35,7	8,403,4	45,7	6,564,5	55,7	5,385,9	65,7	4,566,1	75,7	3,963,0	85,7	3,500,5	95,7	3,134,8		
15,8	18,987	25,8	11,628	35,8	8,380,0	45,8	6,550,1	55,8	5,376,4	65,8	4,559,2	75,8	3,957,7	85,8	3,496,5	95,8	3,131,5		
15,9	18,868	25,9	11,583	35,9	8,356,6	45,9	6,536,0	55,9	5,366,9	65,9	4,552,3	75,9	3,952,5	85,9	3,492,5	95,9	3,128,2		
16,0	18,750	26,0	11,538	36,0	8,333,3	46,0	6,521,5	56,0	5,357,1	66,0	4,545,5	76,0	3,947,4	86,0	3,488,3	96,0	3,125,0		
16,1	18,633	26,1	11,494	36,1	8,310,2	46,1	6,507,6	56,1	5,347,6	66,1	4,538,6	76,1	3,942,2	86,1	3,484,3	96,1	3,121,8		
16,2	18,518	26,2	11,450	36,2	8,287,3	46,2	6,493,5	56,2	5,338,0	66,2	4,531,7	76,2	3,937,0	86,2	3,480,2	96,2	3,118,4		
16,3	18,405	26,3	11,407	36,3	8,264,4	46,3	6,479,4	56,3	5,328,4	66,3	4,524,9	76,3	3,931,9	86,3	3,476,2	96,3	3,115,2		
16,4	18,293	26,4	11,364	36,4	8,241,6	46,4	6,465,4	56,4	5,319,1	66,4	4,518,0	76,4	3,926,7	86,4	3,472,2	96,4	3,111,9		
16,5	18,182	26,5	11,320	36,5	8,219,2	46,5	6,451,6	56,5	5,309,6	66,5	4,511,3	76,5	3,921,5	86,5	3,468,2	96,5	3,108,8		
16,6	18,068	26,6	11,278	36,6	8,196,8	46,6	6,437,7	56,6	5,300,2	66,6	4,504,6	76,6	3,916,5	86,6	3,464,2	96,6	3,105,6		
16,7	17,964	26,7	11,236	36,7	8,174,4	46,7	6,423,9	56,7	5,291,0	66,7	4,497,7	76,7	3,911,3	86,7	3,460,1	96,7	3,102,4		
16,8	17,857	26,8	11,194	36,8	8,152,2	46,8	6,410,1	56,8	5,281,6	66,8	4,491,0	76,8	3,906,3	86,8	3,456,2	96,8	3,099,1		
16,9	17,751	26,9	11,152	36,9	8,130,0	46,9	6,396,6	56,9	5,272,4	66,9	4,484,2	76,9	3,901,1	86,9	3,452,2	96,9	3,096,0		
17,0	17,647	27,0	11,111	37,0	8,108,2	47,0	6,383,0	57,0	5,263,2	67,0	4,477,7	77,0	3,896,1	87,0	3,448,2	97,0	3,092,8		
17,1	17,544	27,1	11,070	37,1	8,086,5	47,1	6,369,4	57,1	5,253,9	67,1	4,471,0	77,1	3,891,1	87,1	3,444,3	97,1	3,089,6		
17,2	17,442	27,2	11,029	37,2	8,064,6	47,2	6,356,0	57,2	5,244,7	67,2	4,464,3	77,2	3,886,0	87,2	3,440,3	97,2	3,086,4		
17,3	17,341	27,3	10,989	37,3	8,042,8	47,3	6,342,5	57,3	5,235,6	67,3	4,457,6	77,3	3,881,0	87,3	3,436,5	97,3	3,083,3		
17,4	17,241	27,4	10,948	37,4	8,021,0	47,4	6,329,1	57,4	5,226,5	67,4	4,451,0	77,4	3,876,0	87,4	3,432,5	97,4	3,080,1		
17,5	17,143	27,5	10,909	37,5	8,000,0	47,5	6,315,8	57,5	5,217,4	67,5	4,444,4	77,5	3,871,0	87,5	3,428,5	97,5	3,076,9		
17,6	17,046	27,6	10,869	37,6	7,978,7	47,6	6,302,3	57,6	5,208,4	67,6	4,437,8	77,6	3,866,0	87,6	3,424,7	97,6	3,073,8		
17,7	16,949	27,7	10,830	37,7	7,957,6	47,7	6,289,3	57,7	5,199,3	67,7	4,431,3	77,7	3,861,0	87,7	3,420,8	97,7	3,070,6		
17,8	16,854	27,8	10,790	37,8	7,936,8	47,8	6,276,1	57,8	5,190,3	67,8	4,424,8	77,8	3,856,0	87,8	3,416,9	97,8	3,067,5		
17,9	16,760	27,9	10,753	37,9	7,915,5	47,9	6,263,0	57,9	5,181,4	67,9	4,418,4	77,9	3,851,1	87,9	3,413,0	97,9	3,064,4		
18,0	16,667	28,0	10,714	38,0	7,894,8	48,0	6,250,0	58,0	5,172,4	68,0	4,411,7	78,0	3,846,2	88,0	3,409,1	98,0	3,061,2		
18,1	16,575	28,1	10,676	38,1	7,874,0	48,1	6,236,9	58,1	5,163,4	68,1	4,405,2	78,1	3,841,3	88,1	3,405,2	98,1	3,058,1		
18,2	16,483	28,2	10,638	38,2	7,853,4	48,2	6,223,9	58,2	5,154,8	68,2	4,398,8	78,2	3,836,4	88,2	3,401,3	98,2	3,055,0		
18,3	16,393	28,3	10,600	38,3	7,832,8	48,3	6,211,1	58,3	5,145,7	68,3	4,392,4	78,3	3,831,4	88,3	3,397,3	98,3	3,051,9		
18,4	16,305	28,4	10,563	38,4	7,812,5	48,4	6,198,3	58,4	5,137,0	68,4	4,385,0	78,4	3,826,5	88,4	3,393,5	98,4	3,048,7		
18,5	16,217	28,5	10,526	38,5	7,792,2	48,5	6,185,6	58,5	5,128,1	68,5	4,379,6	78,5	3,821,6	88,5	3,389,8	98,5	3,045,6		
18,6	16,129	28,6	10,489	38,6	7,772,0	48,6	6,172,3	58,6	5,119,3	68,6	4,373,2	78,6	3,816,8	88,6	3,386,0	98,6	3,042,5		
18,7	16,043	28,7	10,453	38,7	7,752,0	48,7	6,160,2	58,7	5,110,7	68,7	4,366,8	78,7	3,812,0	88,7	3,382,2	98,7	3,039,5		
18,8	15,957	28,8	10,417	38,8	7,732,0	48,8	6,147,6	58,8	5,102,0	68,8	4,350,4	78,8	3,807,1	88,8	3,378,4	98,8	3,036,4		
18,9	15,873	28,9	10,381	38,9	7,712,0	48,9	6,135,0	58,9	5,093,3	68,9	4,354,1	78,9	3,802,3	88,9	3,374,5	98,9	3,033,3		
19,0	15,790	29,0	10,345	39,0	7,692,3	49,0	6,122,4	59,0	5,084,6	69,0	4,347,8	79,0	3,797,5	89,0	3,370,8	99,0	3,030,3		
19,1	15,707	29,1	10,309	39,1	7,672,3	49,1	6,110,0	59,1	5,076,1	69,1	4,341,5	79,1	3,792,6	89,1	3,367,0	99,1	3,027,3		
19,2	15,625	29,2	10,274	39,2	7,653,0	49,2	6,097,4	59,2	5,067,6	69,2	4,335,2	79,2	3,787,8	89,2	3,363,2	99,2	3,024,2		
19,3	15,544	29,3	10,239	39,3	7,633,6	49,3	6,085,1	59,3	5,059,1	69,3	4,329,7	79,3	3,783,1	89,3	3,359,5	99,3	3,021,1		
19,4	15,464	29,4	10,204	39,4	7,614,6	49,4	6,072,8	59,4	5,050,4	69,4	4,324,2	79,4	3,778,3	89,4	3,355,7	99,4	3,018,1		
19,5	15,385	29,5	10,170	39,5	7,594,8	49,5	6,060,6	59,5	5,042,0	69,5

PRERAČUNAVANJE VREDNOSTI U DECIBELIMA U ODNOSE NAPONA, STRUJE ILI SNAGE

Negativan odnos		Decibela	Pozitivan odnos	
napona ili struje	snage		napona ili struje	snage
$\frac{U_1}{U_2}; \frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	$-\leftarrow dB \rightarrow +$	$\frac{U_1}{U_2}; \frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
1,0000	**1,0000**	**0**	**1,000**	**1,000**
0,9886	0,9772	0,1	1,012	1,023
0,9772	0,9550	0,2	1,023	1,047
0,9661	0,9333	0,3	1,035	1,072
0,9550	0,9120	0,4	1,047	1,096
0,9441	0,8913	0,5	1,059	1,122
0,9333	0,8710	0,6	1,072	1,148
0,9226	0,8511	0,7	1,084	1,175
0,9120	0,8318	0,8	1,096	1,202
0,9016	0,8128	0,9	1,109	1,230
0,8913	**0,7943**	**1,0**	**1,122**	**1,259**
0,8810	0,7762	1,1	1,135	1,288
0,8710	0,7586	1,2	1,148	1,318
0,8610	0,7413	1,3	1,161	1,349
0,8511	0,7244	1,4	1,175	1,380
0,8414	0,7079	1,5	1,189	1,413
0,8318	0,6918	1,6	1,202	1,445
0,8222	0,6761	1,7	1,216	1,479
0,8128	0,6607	1,8	1,230	1,514
0,8035	0,6457	1,9	1,245	1,549
0,7943	**0,6310**	**2,0**	**1,259**	**1,585**
0,7852	0,6166	2,1	1,274	1,622
0,7762	0,6026	2,2	1,288	1,660
0,7674	0,5888	2,3	1,303	1,698
0,7586	0,5754	2,4	1,318	1,738
0,7499	0,5623	2,5	1,334	1,778
0,7413	0,5495	2,6	1,349	1,820
0,7328	0,5370	2,7	1,365	1,862
0,7244	0,5248	2,8	1,380	1,905
0,7161	0,5129	2,9	1,396	1,950
0,7097	**0,5012**	**3,0**	**1,413**	**1,995**
0,6998	0,4898	3,1	1,429	2,042
0,6918	0,4786	3,2	1,445	2,089
0,6839	0,4677	3,3	1,462	2,138
0,6761	0,4571	3,4	1,479	2,188
0,6683	0,4467	3,5	1,496	2,239
0,6607	0,4365	3,6	1,514	2,291
0,6531	0,4266	3,7	1,531	2,344
0,6457	0,4169	3,8	1,549	2,399
0,6383	0,4074	3,9	1,567	2,455
0,6310	**0,3981**	**4,0**	**1,585**	**2,512**

Negativan odnos		Decibela	Pozitivan odnos	
napona ili struje	snage		napona ili struje	snage
$\frac{U_1}{U_2}; \frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	$-\leftarrow dB \rightarrow +$	$\frac{U_1}{U_2}; \frac{i_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
0,6237	0,3890	4,1	1,603	2,570
0,6166	0,3802	4,2	1,622	2,630
0,6095	0,3715	4,3	1,641	2,692
0,6026	0,3631	4,4	1,660	2,754
0,5957	0,3548	4,5	1,679	2,818
0,5888	0,3467	4,6	1,698	2,884
0,5821	0,388	4,7	1,718	2,951
0,5754	0,3311	4,8	1,738	3,020
0,5689	0,3236	4,9	1,758	3,090
0,5623	**0,3162**	**5,0**	**1,778**	**3,162**
0,5559	0,3090	5,1	1,799	3,236
0,5495	0,3020	5,2	1,820	3,311
0,5433	0,2951	5,3	1,841	3,388
0,5370	0,2884	5,4	1,862	3,467
0,5309	0,2818	5,5	1,884	3,548
0,5248	0,2754	5,6	1,905	3,631
0,5188	0,2692	5,7	1,928	3,715
0,5192	0,2630	5,8	1,950	3,802
0,5070	0,2570	5,9	1,972	3,890
0,5012	**0,2512**	**6,0**	**1,995**	**3,981**
0,4955	0,2455	6,1	2,018	4,074
0,4898	0,2399	6,2	2,042	4,169
0,4842	0,2344	6,3	2,065	4,266
0,4786	0,2291	6,4	2,089	4,365
0,4732	0,2239	6,5	2,113	4,467
0,4677	0,2188	6,6	2,138	4,571
0,4624	0,2138	6,7	2,163	4,677
0,4571	0,2089	6,8	2,188	4,786
0,4519	0,2042	6,9	2,213	4,898
0,4467	**0,1995**	**7,0**	**2,239**	**5,012**
0,4416	0,1950	7,1	2,265	5,129
0,4365	0,1905	7,2	2,291	5,248
0,4315	0,1862	7,3	2,317	5,370
0,4266	0,1820	7,4	2,344	5,495
0,4217	0,1778	7,5	2,371	5,623
0,4169	0,1738	7,6	2,399	5,754
0,4121	0,1698	7,7	2,427	5,888
0,4074	0,1660	7,8	2,455	6,026
0,4027	0,1622	7,9	2,483	6,166
0,3981	**0,1585**	**8,0**	**2,151**	**6,310**
0,3936	0,1549	8,1	2,541	6,457

