



Dragoslav Dobričić

***PRIJEMNI ANTENSKI
TV SISTEMI***

Beograd

januar 2000. god.

Predgovor

Tekstovi pred vama, ovako skupljeni na jednom mestu, bazirani su na tekstovima koje sam tokom dužeg vremenskog perioda, negde između 1993. i 1999. godine, objavljivao u beogradskom časopisu “Satelit TV Video”.

S obzirom na profil časopisa i ciljnu grupu čitalaca, tekstovi su bili prilagođeni dosta raznolikoj čitalačkoj publici, koja je imala potrebu za njima i koja, u najvećem broju slučajeva, nije imala velika stručna predznanja iz ove oblasti fizike i elektrotehnike.

Nalazeći se u takvoj situaciji, a verovatno i zbog nekog svog unutrašnjeg poriva i senzibiliteta, pokušao sam da tekstove pišem onako kako sam verovao da će jedino ispuniti svoj cilj. Akcenat sam stavio na objašnjavanje i razumevanje fizičkih principa funkcionisanja procesa koji se dešavaju u prirodi, a spadaju u oblast kojom se tekstovi bave.

Izbegao sam u potpunosti upotrebu matematičkog aparata kao instrumenta koji bi objašnjavanje i dokazivanje, samo po sebi, učinilo jednostavnim i relativno lako shvatljivim onim čitaocima koji imaju adekvatno tehničko, a time i matematičko obrazovanje. Međutim većina onih drugih bi ostala uskraćena zbog izvesne suvoparnosti i implicitnosti objašnjenja dobijenih upotrebom matematičkog aparata.

Umesto toga odlučio sam se za pokušaj da, koristeći maštu čitaoca i njegovu moć vizuelizacije, učinim vidljivim funkcionisanje prirode. Namera mi je bila da pokušam da pokažem i prikazem vidljivim i ono što se u prirodi ne da videti, tj. upravo ono što primenom matematike kao instrumenta otkrivamo i činimo vidljivim, ali nekako implicitno. Razumevajući matematičke principe koji opisuju određenu fizičku pojavu, mi ustvari posredno razumemo i samu pojavu.

Pokušaj neposrednog, direktnog razumevanja fizičkih pojava u svetu koji nas okružuje zahteva drugačiji instrumentarijum. Umesto strogih matematičkih pravila i njihovog opisa realnog sveta, potrebna je mašta i moć da se na “unutrašnjem ekranu”, u glavi vidi kako majka priroda, poštujući svoje stroge, gvozdene zakone čini čuda pred našim očima. U tu svrhu, umesto matematičkih jednačina, mogu se koristiti plastični opisi i analogije, ali pri tom se stalno mora voditi računa da se u zaključivanju i tumačenju ostane čvrsto na terenu i u okvirima fizike i racionalne nauke.

Takvo neposredno razumevanje principa po kojima funkcioniše priroda i svet oko nas, ne samo da omogućava detaljan uvid i u najsitnije pojedinosti samog funkcionisanja, već omogućava i veoma lako razumevanje nekih novih i drugačijih procesa koji se baziraju na istim ili sličnim principima. Time je i onaj apriorni, intuitivni, istraživački i kreativni deo mišljenja, ne samo omogućen, već je od samog početka ugrađen kao sastavni deo celokupnog znanja, kao mehanizam svakog prethodnog, a time i svakog budućeg učenja i razumevanja.

Oni koji na ovakav način uče i razumeju prirodu, vrlo dobro znaju o čemu govorim. Oni drugi, koji još nisu otkrili ovaj način učenja i pogleda na svet, biće iznenađeni dubinom i jasnoćom uvida koji im ovakvo poimanje prirodnih pojava nudi.

Tekstovi su pisani kao posebne, dosta precizno omeđene celine. Pokušaj da se svi tekstovi integrišu u jedan sveobuhvatni tekst, po mom sopstvenom uverenju, doneo bi ne samo mnogo posla na preradi i prilagođavanju tekstova, već bi poremetio i njegovu unutrašnju strukturu koja je postavljena već u toku njegovog stvaranja. Osim toga tematska omeđenost tekstova omogućava lakše učenje i razumevanje pojedinih zasebnih celina i njihovu efikasniju integraciju u postojeće znanje. Jedina prednost od ovakvog poduhvata integracije bilo bi izbegavanje nekih manjih ponavljanja i preklapanja u tekstu.

Naime, kao što je poznato, mnoge tehničke oblasti se često međusobno prepliću i prelivaju tako da je teško međusobno ih potpuno razdvojiti. Zato je prirodno da se pri opisu jedne oblasti tehnike, radi boljeg razumevanja, neminovno moraju naznačiti, objasniti ili potpuno opisati i pojedini delovi koji pripadaju nekim graničnim područjima između pojedinih oblasti ili čak drugim oblastima. Tako se desilo da su u tematski bliskim tekstovima ponekad tretirane iste ili vrlo slične pojave. Uglavnom se radi o bitnim stvarima tako da njihovo ponavljanje može imati i korisnu svrhu – bolje razumevanje i utvrđivanje znanja. Osim teorijskog, u većini tekstova su razmatrani i neki praktični aspekti, posebno tamo gde su praktične implikacije razmatranih teorija važne za pragmatično korišćenje stečenih znanja.

U Beogradu, januara 2000. god.

Autor

ŠUM I PRIJEM SLABIH TV SIGNALA

Šum u radio-komunikacijama

Zadatak svakog radio-komunikacionog sistema je da od jednog do drugog korisnika prenese radio-sigale sa što boljim kvalitetom.

Bez obzira na primenjeno tehničko i tehnološko rešenje, osnovni problemi prenosa ostaju manje-više isti, a to je stalna borba sa degradacijom kvaliteta radio-sigala u sistemu.

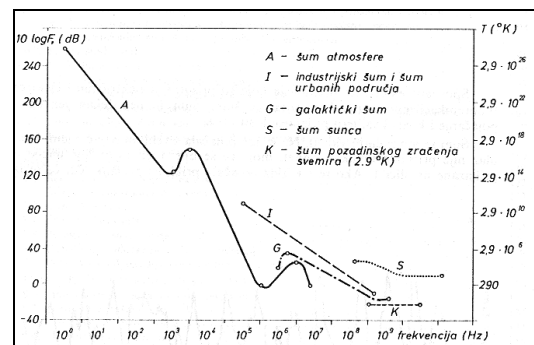
Pod degradacijom kvaliteta se podrazumeva svaka nepopravljiva promena ili izobličenje koje direktno ili indirektno utiče na kvalitet reprodukovane slike ili zvuka, odnosno informacije. Glavni činioci ovog neželjenog, ali neminovnog, procesa su sa jedne strane **šum**, najčešće zbog slabog signala, a sa druge **izobličenja**, najčešće usled nelinearnosti, tj. zasićenja (klipovanja) signala. Zasićenje za posledicu ima generisanje produkata koji mogu da utiču na kvalitet reprodukovanog signala.

Upravo zbog toga, radio-komunikacije imaju jednu stalnu brigu o kojoj moraju da vode računa, a koja se zove odnos **signal/šum**, tj. odnos korisnog signala i svih ostalih nekorisnih signala (smetnji) i produkata koji ga prate.

Pod signalom se podrazumeva svaki nosilac korisne informacije, i obično se radi o modulisanom VF nosiocu.

Pod šumom podrazumevamo sve ono što prati koristan signal, a to su obično prateći šum koji je preko antene primljen zajedno sa signalom i ukupan dodati ili generisani šum i smetnje koje se pojavljuju na izlazu komunikacionog sistema.

Prvih nekoliko stepeni prijemnog sistema: antena, antenski pojačavač, kabl i prvi pojačavač u prijemniku su oni delovi koji najviše utiču na odnos signal/šum primljenog signala.



sl.1 Faktor šuma u zavisnosti od frekvencije za šum čiji su izvori izvan radio-komunikacionog sistema.

Šumne karakteristike antene

Radio-signal koji se prima pomoću antene je uvek praćen određenim nivoom šuma koji zavisi od mnogih faktora. Na neke od tih faktora ne možemo, ili samo delimično možemo, da utičemo. Pošto je antena ono što nam pored postojećeg stanja u prostoru, na koji ne možemo da utičemo (jačina prijemnog signala, smetnje i šumovi), predstavlja najvažniji element prijemnog sistema, to je od velike koristi da ukratko razmotrimo njene karakteristike po pitanju šuma kako bi mogli optimalno da iskoristimo sve pomenute elemente koji utiču na odnos signal/šum.

Šumne karakteristike antene određene su njenom efikasnošću, tj. termičkim gubicima i fizičkom temperaturom. Po fizičkom zakonu o zračenju "crnog tela" ona, zavisno od svoje otpornosti gubitaka i fizičke temperature, generiše šum. Taj šum je nezavisan od svih drugih uslova u kojima antena radi. To je njen "unutrašnji" šum. Međutim, osim tog šuma javlja se i šum koji antena prima iz prostora oko nje, upravo isto kao i svaki drugi radio signal.

Ovaj "spoljašnji" šum antene zavisi od mnogih faktora, ali navešćemo samo one najvažnije.

Najveći deo spoljašnjeg šuma predstavljaju, u urbanim sredinama, razna varničenja i druge električne smetnje. Ovaj šum se često naziva "industrijski" ili "urbani" šum. U ruralnim predelima daleko od velikih gradova, velikih saobraćajnica i industrijskih centara ovaj šum je mnogo manji.

Drugi izvori šuma koji su dosta značajni posebno na nižim VHF frekvencijama su šumovi Zemlje i kosmosa.

Zemlja poput svakog tela zagrejanog na temperaturu iznad apsolutne nule zrači šum, zavisno od temperature i svoje provodljivosti, tj. otpornosti gubitaka.

Kosmički šum je velikim delom takođe termalnog porekla usled postojanja tela poput oblaka usijanog gasa, zvezda i galaksija, ali i ogromnim delom usled burnih fizickih procesa u pojedinim galaksijama ili zvezdama. Posebno jak izvor šuma predstavlja naša sopstvena galaksija Mlečni put, a naročito njen centralni deo, njeno vrlo aktivno jezgro, koje se nalazi u sazvežđu Strelca i koje predstavlja "porodilište novih beba-zvezda". Osim naše galaksije postoji još mnogo galaksija i drugih svemirskih objekata koji intenzivno zrače šum (ostaci eksplozije zvezda u sazveždima Kasiopeje i Bika, "crna rupa" ili drugi kolapsirajući objekat u sazvežđu Labuda itd.), kao i naša najbliža zvezda Sunce.

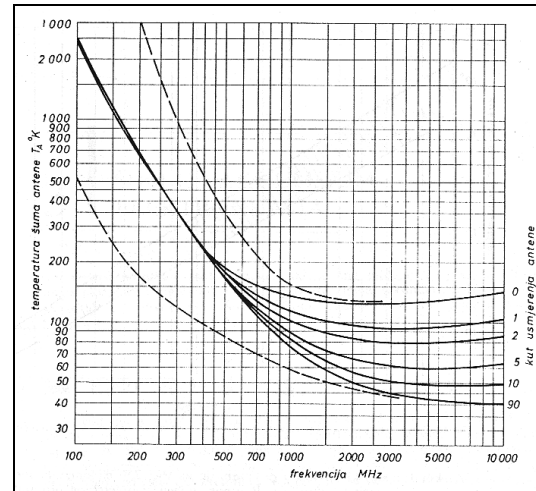
Na frekvencijama između 30 i 300 MHz ovo su dominantnani prirodni izvori šuma.

Ispod 30 MHz, idući ka nižim fekvencijama, sve dominantniji postaje atmosferski šum koji je posledica električnih pražnjenja u atmosferi.

Antena ovaj "spoljašnji" šum prima kao i svaki drugi signal iz prostora i veličina tog šuma zavisi od dijagrama usmerenosti antene. Oni izvori šuma koji se nalaze u "vidnom polju" antene bivaju primljeni kao i svaki drugi signal emitovan od nekog predajnika elektromagnetskih talasa.

Upravo zato je ekvivalentna šumna temperatura antene određena zbirom ekvivalentne temeperature šuma koji se generiše na otpornosti gubitaka antene usled fizičke temeperature i ekvivalentne šumne temeperature one oblasti neba, zemlje ili drugih objekata koje antena "vidi" preko svog dijagrama usmerenosti u svom "vidnom polju".

Zbog ove činjenice važno je voditi računa o tome kakav je dijagram usmerenosti antene i kako je on postavljen u odnosu na izvore šuma, kako bi se primljeni šum minimizirao i time ostvario povoljniji odnos korisnog signala prema pratećem šumu.



sl.2. Tipične krive temeperature šuma usmerene antene zavisno od frekvencije i elevacionog ugla usmerenja.

Karakteristike antenskih pojačavača

Kako sva pomenuta izobličenja signala nastaju u aktivnim elementima, uglavnom pojačavačima, to ćemo pokušati da analiziramo koji su to bitni parametri koji jedan pojačavač definišu i na osnovu kojih može da se procenjuje i izračunava da li na određenom mestu dati pojačavač zadovoljava sve zahteve koji se pred njega postavljaju.

Sa stanovišta elektronike svi pojačavači koji se koriste za pojačavanje signala mogu se procenjivati međusobno upoređivanjem nekoliko parametara. Najvažniji među njima su : **šumni broj, stabilnost, pojačanje, dinamički opseg i prilagođenje.**

Međutim, zbog nerazumevanja značenja, međusobne zavisnosti i uticaja pojedinih parametara, srećemo se često sa vrlo čvrsto ukorenjenim zabludama.

Šumni broj

U literaturi se označava sa **NF** što je skraćenica od engleskog naziva **Noise Figure**.

Šumni broj pojačavača je mera degradacije odnosa signal/šum izlaznog (pojačanog) signala u odnosu na ulazni. Izražava se u decibelima. Predstavlja meru kvaliteta pojačavača u pogledu generisanja sopstvenog šuma. Naziva se i **faktor šuma**.

Poznato je da svaki pojačavač, osim što pojačava neki signal, i kviri odnos signal/šum time što mu dodaje određenu snagu sopstvenog šuma. Ovaj

dodatni šum zavisi od kvaliteta pojačavača i ukoliko je pojačavač bolji, utoliko manje dodaje šuma signalu koga pojačava. Idealni pojačavač ne dodaje šum, pa je i njegov šumni broj jednak nuli, tj. $NF = 0$ dB. Svaki realni pojačavač ima šumni broj koji je veći od nule. Pojačavač je utoliko bolji ukoliko ima manji šumni broj, tj. ukoliko je bliži idealnom. Koncept šumnog broja ustanovljen je tako da je nezavisan od pojačanja i širine frekventijskog opsega pojačavača, što nam omogućava lakše poređenje međusobno različitih pojačavača. Kako su karakteristike aktivnih pojačavačkih elemenata zavisne od radne frekvencije, to je i njihov šumni broj zavisen od frekvencije, pa je pri poređenju i definisanju šumnog broja neophodno specificirati frekvenciju.

To praktično znači da možemo upoređivati šumne brojeve uskopojasnog i širokopojasnog pojačavača različitih pojačanja, ali to moramo činiti na istoj (radnoj) frekvenciji.

Kao što smo već videli, odnos signal/šum je jedan od bitnih faktora kvaliteta prijemnog signala i stoga je veoma bitno pravilno razumeti i koristiti koncept šumnog broja pri projektovanju i održavanju komunikacionih sistema.

Koncept **osetljivosti** pojačavača takođe je vezan za sopstveni šum, ali tako što je zavisen od širine propusnog opsega pojačavača (i mora se specificirati), pa je i međusobno poređenje različitih pojačavača otežano, jer zahteva ili da su pojačavači istog propusnog opsega ili da se izvrši normalizacija, tj. preračunavanje rezultata.

Osetljivost predstavlja jačinu ulaznog signala za određeni odnos signal/šum na izlazu pojačavača i za unapred određenu širinu propusnog opsega.

Za apsolutnu meru kvaliteta pojačavača (a ne samo za njihov relativan odnos) potrebno je i poznavanje ulaznog odnosa signal/šum.

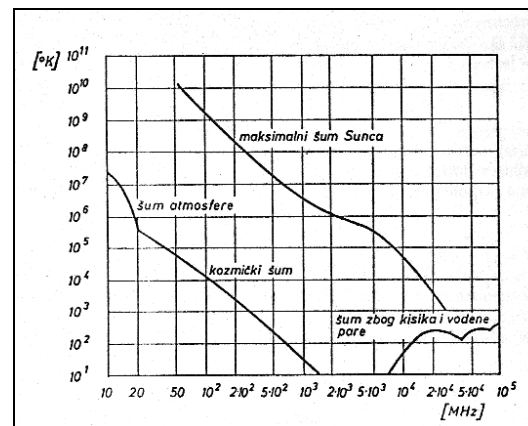
Upravo zbog svega iznetog, mnogo je bolje operisati sa pojmom šumnog broja, jer je mnogo lakše upoređivati različite uređaje u domenu šuma.

Da bi jedan pojačavač imao minimalan šumni broj potrebno je da se prilikom njegovog projektovanja i izrade strogo poštuju neka pravila koja će obezbediti da se sa određenim tipovima tranzistora postignu minimalni šumni brojevi.

Prvi uslov je izbor odgovarajućeg tranzistora koji mora da zadovolji osim niskog sopstvenog šumnog broja još neke vrlo bitne karakteristike. Jedna od bitnih karakteristika je pogodna ulazna i izlazna impedansa koja omogućuje širokopojasno prilagođenje tranzistora. Druga bitna stvar je da tranzistor ima veliku linearnost

kako bi bio upotrebljiv u pojačavaču. Treća stvar je veličina struje pri kojoj se postiže minimalni šumni broj kao i vrednost impedanse koju tranzistor treba da vidi na svom ulazu da bi generisao minimalni šum kao i ponašanje te impedanse sa promenom frekvencije i struje tranzistora. Kompromis koji se ne može izbeći u pogledu izbora struje tranzistora je vrlo bitan jer direktno određuje najvažnije parametre pojačavača: s jedne strane šumni broj a sa druge otpornost na intermodulaciju tj. jake signale. Minimalni šumni broj se lakše postiže kod uskopojasnih pojačavača nego kod širokopojasnih i problem gradnje širokopojasnih pojačavača posebno je otežan jer osim minimalnog šumnog broja treba držati vrednosti pojačanja, prilagođenja i stabilnost pojačavača u vrlo širokim granicama frekvencija i impedansi. Svi ovi problemi sa kojima se susreću projektanti i proizvođači pojačavača kao i neophodni kompromisi koji se čine navedeni su ovde kako bi se ilustrovala i potencirala važnost odluke o tome kakav pojačavač koristiti i na kom mestu u sistemu. Jedino tako je moguće naparaviti pravi izbor.

Ukoliko je šumni broj pojačavača niži to je i njegov uticaj na signal, tj. degradaciju signala manji. Šumni broj kao bitan element pojačavača direktno utiče na veličinu degradacije signala kada on padne po nivou i približi se, kako bismo to slikovito nazvali, "patosu šuma".



sl.3. Ukupna temperatura šuma antene za najnepovoljniji slučaj u zavisnosti od frekvencije.

Zabluda o šumnom broju

Mnogi proizvođači pojačavača koji, valjda, zbog nedostatka uređaja za merenje šuma, za svoje pojačavače deklarišu onaj šumni broj koji proizvođači poluprovodnika daju za upotrebljeni tranzistor. Recimo, ako se u ulaznom stepenu

nekoj pojačavača nalazi tranzistor koji ima 1.5 dB šumni broj na određenoj frekvenciji, to znači da je to **minimalni** šumni broj koji tranzistor **može** da ima, ali pod vrlo specifičnim i ograničenim uslovima a to su:

1. Tranzistor **mora** na svom ulazu da vidi tačno određenu impedansu da bi na toj frekvenciji dao minimalni šum.

Ovo je moguće u uskopojasnom režimu postići pomoću podešavanja ulaznog kola i merenja šuma. Međutim, u širokopojasnom režimu to jednostavno nije moguće zbog karakteristika kola na ulazu i promena koje na drugim frekvencijama izaziva podešavanje šumnog broja na jednoj. O promeni pojačanja i ostalih parametara pojačavača u celom frekvencijskom radnom opsegu da i ne govorimo.

2. Struje i naponi tj. radni režim tranzistora **mora** da bude strogo određen tj. onaj pri kome tranzistor daje minimalni šum.

Međutim za minimalna izobličenja (IMD) zahtevaju se upravo dijametralno različiti uslovi, pa smo prinuđeni na kompromise i žrtve. Obično se pri projektovanju žrtvuje nešto od šumnih performansi kako bi se optimizirale performanse pojačavača na IMD. U prilog ovome ide i činjenica da, zbog relativno velikog odnosa signal/šum koji je potreban da bi kvalitet TV slike bio prihvatljiv kao minimum kvaliteta ($S/N=46$ dB), vrednosti šumnog broja ispod 2 dB ne popravljaju značajno kvalitet slike. Na VHF području zbog povećanog prirodnog praga termičkog šuma i povećanog urbanog šuma, smanjenje šumnog broja ispod 3 dB ne utiče značajno na kvalitet primljenog signala. Međutim, u komunikacijama gde se normalno računa i sa odnosima signal/šum od svega nekoliko decibela ili čak sa odnosom $S/N=0$ dB (signal i šum jednaki po snazi) ima mnogo smisla ići na sniženje šumnog broja ispod 1 dB, pa čak i ispod 0.5 dB!

3. Gubici ulaznog kola, neprilagođenje izlazne impedanse, povratne sprege kojima se “pegla” kriva pojačanja ili smanjuju izobličenja, uslovna stabilnost tranzistora, uticaj šuma sledećeg stepena, parazitetni efekti i sve drugo utiče na to da pojačavač **vrlo teško** postigne minimalni šum. Poseban problem su širokopojasni pojačavači kod kojih je potrebno da na svim frekvencijama zadovoljimo sve napred navedene uslove za tranzistor, kako bi on u celom opsegu generisao minimalni šum. Da je ovo čak i teorijski teško moguće jasno je samo po sebi! Olakšanje predstavljaju tranzistori koji su projektovani i proizvedeni za rad u širokopojasnom režimu, jer njihova optimalna šumna impedansa najmanje varira po frekvenciji. Tim više su smešni

pokušaji da se napravi širokopojasni pojačavač sa tranzistorima koji imaju “divlju” karakteristiku optimalne šumne impedanse (Z_{in}) i uglavnom samo uslovnu stabilnost ($K<1$) na frekvencijama na kojima treba da rade. To što oni, na nekoj od frekvencija iz tog opsega u uskopojasnom režimu i sa strogo definisanim ostalim parametrima kola, mogu da daju zaista mali šum, nema ama baš nikakve veze sa radom u širokopojasnom režimu i pri nekim drugim radnim uslovima!

Nažalost, prostor ne dozvoljava da se na primerima lako pokaže da je ova zabluda takođe vrlo raširena, jer kako bi se inače desilo da pojedine firme reklamiraju da im pojačavači imaju isti ili čak **manji** šumni broj od šuma samog tranzistora! Realni minimum koji se može očekivati pri širokopojasnom radu je između 0.5 i 1 dB **više** od minimalnog šumnog broja deklarisanog za tranzistor i to samo za jako dobar dizajn sa odgovarajućim širokopojasnim bezuslovno stabilnim ($K>1$) tranzistorima odnosno pojačavačima. Ukoliko se svesno naprave kompromisi za ravnije pojačanje ili što bolju IMD, pa se malo žrtvuju šumne karakteristike, onda se može očekivati još nešto veći šumni broj.

Zablude o decibelima

Ovde bi trebalo razmotriti još jednu situaciju koja je dosta tipična za praksu. To je ulazni signal u pojačavač i važnost njegovog odnosa prema pratećem šumu.

Zbog slabog ili nikakvog poznavanja teorije kod većine laika uobičajeno je mišljenje da je potpuno svedjedno da li potreban broj decibela pojačanja signala izvlačimo iz antene ili iz pojačavača. Oni jednostavno sabiraju decibele koje ima antena sa decibelima koje ima antenski pojačavač i proglašavaju ih kao pojačanje antene! Koliko je ovo pogrešno ilustrovaćemo jednim primerom:

Uzmimo da nam je potrebna antena od 20 dB da primimo neki vrlo slab signal. Imamo dve krajnje mogućnosti:

1. Da uzmemo antenu bez pojačanja (dipol) i pojačavač od 20 dB.
2. Da uzmemo samo antenu od 20 dB bez pojačavača.

U oba slučaja pojačanje će biti ono koje nam je potrebno, tj. 20 dB. Ako sada analiziramo dobijene rezultate imamo sledeću situaciju:

1. Ako je šumni broj pojačavača 2 dB i ako iz dipol antene imamo signal od 35 dB μ V, na izlazu pojačavača ćemo imati signal: $35+20=55$ dB μ V, a šum: $2+2+20=24$ dB μ V, pa će prema

tome odnos signal/šum na izlazu biti 55-24=31 dB, što znači vrlo snežna slika!

2. Signal iz (dugačke Yagi) antene koja ima 20 dB pojačanje u odnosu na dipol biće takođe 35+20=55 dB μ V, a šum 2 dB μ V, pa je odnos signal/šum 55-2=53dB tj. kristalno čista slika! Ova 2 dB μ V, dodata u oba slučaja, predstavljaju prirodni prag termičkog šuma za UHF područje, širinu TV kanala od 5.5 MHz i fizičku temperaturu od 290K.

Uzmemo li radi ilustracije neku srednju varijantu, recimo antenu od 10 dB i pojačavač od 10 dB imamo situaciju da je signal 35+10+10=55 dB μ V, a šum 2+2+10=14 dB μ V pa je odnos signal/šum 55-14=41 dB ili malo snežna slika. Ista antena bez pojačavača daće signal 35+10=45 dB μ V, a termički šum 2 dB μ V, pa je odnos signal/šum 45-2=43 dB! **Bolje nego sa pojačavačem!**

Na osnovu ovoga jasno i nedvosmisleno se vidi da su decibeli iz antene, da ih tako nazovemo, "čisti", jer ne kvare odnos signal/šum (usmerene antene pojačavaju signal, tako što ga izdvajaju iz okolnog šuma, tj. primaju samo mali deo ukupnog šuma iz prostora), a decibeli iz pojačavača "prljavi", jer kvare odnos signal/šum (pojačavači pojačavaju jednako i signal i šum i plus dodaju svoj sopstveni šum, što se lepo vidi u gornjem primeru).

Antena je najbolji pojačavač! To je jedini pojačavač koji pojačava signal tako što ga "vadi" iz šuma, tj. pojačavanjem signala ne pojačava i sav postojeći šum iz prostora oko antene već samo onaj njegov deo koji se nalazi u vidnom polju antene, tj. onaj koji prima.

Ono što se na kvalitetu signala dobije antenom, to je nemoguće postići ili prevazići bilo kojim drugim pojačavačem!

Sva ostala pojačavanja signala pojačavaju i šum, pa je odnos signal/šum isti, čak i malo lošiji, zbog sopstvenog šuma pojačavača.

Pojačavači mogu samo da konzerviraju postojeće stanje.

I da ponovimo još jedanput da se, upravo zbog ovoga, decibeli iz antene ne mogu zamenjivati sa decibelima iz pojačavača!

Da je ovo jasno samo po sebi ne bi na tržištu bilo raznih štapova, dipola, lavora i sličnih slabih antena sa pojačavačima, koje se onda proglašavaju za "jake antene"!

Pojačanje

Pojačanje je, kao što mu i samo ime kaže, osobina pojačavača da neki ulazni VF signal pojača. U tu svrhu se koristi jednosmerni izvor

napajanja čija se električna snaga transformiše u snagu izlaznog VF signala. Tako na izlazu pojačavača dobijamo pojačan ulazni VF signal.

Ovo **aktivno** pojačanje treba razlikovati od onog što nazivamo pojačanjem kod antena ili drugih **pasivnih** uređaja koji ne sadrže izvore napajanja i koji "pojačavanje" signala vrše na drugi način, tj. korišćenjem drugih fizičkih principa. Antene u tu svrhu koriste svoje **kolektorske** osobine koje sakupljaju signal iz okolnog prostora i zato je bolje, kod antena, koristiti termin **dobit** umesto pojačanje.

Zablude o pojačanju

Pogrešno verovanje ili zabluda da pojačavač **popravlja** kvalitet signala je dovela dotle da se poveruje da se signali mogu beskonačno pojačavati sve dok ima pojačavača dovoljno velikog pojačanja.

Nažalost, vrlo brzo se shvati da se sa signalom nešto desi i da, bez obzira koliko ga pojačavali, on uvek ima puno šuma u sebi.

Šta se to desi da više nikakvo pojačanje ne može da obezbedi signal bez šuma? To je upravo ono što pokušavamo da rasvetlimo u ovom našem bavljenju antenskim predpojačavačima.

Rekosmo - pogrešno verovanje. Kako i zašto je to tako? Evo u najkraćem nekih primera potpuno ili delimično pogrešnih verovanja:

Jedno od dosta rasprostranjenih verovanja je da je *"za kvalitetan prijem signala dovoljan određen nivo signala na ulazu u prijemnik. Ako je signal sa šumom, to znači da je slab i da ga samo treba dovoljno pojačati i sve će biti u redu"*.

Ovo je samo delimično tačno i tu je ključ svih problema.

Ustvari, pored određenog nivoa signala na ulazu, potrebno je da signal u odnosu na prateći šum bude dosta veći, tj. da odnos signala i šuma bude dovoljno veliki.

Ukratko, pored apsolutnog nivoa signala važan je i njegov odnos prema pratećem šumu.

Ovo je dosta lako proveriti. Uzmimo dva TV signala iz dve antene sa vrlo kratkim kablom.

Prvi, čist i vrlo snažan oko 70 dB μ V i drugi, vrlo slab sa dosta šuma oko 30 dB μ V. Slabiji signal pojačamo pojačavačem koji ima pojačanje 40 dB i na taj način ih po nivou izjednačimo. Kada pogledamo signale na prijemniku videćemo da je razlika drastična iako su oba signala potpuno jednakog nivoa. Slabiji signal se nije potpuno oslobodio šuma i pored pojačanja i dovođenja na isti nivo sa signalom koji nema šuma. Šta se desilo?

Kada je prijemni signal slab to ne znači samo da je malog nivoa već i da je vrlo blizu nivoa šuma, tj. da je odnos jačine signala prema jačini šuma koji ga prati vrlo mali!

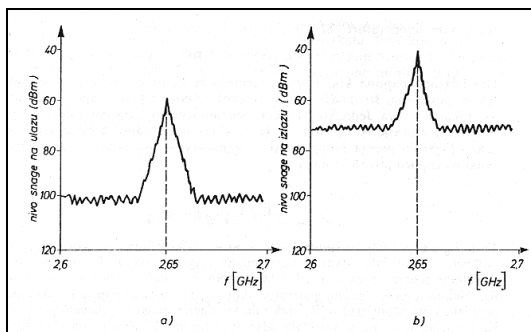
Kada takav signal sa lošim odnosom prema šumu pojačamo onda se zajedno sa signalom pojačava i šum. Njihov odnos na izlazu pojačavača ostaje isti, čak bude i lošiji, jer i pojačavač neminovno dodaje svoj sopstveni šum na već postojeći.

Kada signal, jednom na svom putu kroz prostor ili antenski kabl, bude oslabljen po nivou i približi se nivou šuma više nego što je njegov prateći šum, dolazi do degradacije odnosa signal/šuma koja je nepopravljiva, kao što smo videli u gornjem primeru.

Kada kvalitetan i dovoljno jak signal, pre ulaska u prijemnik, prolazi kroz neki element (dugačak ili nekvalitetan kabl, filter, razdelnik itd.) koji ga slabi, signal se može očuvati uz vrlo malu degradaciju, **ali samo u slučaju kada je pojačavač postavljen neposredno ispred elementa koji slabi signal.** Na taj način pojačavamo još nedegradirani signal, tj. podižemo mu nivo tako da kada izađe iz oslabljiivača još uvek ne padne u blizinu šuma.

U slučaju kada se pojačavač nalazi iza oslabljiivača on tada treba da pojača već degradirani signal koji je blizu šuma, i kao što smo videli na gornjem primeru, ne može više da pomogne, jer pojačava i signal i prateći šum!

Ponovimo još jedanput (po ko zna koji put) da pojačavač, bez obzira kako dobro napravljen, ne može da popravi odnos signal/šum koji je na njegovom ulazu (tj. na izlazu iz antene), već može postojeći da konzervira i spreči njegovu dalju degradaciju!



sl.4. Nivo signala i pratećeg šuma
a) na ulazu u pojačavač; b) na izlazu iz pojačavača.

Postoji takođe ukorenjeno verovanje da “što više pojačavamo signal to on ima manje šuma”.

Ovo uopšte nije tačno. Ukoliko se radi o slabim signalima treba ih pojačati toliko da prijemnik

može normalno da radi, tj. da sopstveni šum prijemnika ne kvari postojeći odnos signala i pratećeg šuma. Kada se dostigne taj nivo svakom dalje pojačavanje signala nema nikakvog smisla.

Ukoliko je signal već degradiran nikakvo dalje pojačanje ne može da popravi stvar!

I ovu tvrdnju nije teško proveriti. U prethodnom primeru sa dva signala možemo da pokušamo da slabiji signal pojačamo za dodatnih 20 dB, tj. umesto za 40 dB pojačamo ga za 60 dB. Tada ćemo imati kompletan paradoks. Signal koji je 20 dB jači od drugog, čistog i kvalitetnog, biće i dalje sa šumom!

Ovo je tipična situacija koja pokazuje kako pogrešan način razmišljanja dovodi do apsurd.

Još jedan eksperiment može lepo da ilustruje sve ovo o čemu je bilo reči. Uzmite jedan snažniji pojačavač od 40 dB i jedan atenuator (oslabljiivač) od 40 dB (može i komad dugačkog nekvalitetnog kabla). Vežite ih, u prvom slučaju, tako da signal iz antene dođe na pojačavač, a zatim na oslabljiivač. Pošto su i pojačavač i oslabljiivač istog pojačanja, odnosno slabljenja, njihovi efekti se potiru i na izlazu imamo isti nivo signala kao i na ulazu. Proverite kvalitet signala na prijemniku za neke slabije i jače signale. Videćete da su gotovo isti kao kada ih primamo direktno iz antene. Sada zamenimo mesta pojačavača i atenuatora tako da signal prvo ide u atenuator, a potom u pojačavač. Pogledajte sada kvalitet signala i bićete vrlo neprijatno iznenađeni. Gotovo svi signali će biti sa jakim šumom iako su svi signali istog nivoa kao u prethodnom slučaju!

Ovo najbolje ilustruje gde je mesto antenskim pojačavačima. **Uz antenu, a ne uz prijemnik!**

Evo još nekih uobičajenih zabluda koje su posledica nerazumevanja osnovnih procesa pri korišćenju antenskih predpojačavača:

“Mešanje signala različitih stanica može se eliminisati poboljšanim filtriranjem signala.”

Ovo je uglavnom netačno osim u veoma retkim i specifičnim slučajevima.

Naime, pojava tzv. “mešanja” signala koja se manifestuje kao postojanje jedne ili više modulacija drugih stanica pored modulacije željenog signala, direktna je posledica nelinearnog pojačavanja (klipovanja) signala. Ova pojava nastaje pri preopterećenju pojačavača ili prijemnika jakim signalima koji bivaju izobličeni tako što su njihove amplitude komprimovane usled nedovoljne snage pojačavača ili loše izabrane radne tačke tranzistora u pojačavaču.

Kada u nekom pojačavaču dođe do toga da on iz bilo kojih razloga radi u nelinearnom režimu, dakle u području u kome dolazi do izobličavanja

signala, ujedno dolazi i do pojave harmonika osnovne frekvencije signala, kao i njihovog mešanja sa osnovnim signalom koji je izobličen ali i sa svim ostalim signalima na opsegu, tj. na ulazu u prijemnik. Kada je veći broj signala na opsegu, čak i vrlo mala izobličenja jednog signala (obično naj snažnijeg), naparave pravi haos jer izmešaju sve signale međusobno. Od stepena izobličenosti signala kao i od njihovog broja i nivoa, zavisi koliko će produkti mešanja biti snažni i brojni, tj. koliko će “zagaditi” prijem.

Osim ovog problema međusobnog mešanja signala i njihovih harmonika, koji je u stručnoj literaturi poznat pod terminom *intermodulacija* (IMD), postoji još jedan vid izobličenja, koji se javlja kod nelinearnih pojačavača, a čiji je fizički proces nešto drugačiji ali čije posledice mogu biti takođe vrlo neprijatne. To je tzv. *unakrsna modulacija* (krosmodulacija) koja se često i brka sa intermodulacijom jer se obe javljaju jednovremeno i pod sličnim okolnostima. Kod unakrsne modulacije dešava se da se na slabiji signal neke stanice “namoduliše” (preslika, nabaci ili utisne) modulacija onog signala u sistemu koji je zbog svoje veće snage ušao u područje nelinearnosti. Zapravo radi se o tome da je došlo do promenjenih uslova rada pojačavača usled prisustva nekog vrlo snažnog signala na opsegu. Ti promenjeni uslovi manifestuju se tako da pojačavač ima manje pojačanje usled prisustva jakog signala na njegovom ulazu. Kada signal nestane sa ulaza pojačanje se vrati na normalnu vrednost. Ovo ima za posledicu da su svi ostali signali na prijemu pojačani manje ili više, zavisno od toga da li je prisutan snažan signal na ulazu, tj. od njegove trenutne vrednosti. Ukoliko je snažan signal ustvari CW, SSB ili TV signal koji je amplitudno modulisan onda je očigledno da će se sve promene njegove amplitude modulacije prenositi na ostale signale na opsegu tako što će oni biti dodatno amplitudno modulirani sadržajem modulacije snažnog signala koji je poremetio rad pojačavača. Iz ovoga sledi da je jedan od signala u opsegu, koji je veći po nivou od ostalih, dovoljan da napravi haos na celom opsegu ukoliko on poremeti linearni rad pojačavača.

Očigledno je da imajući u vidu fizički proces nastajanja intermodulacije i unakrsne modulacije nije moguće ove višestruke modulacije signala očistiti bilo kakvim filtriranjem nego smanjivanjem nivoa signala u prijemniku kako bi se rasteretio i vratio u linearni režim rada.

I na kraju da spomenemo onaj vrlo specifičan slučaj kada je moguće filtriranjem rešiti problem dva ili više signala na prijemu. To je moguće u slučaju kada imamo signale na susednim kanalima i kada nam modulacija “probija” sa susednog kanala ili od bliskog predajnika. Pošto je ovde i fizički proces generisanja smetnje drugačiji, tj. on je posledica nedovoljne selektivnosti prijemnika, to se i problem može rešiti dodavanjem filtera, koji će propustiti samo željeni signal i oslabiti neželjeni. Na ovaj način popravljen je “feler” prijemnika tj. popravljena mu je selektivnost.

Vratimo se na prethodno rečeno i podsetimo se da smo jednu od bitnih stvari za rad svakog komunikacionog sistema označili kao odnos signala i šuma svakog signala u opsegu. Ako uzmemo u obzir da intermodulacione i krosmodulacione smetnje pomenute u ovom broju mogu po svom nivou da budu znatno iznad pratećeg šuma signala, onda postaje jasno da je odnos signala i šuma bitan samo dok se ne pojave smetnje koje su veće od šuma. Kada smetnje postanu jače onda se kao bitan faktor za procenu kvaliteta mora uzeti u obzir i smetnja tj. odnos signala i smetnje.

Iz svega dosad rečenog može se zaključiti da degradacija signala nastupa na dva načina:

- Kada prijemni signal po svom nivou padne u blizinu šuma koji generišu pojačavači i ostali elementi uređaja, uključujući i ulazni stepen TV repetitora, onda signal pretrpi nepopravljivu degradaciju odnosa signal/šum.

- Kada prijemni signal po svom nivou postane toliko veliki da pojačavače i druge elemente mreže otera u nelinearni režim rada, onda se pojave produkti intermodulacije i krosmodulacije koji svojim prisustvom degradiraju kvalitet signala, tj. smanje odnos korisnog i ometajućih signala.

Otpornost na jake signale

Iz gore navedenog jasno je da je bitan faktor koji određuje karakteristike pojačavača njegova otpornost na intermodulaciju, tj. na jake signale.

Svi pojačavači koji se koriste u komunikacijama koje prenose linearne amplitudne modulacije ili više kanala moraju da budu ekstremno linearni. To znači da izlazni nivo signala odgovara ulaznom, tj. da nema ni zasićenja ni bilo koje druge nelinearne promene veličine izlaznog signala u odnosu na ulazni. Zahtevi u pogledu linearnosti koji stoje pred pojačavačima za komunikacione višekanalne sisteme su veoma ozbiljni jer se radi o kaskadnom vezivanju većeg

broja pojačavača u prijemniku i o pojačavanju velikog broja kanala, tj. signala.

Interesantno je da se upravo o pojačavačima i njihovom kvalitetu najmanje vodi računa, osim o veličini pojačanja i to po sistemu: što više to bolje! Korišćenjem pojačavača male snage tj. sa niskim “plafonom linearnosti” a uz to sa prevelikim pojačanjem (što uglavnom predstavlja najčešći pogrešni scenario kod loših sistema) vrlo brzo se signali do te mere degradiraju i prijem “zatruje” produktima intermodulacije da više nema ni jednog čistog i kvalitetnog signala u njoj.

Dinamički opseg pojačavača

Kako znati koji su to kvalitetni pojačavači?

Da bi se ova dilema rešila uvedena je mera kvaliteta pojačavača koja obuhvata sve tri pomenute karakteristike pojačavača: šumni broj, pojačanje i izlazni nivo signala za određeni nivo nelinearnih izobličenja.