Negativan odnos		Decibela	Pozitivan odnos	
napona ili struje	snage		napona ili struje	snage
$\frac{U_1}{U_2}; \frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	$-\leftarrow dB \rightarrow +$	$\frac{U_1}{U_2}; \frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
0,3890	0,1514	8,2	2,570	6,607
0,3846	0,1479	8,3	2,600	6,761
0,3802	0,1445	8,4	2,630	6,918
0,3758	0,1413	8,5	2,661	7,079
0,3715	0,1380	8,6	2,692	7,244
0,3673	0,1349	8,7	2,723	7,413
0,3631	0,1318	8,8	2,754	7,568
0,3589	0,1288	8,9	2,786	7,762
0,3548	**0,1259**	**9,0**	**2,818**	**7,943**
0,3508	0,1230	9,1	2,851	8,128
0,3467	0,1202	9,2	2,884	8,318
0,3428	0,1175	9,3	2,917	8,511
0,3388	0,1148	9,4	2,951	8,710
0,3350	0,1122	9,5	2,985	8,913
0,3311	0,1096	9,6	3,020	9,120
0,3273	0,1072	9,7	3,055	9,333
0,3236	0,1047	9,8	3,090	9,550
0,3199	0,1023	9,9	3,126	9,772
0,3162	**0,1000**	**10,0**	**3,162**	**10,00**
0,3126	0,977	10,1	3,199	10,23
0,3090	0,0955	10,2	3,236	10,47
0,3055	0,0933	10,3	3,273	10,72
0,3020	0,0912	10,4	3,311	10,96
0,2985	0,0891	10,5	3,350	11,22
0,2951	0,0871	10,6	3,388	11,48
0,2917	0,0851	10,7	3,428	11,75
0,2884	0,0832	10,8	3,467	12,02
0,2851	0,0813	10,9	3,508	12,30
0,2818	**0,0794**	**11,0**	**3,548**	**12,59**
0,2786	0,0776	11,1	3,589	12,88
0,2754	0,0759	11,2	3,631	13,18
0,2723	0,0741	11,3	3,673	13,49
0,2692	0,0724	11,4	3,715	13,80
0,2661	0,708	11,5	3,758	14,13
0,2630	0,0692	11,6	3,802	14,45
0,2600	0,0676	11,7	3,846	14,79
0,2570	0,0661	11,8	3,890	15,14
0,2541	0,0646	11,9	3,936	15,49
0,2512	**0,0631**	**12,0**	**3,981**	**15,85**
0,2483	0,0617	12,1	4,027	16,22
0,2455	0,0603	12,2	4,074	16,60

Negativan odnos		Decibela	Pozitivan odnos	
napona ili struje	snage		napona ili struje	snage
$\frac{U_1}{U_2}; \frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	$-\leftarrow dB \rightarrow +$	$\frac{U_1}{U_2}; \frac{i_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
0,2427	0,0589	12,3	4,121	16,98
0,2399	0,0575	12,4	4,169	17,38
0,2371	0,0562	12,5	4,217	17,78
0,2344	0,0550	12,6	4,266	18,30
0,2317	0,0537	12,7	4,315	18,62
0,2291	0,0525	12,8	4,365	19,05
0,2265	0,0513	12,9	4,416	19,50
0,2239	**0,0501**	**13,0**	**4,467**	**19,95**
0,2213	0,0490	13,1	4,519	20,42
0,2188	0,0479	13,2	4,571	20,89
0,2163	0,0468	13,3	4,624	21,38
0,2138	0,0457	13,4	4,677	21,88
0,2113	0,0447	13,5	4,732	22,39
0,2089	0,0437	13,6	4,786	22,91
0,2065	0,0427	13,7	4,842	23,44
0,2042	0,0417	13,8	4,898	23,99
0,2018	0,0407	13,9	4,955	24,55
0,1995	**0,0398**	**14,0**	**5,012**	**25,12**
0,1972	0,0389	14,1	5,070	25,70
0,1950	0,0380	14,2	5,129	26,30
0,1928	0,0372	14,3	5,188	26,92
0,1905	0,0363	14,4	5,248	27,54
0,1884	0,0355	14,5	5,309	28,18
0,1862	0,0347	14,6	5,370	28,84
0,1841	0,0339	14,7	5,433	29,51
0,1820	0,0331	14,8	5,495	30,20
0,1799	0,0324	14,9	5,559	30,90
0,1778	**0,0316**	**15,0**	**5,623**	**31,62**
0,1758	0,0309	15,1	5,689	32,36
0,1738	0,0302	15,2	5,754	33,11
0,1718	0,0295	15,3	5,821	33,88
0,1698	0,0288	15,4	5,888	34,67
0,1679	0,0282	15,5	5,957	35,48
0,1660	0,0275	15,6	6,026	36,31
0,1641	0,0269	15,7	6,095	37,15
0,1622	0,0263	15,8	6,166	38,02
0,1603	0,0257	15,9	6,237	38,90
0,1585	**0,0251**	**16,0**	**6,310**	**39,81**
0,1567	0,0246	16,1	6,383	40,74
0,1549	0,0240	16,2	6,457	41,69
0,1531	0,0234	16,3	6,531	42,66

Negativan odnos		Decibela	Pozitivan odnos	
napona ili struje	snage		napona ili struje	snage
$\frac{U_1}{U_2}$; $\frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$	$-\leftarrow$ dB $\rightarrow +$	$\frac{U_1}{U_2}$; $\frac{i_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
0,1514	0,0229	16,4	6,607	43,65
0,1496	0,0224	16,5	6,683	44,67
0,1479	0,0219	16,6	6,761	45,71
0,1462	0,0214	16,7	6,839	46,77
0,1445	0,0209	16,8	6,918	47,86
0,1429	0,0204	16,9	6,998	48,98
0,1413	**0,0200**	**17,0**	**7,079**	**50,12**
0,1396	0,0195	17,1	7,161	51,29
0,1380	0,0191	17,2	7,244	52,48
0,1365	0,0186	17,3	7,328	53,70
0,1349	0,0182	17,4	7,413	54,95
0,1334	0,0178	17,5	7,499	56,23
0,1318	0,0174	17,6	7,586	57,54
0,1303	0,0170	17,7	7,674	58,88
0,1288	0,0166	17,8	7,762	60,26
0,1274	0,0162	17,9	7,852	61,66
0,1259	**0,0159**	**18,0**	**7,943**	**63,10**
0,1245	0,0155	18,1	8,035	64,57
0,1230	0,0151	18,2	8,128	66,07
0,1216	0,0148	18,3	8,222	67,61
0,1202	0,0145	18,4	8,318	69,18
0,1189	0,0141	18,5	8,414	70,79
0,1175	0,0138	18,6	8,511	72,44
0,1161	0,0135	18,7	8,610	74,13
0,1148	0,0132	18,8	8,710	75,86
0,1135	0,0129	18,9	8,811	77,62
0,1122	**0,0126**	**19,0**	**8,913**	**79,43**
0,1109	0,0123	19,1	9,016	81,28
0,1096	0,0120	19,2	9,120	83,18
0,1084	0,0118	19,3	9,226	85,11
0,1072	0,0115	19,4	9,333	87,10
0,1059	0,0112	19,5	9,441	89,13
0,1047	0,0110	19,6	9,550	91,20
0,1035	0,0107	19,7	9,661	93,33
0,1023	0,0105	19,8	9,772	95,50
0,1012	0,0102	19,9	9,886	97,72
0,1000	**0,0100**	**20,0**	**10,000**	**100,00**
10^{-2}	10^{-4}	40,0	10_2	10_4
10^{-3}	10^{-6}	60,0	10_3	10_6
10^{-4}	10^{-8}	80,0	10_4	10_8
10^{-5}	10^{-10}	100,0	10_5	10_{10}

Napomena

Odnosi koji se nalaze u tabeli, mogu se dobiti na sledeći način:

Negativne dB-vrednosti (> – 20 dB)

Uvek se dodaje po + 20 dB dok se ne dođe u područje tabele. Zatim se očitana vrednost odnosa napona (struja) podeli sa 10 onoliko puta koliko je pre toga dodato 20 dB. Ako se traži odnos snaga, mora se na isti način deliti sa 100.

Primer

Zadato je – 48,4 dB, traži se odnos napona i odnos snage.

– 48,4 dB + 20 dB + 20 dB = –8,4 dB

Odnosi napona: – 8,4 dB → 0,3802 (tabela).

0,3802 · 1/10 · 1/10 = 0,003802

Odnos snage : – 8,4 dB → 0,1445 (tabela).

0,1445 · 1/100 · 1/100 = 0,00001445

Pozitivne dB vrednosti (> + 20 dB)

Oduzima se po 20 dB dok se ne dođe u oblast tabele. Očitana vrednost odnosa napona (struje) pomnoži se sa 10 onoliko puta koliko je prethodno oduzeto 20 dB. Ako se traži odnos snage, mora se na isti način pomnožiti sa 100.

Primer

Zadato je + 27,9 dB, traži se odnos napona i odnos snage.

+ 27,9 dB – 20 dB = + 7,9 dB

Odnos napona: + 7,9 dB → 2,483 (tabela).

2,483 · 10 = 24,83

Odnos snaga: + 7,9 dB → 6,133 (tabela).

6,133 · 100 = 613,3

Tabela 34.10

PRERAČUNAVANJE U DECIBELE PROIZVOLJNIH ODNOSA NAPONA, STRUJE I SNAGE

Odnos napona	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,0	**0,0000**	**0,086**	**0,172**	**0,257**	**0,424**	**0,342**	**0,506**	**0,588**	**0,668**	**0,749**
1,1	0,828	0,906	0,984	1,062	1,138	1,214	1,289	1,364	1,438	1,511
1,2	1,584	1,656	1,727	1,798	1,868	1,938	2,007	2,076	2,144	2,212
1,3	2,279	2,345	2,411	2,477	2,542	2,607	2,671	2,734	2,798	2,860
1,4	2,923	2,984	3,046	3,107	3,167	3,227	3,287	3,346	3,405	3,464
1,5	3,522	3,580	3,637	3,694	3,750	3,807	3,862	3,973	3,973	4,028
1,6	4,082	4,137	4,190	4,244	4,297	4,350	4,402	4,454	4,506	4,558
1,7	4,609	4,660	4,711	4,761	4,811	4,861	4,910	4,959	5,008	5,057
1,8	5,105	5,154	5,201	5,249	5,296	5,343	5,390	5,437	5,483	5,529
1,9	5,575	5,621	5,666	5,711	5,756	5,801	5,845	5,889	5,933	5,977
2,0	**6,021**	**6,064**	**6,107**	**6,150**	**6,193**	**6,235**	**6,277**	**6,319**	**6,361**	**6,403**
2,1	6,444	6,486	6,527	6,568	6,608	6,649	6,689	6,729	6,769	6,809
2,2	6,848	6,888	6,927	6,966	7,008	7,044	7,082	7,121	7,159	7,197
2,3	7,235	7,272	7,310	7,347	7,384	7,421	7,458	7,495	7,532	7,568
2,4	7,604	7,640	7,676	7,712	7,748	7,783	7,819	7,854	7,889	7,924
2,5	7,959	7,993	8,028	8,062	8,097	8,131	8,165	8,199	8,232	8,266
2,6	8,299	8,333	8,366	8,399	8,432	8,465	8,498	8,530	8,563	8,595
2,7	8,627	8,659	8,691	8,723	8,755	8,787	8,818	8,850	8,881	8,912
2,8	8,943	8,974	9,005	9,036	9,066	9,097	9,127	9,158	9,188	9,218
2,9	9,248	9,278	9,308	9,337	9,367	9,396	9,426	9,455	9,484	9,513
3,0	**9,542**	**9,571**	**9,600**	**9,629**	**9,657**	**9,686**	**9,714**	**9,743**	**9,771**	**9,799**
3,1	9,827	9,855	9,883	9,911	9,939	9,966	9,994	10,021	10,049	10,076
3,2	10,103	10,130	10,157	10,184	10,211	10,238	10,264	10,291	10,317	10,344
3,3	10,370	10,397	10,423	10,449	10,475	10,501	10,527	10,553	10,578	10,604
3,4	10,630	10,655	10,681	10,706	10,731	10,756	10,782	10,807	10,832	10,875
3,5	10,881	10,906	10,931	10,955	10,980	11,005	11,029	11,053	11,078	11,102
3,6	11,126	11,150	11,174	11,198	11,222	11,246	11,270	11,293	11,317	11,341
3,7	11,364	11,387	11,411	11,434	11,457	11,481	11,504	11,527	11,550	11,573
3,8	11,596	11,618	11,641	11,664	11,687	11,709	11,732	11,754	11,777	11,799
3,9	11,821	11,844	11,866	11,888	11,910	11,932	11,954	11,976	11,998	12,019
4,0	**12,041**	**12,063**	**12,085**	**12,106**	**12,128**	**12,149**	**12,171**	**12,192**	**12,213**	**12,234**
4,1	12,256	12,277	12,298	12,319	12,340	12,361	12,382	12,403	12,424	12,444
4,2	12,465	12,486	12,506	12,527	12,547	12,568	12,588	12,609	12,629	12,649
4,3	12,669	12,690	12,710	12,730	12,750	12,770	12,790	12,810	12,829	12,849
4,4	12,869	12,889	12,908	12,928	12,948	12,967	12,987	13,006	13,026	13,045
4,5	13,064	13,084	13,103	13,122	13,141	13,160	13,179	13,198	13,217	13,236
4,6	13,255	13,274	13,293	13,312	13,330	13,349	13,368	13,386	13,405	13,423
4,7	13,442	13,460	13,479	13,497	13,516	13,534	13,552	13,570	13,589	13,607
4,8	13,625	13,643	13,661	13,679	13,697	13,715	13,733	13,751	13,768	13,786
4,9	13,804	13,822	13,839	13,857	13,875	13,892	13,910	13,927	13,945	13,962
5,0	**13,979**	**13,997**	**14,014**	**14,031**	**14,049**	**14,066**	**14,083**	**14,100**	**14,117**	**14,134**
5,1	14,151	14,168	14,185	14,202	14,219	14,236	14,253	14,270	14,287	14,303
5,2	14,320	14,337	14,353	14,370	14,387	14,403	14,420	14,436	14,453	14,469
5,3	14,486	14,502	14,518	14,535	14,551	14,567	14,583	14,599	14,616	14,632
5,4	14,648	14,664	14,680	14,696	14,712	14,728	14,744	14,760	14,776	14,791
5,5	14,807	14,823	14,839	14,855	14,870	14,866	14,902	14,917	14,933	14,948
5,6	14,964	14,979	14,995	15,010	15,026	15,041	15,056	15,072	15,087	15,102
5,7	15,117	15,133	15,148	15,163	15,178	15,193	15,208	15,224	15,239	15,254
5,8	15,269	15,284	15,298	15,313	15,328	15,343	15,358	15,373	15,388	15,402
5,9	15,417	15,432	15,446	15,461	15,476	15,490	15,505	15,519	15,534	15,549
6,0	**15,563**	**15,577**	**15,592**	**15,606**	**15,621**	**15,635**	**15,650**	**15,664**	**15,678**	**15,692**
6,1	15,707	15,721	15,735	15,749	15,763	15,778	15,792	15,806	15,820	15,834
6,2	15,848	15,862	15,876	15,890	15,904	15,918	15,931	15,945	15,959	15,973
6,3	15,987	16,001	16,014	16,028	16,042	16,055	16,069	16,083	16,096	16,110
6,4	16,124	16,137	16,151	16,164	16,178	16,191	16,205	16,218	16,232	16,245
6,5	16,258	16,272	16,285	16,298	16,312	16,325	16,338	16,351	16,365	16,378
6,6	16,391	16,404	16,417	16,430	16,443	16,456	16,469	16,483	16,496	16,509
6,7	16,521	16,534	16,547	16,560	16,573	16,586	16,599	16,612	16,625	16,637
6,8	16,650	16,663	16,676	16,688	16,701	16,714	16,726	16,739	16,752	16,764

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Tabela 34.10 – nastavak

Odnos napona	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
6,9	16,777	16,790	16,802	16,815	16,827	16,840	15,852	16,856	16,877	16,890
7,0	**16,902**	**16,914**	**16,927**	**16,939**	**16,951**	**16,964**	**16,976**	**16,988**	**17,001**	**17,013**
7,1	17,025	17,037	17,050	17,062	17,074	17,086	17,098	17,110	17,122	17,135
7,2	17,147	17,159	17,171	17,183	17,195	17,207	17,219	17,231	17,243	17,255
7,3	17,266	17,278	17,290	17,302	17,314	17,326	17,338	17,349	17,361	17,373
7,4	17,385	17,396	17,408	17,420	17,431	17,443	17,455	17,466	17,478	17,490
7,5	17,501	17,513	17,524	17,536	17,547	17,559	17,570	17,582	17,593	17,605
7,6	17,616	17,628	17,639	17,650	17,662	17,673	17,685	17,696	17,707	17,719
7,7	17,730	17,741	17,752	17,764	17,775	17,786	17,797	17,808	17,820	17,831
7,8	17,842	17,853	17,864	17,875	17,886	17,897	17,908	17,919	17,931	17,942
7,9	17,953	17,964	17,975	17,985	17,996	18,007	18,018	18,029	18,040	18,051
8,0	**18,062**	**18,073**	**18,083**	**18,094**	**18,105**	**18,116**	**18,127**	**18,137**	**18,148**	**18,159**
8,1	18,170	18,180	18,191	18,202	18,212	18,223	18,234	18,244	18,255	18,266
8,2	18,276	18,287	18,297	18,308	18,319	18,329	18,340	18,350	18,361	18,371
8,3	18,382	18,392	18,402	18,413	18,423	18,434	18,444	18,445	18,465	18,475
8,4	18,486	18,496	18,506	18,517	18,527	18,537	18,547	18,558	18,568	18,578
8,5	18,588	18,599	18,609	18,619	18,629	18,639	18,649	18,660	18,670	18,680
8,6	18,690	18,700	18,710	18,720	18,730	18,740	18,750	18,760	18,770	18,780
8,7	18,790	18,800	18,810	18,820	18,830	18,840	18,850	18,860	18,870	18,880
8,8	18,890	18,900	18,909	18,919	18,929	18,939	18,949	18,958	18,968	18,978
8,9	18,988	18,998	19,007	19,017	19,027	19,036	19,046	19,056	19,066	19,075
9,0	**19,085**	**19,094**	**19,104**	**19,114**	**19,123**	**19,133**	**19,143**	**19,152**	**19,162**	**19,172**
9,1	19,181	19,190	19,200	19,209	19,219	19,228	19,238	19,247	19,257	19,267
9,2	19,276	19,285	19,295	19,304	19,313	19,323	19,332	19,342	19,351	19,360
9,3	19,370	19,379	19,388	19,398	19,407	19,416	19,426	19,435	19,444	19,453
9,4	19,463	19,472	19,481	19,490	19,499	19,509	19,518	19,527	19,536	19,545
9,5	19,554	19,564	19,573	19,582	19,591	19,600	19,609	19,618	19,627	19,636
9,6	19,645	19,654	19,664	19,673	19,682	19,691	19,700	19,709	19,718	19,726
9,7	19,735	19,744	19,753	19,762	19,771	19,780	19,789	19,798	19,807	19,816
9,8	19,825	19,833	19,842	19,851	19,860	19,869	19,878	19,886	19,895	19,904
9,9	19,913	19,921	19,930	19,939	19,948	19,956	19,965	19,974	19,983	19,991

Tabela 34.10 – nastavak

Odnos napona	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
10	20,000	20,828	21,584	22,279	22,923	23,522	24,082	24,609	25,105	25,575
20	26,021	26,444	26,848	27,235	27,604	27,959	28,299	28,627	28,943	29,428
30	29,542	29,827	30,103	30,370	30,630	30,881	31,126	31,364	31,596	31,821
40	32,041	32,256	32,465	32,669	32,869	33,064	33,255	33,442	33,625	33.804
50	33,979	34,151	34,320	34,486	34,648	34,807	34,964	35,117	35,269	35,417
60	35,563	35,707	35,848	35,987	36,124	36,258	36,391	36,521	36,650	36,777
70	36,902	37,025	37,147	37,266	37,385	37,501	37,616	37,730	37,842	37,953
80	38,062	38,170	38,276	38,382	38,486	38,588	38,690	38,790	38,889	38,988
90	39,085	39,181	39,276	39,370	39,463	39,554	39,645	39,735	39,825	39,913
100	40,000	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Primeri za primenu tabele

Odnos napona od 2,38 : 1 treba izraziti u dB. U tu svrhu se krene od leve kolone »odnos napona«, pa se pronađe vrednost 2,3 i u tom redu se očita vrednost koja se nalazi u koloni ispod 0,08 (= 7,523 dB). Ako treba odrediti *odnos snaga* u dB (npr., 8,73 : 1), odnos snage se tretira prvo kao odnos napona (leva kolona). Zatim se dobijena vrednos decibela (= 18,820 dB) mora pomnožiti sa 0,5, pa dobijeni rezultat predstavlja odnos snaga u decibelima:

8,73 → 18,820 dB (odnos napona),
18,820 dB · 0,5 = 9,41 dB (odnos snaga).

Ako je odnos izražen brojem, koji se više ne nalazi u tabeli, postupa se na sledeći način:

Odnos izražen brojem < 1,0

Broj kojim je izražen odnos pomnoži sa 10 onoliko puta koliko je potrebno da dođe u oblast tabele. Zatim se od očitanog rezultata oduzme po + 20 dB onoliko puta, koliko je puta umnoženo sa 10.

Primer
Zadat je odnos napona od 0,0131, traži se odnos napona u dB.

0,0131 · 10 · 10 = 1,31
1,31 → + 2,345 dB (tabela)
+ 2,345 dB – 20 dB – 20 dB = – 37,655 dB.

Odnos izražen brojem > 1,00 Broj koji izražava odnos deli se sa 10 onoliko puta koliko je potrebno da se dovede u oblast tabele. Očitanom rezultatu dodaje se po 20 dB onoliko puta koliko je puta deljeno sa 10.

Primer
Dat je odnos napona od 436, traži se odnos napona u dB.
436 · 1/10 · 1/10 = 4,36
4,36 → + 12,790 dB (tabela)
12,79 dB + 20 dB + 20 dB = 52,79 dB.

ODNOS NAPONA, STRUJE I SNAGE U NEPERIMA

Tabela 34.11

Nepera (Np)	Odnos napona ili struje $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2}$	Odnos snage $\frac{P_1}{P_2}$	Decibela (dB)	Nepera (Np)	Odnos napona ili struje $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2}$	Odnos snage $\frac{P_1}{P_2}$	Decibela (dB)
0,0	1,0	1,0	0,0	2,2	9,025	81,45	19,1
0,1	1,105	1,221	0,87	2,4	11,02	121,50	21,0
0,2	1,221	1,492	1,74	2,6	13,46	181,3	22,6
0,3	1,350	1,822	2,61	2,8	16,44	270,4	24,3
0,4	1,492	2,226	3,47	3,0	20,09	403,4	26,1
0,5	1,649	2,718	4,48	3,2	24,53	601,8	27,8
0,6	1,822	3,320	5,21	3,4	29,96	897,8	29,5
0,7	2,014	4,055	6,08	3,6	36,60	1339	31,3
0,8	2,226	4,953	6,95	3,8	44,70	1998	33,0
0,9	2,460	6,050	7,81	4,0	54,60	2981	34,7
1,0	2,718	7,389	8,69	4,2	66,69	4447	36,5
1,1	3,004	9,025	9,55	4,4	81,45	6634	38,2
1,2	3,320	11,02	10,4	4,6	99,48	9897	40,0
1,3	3,669	13,46	11,3	4,8	121,5	14770	41,7
1,4	4,055	16,44	12,2	5,0	148,5	22030	43,4
1,5	4,482	20,09	13,0	5,2	181,3	32860	45,2
1,6	4,953	24,53	13,9	5,4	221,4	49020	46,9
1,7	5,475	29,96	14,8	5,6	270,4	73130	48,6
1,8	6,050	36,60	15,6	5,8	330,3	109100	50,4
1,9	6,686	44,70	16,5	6,0	403,4	162750	52,1
2,0	7,389	54,60	17,4				

1 neper = 8,686 decibela; 1 decibel = 0,116 nepera

PRERAČUNAVANJE NEPERA U DECIBELE I DECIBELA U NEPERE

Tabela 34.12

Neperi u decibele							Decibeli u nepere					
Np	dB	Np	dB	Np	dB		dB	Np	dB	Np	dB	Np
0,1	0,869	4,1	35,6	8,1	70,4		1	0,115	41	4,72	81	9,32
0,2	1,74	4,2	36,5	8,2	71,2		2	0,230	42	4,84	82	9,44
0,3	2,61	4,3	37,3	8,3	72,1		3	0,345	43	4,95	83	9,55
0,4	3,47	4,4	38,2	8,4	73,0		4	0,460	44	5,06	84	9,67
0,5	4,34	4,5	39,1	8,5	73,8		5	0,576	45	5,18	85	9,79
0,6	5,21	4,6	40,0	8,6	74,7		6	0,691	46	5,30	86	9,90
0,7	6,08	4,7	40,8	8,7	75,6		7	0,806	47	5,41	87	10,0
0,8	6,95	4,8	41,7	8,8	76,4		8	0,921	48	5,52	88	10,1
0,9	7,82	4,9	42,6	8,9	77,3		9	1,04	49	5,64	89	10,2
1,0	8,69	5,0	43,4	9,0	78,2		10	1,15	50	5,76	90	10,4
1,1	9,55	5,1	44,3	9,1	79,0		11	1,27	51	5,87	91	10,5
1,2	10,4	5,2	45,2	9,2	79,9		12	1,38	52	5,99	92	10,6
1,3	11,3	5,3	46,0	9,3	80,8		13	1,50	53	6,10	93	10,7
1,4	12,2	5,4	46,9	9,4	81,6		14	1,61	54	6,22	94	10,8
1,5	13,0	5,5	47,8	9,5	82,5		15	1,73	55	6,33	95	10,9
1,6	13,9	5,6	48,6	9,6	83,4		16	1,84	56	6,45	96	11,0
1,7	14,8	5,7	49,5	9,7	84,3		17	1,96	57	6,56	97	11,2
1,8	15,6	5,8	50,4	9,8	85,1		18	2,07	58	6,68	98	11,3
1,9	16,5	5,9	51,2	9,9	86,0		19	2,19	59	6,79	99	11,4
2,0	17,4	6,0	52,1	10,0	86,9		20	2,30	60	6,91	100	11,5
2,1	18,2	6,1	53,0	10,1	87,7		21	2,42	61	7,02	101	11,6
2,2	19,1	6,2	53,9	10,2	88,6		22	2,53	62	7,14	102	11,7
2,3	20,0	6,3	54,7	10,3	89,5		23	2,65	63	7,25	103	11,9
2,4	20,8	6,4	55,6	10,4	90,3		24	2,76	64	7,37	104	12,0
2,5	21,7	6,5	56,5	10,5	91,2		25	2,88	65	7,48	105	12,1
2,6	22,6	6,6	57,3	10,6	92,1		26	2,99	66	7,60	106	12,2
2,7	23,5	6,7	58,2	10,7	92,9		27	3,11	67	7,71	107	12,3
2,8	24,3	6,8	59,1	10,8	93,8		28	3,22	68	7,83	108	12,4
2,9	25,2	6,9	59,9	10,9	94,7		29	3,34	69	7,94	109	12,5
3,0	26,1	7,0	60,8	11,0	95,6		30	3,45	70	8,06	110	12,7
3,1	26,9	7,1	61,7	11,1	96,4		31	3,57	71	8,17	111	12,8
3,2	27,8	7,2	62,5	11,2	97,3		32	3,68	72	8,29	112	12,9
3,3	28,7	7,3	63,4	11,3	98,1		33	3,80	73	8,40	113	13,0
3,4	29,5	7,4	64,3	11,4	99,0		34	3,91	74	8,52	114	13,1
3,5	30,4	7,5	65,1	11,5	99,9		35	4,03	75	8,63	115	13,2
3,6	31,1	7,6	66,0	11,6	100,8		36	4,14	76	8,75	116	13,4
3,7	32,3	7,7	66,9	11,7	101,6		37	4,26	77	8,87	117	13,5
3,8	33,0	7,8	67,8	11,8	102,5		38	4,37	78	8,98	118	13,6
3,9	33,9	7,9	68,6	11,9	103,4		39	4,49	79	9,09	119	13,7
4,0	34,8	8,0	69,5	12,0	104,2		40	4,61	80	9,21	120	13,8

1 neper = 8,686 decibela; 1 decibel = 0,116 nepera

U SAD i u Velikoj Britaniji, kao i u svim drugim zemljama gde se govori engleski postepeno se uvodi međunarodni metrički sistem. Time je otežano praćenje stručne literature, jer se navedene engleske, odnosno američke jedinice merenja moraju uvek preračunavati u metričke jedinice. Sledeće tabele olakšaće preračunavanje.