Ova mera kvaliteta zove se *dinamički opseg* pojačavača i predstavlja opseg u kome može da se menja nivo signala na ulazu pojačavača a da signal na izlazu ne pretrpi degradaciju veću od strogo definisane.

Sa donje strane ovaj opseg je ograničen minimalnim odnosom signal/šum izlaznog signala i njega direktno određuje šumni broj pojačavača.

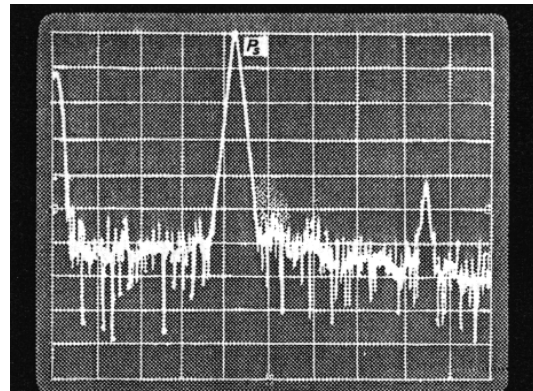
Donja granica dinamičkog opsega je onaj nivo ulaznog signala koji na izlazu obezbeđuje unapred određeni minimalni odnos signal/šum (S/N).

Ako se za donju granicu uzme vrednost $S/N=0$ dobija se tzv. SFDR (Spurious Free Dynamic Range) ili dinamički opseg slobodan od smetnji (produkata IMD).

Za potrebe distribucije TV signala uzima se $S/N=46$ dB dok se u drugim komunikacijama može uzeti i manja vrednost.

Sa gornje strane ovaj opseg je ograničen maksimalnim izlaznim naponom signala pri kome pojačavač usled nelinearnih izobličenja signala generiše produkte koji su jednaki sa nivoom šuma na izlazu pojačavača.

Zaključak je jasan: pojačavač vredni onoliko koliki mu je dinamički opseg, a ne koliko mu je pojačanje!



sl.5. Odnos jačine signala prema pratećem šumu i prisutnim smetnjama.

Zabluda o izlaznom naponu

Slično zabludi o faktoru šuma, postoji zabluda o izlaznom naponu koji tranzistor može da isporuči pri određenoj IMD. Izlazni RF napon koji specificiraju proizvođači tranzistora je samo podatak koji tranzistor **može** da dostigne ako mu se stvore uslovi za to.

Da bi tranzistor isporučio deklarisan napon na izlazu potrebno je da, pre svega, radi u strogo definisanom režimu jednosmernih napona i struja koji mu omogućavaju najveću linearnost. Bilo koje odstupanje od ovih strogo utvrđenih vrednosti jednosmernih napona i struja dovodi do brzog povećanja IMD produkata što uslovljava potrebu za smanjenjem izlaznog napona, kako bi se održao potreban odnos izlaznog napona prema IMD produktima.

Drugi elemenat koji može drastično da utiče na maksimalni izlazni napon pojačavača i IMD je izlazno prilagođenje tranzistora. Da bi tranzistoru zaista omogućili da dostigne deklarisan izlazni napon moramo mu obezbediti da “vidi” tačno određenu vrednost impedanse na svom izlazu. Slična stvar je sa šumom, tranzistori moraju da “vide” tačno određenu impedansu na svom ulazu da bi generisali minimalan šum.

Vrednost ove optimalne izlazne impedanse tj. opterećenja tranzistora se menja sa promenom frekvencije. Zbog toga je, slično kao kod šuma, širokopojasne pojačavače teško prilagoditi na svim frekvencijama.

Zbog neodgovarajućeg prilagođenja na pojedinim frekvencijama tranzistor ne daje one vrednosti izlaznog napona i IMD koje bi trebao. Prilikom projektovanja pojačavača uvek se maksimalna pažnja posvećuje ovom problemu jer on može da pokvari dobijene karakteristike

pojačavača do te mere da je korišćenje takvog pojačavača neekonomično.

Zaključak je dosta jasan. Izlazni RF napon tranzistora, koji daju proizvođači, može se dostići samo vrlo brižljivim projektovanjem pojačavača i obezbeđivanjem optimalnih uslova za linearni rad tranzistora. I ovde je potpuno jasno da samo korišćenje određenog tranzistora **ne** garantuje i rezultate koje ćemo dobiti na izlazu, već je do toga prilično trnovit put.

Kod širokopojasnih pojačavača stvar je neuporedivo teža nego kod uskopojasnih i gotovo je nemoguće obezbediti optimalno opterećenje tranzistora u širokom frekventijskom opsegu. Ako se tome dodaju i uobičajeni zahvati na “peglanju” linearnih izobličenja, tj. karakteristike pojačanja povratnim spregama i pasivnim ekvilajzerima, onda je očigledno da je ta mogućnost gotovo potpuno isključena, jer je prilagođenje često žrtvovano ravnoj karakteristici pojačanja. Samim tim i postizanje deklariranih nivoa izlaznog napona postaje skoro nedostižno.

Stabilnost pojačavača

Pod stabilnošću tranzistora ili pojačavača podrazumevamo njegovu otpornost na samooscilovanje ili “divljanje”- kako se to obično kaže u žargonu među elektroničarima.

Koliko je ovaj problem aktuelan govori i jedan od tzv. “Marfijevih zakona” za elektroniku:

“Kad god napravimo oscilator on neće da osciluje, a kad napravimo pojačavač on odmah osciluje!”.

I nažalost, to nije daleko od istine!

U analizi razlikujemo stabilnost samog tranzistora i stabilnost celog, ponekad višestepenog, pojačavača.

Tranzistor, kao pojačavački element, može biti, za dati opseg frekvencija, **bezuslovno** ili **uslovno** stabilan. Bezuslovna stabilnost tranzistora podrazumeva da, ukoliko se na njegov ulaz i izlaz priključe bilo koje vrednosti impedanse (od kratkog spoja do otvorenog), neće doći do pojave samooscilovanja. Matematički se na osnovu **S** parametara tranzistora može uvesti pojam faktora stabilnosti **K**, na osnovu čije vrednosti se može mnogo zaključiti o stabilnosti tranzistora.

Ukoliko je faktor stabilnosti nekog tranzistora **K** veći od jedinice (**K>1**) u celom frekventijskom opsegu, imamo posla sa **bezuslovno** stabilnim tranzistorom. Ukoliko je **K** manje od jedinice (**K<1**) u jednom delu frekventijskog opsega, onda je tranzistor u tom delu **uslovno** stabilan. Uslovna stabilnost podrazumeva da se sa ovakvim tranzistorom još uvek može napraviti

pojačavač, ali da će on biti stabilan, tj. neće samooscilovati, samo uz uslov da se na njegovom ulazu i izlazu pojave impedanse iz strogo ograničenog opsega vrednosti. Van tih vrednosti on će stupiti u samooscilovanje i biće potpuno neupotrebljiv.

Zablude o stabilnosti

Kada je reč o stabilnosti pojačavača ili pojedinih stepena sve je vrlo slično kao kod samih tranzistora, osim što je moguće i sa **bezuslovno** stabilnim tranzistorima napraviti samo **uslovno** stabilan pojačavač. Ovo je vrlo čest slučaj u praksi kada se ne vodi dovoljno računa pri izradi ili projektovanju pojačavača. I gotovo po pravilu, skoro svi pojačavači koji su pravljani bez neke ozbiljnije analize i proračuna (kopiranjem i modifikovanjem bez stvarnog znanja o tome zašto je neko primenjeno rešenje takvo kakvo je) završavaju kao uslovno stabilni pojačavači i to u vrlo uskim granicama priključenih impedansi, iako su u njima upotrebljeni **bezuslovno** stabilni tranzistori. Šta se dešava kada se koriste samo uslovno stabilni tranzistori i to u višestepenim pojačavačima, ne treba ni govoriti.

I na kraju da rezimiramo: korišćenje **bezuslovno** stabilnih tranzistora u pojačavačima još uvek nam automatski **ne** garantuje da će i sagrađeni pojačavač biti **bezuslovno** stabilan!

Kada se koriste **uslovno** stabilni tranzistori, ako se ne preduzmu posebne mere kompenzacije, onda je i pojačavač uslovno stabilan i to obično u još nepovoljnijoj varijanti, tj. u još užem opsegu impedansi nego sam tranzistor.

Zablude o tranzistorima

Nažalost, kao što smo videli, ništa ni izdaleka ne garantuje da će svaki pojačavač napravljen sa nekim dobrim tranzistorom imati sve te karakteristike. Pre bi se reklo da će samo ekstremno mali broj onih najbrižljivije konstruisanih i izrađenih imati neke od tih osobina.

Zašto samo neke?

Pa iz prostog razloga što su pojedine osobine međusobno u direktnoj suprotnosti. Najbolji primer za to su: minimalni faktor šuma i maksimalna linearnost, minimalni šum i maksimalno pojačanje, maksimalno pojačanje i stabilnost, ulazno prilagođenje i šumni broj, itd.

Kako pomiriti ove suprotstavljene zahteve?

Nikako drugačije, osim napraviti kompromis i forsirati one uslove koji obezbeđuju osobine koje su važnije, žrtvujući one manje bitne.

Imajući to u vidu, jasno je da, posebno kada su širokopojasni pojačavači u pitanju, nije moguće napraviti kvalitetan pojačavač bez ozbiljnih proračuna, velikog iskustva u toj oblasti i laboratorijskih merenja kako bi se većina dobrih osobina upotrebljenih tranzistora ostvarila i u praksi. Potrebno je vrlo pedantno, proračunima obezbediti sve potrebne preduslove kako bi se tranzistoru omogućilo da zaista pruži ono što se od njega u datom slučaju očekuje. To znači da se unapred postavljaju određeni kvaliteti kao cilj, a ne pravi se pojačavač - "pa šta ispadne".

Slon i miš

Verovatno znate ovu staru priču:

Trče slon i miš preko drvenog mosta. A miš će sav važan: "Ala tujni kad nas dvojica trčimo!".

U ta drevna vremena, ljudi su imali manje znanja ali mnogo više mudrosti i morala!

Imajući u vidu sve što je o kvalitetu pojačavača do sada rečeno može se zaključiti da su faktor šuma, izlazna snaga, linearnost i druge osobine upotrebljenih tranzistora važne, jer predstavljaju potencijalne mogućnosti koje se mogu izvući iz pojačavača u kome su upotrebljeni.

Upravo ovo je razlog što na tržištu imamo pojačavače različitih proizvođača, sa istim upotrebljenim tranzistorima, čak i sa relativno sličnim konstruktivnim rešenjima, ali sa tako neverovatno različitim performansama.

Ovo je gotovo pravilo, a ne izuzetak, jer je izbor tranzistora koji se koriste u širokopojasnim pojačavačima ograničen, ali ujedno i svima podjednako dostupan, pa je onda i izbor tranzistora koji se koriste u pojačavačima različitih proizvođača veoma često sličan ili identičan.

Još jedan bitan faktor koji utiče na "unifikaciju" pojačavača po pitanju izbora upotrebljenih tranzistora je i kopiranje, tj. krađa tuđih rešenja. Osim što kopiraju, "stručnjaci" koji nisu kadri da sami projektuju svoje pojačavače, "stručno" modifikuju tuđe, kako bi im bili tehnološki pogodniji ili jeftiniji za proizvodnju.

Verovatno da ovome nije potreban nikakav komentar sa aspekta morala, a pogotovo ne sa aspekta stručnosti. O ovako "modifikovanim" pojačavačima i njihovim karakteristikama ne treba ni trošiti reči.

Da ironija bude veća, oni koji su iskopirali i osakatili tuđe pojačavače, antene ili druge proizvode obično nisu ni svesni toga šta su uradili i upravo su često ubedeni da su ih stvarno poboljšali i da su baš zahvaljujući njima ovi dobili neslućeno dobre karakteristike!

Ovakvih genijalnih "miševa" ima na svakom koraku, a posebno tamo gde se "slonovi" baš ne cene previše, pa izgleda kao da ih i nema.

Prijem slabih signala

Kada je prijemno polje TV signala malo ili na samoj granici upotrebljivosti, onda moramo preduzeti vrlo ozbiljne mere kako bi signal što kvalitetnije primili i potom ga sačuvali od kasnije degradacije kvaliteta. Ovo se postiže konzerviranjem postojećeg stanja signala odmah na anteni tako što se signal pojača niskošumnim pojačavačem koji **mora** biti smešten što bliže anteni. Na ovaj način se signal, pre bilo kakve dalje obrade (filtriranja, razvođenja itd.), sačuva od degradacije kvaliteta.

Pojava snežne slike je znak da je negde u sistemu, obično na samom mestu prijema, došlo do probijanja "patosa šuma", tj. do degradacije odnosa korisnog signala i pratećeg šuma.

Ukoliko jačina polja predajnika nije suviše mala ovo se može popraviti.

Redosled radnji po važnosti ili bolje reći po efikasnosti je sledeći:

1. Treba poboljšati prijemni signal i to zamenom postojeće antene nekom sa što većim pojačanjem (pojasna ili kanalna Jagi antena što veće dužine), kao i pronalaženjem najboljeg prijema promenom mesta i visine antene.

Ono što se ovim postigne je apsolutni maksimum i sve radnje koje dalje slede imaju za cilj samo očuvanje ovog postignutog stanja (odnosa signal/šum).

Upravo iz tih razloga ovde se **mora** izvući maksimum kvaliteta koji je moguć za date uslove prijema (reljef, prepereke, udaljenost predajnika, tj. jačina polja, refleksije, ograničenja u pogledu mogućnosti postavljnja antene itd.), **jer kasnije nije moguće više ništa poboljšati.**

2. Kao što je gore rečeno, sada nam preostaje da konzerviramo postojeće stanje. U tom cilju treba sto bliže anteni, a po mogućstvu u samoj anteni, tj. kutiji gde se spaja koaksijalni kabl sa antenom, ugraditi niskošumni predpojačavač (faktor šuma manji od 3 dB) koji ne mora (i ne treba!) da ima veliko pojačanje (15-20 dB max.) kako bi se podigao nivo signala i pripremio za dalju obradu.

Ovim smo uradili sve što smo mogli za što bolji prijem nekog TV programa.

3. I na kraju, ako je potrebno, ovako pripremljen signal treba uvesti u skretnicu radi spajanja sa ostalim antenama, tj. signalima. Ako se ovako, kao što je opisano, pripremi signal, mogu se u skretnici ili nekom drugom filterskom elementu

vršiti vrlo radikalni zahvati, a da se kvalitet signala ne pokvari.

4. Jedino filtriranje koje se dozvoljava pre predpojačavača je u slučaju kada nam iz iste antene dolazi neki lokalni vrlo snažni signal i kada postoji opasnost od preopterećenja predpojačavača smeštenog u anteni. U ovom slučaju treba jednim kanalnim usisnim filterom pre predpojačavača smanjiti nivo tog lokalnog signala za 10-20 dB i zatim ići u predpojačavač. Najbolje je ako je kanalni filter već ugrađen u predpojačavač ili je neposredno uz predpojačavač i antenu.

Postoji i slučaj kada kvalitetan signal negde dalje u mreži, daleko od prijemne antene i predpojačavača, pretrpi pad ispod "patosa šuma". Ovo se dešava kada se ne vodi računa o nivoima signala u mreži, pa se na jednom mestu desi da signal bude oslabljen preko mere (loš kabl, preveliki broj deljenja i grananja itd.), a pojačavač koji posle toga treba da ga pojača ne može da učini ništa u cilju popravke kvaliteta signala. U ovom slučaju mora se podići nivo signala **ispred** tog prevelikog oslabljivača time što će se signal pojačati nekim snažnijim pojačavačem.

Korišćenjem širokopojasnih Loga antena i sa pojačavačem vezanim iza napojnog kabla ili kod prijemnika, dobićemo neuporedivo lošije rezultate koji su često potpuno neupotrebljivi.

Sledstveno tome i konfiguracija elemenata prijemnog sistema je dosta logična kao što se i iz prethodnog izlaganja i datih primera vidi.

Prvo se slabi signali primaju što boljim antenama (sa što većim pojačanjem), potom se odmah u anteni ili neposredno iza antene vezuje pojačavač sa što nižim šumnim brojem i sa pojačanjem koje nikako ne prelazi 30 dB. Ovako konzerviran signal (tj. odnos signal/šum) može se dalje obrađivati prema potrebi.

Zavisno od prijemnog nivoa ostalih signala u sistemu, pojačanje antenskog pojačavača treba birati tako da on pojača signale iz antene samo onoliko koliko je neophodno da oni dođu približno do onog nivoa koji je dovoljan da obezbedi transport kroz kabl i eventualne filtere bez degradacije odnosa signal/šum.

Izbor pojačavača

Zavisno od toga koliko nam je pojačanje potrebno za dati signal ili grupu signala koje primamo iz antene, potrebno je odabrati jednostepeni ili dvostepeni antenski predpojačavač. Trostepeni ili višestepeni pojačavači nikada nisu potrebni i treba ih zaobići u vrlo širokom luku!

Razlog ovome je veoma jednostavan. Najslabiji signal iz antene koji još može da se gleda je oko 40 dB μ V, koji kada se pojača 30 dB predstavlja signal od 70 dB μ V, što je sasvim dovoljan nivo za normalan rad TV prijemnika i drugih uređaja. Svako dalje pojačavanje ne koristi ničemu, već naprotiv šteti, jer preti da preopteretiti neki od elemenata sistema. Za one, koji još uvek sumnjičavo vrte glavom, treba reći da signale iz antene od 20dB μ V ne možemo upotrebiti za gledanje, jer su i pored pojačanja od recimo 60 dB, tj. sa nivoom od 80dB μ V, toliko snežni da se slika verovatno uopšte neće videti! Razlog ovome je loš odnos signal/šum signala na izlazu iz antene koji je pojačavač samo konzervirao. Ponovimo još jednom (po ko zna koji put) da pojačavač, bez obzira kako dobro napravljen, **ne može** da popravi odnos signal/šum koji je na njegovom ulazu (tj. na izlazu iz antene), već može postojeci da konzervira i **spreći** njegovu dalju degradaciju!

I na kraju nekoliko generalnih napomena koje važe za sve prijemne sisteme bez obzira kako oni bili koncipirani ili izvedeni:

1. Koristiti što bolje antene sa što većim pojačanjem i usmerenošću onoliko koliko to ugao prijema signala dozvoljava. Za slabije kanale koristiti kanalne ili pojase antene a ne širokopojasne. Pronaći mesto i visinu antene gde je najbolji prijem.

2. Antene treba međusobno što više razdvojiti po visini (koliko to stub i način montaže dozvoljavaju) i udaljiti ih od metalnih delova (krova, oluka i drugih antena) kao i armirano betonskih zidova.

3. Pojačavač uvek mora da bude što bliže anteni, a **nikada** uz sam prijemnik. Dužina kabla između antene i prvog pojačavača mora biti **što manja**.

4. Koristiti kvalitetne usisne filtere kako bi se, po potrebi, smanjio ulazni nivo vrlo snažnih lokalnih signala od predajnika iz neposredne blizine, čime se sprečava preopterećenje antenskog pojačavača.

5. Koristiti što kvalitetnije kablove, ne samo zbog gubitaka već i zbog smetnji koje se mogu pojaviti kada se koriste kablovi koji imaju loše oklapanje.

ANTENE ZA PRIJEM TV PROGRAMA

Vrste prijemnih TV antena

Antene koje se danas koriste za prijem radio i televizijskog programa mogu se, prema tipu, podeliti u nekoliko grupa. U ranim godinama televizije, gotovo sve antene za prijem su bile jagi antene i to za VHF, pošto je tada TV emitovana samo na VHF području (kanali 5-12). Danas, predajnici se nalaze ili u VHF (kanali 5-12) ili UHF (kanali 21-69) području.

Jagi antene

Sve do kraja sedamdesetih godina jagi antena je suvereno vladala kao praktično jedina VHF i UHF antena za prijem radio i TV programa.

Dobre osobine ove antene su njeno veliko pojačanje i velika usmerenost u obe ravni - i horizontalnoj i vertikalnoj.

Ova osobina se pokazala vrlo korisnom kada je potrebno eliminisati smetnje od dva predajnika koji rade na istom kanalu, a dolaze iz različitih pravaca, ili kada je potrebno neki veoma jak signal oslabiti u odnosu na neki slab signal koji dolazi iz drugog pravca.

Jagi antene po svojoj prirodi, tj. načinu funkcionisanja su "rezonantne" antene i samim tim mogu da rade u jednom dosta ograničenom frekvencijskom opsegu, obično desetak procenata ispod i iznad rezonantne frekvencije. Prilikom projektovanja jagi antene moguće je primeniti neke metode "razdešavanja elemenata" kako bi se dobila sto veća širina radnog frekvencijskog opsega, ali je to uvek na uštrb karakteristika antene.

Logperodične antene

Krajem sedamdesetih i naročito u osamdesetim i devedesetim godinama, javlja se još nekoliko tipova antena koje počinju polako da zauzimaju sve važnije mesto među prijemnim TV antenama.

Antena koja je uspela, gotovo potpuno, da istisne jagi antenu je tzv. logaritamsko periodična antena koja se često naziva i skraćeno

logaritamska, logperodična ili samo loga antena. Veliku popularnost ove antene poslednjih godina možemo objasniti njenom vrlo jednostavnom konstrukcijom, koja je, samim tim i vrlo jeftina za proizvodnju, pa je i cena ove antene na tržištu neverovatno niska.

Još jedna dosta važna osobina ove antene učinila je popularnom posebno kod kombinovanih VHF/UHF antena, a to je njena izuzetna širokopojasnost u pogledu radnog opsega frekvencija. Ovaj tip antene, praktično bez ikakvih problema pokriva veoma široko područje frekvencija uz očuvanje svojih karakteristika, tako da se vrlo lako prave kombinovane antene za prijem i VHF i UHF opsega, sto je, sa ekonomskog stanovišta, vrlo dobro.

Ova mogućnost je dodatno doprinela da ova antena u poslednjih nekoliko godina preuzme, od jagi antena, vodeće mesto.

Kolinearne antene

Još jedna antena, negde od polovine sedamdesetih godina pa sve do danas zauzima svoje prilično značajno mesto u asortimanu prijemnih TV antena, a to je tzv. kolinearna antena. To su one antene koje imaju nekoliko vertikalno faziranih dipola ispred verikalno postavljenog reflektora, obično u vidu mreže. Dobre osobine ovakve antene su vrlo širok horizontalni prijemni ugao koji je često i veći od 90 stepeni, dok je vertikalni prijemni ugao znatno smanjen. Ovo omogućava da se sa jednom antenom primi dosta veliki broj kanala iz različitih smerova, sto može da predstavlja veliku uštedu jer sa jednom ovakvom antenom moguće je primiti sve one kanale, za koje bi bilo potrebno postaviti na stub dve ili vise jagi antena u različitim smerovima.

Ova antena može se napraviti tako da bude prilično širokopojasna, tj. da ima relativno konstantno pojačanje u celom UHF opsegu, za koji se uglavnom i gradi. Glavni nedostatak ove antene je, svakako, to da je ona za VHF područje prilično glomazna, kao i da se teško može prilagoditi za kombinovani prijem programa i sa VHF i sa UHF područja.

Ostale antene

Osim gore pomenutih tipova antena, mogu se sresti još neke koje su u nekim krajevima relativno dobro zastupljene. Jedna od takvih antena, prilično popularnih u nekim delovima Vojvodine i južne Srbije, je kvazi-horn antena. Ova, prilično jednostavna i vrlo širokopojasna, antena može se uspešno koristiti tamo gde su svi signali relativno snažni i gde oni dolaze skoro sa svih strana, pa je upotreba ove relativno slabo usmerene antene opravdana.

Na tržištu se nažalost mogu naći i neke izmišljotine koje se donose iz Turske u vidu kombinacije jagi antene i "parabolične" antene. Ova kombinacija osim "estetskog" (!) nema nekog ozbiljnog funkcionalnog razloga za postojanje, kao i većina drugih kreacija maštovitih pronalazača koje sa stvarnim antenama nemaju baš mnogo veze.

Antena – šta je to?

Ni u jednom domenu telekomunikacija, verovatno, za običan, laički svet nema toliko misterije koliko u antenama. Misterija se sama po sebi nameće: ni jednostavnije stvari na oko, ni veće muke da se razume princip njenog rada. I kao što to uvek biva u neukom svetu - ispredaju se i prepričavaju priče, mitovi i legende, rađaju se "misterije".

Međutim, tu nastaje paradoks! Pošto postoji misterija, očekivalo bi se da o njoj gotovo niko ništa ne govori, jer ništa i ne zna. Kad, umesto toga, pojavljuje se mnoštvo neverovatnih "stručnjaka" za koje nema ni najmanje tajne u tom domenu.

Tako, na primer, oni koji najmanje znaju o antenama - najviše o njima pričaju.

Antene i "antene"

I tako imamo na svakom koraku projektante i proizvođače antena koji nemaju najelementarnijih znanja iz te oblasti. Važno je da se napravi nešto što liči na antenu, da je jeftino i da se dobro prodaje, tj. da se dobro zarađuju pare. Jednostavni kompjuterski programi omogućavaju vrlo lako i brzo proračunavanje nekih tipičnih antena, ali napraviti antenu, na osnovu proračuna, je već nešto sasvim drugo.

Slično je kao kod paraboličnih antena; danas može lako na računaru da se izračuna

parabolična antena, ali da se napravi... e, to je već malo teže!

Identična stvar je i sa Jagi, logperiodičnim, kolinearnim i drugim antenama koje se koriste za prijem TV programa.

Međutim još lakši (i sigurniji?) put je bezočna krađa i kopiranje.

S obzirom da se radi o "šloseraju", krađe tj. kopiranja i "modifikacije" su još češće nego u elektronici. Teško je na (domaćem) tržištu pronaći zaista originalnu antenu; većinom su to kopije, plagijati i modifikacije nekih poznatih i proverenih antena poznatih firmi.

Stopocentne kopije antena bi trebalo da podjednako dobro rade kao i originali, ali veoma često se dešava da zbog uštede i veće zarade, kvalitet upotrebljenog materijala nije ni izdaleka kao kod originalne antene, pa je time i trajnost, otpornost i pouzdanost antene daleko lošija.

Što se "modifikovanih" antena tiče tu važe sve one primedbe koje važe uvek kada oni, koji nisu imali dovoljno znanja za svoja originalna rešenja, odjedanput, ga imaju sasvim dovoljno kada treba izvršiti "modifikaciju".

I tako, osim što kopiraju, "stručnjaci" koji nisu kadri da sami projektuju svoje antene, "stručno" modifikuju tuđe, kako bi im bile tehnološki pogodnije ili jeftinije za proizvodnju.

O ovako "modifikovanim" antenama i njihovim karakteristikama ne treba ni trošiti reči.

Jednom rečju, razne kopije i modifikacije treba "zaobilaziti u širokom luku" ako ne želite da uzaludno bacate novac na kupovinu tuđih gluposti.

Imajući u vidu važnost antene kao elementa prijemnog sistema, ono što se trenutno može naći na domaćem tržištu, zaista je, manje više, katastrofalno.

No, toga je uvek bilo i biće! Vratimo se našoj temi.

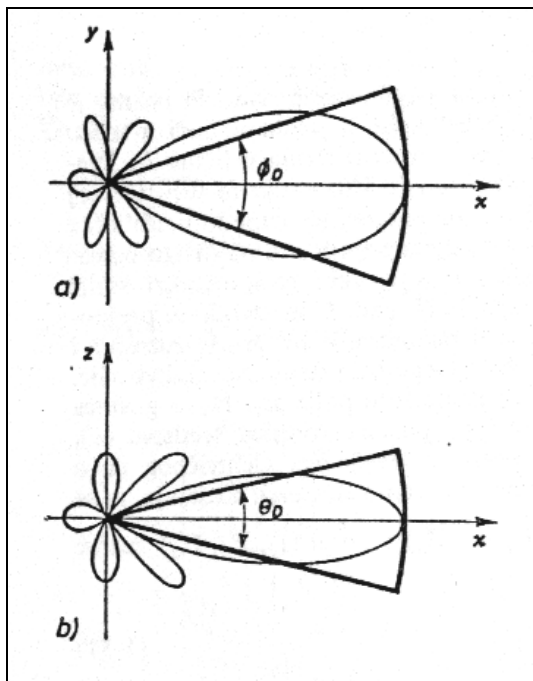
Kada bi postojala savršena antena koja ima sve one karakteristike koje su nam potrebne za optimalni prijem i predaju radio signala, onda bi svi gradili samo tu antenu i drugih ne bi ni bilo, ili ih bar niko ne bi koristio.

Nažalost, nema savršenih stvari, pa ni antena, tako da u različitim uslovima radio-komunikacija moramo koristiti različite antene, koje svojim karakteristikama najbolje odgovaraju specifičnim zahtevima optimalnog prijema ili predaje.

Slično kao što dobar majstor za svaku vrstu posla tačno zna kakvu vrstu alata treba da koristi ako hoće da taj posao uradi na najbolji način, tako i pri određivanju tipova antena u sistemu svaki dobar majstor mora da poznaje dobre i loše karakteristike i osobine antena i da ih, već prema

tome i uslovima lokacije, koristi ili kombinuje u sistem. Pažljiv izbor vrsta i broja antena, prema uslovima na određenoj lokaciji, predstavlja najvažniji korak u projektovanju i realizaciji svakog primopredajnog antenskog sistema.

Ako se ovde napravi pogrešan korak onda je skoro sigurno da će ceo primopredajni antenski sistem biti postavljen na pogrešnim temeljima. Upravo zbog izuzetne važnosti ovog prvog koraka pokušaćemo da analizom pojedinih bitnih karakteristika antena i primerima korišćenja istih u rešavanju specifičnih problema pri izgradnji antenskih sistema, pokažemo da se skoro sve specifične karakteristike antena mogu iskoristiti kao prednosti ako se o njima vodi računa, a mogu se pojaviti kao velike i nezaobilazne mane ako se o njima ne vodi računa, tj. ako se napravi pogrešan izbor.



sl.1. Oblik stvarnog i aproksimiranog horizontalnog i vertikalnog dijagrama zračenja usmerene antene.

Dijagram antene i pojačanje

Jedna od najvažnijih funkcionalnih osobina antena je njihova **dobit** ili **pojačanje**. Ta osobina antene, koja predstavlja meru njene *kolektorske* osobine, tj. osobine da iz okolnog prostora *skuplja*, *hvata* ili *izvlači* energiju elektromagnetnog zračenja (radio talasa), u tesnoj je povezanosti sa jednom drugom osobinom antene koja se zove **usmerenost**.

Praktično, to je jedno te isto, **jer dobit antene, u osnovi, leži u njenoj usmerenosti, tj. osobini da radio talase koji dolaze iz jednog određenog pravca mnogo efikasnije prikuplja nego iz ostalih pravaca.**

Što je antena usmerenija to je i njena dobit ili pojačanje veće!

Jedini način da antena pojača neki signal, pošto je pasivna (nema spoljašnjeg izvora napajanja), je da svojom sposobnošću skupljanja hvatanja ili izvlačenja energije radio talasa iz okolnog prostora, tj. iz određenog pravca, skupi veću energiju od neke druge neusmerene antene koja skuplja energiju podjednako iz svih pravaca.

Merilo pojačanja bilo koje antene ne bi imalo smisla kada ne bi imali u odnosu na šta da je poredimo.

S obzirom da antena izvlači svoje pojačanje iz usmerenosti, najmanje pojačanje ima najneusmerenija antena. Za međusobno poređenje antena potrebno je ustanoviti neki reper, neku meru, neku minimalnu vrednost u odnosu na koju bismo mogli izražavati sve ostale veće vrednosti. Zato je kao reper uzeta antena sa najmanjom dobti, odnosno ona koja je potpuno neusmerena. Takva antena u obe ravni, i horizontalnoj i vertikalnoj, ima dijagram usmerenosti koji je krug. Gledano u prostoru, dijagram usmerenosti takve jedne antene je savršeno pravilna lopta.

Jedini problem koji se pojavljuje kod ovakve definicije pojačanja antene je taj što takva antena ne postoji u praksi. Takav dijagram bi dala antena koja je matematička tačka, tj. u praksi jedna vrlo minijaturna antena u odnosu na talasnu dužinu radio talasa koji prima. Takva hipotetična antena naziva se **izotropni radijator** i njeno pojačanje je uzeto kao jedinično, a na decibelskoj skali to je 0 dB.

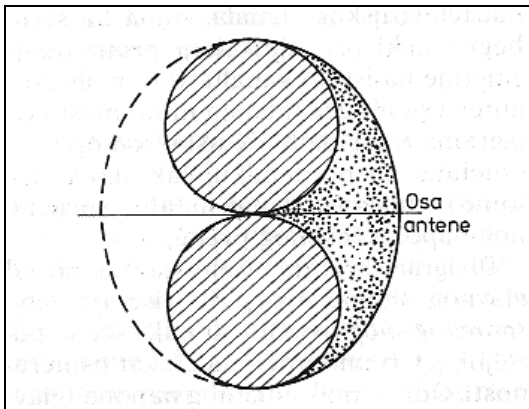
Iz razloga ne postojanja izotropnog radijatora u praksi, radi lakšeg poredjenja, uzet je tzv. **polutaladni dipol** kao osnova za uporedjenje, s tim što je vrlo lako preračunavati pojačanja u odnosu na polutaladni dipol i izotropni radijator, jer je razlika 2.14 dB.

To praktično znači da ako posle uporedjenja pojačanja neke antene u odnosu na polutaladni dipol dobijemo recimo vrednost od 11 dBd (ovo je oznaka za decibele u odnosu na polutaladni dipol) vrlo lako možemo izračunati i vrednost pojačanja u odnosu na hipotetični izotropni radijator dodavanjem 2.14 dB na izmerenu vrednost. Rezultat je u gornjem primeru $11+2.14=13.14$ dBi (ovo je oznaka za decibele u odnosu na izotropni radijator).

Jabuka - “ulubljena” lopta

Razlika od 2.14 decibela između polutalasnog dipola i izotropnog radijatora pojavljuje se zbog male usmerenosti u ravni u kojoj leži dipol i u kojoj je dijagram umesto kruga sličan cifri 8. Ovo u prostoru daje oblik dijagrama usmerenosti polutalasnog dipola u obliku jabuke, s tim što je dipol unutra u centru jabuke i leži na osi simetrije, tj. u produžetku peteljke. Ovako malo “ulubljen” dijagram u odnosu na loptu ima veću usmerenost, tj. veću koncentraciju prijemnih osobina u pojedinim pravcima dok u nekim, kao što je to slučaj sa pravcem peteljke, skoro da i nema prijemnih osobina. Ovo “izobličenje” je ustvari usmerenost i na osnovu nje se dobilo onih 2.14 dB pojačanja polutalasnog dipola u odnosu na izotropni radijator koji nema nikakvo usmerenje, pošto u svim pravcima ima iste osobine prijema.

Namernim izobličavanjem dijagrama usmerenosti, a to se postiže gradnjom antena koje imaju tu osobinu da su jako usmerene, mi ustvari dobijamo povećanje prijemnog signala iz određenog pravca. Dijagrami takvih antena imaju oblik valjka, ili bejzbol palice, s tim što se antena nalazi na jednom kraju, recimo šaka koja drži palicu može se smatrati antenom. Očigledno je da takva antena ima veoma izražen jedan pravac odakle veoma dobro prima radio talase (vrh palice) dok sa svih ostalih strana ta osobina je veoma umanjena. To znači da je “izobličenje” tj. “ulubljenje” veliko, što s druge strane implicira da je reč o anteni sa vrlo velikim pojačanjem ili usmerenošću.



sl.2. Prostorni dijagram usmerenosti horizontalnog polutalasnog dipola (prikazan je presek torusa).

Ono što je važno zapamtiti je da **nema pojačanja signala bez usmerenosti**, jer to, jednostavno, ne dozvoljavaju fizički zakoni. Ponekad se stvara privid da neke antene nisu usmerene a da imaju pojačanje, a razlog tome je što smo mi skloni da, u analizi, zanemarimo vertikalnu ravan i da usmerenost antene procenjujemo samo u horizontalnoj ravni. Na primer emisione antene radio i TV predajnika “nisu usmerene” a imaju prilično veliko pojačanje. Činjenica je da su te antene usmerene u vertikalnoj ravni i da iz te usmerenosti izvlače svoje pojačanje emitovanog signala. Prostorni oblik usmerenosti takvih antena podseća na tanku pogaču ili debelu palačinku.

Rezonantne i one druge ...

Videli smo kako je dobit ili pojačanje antene neraskidivo vezano sa usmerenošću antene i kako bez jednog nema ni drugog.

Videli smo i to da možemo da gradimo usmerene antene i time dobijemo da kolektorske osobine antene nisu u svim pravcima iste, što može da bude od velike koristi u praksi.

Međutim pri analizi ovih prostornih osobina antene, zbog jednostavnosti, namerno smo izostavili jednu takođe važnu dimenziju a to je radna frekvencija ili frekvencijski opseg. Sada ćemo se malo pozabaviti njome.

Fizičke dimenzije antene stoje uvek u nekom odnosu prema talasnoj dužini signala koje antena prima. Antena “zaronjena” u elektromagnetno polje u prostoru različito reaguje na različite frekvencije odnosno talasne dužine signala koji postoje u tom prostoru.

Sa stanovišta tog specifičnog reagovanja antena na frekvenciju signala možemo antene podeliti u dve velike grupe: rezonantne i nerezonantne ili aperiodične.

Rezonantne antene, kao što im i samo ime kaže, tako su projektovane i izradene da stupaju u rezonansu sa signalima određene frekvencije i time je njihov radni frekvencijski opseg ograničen samo na one frekvencije signala sa kojima oni stupaju u rezonansu. Ovakve antene se ponašaju vrlo slično rezonantnim oscilatornim kolima, jer one to u principu i jesu.

Princip njihovog rada, kao što ćemo to kasnije videti, svodi se na veći broj prostorno razmeštenih rezonantnih kola formiranih od odsečaka vodova, koja su međusobno spregnuta i koja zajedno formiraju osobine antene.

Nerezonantne antene, sa druge strane, tako su konstruisane da nemaju posebno izražene rezonantne osobine i njihov rad se upravo

zasniva na tom svojstvu jer im ono obezbeđuje vrlo široko radno frekventijsko područje.

Ove antene zasnivaju svoj rad, tj. svoja kolektorska svojstva, na drugačijim principima nego rezonantne antene i najčešće se tu radi o tzv. antenama sa *progresivnim talasom* (romb, Beveridž, long-wire, itd.), posebno oblikovanim reflektorskim površinama, kao što su to recimo parabolične antene, ili delovima oblikovanih talasovoda, kao što su *rog* ili *horn* antene.

Ima i mnogo tipova antena koje koriste razne kombinacije ovih gore pomenutih principa, sve u cilju isticanja nekih posebnih osobina antene za specifičnu namenu.

Impedansa antene

Još jedna važna osobina antene je njena *impedansa*. Impedansa predstavlja radnu električnu otpornost koju ona "prikazuje" na svojim priključcima, tj. onu otpornost koju "vidi" generator koji tu antenu napaja visokofrekventnom strujom određene frekvencije.

Ova otpornost ili tačnije impedansa antene je fizičko svojstvo antene koje je veoma mnogo zavisno od fizičkih i električnih osobina antene i prostora u njenoj okolini. Ovo poslednje je naročito važno, jer se često previda ova vrlo izražena osobina antene da se različito ponaša na različitim mestima u prostoru, zavisno od karakteristika samog prostora.

Pod karakteristikama prostora podrazumevaju se svi objekti u prostoru oko antene: krovovi, stubovi sa drugim antenama, zgrade, visina od zemlje i sve ostalo što narušava i izobličava prirodni oblik prostornog dijagrama usmerenosti antene.

Pojave koje menjaju električne osobine prostora (magla, padavine, led, inje, vegetacija itd.) takodje imaju uticaj na impedansu antene.

Svaka promena dijagrama usmerenosti antene izazvana spoljnim faktorima proizvodi odgovarajuću promenu impedanse antene.

Slikovito bismo mogli reći da antena "vidi" prostor oko sebe, i što je još interesantnije "oštrina vida" odgovara u potpunosti prostornom dijagramu njene usmerenosti. To znači da u onim pravcima u kojima je više usmerena ona "bolje vidi" prostor pa jače i reaguje na promene u njemu.

Pošto antena predstavlja "vezu" prijemnika ili predajnika sa prostorom to ona u tom svojstvu radi kao specifični transformator elektromagnetnih osobina prostora s jedne, i prijemnika, tj. koaksijalnog kabla kojim je povezana s druge strane.

Uprošćeno to bi značilo da antena ima funkciju da svojim transformatorskim osobinama izvrši prilagođavanje impedanse slobodnog prostora na impedansu prijemnika ili predajnika.

Upravo zato, svaka i najmanja promena stanja u prostoru oko antene biva transformisana kao drugačija impedansa, tj. antena promenom svoje impedanse reaguje na promene u prostoru oko nje.

Rezonantne antene reaguju "selektivno" i to tako što najviše reaguju na one promene u prostoru koje su takodje selektivne na istom opsegu frekvencija. Primer za ovu "selektivnu reakciju" može biti činjenica da rezonantna antena najjače reaguje na prisustvo druge rezonantne antene koja radi u istom opsegu frekvencija.

Kod rezonantnih antena promena impedanse antene je osim promenom stanja prostora oko nje uslovljena i frekvencijom signala koji prima ili emituje.

Ova osobina, mada ne tako izražena, postoji i kod većine aperiodičnih antena.