Tabela 34.13

ENGLESKE I AMERIČKE JEDINICE ZA DUŽINU I NJIHOV ODNOS PREMA METRIČKIM JEDINICAMA

Velika Britanija i USA	Skraćena oznaka	Metrička jedinica	Faktor za preračunavanje
1 inch (inč = palac) = 1000 hiljaditih	(") in	2,54 cm	0,3937
1 foot (stopa) = 12 inča	(') ft	30,48 cm	$3{,}281.10^{-2}$
1 yard (aršin) = 3 stope = 36 inča	yd	91,44 cm	$1{,}094.10^{-2}$
1 fathom (hvat) = 6 stopa	fath	1,8288 m	0,547
1 rod (motka) = 5,5 aršina = 16,5 stopa	rod	5,0292 m	0,199
1 furlong (osmina kopnene milje) = 40 rods = 220 aršina	fur	201,168 m	$4{,}97.10^{-3}$
1 London mile (londonska milja) = 5000 stopa	Lond. mile	1,524 km	0,6562
1 statute mile (kopnena milja) = 1760 aršina = 5280 stopa	stat. mile	1,6093 km	0,6214
1 international nautical mile (natučka milja) = 6076 stopa	naut. mile	1,852 km	0,54

Faktor za preračunavanje koji je dat u poslednjoj koloni primenjuje se kada se podaci o dužinama preračunavaju iz metričkog sistema u engleske, odnosno američke jedinice za dužinu (npr., 40000 km = 0,54 × 40000 = 21600 nautičkih milja)

Tabela 34.14

PRERAČUNAVANJE ENGLESKE STOPE, ODNOSNO INČA U METRE

Engl. stopa (')	0"	1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	11"
0	0,0000	0,0254	0,0508	0,0762	0,1016	0,1270	0,1524	0,1778	0,2032	0,2286	0,2540	0,2794 m
1' (= 12")	0,305	0,330	0,356	0,381	0,406	0,432	0,457	0,483	0,508	0,533	0,559	0,584 m
2' (= 24")	0,610	0,635	0,660	0,686	0,711	0,737	0,762	0,787	0,813	0,838	0,864	0,889 m
3' (= 36")	0,914	0,940	0,965	0,991	1,016	1,041	1,067	1,092	1,118	1,143	1,168	1,194 m
4' (= 48")	1,219	1,245	1,270	1,295	1,321	1,346	1,372	1,397	1,422	1,448	1,473	1,499 m
5' (= 60")	1,524	1,549	1,575	1,600	1,626	1,651	1,676	1,702	1,727	1,753	1,778	1,803 m
6' (= 72")	1,829	1,854	1,880	1,905	1,930	1,956	1,981	2,007	2,032	2,057	2,083	2,108 m
7' (= 84")	2,134	2,159	2,184	2,210	2,235	2,261	2,286	2,311	2,337	2,362	2,388	2,413 m
8' (= 96")	2,438	2,464	2,489	2,515	2,540	2,565	2,591	2,616	2,642	2,667	2,692	2,717 m
9' (= 108")	2,743	2,769	2,794	2,819	2,845	2,870	2,896	2,921	2,946	2,972	2,997	3,023 m
10' (= 120")	3,048	3,073	3,099	3,124	3,150	3,175	3,200	3,226	3,251	3,277	3,302	3,327 m
11' (= 132")	3,353	3,378	3,404	3,429	3,454	3,480	3,505	3,531	3,556	3,581	3,607	3,632 m
12' (= 144")	3,658	3,683	3,708	3,734	3,759	3,785	3,810	3,835	3,861	3,886	3,912	3,937 m
13' (= 156")	3,962	3,988	4,013	4,039	4,064	4,089	4,115	4,140	4,166	4,191	4,216	4,242 m
14' (= 168")	4,267	4,293	4,318	4,343	4,369	4,394	4,420	4,445	4,470	4,496	4,521	4,547 m
15' (= 180")	4,572	4,597	4,623	4,648	4,674	4,699	4,724	4,750	4,775	4,801	4,826	4,851 m
16' (= 192")	4,877	4,902	4,928	4,953	4,978	5,004	5,029	5,055	5,080	5,105	5,131	5,156 m
17' (= 204")	5,182	5,207	5,232	5,258	5,283	5,309	5,334	5,359	5,385	5,410	5,436	5,461 m
18' (= 216")	5,486	5,512	5,537	5,563	5,588	5,613	5,639	5,664	5,690	5,715	5,740	5,766 m
19' (= 228")	5,791	5,817	5,842	5,867	5,893	5,918	5,944	5,969	5,994	6,020	6,045	6,071 m
20' (= 240")	6,096	6,121	6,147	6,172	6,198	6,223	6,248	6,274	6,299	6,325	6,350	6,375 m
21' (= 252")	6,401	6,426	6,452	6,477	6,502	6,528	6,553	6,579	6,604	6,629	6,655	6,680 m
22' (= 264")	6,706	6,731	6,756	6,782	6,807	6,833	6,858	6,883	6,909	6,934	6,960	6,985 m
23' (= 276")	7,010	7,036	7,061	7,087	7,112	7,137	7,163	7,188	7,214	7,239	7,264	7,290 m
24' (= 288")	7,315	7,341	7,366	7,391	7,417	7,442	7,468	7,493	7,518	7,544	7,569	7,595 m
25' (= 300")	7,620	7,645	7,671	7,696	7,722	7,747	7,772	7,798	7,823	7,849	7,874	7,899 m
26' (= 312")	7,925	7,950	7,976	8,001	8,026	8,052	8,077	8,103	8,128	8,153	8,179	8,204 m
27' (= 324")	8,230	8,255	8,280	8,306	8,331	8,357	8,382	8,407	8,433	8,458	8,484	8,509 m
28' (= 336")	8,534	8,560	8,585	8,611	8,636	9,661	8,687	8,712	8,738	8,763	8,788	8,814 m
29' (= 348")	8,839	8,865	8,890	8,915	8,941	8,966	8,992	9,017	9,042	9,068	9,093	9,119 m
30' (= 360")	9,144	9,169	9,195	9,220	9,246	9,271	9,296	9,322	9,347	9,373	9,398	9,423 m

1' = 0,3048 m; 1" = 0,0254 m; 1' = 12"

Tabela 34.15

PRERAČUNAVANJE DELOVA I DECIMALNIH VREDNOSTI INČA U MILIMETRE

u inčima	u mm	u inčima	u mm
1/64 = 0,015	0,396	33/64 = 0,516	13,096
1/32 = 0,031	0,793	17/32 = 0,531	13,492
3/64 = 0,047	1,190	35/64 = 0,547	13,890
1/16 = 0,063	1,587	9/16 = 0,563	14,287
5/64 = 0,078	1,984	37/64 = 0,578	14,683
3/32 = 0,094	2,381	19/32 = 0,594	15,080
7/64 = 0,109	2,778	39/64 = 0,609	15,447
1/8 = 0,125	3,175	5/8 = 0,625	15,875
9/64 = 0,141	3,571	41/64 = 0,641	16,271
5/32 = 0,156	3,968	21/32 = 0,656	16,667
11/64 = 0,172	4,365	43/64 = 0,672	17,064
3/16 = 0,188	4,762	11/16 = 0,688	17,462
13/64 = 0,203	5,159	45/64 = 0,703	17,858
7/32 = 0,219	5,556	23/32 = 0,719	18,255
15/64 = 0,234	5,952	47/64 = 0,734	18,652
1/4 = 0,250	6,350	3/4 = 0,750	19,050
17/64 = 0,266	6,746	49/64 = 0,766	19,446
9/32 = 0,281	7,143	25/32 = 0,781	19,842
19/64 = 0,297	7,540	51/64 = 0,797	20,239
5/16 = 0,313	7,937	13/16 = 0,813	20,637
21/64 = 0,328	8,334	53/64 = 0,828	21,033
11/32 = 0,344	8,730	27/32 = 0,844	21,429
23/64 = 0,359	9,127	55/64 = 0,859	21,827
3/8 = 0,375	9,525	7/8 = 0,875	22,225
25/64 = 0,391	9,921	57/64 = 0,891	22,621
13/32 = 0,406	10,318	29/32 = 0,906	23,017
27/64 = 0,422	10,715	59/64 = 0,922	23,414
7/16 = 0,438	11,112	15/16 = 0,938	23,812
29/64 = 0,453	11,508	61/64 = 0,953	24,208
15/32 = 0,469	11,905	31/32 = 0,969	24,604
31/64 = 0,484	12,302	63/64 = 0,984	25,002
1/2 = 0,500	12,700	1 = 1,000	25,400

Tabela 34.16

AMERIČKE I ENGLESKE DIMENZIJE ŽICE, PREČNIK JE DAT U INČIMA I MILIMETRIMA

Američki standardi za žice odnose se na standard firme Brown &Sharpe i dati su u brojčanim oznakama. U opštem slučaju dodaje se skraćenica AWG (American Wire Gauge).
U Velikoj Britaniji postoje dve vrste standardizovanih žica: BWG (Birgmingham Wire Gauge) i ISWG (Imperial Standard Wire Gauge). U odnosno SWG.
I ovi standardizovani prečnici označavaju se brojkama.

Broj oznake	AWG prečnik		BWG prečnik		ISWg (SWG) prečnik		Broj oznake	AWG prečnik		BWG prečnik		ISWG (SWG) prečnik	
	in	mm	in	mm	in	mm		in	mm	in	mm	in	mm
0000	0,460	11,68	0,454	11,53	0,40	10,16	19	0,036	0,91	0,042	1,07	0,040	1,02
000	0,409	10,41	0,425	10,80	0,372	9,45	20	0,032	0,81	0,035	0,89	0,036	0,92
00	0,365	9,27	0,380	9,65	0,348	8,84	21	0,028	0,72	0,031	0,81	0,032	0,81
0	0,325	8,25	0,340	8,64	0,324	8,23	22	0,025	0,64	0,028	0,71	0,028	0,71
1	0,289	7,35	0,300	7,62	0,300	7,62	23	0,023	0,57	0,025	0,64	0,024	0,61
2	0,258	6,54	0,283	7,21	0,276	7,01	24	0,020	0,51	0,023	0,56	0,023	0,56
3	0,229	5,83	0,259	6,58	0,252	6,40	25	0,018	0,45	0,020	0,51	0,020	0,51
4	0,204	5,19	0,238	6,05	0,232	5,89	26	0,016	0,40	0,018	0,46	0,018	0,46
5	0,182	4,62	0,220	5,59	0,212	5,38	27	0,014	0,36	0,016	0,41	0,016	0,41
6	0,162	4,11	0,203	5,16	0,192	4,88	28	0,013	0,32	0,0135	0,356	0,014	0,36
7	0,144	3,66	0,179	4,57	0,176	4,47	29	0,011	0,29	0,013	0,33	0,013	0,33
8	0,128	3,26	0,164	4,19	0,160	4,06	30	0,010	0,25	0,012	0,305	0,012	0,305
9	0,114	2,90	0,147	3,76	0,144	3,66	31	0,009	0,23	0,010	0,254	0,011	0,29
10	0,102	2,59	0,134	3,40	0,128	3,25	32	0,008	0,20	0,009	0,229	0,0106	0,27
11	0,091	2,30	0,120	3,05	0,116	2,95	33	0,007	0,18	0,008	0,203	0,010	0,254
12	0,81	2,05	0,109	2,77	0,104	2,64	34	0,0063	0,16	0,007	0,178	0,009	0,229
13	0,072	1,83	0,095	2,41	0,092	2,34	35	0,0056	0,14	0,005	0,127	0,008	0,203
14	0,604	1,63	0,083	2,11	0,081	2,03	36	0,0050	0,13	0,004	0,102	0,007	0,178
15	0,057	1,45	0,072	1,83	0,072	1,83	37	0,0044	0,11	-	-	0,0067	0,17
16	0,051	1,29	0,065	1,65	0,064	1,63	38	0,0040	0,10	-	-	0,0060	0,15
17	0,045	1,15	0,058	1,47	0,056	1,42	39	0,0035	0,09	-	-	0,0050	0,127
18	0,040	1,02	0,049	1,24	0,048	1,22	40	0,0031	0,08	-	-	0,0047	0,12

Podaci u mm su zaokruženi.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Tabela 34.17

KOAKSIJALNI KABLOVI KARAKTERISTIČNE IMPEDANCE OD 50 DO 150 Ω, PROIZVOĐAČ VEB KABELWERK OBERSPREE, BERLIN, NDR

Skraćena oznaka	50–2–1	50–3–1	50–7–2	50–12–1
Karakteristična impedanca Ω	50 ± 4	50 ± 3	50 ± 2	50 ± 2
Unutrašnji provodnik	Bakarna pletenica	Bakarna pletenica	Bakarna pletenica	Bakarna pletenica
Nominalni prečnik	0,45 mm	0,9 mm	2,28 mm	3,58 mm
Dielektrik	Polietilen	Polietilen	Polietilen	Polietilen
Nominalni prečnik	1,5 mm	2,95 mm	7,25 mm	11,5 mm
Spoljašnji prečnik	Bakarni oplet	Bakarni oplet	Bakarni oplet	Bakarni oplet
Zaštitni omotač	plastika	plastika	plastika	plastika
Spoljašnji prečnik	2,8 mm	0,5 mm	10,3 mm	15,0 mm
Faktor skraćenja oko	0,66	0,66	0,66	0,66
Kapacitet pF/m	100	100	100	100
Slabljenje u dB/100 m				
10 MHz	10	5	2,8	1,9
100 MHz	33	17	8,5	5,5
200 MHz	46	22	12	8,2
500 MHz	82	40	21	14
800 MHz		54	28	19
IEC norma Ekvivalent		96 IEC 50-3-4 RG 58 CU	96 IEC 50-7-2 RG 213 U	

Skraćena oznaka	60–7–1	60–7–2	60–10–1	60–10–2
Karakteristična impedanca Ω	60 ± 3	60 ± 3	60 ± 5	60 ± 3
Unutrašnji provodnik	Bakarna pletenica	Bakarna žica	Bakarna pletenica	Bakarna žica
Nominalni prečnik	1,5 mm	1,5 mm	2,28 mm	2,26 mm
Dielektrik	Polietilen	Polietilen	Polietilen	Polietilen
Nominalni prečnik	6,6 mm	6,6 mm	10,0 mm	10,0 mm
Spoljašnji provodnik	Bakarni oplet	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet
Zaštitni omotač	plastika	plastika	plastika	plastika
Spoljašnji prečnik	8,8 mm	8,8 mm	13,2 mm	13,2 mm
Faktor skraćenja oko	0,66	0,66	0,66	0,66
Kapacitet pF/m	85	85	85	85
Slabljenje u dB/100 m				
10 MHz	2,5	2,1	1,9	1,7
100 MHz	8	7	5,5	4,9
200 MHz	12	10	8	7
500 MHZ	19	17	14	12
800 MHz	27	23	18	16

Napomena

Proizvodnja koaksijalnih kablova karakteristične impedance 60 Ω postepeno je obustavljena (do 1974 godine), jer se prešlo na karakterističnu impedancu od 75 Ω, koja je optimalna u pogledu slabljenja za VVF i UVF, a u skladu sa *TGL 6921* i RGW preporukom RS–603–33, kao i sa IEC publikacijom 78. Za korišćenje u mikrotalasnoj tehnici iznad 1000 MHz internacionalno se preporučuju karakteristične impedance od 50 Ω.

Tabela 34.17 – nastavak

Skraćena oznaka	75–4–1	75–4–4	75–5–A	75–5–B
Karakteristična impedanca Ω	75 ± 3	75 ± 3	75 ± 5	75 ± 5
Unutrašnji provodnik	Bakarna pletenica	Bakarna žica	Bakarna žica	Bakarna žica
Nominalni prečnik	0,6 mm	0,58 mm	1,1 mm	1,1 mm
Dielektrik	Polietilen	Polietilen	Polietilen pena	Polietilen pena
Nominalni prečnik	3,7 mm	3,7 mm	4,8 mm	4,8 mm
Spoljašnji prečnik	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet
Zaštitni omotač	plastika	plastika	plastika	plastika
Spoljašnji prečnik	5,6 mm	5,6 mm	6,9 mm	6,8 mm
Faktor skraćenja oko	0,66	0,66	0,83	0,83
Kapacitet pF/m	67	67	53	53
Slabljenje u dB/100 m				
10 MHz	4,4	3,8	2,3	2,3
100 MHz	14	13	7,5	7,5
200 MHZ	20	18	11	11
500 MHz	33	29	20	20
800 MHz	43	38	28	28

Skraćena oznaka	75–7–2	75–7–8	75–17–12	150–6–1
Karakteristična impedanca Ω	75 ± 3	75 ± 3	75 ± 3	150 ± 22,5
Unutrašnji provodnik	Bakarna pletenica	Bakarna žica	Bakarna žica	Bakarna žica
Nominalni prečnik	1,2 mm	1,1 mm	2,7 mm	0,25 mm
Dielektrik	Polietilen	Polietilen	Polietilen	Polietilen sa vazdušn. prost.
Nominalni prečnik	7,25 mm	7,25 mm	17,3 mm	5,5 mm
Spoljašnji provodnik	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet
Zaštitni omotač	plastika	plastika	plastika	plastika
Spoljašnji prečnik	10,3 mm	10,3 mm	22,5 mm	7,6 mm
Faktor skraćenja oko	0,66	0,66	0,66	0,83
Kapacitet pF/m	67	67	67	27
Slabljenje u dB/100 m				
10 MHz	2,3	2,0	1,0	–
100 MHz	7,5	6,3	3,5	–
200 MHz	11	9,2	5,1	–
500 MHz	18	16	9	–
800 MHz	24	21	13	–

Napomena

Kabl tipa 75–5–A naročito se preporučuje u vezi sa UVF prijemnim TV antenama, jer mu je slabljenje malo, a povoljna mu je i cena zbog toga što je oplet spoljašnjeg omotača štedljivo izveden.

Tabela 34.18

SIMETRIČNI VF KABL, OKLOPLJEN, PROIZVOĐAČ VEB-KABELWERK OBERSPREE BERLIN, NDR

Skraćena oznaka	120 D 10–1	240 D 5–2	240 D 6-1	240 D 10–3
Karakteristična impedanca Ω	120 ± 12	240 ± 20	240 ± 24	240 ± 20
Par unutrašnjih provodnika	Dve bakarne žice	Dve bakarne žice	Dve bakarne žice	Dve bakarne žice
Nominalni prečnik	2 × 1,4 mm	2 × 0,25 mm	2 × 0,4 mm	2 × 0,5 mm
Dielektrik	polietilen	polietilen pena	polistirol podupirači	polietilen sa vazd. prostor.
Nominalni prečnik	10,6 mm	4,4 mm	6,2 mm	10,0 mm
Spoljašnji provodnik	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet	Bakarni-oplet
Zaštitni omotač	plastika	plastika	plastika	plastika
Spoljašnji prečnik	14,0 mm	7,0 mm	9,0 mm	13,7 mm
Faktor skraćenja oko	0,65	0,82	0,82	0,82
Kapacitet pF/m	40	18	18	18
Slabljenje u dB/100 m				
10 MHz	2,1	–	4,3	3
100 MHz	6,8	–	15	9,5
200 MHz	9,6	–	21	15

Napomena

Kablovi tipa 120 D 10–1, 240 D 6–1 i 240 D 10–3 ne nalaze se više u proizvodnom programu

Tabela 34.19

SIMETRIČNI VF VODOVI, NEOKLOPLJENI, PROIZVOĐAČ VEB KABELWERK OBERSPREE BERLIN NDR

Skraćena oznaka	120 B 1–1	240 A 4–1	240 B 5–2	300 A 6–1
Karakteristična impedanca Ω	120 ± 18	240 ± 24	240 ± 24	300 ± 30
Par provodnika	Bakarne žice	Bakarne plete-nice	Bakarne plete-nice	Bakarne plete-nice
Nominalni prečnik	2 × 0,3 mm	2 × 0,9 mm	2 × 0,9 mm	2 × 0,9 mm
Razmak provodnika	1 mm	4,4 mm	4,8 mm	6,4 mm
Dielektrik	polietilen	polietilen	polietilen pena	polietilen
Širina	1,5 × 0,7 mm	6,6 mm	6,8 mm	8,6 mm
Faktor skraćenja oko	0,75	0,80	0,85	0,80
Kapacitet pF/m	38	16	17	13
Slabljenje u dB/100 m				
10 MHz	–	1,2	1,2	0,9
100 MHz	–	4,8	4,8	3,5
200 MHZ	–	7,6	7,6	5,9
500 MHz	–	15	15	9,5

Tabela 34.20

KOAKSIJALNI KABLOVI, STANDARDNI SOVJETSKI TIPOVI

Tip	Karakteristična impedanca Ω	Kapacitet pF/m	Prečnik unutrašnjeg provodnika mm	Spoljašnji prečnik mm	Slabljenje u Np/km na 45 MHz	200 MHz	3000 MHz
PK 19	50	115	0,7			34,6	230
PK 119	50	115	0,7			34,6	230
PKTΦ 19	50	105	0,7			34,6	230
PK 55	50	110	0,9			28,8	196
PK 159	50	110	0,9			28,8	196
PKTΦ 29	50	106	1,0			28,8	196
PK 29	50	110	1,4				161
PK 129	50	110	1,4				161
PK 28	50	115	2,3				144
PK 128	50	115	2,3				144
PKTΦ 47	50	106	2,5			17,3	127
PK 147	50	115	2,3			19,6	144
PK 47	50	115	2,8			19,6	144
PK 48	50	115	3,4			13,8	86,5
PK 148	50	115	3,4			13,8	86,5
PKTΦ 48	50	106	3,6			13,8	104
PK 61	50	115	4,5	15,0	4,6		127
PK 6	52	101	2,6	9,0	6,0		86,5
PK 106	53	102	2,6	9,0	5,8		104
PKTΦ 6	52	101	2,6	8,0			127
PK 3	74	70	1,4	9,0	5,4		92
PK 103	74	71	1,4	9,0	5,8		104
PK 4	74	70	1,4	9,0	8,0		369
PK 104	74	71	1,4	9,0	8,1		104
PK 1	75	76	0,7			21,0	150
PK 101	75	76	0,7			21,0	150
PKTΦ 1	75	70	0,8			21,0	150
PK 49	75	76	0,8			23,0	173
PK 149	75	76	0,8			23,0	173
PKTΦ 49	75	70	0,9			17,3	144
PK 20	75	76	1,1			17,3	127
PK 120	75	78	1,2			17,3	127
PKTΦ 3	75	70	1,3			13,8	115
PKTΦ 20	75	70	1,4			17,3	127
PK 160	75	75	2,0	13,0			104
PK 62	75	70	2,2	15,0	4,0		92
PK 8	75	68	2,7	18,0			
PKTΦ 56	77	50	0,6	5,0	11,5		156
PK 156	83	48	0,6	4,0	10,4		150
PKTΦ 50	100	37	0,3	6,0	9,2		115
PK 2	100	57	0,6			16,1	98
PKTΦ 2	100	50	0,7			17,3	127
PK 50	150	27	0,3	6,0	8,5		97
PK 150	150	27	0,3	6,0	5,8		97

Tabela 34.21

KOAKSIJALNI KABLOVI, STANDARDNI AMERIČKI TIPOVI

Norma	RG-5/U	RG-6/U	RG-8/U RG-8A	RG-11/U RG-11A/U	RG-13/U RG-12A/U	RG-14/U	RG-17/U
Karakteristična impedanca u Ω	52,5	76	52	75	74	52	50
Prečnik unutrašnjeg provodnika u mm	1,3	0,72	7 × 0,7 licna	7 × 0,4 licna	7 × 0,4 licna	2,6	4,8
Spoljašnji prečnik u mm	8,5	8,5	10	10	10,7	14	22
Dielektrik*	PE	PE	PE	PE	PE	PE	PE
Kapacitet pf/m	94	66	97	67	67	97	97
Faktor skraćenja	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Slabljenje dB/100 m							
kod 10 MHz	2,9	2,9	2,9	1,7	1,7	1,3	0,8
kod 30 MHz	4,9	4,9	3,8	4,2	4,2	3,8	1,7
kod 100 MHz	9,8	9,8	7,9	7,5	7,5	4,6	3,6
kod 200 MHz	14,8	14,8	12,5	9,8	9,8	7,5	5,6
kod 500 MHz	23	23	18	16	16	13,2	9,8

Norma	RG-19/U	RG-55/U RG-58B/U	RG-58/U RG-58B/U	RG-58A/U RG-58C/U	RG-59/U RG-59B/U	RG-62/U RG-71/U	RG-63/U RG-63B/U
Karakteristična impedanca u Ω	50	50	53,5	50	73	93	125
Prečnik unutrašnjeg provodnika u mm	6,35	0,9	0,81	19 × 0,18	0,65	0,65	0,65
Spoljašnji prečnik u mm	28,5	5,23	8,4	5,1	6,2	6,2	10,3
Dielektrik*	PE	PE	PE	PE	PE	PE pena	PE pena
Kapacitet pF/m	97	94	93,5	98	69	48	35
Faktor skraćenja	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,84	0,82
Slabljenje dB/100 m							
kod 10 MHz	0,46	4,26	5,6	5,6	3,6	2,6	2,0
kod 30 MHz	1,0	8,2	9,8	9,8	6,2	4,9	3,6
kod 100 mhz	2,3	14,7	19,7	19,7	12,5	9,2	6,2
kod 200 MHz	3,3	23	29,5	29,5	19	12,5	9,2
kod 500 MHz	6,6	33	53	53	32	19	14,2

*PE = polietilen

Tabela 34.22

DVOŽIČNI VOD SA DIELEKTRIKOM OD SINTETIČKOG MATERIJALA, STANDARDNI AMERIČKI TIPOVI (AMPHENOL)

Tip	Karakteristična impedanca Ω	Faktor skraćenja	Prečnik provodnika mm	Slabljenje u Np/km na 7 MHz	30 MHz	150 MHz	400 MHz
14-080	75	0,68	7 × 0,32	7,9	15,8	35,9	53,8
14-023	75	0,71	7 × 0,7	1,9	5,7	18,5	
14-079	150	0,77	0 × 0,32	2,5	5,7	12,8	20,8
14-056	300	0,82	7 × 0,32	1,1	2,3	5,9	10,2
14-100	300	0,82	7 × 0,32	1,1	2,3	5,9	10,2
14-271	300	0,82	7 × 0,32	1,1	2,3	5,9	10,2
14-185	300	0,82	7 × 0,4	0,8	2,0	5,1	9,4
14-076	300	0,82	7 × 0,4	0,8	1,9	4,8	8,3
14-022	300	0,82	1,3	0,6	1,4	3,8	6,8

Literatura

Ajsenberg, G.S.: Kurzwellenantennen, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1954.

Auerbach, R.: Amateurfunk-Antennen, Franzis-Verlag, Muenchen 1977.

Baumgartner, R.: Die HB9CV Richtstrahlantenne, Koernersche Druckerei und Verlagsanstalt, Gerlingen-Stuttgart 1961.

Beckmann, B.: Die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen, 2. izdanje, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1948.