Upravo ova promena impedanse sa frekvencijom predstavlja onaj faktor koji nam ograničava upotrebljivost antene na jedan opseg frekventijskog spektra. Van tog opsega antene nemaju one osobine koje imaju unutar opsega i zbog toga su obično neupotrebljive.

Zbog značaja koji impedansa antene ima na njeno funkcionisanje vrlo je važno dobro poznavati neke zakonitosti kako bi se izbegle greške u oceni važnosti ove osobine antene u posebnim uslovima njene primene. Tako na primer impedansa antene nema podjednaku važnost kada se antena koristi kao prijemna i kada se koristi kao predajna, mada se same osobine antene ne menjaju u zavisnosti od toga kako se ona koristi.

Bez nasilja, molim!

Do sada je bilo reči o tome kako se antene ponašaju na različitim frekvencijama i o tome šta je impedansa antene. Rečeno je da se impedansa antene menja sa promenom frekvencije i da onaj opseg frekvencija u kome je ta promena prihvatljiva predstavlja radni frekventijski opseg antene.

Razmotrimo zašto je precizno određena vrednost impedanse antene toliko važna za rad antene.

Rekli smo da impedansa antene predstavlja radnu električnu otpornost koju ona "prikazuje" na svojim priključcima. Ovaj termin "radna otpornost" stručno se naziva *otpornost zračenja* i on nikako ne znači da se ona opire zračenju već upravo obrnuto, predstavlja svojstvo antene da

emituje ili prima elektromagnetne talase iz prostora!

Prilagodjenje antene

Fizički gledano to svojstvo emitovanja, tj. pretvaranja struje u elektromagnetni talas je potpuno analogno, recimo, pretvaranju struje u toplotu, tj. u infracrveno elektromagnetno zračenje kod kućne grejalice.

Za pretvaranje struje u toplotu koristimo otpornik, tj. grejač, a kod antene tu ulogu igra "otpornost zračenja" na kojoj se "troši" struja da bi se zračili elektromagnetni talasi, baš kao što se na grejaču grejalice troši struja da bi se zračila toplota u okolni prostor.

U elektrotehnici postoji jedan fizički zakon koji kaže da je najveći prenos energije sa generatora na potrošač onda kada su otpornosti generatora i potrošača jednake, tj. prilagođene. Jedino tada sva (teorijski moguća) energija koju proizvede generator bude potrošena u potrošaču.

Šta se dešava ako generator i potrošač nisu prilagođeni, tj. nemaju iste sopstvene (unutrašnje) otpornosti? Dešava se to da energija koja kreće od generatora ka potrošaču preko nekog prenosnog voda (koaksijalnog kabla) kada stigne do potrošača delimično se potroši na njemu a delimično se reflektuje nazad ka generatoru. Ova reflektovana energija, kada stigne nazad do generatora, ponovo se delimično potroši na generatoru a delimično odbije ponovo ka potrošaču. Usput se deo energije potroši i na prenosnom vodu zbog njegove otpornosti. Stizanjem po drugi put do potrošača opet se jedan deo potroši a jedan deo vrati, i tako sve dok se sva energija ne potroši.

Naravno, u međuvremenu stalno pristiže nova energija iz generatora, pa tako imamo situaciju da jedan deo energije koji generator stvori bude potrošen na potrošaču, a drugi, obično manji deo, u vidu stojećeg talasa osciluje "tamo-amo" na prenosnom vodu.

Ovo je naravno nepoželjno, pa se uvek trudimo da generator (predajnik) i potrošač (antena) budu prilagođeni a samim tim i prenosni vod (koaksijalni kabl) kako bi se smanjili gubici.

Sada je jasno zašto je važno da impedansa antene bude u prihvatljivim granicama jer inače gubici mogu potpuno da neutrališu sve dobre osobine antene u pogledu njenog pojačanja.

Efikasnost antene

Sada kada je ovo jasno, možemo da uvedemo i pojam *efikasnosti* antene. Svaka antena, pošto kroz nju teče struja, bilo da radi kao prijemna ili

predajna, zbog svoje električne otpornosti provodnika od kojih je napravljena, troši jedan deo te struje na toplotu. Pošto je to, u ovom slučaju, nekorisna toplota, tu snagu nazivamo snagom gubitaka. Odavde ne treba mnogo pameti da se zaključi da je efikasnija ona emisiona antena koja ima manje gubitaka, tj. troši manje snage na sopstveno zagrevanje, a više na emitovanje radio talasa. Kod prijemne antene, odnos "prikupljene" snage signala i dela te snage koji se izgubi u anteni i ode na zagrevanje, predstavlja meru efikasnosti antene. Isto je i kod predajne - odnos snage koja je poslata u prostor i one koja se potrošila na zagrevanje delova antene je mera njene efikasnosti.

Dobit ili pojačanje antene se dobija kada se usmerenost pomnoži sa efikasnošću.

Upravo iz tih razloga nije svejedno od čega je (od kog metala) antena napravljena, a još je važnije u kakvom je stanju površina antene, tj. metalne šipke ili žice u pogledu električne provodnosti. Oksidisali (zardali) metalni delovi imaju po pravilu veliku električnu otpornost a time i velike gubitke, tj. malu efikasnost. Zato elementi koji su napravljeni, recimo, od bakra koji je odličan električni provodnik kada oksidišu i potamne (a to se desi vrlo brzo) predstavljaju vrlo loš provodnik i time unose velike gubitke. Znači svi metali koji su skloni koroziji moraju biti obavezno zaštićeni, kako bi se očuvale njihove dobre električne karakteristike, a time i efikasnost antene.

Kod antena koje, kao svoj sastavni deo koriste okolno zemljište, efikasnost u mnogome zavisi od provodnosti, tj. gubitaka u njemu. Da bi se povećala provodnost zemljišta i smanjili gubici postavljaju se tzv. radijali - žičani provodnici iznad ili u zemlji oko antene.

Pošto se ovde radi o termičkim gubicima koji su proporcionalni proizvodu iz otpornosti i kvadrata struje koja prolazi kroz provodnik to je, osim smanjivanja otpornosti provodnika antene, važno i smanjiti cirkulišuće struje na minimum, a to je u direktnoj zavisnosti od veličine otpornosti zračenja, tj. Q-faktora antene. Dakle povećanje otpornost zračenja antene direktno utiče na povećanje efikasnosti i širine frekvencijskog radnog opsega antene.

Skraćene antene

Na kraju treba napomenuti da je velika efikasnost antene obavezna kada antena radi kao predajna, a da je vrlo poželjna kada radi kao prijemna.

U određenim okolnostima efikasnost prijemne antene može se žrtvovati zarad neke druge osobine, recimo velike usmerenosti ili jednostavnije izrade i, pogotovo na nižim frekvencijama, može biti prihvatljiva.

Još jedna važna stvar, koja proizlazi iz svega što je do sada rečeno, je da su antene bolje ukoliko imaju veću otpornost zračenja, a manju otpornost gubitaka, jer imaju veću širinu radnog frekvencijskog opsega i veću efikasnost, a time i dobit (pojačanje) koja je, kao što je rečeno, proizvod iz usmerenosti i efikasnosti. Veća otpornost zračenja ujedno znači i niži radni Q-faktor antene a time i sve prednosti takvog širokopojasnog i nekritičnog rada.

Razne "skraćene" verzije antena uvek imaju vrlo malu otpornost zračenja, visok radni Q faktor, vrlo su uskopojasne i imaju malu efikasnost zbog velikih vrednosti struja koje cirkulišu kroz kalemovne i druge elemente za skraćivanje antene. Razlog tome je što je antena koja je "nasilno" skraćena reagovala na to "nasilje" promenom impedanse, tj. smanjenjem otpornosti zračenja, odakle su proizašle sve ostale loše osobine ovako "silovane" antene.

Svi znamo onaj vic o japancima koji su "pronašli kantu koja ima 20 litara, a može da stane u mali džep"! E, tako je i sa antenama!

Usmerene antene tj. antene sa velikim pojačanjem grade se tako što se na nosač postavlja veći broj posebno dimenzionisanih elemenata koji imaju funkciju usmeravanja radio talasa. Svako dodavanje elemenata na već postojeću osnovnu (dipol) antenu neminovno dovodi do promene njene impedanse i dijagrama zračenja. Pravilnom konstrukcijom antene postiže se da se dijagram zračenja oblikuje po želji i da se impedansa drži pod kontrolom, tj. da dobijemo najbolje usmerenje a time i pojačanje antene uz očuvanje što povoljnije impedanse, tj. što višu otpornost zračenja antene.

Radni opseg antene

Međutim, pošto rad svih elemenata od kojih se satoji jedna rezonantna, na primer jagi, antena zavisi od radne frekvencije, time i rad cele antene veoma zavisi od toga na kojoj frekvenciji radi. Kao što smo već rekli sve rezonantne antene su vrlo uskopojasne u pogledu radnog frekvencijskog opsega, jer se sastoje od rezonantnih dipola koji sa promenom frekvencije menjaju svoje radne karakteristike, a time i karakteristike cele antene.

Prilikom projektovanja antene vodi se računa da na radnoj frekvenciji svi elementi rade na tačno unapred definisani način, tako da svojim radom

(amplitudama i faznim stavovima struja u njima) konstruktivno učestvuju u konačnim karakteristikama antene. Međutim pri odstupanju od projektovane frekvencije pojedini elementi antene ponašaju se drugačije i njihov rad biva sve manje usaglašen kako raste odstupanje frekvencije. Konacno, kada je radna frekvencija dosta udaljena od projektovane, dolazi do destruktivnog delovanja pojedinih delova antene i karakteristike antene vrlo naglo postaju vrlo loše, što se očituje velikim padom pojačanja, drastičnom promenom impedanse (a time i padom efikasnosti) i dijagrama zračenja.

Upravo ovakvo ponašanje antene je razlog zbog čega je radni opseg antene vrlo važan faktor u njenoj proceni i eksploataciji.

Šumne karakteristike antene

Signal koji se prima pomoću antene je uvek praćen određenim nivoom šuma koji zavisi od mnogih faktora. Na neke od tih faktora ne možemo, ili samo delimično možemo, da utičemo. Pošto je antena ono što nam pored postojećeg stanja u prostoru, na koji ne možemo da utičemo (jačina prijemnog signala, smetnje i šumovi), predstavlja najvažniji elemenat prijemnog sistema, to je od velike koristi da razmotrimo njene karakteristike po pitanju šuma kako bi mogli optimalno da je koristimo.

Šumne karakteristike antene određene su njenom efikasnošću, tj. gubicima i fizičkom temperaturom. Po fizičkom zakonu o zračenju "crnog tela" ona zavisi od svoje otpornosti gubitaka i fizičke temperature generiše šum. Taj šum je nezavisan od svih drugih uslova u kojima antena radi. To je njen "unutrašnji" šum. Međutim osim tog šuma javlja se i šum koji antena prima iz prostora oko nje, upravo isto onako kao i svaki drugi signal.

Ovaj "spoljašnji" šum antene zavisi od mnogih faktora, ali navešćemo samo one najvažnije. Najveći deo spoljašnjeg šuma predstavljaju, u urbanim sredinama, razna varničenja i druge električne smetnje. Ovaj šum se često naziva "industrijski" ili "urbani" šum. U ruralnim predelima daleko od velikih gradova, velikih saobraćajnica i industrijskih centara ovaj šum je mnogo manji.

Drugi izvori šuma koji su dosta značajni posebno na nižim VHF frekvencijama su šumovi Zemlje i kosmosa.

Zemlja poput svakog tela zagrejanog na temperaturu iznad apsolutne nule (-273 C) zrači, zavisno od temperature i svoje provodljivosti tj. otpornosti gubitaka.

Da li ste znali da, dok vi bezbrižno gledate TV, vaša antena prisluškuje žamor i šapat dalekih zvezda i naše planete Zemlje?

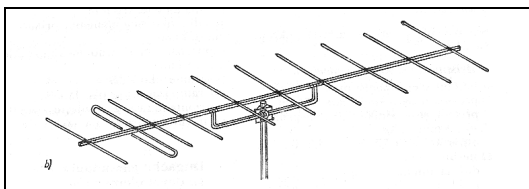
Antena ovaj "spoljašnji" šum prima kao i svaki drugi signal iz prostora i veličina tog šuma zavisi od dijagrama usmerenosti antene. Oni izvori šuma koji se nalaze u "vidnom polju" antene bivaju primljeni kao i svaki drugi predajnik elektromagnetnih talasa.

Ekvivalentna šumna temperatura antene određena je zbirom ekvivalentne temperature šuma koji generiše otpornost gubitaka antene usled njene fizičke temperature i ekvivalentne šumne temperature one oblasti neba, zemlje ili drugih objekata koje antena "vidi" preko svog dijagrama usmerenosti u svom "vidnom polju".

Jagi antene

Sa jagi antenama TV je počela svoj pohod u osvajanje medijskog prostora i ostala sa njima neraskidivo vezana sve do današnjih dana.

Ova poznata, kvalitetna i vrlo popularna antena konstruisana je još davnih dvadesetih godina ovog veka od strane dvojice japanskih inženjera po kojima je i dobila svoje ime: "Uda-jagi antena". Neposredno posle pronalaska, ona biva gotovo potpuno zaboravljena sve do kraja četrdesetih godina kada biva "ponovo otkrivena" zahvaljujući nagloj ekspanziji TV na VHF talasnom području. Sve do početka šezdesetih godina ovaj tip antene nije bio nešto posebno istražen tako da su dotadašnji modeli jagi antena bili daleko od nekih optimalnih performansi. Sredinom pomenute dekade dolazi do sve većeg interesa za ove antene zbog naglog razvoja svemirskog programa, a time i svemirskih komunikacija. Međutim, pravi razvoj jagi antena započinje krajem sedamdesetih i početkom osamdesetih godina sa pojavom dovoljno snažnih računara i kvalitetnih programa za simulacije, analize i sinteze koji su omogućili "kvantni skok" u razvoju i optimizaciji vrlo dugačkih i usmerenih antena ovoga tipa.



sl.3. Konstruktivni izgled jagi antene sa 10 elemenata

Međutim i pre moćnih računara i profesionalci i radioamateri su se bavili pokušajima da poboljšaju jagi antene, prevashodno za postizanje što boljih rezultata u održavanju radio veza. Jedan od sigurno najzaslužnijih za veliki napredak u konstruisanju optimalnih jagi antena je inž. Gunter Hoch, DL6WU, koji je tokom sedamdesetih godina empirijski istražio i optimizirao jagi antene. Kasnije optimizacije računarima samo su potvrdile njegove rezultate. Veoma malo je ostavio kasnijim, računarima naoružanim, konstruktorima da poboljšaju njegove antene. Još jedna od njegovih velikih zasluga je definitivno odbacivanje dve velike zablude koje su suvereno vladale tokom prethodnih decenija. Naime, verovalo se (niko ne zna zašto?) da veoma dugačke jagi antene nemaju smisla jer sa povećanjem dužine antene povećanje njene dobiti biva sve manje, tj. postoji izvesno "zasićenje" krive dobiti u funkciji dužine antene. Jedno od objašnjenja je bilo da su kod dugačkih antena direktori jako daleko od zračećeg elementa i da su vrlo slabo spregnuti, pa malo i utiču na dobit antene.

Isto tako se verovalo da i dobit koja se može izvući iz grupisanja više antena u sistem takođe pati od iste sudbine, tj. da dolazi do zasićenja krive dobiti u funkciji broja antena u sistemu. Svojim eksperimentima sa vrlo dugačkim antenama Gunter je prvo pokazao da nema nikakvog zasićenja dobiti već da se uvek kada se udvostruči dužina antene dobije oko 2.3 dB veće pojačanje!

Naime, ustanovio je da se radio talas, preko strukture jagi antene, kreće slično nekom fluidu kroz cev, što objašnjava zašto pretpostavka o "slaboj sprezi" poslednjih direktora nije tačna.

Isto tako je pokazao, a kasnije je i snažnim računarima potvrđeno, i da svako udvostručavanje broja antena u sistemu donosi od 2.5-2.8 dB (zavisno da li je slaganje po horizontali ili vertikalni) veće pojačanje. Naravno ovim se pokazuje da ne postoje teorijske prepreke, a da bi ovo bilo i u praksi dostižno moraju se konstruisati antene koje su blizu optimalnih. Slaganje u sistem takođe zahteva tačno određena rastojanja, napajanje itd.

Danas, zahvaljujući vrlo snažnim računarima i kvalitetnim programima, dostignut je maksimum po pitanju pojačanja i ostalih važnih karakteristika jagi antena. Iz njih je "isceden" i poslednji delić decibela tako da su one danas verovatno retke komercijalne antene koje su dostigle tako zavidnu visinu u pogledu optimalnosti karakteristika.

Naravno da to nikako ne znači da se na tržištu ne mogu naći i loši primerci jagi antena, tim pre što

većina proizvođača još uvek ne koristi blagodeti računarske tehnike, a i mnogi koji je koriste zbog nepoznavanja elektromagnetike, robovanja zabludama i dogmama, kao i radi što veće zarade, često prave nedozvoljene uštede i greške pri izradi, pa tako i pored dobrog kompjuterskog dizajna naprave lošu antenu.

Konstrukcija

Konstrukcija jagi antene je dosta logična. Osnovnom aktivnom elementu antene – dipolu – su dodavani pasivni paraziti elementi, tzv. reflektori i direktori, koji su pogodnim razmeštajem u prostoru, kao i svojim fizičkim dimenzijama uticali da se formira vrlo usmeren dijagram.

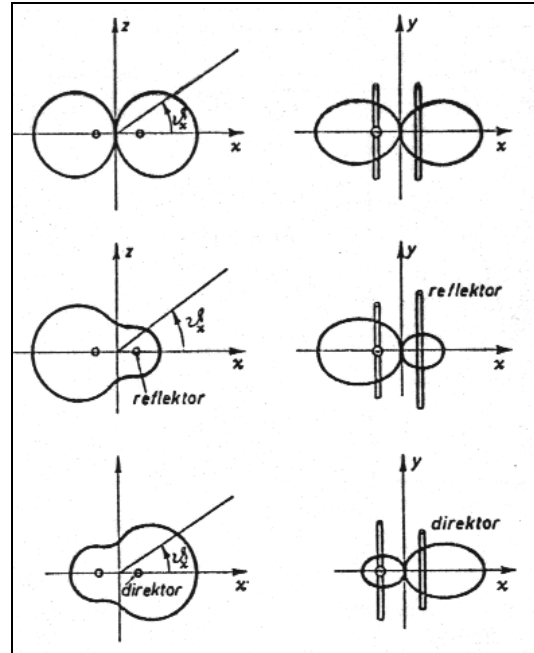
Horizontalno postavljeni dipol ima dijagram usmerenosti koji u vertikalnoj ravni ima oblik kruga, a u horizontalnoj oblik broja 8. Ako se paralelno dipolu na određenom rastojanju postavi još jedan dipol koji za razliku od prvog nije aktivan, tj. na njega nije priključen napojni koaksijalni kabl, onda se zbog uticaja tog dodatog parazitnog, pasivnog elementa dijagram usmerenosti promeni. Pogodnim izborom rastojanja između ova dva elementa kao i dužine parazitnog elementa može se postići da se u smeru ka parazitnom elementu dijagrami usmerenosti svakog od elemenata potiru, a da se u suprotnom smeru sabiraju, tako da kao posledicu dobijemo usmerenu dvoelementnu antenu. Činjenica da se u smeru ka parazitnom elementu dobija minimum pojačanja tj. usmerenosti antene, implicira da se parazitni elemenat ponaša kao reflektor radio talasa koji sprečava prostiranje u tom smeru.

Ovaj parazitni elemenat - reflektor - obično se nalazi na oko četvrt talasne dužine od dipola i desetak procenata je duži od njega.

Na isti način sa suprotne strane od reflektora moguće je postaviti druge parazitne elemente koji će takođe dalje modelirati dijagram usmerenosti. Ovi elementi za razliku od reflektora imaju funkciju usmeravanja radio talasa i time povećanja direktivnosti antene, pa se i zovu direktori. Za razliku od reflektora koji je jedini sa zadnje strane antene, tj. iza dipola, ispred dipola u smeru iz koga je najbolji prijem antene može biti čak nekoliko desetina direktora koji su postavljeni na određenim rastojanjima od dipola i uvek su kraći od njega.

Ovako formiran niz elemenata (dipola) koji se nalaze na zajedničkom nosaču i koji su svi, osim jednog, pasivni, predstavlja osnovni tip jagi antene. Znači, uobičajena jagi antena se sastoji iz jednog aktivnog dipola, jednog pasivnog

reflektora i jednog ili više pasivnih direktora. Maksimum dijagrama usmerenosti je u smeru direktora. Sa zadnje (prema reflektoru) i bočnih strana, antena ima vrlo slab prijem.



sl.4. Uticaj dužine parazitnog dipola na oblik zajedničkog dijagrama zračenja:

gore: jednake dužine aktivnog i parazitnog dipola,
u sredini: parazitni dipol duži od aktivnog (reflektor),
dole: parazitni dipol kraći od aktivnog (direktor).

Jagi antena je u frekvencijskom pogledu uskopojasna antena jer je po sredi klasičan primerak rezonantnog tipa antene. Širina radnog frekvencijskog opsega je obično nekoliko desetina procenata rezonantne frekvencije dipola. Van ovog relativno uskog opsega karakteristike antene se vrlo naglo kvare, tako da postaje skoro neupotrebljiva.

Moguće je ovaj opseg proširiti posebnim konstruktivnim zahvatima kao što su povećanje debljine elemenata i posebno “razdešavanjem” rezonantne fekvencije pojedinih elemenata na tačno utvrđen način. Ovim se dobija veća širina opsega ali, posebno pri većem razdešavanju, dolazi i do priličnog pada performansi antene.

Nosač elemenata antene koji je obično napravljen od metala ili nekog izolacionog materijala je “nužno zlo” i za jagi antenu on “ne postoji” tj. nema nikakvu funkciju u radu antene. Ali samo prisustvo nosača može ponekad da bude i smetnja pogotovo na višim frekvencijama gde njegova debljina predstavlja značajan deo talasne dužine.

Upravo činjenica da ne možemo da napravimo antenu bez nosača koji će da nosi elemente i da izbegnemo njegov uticaj na efektivnu električnu dužinu elemenata, stavlja konstruktore antena pred dilemu kako da priđu rešavanju ovog problema. U praksi su uobičajena tri pristupa rešavanju načina pričvršćenja elemenata za nosač od kojih svaki ima i dobrih i loših strana.

Pripreme za lansiranje

Postojanje nosača elemenata kod jage antena je, kao što smo rekli, “nužno zlo” i njegovu neminovno prisustvo utiče na rad antene.

Uticaj nosača je manje-više uvek destruktivan, tako da se konstruktori antena trude da ovaj uticaj minimiziraju i u tom smislu se preduzimaju različiti zahvati.

Upotreba nosača od izolacionih materijala u električnom pogledu rešava ovaj problem, ali u mehaničkom i naročito u ekonomskom pogledu obično je neprihvatljiva.

Sa druge strane, pokušava se uticaj metalnog nosača svesti na minimum raznim kompenzacijama elemenata antene kako bi se očuvale njene dobre karakteristike i pored destruktivnog dejstva nosača. U tom smislu izdiferencirala su se u praksi tri rešenja montaže elemenata na nosač.

Izolovani elementi

Prvi način montaže je postavljanje elemenata na nosač ali tako da su oni izolovani od nosača.

Pri ovakvoj montaži potrebno je voditi računa o tome da elementi budu dovoljno daleko od metalnog nosača kako bi se smanjio njegov “kapacitivni” uticaj na element. U praksi je dovoljno da element bude udaljen od nosača za rastojanje koje je veće od polovine prečnika nosača. Druga bitna stvar je da izolacioni materijal koji se nalazi između elementa i nosača ima dobre visokofrekventne karakteristike, tj. male gubitke i malu relativnu dielektričnu konstantu. Takođe je važno da je postojan, tj. da je materijal od koga je napravljen (obično neka plastična masa) otporan na dejstvo ultravioletnog sunčevog zračenja. Naravno površ svega su važne i mehaničke karakteristike upotrebljenog materijala, koji mora da bude čvrst ali ne i krto.

Pri ovakvoj montaži elemenata “simulira se nepostojanje nosača”, te tako nije potrebna nikakva korekcija na elementima antene, jer je uticaj nosača sveden na minimum.

Neizolovani elementi

Drugi način je postavljanje elemenata na nosač tako da oni nisu izolovani, tj. pričvršćeni su direktno na metalni nosač.

Ovakva montaža izvodi se pomoću raznih metalnih delova koji učvršćuju element na nosaču.

Zavisno od načina na koji su elementi postavljeni, potrebno je izvršiti kompenzaciju elemenata antene kako bi se uticaj metalnog nosača i tih metalnih delova uračunao pri proračunu dimenzija antene. Ovo je vrlo važna stavka jer ukoliko se ne izvrši ova kompenzacija dimenzija elemenata, projektovana antena uopšte nema one karakteristike koje su očekivane!

Važno je zbog gubitaka, kod ovog tipa pričvršćenja elemenata, da elementi imaju uvek jako dobar kontakt sa nosačem, koji ne sme da se menja u zavisnosti od toga da li je antena vlažna ili suva i da li duva vetar ili ne. Korozija metala i električni gubici, naročito na spojevima raznorodnih metala, je ono što ovaj tip pričvršćenja elemenata stavlja u inferiornu poziciju u odnosu na prethodno opisanu montažu sa izolovanim elementima.

Montaža “kroz nosač”

Treća varijanta bila bi postavljanje elemenata tako da oni prolaze kroz nosač. Ovde imamo dve mogućnosti: ili da elementi koji prolaze kroz nosač budu u električnom kontaktu sa nosačem ili da budu izolovani od njega. Obe ove mogućnosti se u praksi široko koriste.

Ukoliko elementi prolaze kroz nosač i nisu izolovani imamo vrlo sličnu situaciju kao kod montaže elemenata na nosač neizolovano, tj. pomoću metalnih delova za pričvršćenje. I u ovom slučaju važi sve što je rečeno u pogledu dobrog kontakta, električnih gubitaka i problema sa korozijom. Ovaj tip pričvršćenja najbolje se izvodi zavarivanjem elemenata na nosač i tada je potpuno ravnopravan po kvalitetu sa izolovano postavljenim elementima.

Ukoliko se elementi montiraju tako da prolaze kroz nosač, ali su od njega izolovani onda imamo situaciju sličnu onoj kod izolovano postavljenih elemenata na nosač, jedino što ovde uticaj nosača ne može biti minimiziran udaljavanjem elementa od nosača, pa je neophodna korekcija dimenzija elemenata. Dobre osobine ovakvog načina učvršćenja su jednostavnost, dobra mehanička čvrstoća i velika trajnost i stabilnost električnih karakteristika antene.

Po kvalitetu rešenja ovaj tip pričvršćenja je u istoj ravni sa zavarenim elementima, kao i sa izolovanim elementima montiranim na nosač.

Impedansa jagi antene

Kao što smo videli u prošlom broju jagi antena je napravljena tako što su aktivnom elementu - dipolu dodavani elementi: reflektor i direktori i na taj način menjan dijagram usmerenosti u cilju dobijanja što boljih karakteristika usmerenosti antene.

Rekli smo u jednom od prethodnih brojeva da se svaka promena prirodnog dijagrama antene manifestuje i promenom impedanse antene u tački napajanja. Očigledno je da je i pri gradnji jagi antene moralo doći do velikih promena impedanse u tački napajanja dipola sa svakim novim elementom koji je dodat.

Opšti trend pri dodavanju novih elemenata već potojećim je sniženje impedanse, tj. njenog realnog dela, koji se zove i *otpornost zračenja* i o kome je već bilo reči.

Smanjenje otpornosti zračenja antene nije poželjno, ali je neminovno kod svakog pokušaja da se napravi jagi antena sa što većom usmerenošću!

Do određene granice ovaj pad otpornosti zračenja može se tolerisati, ali preko određenih granica antena počinje da bude kritična i neefikasna. Reproducibilnost i širina radnog opsega postaju neprihvatljivo mali, povećavaju se gubici, a antena postaje veoma osetljiva na uticaje predmeta u njenoj okolini i to tako da već i sasvim mali uticaji drastično kvare njene karakteristike, tako da je ona u praksi potpuno neupotrebijiva.

Upravo zato je jedan od imperativa za svakog konstruktora očuvanje visoke otpornosti zračenja projektovane antene.

Da bi se ovo postiglo koriste se razne metode koje u manjoj ili većoj meri omogućavaju održanje relativno velike otpornosti zračenja i pri korišćenju velikog broja parazitnih elemenata koji su neophodni pri gradnji vrlo usmerenih jagi antena.

Jedan od najčešćih načina obezbeđivanja prihvatljive vrednosti otpornosti zračenja jagi antene je i korišćenje tzv. "launching" elementa ili "launcher"-a (u prevodu sa engleskog - lanser).

To je takva konstrukcija antene kod koje se prvi direktor nalazi vrlo blizu aktivnog dipola i on svojim prisustvom i dimenzijama vrši tzv. "lansiranje" talasa kroz strukturu antene i transformaciju impedanse. Osim ovog, uticaj i drugih elemenata je takođe vrlo bitan, pa se

povoljnim razmeštajem svih optimiziraju vrednosti impedanse uz što bolju usmerenost jagi antene.

Održavanje povoljne vrednosti otpornosti zračenja uz postizanje sto veće usmerenosti je kompromis koji se mora uspešno rešavati kod svake antene prilikom njenog projektovanja!

Samo one antene kod kojih je ovaj kompromis dobro rešen su dobre antene, ostale se samo tako zovu!

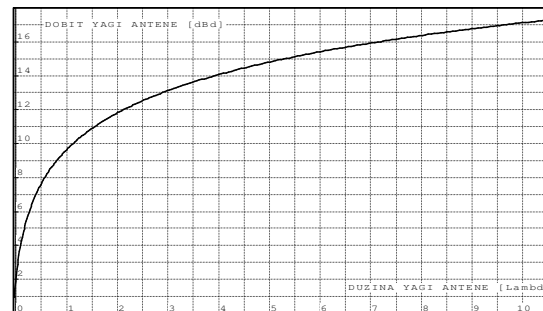
Ono što identifikuje jednu antenu, što predstavlja njen "otisak prsta", je svakako njen dijagram usmerenosti.

Oblik ovog prostornog dijagrama, kada se pažljivo analizira, mnogo govori o samoj anteni.

Dobra jagi antena mora imati simetričan, čist i pravilan dijagram sa dobro i oštro definisanim glavnim snopom i dobro potisnutim sporednim snopovima i duboke, nepopunjene minimume, tzv. "nule" između njih. Ovakav dijagram ukazuje na dobro i optimalno projektovanu i izrađenu antenu kod koje su izbegnute sve one zamke i povoljno rešeni svi oni kompromisi koji se susreću u ovom poslu.

Dobit jagi antene

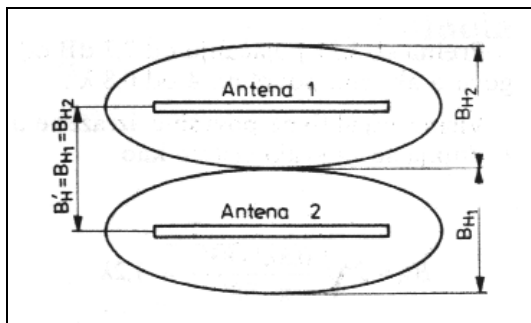
Pravilan i simetričan dijagram usmerenosti, osim što garantuje veliku dobit omogućava i lakše i bolje slaganje više antena u sistem u cilju dobijanja što veće dobiti. Naime, poznato je da je pojačanje ili dobit jagi antene zavisna od njene dužine. U cilju povećanja dobiti grade se sve duže i duže antene, ali nažalost postoje i praktične, mehaničke granice do kojih se može ići sa povećanjem dužine. Svako udvostručavanje dužine antene povećava dobit za oko 2.3 dB. Dijagram koji je dat na slici, pokazuje zavisnost dobiti optimalno projektovane jagi antene od njene dužine.



sl.5. Dobit optimalno konstruisane jagi antene u zavisnosti od njene dužine.

Mnoge slabije i neoptimalne antene ostaju ispod ove granice, i nije redak slučaj da budu lošije i

od mnogih daleko kraćih antena. Samo izuzetno kvalitetno konstruisane antene mogu da dostignu, ili čak i malo prevaziđu, ovaj praktični maksimum dobiti jagi antena. Dostizanje ovog praktičnog maksimuma podrazumeva da je uvek antena optimalno proračunata, jer svaka dužina antene zahteva tačno određen broj elemenata koji se na određeni način, tj. na određenim međusobnim rastojanjima smešta na nosač date dužine. Ni preveliki ni premali broj elemenata kao ni međusobna rastojanja koja nisu optimalna ne daju dobre rezultate. Teorijski maksimum dobiti je nešto veći, ali zbog neprihvatljivo niskih vrednosti otpornosti zračenja i neprihvatljivog dijagrama, praktična upotreba ovako konstruisanih antena je obično skopčana sa brojnim problemima i velikim gubicima usled pada efikasnosti antene, i povećanog šuma, tj. lošijeg odnosa dobiti prema šumnoj temperaturi antene, tzv. "figure of merit" ili G/T. Ovaj odnos se u komunikacijama uzima kao mera kvaliteta ili "optimalnosti" antene jer su u njemu sadržani i dobit i efikasnost i dijagram usmerenosti, tj. njihov konačni uticaj na rad konkretne antene u nekom komunikacionom sistemu, i stoga je vrlo koristan u procenjivanju i poređenju antena. Kada se želi povećanje dobiti i preko granica koje pruža jedna dugačka jagi antena, dalje povećanje dobiti postiže se slaganjem (stacking) dve ili više antena u sistem.



sl.6. Optimalno slaganje antena u sistem tako da se efektivne površine pojedinih antena upravo dodiruju.

Isto onako kao što je važno pravilno proračunati svaki element i njegovo mesto kod jagi antene, isto tako je važno, pri slaganju u sistem, izračunati položaj svake antene u odnosu na ostale u sistemu. Optimalno rastojanje između antena u sistemu je ono pri kome se efektivne površine antena upravo dodiruju. Jedino tako se može sa svakim udvostručavanjem broja antena u sistemu povećati dobit za oko 2.5 – 2.8 dB. Teorijski maksimum je 3 dB. Antene se mogu slagati u horizontalnoj ili u vertikalnoj ravni i pri

tome se optimalna rastojanja razlikuju prema dužini antene, tj. njenom osnovnom dijagramu zračenja kao i prema ravni u kojoj se vrši slaganje antena. Slaganje antena u jedinstven sistem ima smisla i podrazumeva korišćenje istovetnih antena uz upotrebu sistema za napajanje antena koji obezbeđuje jednako deljenje snage među njima, tj. pravilno sabiranje signala pojedinih antena na prijemu.

Slaganje antena u sistem lakše je izvesti sa nešto kraćim antenama od praktičnog maksimuma, kao i sa onima koje imaju pravilniji i čistiji dijagram. U tom slučaju rezultati su mnogo izvesniji. Posebno su antene sa vrlo niskim vrednostima otpornosti zračenja teške i neizvesne za slaganje u sistem.

Sa druge strane, upotreba velikog broja vrlo kratkih antena vezanih u sistem umesto jedne dugačke, obično daje iste ili čak i lošije rezultate nego odgovarajuća dugačka antena, zbog gubitaka u kablovima i razdelnicima kojima se napajaju antene.

Prilikom proračuna rastojanja između antena u sistemu mora se načiniti kompromis između rastojanja na kome se postiže najveća dobit i onog na kome imamo nešto manju dobit ali čistiji dijagram. Zavisno od namene antenskog sistema može se ovaj kompromis rešavati različito.

Loga antene

Govoreći o jagi antenama, rekli smo mnogo lepih reči o njihovim osobinama, ali smo i spomenuli neke nedostatke. Većina tih nedostataka, kada se jagi antena poznaje i kada se koristi na odgovarajući način, mogu biti i prednosti.

Sa stanovišta prijema radio i TV programa, jedna od osobina jagi antene koja predstavlja najveći problem je njena uskopojasnost, tj. vrlo uzan radni frekvencijski opseg. Kada se ima u vidu ukupna širina opsega koji se koristi za radio i TV difuziju, uobičajena jagi antena pokriva oko 10% opsega u najboljem slučaju. Očigledno je da je ova uskopojasnost ponekad ozbiljan hendikep i da je za prijem celog difuznog opsega često neophodno koristiti antene koje imaju neuporedivo veću širinu radnog frekvencijskog opsega.

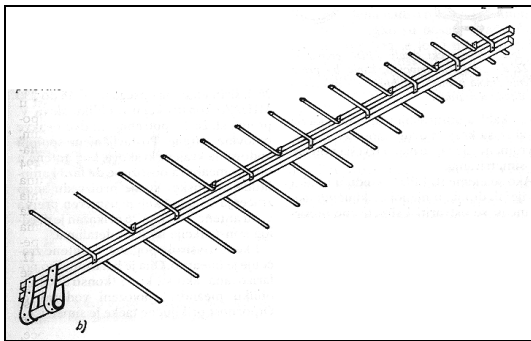
Jedna od antena koja se veoma dobro uklapa u ove zahteve je tzv. logaritamsko-periodična antena koja je tako konstruisana da može imati širinu frekvencijskog radnog opsega koja je nekoliko desetina puta veća od one kod jagi antena.

Ova antena je razvijena u SAD krajem pedesetih godina i bila je namenjena za profesionalne veze koje su zahtevale da se jednom antenom pokrije vrlo širok opseg radnih frekvencija.

Naziv antene označava i princip njene konstrukcije. Naime, kod ove antene, koja se sastoji samo iz aktivnih dipola poredanih na nosaču koji ujedno predstavlja i dvožični simetrični vod za napajanje, električne osobine (dobit i impedansa) periodično se ponavljaju sa logaritmom frekvencije unutar radnog opsega antene. Pogodnim matematičkim modeliranjem moguće je ove promene unutar jedne periode minimizirati tako da se karakteristike antene svode na približno konstantne u celom radnom opsegu frekvencija.

Ovakvom konstrukcijom je omogućeno da antena može da pokrije vrlo širok opseg frekvencija tako što pojedine grupe dipola rade na pojedinim frekvencijama. Maksimalna i minimalna radna frekvencija određene su dimenzijama najdužeg i najkraćeg elementa (dipola) na anteni.

Na ovaj način postignuto je da se relativno vrlo širok opseg frekvencija pokrije sa jednom antenom koja će u celom opsegu imati relativno konstantno pojačanje i prilagođenje ulazne impedanse.



sl.7. Konstruktivni izgled loga antene od 15 elemenata

Dijagram usmerenosti ovih antena je u celom radnom opsegu vrlo ujednačen i bez izraženih bočnih snopova. Prilagođenje impedanse i odnos napred-nazad dijagrama usmerenosti su u celom opsegu približno konstantni i vrlo dobri.

Imajući sve ovo u vidu log-periodična antena ili kraće loga antena je skoro idealna antena za prijem radio signala koji su raspoređeni u širokom opsegu frekvencija, kao što je to slučaj kod TV difuzije, posebno na UHF području.

loga antene, zbog svoje konstrukcije, omogućavaju i gradnju takvih "multiband" antena koje pokrivaju više opsega, na primer FM, VHF i UHF opseg, što je sa jagi ili nekim

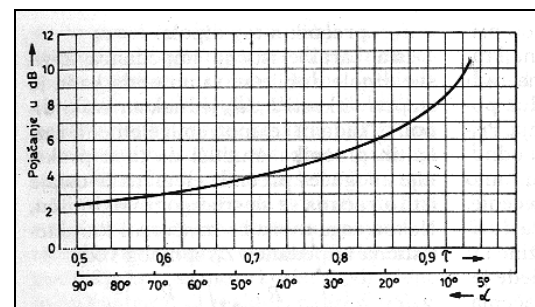
sličnim tipom "rezonantne" antene gotovo nezamislivo.

Odnos dobiti i širine opsega

Naravno, treba odmah reći i to da je loga antena svoju širokopoljasnost morala da "plati" maksimalnom dobiti koju može da ima.

Maksimalna dobit u praksi je relativno mala i iznosi oko 10-10.5 dBi ili 8-8.5 dBd (dB u odnosu na dipol) i to je nešto malo ispod teorijskog maksimuma za ovaj tip antena.

Približavanjem konstrukcije antene ovom teorijskom maksimumu dobiti, loga antena postaje nepraktično dugačka i neekonomična u odnosu na druge tipove antena. Naravno, slično kao kod pojačavača i kod ove antene deluje zakonomernost koja kaže da je proizvod između širine frekvencijskog radnog opsega i pojačanja konstantan. To znači da će antena koja ima dva puta veću dobit od neke druge imati i približno dva puta užu frekvencijski radni opseg pri istoj dužini nosača. Naravno i obrnuto važi, pa će antena koja ima dva puta veću širinu radnog opsega imati i približno upola manju dobit, ako je dužina antene ostala nepromenjena.



sl.8. Pojačanje loga antena u odnosu na polutalasni dipol, u zavisnosti od ugla α i faktora ζ , kada je optimalno dimenzionisana.

Kada se sve napred rečeno uzme u obzir, dolazi se do zaključka da je loga antena vrlo pogodna za modeliranje i prilagođavanje specifičnim uslovima prijema u unapred zadatom frekvencijskom opsegu. Upravo to je i bio razlog što je ova antena iz profesionalne upotrebe vrlo brzo prešla u područje prijema radio i TV programa u kome je do tada suvereno vladala jagi antena. Zbog svoje relativno velike neosetljivosti na greške u izradi i svoje jednostavnosti, vrlo brzo je izborila značajno mesto u domenu prijemnih antena za radio i TV difuziju.