Beckmann, P.: Die Ausbreitung der ultrakurzen Wellen, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1063.

Cordes: Messtechnik fuer Funkamateure, Fresh-Verlag, Stuttgart 1967.

Diefenbach, W. W.: Amateurfunk-Handbuch, 9. izdanje, Franzis-Verlag, Muenchen 1972.

Dombrowski, I.A.: Antennen, VEB Verlag Technik, Berlin

Fiebranz, A.: Antennenanlagen fuer Rundfunk-und Fernsehempfang, Verlag fuer Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin 1961.

Hellbarth, H.: Transistortechnik fuer Kurzwellenamateure, Deutsche Philips GmbH, Hamburg 1967.

Jasik, H.: Antenna Engineering Handbook, prvo izdanje McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London 1961.

Jessop/Miere: VHF–UHF–MANUAL, RSGB-Radio Society of Great Britain, London 1969.

Kneitel, T.: Antenna Roundup, deo 2., Cowan Publishing Corp., Port Washington, New York 36, N. Y. 1966.

Lickfeld, K. – G.: UHF-und UHF-Richtantennen, deo I, deo II, Telekosmos-Verlag, Stuttgart 1964.

Megla, G.: Dezimeterwellentechnik, 5. izdanje, VEB Verlag Technik, Berlin 1961.

Meinke, H.H. (Gundlach, F. W.: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, Springer–verlag, Berlin und Heindelberg 1968-

Orr, W. I.: All Abount Cubical Quad Antennes, 2. izdanje, Radio Publications, Inc., Wilton

Orr, W. I.: Beam antenna handbook, 2. izdanje, Radio Publications, Inc., Wilton 1965.

Orr, W.I.: The Radio Handbook, 16. izdanje, Editors and Engineers, Ltd. Summerland, California, 1962.

Orr, W. I. / Johnson, H. G.: VHF-Handbook, Radio Publications, Inc., Wilton, Conn.

Oxley, G. C. / Nowak, A.: Antennentechnik, 2. izdanje, Fachbuchverlag Siegfried Schuetz, Hannover 1957.

Reithofer, J.: UHF-Amateurfunk-Antennen, Franzis-Verlag, Muenchen 1977.

Rhateliffe: Radio Handbook, 51. izdanje 1974.

Rhatcliffe: Sonne, Erde, Radio, Die Erfoschung der Ionosphaere, Fischer-Verlag, Ffm.

Rint, C.: Handbuch fuer Hocnfrequenz-und Elektrotechniker, deo II, Verlag fuer Radio-Foto-Kinotechnik GmBH, Berlin 1953.

Rothe, G./Spindler, E.: Antennenpraxis, 2. izdanje, VEB Verlag Technik, Berlin 1968.

Schaap, J.: Kleine Kurzwellenamateur-Lehre, Deutsche Philips GmBH, Hamburg 1964.

Schroeder, H.: Elektrische Nachrichtentechnik, 3 dela, Verlag fuer Radio-Foto-Kinotechnik GmBH, Berlin 1959 – 1972.

Schultheiss, K.: Der Kurzwellen–Amateur, 13. prerađeno izdanje, Telekosmos-Verlag, Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1977.

Schultheiss, K.: Der Ultra-Kurzwellen-Amateur, Telekosmos-Verlag, Franckh-sche Verlagshandlung, Stuttgart 1959.

Schure, A.: Antennen, VEB Verlag Technik, Berlin 1961.

Schure, A.: HF-Uebertragungsleitungen, VEB Verlag Technik, Berlin 1962.

Seindmann, A.: Antenna Roundup, Cowan Publishing Corp., Port Washington, New York 36, N. Y. 1963.

Sjobbema, D. J. W.: Antennes, N. V. Uitgeversmaatschappij Centrex, Eindhoven 1963.

Spindler, E.: Antennen, VEB Verlag Technik, Berlin 1968.

Spindler, E.: Rundfunkempfang im Auto, VEB Verlag Technik, Berlin 1973.

Streng, K. K.: UHF-Fernsehempfang, VEB Verlag Technik, Berlin 1962.

Taeger, W.: UKW-und Fernseh-Empfangsantennen, VEB Verlag Technik, Berlin 1961.

– Radio Communication Handbook, Vol. 2, peto izdanje, RSGB, London 1977.

– The Amateur Radio Handbook, treće izdanje, London, W. C. 1, 1962.

– the ARRL Antenna Book, 13. izdanje, West Hartford, Newington, Conn. 06111 USA

– The Radio Amateurs Handbook, Newington, Conn., izlazi svake godine.

– TV-en FM-Antennes, 4. izdanje, Uitgeverij WIMAR, Haarlem 1960.

Vastenhoud, J.: Kurzwellen-Empfangspraxis, Deutsche Philips GmbH, Hamburg 1972.

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

Sadržaj

PREDGOVOR ... 5

(PREDGOVOR DEVETOM NEMAČKOM IZDANJU ... 7

1. ELEKTROMAGNETNE OSCILACIJE ... 9

1.1. Elektromagnetno polje ... 10
1.1.1. Električno polje ... 10
1.1.2. Magnetno polje ... 11
1.1.3. Međusobne zavisnosti električnog i magnetnog polja ... 11
1.1.4. Naizmenično elektromagnetno polje ... 11
1.1.5. Ravanski talasi ... 12
1.1.6. Jačina polja ... 13
1.1.7. Polarizacija elektromagnetnih talasa ... 13
1.1.8. Refleksija, refrakcija i difrakcija ... 14

2. PROSTIRANJE ELEKTROMAGNETNIH OSCILACIJA ... 15

2.1. Zemljina atmosfera ... 15
2.1.1. Troposfera ... 15
2.1.2. Stratosfera ... 15
2.1.3. Jonosfera ... 16
2.2. Površinski talas i prostorni talas ... 17
2.2.1. Prostiranje prizemnog talasa ... 17
2.2.2. Prostiranje prostornog talasa ... 17
2.2.2.1. Kritična frekvencija i MUF ... 19
2.2.2.2. Slabljenje prostornih talasa ... 20
2.3. Prostiranje kratkih talasa i njihove specifičnosti ... 20
2.3.1. Sunčeva aktivnost ... 20
2.3.1.1. Solarno zračenje elektromagnetnih talasa ... 20
2.3.1.2. Sunčev vetar ... 21
2.3.1.3. Sunčeve pege ... 22
2.3.2. Sunčeva aktivnost i jonosfera ... 22
2.3.2.1. Sastav i karakteristike neometane jonosfere ... 23
Sloj F ... 23
Sloj E ... 24
Sloj D ... 24
2.3.2.2. Jonosferske smetnje ... 24
SID (Iznenadne jonosferske smetnje) ... 25
Jonosferske oluje ... 25
Sporadični sloj E (sloj Es) ... 26
2.3.3. Opšte važeća pravila prostiranja u kratkotalasnim amaterskim opsezima ... 27
2.3.3.1. Prostiranje u amaterskom opsegu od 80 metara ... 27

2.3.3.2. Prostiranje u amaterskom opsegu od 40 metara ... 27
2.3.3.3. Prostiranje u amaterskom opsegu od 20 metara ... 28
2.3.3.4. Prostiranje u amaterskom opsegu od 15 metara ... 28
2.3.3.5. Prostiranje u amaterskom opsegu od 10 metara ... 28
2.4. Prostiranje ultrakratkih talasa i njihove specifičnosti ... 28
2.4.1. Kvazioptičko prostiranje ultrakratkih talasa ... 29
2.4.2. Povećani dometi ultrakratkih talasa ... 29
2.4.2.1. Povećani dometi uslovljeni troposferom ... 29
2.4.2.2. Povećani dometi usled prenosa raspršenim zračenjem (SKETER) ... 31
2.4.2.3. Refleksija ultrakratkih talasa od meteorskih putanja (METEORSKETER) ... 31
2.4.2.4. Refleksija ultrakratkih talasa od polarne svetlosti ... 32
2.4.2.5. Refleksija ultrakratkih talasa od sporadičnog sloja *E* ... 32
2.4.2.6. Prostiranje UKT pomoću refleksija od meseca i satelita ... 33

3. NAČIN RADA I KARAKTERISTIKA ANTENE ... 35

3.1. Polutalasni dipol ... 35
3.1.1. Raspodela struje i napona u polutalasnom dipolu ... 35
3.1.2. Impedanca antene ... 36
3.1.3. Otpornost zračenja ... 37
3.1.4. Polutalasni dipol kao oscilatorno kolo ... 37
3.1.5. Faktor skraćenja ... 39
3.1.6. Efektivna dužina (efektivna visina) polutalasnog dipola ... 40
3.2. Usmerenost i pojačanje antena ... 41
3.2.1. Karakteristika zračenja ... 42
3.2.2. Karakteristike zračenja polutalasnog dipola ... 44
3.2.2.1. Promene karakteristike usmerenosti horizontalnih antena usled uticaja okoline ... 44
3.2.2.2. Promene karakteristike usmerenosti vertikalnih antena usled uticaja okoline ... 47
3.2.3. Pojačanje antene ... 48
3.2.3.1. Definicija pojačanja ... 48
3.2.3.2. Referentne antene ... 50
3.2.3.3. Međusobna zavisnost pojačanja i usmerenosti ... 50

4. OBLICI DIPOLA ... 55

4.1. Savijeni dipoli ... 55
4.2. Jednotalasni dipoli ... 59
4.3. Širokopojasni dipoli ... 60

5. NAPAJANJE ANTENA ... 62

5.1. Vodovi za napajanje ... 62
5.1.1. Karakteristična impedanca ... 62
5.1.1.1. Dielektrik VF vodova ... 63
5.1.1.2. Određivanje karakteristične impedance jednostavnim merenjima ... 66
5.1.2. Vodovi sa paralelnim provodnicima ... 66
5.1.3. Koaksijalni kablovi ... 68
5.1.4. Slabljenje VF kablova ... 68
5.1.5. Uputstva za korišćenje VF vodova ... 70
5.1.6. Označavanje VF vodova ... 71
5.1.7. Jednožilni talasovod (*Goubauov* vod) ... 72
5.2. Fizičke osobine VF vodova ... 75
5.2.1. Raspodela napona duž dvožičnog voda ... 76

5.2.2. Dodatni gubici snage zbog stojećih talasa ... 78
5.2.2.1. Gubici snage usled zračenja voda za napajanje ... 81
5.2.3. Dvožični vod kao element za podešavanje ... 82
5.3. Vrste napajanja ... 84
5.3.1. Vod za napajanje čija je karakteristična impedanca jednaka impedanci antene (prilagođeni vod) ... 85
5.3.2. Vod za napajanje čija je impedanca podešena na impedancu antene ... 86

6. ELEMENTI ZA PRILAGOĐENJE I TRANSFORMACIJU ... 90

6.1. Delta-prilagođenje ... 90
6.2. T-prilagođenje ... 91
6.3. Gama-prilagođenje ... 92
6.4. Omega-prilagođenje ... 93
6.5. Četvrttalasni transformator (Q-prilagođenje) ... 94
6.6. Četvrttalasni vod za prilagođenje (prilagodni ogranak) ... 96
6.6.1. Nesimetrični prilagodni ogranak ... 101
6.7. Prilagođenje sa koncentrisanim sastavnim delovima ... 102
6.7.1. *Bušerov* most kao element za prilagođenje ... 103
6.7.2. *Zefridov* transformacioni član ... 104
6.8. Improvizovane metode antenskog prilagođenja ... 104

7. TRANSFORMATORI ZA SIMETRIRANJE ... 106

7.1. Četvrttalasni lonac za simetriranje ... 106
7.2. *Pozijev* element za simetriranje ... 107
7.3. *EMI*-petlja ... 107
7.4. Simetriranje kratkospojenim kablom ... 107
7.5. Polutalasna koaksijalna petlja za simetriranje ... 108
7.6. Balun-vod ... 108
7.7. Namotani dvožični vod kao transformator za simetriranje ... 109
7.7.1. Namotani dvožični vod kao transformator za simetriranje i promenu impedance ... 109
7.7.2. Balun-transformator sa prstenastim jezgrom ... 110
7.8. Koaksijalna dvostruka prigušnica kao transformator za simetriranje ... 112

8. SPREGA NAPOJNOG VODA SA IZLAZNIM STEPENOM PREDAJNIKA ... 114

8.1. Sprega prilagođenih napojnih vodova sa izlaznim stepenom predajnika ... 115
8.1.1. Sprega koaksijalnih kablova ... 115
8.1.1.1. Proračun kolinsovog filtra ... 117
8.1.1.2. Sprega koaksijalnih kablova sa UKT izlaznim stepenima ... 118
8.1.2. Sprega simetričnih, prilagođenih napojnih vodova *za napajanje* ... 119
8.2. Sprega podešenih napojnih vodova sa izlaznim stepenom predajnika ... 120
8.3. Industrijski proizvedeni antenski prilagođivači ... 124
8.4. Opšte preporuke o korišćenju antenskih prilagođivača ... 125

9. KRATKOTALASNE ANTENE U PRAKSI ... 128

10. OBLICI POLUTALASNIH ANTENA ... 130

10.1. Dipoli za jedan opseg ... 130
10.1.1. Y antena ... 130
10.1.2. Polutalasni dipol sa upredenim napojnim vodom ... 130
10.1.3. Dipol sa napajanjem pomoću kabla ... 131
10.1.4. Savijeni dipol ... 131
10.2. Polutalasne antene za rad na više opsega ... 132