Posle prvih teorijskih radova na ovom tipu antene krajem pedesetih godina nastavljena su

istraživanja sve do današnjih dana. Korišćenje računara prilično je ubrzalo istraživanja i dovelo do mnogo preciznijih matematičkih modela koji su u praksi davali mnogo bolje rezultate. Danas imamo prilično sigurne i dobro razrađene matematičke obrasce i kompjuterske programe kojima je moguće lako i brzo proračunavati ovaj tip antena. Čak je i autor ovog teksta svojevremeno za svoje potrebe napisao jedan program u kome su bili primenjeni dotadašnji rezultati istraživanja na ovom planu, jer je u međuvremenu, za tridesetak godina postojanja ove antene, u stručnoj literaturi objavljeno mnogo istraživačkih radova, magistarskih i doktorskih disertacija na temu log-peroidičnih antena.

Konstrukcija loga antene

loga antena je po svojoj konstrukciji dosta različita od svih ostalih antena, već i po tome što je nosač antene sastavljen iz dve metalne cevi koje su međusobno izolovane i predstavljaju simetrični dvožični vod za napajanje elemenata (dipola) antene.

Svi elementi loga antene su aktivni i upravo iz tog razloga je bilo poželjno da nosač antene bude ujedno i vod za napajanje elemenata antene. Ovo konstruktivno rešenje je jednostavno, efikasno i jeftino jer su u dve cevi, koje su ujedno i nosač i dvožični vod, sa strane ubačeni elementi različitih dužina, koji u parovima predstavljaju rezonantne dipole na različitim frekvencijama unutar radnog opsega antene.

Elementi su poredani tako da se idući od kraja antene na kome je priključen kabl ka drugom, dužina elemenata povećava. Uvek je jedna polovina dipola vezana za jednu a druga za drugu cev nosača i to tako da se svaki sledeći dipol napaja u protivfazi u odnosu na prethodni. Alternativne promene faze izvdene su tako što su elementi dipola naizmenično postavljani na jednu pa potom na drugu stranu na nosećoj cevi. Povezivanje koaksijalnog kabla i antene je na kraju na kome se nalaze najkraći elementi. I maksimum prijema loga antene je iz tog smera, tj. ona se usmerava tako da kraj sa najkraćim elementima bude u smeru TV predajnika.

Kako napajati logu?

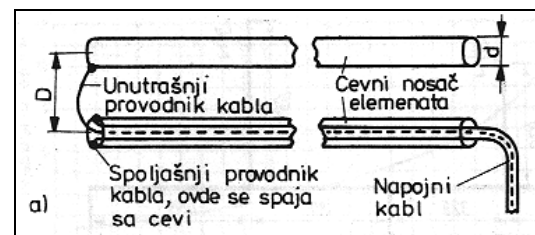
Ovakva konstrukcija loga antene zahteva i simetrično napajanje. Direktno (asimetrično) napajanje koaksijalnim kablom bilo koje simetrične antene je nešto što je nepoželjno iz više razloga. Tako napajana antena ima izobličen dijagram usmerenosti, gubitak pojačanja, prima

više smetnji, refleksija i šuma iz okolnog prostora preko kabla, a u pogledu prijema osjetljivija je na atmosferske uticaje kao što su kiša, led i inje.

Rešenje napajanja koje se primenjuje kod loga antena predviđenih za TV prijem delimično ublažava ovaj problem. Naime, kako je loga antena tako konstruisana da mora biti pričvršćena na stubu na jednom kraju a da je napajanje na suprotnom, provlačenjem koaksijalnog kabla kroz jedan od nosača, i to uvek onaj koji je vezan za oplet (spoljni vod) koaksijalnog kabla, dobija se izvesno simetrisiranje, slično nekim transformatorima za simetrisiranje poznatim u elektrotehnici pod imenom "bazuka".

Na ovaj način se dobija poboljšano (simetričnije) napajanje antene i ujedno se mehanički učvršćuje kabl i dovodi u neposrednu blizinu stuba niz koji se onda dalje vodi do prijemnika.

Uobičajeni opseg ulaznih impedansi kod loga antene kreće se između 50 i 120 oma i može se unapred odrediti, pogodnim dimenzionisanjem elemenata antene, tako da impedansa antene bude prilagođena karakterističnoj impedansi kabla kojim želimo da napajamo antenu. Za TV prijem se zato projektuju antene sa ulaznom impedansom od 75 oma kako bi se direktno koristio uobičajeni, standardni koaksijalni kabl predviđen za ove svrhe.



sl.9. Mehanički detalj načina priključenja koaksijalnog kabla na loga antenu

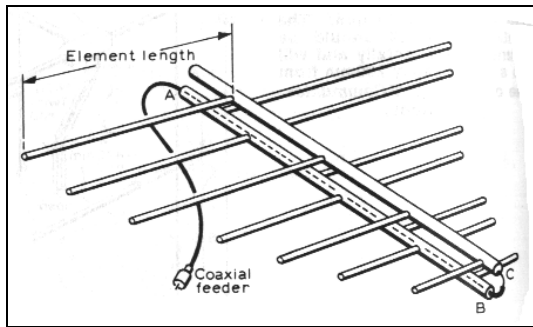
Kako montirati logu?

Rekli smo da je loga antena tako konstruisana da se mora montirati na stub na samom svom kraju, praktično iza poslednjeg, najdužeg elementa. Razlog za ovo je što je dvožični vod, koji ujedno služi i kao nosač, sa jedne strane napajan koaksijalnim kablom a sa druge završen jednim kratkospojenim odsečkom radi prilagođenja impedanse. Dužina ovog kratkospojenog odsečka voda se posebno izračunava zavisno od radnog frekvencijskog opsega antene i iznosi približno osminu talasne dužine najniže radne frekvencije antene. Na osnovu svega iznetog

jasno je da loga antenu ne smemo montirati na stub onako kako se montira jagi antena, tj. da antena bude montirana tako da se stub nalazi negde na polovini nosača. Ovakva motaža bi kod loga antene proizvela kratak spoj u napajanju, jer je nosač ujedno i dvožični vod za napajanje.

Upravo zato se loga antene i konstruišu tako da se mehanizam za pričvršćenje na stub nalazi, ne samo iza najdužeg elementa, nego i iza pomenutog kratkospojenog odsečka.

Provlačenje kokasijalnog kabla, koji je vezan na kraju antene, kroz jednu od dve cevi koje predstavljaju nosač i vod za napajanje, i to kroz onu za koju smo prethodno vezali oplet koaksijalnog kabla, kao što je već rečeno, postizemo bolje simetriranje i prilagođenje antene. Na ovaj način je postignuto i bolje mehaničko učvršćenje kabla, koje onemogućava njegovo kidanje pri jačem vetru.



sl.10. Izgled loga antene sa priključenim kablom.

Kolinearne antene

Razmatrajući probleme vezane za prijem većeg broja TV signala, došli smo do zaključka da je često potreban nepraktično veliki broj jagi ili loga antena da bi se svi postojeći signali na jednoj lokaciji primili sa dovoljno visokim kvalitetom.

Konačan prostor, tj. visina antenskog stuba, kao i neizbežni destruktivni međusobni uticaji bliskih antena vode nas do tačke u kojoj moramo da razmišljamo o promeni koncepcije kompleksnog antenskog sistema kako bi izbegli ove neželjene efekte.

U praksi se prilikom izvođenja prijemnih antenskih TV sistema, vrlo često događa da nam veći broj signala dolazi iz različitih smerova. Nije redak slučaj da ti smerovi leže unutar ugla od oko 90 stepeni i da je vrlo nepraktično koristiti posebne antene za svaki od njih jer se smerovi relativno malo razlikuju jedan od

drugoga, ali ipak dovoljno da je korišćenje jedne jagi ili loga antene neprihvatljivo.

Razlog neprihvatljivosti uglavnom leži u činjenici da i jagi i loga antene imaju tu osobinu da, ukoliko imaju veće pojačanje, obavezno imaju i uzak dijagram, i to ukoliko je pojačanje veće utoliko je i dijagram uži. Ovo posebno predstavlja problem pri pokušaju prijema većeg broja slabijih signala iz smerova koji se relativno malo međusobno razlikuju. Morala bi se koristiti antena sa širim dijagramom zbog razlike u smerovima, ali onda je nedovoljno pojačanje antene za kvalitetan prijem i obrnuto, uska antena bi imala dovoljno pojačanje ali je nemoguć prijem svih signala.

Rešenje ovog problema je u korišćenju takve antene koja bi imala i širok horizontalni ugao prijema i veliko pojačanje koje, u tom slučaju, može biti postignuto jedino smanjenjem vertikalnog ugla prijema, koji ionako ne treba da bude širok, jer svi prijemni signali leže u jednoj liniji – liniji horizonta.

Antena koja u potpunosti obavlja ovu funkciju je tzv. **kolinearna antena**. To je antena koja se sastoji iz nekoliko dipola koji su poredani jedan iznad drugoga na određenom odstojanju.

Obično se iza ove grupe dipola postavlja mreža koja služi kao reflektor. U profesionalnoj TV tehnici ove antene poznate su pod imenima **četverac** i **osmerac** sto ujedno odmah govori i o broju dipola koji su složeni ispred aperiodičnog reflektora.

Znamo da je polutalasi dipol vrlo neusmerena antena. Ako mu se doda reflektor onda se dobija nešto usmerenija antena, ali je to još uvek antena sa horizontalnim i vertikalnim snopovima od preko 100 stepeni. Pojačanje nije veliko, ali ako se iznad ili ispod postojećeg dipola na odgovarajućem rastojanju postavi još jedan, onda se vertikalni dijagram usmerenosti tako dobijene antene prepolovi, dok horizontalni ostane nepromenjen. Pojačanje antene poraste za oko 3 dB. Ako sada nastavimo sa dodavanjem dipola, sa svakim udvostručenjem broja dipola ugao vertikalnog dijagrama usmerenosti će se prepoloviti a pojačanje "skočiti" za oko 3dB, dok će horizontalni ugao prijema ostati nepromenjen, tj. kao kod jednog dipola.

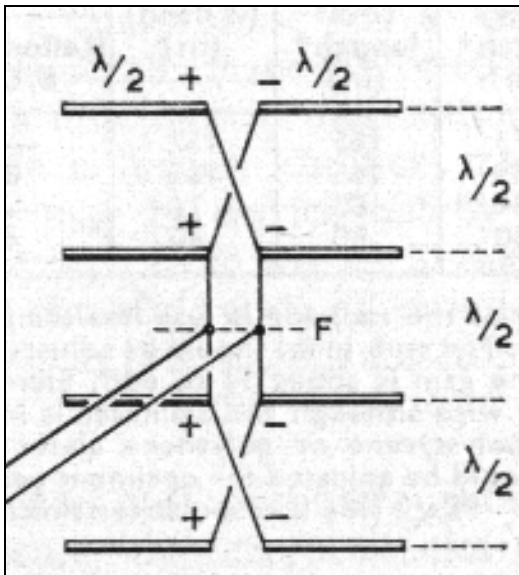
Na ovaj način smo formirali antenu koja je zadržala vrlo širok ugao prijema u horizontalnoj ravni, a zbog velikog broja vertikalno složenih dipola ugao prijema u vertikalnoj ravni se nekoliko puta smanjio, čime je dobijeno pojačanje antene uz očuvanje širine horizontalnog ugla prijema.

Ovakva kolinearna antena može da ima pojačanje od recimo 12 i više dB uz prijemni

ugao u horizontalnoj ravni koji je kao kod loge ili jagi antene od samo 6 dB pojačanja.

Veliki broj paralelno vezanih dipola i mreža kao reflektor daju kolineranoj anteni priličnu frekvencijsku širokopojasnost i relativno dobru reproducibilnost, tj. malu osetljivost na tolerancije dimenzija prilikom izrade.

Osim toga, zbog svojih relativno malih dimenzija na UHF području i pljosnate strukture ova skoro “dvodimenzionalna” antena je vrlo zgodna za montažu uza zid ili u dnu antenskog stuba, ostavljajući tako slobodnim vrh i veći deo stuba za ostale antene.



sl.11. Način napajanja dipola u kolineranoj anteni.

Zbog širine prijemnog ugla kolinerana antena može vrlo lako da zameni dve ili čak tri loge ili jagi antene, čime se smanjuje “gužva” na antenskom stubu, ali i pojednostavljuje i pojeftinjuje sistem.

Osim toga pojednostavljuje se antenska filterska skretnica, čime se smanjuju prolazni gubici i povećava filtersko razdvajanje antena, što sve zajedno doprinosi višem tehničkom nivou, kvalitetu i optimizaciji prijemnog antenskog sistema.

Nedostatak ove antene je da nije pogodna za korišćenje na VHF opsegu frekvencija zbog velikih dimenzija koje bi morala da ima na tom području zbog velike talasne dužine VHF signala.

Takođe nikakve kombinovane VHF/UHF antene ovog tipa nisu pogodne iz istih razloga.

Ove antene su u odnosu na jagi i loga antene nešto komplikovanije i skuplje za proizvodnju, pa ih je dosta teže naći na tržištu, jer su se

domaći proizvođači uglavnom orijentisali na proizvodnju jednostavnijih i jeftinijih jagi i loga antena, posebno ovih poslednjih kojima je preplavljeno tržište.

Stari automobil - TV antena!

U dosadašnjem razmatranju antena za prijem radio i TV programa bilo je uglavnom reči o antenama koje su već vrlo dugo i vrlo mnogo u upotrebi. Međutim, postoji i jedna grupacija “egzotičnih” antena koje se dosta retko sreću, tek tu i tamo, na našim krovovima. Pored onih koje su razne modifikacije, derivacije ili hibridi nekih poznatih ili manje korišćenih tipova, među njima ima i takvih primeraka za koje bi se vrlo teško moglo reći da su uopšte antene.

Činjenica je da je svaki provodni, a time i svaki metalni predmet, na neki način antena, jer kada se nalazi u elektromagnetnom polju, on sa tim poljem stupa u interakciju i kao posledica, u tom metalnom predmetu se indukuju visokofrekventne struje koje predstavljaju primljeni signal. Međutim sama činjenica da neki metalni predmet prima radio i TV signale još uvek ne znači da je u pitanju antena! I automobil, s obzirom da je od metala, prima radio i TV signale, ali ga niko ne proglašava antenom i ne koristi za prijem TV programa, bar za sada! Zamislite na šta bi ličio neki beogradski soliter na čijem se vrhu ponosno šepuri stari “fića”, koga je njegov vlasnik, umesto da ga baci na otpad, odlučio da koristi kao antenu za prijem TV programa!

Međutim, za razliku od automobila, neki drugi metalni predmeti su već bili te sreće, pa tako nije davno prošlo vreme kada su se na našim krovovima mogli videti stari, izlupani, šareni lagori sa isečenom jednom četvrtinom i spojeni kablom, a njihovi ponosni vlasnici bili uvereni da imaju, ako ne baš “satelitsku”, a ono bar približno dobru antenu!

Bilo je i drugih “izmišljotina”, a izgleda da ni danas u tome ne oskudevamo. Jedina razlika je u tome što su nekada stari lagori bili besplatni, a sada nam “mudri trgovci” na buvljacima prodaju slične gluposti. Naime, mogu se videti razni “izumi” koji se obično svode na logu ili jagi antenu sa dodatkom jednog rupičastog lagora pozadi. To je kobajagi parabolična antena koja poboljšava prijem! Naravno u pitanju je obična glupost koja samo zauzima prostor i “obežava” svog vlasnika!

Postavlja se pitanje kakvi smo mi to ljudi i sa kakvom tehničkom kulturom, kada nam svi mogući prevaranti i probisveti ove planete mogu

već decenijama da “uvaljuju” kojekakve budalaštine, često i za “debele” pare?! No, srećom, to nije tema ovog teksta, već su to prijemne TV antene.

U grupu antena, a ne gluposti, koje se mogu sresti na našim krovovima spadaju : kvazi - horn, korner reflektor, kvad petlje, širokopojasni dipoli i još neke zaista retke i neobične antene. One se sreću dosta ređe od jagi i loga antena.

Pogledajmo malo pobliže svaki od ovih tipova antena, kako bismo sagledali sve dobre i loše osobine koje poseduju, od kojih zavisi da li i na koji način, tj. u kojim uslovima ih možemo uspešno koristiti.

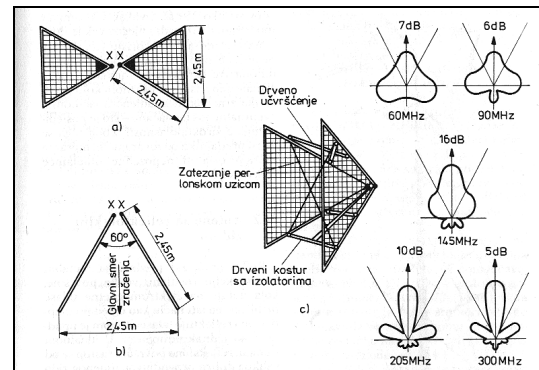
Kvazi-horn antena

Kvazi-horn antena je hibrid između širokopojasnog (trakastog) dipola i “V” antene, koja se mnogo više koristila na kratkotalasnom području kao aperioidična antena, zajedno sa romb, poluromb, Beveridž i drugim žičanim antenama sa progresivnim talasom.

Dobre osobine kvazi-horn antene su njena vrlo velika širina frekvencijskog opsega, relativno slaba usmerenost i jednostavnost. Pojačanje ovih antena se menja u dosta širokim granicama zavisno od radne frekvencije i veličine same antenske strukture, i kreće se od par decibela na nižim, pa čak do 8-9 dB na višim fekvencijama. Prilagođenje relativno visoke impedanse antene na uobičajene vrednosti karakteristične impedanse koaksijalnog voda treba izvršiti pomoću širokopojasnog transformatora koji bi ujedno bio i prelaz simetričnog na asimetrično napajanje. Nažalost, ovo se retko primenjuje, jer se ove antene uglavnom prave u “kućnoj radinosti” gde su znanja iz ove oblasti vrlo skromna.

Pažljivo i stručno projektovani primerci ove antene pokazali su vrlo dobre osobine, ali na žalost nikada nisu doživele neku veću popularnost i ušle u masovnu upotrebu na ovim prostorima.

Ove antene su dosta u upotrebi u ravničarskim predelima, gde su skoro svi signali koji se primaju ujednačenog i osrednjeg nivoa, tako da se svi lako “pokupe” sa jednom skoro omnidirektivnom (skoro kružnom, slabo usmerenom) antenom malog pojačanja, kakva kvazi-horn antena upravo jeste.



sl.12. Kvazi-horn antena: a),b) i c) konstruktivni detalji; d) dijagrami zračenja za različite frekvencije.

Mana kvazi-horn antene je svakako njena ukupna veličina, kao i velika efektivna površina antene izložena udarima vetra. Prilično “divlja” promena impedanse antene sa promenom radne frekvencije i njena transformacija na uobičajene vrednosti prihvatljive za napajanje koaksijalnim kablom, takođe može ponekad biti “tvrđ orah”.

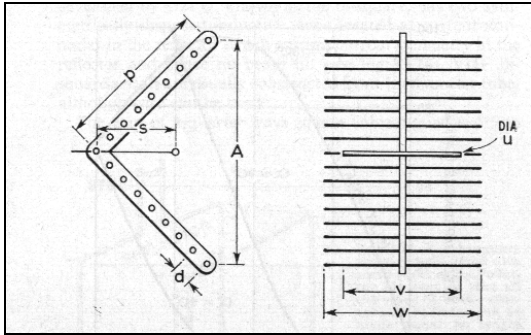
Korner reflektor antena

Ova antena, kao što joj samo ime kaže, sastoji se od jednog ugaonog reflektora i napojnog elementa, obično dipola. Reflektor se sastoji od dve ravne pravougaone površine, obično napravljene od metalne mreže, koje su međusobno spojene jednom stranicom i zaklapaju neki oštar ugao, koji može biti od 30 do preko 90 stepeni. Dipol se nalazi unutar tako formiranog ugaonog reflektora i njegov položaj se tako bira da ima najpovoljniju impedansu. Ovo je važno, kako zbog što lakšeg napajanja antene, tako i zbog širine frekvencijskog opsega u kome antena može da radi, a da joj pojačanje i efikasnost ne spadnu ispod određenih granica.

Dobre osobine ove antene su njeno relativno veliko pojačanje koje može biti i do 14 dB, koje mahom “izvlači” iz vertikalnog dijagrama usmerenosti, tako da horizontalni ugao prijema ostaje relativno širok. Ova osobina je vrlo poželjna kod prijemnih antena, što smo videli i kada je bilo reči o kolineranim antenama, koje takođe imaju izraženu ovu osobinu.

Preciznom lokacijom dipola unutar ugaonog reflektora, kao i podešavanjem dimenzija i ugla između ravni reflektora, može se unapred, dosta precizno, odrediti impedansa i pojačanje antene. Na ovaj način izbegavaju se promašaji u gradnji i razočarenja u performanse već izgrađenih antena.

Korner reflektor antene su po dijagramu usmerenosti slične kolinearnim antenama, ali mogu imati dosta veće pojačanje i time predstavljati vrlo dobre antene za prijem slabijih signala.



sl.13. Dipol sa ugaonim reflektorom ili tzv. korner reflektor antena

Ako se uzme u obzir velika prediktabilnost performansi antene, relativno velika neosetljivost na tolerancije dimenzija, a time i velika reproducibilnost, zatim vrlo pristojna širina frekvencijskog opsega u kome antena može da radi, onda pred sobom imamo antenu koja je u svakom slučaju ozbiljan kandidat za dobru prijemnu antenu. Ovome bi se moglo dodati da i pojedine profesionalne službe koriste ovaj tip antena, posebno na UHF opsegu, za usmerene radio-relejne i linkovske veze.

Loše osobine ovih antena su slične kao kod kvazi-horn antena. Velike površine izložene vetru, relativno velike dimenzije i dosta utrošenog materijala. Međutim, imajući u vidu i vrlo dobre osobine ovih antena, može se slobodno reći da su vredne truda i novca uloženog u njihovu gradnju.

I laste ...

Do sada bavili smo se kako uobičajenim i često korišćenim jagi i loga antenama, tako i pojedinim tipovima antena koje su nešto ređi gosti na našim krovovima.

Pored pomenutih kvazi-horn i korner-reflektor antena u poslednje vreme na našim krovovima mogu se sresti i antene koje se sastoje iz dvostruke kvadratne petlje sa reflektorom. Reflektor može biti urađen ili u vidu mreže, ili u vidu dva kvadratna žičana "rama" koji su spojeni jednim svojim temenom. Ovakve antene izgledaju kao broj 8 koji može biti postavljen ispred mrežnog reflektora ili kao dve "osmice" postavljene jedna ispred druge, a poznate su na

našem tržištu pod komercijalnim imenom "Lasta".

Ovaj tip antene ima slične karakteristike dijagrama usmerenosti kao kolinearna antena, a to znači širok horizontalni i relativno "spljošten" vertikalni ugao. Pojačanje je slično kao kod kolinearnih antena i kreće se oko desetak decibela.

Zapravo ova antena i jeste derivacija kolinearne antene, gde su dva susedna vertikalno složena dipola savijena i svojim krajevima međusobno spojena čime je dobijena zatvorena petlja poznatija kao "kvad" petlja zbog svog kvadratnog oblika. Postoje i antene kod kojih je petlja u vidu kruga i one se sreću pod imenom "loop" antene.

Dve kvadratne petlje od kojih se aktivni deo antene sastoji postavljene su tako da se obe napajaju u jednom svom temenu i obe su spojene paralelno na napojni vod u istim tačkama. Postavljanjem ovog para kvad petlji ispred reflektorske ravni dobija se usmerena antena vrlo sličnih karakteristika kao i kolinearna antena. Međutim, ovakvo izvođenje antene je zgodno jer je izbegnut napojni vod koji je kod kolinearne antene bio neophodan radi napajanja vertikalno postavljenih dipola. Time su izbegnuti mnogi mehanički problemi pri gradnji antene, a sama antena je značajno pojednostavljena.

Zbog napajanja petlji u temenu kvadrata i kosog položaja stranica kvadrata ovakva antena sadrži i značajnu komponentu vertikalne polarizacije, pa tako može da prima i vertikalno polarisane talase.

Umesto reflektorske mreže mogu se koristiti i dva pasivna rezonantna reflektora, takođe u vidu kvad petlje, sa nešto većom dužinom stranica, slično kao kod jagi antena. Naravno, po istom principu, moguće je dodati i jedan ili više pasivnih direktorskih kvad elemenata, čime se dobija još veća usmerenost i pojačanje antene. Ovakva antena ima nešto manju širinu radnog frekvencijskog opsega.

Oba tipa antene su vrlo dobro rešenje i sve što je ranije rečeno za kolinearne antene važi i ovde. Prilagođenje antene na karakterističnu impedansu kabla relativno lako se postiže jer je impedansa jedne petlje oko 140 oma i dve vezane u paraleli odmah daju oko 70 oma.

Ono što je kod ovog tipa antene važno je svakako to da se pri proračunu dimenzija maksimalno proširi radni frekvencijski opseg.

Slično kao kod jagi antene i ovaj tip, pogotovo verzija sa rezonantnim reflektorom, je dosta uskopojasna antena u pogledu radnog frekvencijskog opsega, zbog prirodnih osobina rezonantnih petlji. Upravo iz tih razloga ove

PROSTIRANJE VHF I UHF RADIO TALASA

Preko brda i dolina

U dosadašnjim razmatranjima prijema radio i TV signala bavili smo se opremom i metodama koje se primenjuju na određenoj prijemnoj lokaciji u cilju postizanja optimalnog prijema.

Takav pristup uzimao je prijemnu lokaciju kao nešto što je unapred dato ili određeno, pa je sav trud bio koncentrisan na to da se na datoj lokaciji postignu najbolji mogući ili ekonomski optimalni rezultati.

U nastavku ćemo se pozabaviti samim prijemnim lokacijama, ili još šire, prostiranjem radio i TV talasa, bilo u slobodnom prostoru ili pri prelasku preko realnog zemljišta, tj. reljefa na putu od predajne do prijemne antene.

Radio talasi se mogu prostirati od mesta gde se stvaraju (predajna antena) do mesta prijema (prijemna antena) po površini zemlje, kroz atmosferu, refleksijom ili rasipanjem od jonosfere ili troposfere, veštačkih ili prirodnih reflektora; ili mogu putovati kroz slobodni vasioni prostor. Nekoliko mehanizama prostiranja, zavisno od frekvencije i rastojanja, jednovremeno utiču na jačinu i kvalitet prijemnog signala.

Na frekvencijama većim od 30 MHz jonosferska refleksija je vrlo retka i većina komunikacija je ograničena na "vidljivost" predajne i prijemne antene, kao i troposferskog ili jonosferskog rasipanja (scattering) koje omogućava i komunikacije izvan horizonta "vidljivosti". Većina propagacionih mehanizama usko je povezana sa frekvencijom radio talasa i neki od njih su ograničeni na relativno uzan frekvencijski opseg.

Poznavanje fizičkih zakonitosti prostiranja radio i TV talasa u realnim uslovima neophodno je pri proceni i određivanju optimalnih lokacija na kojima bi trebalo postaviti prijemne antene.

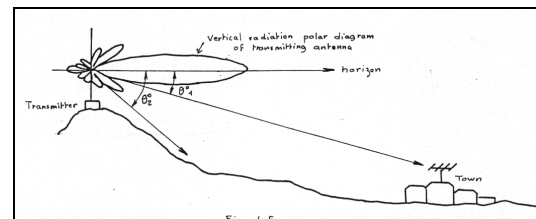
Na taj način moguće je ne samo poboljšati prijem na određenom terenu, već i izbeći mnoge zamke koje vrebaju sve one koji ne poznaju ili ne uvažavaju sve determinističke i statističke zakonomernosti promene jačine prijemnog

elektromagnetnog polja u zavisnosti od oblika i sastava terena preko koga se talas prostire, visine predajne i prijemne antene iznad okolnog terena, itd. Osim oblika i sastava terena, koji je najdominantnija komponenta, veliki uticaj na prostiranje imaju i pojedini faktori koji se periodično pojavljuju i koji se moraju tretirati statističkim metodama. Među ove faktore svakako spadaju promene vremenskih i klimatskih parametara uslovljenih promenama dan - noć, kao i promenama godišnjih doba. Takođe, značajne su i padavine, posebno intenzitet i vrste, zatim stanje atmosfere, a naročito troposfere, vegetacija i drugo.

Očito je da geografija, meteorologija i klimatologija zajedno sa elektromagnetikom čine onaj korpus znanja koji je neophodan za bavljenje fenomenom prostiranja elektromagnetnih talasa u realnim uslovima.

I teorija ...

Zahvaljujući brojnim radovima fizičara koji su, mahom u prethodnim vekovima, ispitivali ponašanje svetlosti u različitim uslovima prostiranja i u različitim sredinama, otkriveni su zakoni optike koji se mogu primeniti i na elektromagnetna zračenja nižih frekvencija, tj. radio i TV talase.



sl. 1. Uticaj vertikalnog dijagrama usmerenosti predajne antene na jačinu prijemnog signala.

Tako je razumevanje difrakcije, refleksije, prelamanja, savijanja, rasipanja, apsorpcije i drugih fenomena pri prostiranju olakšano, a time omogućeno i precizno proračunavanje i predviđanje njihovog uticaja na talasni front radio i TV signala.

... i praktično iskustvo.

Isto tako, pored ovih strogo određenih zakona, koji su primenjivi uvek kada su uslovi prostiranja, tj. oblika terena, prepreka, stanja medijuma kroz koje se talas prostire i dr. strogo definisani i poznati, postoji u praksi jako mnogo onih slučajeva kada to nije moguće. Naime, veoma često u praksi na realnom terenu ima mnogo nepoznatih i nedefinisanih parametara koji se uz to još i menjaju sa protokom vremena, tako da je pri proračunu i određivanju jačine prijemnog polja potrebno koristiti mnoge stohastičke metode. U tom cilju koriste se pored determinističkih i mnoge statističke analize i rezultati iz prakse, kako bi se ovaj kompleksni problem što bolje matematički tretirao.

U jednostavnim slučajevima, koji se mogu tretirati i u laboratorijskim eksperimentima moguće je, zahvaljujući poznatim fizičkim zakonima, vrlo tačno izračunati i predvideti slabljenja polja, promene polarizacije i druge efekte. Međutim, u slučajevima kada mnogo različitih, međusobno nezavisno promenljivih faktora utiču na prostiranje, kao što su recimo vrlo nepravilan, neravan teren povremeno različitog sastava, uz dejstvo meteoroloških i klimatskih uslova tokom dužeg vremenskog perioda, uz promenljivu vegetaciju, vrlo je teško, bez korišćenja statističkih metoda i empirijskih modela dati bilo kakvu ozbiljniju procenu.

Polarizacija radio talasa

Jedna od karakteristika elektromagnetnog zračenja je polarizacija. Elektromagnetno zračenje se sastoji iz dva međusobno zavisna vektora polja, električnog i magnetnog. Ova dva vektora polja leže u dve međusobno normalne ravni. Orijehtacija električnog polja u prostoru određuje polarizaciju elektromagnetnog talasa. Generalno govoreći, polarizacija talasa se odnosi na promenu ponašanja vektora električnog polja tokom protoka vremena u nekoj fiksnoj tački prostora. Zavisno od toga da li se položaj ravni polarizacije, tj. ravni u kojoj leži vektor električnog polja menja sa vremenom ili ne, možemo razlikovati cirkularnu (kružnu ili eliptičnu) i linearnu (linijsku) polarizaciju radio talasa.

Linearna polarizacija

Radio talas ima linearnu polarizaciju kada smer njegovog električnog polja ima konstantnu orijentaciju u prostoru nezavisno od vremena.

Kada su u pitanju radio talasi u blizini zemljine površine, polarizaciju možemo da odredimo u odnosu na nju. Tako kažemo da talas ima horizontalnu polarizaciju kada je vektor njegovog električnog polja paralelan sa ravni zemlje, a vertikalnu ako je ravan električnog polja normalna na zemljinu površinu. Dalje, možemo za talase, čija je ravan električnog polja pod nekim uglom u odnosu na zemlju da kažemo da imaju kosu polarizaciju.

Cirkularna polarizacija

Međutim, kada vektor električnog polja nema konstantnu orijentaciju u prostoru tokom vremena, tada imamo slučaj cirkularne polarizacije talasa. Naime, električno, a samim tim i magnetno polje radio talasa (koje uvek ostaje pod pravim uglom na električno) se tokom vremena pomera, tj. menja ravni u kojima leži.

To praktično znači da ravan električnog polja rotira oko zamišljene linije koja predstavlja pravac prostiranja i to tako da napravi jedan pun obrtaj za vreme dok talas pređe jednu talasnu dužinu u prostoru. Sa protokom vremena električno polje menja svoj položaj u prostoru i to tako da je u jednom vremenskom trenutku, recimo, paralelna zemljinoj površini kao kod horizontalne linearne polarizacije, ali je već u sledećem trenutku položaj električnog polja kao kod kose polarizacije, da bi u sledećem trenutku bio normalan na zemljinu površinu kao kod vertikalne polarizacije talasa, itd.

Ovo pomeranje, gledano od emisije antene u pravcu prostiranja talasa, može biti takvo da se ravan električnog polja pomera (rotira) ili u smeru kazaljke na satu ili suprotno od tog smera.

U prvom slučaju imamo radio talas koji ima desnu cirkularnu, a u drugom slučaju levu cirkularnu polarizaciju (IEEE standard).

Ukoliko jačina polja ostaje nepromenljiva sa promenom polarizacionog ugla imamo slučaj kružne polarizacije, dok u slučaju kada se jačina polja menja zajedno sa promenom ugla, možemo govoriti o eliptičnoj polarizaciji.

Kakvu će polarizaciju imati neki radio talas početno je određeno tipom emisije antene i njenom prostornom orijentacijom.

Kasnije ova početna polarizacija može biti promenjena usled specifičnosti medijuma kroz koji se talas prostire ili usled prepreka na koje nailazi talasni front.

Vrlo čest je slučaj da radio talas koji je emitovan, recimo, sa horizontalnom linearnom

polarizacijom stigne u prijemnu antenu kao talas sa eliptičnom polarizacijom.

Prolaskom kroz različite medijume (troposferu, jonosferu) i preko različitih terena, radio talas trpi izobličenja ne samo jačine pojedinih komponenti polja, već i njihove orijentacije u prostoru tako da dolazi do okretanja, disperzije i fragmentacije polarizacije. Ovome posebno pogoduju refleksije od tla i drugih prepreka, kao i prostiranje kroz jonizovane i nehomogene sredine ili odbijanje od istih.

Slaganje polarizacija

Da bi se postigao maksimalni transfer energije između predajne i prijemne antene neophodno je da se antene slažu u pogledu polarizacije. Ukoliko emisiona antena emituje, recimo, linearnu horizontalnu polarizaciju, neophodno je da i prijemna antena prima istu polarizaciju sa najvećom dobom. Ovo važi samo onda kada se radi o prostiranju radio talasa u slobodnom prostoru, tj. homogenim, izotropnim sredinama koje ne remete polarizaciju istog. Međutim, u uslovima kada je, usled propagacije, radio talas pretrpeo izobličenja polarizacije, tada može biti od mnogo veće koristi ako se izvrši prilagođavanje polarizacije prijemne antene stvarnoj polarizaciji prijemnog radio talasa.

Čistoća je pola polarizacije

U prošlom odeljku smo videli da je jedan od osnovnih uslova za dobar transfer energije radio talasa od predajne do prijemne antene vezan za usaglašenost polarizacija antena, tj. da je vrlo važno da se prijemna antena svojim polarizacionim svojstvima prilagodi dolazećem prijemnom radio talasu i njegovoj polarizaciji.

Ukoliko to nije slučaj, tj. ukoliko postoji neslaganje u tom pogledu neminovni su gubici u jačini prijemnog signala.

Pokušajmo na nekoliko karakterističnih primera da pokažemo zašto se javljaju gubici i koliki oni mogu da budu.

Komponente polarizacije

Pre svega moramo razumeti da se svaka polarizacija, tj. bilo koji položaj vektora električnog polja u prostoru može razložiti na svoje komponente koje su paralelne trima osama normalnim jedne na drugu. Međutim, nas interesuje položaj vektora električnog polja koji leži u ravni talasnog fronta koji se širi od predajne antene. Talasni front je površina zamišljene sfere u čijem centru sa nalazi

predajna antena i čiji se poluprečnik povećava sa protokom vremena tj. udaljavanjem talasa od predajne antene. Bilo koji položaj vektora električnog polja u ovoj ravni može biti razložen na dve, međusobno normalne komponente. Uobičajeno je da se ove komponente kolokvijalno nazivaju horizontalna i vertikalna komponenta električnog polja.

Ako je radio talas tako polarizovan da mu je vertikalna komponenta jednaka nuli onda kažemo da imamo posla sa horizontalno polarizovanim talasom. I obrnuto, ako je horizontalna komponenta jednaka nuli onda je u pitanju vertikalno polarizovan talas.

To su dva krajnja slučaja između kojih može da postoji beskonačan broj kosih polarizacija pod različitim uglovima, tj. sa različitim odnosom vertikalne i horizontalne komponente električnog polja.

Kada su obe komponente jednake imamo slučaj kose polarizacije koja, zavisno od faznog stava komponenti, može biti ili 45 (kada je fazni stav nula stepeni - sinfazno) ili 135 stepeni (fazni stav je 180 stepeni - protivfazno).

Ukoliko, pak, imamo slučaj kružne cirkularne polarizacije, obe komponente polja su jednake, ali zbog svog međusobnog faznog stava od 90 stepeni dolazi do rotacije rezultujućeg električnog polja u pravcu kazaljke na satu ili u suprotnom, zavisno od toga koja komponenta prednjači a koja kasni.

I konačno, ako komponente polja nisu međusobno jednake onda imamo slučaj eliptične cirkularne polarizacije.

Prijem sa linearnom antenom

Razmatranje mehanizma stvaranja raznih tipova polarizacija i njihovo razumevanje neophodno je za razumevanje razloga i veličine gubitaka usled neslaganja polarizacija između prijemne antene i prijemnog radio talasa.

Linearno polarizovane antene primaju samo jednu komponentu polarizacije i to onu koja se, zavisno od njihove orijentacije u prostoru, poklapa sa polarizacijom prijemnog talasa. Da bi se sa takvom antenom primila ona druga komponenta potrebno je antenu okrenuti za 90 stepeni u prostoru oko uzdužne ose, tj. oko zamišljene linije smera iz koje nam dolazi radio talas.

Ukoliko sa vertikalno polarizovanom antenom hoćemo da primimo horizontalno polarizovan signal, čija je vertikalna komponenta jednaka nuli, sasvim je prirodno da će i primljeni signal biti jednak nuli. I obrnuto isto važi - nemoguć je

prijem vertikalno polarizovanog talasa sa horizontalno polarizovanom antenom.

Ako se dosetimo pa postavimo antenu pod nekim uglom, recimo pod 45 ili 135 stepeni, tada možemo da primamo obe komponente polarizacije. To je apsolutno tačno, ali je prijem talasa obe polarizacije, i horizontalne i vertikalne, sada oslabljen na polovinu snage, tj. primljeni signali i jedne i druge polarizacije biće za 3 dB slabiji nego što bi to bio slučaj kada bi se polarizacije antene i talasa poklopile. Znači da je mogućnost prijema obe polarizacije talasa sa jednom antenom "plaćena" gubitkom od 3 dB za obe polarizacije.

Podrazumeva se da će sve kose polarizacije biti primane sa različitim gubicima koji će zavistiti od ugla koji međusobno zaklapaju polarizacione ravni prijemnog talasa i antene. I u slučaju da izaberemo orijentaciju antene pod uglom od 45 stepeni, i dalje takva antena neće moći da primi radio talase koji dolaze sa polarizacionim uglom od 135 stepeni jer su tada polarizacije antene i talasa međusobno pod uglom od 90 stepeni.

Znači da linearno polarizovanu antenu ne možemo orijentisati tako u prostoru da nam ona prima sve uglove polarizacije prijemnog signala. Da li je to moguće uraditi sa cirkularnom antenom?

I jeste i nije, zavisno od toga da li mislimo samo na linearno polarisane talase ili na sve.

Prijem sa cirkularnom antenom

Naime, moguće je sa cirkularno polarizovanom antenom, svedjedno da li je ona za levu ili desnu cirkularnu polarizaciju, primiti sve moguće linearne polarizacije, ali uz "plaćanje cene" od -3 dB.

To jednostavno znači da će takva (cirkularno polarizovana) antena primati sve polarizacione ravni linearno polarizovanog talasa podjednako ali uvek sa slabljenjem od 3 dB u odnosu na prijem tog istog talasa sa antenom koja je linearno polarizovana i prilagođena polarizaciji dolazećeg talasa.

Međutim ni sa ovom antenom nije moguće primiti sve polarizacije, jer suprotna cirkularna polarizacija neće biti primljena, tj. antena za levu cirkularnu polarizaciju neće primiti desnu i obrnuto!