10.2.1. Cepelin-antena ... 132
10.2.1.1. Cepelin-antena za sve opsege ... 133
10.2.1.2. Dupli cepelin ... 133
10.2.2. *Vindoomova* antena ... 134
10.2.3. *Vindomove* antene za više opsega ... 136
10.2.3.1. *Vindomove* antene za više opsega sa simetričnim napajanjem ... 137
10.2.4. Prilagođena antena za tri opsega koja se napaja koaksijalnim kablom ... 140
10.2.5. Prilagođeni dipol za sve opsege ... 140
10.2.6. Antene za sve opsege napajana koaksijalnim kablom ... 141
10.2.7. Antena za više opsega po amateru *G5RV* ... 142
10.2.8. Antena za sve opsege po amateru *W3DZZ* ... 143
10.3. Dipol antene koje omogućavaju uštedu prostora ... 145
10.3.1. T-antena za dva opsega ... 146
10.3.2. Dipoli sa paralelno složenim horizontalnim žicama za opsege od 80, 40 i 15 m ... 147
10.3.3. Skraćeni dipoli za opsege od 80 i 40 m ... 147
10.3.4. Žičana piramida ... 148
10.4. Ugaoni dipoli sa kružnim zračenjem ... 151
10.4.1. Jednotalasni ugaoni dipol ... 151

11. DUGAČKE ŽICANE ANTENE ... 153

11.1. L-antena kao antena za sve opsege ... 156
11.2. *Fuksova* antena ... 158
11.3. Antena za sve opsege po amateru *DL7AB* ... 158
11.4. V-antena ... 159
11.4.1. V-zvezda ... 160
11.4.2. V-antene postavljene jedna iznad druge ... 162
11.4.3. Jednopolna V-antena sa krakom savijenim pod tupim uglom ... 162
11.5. Otvorena romb-antena ... 163

12. APERIODICNE ANTENE ... 164

12.1. Zaključene dugačke žičane antene (antene progresivnih talasa) ... 164
12.2. Antena T2FD (zaključeni kosi savijeni dipol) ... 166
12.3. Zaključene V-antene ... 167
12.4. Zaključene romb-antene ... 168
12.4.1. Napajanje romb-antene ... 169
12.4.2. Završni otpornik ... 169
12.4.3. Konstrukcija romb-antene ... 170
12.4.4. rad na više opsega ... 172
12.4.5. Specijalni oblici romb-antene ... 172

13. KOMBINACIJE DIPOLA SA POBUDOM U FAZI (HORIZONTALNE ANTENE) ... 173

13.1. Niz dipola (kolinearni dipoli) ... 173
13.2. Dipoli postavljeni jedan iznad drugog ... 175
13.3. Grupe dipola ... 176
13.4. Praktični oblici usmerenih žičanih antena ... 177
13.4.1. Dvostruki dipol ... 177
13.4.2. *Franklinova* antena ... 178
13.4.3. Antena u obliku položenog slova H (antena lejzi ejč) ... 179
13.4.3.1. Dvoetažni ugaoni jednotalasni dipol ... 181
13.4.3.2. Kvadratna antena (*biskver*-antena) ... 181
13.4.3.3. Antena siks šuter ... 183
13.4.3.4 *Šterba*-antene ... 183

14. DIPOLI SA UZDUŽNIM ZRAČENJEM ... 185

14.1. Usmerene antene po amateru *W8JK* ... 186
14.1.1. Antene *W8JK* sa elementima u obliku savijenog dipola ... 188
14.2. Antene sa uzdužnim zračenjem i jednostranom karakteristikom usmerenosti ... 189
14.2.1. Jednostrano usmerena specijalna ZL-antena ... 189
14.2.2. Jednostrano usmerena antena po amateru *HB9CV* (švajcarska antena) ... 190
14.2.3. Jednostrano usmerena antena sa dva elementa i mogućnošću promene smera zračenja ... 192

15. USMERENE ANTENE SA JEDNOTALASNIM PETLJAMA ... 194

15.1. *Kvad*-element ... 194
15.2. Pravougaone antene (Oblong) ... 196
15.3. Delta-element ... 197
15.4. Jednotalasne petlje sa reflektorima ... 198
15.4.1. Kvadrat-antena sa jednostrano usmerenim zračenjem – *Kjubikal-kvad* ... 198
15.4.2. Obruč-antena sa jednostrano usmerenim zračenjem – *Ringbim* (Ringbeam) ... 202
15.4.2.1. *Ringbim* sa dva elementa ... 202
15.4.2.2. *Ringbim* sa tri elementa ... 203
15.4.3. Kavez-antena po G4ZU ... 203
15.4.4. Svajcarska kvad-antena ... 205
15.4.4.1. Uputstva za izgradnju švajcarske *kvad*-antene ... 207
15.4.5. Usmerene delta-antene ... 209
15.4.5.1. Jednostrano usmerena delta-antena za opsege od 10 i 15 m ... 209

16. OBRTNE USMERENE ANTENE SA PARAZITNIM USMERAVAJUCIM ELEMENTIMA ... 212

16.1. O ekonomičnosti obrtnih usmerenih antena ... 214
16.2. Horizontalna obrtna usmerena antena sa dva elementa ... 216
16.3. Horizontalne *jagi*-antene sa tri elementa ... 217
16.4. Napajanje obrtnih usmerenih antena ... 219
16.5. Nosač antene ... 219
16.6. Pričvršćivanje usmerene antene na antenski jarbol ... 220
16.7. Drvene konstrukcije horizontalnog nosača elemenata antene ... 220

17. USMERENE ANTENE SA SKRACENIM ELEMENTIMA ... 225

17.1. Minijaturna jednostrano usmerena antena po amateru *VK2AOU* ... 223
17.2. Mijaturna jednostrano usmerena antena po amateru *W8YIN* ... 225
17.3. Skraćena obrtna usmerena antena sa ribolovačkim štapovima za opseg od 10 m ... 226

18. USMERENE ANTENA ZA VISE OPSEGA ... 228

18.1. Obrtna usmerena antena za tri opsega po amateru *G4ZU* ... 228
18.1.1. Napajani antenski element ... 228
18.1.2. Pasivni elementi antene za više opsega ... 231
18.1.3. Kompletan prikaz usmerene mini-antene za tri opsega, po amateru *G4ZU* ... 232
18.1.4. Usmerena mini-antena za tri opsega po amateru *G4ZU* koju je jednostavno izraditi ... 233
18.1.5. Izmenjena usmerena mini-antena za tri opsega, po amateru *G4ZU* ... 235
18.2. Usmerena mini-antena za tri opsega po amateru *VK2AOU* ... 236
18.2.1. Dimenzionisanje sastavnih delova ... 237
18.2.2. Podešavanje ... 238

18.3. Usmerena mini-antena za tri opsega po amateru *DL1FK* (nemački patent Nr. A 30652) ... 239
18.3.1. Aktivni element antene ... 240
18.3.2. Napajanje ... 241
18.3.3. Pasivni elementi antene ... 241
18.3.4. Podešavanje ... 243
18.4. Usmerena antena za tri opsega po amateru *W3DZZ* ... 243
18.4.1. Način rada ... 244
18.4.2. Praktično rešenje ... 245
18.5. Kombinovane *jagi*-antene za opsege od 20 m i 15 m ... 246
18.5.1. *Jagi*-antena za opsege od 20 m i 15 m po amateru *KH6OR* ... 246
18.5.2. *Jagi*-antena za opsege od 20 m i 15 m po amateru *W8FYR* ... 247
18.6. Kombinovane *jagi*-antene za opsege od 15 m i 10 m ... 247
18.7. Jednostavne kompromisne antene za više opsega ... 248
18.7.1. Antena *Marija-maluka* za tri opsega ... 248
18.7.2. Jednostavni oblici antena za dva opsega ... 249
18.8. Antena kjubikal kvad za tri opsega ... 250
18.8.1. *Kvad* za tri opsega po amateru *W4NNQ* ... 250
18.8.1.1. Antenski elementi ... 251
18.8.1.2. Napajanje ... 252
18.8.1.3. Podešavanje ... 253
18.8.2. *Kvad CQ–PA* za tri opsega ... 253
18.8.3. Zategnuti *kvad* za tri opsega po amateru *DM2ARD* ... 256
18.8.3.1. Noseci deo ... 257
18.8.3.2. Proračun dimenzija ... 257
18.8.3.3. Uputstva za izgradnju i odrzavanje ... 258
18.9. *Kvad* za tri opsega sa jednim parom antenskih elemenata, po amateru *VK2AOU* ... 259
18.9.1. Električna koncepcija *kvada* za tri opsega ... 259
18.9.2. Predlog konstrukcije po amateru *VK2AOU* ... 261
18.9.3. Podešavanje *kvad*-antene za tri opsega ... 262
18.10. *Kvad*-antene za više opsega sa direktorima ... 263
18.10.1. *Kvad*-antena za tri opsega sa četiri elementa ... 264
18.10.2. *Kvad*-antena za tri opsega sa četiri odnosno pet elemenata ... 265
18.10.3. *Kvad*-antena za tri opsega sa tri, četiri, odnosno pet elemenata za tri opsega ... 266
18.10.4. *Kvad*-antena za tri opsega sa pet, odnosno sedam elemenata, po amateru *W7KAR* ... 267
18.11. Delta antene za više opsega ... 268
18.11.1. Kombinovane delta antene za više opsega ... 268
18.11.2. Skraćena usmerena delta antena za dva opsega sa jednostavnim antenskim elementima ... 269
18.11.3. Usmerena delta antena za tri opsega ... 270
18.11.4. Delta kombinacija za više opsega ... 270
18.12. Kavez-antena za tri opsega ... 272

19. KRATKOTALASNE ANTENE SA VERTIKALNOM POLARIZACIJOM ... 275

19.1. Dobro uzemljenje ... 275
19.2. Karakteristike četvrttalasnih vertikalnih antena ... 278
19.3. Karakteristike zračenja vertikalnih antena ... 279
19.4. Oblici vertikalnih antena sa kružnim zračenjem ... 280
19.4.1. Vertikalna antena sa mrežom horizontalnih protivtegova (*graundplejn*-antena) ... 280
19.4.1.1. Uzemljena *graundplejn*-antena ... 283

19.4.1.2. Tronožna antena ... 283
19.4.1.3. *Graundplejn*-antena sa više provodnika ... 284
19.4.1.4. Napomene o dimenzionisanju jednostavnih *graundplejn* antena ...
19.4.1.5. Produžena *graundplejn*-antena ... 287
19.4.1.6. Skraćena *graundplejn*-antena ... 287
19.4.1.7. *Graundplejn*-antena sa kapacitivnim opterećenjem ... 289
19.4.2. Vertikalna polutalasna antena i nizovi dipola ... 290
19.4.2.1. Polutalasni vertikalni dipol ... 290
19.4.2.2. Vertikalne polutalasne antene sa napajanjem na kraju ... 291
19.4.2.3. Nizovi vertikalnih dipola sa napajanjem na kraju ... 292
19.5. Usmerene antene sa vertikalnom polarizacijom ... 293
19.5.1. Vertikalna antena sa dva elementa ... 293
19.5.2. Vertikalna antena sa dva elementa koji se mogu menjati ... 294
19.5.3. Vertikalna antena sa promenljivim smerom usmerenosti *QH-bim* ... 295
19.6. Antene sa vertikalnom polarizacijom za rad na više opsega ... 297
19.6.1. *Graundplejn*-antene za tri opsega sa preklapanjem ... 297
19.6.2. *Graundplejn* antena za četiri opsega bez preklopnika ... 298
19.6.3. Vertikalna antena T2FD za više opsega ... 300
19.6.4. *Graundplejn* antene za više opsega sa mogućnošću uključivanja odgovarajuće produžne zavojnice ... 300
19.6.5. Vertikalne antene sa kolima za više opsega ... 303
19.6.5.1. *Graundplejn* antena sa kolima za opsege od 10 m, 15 m i 20 m ... 304
19.6.5.2. Graundplejn antena sa kolom za opsege od 80 i 40 m ... 305
19.7. Antene DDRR ... 306

20. IZBOR POGODNE KRATKOTALASNE ANTENE ... 311

20.1. Najbolja antena za DX lovca ... 311
20.2. Značaj podataka o pojačanju ... 312

21. ANTENE ZA ULTRAKRATKE TALASE ... 314

21.1. Polarizacija UKT antena ... 314
21.2. Napomene o izgradnji i korišćenju UKT antena ... 315
21.3. Izbor pogodne UKT antene ... 316
21.4. Istina o UKT antenama ... 317

22. ANTENE SA UZDUŽNIM ZRAČENJEM ZA OPSEG OD 2 m ... 319

22.1. Usmerene antene sa dva elementa ... 319
22.1.1. Antene sa aktivnim elementom i reflektorom ... 319
22.1.2. Antena za opseg od 2 m po amateru *HB9CV* ... *319*
22.2. *Kratke jagi*-antene ... 320
22.2.1. *Jagi*-antene sa tri elementa ... 322
22.2.2. *Jagi*-antena sa šest elemenata ... 323
22.2.3. *Jagi*-antena sa devet elemenata ... 323
22.3. Dugačke *jagi*-antene ... 324
22.3.1. Dugačka *jagi*-antena sa šest elemenata i optimalnim pojačanjem ... 325
22.3.2. Dugačka *jagi*-antena sa devet elemenata ... 326
22.3.3. Dugačka *jagi*-antena sa deset elemenata ... 327
22.3.4. Dugačka *jagi-antena sa 11 elemenata* ... *327*
22.3.5. *Kvad-jagi*-antene ... 328
22.4. *Jagi*-antene u etažama ... 329
22.4.1. Razmak etaža ... 329
22.4.2. Napajanje etažnih *jagi*-antena ... 331
22.4.3. Etažne *jagi*-antene »6 iznad 6« po amateru *OH2EW* ... 332

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs

22.4.4. Etažna kratka *jagi*-antena »4 iznad 4« 333
22.4.5. Etažne *jagi*-antene »4 iznad 4« po amateru *DL3FM* 333
22.4.6. *Jagi*-antena u četiri nivoa »4 iznad 4 iznad 4 iznad 4« 334
22.4.7. Etažne dugačke *jagi*-antene 336
22.4.7.1. Dugačka *jagi*-antena u dva nivoa »5 iznad 5« 337
22.4.7.2. Jednosmerno usmerena antena za opseg od 2 m amatera *DL7KM* 337