Linearna antena, cirkularni talas

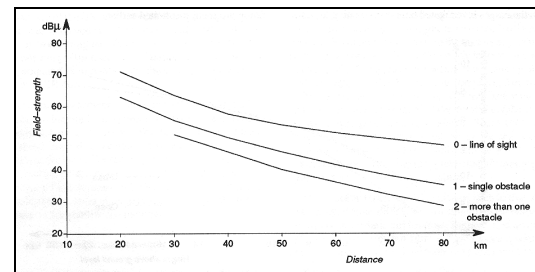
Ukoliko sa linearno polarizovanom antenom primamo kružni cirkularno polarizovan talas dobićemo jednak prijemni signal za bilo koju polarizacionu orijentaciju antene. On će biti

upola slabiji (-3 dB) nego kada se isti talas prima sa cirkularnom antenom, jer linearno polarizovana antena prima samo jednu polovinu ukupnog signala, tj. samo jednu njenu komponentu polarizacije. Kod prijema eliptične cirkularne polarizacije mogući su različiti gubici, zavisno od "eliptičnosti" prijemnog talasa i položaja linearne antene.

Čiste i nečiste

Na kraju moramo napomenuti da su ovde razmatrani vrlo specifični i karakteristični slučajevi radi lakšeg razumevanja fizičkih procesa. U praksi, ni prijemni signali, kao ni antene, nikada nisu "čisto" polarizovani, tj. ona druga komponenta praktično nikada nije jednaka nuli. Ovo omogućava da se primaju i signali suprotne ili ortogonalne polarizacije ali sa dosta velikim slabljenjem koje je u praksi obično preko 20 dB.

To znači da će zbog "nečiste" polarizacije, "vertikalno" polarizovana antena ipak primiti "horizontalno" polarizovan talas ali uz dosta veliko slabljenje, jer ona u stvari prima onu drugu, neželjenu komponentu koja, zbog toga što nije jednaka nuli, "prlja" osnovnu polarizaciju. Čistoća polarizacije jedne emisije ili prijemne antene uslovljena je njenom fizičkom konstrukcijom, oblikom i dimenzijama u odnosu na talasnu dužinu emitovanog radio talasa.



sl. 2. Promena jačine prijemnog polja zavisno od rastojanja od predajnika za tri različita profila:
0 – optička vidljivost; 1 – jedna prepreka;
2 – više prepreka

U dosadašnjem razmatranju smo se bavili "čistoćom" polarizacije.

Razloga za "nečistu" polarizaciju ima više, tako da je u praksi skoro nemoguće sresti čistu polarizaciju radio talasa koji ne bi sadržao i primese nekih drugih polarizacija.

Pre svega, svaki radio talas koji emituje neka predajna antena ima onu i onakvu polarizaciju koju mu diktira upravo ta antena.

Kakva antena takva polarizacija

Fizički oblik, dimenzije antene i njena orijentacija u prostoru, kao i veličine i fazni stavovi struja koje teku kroz pojedine elemente antene su ono što na kraju zbirno daje polarizaciju i čistoću iste.

Svaka struja zavisno od svoje veličine i faznog stava, koja teče kroz neki deo antene, u prostoru oko tog dela antene, tj. provodnika, stvara elektromagnetno polje čija je električna komponenta paralelna tom provodniku. Ukupno električno polje neke antene jednako je vektorskom zbiru svih pojedinačnih polja koja stvaraju pojedini delovi emisione antene kroz koje prolazi struja. Orijetacija tog vektora polja u prostoru, tj. u ravni talasnog fronta je polarizacija emitovanog radio talasa.

Zbog konačnih dimenzija elemenata, kao i raznih uticaja i drugih nesavršenosti vrlo je teško u praksi postići vrlo čistu polarizaciju, čak i onda kada je to veoma bitno za rad nekog komunikacionog ili prenosnog sistema, recimo kao oni koji koriste tzv. *polarization diversity*.

Promene na putu

Drugi izvor “zagađenja” polarizacije je uticaj medijuma kroz koji se talas prostire ili terena preko koga se prostire. Svaka promena električnih i magnetnih osobina prostora, tj. svaka nehomogenost, prepreka ili anizotropnost u prostoru oko predajne antene, tj. na putu radio talasa do prijemne antene, čini da se radio talasni front deformiše, što se, osim na amplitudu i fazu prijemnog talasa, odražava i na njegovu polarizaciju. Takođe prilikom prostiranja radio signala kroz različite sredine, dolazi i do nekih efekata koji obično uvek utiču i na polarizaciju. O ovome će biti više reči kada budemo govorili o disperziji i fragmentaciji polarizacije usled prostiranja.

Jedino tada, kada se radio talas prostire kroz slobodni vasioni prostor (vakuum) on ne trpi nikakvu promenu polarizacije niti izobličenja talasnog fronta.

Međutim, to nikako ne znači da tada nema slabljenja radio talasa.

Prostiranje u slobodnom prostoru

Po jednom od najfundamentalnijih zakona fizike koji važe u svemiru, tzv. *Prvom zakonu termodinamike*, koji nam govori o neuništivosti materije ili energije, proizlazi da će ukupna snaga emitovana iz neke antene u prostor, u vidu

talasnog fronta koji se poput sfere širi oko emisione antene u centru, biti konstantna, bez obzira na poluprečnik te stalno šireće sfere, i pod uslovom da nema gubitaka (transformacije energije u neki drugi vid) u samom prostoru.

Šta ovo praktično znači?

Pri određenom poluprečniku sfere, tj. na određenom rastojanju od antene jačina elektromagnetnog polja ima određenu vrednost koja zavisi od snage predajnika i dobiti antene u tom smeru. Kada se, posle protoka izvesnog vremena, sfera proširi i dostigne dvostruko veći poluprečnik, tada možemo da posmatramo polje na dvostruko većem rastojanju od antene nego u ranijem slučaju. Ukupna snaga koja je postojala na prvobitnom rastojanju i ona na dva puta većem, prema Prvom zakonu termodinamike poznatom i pod imenom *Zakon o održanju energije*, mora biti ista, jer se energija ne sme izgubiti, niti se može ni iz čega stvoriti.

Prilikom širenja sfere dolazi do povećanja njenog poluprečnika i površine.

Matematika nas uči da je površina sfere proporcionalna kvadratu poluprečnika, tj. sa svakim udvostručenjem poluprečnika sfere učtvostručiće se njena površina.

Očigledno je da je snaga koju je sadržavala površina manje sfere ista ona koju mora da sadrži veća sfera, tj. njena četiri puta veća površina. To praktično znači da će ista snaga sada biti raspoređena na četiri puta većoj površini od prethodne.

Ne troši, a slabi

Ako u praksi imamo određenu jačinu prijemnog signala na rastojanju od recimo 10 km od emisione antene, onda ćemo na duplo većem rastojanju, tj. na 20 km od antene imati četiri puta manju snagu signala, što izraženo u decibelima iznosi: -6 dB.

Na rastojanju od 40 km jačina signala će biti -6 dB u odnosu na onu jačinu koja je bila na rastojanju od 20 km, a -12 dB u odnosu na onu na 10 km itd.

Znači da slobodni vasioni prostor (vakuum) ne slabi signal tako da ga “troši”, tj. pretvara u toplotu, svetlost ili neki drugi oblik energije, već sam signal slabi zbog smanjenja svoje “gustine”, jer se, sa povećanjem rastojanja, uvek ista snaga raspoređuje na sve veću i veću površinu u prostoru.

Ovaj zakon opadanja jačine radio talasa u slobodnom prostoru je poznat i pod imenom “*opadanja sa kvadratom rastojanja*”.

Promenljivi medijumi

Do sada smo se bavili problemima prostiranja radio talasa u slobodnom (vasonska) prostoru, tj. u nepromenljivoj sredini (medijumu) - u ovom slučaju vakuumu.

Ovakvo prostiranje je pomalo "idealizovan slučaj" pošto, ako se izuzmu komunikacije vasonska brodova i satelita međusobno, sve ostale komunikacije, pa time i one sa Zemljom i na samoj Zemlji, ne mogu se posmatrati na isti način. Glavni razlog ovome je činjenica koju smo već ranije pomenuli, a o kojoj ćemo sada nešto više govoriti.

Sve komunikacije na Zemlji podrazumevaju i prisustvo te iste Zemlje, pa time i njen uticaj na prostiranje radio talasa preko njene površine. Osim toga u višim slojevima atmosfere, usled sunčevog zračenja, postoje stalno formirani jonizovani slojevi gasa, tzv. *jonosfera*, koja ima električne karakteristike koje se znatno razlikuju od obične atmosfere, kakva je ona u nižim slojevima i kakvu mi poznajemo. Povrh svega toga cela planeta Zemlja je jedan veliki stalni magnet čije magnetno polje ima uticaja na sve ono što se dešava na planeti i iznad nje u prostoru daleko iznad atmosfere i jonosfere. Osim toga niži slojevi atmosfere, tzv. *troposfera*, na različitim visinama imaju različite karakteristike, kako fizičke (temperatura, pritisak, vlažnost), tako i električne (dielektrična konstanta, provodnost). Različiti delovi kopna takođe se mogu u velikoj meri razlikovati i po fizičkim i po električnim karakteristikama a koje su uslovljene sastavom i vlažnošću zemljišta, vegetacijom, temperaturom, itd.

Sve ovo, kao što ćemo videti, u velikoj meri utiče na prostiranje radio talasa. Na VHF i UHF području posebno je neophodno spomenuti reljef kao bitnu odrednicu prostiranja radio talasa.

Na granici dva medijuma

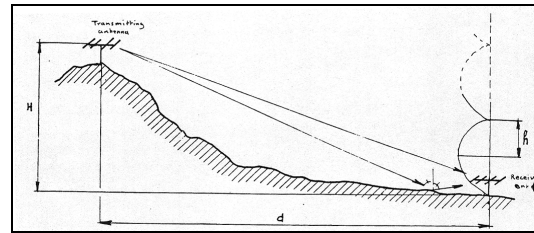
Jedan od najčešćih fenomena pri prostiranju radio talasa je refleksija od granice dva medijuma sa različitim fizičkim i električnim svojstvima.

Prilikom nailaska talasnog fronta na površinu koja predstavlja granicu dva različita medijuma, može doći do nekoliko različitih efekata zavisno od specifičnosti samih medijuma.

Jedan deo snage talasnog fronta može biti reflektovan nazad i to nazivamo *refleksijom* radio talasa, drugi deo može biti apsorbovan i to nazivamo *apsorpcijom* ili upijanjem radio talasa, treći deo može da prođe u novi medijum i da pri

tom pretrpi promenu brzine i pravca prostiranja tj. bude skrenut i to nazivamo *refrakcijom* radio talasa.

Granična površina između dva medijuma kroz koje se prostire radio talas ne mora uvek biti idealno ravna površina, već može biti zakrivljena, izlomljena na površine različitih dimenzija, glatka ili hrapava, više ili manje električno ili magnetno provodna, slojevita itd. Ovo je u praksi skoro redovan slučaj i sve to dodatno komplikuje i izobličava talasni front.



sl. 3. Uticaj reflektovanog talasa od tla na jačinu prijemnog polja.

Reflektovani i refraktovani talas

Zbog svega toga i reflektovani i refraktovani talas imaju amplitudu, fazu i polarizaciju koja zavisi od svih ovih faktora koji učestvuju u procesu. Tako električne i magnetne osobine jednog i drugog medijuma određuju, zajedno sa uglom pod kojim talasni front udara u graničnu površinu dva medijuma, intenzitet, fazu i polarizaciju kao i pravac prostiranja reflektovane i refraktovane komponente radio talasa.

Slično kao kod zraka svetlosti koji padne, recimo, na staklenu površinu, jedan njegov deo se odbije kao od ogledala (refleksija), drugi deo uđe u staklo i prolaskom biva oslabljen (apsorpcija) i na kraju izlazi iz stakla ali "savijen" ili "prelomljen" za određeni ugao, tj. sa promenjenim smerom kretanja u odnosu na početni (refrakcija). Slično se dešava i sa svetlosnim zrakom koji iz vazduha uđe u vodu gde se na granici ova dva različita medijuma (na površini vode) dogodi opet ista stvar: refleksija, apsorpcija i refrakcija.

Potpuno ista stvar se dogodi i sa radio talasom pri prelasku iz vazduha u zemlju, ili iz vazduha u jonosferu, iz vazduha u zidove zgrada, reke, mora ili jezera, betonske ili asfaltirane površine puteva, itd.

Granice - kolevke "duhova"

Kao što smo rekli prilikom svakog odbijanja radio talasa od neke površine (drugačijeg

medijuma) dolazi do promene polarizacije reflektovanog talasa koja zavisi od početne polarizacije, ugla pod kojim je talas udario u prepreku, kao i elektromagnetnih svojstava prepreke. To znači da može da se desi, i u praksi se skoro redovno dešava, da nam radiotalasi dolaze ili direktno ili reflektovani od nekih okolnih objekata. To je pri prijemu TV signala poznata pojava višestrukih slika (u narodu prozvani "duhovi") koja je posebno izražena u većim gradovima zbog obilja velikih armirano-betonskih zgrada i drugih objekata pogodnih za reflektovanje radio talasa. Većina ovih reflektovanih signala stiže sa drugačijim polarizacijama od direktnog talasa i to se ponekad može iskoristiti da se neki od ovih reflektovanih talasa dodatno oslabe ili pojačaju zavisno od toga kako ih tretiramo, da li kao smetnju ili kao koristan prijemni signal.

Polarizirajući ugao

Jedna posebna osobina vertikalno polarisanih radio talasa je da kada padnu na neku reflektujuću površinu, na primer zemlju, pod tačno određenim uglom koji se zove *Brusterov* (ili *polarizirajući*) ugao, dolazi do toga da polarizacija reflektovanog talasa biva okrenuta, tj. bude horizontalna.

Veličina Brusterovog ugla zavisi uglavnom od elektromagnetnih karakteristika reflektujuće površine (sastava i vlažnosti zemljišta) i talasne dužine radio talasa, a kreće se obično do petnaestak stepeni.

Ovo je dosta važan fenomen o kome se mora voditi računa kada se koristi vertikalna polarizacija radio talasa.

Igra svetlosti i senki

U dosadašnjem izlaganju smo se bavili prostiranjem radio talasa kroz nehomogenu sredinu, a posebno procesima koji se dešavaju na granici dva medijuma, odnosno dve fizički i električno različite sredine. Uočili smo tri različita procesa koji se dešavaju pri prelasku radio talasa iz jedne u drugu sredinu: refleksiju, apsorpciju i refrakciju. Zavisno od fizičkih i električnih osobina obe sredine ovi procesi mogu različito uticati na rezultat, tj. komponente radio talasa koje su posledica ovih procesa. Tako može da se desi da se od neke prepreke najveći deo energije radio talasa reflektuje a samo manji deo apsorbuje i refraktuje. Za takvu sredinu kažemo da je dobar reflektor. Isto tako neka sredina može

biti i dobar apsorber ili refraktor talasa, kada je ova osobina više izražena od ostalih.

Difrakcija

Prostiranje radio talasa preko zemljine površine je najčešći slučaj koji se dešava pri radio-komunikacijama i radio-difuziji i zato je najvažniji sa stanovišta dometa radiotalasa.

Prostiranjem preko sferne neravne površine Zemlje koja može biti različitog oblika i sastava (planine, pustinje, mora, jezera, ravnice, močvare, sneg, vegetacija, itd.) i delom prostiranjem kroz atmosferu koja može, takođe, biti različitih fizičkih svojstava (vlažnost, temperatura, pritisak, provodnost, homogenost, naelektrisanost, itd.) radiotalasi se zapravo stalno kreću na granici dva medijuma, čije se karakteristike menjaju tokom prostiranja. Ovakva krajnje kompleksna situacija ima za posledicu to da se u proračunima i analizama prostiranja preko zemljine površine u velikoj meri koriste statističke metode kao korektivni činiooci. Naime iz fizike, posebno optike, poznati su nam mnogi fizički zakoni koji deluju na prostiranje svetlosti ili radio talasa, ali svaki od njih podrazumeva poseban izolovan i idealizovan slučaj, što se u praksi retko ili gotovo nikada ne sreće. Tek objedinjavanjem svih tih posebnih slučajeva i korekcijom njihove "idealnosti" pomoću statističkih, empirijskih metoda, moguće je sa zadovoljavajućom tačnošću predviđati prostiranje radiotalasa preko realnog reljefa i sa realnom atmosferom iznad njega.

Dominantni mehanizam prostiranja radio talasa u ovakvim uslovima je *difrakcija*.

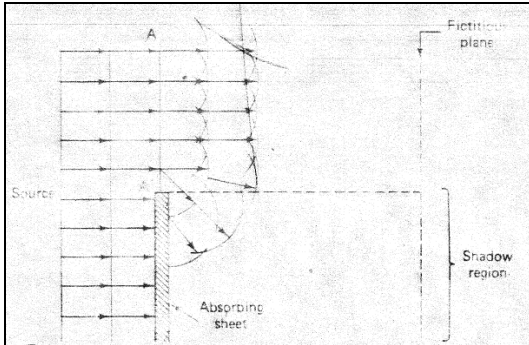
Difrakcija je fizički proces prostiranja koji predstavlja preraspodelu elektromagnetnog zračenja u prostoru prema *Hajgensovom principu*.

Hajgensov princip

Hajgensov princip je geometrijski metod za određivanje karakteristika talasnog fronta pri prolasku preko neke prepreke, na osnovu poznavanja karakteristika talasnog fronta neposredno pre nailaska na prepreku.

Prema tom principu, koji je Hajgens formulisao u drugoj polovini 17. veka posmatrajući i ispitujući prostiranje svetlosti, svaka tačka datog talasnog fronta može biti tretirana kao novi (sekundarni) izvor zračenja, koji zrači kao izotropni ili tačkasti izvor zračenja i čiji je prostorni dijagram zračenja, shodno tome, u obliku sfere. Poluprečnik te sfere je jednak

proizvodu brzine prostiranja i proteklog vremena. Novi talasni front nalazi se tako što se konstruiše površina koja je tangenta na sfere sekundarnih izvora zračenja.



sl. 4. Difrakcija talasnog fronta na ivici prepreke

To nam omogućava predviđanje karakteristike talasnog fronta posle protoka određenog vremena, recimo posle prelaska preko neke prepreke.

Ovakvim postupkom “razbijanja” talasnog fronta na elementarne delove i, posle prelaska preko prepreke, njihovim ponovnim “integrisanjem” u celinu postizemo jednu važnu stvar, a to je mogućnost predviđanja deformacije dela talasnog fronta koji je naišao na prepreku u odnosu na deo koji je slobodno prošao preko ili mimo prepreke. U momentu nailaska na prepreku pojedini sekundarni izvori su ili potpuno ili delimično onemogućeni da svojim sferama zračenja učestvuju u formiranju talasnog fronta, pa zbog geometrijskog slaganja elektromagnetnog polja dolazi do izobličenja talasnog fronta u delu koji je pretrpeo uticaj prepreke.

Senke i polusenke

Ako se na putu radio talasa postavi neka prepreka u vidu apsorpcione površine, moglo bi se očekivati da neposredno iza prepreke zbog “senke” uopšte nema radio talasa. Već prvi eksperimenti sa svetlošću su pokazali da u “senci” takođe ima svetlosti i da je njen intenzitet zavisao od mesta na kome se posmatra (sa promenom visine postoje minimumi i maksimumi intenziteta) i oblika prepreke. Naime, zahvaljujući tome Hajgens je došao do otkrića principa po kome se deo talasnog fronta “savija” iza prepreke i omogućava formiranje “polusenke”. To savijanje dela talasnog fronta elektromagnetnog zračenja oko prepreke (difrakcija) veoma lepo se objašnjava

pomenutim principom koga je Hajgens formulisao, a u praksi veoma mnogo pomaže, jer omogućava prijem radio talasa i iza prepreka!

Kada talasni front udari u ivicu pomenute apsorpcione površine ili u vrh brda, greben planine, krov zgrade ili sličnu visoku ali relativno strmu prepreku, svaka tačka pogodena talasnim frontom redistribuira primljenu energiju tako što je, kao sekundarni izvor zračenja, emituje u prostor na sve strane podjednako, pa i u region “senke”, tj. region iza prepreke! Ukupno polje iza prepreke će biti geometrijski zbir polja svih sekundarnih izvora koji su deo svoje energije izračili u taj deo prostora. Po Hajgensovom principu površina koja je tangenta na sve sfere sekundarnih izvora lociranih na ivici i iznad prepreke, predstavljaće talasni front iza prepreke.

Signal u “senci”, zapravo u “polusenci”, je znatno oslabljen ali u nedostatku boljeg može se koristiti za prijem.

Hajgensov princip je od velike pomoći u razumevanju efekata i fizičkih procesa koji se dešavaju pri pojavi difrakcije.

Termin difrakcija, prema onom što smo do sada videli, odgovara situaciji gde je razultujuće polje proizvedeno tako što je ograničeni deo ukupnog talasnog fronta “odsečen” preprekom. Kada se ovo desi, dolazi do specifičnog izobličenja talasnog fronta i drugih pratećih efekata koje nazivamo difrakcijom.

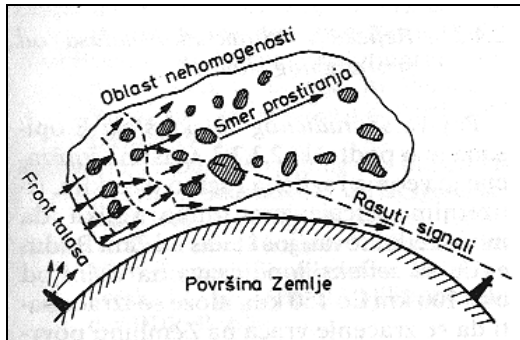
Kako se neki novi efekti, zajedno sa ovim već do sada pomenutim, kombinuju u realnosti i šta je to rasipanje (scattering) radio talasa na reljefu i u atmosferi videćemo u nastavku teksta.

Troposfersko rasipanje

Poseban oblik difrakcije javlja se pri nailasku talasnog fronta na veliki broj manjih prepreka, koji je specifičan pri postiranju preko “hrapave” površine zemljišta. Slični efekti se dobijaju i pri prostiranju kroz atmosferu koja sadrži veliki broj neregularnosti relativno malih dimenzija u odnosu na talasnu dužinu, a koje se sastoje od velikog broja malih regiona sa promenjenim fizičkim i električnim karakteristikama atmosfere ili jonosfere. Za razliku od ranije pomenutog efekta difrakcije koji se javlja pri nailasku talasnog fronta na izdvojenu i relativno veliku prepreku, ovde zbog velikog broja malih prepreka sa različitim uticajem na prostiranje dolazi do efekta **rasipanja**.

Rasipanje je ustvari zbirni efekat svih pojedinačnih efekata koji se dešavaju na svakoj posebnoj prepri na kojoj nastaju: refleksija, difrakcija, apsorpcija i refrakcija.

Zavisno od medijuma u kome dolazi do ove pojave razlikujemo rasipanje (scattering) u atmosferi (obično troposferi), jonosferi ili na tlu. U veoma teškim uslovima prostiranja, kroz vrlo nehomogenu sredinu ovo je uobičajen način prostiranja radio talasa. Na VHF i UHF području posebno je interesantno rasipanje u atmosferi, tzv. **tropo scattering** i on predstavlja vrlo čest fenomen pri prostiranju.



sl. 5. Mehanizam rasipanja radio talasa u troposferi

Kada se radio talasi prostiru kroz slobodni vasioni prostor putanja prostiranja je prava linija. To znači da bi na nekoj planeti bez atmosfere predajnik lociran na površini te planete zračio radio talase koji bi, pošto ne mogu da prate zakrivljenost sferne površine planete, u jednom trenutku - na horizontu, napustili površinu planete i nastavili da se prostiru kroz vasioni prostor. To praktično znači da bi neko ko želi da primi signale tog predajnika morao biti lociran bliže predajniku od mesta kada radiotalasi, krećući se po pravoj liniji (koja je tangenta na površinu sfere planete u tački u kojoj se nalazi predajnik), napuste planetu i odu u svemir. Ovo nas praktično ograničava na mogućnost prijema samo najdalje do horizonta koji je vidljiv sa lokacije predajnika. Iza horizonta, na planeti bez atmosfere i sa relativno glatkom površinom (bez reljefa, a samim tim i bez efekata difrakcije), nema radio signala, jer se radiotalasi ne "povijaju", tj. "ne prate" sfernu površinu planete.

Međutim, na Zemlji zbog prisustva atmosfere, koja sadrži niz neregularnosti i nehomogenosti u svom sastavu, dolazi do efekata rasipanja i deo radio signala biva rasejan i iza vidljivog horizonta.

Takođe zbog postojanja reljefa, na Zemlji dolazi i do rasipanja na samom tlu tako da, u kombinaciji sa pomenutim rasipanjem u atmosferi, dolazi do izraženijeg rasejavanja dela radio signala u područje senke koja se nalazi iza

vidljivog horizonta i pretvaranja senke u polusenku.

Troposferska refrakcija

Međutim osim ovog efekta rasipanja radiosignala u atmosferi postoji još jedan mehanizam koji dalje poboljšava prijem iza horizonta, tj. u područjima senki odnosno polusenki.

Taj mehanizam se naziva **troposferska refrakcija** i on se dešava, kao što mu i samo ime kaže, u nižim slojevima atmosfere - troposferi, praktično do nekoliko kilometara visine, usled termičkih procesa zagrevanja i hlađenja atmosfere tokom dana i noći, kao i usled drugih pratećih fizičkih procesa koji se dešavaju pri tlu, kao što su isparavanja vodenih površina i vegetacije, isijavanje toplote velikih industrijalizovanih centara, itd. Jednom rečju, može se reći da je ovo mehanizam prostiranja koji je najviše vezan za meteorološke uslove koji trenutno vladaju na području preko koga se radio talas prostire.

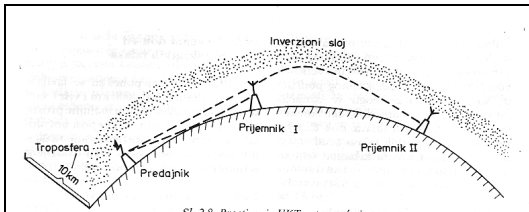
Da se podsetimo, refrakcija je efekat koji se javlja prilikom promene sredine kroz koju se talas prostire. Zavisno od fizičkih i električnih karakteristika medijuma menja se brzina prostiranja i dolazi do skretanja, prelamanja ili savijanja radio talasa, tj. promene pravca prostiranja. Da bi se pojedine sredine mogle karakterisati po tome kako vrše uticaj na prostiranje elektromagnetnog zračenja, uvedena je mera koja se zove **indeks refrakcije** ili **indeks prelamanja**. Za referencu je uzet vakuum i on ima indeks refrakcije $n=1$.

Različiti materijali imaju različite vrednosti ovog indeksa. Gasovi imaju indeks refrakcije malo veći od 1, ali je on u velikoj meri zavisn od sastava i fizičkih karakteristika gasa, posebno temperature i pritiska.

Poznato je da se atmosfera Zemlje sastoji od smeše gasova azota, kiseonika, ugljendioksida, vodene pare itd. i da se njena temperatura i pritisak menjaju sa povećanjem visine. Ovo ima za posledicu da je indeks refrakcije atmosfere na površini tla drugačiji (obično veći) nego na nekoj visini iznad tla.

Promena indeksa refrakcije sa visinom (gradijent), odnosno duž puta prostiranja radiotalasa koji se, krećući se pravolinijski, zbog zakrivljenosti zemlje sve više udaljava od njene površine zalazeći u sve više slojeve atmosfere, proizvodi efekat savijanja radiotalasa prema zemlji. Praktično, radio talas zbog stalno opadajućeg indeksa refrakcije sa promenom visine, umesto da se kreće pravolinijski, stalno

se, tokom puta, savija ka zemlji, krećući se tako po jednoj krivoj liniji. Ovo savijanje ima za posledicu da radio talas dosta kasnije napusti atmosferu i ode u svemir, nego kada atmosfere ne bi bilo. Pošto on na svom putovanju kroz atmosferu duže putuje u blizini zemljine površine, to za posledicu ima i proširenje horizonta. Ovaj novi prošireni horizont za razliku od onog vidljivog, optičkog, o kome je već bilo reči kada smo razmatrali slučaj planete bez atmosfere, naziva se **radio-horizont**. Radio-horizont je naravno promenljiv sa talasnom dužinom radio talasa i meteorološkim uslovima, ali statistički gledano, najčešće je na VHF i UHF talasima oko 30-40% veći od optičkog, pri normalnom stanju atmosfere.



sl. 6. Prostiranje VHF i UHF talasa u troposferi

Međutim, meteorološki uslovi mogu u velikoj meri da promene stanje u atmosferi i da se pojave razne anomalije, tako da i troposferska refrakcija može da poprimi sasvim drugačije karakteristike i razmere. O ovom i drugim specifičnostima prostiranja na VHF i UHF opsezima, možete čitati u sledećem poglavlju.

Radio talasi u klopki

Proširenje horizonta do koga dospevaju radio-talasi, kao što smo videli, posledica je promene fizičkih svojstava atmosfere sa promenom visine. Kada je ova promena indeksa refrakcije linearna sa porastom visine možemo govoriti o *normalnom* stanju atmosfere. To podrazumeva da je gradijent indeksa refrakcije konstantan, tj. da uvek sa istom promenom visine imamo istu promenu indeksa refrakcije. Ovo *normalno* stanje atmosfere najčešće se uzima u obzir pri proračunima prostiranja i jačine elektromagnetnog polja u nekoj tački.

Efektivni radijus Zemlje

Videli smo, u prošlom broju, da je u primeru prostiranja, pri normalnom stanju atmosfere, došlo do proširenja radio-horizonta u odnosu na situaciju sferne planete bez atmosfere. Ovo

savijanje radio-talasa u atmosferi u potpunosti je isto kao da je zakrivljenost sferne površine planete smanjena, tj. kao da je planeta povećana; znači kao da imamo veći poluprečnik (radijus) sfere planete.

Poznato je da je, recimo, optički horizont na Mesecu mnogo bliži nego što je to ovde na Zemlji. To se lepo vidi i na snimcima koje su astronauti napravili na Mesecu. Razlog ovome je nekoliko puta manji poluprečnik Meseca od Zemljinog, pa je i zakrivljenost njegove površine veća, a time i vidljivi horizont bliži.

Faktor prividnog ili efektivnog povećanja poluprečnika Zemlje za radio talase koji putuju kroz atmosferu, u odnosu na stvarni poluprečnik Zemlje naziva se **K** - faktor. Za normalnu "standardnu atmosferu" vrednost ovog faktora se uzima $K=4/3$. Ovo praktično znači da je efektivno, za radio talase, poluprečnik Zemlje 133% od njegove stvarne vrednosti. Približno toliko je i radio-horizont veći od "optičkog".

U periodu izlaska i zalaska sunca i nekoliko sati posle, vrednost K-faktora obično je nešto veća nego u periodu ostatka dana, što podrazumeva i veći radio-horizont, tj. bolje prostiranje.

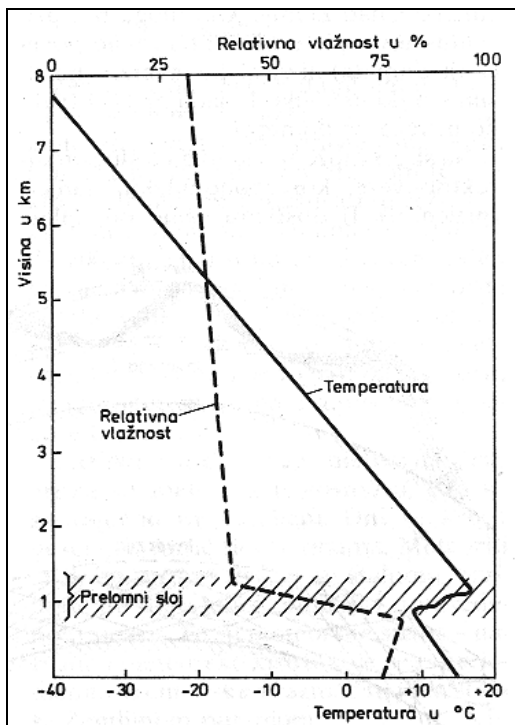
Naravno, ovako standardizovana atmosfera sa konstantnim gradijentom je samo prosečna vrednost i za preciznije proračune mora se uzeti mnogo precizniji model atmosfere. Mnogo bolja aproksimacija stvarnog stanja u atmosferi je tzv. *eksponencijalna atmosfera*, gde je, kao što i samo ime kazuje, umesto linearne promene indeksa refrakcije sa povećanjem visine uzeta eksponencijalna promena.

Međutim, zbog termičkih procesa usled zagrevanja u samoj atmosferi, posebno u njenim nižim slojevima dolazi do raznih turbulentnih promena, koje su u meteorologiji odgovorne za kratkotrajne promene vremena. U domenu prostiranja radio talasa ove meteorološke promene utiču na pojavu velikih nepravilnosti i specifičnosti u prostiranju, zbog drastično izmenjenih fizičkih parametara atmosfere.

Troposferska inverzija

Za normalno stanje atmosfere karakteristično je monotono opadanje temperature, a time i indeksa refrakcije sa povećanjem visine. Ovo za posledicu ima savijanje radio-talasa prema zemlji što dovodi do tendencije praćenja zakrivljenosti zemljine površine, a time i povećanja radio-horizonta u odnosu kada atmosfere ne bi bilo. Međutim, kada se usled pomenutih klimatskih promena dogodi da se ovo stanje normalne atmosfere naruši, srećemo se sa anomalijama u prostiranju.

Kada umesto monotonog opadanja imamo monoton porast temperature, tj. indeksa refrakcije, umesto savijanja ka zemljinoj površini dolazi do savijanja od zemlje ka svemirskom prostoru, čime se radio-horizont smanjuje na vrednosti koje su čak mnogo manje od “optičkog”, tj. geometrijskog za uslov optičke vidljivosti. Tada se dešava da i pored toga što se predajna i prijemna antena međusobno “vide” nema prijema signala, jer je on savijen, otklonjen ka nebu.

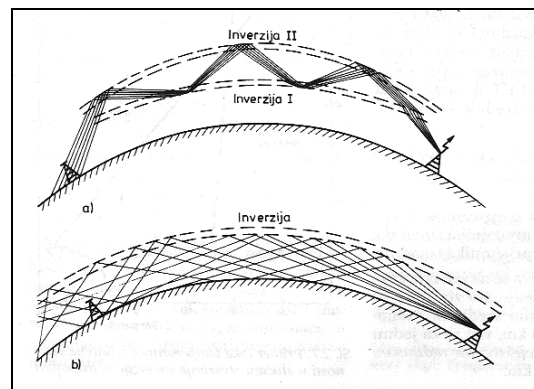


sl. 7. Primer promene temperature i vlažnosti sa visinom u slučaju stvaranja inverzije u troposferi.

Osim ove anomalije osobina atmosfere, moguće je i skokovito, naizmenično opadanje i porast indeksa refrakcije sa promenom visine. To se dešava kada se atmosfera rasloji na jasno definisane i omeđene slojeve vazduha koji imaju veoma različite fizičke karakteristike (temperaturu i vlažnost), a samim tim i različite indekse refrakcije. Ovo se obično događa kada se preko vlažnog i toplog zemljišta ili tople vodene površine “navuče” hladan i suv vazduh; ili kada dođe do zagrevanja osunčanih vazdušnih masa koje se nalaze iznad, maglom ili niskom oblačnošću prekrivenih, hladnih vazdušnih masa uz samo tlo. Ovo je poznata anomalija koja se još zove i temperaturna ili **troposferska inverzija**, zbog inverzne promene toka temperature atmosfere sa visinom.

U slučaju pojave temperaturne inverzije, zavisno od visine i intenziteta pojave, kao i od razlike i toka indeksa refrakcije u pojedinim slojevima, mogući su različiti fenomeni u prostiranju. Najčešće se, ipak, dešava da je tada moguće primati radio signale sa velikih udaljenosti sa vrlo solidnim kvalitetom. Međutim, dešava se takođe da je prijem dosta selektivan u smislu da se najbolje primaju stanice iz određenog i često vrlo oštro naglašenog smera.

Naravno, zavisno od visine na kojoj je došlo do inverzije, moguće su i diskriminacije ne samo po pravcu već i po visini predajnika, pa tako neki predajnici na visokim planinama mogu da se nadu iznad inverzije i da zbog toga ne mogu da budu primljeni iako su “optički vidljivi”.



sl. 8. Kanalisanje radio talasa u troposferi: a) između dve inverzije; b) između inverzije i tla.

Atmosferski “kanali”

U određenim uslovima talas koji upadne u područje inverzije može biti “uhvaćen u klopku” između dva sloja vazduha iz kojih ne može da se izvuče usled pojave totalne refleksije, kao svetlost iz svetlovodnog vlakna. Time bude kanalisani i usmereni u pravcu prostiranja same pojave inverzije, a time i poslati do vrlo udaljenih krajeva, do kojih nikako ne bi mogao stići normalnim načinima propagacije. Ovo se naziva **atmosfersko vodenje** (ducting).

U pogodnim meteorološkim uslovima moguće je, nad širim geografskim prostorom, formiranje više inverzija koje se razlikuju i po pravcima i po visinama, ali i koje se na pojedinim mestima ukrštaju. Ovakva mreža “kanala” omogućava da se pojedini signali koji su uhvaćeni u neki od kanala, na mestu ukrštanja ubace u neki drugi kanal i tako prevale neverovatno dugačke puteve. Ove pojave su mnogo izrazitije na višim UHF opsezima, mada u pogodnim meteorološkim

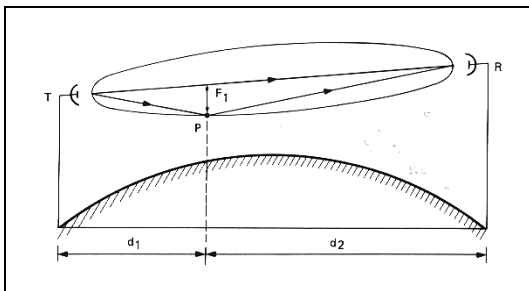
uslovima vrlo lepo se mogu manifestovati i na VHF opsegu.

Ovim smo, u glavnim crtama, priveli kraju proučavanje specifičnosti prostiranja kroz nejonizovanu atmosferu. O nekim aspektima prostiranja VHF i UHF talasa kroz jonosferu biće reči kasnije.

U sledećem paragrafu bavićemo se nekim specifičnostima prostiranja preko reljefa, posebno slabljenjem signala u zavisnosti od oblika prepreke, što je vrlo blizu onoga što se sreće u praksi, pri prijemu u otežanim uslovima.

Slabljenje usled prepreka

Analiza prostiranja radio talasa preko neravnog terena može se adekvatno provesti uvođenjem jedne veličine koja pokazuje do koje je mere prepreka preprečila put radio-talasu.



sl. 9. Prikaz prve Frenelove zone

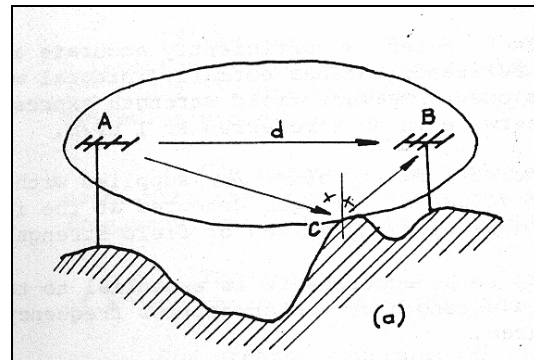
Ta veličina zove se **klirens** i predstavlja rastojanje od vrha prepreke do linije optičke vidljivosti, tj. prave linije koja povučena od predajne antene ide do prijemne antene. Tako ako je visina prepreke taman tolika da dodiruje pravu koja predstavlja optičku vidljivost, tj. gledano od predajne antene prijemna antena se upravo pomalja iznad prepreke onda je klirens jednak nuli. Ukoliko je prepreka niža klirens je pozitivan, tj. veći od nule, a ako je prepreka viša i potpuno zaklanja prijemnu antenu onda je klirens negativan, tj. manji od nule.

Prva Frenelova zona

Kada je klirens mali počinju da se javljaju difrakcioni fenomeni koji utiču na smanjenje jačine prijemnog signala. Da bismo odredili koliko put radio talasa sme da se približi prepenci pre nego što dođe do pojave difrakcionih gubitaka, neophodno je da se uvede koncept **prve Frenelove zone**.

Ekspperimentalni rezultati su pokazali da je za prelazak radio talasa preko prepreke bez

slabljenja potrebno da klirens bude veći od određene minimalne veličine koja je određena širinom prve Frenelove zone. Veličina prve Frenelove zone zavisi od talasne dužine i rastojanja prepreke od prijemne i predajne antene. Frenelova zona predstavlja prostor između antena ograničen elipsoidom u čijim su žižama prijemna i predajna antena. Može se konstruisati bezbroj elipsoida ali za nas je najinteresantniji onaj čije su dimenzije tako određene da put radio-talasa koji se kreće unutar njega, po bilo kom putu, ne može biti duži za više od pola talasne dužine od najkraćeg mogućeg, tj. od prave linije. Taj prostor ograničen ovakvim elipsoidom se naziva prva Frenelova zona i igra posebno važnu ulogu u određivanju difrakcionih gubitaka.



sl. 10. Primer određivanja čistoće Frenelove zone.

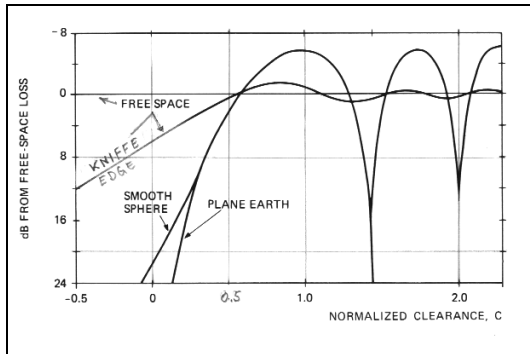
Ovo je prilično logično jer se može lako pokazati da najveći deo primljene energije radio signala upravo stiže kroz deo prostora ograničen prvom Frenelovom zonom, tako da je za očekivati da će svako zadiranje prepreke u ovu zonu u velikoj meri uticati na veličinu prijemnog signala.

Ne samo visina prepreke, odnosno veličina oštećenja prve Frenelove zone već i oblik prepreke u velikoj meri utiču na slabljenje prijemnog signala. Tako recimo pri istoj visini prepreke nije isto slabljenje za prepreke koje su dugačke i prepreke koje su kratke poput oštrice.

Slabljenje i visina prepreke

Za klirens koji je veći od širine prve Frenelove zone, tj. za prepreke koje su niže i ne zadiru u prvu Frenelovu zonu radio talas se prostire slično kao u slobodnom vasijskom prostoru. Kada prepreka, bez obzira na njen oblik, uđe i ošteti prvu Frenelovu zonu do vrednosti od 60% još uvek nema difrakcionih efekata koji bi slabili prijemni signal. Dalje povećanje oštećenja prve Frenelove zone ima za posledicu slabljenje

prijemnog signala. Veličina slabljenja ima različite vrednosti za različite oblike prepreke. Ovo praktično znači sledeće: sve prepreke, bez obzira na oblik i svoju dužinu, neće poremetiti veličinu prijemnog signala ako je klirens minimalno 60% od širine prve Frenelove zone. To u praksi znači da sa prijemne lokacije predajna antena mora dobro da se vidi, a ne samo da se tek jedva pomoli iza brda ili neke druge prepreke!



sl. 11. Dijagram slabljenja prijemnog polja u zavisnosti od veličine klirensa za različite tipove reljefa (ravna zemlja, glatka sfera, oštrica noža) u odnosu na slabljenje u slobodnom prostoru.

Oštrica noža

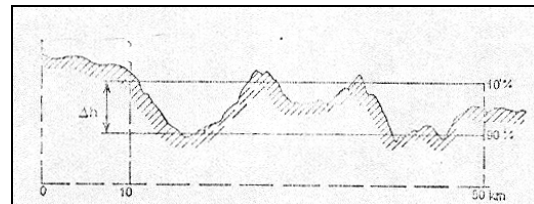
Generalno, sve prepreke koje su kratke, tj. radio signal kratko vreme prelazi preko njih, jer predstavljaju relativno mali deo ukupnog puta radio-talasa, mnogo manje slabe prijemni radio signal nego prepreke koje su dugačke, tj. predstavljaju značajni deo ukupnog puta radio talasa od predajne do prijemne antene. Takođe prepreke koje imaju oštar vrh (grebeni planinskih vrhova, krovovi zgrada i slično) neuporedivo manje slabe signal nego kada su u pitanju sferne ili valjkaste prepreke (blaga, široka i "pljosnata" brda), ili vrlo dugačke ravne površine (ravnice i brežuljci).

Ovaj efekat rasprskavanja talasnog fronta na ostrim ivicama prepreka naziva se **efekat oštrice noža**. Zahvaljujući tom efektu za isti klirens, tj. visinu prepreke, slabljenje kod oblikih prepreka je nekoliko desetina decibela veće nego kod prepreka sa ostrim vrhom!

Slabljenje i apsorpcija usled prepreke

Kod prepreka koje su veoma dugačke veliki uticaj na ukupno slabljenje osim veličine klirensa, tj. veličine oštećenja prve Frenelove zone ima i apsorpcija zemljišta. Tako nije

svejedno da li se talas prostire preko dugačke oble prepreke (nekog širokog brda) koje je obraslo šumom ili je golo i stenovito. Pri prostiranju preko dugačke ravnice slabljenje zavisi od vrste zemljišta, vegetacije, vlažnosti i drugih specifičnosti. Prostiranje preko slatkovodnih i morskih površina takođe ima različite uticaje na slabljenje prijemnog signala.



sl. 12. Način određivanja vrednosti valovitosti terena.

Valovitost terena

Iz svega što smo do sada izneli u vezi sa uticajem reljefa na prostiranje možemo zaključiti da je oblik i broj prepreka koji stoji na putu prostiranja radio-talasa od bitne važnosti na jačinu prijemnog polja, tj. prijemnog signala.

Upravo iz ovih razloga uveden je parametar **valovitosti terena (Δh)** pomoću koga se pri proračunu modelira uticaj reljefa na slabljenje polja koje se preko njega prostire.

Ovaj uticaj nepravilnosti terena povećava se sa porastom frekvencije, što je i logično jer se sa porastom frekvencije smanjuje talasna dužina, a time dolazi i do relativnog povećanja dimenzija prepreke u odnosu na talasnu dužinu.

Tako je uticaj valovitosti terena, koji se definiše kao razlika u visinama konture terena preko koga se radio-talasa prostire, mnogo veći na UHF nego na VHF području. Parametar valovitosti terena koji se obeležava sa Δh definiše stepen talasnosti terena između predajne i prijemne antene kada se odbije 10% vrhova i udolina na celoj trasi, tj. predstavlja razliku između 10% i 90% visine konture terena, a ne punih vrednosti minimalne i maksimalne visine, upravo kako to pokazuje slika.

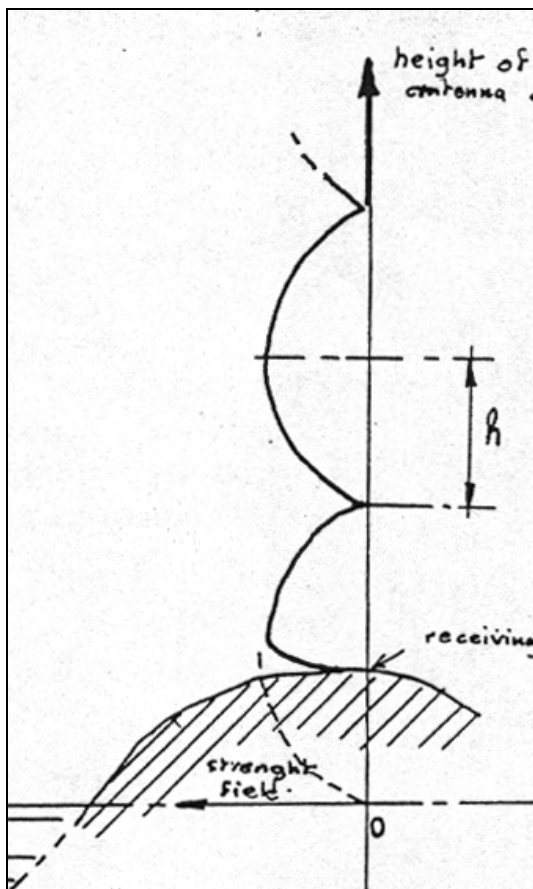
Ukoliko je teren nepravilniji time vrednost Δh raste a usled toga se smanjuje i vrednost jačine primljenog signala.

S druge strane, visina predajne antene se definiše kao srednja visina terena na rastojanju 3-15 km od predajne antene, a u pravcu prijemnog mesta.

Promena visine antene

Teorija je predvidela, a praksa eksperimentalno potvrdila postojanje promene jačine

elektromagnetnog polja sa promenom visine prijemne antene iznad lokalnog tla. Ova veličina nazvana je *visinska dobit*.



sl. 13. Promena jačine prijemnog signala u zavisnosti od visine prijemne antene

Mehanizam stvaranja ove periodične promenljivosti jačine polja koja se javlja pri povećanju visine antene je superpozicija direktnog i reflektovanih talasa na mestu prijemne antene.

Ako je rastojanje između predajne i prijemne antene relativno malo (nekoliko kilometara), i uz dobru provodnost terena, sa promenom visine antene, zapaža se serija veoma izraženih minimuma i maksimuma jačine prijemnog polja. Ova varijacija polja je mnogo izraženija kod horizontalne nego kod vertikalne polarizacije.

Fenomen o kome je reč je uobičajen i on je, kao što smo već rekli, produkt interferencije direktnog i reflektovanog, ili više reflektovanih talasa na mestu gde se nalazi prijemna antena. Ovo nas upućuje na to da, pri traženju najboljeg prijemnog signala, obavezno odredimo i optimalnu visinu prijemne antene. Znači osim

određivanja najboljeg mesta na tlu treba odrediti i najbolju visinu prijemne antene.

Neposredno iznad tla sa povećanjem visine antene jačina prijemnog polja naglo raste do nekog maksimuma i sa daljim povećanjem visine periodično se ponavljaju minimumi i maksimumi. Rastojanje između susjednih minimuma i maksimuma proporcionalno je talasnoj dužini signala i rastojanju do predajne antene, a obrnuto proporcionalna razlici visina predajne i prijemne antene.

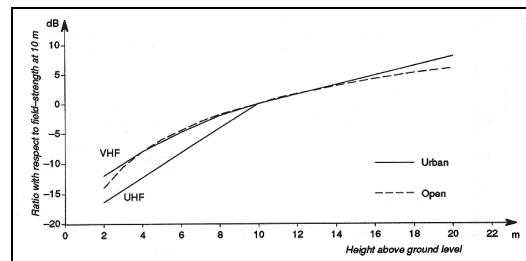
Za promenu visine prijemne antene između 3 i 10 m rezultati eksperimenata na različitim frekvencijama su dali sledeće zavisnosti:

- U frekvencijskom opsegu od oko 50 do 100 MHz (F I i F II) srednja vrednost visinske dobiti iznosi oko 9-10 dB u planinskim ili na ravnim terenima, kao i za urbane i nenaseljene zone;
- U VHF TV opsegu (F III) srednja vrednost visinske dobiti iznosi 7 dB na ravnom terenu i 4-6 dB u urbanoj zoni ili planinskom kraju;
- U UHF TV opsegu (F IV i F V) srednja vrednost visinske dobiti mnogo zavisi od nepravilnosti terena, tj. Δh . U predgrađu iznosi oko 6-7 dB, a u gradskoj zoni 4-5 dB.

Ove veličine visinske dobiti važe za rastojanja do 50 km od predajnika, dok se za veća rastojanja smanjuju linearno tako da za rastojanja od 100 km imaju upola manju vrednost.

Ovo visinsko pojačanje ili dobit (gain) dodaje se na proračunske vrednosti polja koje je računato sa visinom antene od 3m. To praktično znači da će izmereno polje, tj. jačina prijemnog signala na 10 m visine biti za toliko veća od jačine signala na visini od 3m.

Iz svega napred iznetog logično sledi da se u urbanim sredinama prijemna antena postavlja iznad lokalnog nivoa krovova, gde krovovi, recimo na UHF području, predstavljaju valovitost "terena" i na potpuno isti način učestvuju u određivanju jačine signala kao i neravan teren.



sl. 14. Promena visinske dobiti sa promenom visine antene u odnosu na jačinu polja na 10m visine za naseljene (urban) i nenaseljene (open) terene.

Kao što se iz gore navedenih vrednosti za F I i F II opseg vidi eksperimentalno iskustvo je pokazalo da nema razlike između polja merenog u naseljenoj i nenaseljenoj sredini.

U F III opsegu veličina polja merena sa prijemnom antenom na visini oko 10 m iznad lokalnog tla u predgrađu, odgovara merenjima u nenaseljenim i ruralnim sredinama.

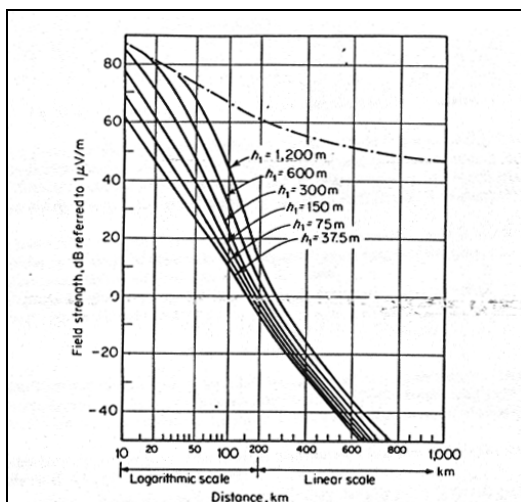
Približno se mogu izvesti vrednosti *maksimalnih* slabljenja signala u urbanim naseljima i to:

- Za gradove od oko 400.000 stanovnika maksimalno slabljenje polja je oko 16 dB na 10 m visine i oko 6 dB na 16 m visine prijemne antene;
- Za gradove oko 80.000 stanovnika maksimalno slabljenje je nešto manje i iznosi oko 12 dB na 10 m visine;
- U gusto naseljenim zonama (uži centar grada, veća naselja sa velikim blokovima zgrada i sl.) imaju maksimalno slabljenje polja u granicama od 6 do 16 dB u zavisnosti od vrste, gustine, oblika i veličine građevina u mernoj zoni;
- U F IV i F V opsegu merenja su pokazala slabljenje u rasponu od 3 dB za malu i čak 28 dB za veliku gustinu građevinskih objekata. Aproksimativno se može uzeti maksimalno slabljenje od oko 12 dB pri visini prijemne antene od 20 m. Veći broj merenja je pokazao da srednji gubici u ovom frekvencijskom opsegu iznose oko 9 dB.

Radi lakšeg i pouzdanijeg određivanja i proračuna očekivane jačine polja na nekom prijemnom mestu, formirane su krive koje predstavljaju statistički obrađene vrednosti verovatnoće jačine polja i vremena za određen broj lokacija i frekvencijske opsege, klimatske i geografske uslove i rastojanja.

Ove statističke krive su bazirane na dugačkim vremenskim intervalima, obično od nekoliko godina i mogu reprezentovati srednje klimatske uslove. Zbog toga je izvesno da se za kraće vremenske periode, recimo od nekoliko časova ili čak nekoliko dana, veličina polja može razlikovati veoma mnogo u odnosu na date vrednosti.

Primer jedne takve familije krivih dat je na slici.

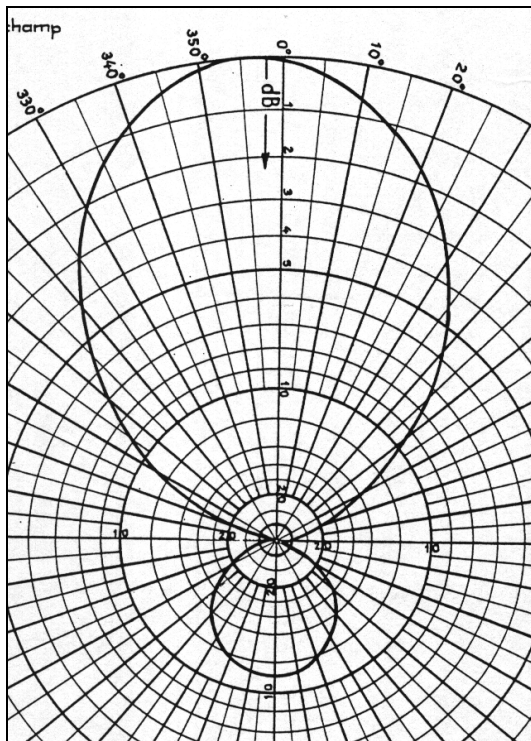


sl. 15. Statističke vrednosti jačine prijemnog polja za neravan teren u zavisnosti od rastojanja od predajne antene, pri različitim visinama predajne antene; snaga je 1kW EIRP na frekvencijama 450-1000 MHz uz valovitost terena $\Delta h=50m$ i visini prijemne antene od 10 m.

OTKLANJANJE TV SMETNJI

Antene - oružje protiv smetnji

Yagi antene danas predstavljaju VHF/UHF antene sa najvećom dobom u poređenju sa svojim fizičkim dimenzijama. To "plaćaju" svojim vrlo uzanim radnim frekvencijskim opsegom i dosta kritičnim dimenzijama. Sa druge strane njihov dijagram usmerenosti predstavlja vrlo moćnu alatku u otklanjanju smetnji "selekcijom" signala prema pravcu iz koga dolaze. Jadan od najjednostavnijih načina izbegavanja smetnji od predajnika na istom ili susjednom kanalu je korišćenjem Yagi antene tako da se ometajući signal "smesti" u neku od "nula" u dijagramu usmerenosti. Obično se koristi prva "nula" kada su smerovi iz kojih dolaze koristan i ometajući signal bliski.



sl. 1. Dijagram zračenja jedne Yagi antene u sistemu za otklanjanje smetnji, ili što je isto, dve antene na vrlo malom međusobnom rastojanju.

Kako se koristi

Korišćenje je dosta jendostavno. Potrebno je izabrati antenu čija će prva "nula" biti u odnosu na maksimalni prijem približno pod istim uglom kao što je ugao između korisnog i ometajućeg signala.

Pošto je kod Yagi antene glavni snop prilično "tup", tj. smer maksimalnog prijema nije kritičan, moguće je antenu postaviti tako da ometajući signal padne tačno u relativno uzanu "nulu" bez veće degradacije korisnog signala. Kvalitet ovakve zaštite, tj. potiskivanje smetnje zavisi od "čistoće", tj. dubine prve "nule" dijagrama usmerenosti.

Na ovaj način je moguće sa antenama koje imaju dobro definisane "nule" postići i nekoliko desetina decibela poboljšanja odnosa korisnog i ometajućeg signala. Ovo je u najvećem broju slučajeva dovoljno da bi se otklonila ili umanjila kanalna interferentna smetnja ili sprečilo prodiranje smetnje od snažnog signala sa susjednog kanala.

Naravno, ovo podrazumeva da je i ugao pod kojim dolaze koristan i ometajući signal približno jednak uglu između smera maksimalnog i "nultog" prijema antene, tj. uglu između glavnog snopa i prve ili neke od "nula" u dijagramu usmerenosti.

Međutim, u praksi često nailazimo na situacije kada ovo nije slučaj. Još češći slučaj je da "nule" antene nisu "čiste" i dobro definisane, tj. dovoljno duboke, pa su i rezultati koji se dobijaju slabi.

Mnogo fleksibilnije i kvalitetnije rešenje otklanjanja smetnji može se napraviti pomoću dve iste Yagi antene.

Kod otklanjanja smetnji sa jednom antenom koristi se osobina antene da korisni signali koji dolaze iz glavnog pravca prijema u svakom elementu antene indukuju takve struje koje se međusobno sabiraju i pojačavaju, pa tako imamo dobit ili pojačanje antene. Međutim, sa druge strane ta ista konstrukcija omogućuje da ometajući signali koji dolaze pod nekim uglom u odnosu na smer maksimalnog prijema indukuju u elementima antene struje koje se međusobno poništavaju i na taj način slabe signal.

Pošto je ovde u igri prostorna geometrija, tj. uglovi iz kojih dolaze signali su ono što određuje da li će se indukovane struje sabrati ili poništiti, to je onda moguće različitim konstrukcijama antene menjati i položaje nula u odnosu na smer maksimalnog prijema.

Četiri načina za dve antene

Koristeći ovu činjenicu mi možemo pomoću dve antene, koje su vezane da rade zajedno kao sistem, u veoma širokim granicama da menjamo dijagram usmerenosti ove “nove antene”, sastavljene od dve Yagi antene.

Uzmimo dve identične jagi antene sa čistim i dobro definisanim nulama i snopovima u dijagramu zračenja. Ove dve antene možemo koristiti tako da ih povežemo preko jednakih deonica kabla i one onda više ne rade kao pojedinačne antene nego kao sistem od dve antene. Dijagram svake pojedinačne antene će zajedno sa dijagramom one druge formirati zajednički rezultatni prostorni dijagram koji će zavistiti od pojedinačnog dijagrama svake antene i njihovog međusobnog rastojanja i orijentacije u prostoru.

Uzmimo za početak, da su antene usmerene u istom smeru i da se nalaze na vrlo malom međusobnom rastojanju, nosač uz nosač. Zajednički ili rezultujući dijagram će biti istovetan za dijagramom pojedinačne antne, tj. sistem od dve antene će raditi kao da je u pitanju samo jedna antena, jer je njihovo međusobno rastojanje tako malo da se efektivne površine antena preklapaju.

Ako sada počnemo da razmičemo antene, efektivna površine će početi da se sabiraju, a glavni snop dijagrama zračenja počće da se sužava. U jednom momentu dostićićemo rastojanje među antenama pri kojem će se efektivne površine antena dodirivati i ukupna rezultujuća efektivna površina će biti dvostruko veća od pojedinačne. To znači da će u tom momentu pojačanje sistema biti dva puta veće od pojačanje pojedine antene, tj. spajanjem dve antene na optimalnom rastojanju dobili smo teorijsko povećanje dobiti ili pojačanja za 3 dB.

Sa daljim povećanjem rastojanja između antena glavni snop zajedničkog dijagrama usmerenosti se prvo sve više sužava a zatim i “cepa”. Uglovi između smera maksimalnog prijema i prve “nule” kao i uglovi između pojedinih susednih “nula” se smanjuju. Međutim i širina glavnog snopa se srazmerno sužava.

Pri dosta velikom međusobnom rastojanju antena, recimo desetak talasnih dužina, dobijamo zajednički dijagram koji bi slikovito mogli

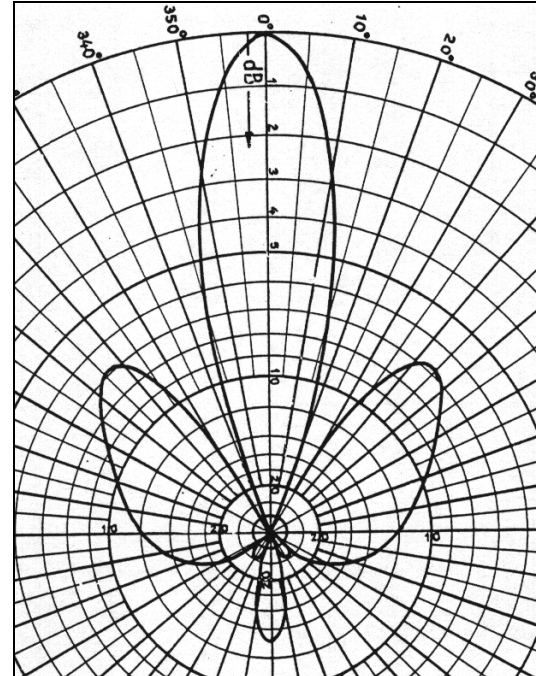
opisati kao dijagram u vidu “otvorene šake sa raširenim prstima”. Ako se pažljivo pogleda ovaj dijagram, lako će se prepoznati da je to ustvari prvobitni dijagram jedne antene koji je sitno iseckan nulama i snopovima. Ako se vrhovi svih maksimuma međusobno spoje dobiće se opet polazni dijagram jedne antene. Sa promenom rastojanja antena dolazi do pomeranja ovih nula i snopova zračenja (listova) dok forma ukupnog dijagrama ostaje relativno stalna.

To znači da, pogodnim izborom međusobnog rastojanja antena u horizontalnoj ravni, možemo dobiti da obe antene budu usmerene u smeru iz koga dolazi koristan signal, a da nam “nula” prijema padne tačno na smer iz koga dolazi ometajući signal.

Obe antene su vezane tako da rade “sinfazno”, tj. preko jednakih dužina kablova do sabirača (razdelnika) 1:2.

Postoji nekoliko načina za promenu zajedničkog dijagrama usmerenosti ovakvog sistema od dve antene.

Prvi način modeliranja dijagrama usmerenosti je pomoću prostornog razmeštaja dveju antena na takvo međusobno rastojanje koje omogućava da se dobije tačno odedeni ugao između smera maksimalnog prijema i “nule”.



sl. 2. Ukupni dijagram zračenja za dve antene na optimalnom rastojanju, kada se njihove efektivne površine dodiruju i ukupno povećanje dobiti iznosi oko 3 dB.

Na mestu prijema je moguće jednostavno pomoću promene međusobnog rastojanja antena postići najbolje potiskivanje ometajućeg signala, tj. najboljeg odnosa signala i smetnje.

Drugi metod se sastoji u tome da su antene na nepromenljivom rastojanju ali da se pomoću promene dužine kabla jedne antene menja njihov zajednički dijagram. Ovaj sistem funkcioniše na potpuno istom fizičkom principu kao i prethodni, s tom razlikom što se promena faze signala, tj. uslova sabiranja i poništavanja signala, postiže promenom dužine puta koji signal mora da prođe kroz kabl dok se ne sabere ili poništi sa onim iz druge antene, umesto da se antene u prostoru pomeraju i time proizvede ista promena faznog stava signala.

Treći način je kombinacija oba prethodna i vrlo je fleksibilan, ali zahteva malo više poznavanja elektromagnetike, jer je vrlo korisno i ponešto unapred izračunati kako bi se optimizirao dizajn i dobijeni rezultati samim tim što se upotrebom više promenljivih elemenata i broj kombinacija uvećao.

Četvrti način je manje korišćen jer je komplikovaniji i podložniji promenama kvaliteta izazvanim temperaturnim i drugim promenama, ali ga treba spomenuti i zbog toga što u nekim vrlo specifičnim okolnostima može da bude jedino rešenje.

Naime, radi se takođe o dve antene od kojih je jedna glavna a druga sporedna. Važno je napomenuti da one, za razliku od prethodnih varijanti, nisu smeštene tako da predstavljaju jedan sistem. Obično su dovoljno udaljene jedna od druge i usmerene tako da je među njima minimalan uticaj. Glavna antena je usmerena prema korisnom signalu a pomoćna prema ometajućem. Signali se dovode preko tačno određenih dužina kablova i oslabljivača kako bi se na mestu gde se kablovi spajaju doveli ometajući signali iz jedne i druge antene u protivfazi i sa jednakim amplitudama. Na ovaj način se pomoćna antena koristi da bi se uhvatio ometajući signal koji će pogodnom obradom (promenom faze i amplitude) biti iskorišćen da poništi samog sebe, tj. ometajući signal iz glavne antene.

Vrlo specifičan je slučaj kada je potrebno otklanjanje smetnje koja dolazi tačno iz suprotnog smera u odnosu na koristan signal. Ovo se rešava pomoću prostornog pomeranja jedne antene za četvrtinu talasa u nazad. Antene su međusobno povezane preko deonice kabla koje se međusobno razlikuju. Unazad pomerena antena ima kraći kabl za "električnu" četvrtinu talasa. Na ovaj način dobijamo sistem koji signale, koji dolaze sa prednje strane sabira u

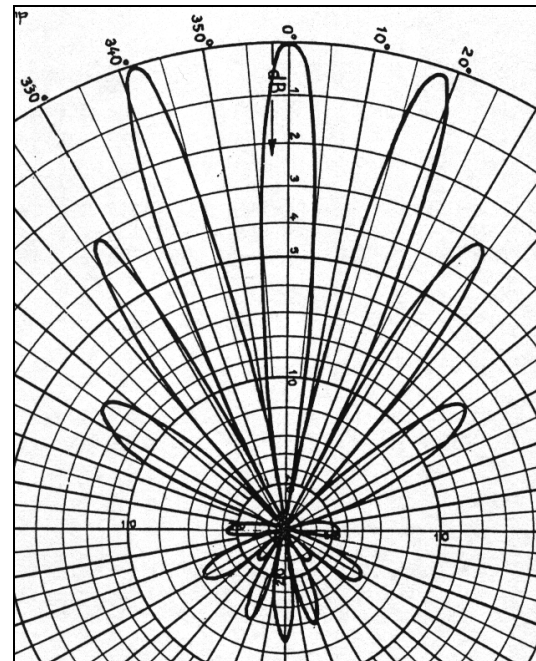
fazi, znači zadržana je dobit sistema. Ovo se postiže time što signali koji su došli sa zakašnjenjem u unazad pomerenu antenu prelaze kraći put do mesta sabiranja čime se prostorni pomeraj jedne antene kompenzuje.

S druge strane, signali koji dolaze sa zadnje strane posle prijema takođe prelaze različite puteve ali tako da onaj koji je zaksnio zbog prostornog razmeštaja antena (sada je to ona druga antena) prolaze dužim kablom i dodatno kasne tako da na mesto spoja stižu u protiv fazi sa signalom iz druge antene. Kao uzgredna korist od ovakvog postavljanja antena dobija se veća frekvencijska širina u pogledu impedanse antenskog sistema što može biti bitno na nižim frekvencijama.

Rezultati i ograničenja

Ove metode borbe sa smetnjama su se pokazale vrlo efikasnim. Mogu se postići poboljšanja odnosa korisnog i ometajućeg signala i od nekoliko desetina decibela. Međutim postoje i izvesna ograničenja.

Svi ovi sistemi otklanjanja smetnji su dosta zavisni od promene u prostiranju kao i promene refleksija radio talasa pri promeni meteoroloških uslova.

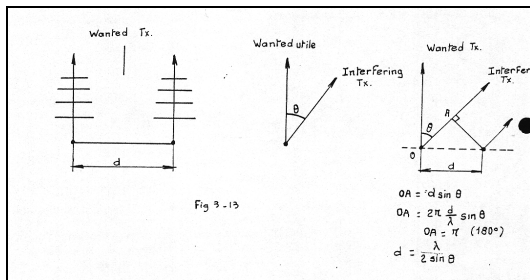


sl. 3. Ukupni dijagram zračenja za dve antene na velikom rastojanju. Vidi se "rascepanost" dijagrama koji je u osnovi istog oblika kao za jednu antenu.

Promena prostiranja može različito da se manifestuje na ometajućem i korisnom signalu što može da dovede do velike promene njihove snage na mestu prijema, a ponekad i do izvesne promene smera iz koga dolaze. Refleksije su posebno nezgodne, pa inače dobar sistem za otklanjanje smetnje iznenada prestaje da funkcioniše jer mu je ometajući signal posle promene meteoroloških uslova došao pod drugačijim uglom usled refleksije od objekta koji dok je bio suv nije bio dobar reflektor.

Tako ovaj sistem trpi promene kvaliteta sa promenom godišnjih doba zbog snega i vegetacije; promene zbog meteoroloških uslova, tj. vlažnosti tla i drugih objekata od kojih se talasi reflektuju; promene usled temperature i stanja troposfere zbog promenjenog prostiranja radio talasa. I sve druge promene koje mogu da utiču na to da se, ili sistem “razdesi” pa se zajednički dijagram antena promeni, ili se ometajući i korisni signali ne primaju iz uobičajenih pravaca i sa uobičajenim intenzitetom, ili usled refleksija ometajući signali dolaze iz svih mogućih smerova pa i smera maksimalnog prijema i tako se “infiltriraju” u antenski sistem.

Međutim, i pored svih pomenutih nedostataka ovaj sistem zaštite od smetnji je dosta efikasan i prava je šteta što se u praksi ne koristi mnogo više jer bi rešio mnoge teške i naizgled “nerešive” probleme.



sl. 4. Način funkcionisanja sistema za otklanjanje smetnji pomoću dve sinfazne antene.

Greške pri upotrebi Yagi antena

Videli smo da se Yagi antena, zahvaljujući svojoj karakteristici usmerenosti, može uspešno koristiti u borbi sa smetnjama koje se javljaju u radio komunikacijama, tj. pri prijemu radio signala.

Međutim, u korišćenju Yagi antena često se prave i greške koje su uglavnom posledica nedovoljnog poznavanja karakteristika i drugih

osobina i specifičnosti ove “kraljice antena”, kako je često nazivaju.

Greške u usmerenosti

Najčešće greške pri upotrebi Yagi antene javljaju se usled nepoznavanja njenog dijagrama usmerenosti.

Ukoliko je antena duža utoliko ima veću dobit (pojačanje), ali i užu dijagram, pa je zbog toga pogodna za prijem iz samo jednog smera!

Ovo se često previđa, pa se od dugačke antene, koja ima veliko pojačanje, očekuje da pojačava sve signale bez obzira na smer iz koga dolaze u antenu.

Ovo je jedan od najčešćih razloga za razočarenje u Yagi antenu!

Znači, ukoliko nam je potrebno da poboljšamo prijem jednog ili nekoliko signala koji dolaze iz istog smera, onda je Yagi antena pravi izbor! Međutim, ako imamo više signala koji su slabi, ali dolaze iz potpuno različitih smerova, onda sa jednom Yagi antenom ne možemo baš mnogo da poboljšamo stvar. U takvom slučaju je pravo rešenje korišćenje nekoliko Yagi antena vezanih, obavezno, preko kanalne skretnice. Kada su signali vrlo slabi i dolaze iz različitih smerova jedino rešenje je dobra usmerena Yagi antena u svakom smeru iz koga dolazi signal. Eventualno se, radi uštede, mogu grupisati bliski smerovi koji se mogu primiti jednom antenom.

Druga mogućnost je korišćenje neke neusmerene ili slabo usmerene antene i to je obično zadovoljavajuće rešenje ukoliko signali nisu preterano slabi.

Greške u radnom opsegu

Druga vrlo česta greška koja se pravi pri korišćenju Yagi antena je posledica vrlo uskog radnog frekventijskog opsega ovih antena, koja se previđa i antena se koristi kao da je širokopolasna.

To za posledicu ima vrlo slab prijem onih kanala koji se nalaze daleko van radnog opsega antene.

Čak i Yagi antene koje su “na silu” pri projektovanju napravljene da budu “širokopolasne”, u celom opsegu, a posebno na krajevima opsega, slabije rade nego što inače mogu kada su uskopolasne.

Upravo zbog ovoga je prijem sa Yagi antenama dosta komplikovan jer se dešava da nam iz istog smera dolaze slabi signali koji su veoma udaljeni po frekvenciji (recimo 26. i 58. kanal) i onda je prijem sa jednom uskopolasnom Yagi antenom praktično nemoguć, bez obzira što su signali iz istog smera! Moramo koristiti dve antene

usmerene u istom smeru, jednu koja radi na niskim i drugu koja radi na visokim kanalima! Ali to što dobijemo u prijemu sa takvim sistemom nijedan drugi ne može da nam pruži!

Radni frekvencijski opseg uobičajene Yagi antene iznosi nekoliko procenata od centralne frekvencije za koju je projektovana, što na UHF području iznosi 2-3 kanala iznad i ispod kanala za koji je antena projektovana.

Ukoliko je iz antene “izvučeno” veće pojačanje utoliko ona ima uži dijagram usmerenosti ali i uži radni frekvencijski opseg i veću osetljivost na okolne objekte, posebno na druge antene iz istog opsega frekvencija, pa se mora više udaljiti od njih da bi normalno radila.

Greške u polarizaciji

Nije redak slučaj da se u vrlo teškim uslovima prijema dešava da nam signal ne dolazi sa onom polarizacijom sa kojom je emitovan (obično horizontalna). To se dešava onda kada signal, krećući se preko vrlo nepovoljnog reljefa usled refleksija, difrakcije itd., trpi deformacije koje se osim u promeni jačine ogledaju i u promeni ravni polarizacije primljenog radio talasa.

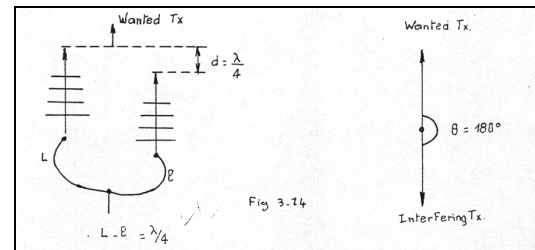
U takvim slučajevima potrebno je antenu zarotirati oko svoje ose, tj. oko nosača elemenata i pronaći najbolji prijem. Vrlo često se dešava da je najbolji prijem sa nekom “kosom” polarizacijom. Nažalost, ovaj polarizacioni “defekt” menja se u manjoj ili većoj meri sa vremenom i pravcem iz koga dolazi signal, a često nije isti u različita godišnja doba, doba dana ili pri različitim vremenskim uslovima.

Podešavanjem polarizacije antene na polarizaciju primljenog signala može se u nekim situacijama poboljšati prijem i desetak do dvadeset decibela, što svakako nije za podcenjivanje!

Prilagođenje i simetrija

Ogromna većina Yagi antena koja je u upotrebi za prijem radio i TV programa je konstruisana tako da ima izlazni napon koji je “simetričan” u odnosu na potencijal zemlje. Ovo podrazumeva da je priključenje koaksijalnog (nesimetričnog) kabla direktno na dipol antene nepravilno i unosi velike gubitke, kvari dijagram usmerenosti antene i može da prima mnoge smetnje iz okolnog prostora preko napojnog kabla. Posebno je loše rešenje kada se koaksijalni kabl čija je karakteristična impedansa 75 Oma priključi na antenu koja ima impedansu 300 Oma, bez člana za simetriranje i transformaciju impedanse. Gubici su tada još veći jer osim neprilagođenja u simetriji imamo i neprilagođenje impedanse.

Korišćenje tzv. “prilagodnog člana” u Yagi antenama je obavezno upravo iz gore pomenutih razloga. Tačno je da i prilagodni članovi imaju izvesne gubitke, ali oni su mnogo manji od gubitaka koji se mogu očekivati kada se oni ne koriste.



sl. 5. Način otklanjanja smetnje koja dolazi tačno iz suprotnog smera u odnosu na koristan signal, pomoću prostornog pomeraja jedne antene za četvrtinu talasa unazad. Antene su vezane preko deonice kabla koje se međusobno razlikuju. Unazad pomerena antena ima kraći kabl za “električnu” četvrtinu talasa.

Mora se voditi računa koji prilagodni član se koristi sa kojom antenom! Prilagodni član sa transformacijom impedanse 1:4 (75/300 Oma) koristi se za antene koje imaju impedansu 300 Oma, dok za antene sa impedansom 75 Oma treba koristiti prilagodni član sa odnosom transformacije 1:1 (75/75 Oma)!

Na kraju napomenimo i to da je eventualno povezivanje više antena direktno ili preko razdelnika 1:2, 1:3, 1:4 itd. vrlo pogrešno i uvek daje loše rezultate. Jedino ispravno rešenje povezivanja više antena u jedan prijemni sistem, bez obzira na broj i vrstu antena je isključivo i jedino preko antenskih filterskih skretnica.

Napajanje antena

U dosadašnjoj priči smo razmotrili većinu osobina Yagi antena koje se danas koriste za prijem radio i TV programa.

Deo antenskog sistema o kome do sada nije bilo govora je napojni kabl. On je neophodan kako bi se primljeni radio ili TV signal od antene doveo do prijemnika, odnosno VF snaga iz predajnika.

Kablovi koji se koriste u ove svrhe dele se u dve grupe i to: simetrične i asimetrične.

Oba ova naziva odnose se na to da li je jedan od dva postojeća provodnika električno vezan za zemlju ili ne.

“Tvin-lid” kabl

Oni kablovi čiji ni jedan provodnik nije vezan za zemlju nazivaju se dvožičnim smetričnim vodovima. Stariji čitaoci se sigurno sećaju da su se u ranim danima televizije koristili pljosnati, plastikom prevučeni kablovi tzv. “tvin-lid”(engl. tween-lead). Danas su ih potpuno potisnuli koaksijalni kablovi.

Simetrični vodovi se sastoje od dva, na određenom odstojanju postavljena, paralelna, bakarna provodnika, između kojih je plastika, obično polietilen, koja predstavlja izolator, ali ujedno obezbeđuje i održavanje stalnog odstojanja između vodova.

Ovi vodovi imaju dosta visoku karakterističnu impedansu, koja zavisi od debljine i rastojanja provodnika, i uglavnom se grade za vrednosti od 240-600 oma. Za TV prijem su se uglavnom koristili vodovi karakteristične impedanse od oko 240-300 oma.

Simetrični dvožični vodovi najviše se koriste u profesionalnoj predajnoj i prijemnoj tehnici na srednjim i kratkim talasima. Zbog svoje relativno visoke karakteristične impedanse i činjenice da se glavnina električnog polja nalazi u vazduhu između provodnika, a samo mali deo u relativno tankom izolacionom materijalu, ovi vodovi imaju vrlo male gubitke, naročito na nižim frekvencijama.

Sa porastom frekvencije, a posebno na UHF području, počinju da dominiraju negativni efekti i gubici postaju nesrazmerno veći.

Tvin-lid se pokazao jako dobrim za prijem u vreme dok je TV emitovala crno belu sliku i na VHF području. Pojavom kolor televizije i prelaskom na UHF područje, tvin-lid je polako potisnut koaksijalnim kablovima.

Osnovna slabost tvin-lid kablova je njihova velika osetljivost na okolinu. Atmosferski uticaji, poput kiše, snega, leda i inja, na karakteristike kabla su nedozvoljeno veliki. Osim toga metalni predmeti u blizini kabla, kao što je antenski stub, oluk, metalni krov i drugo, mogli su do te mere da pokvare karakteristike kabla da je on bio praktično neupotrebljiv. Ovo se rešavalo tako što su postojali odstojnici koji su vodili kabl na rastojanju od nekih 10-15 cm od zida ili drugih objekata kako bi se izbegli svi nepovoljni uticaji okolnih objekata na kabl. Recimo, bilo je potpuno nemoguće provući antenski tvin-lid kabl kroz metalnu cev antenskog nosača, dok je sa koaksijalnim kablovima to, ne samo sasvim moguće bez ikakvih negativnih posledica, već je praktično i najčešće rešenje.

Osim toga tvin-lid kabl je imao tu jako lošu osobinu da mu je plastika vremenom na suncu i mrazu pucala i vlaga je napadala bakarne vodove tako da je već posle par godine bio potpuno neupotrebljiv.

Koaksijalni kabl

Nesimetrični kabl podrazumeva da je jedan njegov provodnik električno vezan za “masu” tj. zemlju.

Koaksijalni kabl, kao što mu i samo ime kaže, predstavlja takav kabl gde je oko jednog provodnika, postavljen drugi, ali tako da sa svih strana zatvara elektromagnetno polje, tj. nalazi se svuda oko njega. Na ovaj način je sprečeno da se elektromagnetno polje nalazi “izvan” kabla, kao što je to slučaj kod tvin-lida. Praktično je drugi provodnik u obliku cevi kroz koju se koaksijalno proteže prvi provodnik. Vezivanjem ovog drugog, spoljašnjeg provodnika na masu praktično smo onemogućili bilo kakve spoljne uticaje na elektromagnetni signal unutar kabla i time otklonili glavni nedostatak tvin-lid kablova. Zato je važno da spoljni provodnik koaksijalnog kabla ima dobru električnu “masu”.