23. GRUPNE ANTENE ZA OPSEG OD 2 m 341

23.1. Napajanje grupnih antena 342
23.2. Grupne antene sa reflektorima 346
23.3. Grupne antene sa reflektorskom mrežom 346
23.4. Grupne antene u praksi 347
23.4.1. Grupna antena sa 12 elemenata 348
23.4.2. Grupna antena sa 16 elemenata 349
23.4.3. Grupna antena po principu amatera *HB9CV* 351

24. *JAGI*-ANTENE I GRUPNE ANTENE ZA AMATERSKI OPSEG OD 70 cm 354

24.1. *Jagi*-antena sa četiri elementa i velikom širinom opsega 354
24.2. *Jagi*-antena sa četiri elementa i gama-prilagođenjem 355
24.3. Jagi-antena sa šest elemenata za 435 MHz 356
24.4. Dugačka *jagi*-antena sa devet elemenata 356
24.5. Dugačka *jagi*-antena sa 15 elemenata po amateru *DLØSZ* 357
24.6. Dugačka *jagi*-antena sa 15 elemenata po amateru *WØEYE* 357
24.7. Širokopojasna dugačka *jagi*-antena sa 18 elemenata 358
24.8. Grupna antena od 12 elemenata za opseg od 70 cm 359

25. ANTENE SA KRUŽNIM ZRAČENJEM ZA VVF I UVF 361

25.1. UKT antene sa kružnim zračenjem i vertikalnom polarizacijom 361
25.1.1. Koaksijalna antena 361
25.1.2. Vertikalna polutalasna antena 362
25.1.3. Antena od 5/8 λ 364
25.1.4. Širokopojasna diskon-antena sa kružnim zračenjem 364
25.1.5. Antena DDRR za 145 MHz 365
25.1.6. Vertikalno polarizovane antene sa kružnim zračenjem, postavljene jedna iznad druge 365
25.2. UKT antene sa kružnim zračenjem i horizontalnom polarizacijom 368
25.2.1. Prstenasti dipol (halo-antena) 368
25.2.2. Ugaoni savijeni dipol 369
25.2.3. Ukršteni dipol 370
25.2.4. Betving-antena 371
25.2.5. Antena u obliku malteškog krsta 372
25.2.6. Antena »veliki točak« (The Big Wheel) 373
25.2.7. Dvostruka helikoidalna antena sa kružnim zračenjem 377
25.2.8 Dvostruka *kvad*-antena sa kružnim zračenjem po amateru *DL7QZ* 377

26. SPECIJALNI OBLICI VVF I UVF ANTENA 381

26.1. Površinski dipoli i njihove kombinacije 381
26.1.1. Dipol-antena u obliku leptira 381
26.1.2. Lepezasti dipol 382
26.1.3. Pojednostavljena rog-antena 383
26.2. Antene sa reflektorskim zidom 384
26.2.1. Širokopojasne antene sa reflektorskim zidom 385

26.2.2. Širokopojasni dipoli u više etaža sa reflektorskim zidom 386
26.2.3. Dipol sa ugaonim reflektorom 387
26.3. Specijalni oblici antena sa uzdužnim zračenjem 389
26.3.1. Bekfajer-antena 390
26.3.2. Logaritamsko-periodične antene 391
26.4. Prorez-antene 399
26.5. Antene sa kružnom polarizacijom 400
26.5.1. Helikoidalna antena 401
26.5.2. *Jagi*-antene sa kružnom polarizacijom 405

27. OBLICI KRATKOTALASNIH ANTENA U VVF i UVF OPSEGU 412

27.1. V-antene za UVF opseg u više etaža 412
27.2. Romb-antene u VVF i UVF području 413
27.3. *Kjubikal-kvad* za UKT 415
27.3.1. Jednostavni *kjubikal-kvad* 415
27.3.2. *Kjubikal-kvad* u više etaža 416
27.3.3. *Kvad*-grupa za opseg od 2 m 417
27.3.4. Hibridni dvostruki *kvad* po amateru DL7KM 418
27.3.5. Niz od 4 *kvada* 420
27.4. *Ringbim* za UKT područje 421

28. AMATERSKE ANTENE ZA KORIŠĆENJE U POKRETU 423

28.1. Prenosne antene 423
28.2. Prevozne KT antene 424
28.2.1. Mehaničko rešenje skraćenih vertikalnih antena 424
28.2.2. Električne karakteristike skraćenih vertikalnih antena 425
28.2.2.1. Produžne zavojnice za skraćene četvrttalasne antene 426
28.2.2.2. Prilagođenje skraćenih vertikalnih antena na napojni vod 428
28.2.2.3. Podaci o dimenzijama mehanički skraćenih prevoznih antena 430
28.2.2.4. Skraćene vertikalne antene sa raspodeljenom induktivnošću u vidu antene zavojnice 432
28.3. UKT antene za rad u pokretu 434
28.3.1. Prevozne UKT antene sa vertikalnom polarizacijom 434
28.3.2. Prevozne UKT antene sa horizontalnom polarizacijom 435
28.4. Antene za »lov na lisicu« 435
28.4.1. Goniometarske antene za opseg od 80 m 436
28.4.2. Goniometarske antene za »lov na lisicu« u opsegu od 2 m 439

29. ANTENE ZA TV I RADIO PRIJEM 441

29.1. Prostiranje talasa u opsezima AM radio-difuzije 441
29.1.1. Karakteristike prostiranja kratkih talasa 441
29.1.2. Karakteristike prostiranja srednjih talasa 442
29.1.3. Karakteristike prostiranja dugih talasa 442
29.2. Antene za prijem radio-emisija na kratkim, srednjim i dugim talasima 443
29.2.1. Visoko podignute antene 443
29.2.1.1. L-antene i T-antene za srednje i duge talase 443
29.2.1.2. L-antene za radio-prijem bez smetnji 444
29.2.1.3. Vertikalne štap-antene sa okopljenim vodom između antene i prijemnika 445
29.2.1.4. Širokopojasne KT prijemne antene 446
29.2.2. Feritne štap-antene 446
29.2.3. Auto-antene 447
29.3. Antene za TV prijem 449
29.3.1. Antena sa jednim elementom 450

29.3.2. Antena sa dva elementa 450
29.3.3. *Jagi*-antena sa tri elementa 451
29.3.4. *Jagi*-antena sa četiri elementa 451
29.3.5. *Jagi*-antena sa šest elemenata za grupe kanala 452
29.3.6. *Jagi*-antena sa osam elemenata 455
29.3.7. *Jagi*-antena sa devet elemenata 455
29.3.8. *Jagi*-antena sa 13 elemenata za grupe kanala 455
29.3.9. *Jagi*-antena sa 20 elemenata za grupe kanala 457
29.3.10. TV grupne antene 458
29.3.11. TV *jagi*-antene u više etaža 459
29.3.12. UVF TV antene 460
29.3.12.1. UVF *jagi*-antene 461
29.3.12.2. UVF jednotalasni dipoli u obliku trougla ispred reflektorskog zida 462
29.3.12.3. Antene sa ugaonim reflektorom za UVF TV 463
29.3.12.4. Logaritamsko-periodične UVF TV antene 464
29.3.12.5. Ostali oblici širokopojasnih UVF TV antena 465
29.4. Prijemne antene za UKT radio-difuziju 466
29.5. Balun-vod za TV i UKT radio-difuzne antene 466

30. SLABLJENJE NEŽELJENIH ZRAČENJA 470

30.1. Uopšte o otklanjanju radio-smetnji 471
30.2. Mere za otklanjanje radio-smetnji 471
30.2.1. Filtar propusnik NF 474
30.2.2. Filtar propusnik VF 475
30.2.3. Filtar propusnik opsega 475
30.2.4. Filtar nepropusnik opsega 476
30.2.5. Praktično izvedeni antenski filtri za amaterske KT predajnike 477
30.2.5.1. Nesimetrični dvočlani filtar propusnik NF 477
30.2.5.2. Tročlani filtar propusnik NF sa povećanom strminom 478
30.2.5.3. Antenski filtar sa mogućnošću podešavanja propusnog opsega 479
30.2.5.4. Antenski filtar za UKT predajnik 482
30.2.6. Poboljšanje zaštite od smetnji na komercijalnim elektronskim uređajima 485
30.2.6.1. Smetnje usled zračenja na TV prijemnicima i njihovo otklanjanje 485
30.2.6.2. Smetnje usled zračenja kod ostalih komercijalnih elektronskih uređaja .. 489

31. MERNI UREĐAJI ZA ANTENE 492

31.1. Grid-dip metar i slični uređaji za proveru rezonance 492
31.1.1. Univerzalne jednocevne šeme 493
31.1.2. Grid-dip metar za UVF 494
31.1.3. Grid-dip metar kombinovan sa cevnim voltmetrom 495
31.1.4. Tranzistorski dip-metar 496
31.2. Indikatori stojećih talasa (indikatori sa usmerenim sprežnikom i reflektometri) 497
31.2.1. Karakteristike indikatora stojećih talasa sa usmerenim sprežnikom 499
31.2.2. Šema reflektometara i njihovo praktično izvođenje 500
31.2.2.1. Reflektometar zvani *Mikimeč* (*Mickeymatch*) 501
31.2.2.2. Izvedbe reflektometra sa krutim vodovima 503
31.2.2.3. Podešavanje i baždarenje reflektometara 506
31.3. Indikatori stojećih talasa za simetrične napojne vodove 509
31.3.1. Indikator sa dve sijalice za trakaste vodove 509
31.3.2. *Merači* VF napona kao indikatori stojećih talasa 510
31.4. Merni vod 511
31.5. Mostovi kao uređaji za merenje prilagođenja 512

31.5.1. Jednostavan merač antenske impedance 513
31.5.2. Merač impedance i talasnosti koaksijalnih kablova i antena-*mečmejker* ... 515
31.5.3. Merni mostovi za prilagođenje sa nepromenljivim mernim otpornikom .. 516
31.6. Instrumenti za merenje jačine polja 518
31.7. Jednostavni instrumenti za merenje VF struja i VF napona 520
31.8. Apsorberi (veštačke antene) 521
31.9. Oslabljivači (atentatori) 523

32. MERENJA NA ANTENAMA U AMATERSKOJ PRAKSI 528

32.1. Merenja stojećih talasa reflektometrom 528
32.2. VF mostovi u praktičnom merenju na antenama 529
32.2.1. Određivanje rezonantne dužine i faktora skraćenja proizvoljnih VF vodova 529
32.2.2. Određivanje ulazne otpornosti antene 530
32.3. Merenje rezonance grid-dip metrom 533
32.4. Ispitivanje usmerenih antena 533

33. PROPISI ZA IZGRADNJU ANTENA 536

33.1. Nemački građevinski propis 536
33.2. Stručni standard 537
33.3. Ostali propisi i preporuke o sigurnosti u radu 549

34. DODATAK 551

Tabela 34.1. Amaterski frekventni opsezi 551
Tabela 34.2. Viši harmonici amaterskih frekventnih opsega 551
Tabela 34.2.1. UKT amaterski opsezi 551
Tabela 34.2.2. KT amaterski opsezi 552
Tabela 34.3. Mehaničke dužine antena za amaterske KT opsege (sređene po polutalasima) 553
Tabela 34.4. Obrasci za preračunavanje dužine antenskih elemenata u odnosu na λ/2 i 1λ 554
Tabela 34.5. Frekvencije evropskih TV opsega i kanala 555
Tabela 34.5.1. Evropski TV opsezi prema CCIR normama 555
Tabela 34.5.2. Evropski TV opsezi prema OIRT normama 557
Tabela 34.5.3. TV opsezi u Velikoj Britaniji 558
Tabela 34.5.4. TV opsezi u Francuskoj 559
Tabela 34.5.5. TV opsezi u Italiji 560
Tabela 34.6. Frekvencije evropske UKT radio-difuzije 561
Tabela 34.7. Preračunavanje frekvencije u talasnu dužinu i obrnuto 562
Tabela 34.8. Preračunavanje metara u MHz, opseg od 10 m do 100 m (podela u intervalima od po 0,1 m) 564
Tabela 34.9. Preračunavanje vrednosti u decibelima u odnose napona, struje ili snage 566
Tabela 34.10. Preračunavanje u decibele proizvoljnih odnosa napona, struje i snage 572
Tabela 34.11. Odnos napona, struje i snage u neperima 576
Tabela 34.12. Preračunavanje nepera u decibele i decibelu u nepere 577
Tabela 34.13. Engleske i američke jedinice za dužinu i njihov odnos prema metričkim jedinicama 578
Tabela 34.14. Preračunavanje engleske stope, odnosno inča u metre 579
Tabela 34.15. Preračunavanje delova i decimalnih vrednosti inča u milimetre . 580
Tabela 34.16. Američke i engleske dimenzije žice, prečnik je dat u inčima i milimetrima 581

Tabela 34.17. Koaksijalni kablovi karakteristične impedance od 50 do 150 Ω, proizvođač VEB Kabelwerk Oberspree Berlin, NDR 582
Tabela 34.18. Simetrični VF kabl, oklopljen, proizvođač VEB Kabelwerk Oberspree, Berlin, NDR 584
Tabela 34.19. Simetrični VF vodovi, neoklopljeni, proizvođač VEB Kabelwerk Oberspree, Berlin, NDR 584
Tabela 34.20. Koaksijalni kablovi, standardni sovjetski tipovi 585
Tabela 34.21. Koaksijalni kablovi, standardni američki tipovi 586
Tabela 34.22. Dvožični vod sa dielektrikom od sintetičkog materijala, standardni američki tipovi (Amphenol) 587

LITERATURA 588

KARL ROTHAMMEL
ANTENE

Inicijatori za izdavanje ove knjige su Radioamaterski savez Jugoslavije i Tehnička uprava SSNO.

Tehnički urednik
Branko Vukoičić, graf. inž.

Jezički redaktor
Mira Popadić

Korektor
Stanislava Bjeletić

Korice
Milojko Milinković, akademski slikar

Štampanje završeno decembra 1983.

Štampa:
VOJNA ŠTAMPARIJA – BEOGRAD
Generala Ždanova 40 b

YU1QRP 2011 - http://hamradio.sstudio.ag.rs