Međutim ovakva konstrukcija kabla je “plaćena” znatno nižom karakterističnom impedansom kabla, obično 50-75 oma, većim gubicima u kabl u većom proizvodnom cenom. Povećani gubici su posledica toga što se elektromagnetno polje u kabl nalazi u plastičnom izolatoru koji uvek ima veće gubitke od vazduha. Međutim u poslednje vreme se ovaj nedostatak ublažava proizvodnjom tzv. penastih izolatora, koji su, kao što im samo ime kaže, sastavljeni od plastike i mehurića vazduha u njoj. Proizvode se i kablovi sa rupicama, kanalima, spiralama, zvezdama ili drugim rešenjima u plastici, a sve u cilju povećanja zapremine vazduha u odnosu na zapreminu plastične mase u kabl.

Karakteristična impedansa koaksijalnog kabla, koja zavisi od dielektrika i geometrije, tj. odnosa dimenzija oba provodnika, takođe utiče na gubitke. Proporcionalno najmanje gubitke imaju kablovi od oko 77 oma. Upravo zato se u prijemnoj radio i TV tehnici koriste kablovi sa karakterističnom impedansom od 75 oma. Međutim, kada je u pitanju neko drugo svojstvo koaksijalnog kabla, onda izbor kakarakteristične impedanse može da bude i drugačiji. Na primer u profesionalnoj predajnoj i prijemnoj radio i TV tehnici koriste se kablovi karakteristične impedanse od 50 oma jer oni

mogu da prenesu proporcionalno najveću VF snagu. Dok u nekim drugim aplikacijama koje rade sa vrlo visokim naponima koriste se kablovi od oko 30 oma jer oni imaju najveći probojni napon, tj. izdržavaju proporcionalno najveće VF napone.

Kvalitet koaksijalnog kabla definišu njegovi VF gubici, koji obično eksponencijalno rastu sa frekvencijom, tačnost impedanse, oklopljenost, tj. "VF prozračnost" spoljnog provodnika, mehaničke karakteristike kao što su otpornost na atmosferske uticaje, savitljivost itd. Specijalne vrste kablova mogu biti predviđene za ukopavanje u zemlju ili za vazdušno vođenje pomoću bandera. Prvi imaju dodatnu zaštitu od vlage i mehaničkih oštećenja a drugi i čeličnu noseću sajlju.

Kablovi koji se koriste u prijemnoj radio i TV tehnici su obično od penastog polietilena, impedanse 75, oma sa gubicima koji se kreću od oko 20-30 dB na 100 m dužine pri 800 MHz. Naravno ima i mnogo lošijih kablova čije slabljenje ide i do 40 dB na 100 m pri 800 MHz.

Zato pri kupovini kabla treba o ovome voditi računa!

Dve leve noge

Interesantno je da su gotovo sve jagi antene koje se danas koriste za prijem radio i TV programa tako sagrađene da imaju izlaz za simetrično napajanje. Ovo je, ustvari, logična posledica činjenice da su osnovni elementi većine antena polutaladni rezonantni dipoli, koji su napajani simetrično u sredini, tj. u tački niske impedanse.

Sve pomenute mane simetričnog otvorenog voda ("tvin-lida") i sve prednosti koje nudi upotreba koaksijalnog voda, pogotovo na UHF području, učinile su da je danas gotovo pravilo da se sve antene napajaju koaksijalnim kablovima.

Međutim, jednostavno spajanje nesimetričnog kabla na simetričnu antenu, za nju je isto kao za vas kada obujete dve leve cipele!

Sve dobre osobine antenskog sistema su ovim nepromišljenim zahvatom degradirane. Oslabljen signal, refleksije i prodiranje smetnji preko napojnog kabla su posledice "hoda sa dve leve noge".

Takođe, nastavljanje i spajanje tvin-lid kabla na koaksijalni kabl se nikako ne preporučuje osim preko odgovarajućeg baluna, koji će izvršiti neophodno simetriranje i eventualnu potrebnu transformaciju impedanse.

Širokopojasni balun

Zato pravilno povezivanje zahteva i određeni dodatni elemenat - BALUN (skraćeno od engl. izraza: **BAL**ance to **UN**balance) - za prelazak sa simetričnog na nesimetrično napajanje uz transformaciju impedanse u odnosu od 4:1. U ove svrhe može se iskoristiti više različitih načina prelaska sa jedne na drugu vrstu napajanja, zavisno od toga da li nam je potrebno da ovaj transformator bude frekvencijski širokopojasan ili ne.

Kada imamo potrebu za transformacijom u vrlo širokom opsegu frekvencija pribegava se korišćenju posebnih feritnih transformatora, koji uz nešto malo više sopstvenih gubitaka relativno uspešno obavljaju ovaj zadatak. Simetrično-asimetrični transformatori obično su tako proizvedeni da ujedno i vrše transformaciju impedanse u odnosu 4:1. Međutim ima i onih koji su predviđeni za rad u sistemima gde nije potrebno izvršiti transformaciju, tj. čiji je odnos transformacije 1:1, pa shodno potrebi, tj. odnosu impedanse koaksijalnog kabla i impedanse antene, treba izabrati odgovarajući.

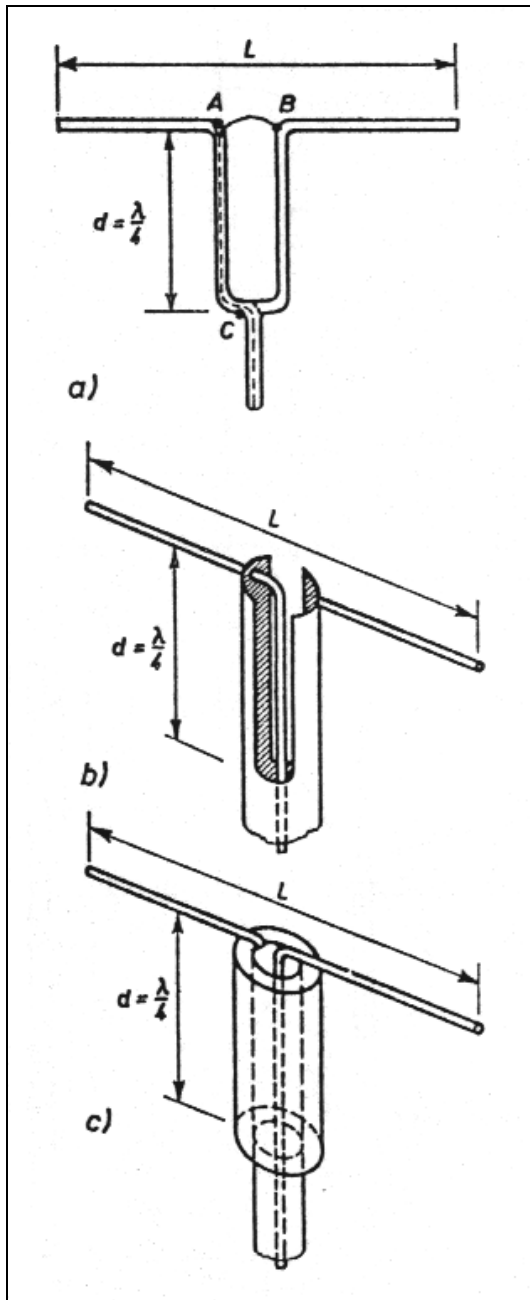
Prilikom emitovanja sa ovakvim antenama treba voditi računa o maksimalnoj frekvenciji i snazi koju može da podnese upotrebljeni feritni transformator. Na VHF i UHF području retko se koriste ovakvi feritni baluni za predajne antene zbog povećanih gubitaka.

Uskopojasni balun

Za uskopojasnu upotrebu, znači kada nam nije neophodna velika frekvencijska širokopojasnost, koriste se transformatori koji su sagrađeni od odsečaka vodova koji obavljaju obe funkcije: i simetriranje napajanja i transformaciju impedanse. I ovde postoje tipovi transformatora sa i bez transformacije impedanse koji se koriste prema potrebi. U slučajevima kada je potrebna transformacija 4:1 koristi se tzv. "U" polutalasna petlja napravljena od koaksijalnog kabla, koja je vezana tako da na simetričnom priključku antene osigurava neophodan protivfazni stav napona.

Kada nije potrebna transformacija impedanse koristi se tzv. četvrt-talaska "bazuka" ili "rukav" oko napojnog voda koji obezbeđuje simetriranje napajanja antene. Naravno postoji još mnogo drugih načina da se izvrši neophodno simetriranje napajanja simetričnih antena nesimetričnim kablovima i svi se oni u

pogodnim trenucima mogu sa manje ili više uspeha iskoristiti.



sl. 6. Nekoliko načina da se simetrična antena napaja sa asimetričnim, koaksijalnim kablom.

Simetriranje loga antene

U prijemnoj TV tehnici, zbog velike širine TV opsega, skoro isključivo se koriste širokopojasni

feritni transformatori na skoro svim antenama osim loga.

Kod loga antena delimična simetrizacija napajanja se postiže time što se napojni koaksijalni kabl provuče kroz jednu od dve noseće cevi na kojima su montirani elementi antene i to kroz onu koja je vezana za spoljašnji provodnik koaksijalnog kabla.

Loga antena – da ili ne?

U prošlom poglavlju smo se detaljnije upoznali sa konstrukcijom loga antene i nekim specifičnostima koje je karakterišu u odnosu na druge antene. Rečeno je da loga antene za razliku od jagi antena imaju vrlo veliku širinu radnog frekvencijskog opsega, unutar koga su im pojačanje, dijagram usmerenosti i impedansa relativno konstantni. Zbog ovako velike širine radnog opsega, pojačanje loga antene je relativno malo, naročito u poređenju sa jagi antenama.

Ove dve osobine moramo imati na umu prilikom procene gde i kako ćemo koristiti loga antenu u antenskom sistemu!

Pre svega, korišćenje antena za prijem signala mora biti tako osmišljeno da sve ili barem većina specifičnosti u pogledu pojačanja, dijagrama usmerenosti, radnog frekvencijskog opsega i impedanse, koje antene poseduju, budu tako ukomponovane u sistem da predstavljaju prednost, a ne manu. To jednostavno znači da svaka antena u sistemu treba da radi na onaj način kako je to za nju najbolje i da sve njene specifične karakteristike u sistemu deluju konstruktivno i dopunjuju se sa ostalim antenama i njihovim karakteristikama.

Ovo je ponekad mnogo lakše reći nego uraditi, ali činjenica je da ovaj korak u rešavanju nekog antenskog sistema predstavlja temelj i u najvećoj meri određuje krajnji kvalitet celog sistema.

Sve greške načinjene u ovom stadijumu izrade prijemnog sistema kasnije se ne mogu popraviti, osim kompletnom ili delimičnom reorganizacijom antena. Loše postavljene ili loše izabrane i iskorišćene antene u sistemu, čije se neke specifične karakteristike odražavaju destruktivno na sistem, ne mogu se kompenzovati nikakvim pojačavačima!

Bez obzira što sve to u vezi upotrebe antena može da izgleda jednostavno, u praksi ima jako mnogo slučajeva kada iz različitih razloga rešenja bivaju veoma loša.

Upotreba loga antene

Da bi se iskoristile sve prednosti koje loga antena pruža u odnosu na neke druge antene,

mora se tako koristiti da su njene specifične karakteristike tako uklopljene u antenski sistem da su funkcionalne i poželjne.

Loga antenu ćemo koristiti uvek kada nam je potrebno da iz jednog ili više približnih pravaca primimo relativno snažne signale koji se veoma razlikuju po frekvenciji, tj. razasuti su po celom UHF opsegu! Ukoliko među njima ima i nekih VHF signala koristićemo kombinovanu VHF+UHF loga antenu. Ovakvom upotrebom loga antene možemo izbeći upotrebu većeg broja posebnih uskopojasnih (jagi) antena za svaki pravac i svaki kanal, čime dobijamo ekonomičnije rešenje antenskog sistema. Na ovaj način osim uštede u samim antenama, u velikoj meri smanjujemo i broj ulaza i kanala u antenskoj skretnici, što sve zajedno značajno smanjuje troškove i poboljšava kvalitet antenskog sistema.

Međutim, ukoliko među kanalima koje primamo loga antenom imamo i neki kanal koji je mnogo slabiji od ostalih i koji, kada se prima sa loga antenom, ne zadovoljava kvalitet, tada moramo koristiti kanalnu ili pojasnu jagi antenu sa velikim pojačanjem na tom kanalu. Usmeravanjem ove jagi antene u smeru iz koga dolazi pomenuti slabi signal i njenim vezivanjem preko antenske filterske skretnice sa postojećom loga antenom dobijamo optimalno rešenje.

S druge strane gledano, loga antena, s obzirom na svoje malo pojačanje, ima relativno širok dijagram usmerenosti i veoma slabo izražene sporedne snopove dijagrama i tzv. "nule", tj. pravce iz kojih je prijem veoma oslabljen. Očigledno je da u slučajevima kada je potrebno antenom izbeći neku smetnju koja dolazi iz istog ili bliskog smera kao i koristan signal, nećemo za tu svrhu koristiti loga antenu, jer bi rezultati bili lošiji nego kada bi koristili jagi antenu koja ima vrlo uzan dijagram i dobro definisane "nule" u svom dijagramu usmerenosti.

Loga antene zbog svog širokog dijagrama usmerenosti ne mogu da se bore sa smetnjama koje dolaze iz različitih smerova, a posebno sa refleksijama od zgrada i drugih objekata u visoko urbanizovanim sredinama. Isto tako, u slučajevima kada se na istom kanalu, ali iz različitih smerova, prima nekoliko različitih predajnika, zbog čega su prisutne smetnje u prijemnom signalu, loga antena ne može efikasno da izvrši razdvajanje i otkloni ili umanjiti smetnje, pa je u tom smislu loš izbor.

Ponašanje loga antene u sistemu

U jednom od prošlih poglavlja, kada je bilo reči o jagi antenama, rečeno je da su antene iz kojih

je "isceden" i poslednji delić decibela pojačanja mnogo osetljivije na uticaje okoline na ispravan rad antene nego sto je to slučaj sa drugim antenama. Kako loga antena spada u antene sa relativno malim pojačanjem i zbog svog specifičnog rešenja napajanja elemenata ona spada u relativno manje osetljive antene. Ovo je dobra osobina, posebno kada se veći broj antena nalazi na jednom stubu relativno blizu jedna drugoj i kada se njihovi međusobni uticaji ne mogu kontrolisati. Međutim i ovde kao i svuda postoje neke norme i treba ih se koliko god je to moguće više pridržavati.

Prvo pravilo je da antene treba međusobno udaljiti koliko god je to moguće više. Antene koje su usmerene u potpuno suprotnim smerovima mogu biti postavljene bliže od antena koje su usmerene u približno istom smeru. Ovo je dosta važno pravilo koga se treba pridržavati kako bi se međusobni uticaji antena na stubu sveli u prihvatljive granice. Isto je i sa antenama koje imaju različite polarizacije, njihov međusobni uticaj je veoma smanjen pa mogu biti postavljene bliže jedna drugoj.

Međutim antene koje su inherentno osetljive, kao što su jagi antene, moraju se što više udaljiti od ostalih, posebno od sličnih antena koje rade u približno istom opsegu frekvencija!

Uticaj ostalih objekata na krovu zgrade je kod loga antene manje izražen ali ipak treba voditi računa da se ona dovoljno udalji od velikih metalnih ili armirano betonskih površina.

Originali i falsifikati

A sada bi možda trebaslo reći nešto i o tome kako izabrati pravu loga antenu za svaki poseban slučaj i kako proceniti njenu valjanost.

"Mačka u džaku"

Tržištem suvereno vladaju "Loge sa buvljaka" koje se prodaju "kao alva", iako većina tih antena po dimenzijama i rasporedu elemenata nema nikakve veze sa pravilno konstruisanom i optimalno proračunatom logperiodičnom antenom.

Proizvođači tih antena dužine elemenata i nosača prilagođavaju (čitaj: skraćuju ili produžuju po potrebi) tako da im otpad aluminijumskih cevi i šipki bude što manji, tj. da se od određene količine materijala napravi što više antena bez obzira na očuvanje neophodnih dimenzija antene. Ovako osakaćene antene nemaju, ni izdaleka, više one performanse koje bi trebalo da

ima antena kada bi bila napravljena strogo poštujući mere projektanta. Ovako imamo svakakve tipove Loga i Jagi antena gde su elementi, gotovo proizvoljnih dužina, proizvoljno poređani na nosač. Naravno, da ni stručnjaku nije lako da odmah otkrije prevaru, a kamoli nestručnjaku, jer sve antene istog tipa međusobno veoma liče.

Ovo široko polje za prevare i za prodavanje "mačke u džaku", u ovim smutnim vremenima, obilato se koristi i zato ima toliko mnogo tipova Loga i Jagi antena nepoznatih autora i proizvođača. Ako se tome doda da prevaru nije lako otkriti i dokazati, onda je proizvodnja jeftinih "antena" i njihova prodaja po buvljim pijacama vrlo unosan posao.

Žrtava, uglavnom zaslepljenih niskom cenom, koje veruju da su napravile odličnu kupovinu, ima na pretek. Tek kada bi bile u situaciji da uporede tu svoju "odličnu kupovinu" sa pravom antenom, videle bi šta su ustvari kupile, ali pošto do toga, obično, nikad ne dođe one i dalje veruju da su napravile dobar posao.

Upravo zato ćemo u narednim pasusima u ovom poglavlju pokušati da razdvojimo "žito od kukolja" ili još bolje rečeno - da čitaoce naučimo da među "mučkovima" prepoznaju jaje!

Razmatranje osobina loga antene i njihovo poređenje sa drugim tipovima antena posebno sa jagi antenama pokazalo je neke specifičnosti samih loga antena a time i njihovog korišćenja u prijemnim antenskim sistemima.

Osobina koja je najdominantnija kod loga antene je njena velika širina frekvencijskog radnog opsega i velika konstantnost njenih karakteristika u tom opsegu. Međutim da bi se postigla ova poželjna osobina loga antene potrebno je izvršiti tačan proračun antene, tj. dimenzija elemenata dipola i njihovih međusobnih rastojanja, kao i dimenzija napojnog simetričnog voda i kratkospojenog otsečka na kraju antene. Metodologija proračuna ovog tipa antena je tokom proteklih decenija od njenog pronalaska menjana i usavršavana, a posebno pojavom kompjuterskih programa za analizu i sintezu antena učinjeno je dosta na praktičnom poboljšanju karakteristika ove antene.

Da bi antena bila optimalno projektovana moraju se precizno odrediti početni uslovi i napraviti neki kompromisi koji su neminovni i čije rešenje zavisi upravo od toga kakvu antenu želimo da napravimo. Kada se ceo opisani proces ispravno uradi u praksi se dobijaju vrlo dobri rezultati koji su vrlo blizu onoga što se očekivalo.

Prave i lažne loga antene

Nažalost, na našem tržištu ima vrlo malo loga antena koje su tako brižljivo konstruisane i koje u praksi daju dobre rezultate. Velika većina loga antena je "kopija" neke druge loga antene za koju se uopšte ne zna sa sigurnošću da li je i kako proračunata i da već i sama nije nečija "kopija".

Zbog veoma niskih prodajnih cena ovih antena i zbog što veće zarade mora se voditi računa o tome da utrošak materijala pri izradi antene bude što manji. Pri tome se ide toliko daleko da se dimenzije antene prilagodavaju što manjem utrošku materijala a ne proračunatim dimenzijama!

Kada se takva antena sa "namernom greškom" u dimenzijama pojavi na tržištu, neko je "iskopira" pa i on dalje prilagodi dimenzije boljem iskorišćenju materijala, kako bi bio konkurentan, jasno je da takva antena samo liči na loga antenu! Srećom, oni koji se bave montažom antena vrlo brzo shvate koje su loga antene na tržištu dobre a koje nisu, i prema tome se opredeljuju pri kupovini. Međutim, ljudi koji ne montiraju antene svaki dan i koji nemaju mogućnosti da ih međusobno pod istim uslovima upoređuju, praktično su osuđeni na to da kupuju "mačka u džaku".

Nažalost, u prilog ovakvoj "pirateriji" antena ide i to što je vrlo teško, ako ne i skoro nemoguće, bez poređenja antena znati koja je dobra a koja nije. Zato je dobro raspitati se malo kod onih ljudi koji svakodnevno imaju posla sa loga antenama različitih proizvođača i koji vrlo dobro znaju iz iskustva sa kojim antenama postižu bolje, a sa kojima lošije rezultate u praksi.

I vrlo dobro konstruisana i tačno napravljena loga antena, zbog svoje frekvencijske širokopojasnosti ima malo pojačanje za datu dužinu, a kada se "napamet" promene njene dimenzije kako bi se smanjila količina materijala potrebna za njenu gradnju, to onda može samo da znači katastrofalno loše rezultate.

Kombinovane loga antene

Poseban problem predstavljaju kombinovane loga antene za VHF i UHF područje. Zbog velike razlike u frekvenciji VHF i UHF područja i zbog frekvencijske razdvojenosti ta dva područja praktično se na istom nosaču nalaze dve antene, svaka za po jedno područje. To se pažljivim posmatranjem i vidi na kombinovanoj loga anteni po dužinama elemenata koje su svrstane u dve jasno raspoznatljive i odvojene grupe. Potrebno je dosta teorijskog znanja i

iskustva iz prakse da bi se ove dve nezavisne antene praktično spojile u jednu na takav način da jedna drugoj ne smetaju u radu i da postojeći neizbežni međusobni uticaji budu što manje destruktivni.

Jedna od čestih grešaka pri upotrebi loga antena je ta da se u uslovima kada se primaju samo UHF kanali koristi kombinovana VHF +UHF loga antena. Na ovaj način se bespotrebno gubi na pojačanju antene jer bi loga antena samo za UHF, iste dužine, imala i veće pojačanje, a osim toga zbog manje dužine elemenata za UHF opseg takva loga je mnogo otpornija na oštećenja usled atmosferskih uticaja ili ptica.

Ekonomski i tehnički optimum

Da li je to inercija ili neznanje onih koji montiraju antenske sisteme, teško je reći, ali sigurno je da treba prestati sa ovakvom praksom makar samo zbog ekonomskih razloga.

Ono što takođe pada u oči kada se posmatraju antenski sistemi na našim krovovima je vrlo malo brige oko optimizacije broja antena. Stiče se neodoljiv utisak da montažeri uopšte ne vode dovoljno računa da prijemni antenski TV sistem naprave sa optimalnim brojem antena, već da stavljaju često nepotrebno veliki broj antena. Tako možete videti jako mnogo kombinovanih loga antena, koje imaju veoma širok dijagram, usmerenih u dva veoma bliska smera, a sigurno je da bi i sa jednom antenom istog tipa imali iste prijemne rezultate. Ovakvo, osim povećanih troškova za dve antene i njihovog relativno velikog štetnog međusobnog uticaja na stubu, imamo i povećan broj ulaza na skretnici, tj. komplikovaniju i skuplju skretnicu i zbog toga i neminovno veće prolazne gubitke signala.

Praktično na kraju imamo lošije a skuplje rešenje!

Naivno verovanje da će sve to iskompenzovati pojačavačima upravo pokazuje nepoznavanje elementarnih principa u prijemu i obradi radio i TV signala.

Jedna druga krajnost, koja je takođe prisutna, je prijem većeg broja radio i TV signala sa jagi antenama i to tako da se za svaki kanal koristi posebna antena, umesto da se većina kanala bliskih po smeru, "pokupi" jednom loga antenom, a samo oni veoma slabi "izvlače" jagi antenama.

I laiku je jasno, kada na stubu vidi "šumu" antena, da nešto nije u redu sa projektom ili rešenjem takvog antenskog sistema. Međutim, što je najsmušnije, upravo takvi antenski sistemi sa po desetak i više antena, mnogima služe kao "reklama"!

Upravo neki tipovi antena koji su jako pogodni za optimizaciju broja antena u sistemu sa većim brojem kanala, a koji su gotovo zaboravljeni ili se dosta retko koriste, opisani su prethodnim poglavljima. Kolinearne i kornjer-reflektor antene, kao što se može videti, koriste osobinu da svoju dobit "izvlače" iz vertikalnog dijagrama usmerenosti, dok horizontalni dijagram ostaje dovoljno širok za prijem signala iz različitih smerova, čime se smanjuje broj potrebnih antena, uz veće pojačanje nego kod loga antena za istu širinu horizontalnog dijagrama usmerenosti.

Otvoreni ili zatvoreni dipol?

Skoro u svim programima za proračun Yagi antena piše da se Yagi antene, pošto se proračunavaju za impedansu od 50 oma, koristi otvoreni dipol kao zračeci element. Isto tako, obično je dodato da se može koristiti i savijeni zatvoreni dipol, koji onda transformiše impedansu na 200 oma. Ponegde piše i to da treba u tom slučaju koristiti polutalasi "baloon" sa odnosom transformacije 4:1 radi prilagodjenja impedanse napojnog kabla od 50 oma na impedansu antene od 200 oma i simetriranja napajanja. Međutim, ono što nigde ili retko gde piše je kako preračunati date dimenzije za otvoreni dipol u dimenzije za zatvoreni dipol!

Mnogi amateri su obično to radili tako što bi savili Al cev tako da dimenzija zatvorenog dipola od jednog kraja (savijenog luka) do drugog bude upravo onoliko koliko je dato za otvoreni dipol, što je apsolutno pogrešno! Tako izradjen dipol je mnogo duži i rezonira daleko ispod našeg amaterskog opsega! Gubitak pojačanja antene sa takvim dipolom je oko 2 dB! Krenimo redom od otvorenog pa do zatvorenog dipola i petlje.

Da bi se izradio pravilan otvoreni dipol treba uraditi sledeće:

Pretpostavimo da je program za proračun antene izračunao dužinu otvorenog dipola $x=980$ mm.

Ako pravimo antenu sa otvorenim dipolom napajanim u sredini, onda treba na izolatoru montirati dve polovine dipola, sa 10 mm razmakom između njih na mestu napajanja, svaka dugačka po $(980-10):2=485$ mm. Vazno je da priključenje kabla bude sa što kraćim izvodima i što bliže kraju cevi, kako se ne bi produžio dipol tim dodatnim dugačkim izvodima!

Ovakva antena mora se napajati preko člana za simetriranje tzv. "Bazooka" koja ne vrši transformaciju impedanse, ali vrši simetriranje, tj. obezbeđuje simetrično napajanje antene.

Ovaj tip napajanja vrlo retko koriste radioamateri jer je "Bazooka" dosta komplikovana za izradu.

Može se antena napajati i direktno pomoću koaksijalnog kabla bez ikakvog člana za simetrisiranje, ali tada dolazi do izobličenja dijagrama, gubitaka pojačanja i povećanja šuma antene zbog prikupljanja smetnji iz okolnog prostora preko kabla, kao i povećanja smetnji radio i TV prijemnicima.

Zato gotovo svi radioamateri grade antene sa zatvorenim dipolom i polutalasnom petljom za transformaciju impedanse 4:1 i simetrisiranje napajanja antene.

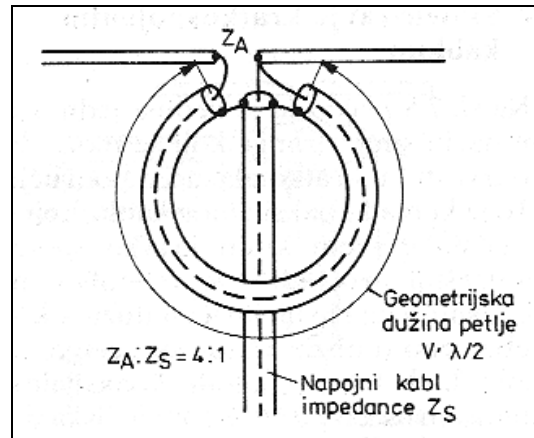
To je i najsigurnije i najbolje i najjednostavnije rešenje!

Da bi se izradio zatvoreni dipol treba uraditi sledeće:

Dužina cevi od koje je napravljen zatvoreni dipol je ono što je važno. Mnogo manje je važno kako je ona savijena. Ukupna dužina cevi od koje je napravljen dipol mora da bude jednak dvostrukoj dužini izračunatoj za otvoreni dipol, umanjen za rastojanje između krajeva na kojima se priključuje kabl, tj. $(980 \times 2) - 10 = 1950$ mm! Dipol treba saviti tako da rastojanje između krajeva bude 10 mm i napajanje izvesti što bliže krajevima, isto kao i kod otvorenog dipola. Rastojanje između gornje i donje šipke, tj. širina (otvor) zatvorenog dipola treba da bude oko 50 mm ali nije kritična, može biti između 40-60 mm za 144 MHz. Za druge frekvencije treba uzeti proporcionalno drugačiju širinu dipola, tj. oko 2-3% talasne dužine. Ako je antena računata sa izolovanim elementima onda i dipol mora biti isto tako izolovan kao i svi ostali elementi, a ako su ostali elementi pričvršćeni direktno na nosač onda i dipol mora biti isto tako pričvršćen. Ovo je važno zbog toga što programi tretiraju sve elemente na isti način pri proračunu faktora skraćivanja kada se računavaju efekti nosača na električnu dužinu, tj. rezonantnu frekvenciju elemenata. Kada god možete da birate, izaberite antenu sa izolovanim elementima, jer ima mnogo prednosti! Petlja se pravi od koaksijalnog kabla sa punim dielektrikom (ne penasti) jer je za tu vrstu kabla dosta precizno poznata brzina prostiranja, među amaterima poznatija kao "faktor skraćivanja". Za koaksijalne kablove sa punim dielektrikom kao što su RG-8, RG-58 i sl. ovaj faktor iznosi $v=0.66$, dok za kablove sa penastom izolacijom kakvi su obično TV koaksijalni kablovi iznosi negde oko 0.8-0.85 zavisno od gustine izolatora.

Za izradu polutalasne petlje treba uzeti komad kabla dužine polovinu talasne dužine, koja na 144 MHz iznosi $2080:2=1040$ mm i pomnožiti sa

0.66. Dobijena dužina od $1040 \times 0.66 = 686$ mm je dužina koja je potrebna za petlju.



sl. 7. Način izvođenja tzv. polutalasne petlje za simetrisaciju antene sa transformacijom impedanse u odnosu 1:4.

Napominjem da se dužina odsečenog kabla određuje tako što se kao koaksijalni kabl računa samo ono što je pod opletom tj. "širmom". Znači da merenjem dužine opleta ("širma") treba meriti dužinu koaksijalnog kabla! Ono što nije pod opletom više nije koaksijalni kabl nego obična žica!

Povezivanje ovakve petlje je vrlo jednostavno:

1. Oplete (mase) krajeva petlje i oplet (masu) napojnog kabla treba što kraće vezati zajedno! Ove mase se ne vezuju nigde, one "lebde u vazduhu" (floating)!
2. Pošto su svi opleti (sve mase) vezani zajedno, ostali su nam srednji krajevi petlje koje vezujemo na krajeve zatvorenog dipola! Veze moraju biti što kraće!
3. Na kraju preostali srednji kraj napojnog kabla vezemo za jedan (bilo koji) kraj dipola, tj. petlje, takođe što kraće! Tako dobijamo sledeću konfiguraciju: Sve mase su vezane zajedno, a jedan "vrući" kraj petlje i "vrući" kraj napojnog voda na jedan kraj dipola, dok je na drugi kraj dipola vezan drugi "vrući" kraj petlje! Posle lemljenja potrebno je sve dobro zaštititi od prodora vode, najbolje istopljenim polietilenom koji se prodaje u šipkama za one pistolje za lepljenje plastikom!

Ako je dipol od bakra obavezno ga treba dobro ispolirati da se sija i onda ga odmah obojiti auto lakom! Ako je od aluminijuma nije potrebna

zaštita, ali za priključenje napajanja treba koristiti mesingane pokalajisane zavrtnje, šajbne i papučice zbog smanjenja elektrolitičke korozije. Verujem da je sada malo jasnije i da ce neke od dilema koje su postojale oko izrade dipola i povezivanja biti uklonjene.

Povezivanje dve antene impedanse 50 oma

Još jedan poseban slučaj napajanja antena može se sresti u slučajevima udvojenih antena, tj. u slučajevima kada je potrebno dve antene vezati paralelno.

Ova potreba se može javiti u slučajevima kada, kod prijema veoma slabog signala, vezivanjem dve antene i postavljanjem na odgovarajuće tačno proračunato međusobno odstojanje, dobijamo antenski sistem sa većom dobiti (u praksi 2.5-2.8 dB za svako dupliranje broja antena).

Drugi slučaj je kada pomoću dve paralelno vezane antene hoćemo da formiramo takav zajednički dijagram antenskog sistema da bismo otklonili neku smetnju koja dolazi pod nekim uglom u odnosu na smer korisnog signala, o čemu je bilo više reči u jednom od prethodnih pasusa. U oba slučaja radi se o uskopojasnim antenama i prijemu na jednom ili nekoliko susednih kanala, tako da nije neophodno širokopojasno prilagođenje impedansi.

Vezivanje dve antene pomoću dva posebna kabla podrazumeva da one moraju biti udružene, tj. spojene na zajednički napojni kabl koji ide ka uređaju. Na mestu spajanja zbog paralelnog vezivanja dve antene pojavljuje se neprilagođenje impedansi. Ovo neprilagođenje se može popraviti tako što se antene povežu sa dva 75 omska kabla dužine neparnog broja četvrtina talasa. Naravno, deonice moraju biti međusobno jednake i "električno" dugačke neparan broj četvrtina talasne dužine, tj. mora se pri proračunu uračunati i faktor skraćanja za dati 75 omski kabl. Na ovaj način impedansu antene od 50 oma, transformišemo odsečkom 75 omskog kabla na 100 oma, a dve paralelno vezane 100 omske impedanse daju opet 50 oma koliko ima i napojni kabl. Ovim izbegavamo neprilagođenje impedansi, dodatne gubitke i refleksije u kablu.

Povezivanje četiri antene impedanse 50 oma

Moguće je takođe ukoliko je potrebno povezati i veći broj antena u jedan sistem. Recimo, četiri identične antene, impedanse 50 oma, mogu se

povezati tako što se prvo po dve antene povežu jednakim dužinama kablova. Zatim se te dve grupe od po dve antene povežu preko četvrt-talasnih deonica na napojni vod. Svi upotrebljeni kablovi su impedanse 50 oma.

Šta smo ovim uradili? Prvo smo spojili dve 50 omske antene sa kablovima zajedno i dobili ekvivalentnu impedansu od 25 oma. Zatim smo četvrt-talasnim vodom, koji radi kao transformator impedanse, transformisali impedansu od 25 oma, koja postoji na jednom kraju deonice, na impedansu od 100 oma na drugom kraju. I na kraju smo spajanjem te dve impedanse od 100 oma paralelno na napojni vod dobili ponovo impedansu od 50 oma.

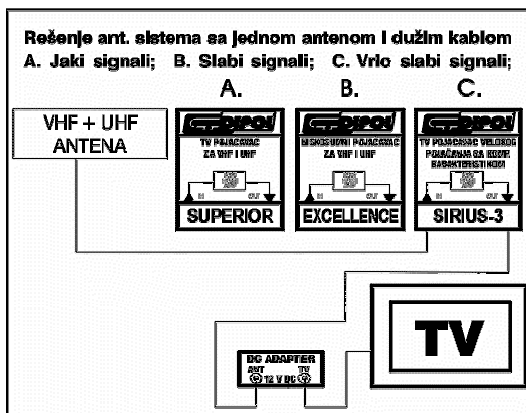
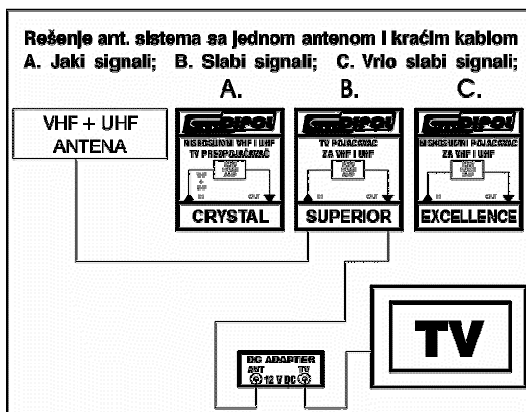
Povezivanje dve antene impedanse 75 oma

Kao što smo rekli na mestu spajanja zbog paralelnog vezivanja dve antene pojavljuje se neprilagođenje impedansi. Ovo neprilagođenje se može popraviti tako što se dva 75 omska kabla koja dolaze od antena povežu paralelno i onda se između te zajedničke tačke i glavnog napojnog kabla, koji je takođe impedanse 75 oma, ubaci četvrt-talasa deonica kabla impedanse 50 oma. Naravno, deonica mora biti "električno" dugačka četvrtinu talasne dužine, tj. mora se pri proračunu uračunati i faktor skraćanja za dati 50 omski kabl. Na ovaj način impedansu od 37.5 oma, koliko imaju dve paralelno vezane 75 omske antene, preko 50 omskog četvrtalasnog voda, koji ima ulogu transformatora, transformišemo na impedansu od 75 oma, koliko ima napojni kabl. Ovim izbegavamo neprilagođenje impedansi, dodatne gubitke i refleksije u kablu, pa time i u slici.

Na isti način možemo sada povezati i veći broj antena u sistem, tako što svaki put prethodno udvojene antene i prilagođene na opisani način, ponovo udvajamo sa istom takvom grupom po istom principu.

PRAKTIČNO REŠAVANJE PRIJEMNIH ANTENSKIH TV SISTEMA

Sa porastom broja TV kanala progresivno se komplikuje i oprema za njihov prijem, rastu problemi sa uzajamnim smetnjama, a različite lokacije TV predajnika uslovljavaju korišćenje većeg broja antena usmerenih u različitim pravcima. Kvalitet i nivo prijemnih signala nalazi se u vrlo širokom rasponu, od onih koji se jedva naziru u šumu do onih od kojih ne možemo da se odbranimo jer ih primamo i bez ikakve antene.



Koliko god je veliki problem primiti i pojačati vrlo slabe signale, odbrana od ekstremno jakih

signala koji nam preopterećuju pojačavače a naročito televizore, je još veći. U takvim uslovima u borbi za kvalitetnu sliku moraju se koristiti različite koncepcije i različiti ali kvalitetni uređaji i pribor.

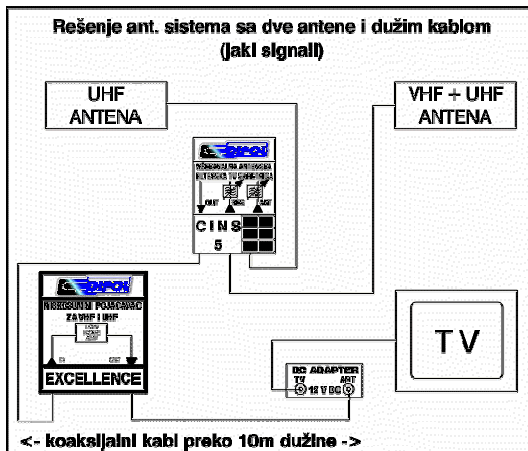
Najjednostavniji slučaj je kada nam signali dolaze iz približno istog pravca i sa relativno ujednačenim kvalitetom, pa jedna antena omogućava kvalitetan prijem svih kanala, a uz to dužina kabla od antene do televizora nije velika, pa su i gubici u kablu prihvatljivi. Nažalost ovo je najređi slučaj u praksi.

Odbrana od jakih signala

Kada nam signali dolaze iz različiti pravaca ali su relativno jaki, onda je najbolje rešenje korišćenje antenske filterske skretnice koja udružuje antene tj. kanale primljene preko antena. Antenska filterska skretnica mora da ima filterske osobine, tj. da spreči da se jedan TV kanal primi preko dve ili više antena, jer to proizvodi smetnje u vidu višestrukih slika na ekranu televizora. Zbog toga su obični razdelnici 1:2, koji se koriste za razvođenje signala na dva televizora vrlo loše rešenje za spajanje antena, jer ne poseduju pomenute filterske osobine.

Ukoliko nam je rastojanje između antena i televizora relativno malo (do 10 m) obično ne moramo pojačavati signale. Međutim ukoliko je rastojanje veliko, recimo deli vas nekoliko spratova od krova gde se nalaze antene i skretnica, onda je potrebno na stub pored skretnice postaviti i pojačavač koji će signal pojačati pre ulaska u kabl kako bi se posle slabljenja u kablu sačuvao kvalitet slike. Veoma je važno da se pojačavanje signala izvrši PRE ulaska u kabl a nikako posle. To praktično znači da je mesto gde MORA da stoji pojačavač pored antena i skretnice a NE kod televizora! Ispravljajući koji obezbeđuje napajanje pojačavača treba da

stoji pored televizora kao što se to vidi na slici. Prikazana rešenja su vrlo pogodna i jeftina za one lokacije gde su signali dovoljno jaki, i mogu da se “pokupe” sa dve antene. Ukoliko je neki od signala izrazito snažniji od svih ostalih, što se često događa u praksi, može se još eventualno dodati usisni filter (TRAPS) za taj kanal, koji će samo njega oslabiti onoliko koliko je potrebno da bi ga “upegla” sa ostalim kanalima u sistemu.



Primer tipičnih rešenja sistema sa dve antene kada su prijemni signali dovoljno jaki data je na slikama. Kao ilustracija korišćeni su proizvodi beogradskog DIPOLA koji ima vrlo široku paletu proizvoda za prijem TV programa i sa kojima su moguće sve one neverovatne kombinacije koje hirovita praksa ponekad tvrdoglavo zahteva.

Spasavanje slabih signala

Dosad smo se bavili prijemom TV signala čiji je prijemni nivo relativno visok i gde smo se uglavnom susretali sa problemom eventualnog preopterećenja nekog od pojačavača ili, što je još češći slučaj kod individualnih sistema, preopterećenja televizora velikim ulaznim signalima.

Međutim, kada je prijemno polje TV signala malo ili na samoj granici upotrebljivosti, onda moramo preduzeti vrlo ozbiljne mere kako bi signal što kvalitetnije primili i potom ga sačuvali od kasnije degradacije kvaliteta. Ovo se postiže konzerviranjem postojećeg stanja signala odmah

na anteni tako što se signal pojača niskošumnim pojačavačem koji MORA biti smešten što bliže anteni. Na ovaj način se signal, pre bilo kakve dalje obrade (filtriranja, razvođenja itd.), sačuva od degradacije kvaliteta.

Najbolje je ako je pojačavač smešten u samoj anteni tj. u kutiji gde se antena spaja sa antenskim koaksijalnim kablom. Sasvim je prirodno da ćemo korišćenjem kanalnih ili pojasnih, dugačkih Jagi antena sa niskošumnim pojačavačem instaliranim u samoj anteni, dobiti maksimalne rezultate u prijemu slabih signala. Korišćenjem širokopojasnih Loga antena i sa pojačavačem vezanim iza skretnice ili kod televizora, dobićemo neuporedivo lošije rezultate koji su često potpuno neupotrebljivi.

Sledstveno tome i konfiguracija elemenata prijemnog sistema je dosta logična kao što se i na slikama vidi. Prvo se slabi signali primaju što boljim antenama (sa što većim pojačanjem), potom se odmah u anteni ili neposredno iza antene vezuje pojačavač sa što nižim šumnim brojem i sa pojačanjem koje nikako ne prelazi 30 dB. Ovako konzerviran signal (tj. odnos signal/šum) može se dalje obrađivati prema potrebi u filterskim skretnicama i drugim elementima razvoda TV signala.

Zavisno od prijemnog nivoa ostalih signala u sistemu, pojačanje antenskog pojačavača treba birati tako da on pojača signale iz antene samo onoliko koliko je neophodno da oni dođu do približno istog nivoa sa ostalim signalima u sistemu. Svako preveliko (ili premalo) pojačanje dovodi kasnije do neophodne potrebe da se signali koji se drastično razlikuju po nivou “upegla”, što iziskuje dodatne filtere, ekvilajzere ili pojačavače, što opet poskupljuje sistem, a često dovodi i do drugih tehničkih problema i degradacije kvaliteta TV signala.

Izbor pojačavača

Zavisno od toga koliko nam je pojačanje potrebno za dati signal ili grupu signala koje primamo iz antene, potrebno je odabrati jednostepeni ili dvostepeni antenski predpojačavač. Trostepeni ili višestepeni pojačavači nikada nisu potrebni i treba ih zaobići u vrlo širokom luku!

Razlog ovome je veoma jednostavan. Najslabiji signal iz antene koji još može da se gleda je oko 40 dBuV, koji kada se pojača 30 dB predstavlja

signal od 70 dBuV, što je sasvim dovoljan nivo za normalan rad TV prijemnika i drugih uređaja. Svako dalje pojačavanje ne koristi ničemu, već naprotiv šteti, jer preči da preopteretiti neki od elemenata sistema. Za one, koji još uvek sumnjičavo vrte glavom, treba reći da signale iz antene od 20dBuV ne možemo upotrebiti za gledanje, jer su i pored pojačanja od recimo 60 dB, tj. sa nivoom od 80dBuV, toliko snežni da se slika verovatno uopšte neće videti! Razlog ovome je loš odnos signal/šum signala na izlazu iz antene koji je pojačavač samo konzervirao. Ponovimo još jednom (po ko zna koji put) da pojačavač, bez obzira kako dobro napravljen, NE MOŽE da popravi odnos signal/šum koji je na njegovom ulazu (tj. na izlazu iz antene), već može postojeci da konzervira i SPREČI njegovu dalju degradaciju! I to i jeste jedina svrha pojačavača!

Spajanje u jedan sistem

Posle konzerviranja svih slabijih signala možemo preći na međusobno spajanje antena tj. signala iz antena. Ovo se mora uraditi pomoću antenskih filterskih skretnica koje omogućavaju izolaciju između antena, o čemu je već bilo reči ranije.

Na izlazu iz skretnice imamo sve primljene signale sa relativno sličnim nivoom, ukoliko smo vodili računa da adekvatno pojačamo slabe signale i dovedemo ih blizu nivoa onih jačih. Ukoliko je neki signal isuviše jak, iako nije pojačavan, možemo ga upeglati sa usisnim filterima, kako je to već objašnjeno u prethodnom broju.

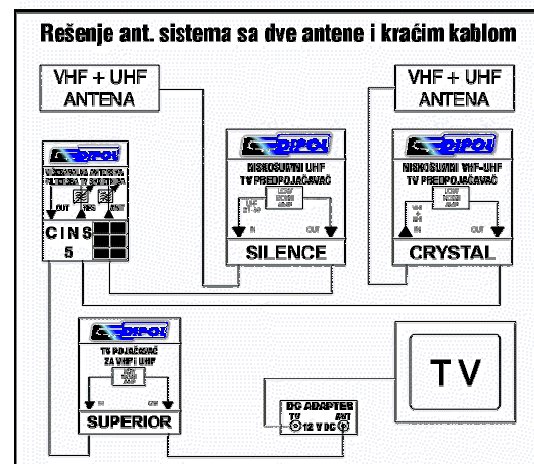
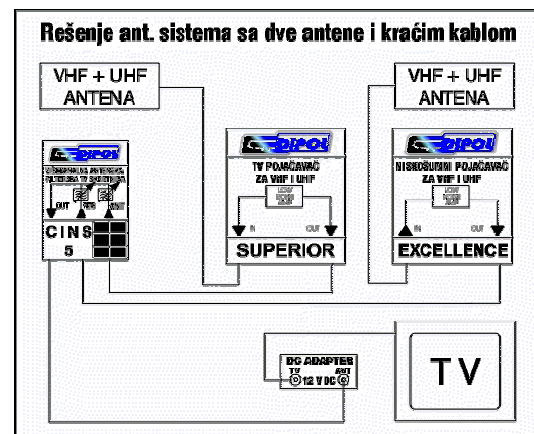
Ukoliko koaksijalni kabl do TV prijemnika nije preterano dugačak, ova grupa signala se može koristiti bez daljeg pojačavanja. Međutim, ukoliko je kabl vrlo dugačak ili se zahteva dalje razvođenje i distribucija (kao u zajedničkim i kablovskim sistemima), onda moramo signale dovesti pojačavačima na viši nivo kako bi bili spremni da bez daljeg slabljenja kvaliteta prežive sve ono što im na tom putu predstoji.

Za ove svrhe potrebno je, zavisno od izlaznog nivoa koji se zahteva, koristiti pojačavače koji imaju veliku snagu, tj. mogu da obezbede veliki izlazni napon. Šumni broj ovih pojačavača nije bitan, ali je zato bitno njihovo ponašanje pri velikim nivoima signala, tj. njihove intermodulacione karakteristike. Pojačanje treba

da bude taman toliko da nam obezbedi potreban nivo na izlazu - ni manje ni više. Ispred ovih pojačavača korisno je imati attenuator i ekvilajzer pomoću kojih se može vrlo precizno podesiti i upeglati sistem.

Na slikama su data neka od mogućih rešenja sistema kada su u pitanju slabi signali, što je čest slučaj u praksi. Ukoliko su signali iz jedne od antena jaki, onda se mogu kombinovati ovde data rešenja sa rešenjima iz prošlog broja.

U nastavku ćemo se pozabaviti nešto komplikovanim problemom prijema sa više antena i sa neujednačenim signalima što je verovatno i najčešći slučaj u praksi.



Kula i na nebu i na zemlji

Nažalost, najkomplicovaniji prijemni sistemi postaju sve češći u praksi čak i kada se radi o individualnim sistemima. Za potrebe zajedničkih i kablovskih sistema oni su gotovo uvek vrlo

složeni.

Razlog svakako leži u tome što je sve veći broj novih TV stanica i lokacija sa kojih se TV programi emituju. To uslovljava veliki broj pravaca i ogromnu razliku nivoa signala. Da bi se svi signali, od onih slabih takoreći jedva vidljivih, do onih jakih od kojih ne možemo da se odbranimo, primili i pravilno distribuirali sa ujednačenim nivoom i kvalitetom potrebno je jako mnogo znanja i kvalitetnih uređaja. Osim različitih antena za jake i slabe signale, potrebno je koristiti i pojačavače različitih karakteristika, razne tipove filtera i skretnica, oslabljivače i ekvilajzere. U nekim ekstremno nepovoljnim uslovima, zbog nesrećnog rasporeda kanala i odnosa njihovog prijemnog nivoa, potrebno je pribegavati i posebno dizajniranim sklopovima za dati slučaj i lokaciju.

Prvo, snimanje terena ...

Sve ovo naravno u velikoj meri komplikuje i poskupljuje prijemni sistem pa je od presudne važnosti da se on reši optimalno. Pod time se podrazumeva da se od velikog broja sličnih rešenja, odabere ono koje će sa optimalno izabranim brojem i tipom komponenata sistema (pojačavača, skretnica, antena itd.) dati najbolje rezultate. Preveliki broj upotrebljenih antena, pojačavača i filtera osim što poskupljuje sistem, neminovno dovodi i do tehničkih teškoća pri realizaciji. S druge strane nedovoljan broj komponenti dovodi do toga da pojedini kanali nemaju onaj kvalitet koji bi objektivno mogli imati sa većim brojem optimalno odabranih komponenti. To praktično znači da je pri rešavanju nekog prijemnog sistema od ključne važnosti iskustvo i znanje onoga ko procenjuje koliki broj antena, pojačavača, skretnica i drugih elemenata treba da bude upotrebljeno. Od te odluke tj. od načina kako je sistem dizajniran zavisi i cena i kvalitet celog posla. Neophodno je vrlo dobro poznavanje suštine odnosa signal/šum, kao i problema vezanih za intermodulaciju, interferenciju i druge tipove smetnji. Elementarno poznavanje antena, prilagođavanja impedansi i osobina filtera su takođe od bitne važnosti u ovom delu posla. Za one koji nisu sigurni da su u stanju da to obave sami bolje je da se posavetuju sa nekim ko taj deo posla bolje poznaje (iskusne inženjering i konsalting grupe i pojedinci).

Nažalost sve više smo svedoci da ovaj deo posla rade laici i da zbog toga i rešenja bivaju daleko od mogućeg kvaliteta.

Pored dobre stručne potkovanosti jako je važno koristiti i vrlo kvalitetne komponente sistema. Možda je ovo još važnije jer eventualne greške ili previde, dobri i kvalitetni pojačavači, filteri, antene i druge komponente mogu u velikoj meri da kompenzuju jer poseduju rezervu u svojim važnim karakteristikama. Korišćenjem komponenti sumnjivog kvaliteta i proizvođača, čije su karakteristike nategnute, nema više mogućnosti da se amortizuje greška.

Praktična realizacija sistema sa 4 antene i sa dosta neujednačenim nivoom signala data je na slici.

Prva stvar koju treba uraditi je snimiti situaciju tj. izmeriti nivoe i pravce iz kojih dolaze, signala koje možemo da primamo na datoj lokaciji. Ovo je ustvari i najvažniji deo posla.

Zatim, projekat i materijal ...

Posle toga treba odlučiti na osnovu merenja sa koliko antena i kavih (VHF, UHF ili VHF+UHF) možemo primiti sve signale koji nas interesuju i na osnovu toga poručiti skretnicu. Vrlo je korisno pri poručivanju skretnice napomenuti eventualne kritične tačke u sistemu (susedni kanali, vrlo jaki signali od bliskog predajnika, snažne refleksije, smetnje od drugog predajnika na istom kanalu i drugo), jer se pri konstrukciji i podešavanju skretnice može mnogo toga ublažiti i učiniti sistem manje kritičnim u tim tačkama. Korisno je dati i alternativna rešenja za kritične kanale. Same skretnice su srce sistema i tu se moraju koristiti samo najkvalitetnije.

Što je neki signal slabiji potrebna je bolja antena za prijem (kanalna ili uskopojasna). Slabe signale pojačavamo odmah iza antene pojačavačem koji će najjači primljeni signal iz te antene pojačati samo do nivoa koji pojačavač može bez zasićenja da izdrži. Na ovaj način smo izborom antena i pojačavača ujedno i preduzeli grubo ujednačavanje signala po nivou. Ponekad i pored najbolje volje ovo nije jednostavno, recimo kada nam njači i najslabiji signal dolaze preko iste antene. Pravilo koje se u tom slučaju mora poštovati je izbor pojačavača sa malim pojačanjem. Najbolje je koristiti jednostepeni pojačavač iza koga treba staviti usisni filter za signal koji je preveliki i potom, kada se on

doveđe na potreban nivo, eventualno se može još jednim snažnijim pojačavačem sve zajedno pojačati. Na ovaj način smo prvo konzervirali slabiji signal, ali nismo prevelikim pojačanjem stvorili probleme sa intermodulacijom, potom smo samo snažniji signal oslabili filterom i konačno sve zajedno pojačali do potrebnog nivoa. Ovaj drugi pojačavač obično se ubacuje posle skretnice koja spaja sve antene u jedan sistem.

I na kraju zidanje ...

Sa slike se vidi da je upravo tako i urađeno: prvo su različitim antenama i pojačavačima pojedine grupe signala iz pojedinih antena grubo ujednačene, neke i uz upotrebu usisnih filtera (TRAPS), a potom su u skretnici spojene u jedan sistem. Tek nakon toga su zajedničkim pojačavačem dovedeni na potreban nivo za dalju distribuciju. Važno je napomenuti da zbog jednostavnosti nisu prikazani atenuatori (oslabljivači) koji se moraju koristiti kako bi se upeglali signali i izbegla preopterećenja. Na datoj šemi obavezna je upotreba atenuatora između skretnice i zajedničkog pojačavača. Na ovom mestu korisno je upotrebiti i ekvilajzer koji pravi nagib krive pojačanja kako bi se kompenzovali nejednaki gubici u kablovima na različitim frekvencijama. Dati pojačavač na slici već ima ugrađen atenuator i nagnutu karakteristiku pa ekvilajzer nije potreban.

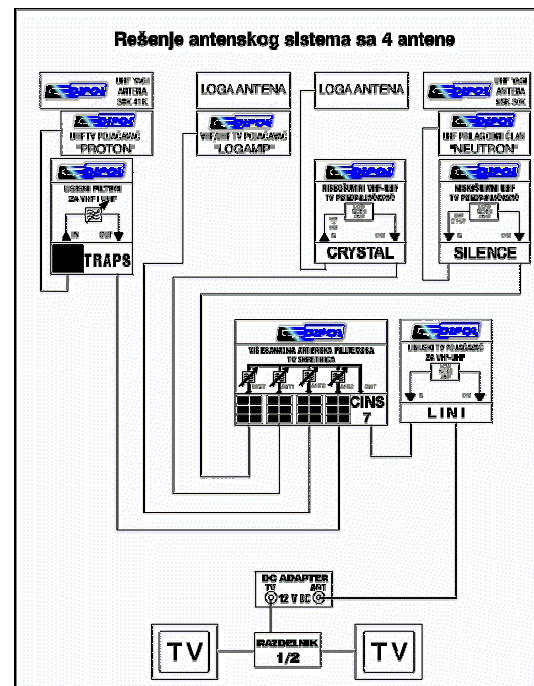
Kako u praksi ne postoji unuverzalno rešenje za sve slučajeve i sve lokacije potrebno je konkretan slučaj osmisлити na osnovu merenja na lokaciji i onda sagraditi odgovarajuće rešenje pomoću različitih gradivnih elemenata.

Upravo zato je važno imati veliki broj različitih gradivnih elemenata sistema jer nije moguće sa jednim tipom pojačavača, antene i filterske skretnice rešiti svaki problem na koji se u praksi naiđe.

“Um caruje...”

U većim individualnim ili u zajedničkim i kablovskim sistemima potrebno je posle prijema i obrade (predpojačavanja, konvertovanja, oslabljivanja ili filtriranja) signale ujednačiti po nivou i sve zajedno pojačati na prilično visok

nivo snage kako bi se omogućila distribucija u vrlo razgranatu mrežu koju ovakvi sistemi podrazumevaju. To praktično znači da je prvi deo posla oko prijema, predpojačavanja, filtriranja i ujednačavanja po nivou sa ostalim signalima isti kao u dosad opisanim primerima iz prakse na individualnim ili manjim zajedničkim sistemima.



Parni valjak

Jedna od najvažnijih stvari kod realizacije većih distribucionih mreža jeste da signali što bolje budu “upeglani” tj. da svi signali u mreži koji se distribuiraju budu jednaki po nivou.

Ovo je naročito važno kada je veliki broj pojačavača u sistemu kako bi se izbeglo da neki od pojačavača bude preopterećen zbog jednog ili nekoliko signala koji su snažniji od ostalih.

Kompenzacija nejednakog slabljenja kablova i ostalih elemenata razvoda na različitim frekvencijama mora se izvršiti pomoću selektivnih oslabljivača tzv. “ekvilajzera” koji ujednačavaju nivoe signala u celom opsegu tj. kompenzuju povećane gubitke na višim frekvencijama.

Za upeglavanje grupa signala, pored pravilnog izbora veličine pojačanja predpojačavača i pojačavača kroz koju ta grupa signala prolazi, treba koristiti atenuatore ili posebne široke

pojasne filtere, dok za pojedinačne kanale ili grupe susednih kanala treba koristiti posebno dizajnirane vrlo uzane usisne filtere (TRAPS) ili specijalne PEAKER pojačavače.

Sav trud uložen u što bolje izravnavanje nivoa signala kasnije se višestruko isplati neuporedivo manjim problemima pri distribuciji i razvodu. Rezultat je pravilno podešen i izbalansiran zajednički antenski ili kablovski sistem.

“Ni po babu ni po stričevima...”

Međutim posle spajanja svih signala u jedan sistem i formiranja grupe ujednačenih signala spremnih za dalju distribuciju potrebno je na osnovu konfiguracije mreže odrediti način i veličinu deljenja signala pomoću delitelja ili otepnika kao i potrebne nivoe u svakoj grani ili delu mreže kako bi se osigurao približno isti nivo signala u svim priključnicama.

I ovde je kao i u proceni načina prijema i obrade signala potreban vrlo stručan pristup kako bi se pravilno i ekonomično odradio ovaj deo posla oko distribucije signala kroz mrežu.

Verovatno da nećemo pogrešiti ako kažemo da je ovaj deo posla daleko teži i da su ovde greške mnogo češće i pogubnije a bogami i mnogo skuplje. Upravo iz ovih razloga vrlo je dobro konsultovati dobre poznavaoce ovog problema kako bi se dobilo optimalno rešenje koje je ujedno i najekonomičnije.

Napomenimo i to da bez poznavanja konfiguracije mreže, karakteristika kablova, pojačavača, otepnika, delitelja i priključnica nije moguće pravilno proračunati kako podeliti signal da svi korisnici u mreži dobiju približno isti kvalitet i nivo. Na slici je dat primer jednog dosta “klasičnog” rešenja, koje se relativno često sreće u praksi.

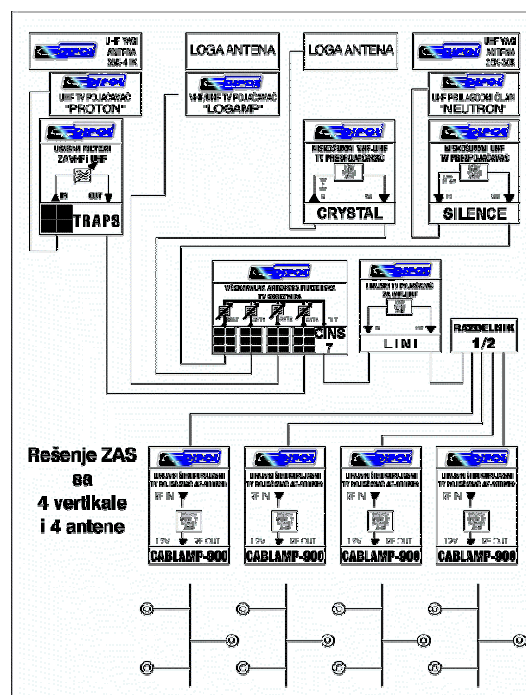
“...snaga klade valja”

Oni koji veruju da je to moguće uraditi i bez bilo kakvog poznavanja pomenutih karakteristika i bez bilo kakvog proračuna samo pokazuju da o celom problemu vrlo malo znaju. Što manje poznaju problematiku to su više uvereni da za njih tu nema tajni, da im nisu potrebni nikakvi proračuni i da sve mogu da reše onako “od oka”! To su obično oni isti “iskusni stručnjaci” koji nisu u stanju da iznedre svoja rešenja, ali su zato u stanju da ukradu, iskopiraju i osakate tuđa, i

povrh svega čak da omalovažavaju one od kojih krađu!

Borba za ekonomično i kvalitetno rešenje nije ni izdaleka tako laka kao što može ponekad da izgleda, mada kad poznajemo neprijatelja biva mnogo lakša.

U toj borbi naše bojno polje, naš Vaterlo, je uvek i neizbežno ograničen, s jedne strane “patosom šuma” a sa druge “plafonom linearnosti”. Samo pažljiva analiza problema, stručni proračuni i kvalitetna rešenja mogu na kraju da urode pobedom i da kao rezultat dobijemo kvalitetnu, stabilnu, izbalansiranu, ekonomičnu i tehnički ispravnu mrežu.



Antenske skretnice

U prethodnom tekstu bila je pomenuta, u nekoliko navrata, antenska filterska skretnica. Bilo je reči o tome da je ona gotovo najvažniji deo sistema i stoga smo rešili da je malo поближе upoznamo.

Tipovi skretnica

U praksi postoji veliki broj skretnica različitih proizvođača ali sve one se mogu svesti na 4 tipa. Prvi i najjednostavniji tip antenske filterske

skretnice je tzv. **“zvezdasta”** skretnica. Princip njenog rada je taj da se za svaku antenu ili bolje reći za svaki kanal koji se prima gradi uskopojasni filter koji propušta željeni kanal i onda se svi spajaju u zajedničku tačku tj. idu na izlaz skretnice. Na ovaj način skretnica obavlja svoju primarnu funkciju tj. spajanje više antena u jedan sistem sa adekvatnim prilagođenjima impedansi i relativno malim prolaznim slabljenjem korisnih signala. Filterske osobine kanalnih filtera na ulazu svake antene ujedno sprečavaju prijem istog kanala iz dve ili više antena što bi dovelo do smetnji, o čemu je već ranije bilo reči.

Dobre osobine ove skretnice su: jednostavnost i malo uneseno slabljenje kada broj kanala nije veliki.

Nedostaci su uglavnom uočljivi kod većeg broja kanala: nedovoljna izolacija između pojedinih, naročito bliskih kanala koji dolaze sa različitih ulaza i preveliki broj filtera pošto je za svaki kanal potreban po jedan, pa rešenje postaje neekonomično. Postoji mogućnost da se za grupe bliskih kanala koristi jedan široki filter i tako smanji njihov ukupan broj ali to je obično vezano sa još slabijom izolacijom tj. dolazi do dalje degradacije filterskih osobina same skretnice.

Iz napred iznetog može se zaključiti da je ovaj tip skretnice pogodan za prijem manjeg broja kanala koji su pogodno raspoređeni po opsegu. Mogu se koristiti i za VHF i za UHF kanale.

Drugi tip skretnice jedva da bi se mogao tretirati kao poseban tip jer je to ustvari modifikacija prethodnog tipa, radi poboljšanja karakteristika skretnice pri većem broju kanala.

Pored postojećih kanalnih filtera na ulazima skretnice koji propuštaju željene signale postavljani su i usisni filteri za druge kanale koji tako popravljaju inače slabu izolaciju između pojedinih ulaza. Na ovaj način se u velikoj meri popravljaju filterske osobine skretnice i sprečavaju pomenute smetnje kada nam signali jednog kanala dođu preko dva ili više ulaza.

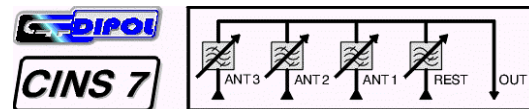
Dobre osobine ove skretnice ogledaju se u pomenutom poboljšanju izolacije uz već pomenute dobre osobine kod prvog tipa.

Nedostatak je još veća neekonomičnost jer su sada pored postojećih propusnih kanalnih filtera za svaki kanal, potrebni i usisni filteri za sve ili većinu ostalih kanala i to na svim ili većini ostalih ulaza. Povećani broj filtera, zbog

njihovog međusobnog uticaja, povećava uneseno slabljenje i kviri prilagođenje. Ove skretnice mogu se koristiti i na VHF i na UHF opsegu.

Smanjenje broja filterskih kola moguće je i ovde izvesti grupisanjem kanala pa tako popraviti ekonomičnost.

Ovo je jedna od vrlo popularnih i često korišćenih tipova skretnice, pogotovo u prošlosti kada je broj TV kanala bio neuporedivo manji, a i sada se dosta koristi u unutrašnjosti gde je obično manji broj prijemnih kanala.



Skretnice sa “REST” ulazom

Treći tip predstavlja skretnica za insertovanje (ubacivanje) nekoliko kanala, sa nekoliko antena, u već postojeću grupu kanala ili sistem.

Ovaj tip skretnice pored posebnih ulaza za pojedine kanale tj. antene kao kod prethodnih tipova skretnice, poseduje i takozvani “REST” (engl. “ostatak”) ulaz na koji se spajaju ili već grupisani signali nekog postojećeg antenskog sistema ili antena sa koje se primaju “svi ostali” kanali, tj. antena sa najvećim brojem prijemnih kanala.

Na ovaj način je drastično smanjen broj potrebnih filterskih kola u skretnici jer “svi ostali” kanali koji ulaze na “rest” ulaz, ne zahtevaju posebno podešena kola u skretnici bez obzira na njihov broj ili frekvencijski razmeštaj.

Time je glavni nedostatak prethodnih tipova skretnice - njihova neekonomičnost pri većem broju kanala - otklonjen, a osim toga mogućnost ubacivanja novih kanala u već postojeći sistem otvorila je nove mogućnosti primene.

Skretnica radi tako što na svakom ulazu za antenu postoji kanalni filter ili više njih slično kako kod prethodnih tipova skretnice. Na “rest” ulazu postoje usisna kola za svaki od kanala koji se ubacuje, tj. svakom kanalnom propusnom filteru odgovara jedan usisni. Da bi skretnica ispravno radila potreban je i transmisioni vod koji transformiše impedansu usisnih filtera sa “rest” ulaza na izlaz.

Dobre strane ove skretnice su njena neuporedivo veća jednostavnost i ekonomičnost pri velikom broju kanala, kao i ogromna fleksibilnost upotrebe. Izolacija i uneseno slabljenje su vrlo

dobri ali su dosta zavisni od rasporeda kanala i širine opsega frekvencija, tj. najvišeg i najnižeg kanala.

Nedostaci su svakako pomenuta zavisnost unesenog slabljenja, prilagođenja impedanse i izolacije od rasporeda i broja kanala. Ovo je posebno izraženo zbog korišćenja rezonantnog transmissionog voda za transformaciju impedanse koji, kao što je poznato, može pravilno da radi u relativno uskom frekvencijskom opsegu. Izvesno proširenje radnog opsega može se postići pravilnim razmeštajem usisnih kola duž voda tako da on ustvari radi kao nekoliko paralelno vezanih vodova različitih dužina. Međutim ovde se pojavljuju problemi konstrukcije različitih karakterističnih impedansi svakog od vodova, a u stvari fizički jednog voda kao i međusobni uticaj usisnih kola!

Veliki nedostatak ove skretnice je što ona ne može da radi i na VHF opsegu, čime je njena primena dosta ograničena.

U nedostatke svakako spadaju i dodatni gubici u transmissionom vodu koji nisu beznačajni samim tim što vod ne može da bude optimalan za sve kanale.

Potrebna je neuporedivo veća stručnost, iskustvo i bolji instrumenti da bi se ovakva skretnica pravilno konstruisala i podesila, što samo po sebi ne mora, ali može biti nedostatak.

DIPOL skretnica bez voda

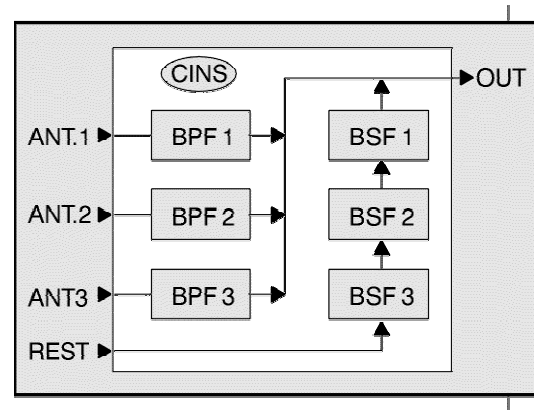
Četvrti tip skretnice je takođe skretnica sa “rest” ulazom ali bez transmissionog voda i svih nedostataka koje je on nosio.

Pomenuta skretnica konstruisana je u DIPOLU u jesen 1994 i ona je od tada manje-više u neizmenjenom obliku u upotrebi. Ideja koja je tada iskorišćena bila je vrlo logična. Umesto korišćenja “šant” usisnih kola čiju je vrlo nisku impedansu trebalo transformisati preko četvrt-talasnog voda na mnogo višu, iskorišćena su paralelna oscilatorna kola u “liniji” čime je odmah dobijena vrlo visoka impedansa na željenom kanalu. Od ideje do realizacije bilo je potrebno dosta proračuna, optimizacija i merenja u praksi.

Možda najveća prednost ove skretnice u odnosu na prethodni tip nije samo u izbegavanju transmissionog voda i svih problema njegove izrade i podešavanja, već mogućnost da ova skretnica radi i na VHF opsegu.

Mogućnost da se i VHF i UHF kanali na sasvim isti način tretiraju u ovoj skretnici, proširila je još više i inače vrlo široko polje primene skretnica sa “rest” ulazom.

Kako je optimizacija performansi skretnice bila poverena računaru dobijeno je poboljšanje i u pogledu unesenog slabljenja, prilagođenja impedansi i izolaciji ulaza u odnosu na sve prethodne tipove skretnica.



Potrebno je takođe dosta stručnosti, iskustva i instrumenata kao i unapred predeterminisanih elemenata kola kako bi se skretnica pravilno konstruisala i podesila. Ovo je možda nedostatak za proizvođače skretnica ali srećom ne i za korisnike; za njih je to čak i prednost jer dobijaju vrhunski konstruisan i podešen proizvod.

Tehničko rešenje je zaštićeno i licencu za proizvodnju ima isključivo beogradska firma “Dipol” koja proizvodi ove skretnice u nekoliko varijanti pod komercijalnim imenom CINS.

Tipične greške

Prilikom prijema i distribucije TV signala kroz mreže dešavaju se greške koje kvare kvalitet signala ili, čak, u nekim drastičnijim slučajevima, potpuno onemogućavaju gledanje pojedinih kanala.

Većinu grešaka nalazimo u načinu kako se signali prihvataju od antene i dalje obrađuju (pojačavaju, filtriraju, spajaju, granaju itd.) radi distribucije kroz mrežu do korisnika.

Sve greške možemo podeliti u dve velike grupe:

- greške zbog kojih je negde u sistemu probijen “patos šuma”
- greške zbog kojih je negde u sistemu probijen “plafon linearnosti”

Naravno, postoji jedan broj specifičnih grešaka koji je vezan za razne smetnje u slici čiji su uzroci van posmatranog prijemnog sistema (interferentne smetnje na prijemnom kanalu od dva ili više predajnika, smetnje od predajnika ili uređaja drugih službi, prirodne atmosfere smetnje, smetnje od saobraćaja i vozila, od kranova, skela i drugih privremenih građevina itd.) o kojima ovde neće biti govora.

Postoji takođe jedan broj smetnji koje su vezane za sistem, ali su posledica neispravnog rada pojedinih elemenata (samooscilovanje pojačavača, korozija na kontaktima i spojevima, vlaga u kablovima i ostalim delovima itd.) te ih nećemo ovde obrađivati, jer su one pre stvar adekvatnog izvođenja i održavanja sistema, a ne koncepcije i projektovanja.

Snežna slika

Pojava snežne slike je znak da je negde u sistemu, obično na samom mestu prijema, došlo do probijanja “patosa šuma”, tj. do degradacije odnosa korisnog signala i pratećeg šuma.

Ukoliko jačina polja predajnika nije suviše mala ovo se može popraviti.

Redosled radnji po važnosti ili bolje reći po efikasnosti je sledeći:

1. Treba poboljšati prijemni signal i to zamenom postojeće antene nekom sa što većim pojačanjem (pojasna ili kanalna Jagi antena što veće dužine), kao i pronalaženjem najboljeg prijema promenom mesta i visine antene.

Ono što se ovim postigne je apsolutni maksimum i sve radnje koje dalje slede imaju za cilj samo očuvanje ovog postignutog stanja (odnosa signal/šum).

Upravo iz tih razloga ovde se mora izvući maksimum kvaliteta koji je moguć za date uslove prijema (reljef, prepereke, udaljenost predajnika, tj. jačina polja, refleksije, ograničenja u pogledu mogućnosti postavljanja antene itd.), jer kasnije nije moguće više ništa poboljšati.

2. Kao što je gore rečeno, sada nam preostaje da konzerviramo postojeće stanje. U tom cilju treba sto bliže anteni, a po mogućstvu u samoj anteni, tj. kutiji gde se spaja koaksijalni kabl sa antenom, ugraditi niskošumni predpojačavač (faktor šuma manji od 3 dB) koji ne mora (i ne treba!) da ima veliko pojačanje (15-20 dB max.) kako bi se podigao nivo signala i pripremio za

dalju obradu. Ovim smo uradili sve što smo mogli za što bolji prijem nekog TV programa.

3. I na kraju, ako je potrebno, ovako pripremljen signal treba uvesti u skretnicu radi spajanja sa ostalim antenama tj. signalima. Ako se ovako, kao što je opisano, pripremi signal, mogu se u skretnici ili nekom drugom filterskom elementu vršiti vrlo radikalni zahvati, a da se kvalitet signala ne pokvari.

4. Jedino filtriranje koje se dozvoljava pre predpojačavača je u slučaju kada nam iz iste antene dolazi neki lokalni vrlo snažni signal i kada postoji opasnost od preopterećenja predpojačavača smeštenog u anteni. U ovom slučaju treba jednim kanalnim usisnim filterom pre predpojačavača smanjiti nivo tog lokalnog signala za 10-20 dB i zatim ići u predpojačavač. Najbolje je ako je kanalni filter već ugrađen u predpojačavač ili je neposredno uz predpojačavač i antenu.

Postoji i slučaj kada kvalitetan signal negde dalje u mreži, daleko od prijemne antene i predpojačavača, pretrpi pad ispod “patosa šuma”. Ovo se dešava kada se ne vodi računa o nivoima signala u mreži, pa se na jednom mestu desi da signal bude oslabljen preko mere (loš kabl, preveliki broj deljenja i grananja itd.), a pojačavač koji posle toga treba da ga pojača ne može da učini ništa u cilju popravke kvaliteta signala.

U ovom slučaju mora se podići nivo signala **ispred** tog prevelikog oslabljivača time što će se signal pojačati nekim snažnijim pojačavačem.

“Snažnijim pojačavačem” znači da on ima veću izlaznu snagu tj. napon (V_o), a **ne** veće pojačanje. Čak na protiv, tu je dovoljno 10-15 dB pojačanja ali **izlazni napon (V_o)** pojačavača treba da bude odgovarajući, tj. dovoljno veliki!

“Mešanje slika”

Ovo je jedna od čestih grešaka u prijemnim TV sistemima i može biti dosta teška za rešavanje, jer zahteva mnogo više posla i znanja, tim pre što ona ne mora da bude locirana na samo jednom uskom delu mreže.

Problem tzv. “mešanja slika” različitih programa je tipičan primer proboja “plafona linearnosti” jednog ili više pojačavača u sistemu.

Kada jedan od pojačavača u sistemu bude preopterećen i kao posledica toga dođe do mešanja signala i drugih smetnji u slici i tonu,

onda kompletan deo mreže koji se nalazi iza tog pojačavača trpi smetnje.

Ne postoji nikakva mogućnost da se to stanje popravi osim da se preopterećeni pojačavač rastereti i dovede u linearni režim rada.

Tako se i pronalazi koji je pojačavač preopterećen. Krene se od izlaza, tj. od televizora i ubaci se oslabljivač (10-15 dB) na ulaz. Ako se popravi stvar onda je preveliki ulaz u televizor. Ako se ne popravi ide se na ulaz predhodnog pojačavača i tako redom ka anteni dok se problem ne reši. Onaj pojačavač - ispred koga je ubacivanje atenuatora drastično popravilo stvar - je preopterećen!

Rasterećenje pojačavača može se izvesti na više načina, ali se pristupi razlikuju zavisno od toga čime je pojačavač preopterećen:

1. Ukoliko se radi o tome da su svi signali na ulazu u pojačavač isti po nivou tj. "upeglani" onda je potrebno ispred pojačavača postaviti promenljivi atenuator i podesiti slabljenje tako da se nivoi signala na ulazu u pojačavač smanje do vrednosti koja obezbeđuje linearni rad pojačavača. Kod nekih tipova pojačavača može se to uraditi i sa ugrađenim atenuatorom, tj. regulacijom pojačanja.

Može se desiti da tako podešen nivo sada nije dovoljan, tj. da se na izlazu pojačavača ne dobija potrebna vrednost napona za dalju distribuciju. U tom slučaju treba, ili zameniti pojačavač snažnijim (sa većom vrednošću V_0), ili iza postojećeg pojačavača staviti još jedan snažniji, ali sa malim pojačanjem (retko kada više od 10 db)!

2. Kada signali nisu dobro upeglani, pa jedan ili nekoliko imaju mnogo viši nivo (deset i više dB) od ostalih, onda je potrebno ispred pojačavača koji je preopterećen postaviti kanalne usisne filtere i smanjiti nivoe pomenutih kanala. Na ovom mestu važno je naglasiti da je usisne filtere bolje postaviti što bliže anteni, pre svih pojačavača. Time se štite svi pojačavači, a ne samo onaj koji je trenutno preopterećen. Nivelisanje svih signala treba, kao što je već bilo rečeno, uraditi što ranije, pre svih pojačavača ako je to moguće.

3. Često se dešava da su signali relativno dobro upeglani, ali da su prolaskom kroz mrežu pretrpeli različita slabljenja, pa se negde u nekom delu mreže pojavila značajna razlika u njihovim nivoima. Ovo je posledica različitih karakteristika slabljenja elemenata mreže

(kablova, razdelnika, otecpnika, itd.), kao i različitog pojačanja pojačavača koji prirodno imaju pad pojačanja na visokim frekvencijama.

Svi ovi efekti na kraju nam daju situaciju da su nam na niskim frekvencijama signali vrlo jaki, a na visokim vrlo slabi. Ovo se može popraviti posebnim selektivnim atenuatorima tzv. ekvilajzerima, koji imaju upravo obrnutu karakteristiku slabljenja, pa kompenzuju ove efekte. Veličina potrebne ekvilizacije, tj. slabljenja niskih frekvencija je različita i obično se kreće oko 10-15 dB. To znači da je slabljenje na najnižim kanalima 10-15 dB veće nego na najvišim.

Postavljanje ekvilajzera mora se vrlo pažljivo izabrati, jer nam preta opasnost i od prejakih kanala koji mogu da preoptereće pojačavač koji se nalazi **ispred** ekvilajzera i od pojave snega na visokim kanalima zbog malog ulaznog nivoa u pojačavač koji je **iza** ekvilajzera. Merenje signala je, kao i uvek, najsigurniji put do rešenja.

SADRŽAJ:

ŠUM I PRIJEM SLABIH TV SIGNALA.....	5
Šum u radio-komunikacijama.....	5
Karakteristike antenskih pojačavača.....	6
ANTENE ZA PRIJEM TV PROGRAMA	16
Vrste prijemnih TV antena	16
Antena – šta je to?	17
Jagi antene	23
Loga antene	27
Kolinearne antene.....	30
Stari automobil - TV antena!.....	31
Kvazi-horn antena	32
Korner reflektor antena.....	32
I laste	33
Širokopojasni dipol - leptir	34
I rep	34
PROSTIRANJE VHF I UHF RADIO TALASA	35
Preko brda i dolina.....	35
Polarizacija radio talasa	36
Prostiranje u slobodnom prostoru.....	39
Promenljivi medijumi.....	40
Igra svetlosti i senki.....	41
Radio talasi u klopci	44
Slabljenje usled prepreka.....	46
OTKLANJANJE TV SMETNJI.....	50
Antene - oružje protiv smetnji.....	50
Greške pri upotrebi Yagi antena.....	53
Napajanje antena	54
Originali i falsifikati	58
PRAKTIČNO REŠAVANJE PRIJEMNIH ANTENSKIH TV SISTEMA	63
Odbrana od jakih signala	63
Spasavanje slabih signala	64
Kula i na nebu i na zemlji.....	65
“Um caruje...”	67
Antenske skretnice.....	68
Tipične greške	70