

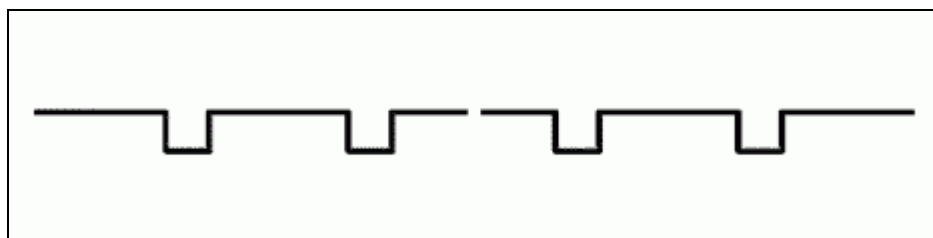
Dragoslav Dobričić, YUIAW

AMOS ANTENA SA POLUKRUŽNIM DIJAGRAMOM ZRAČENJA ZA 2.4 GHz

Uvod

U **WiFi** komunikacijama je česta potreba za antenama sa kružnim dijagramom zračenja u horizontalnoj ravni. Antene sa kružnim dijagramom zračenja mogu imati onoliko pojačanje koliko se suzi njihov vertikalni dijagram zračenja. U tu svrhu se koriste antene sa zračećim dipolima složenim po vertikali. Kada se želi kružni dijagram, a koristi se vertikalna polarizacija, onda to slaganje polutalasnih dipola može biti izvedeno po principu poznate **Frenklinove** antene.

Naime, otvoreni polutaladni dipol napajan u sredini, produžen je na obe strane sa po jednim neprekinutim provodnikom, koji na svakih pola talasne dužine biva savijen u vidu četvrt-talasne kratko-spojene deonice simetričnog dvožičnog voda. Ovim se vrši pravilno faziranje polutalasnog dipola koji sledi u nizu. Ovakva žičana antena je korišćena, uglavnom u horizontalnoj polarizaciji, još u samim počecima radija na srednjim i kratkim talasima i poznata je kao **Frenklinova antena** prema imenu njenog autora.



Izgled horizontalne Frenklinove antene

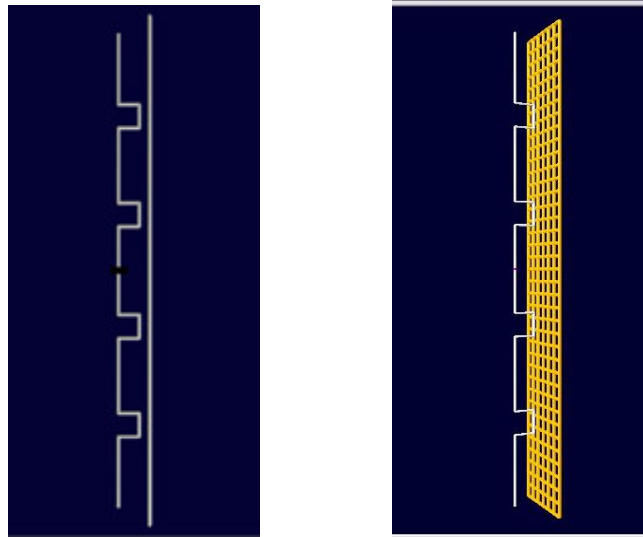
Problem sa impedansom i parazitnim zračenjem deonica za faziranje

Korišćenje ove antene na **VHF** i **UHF** opsezima je takođe dosta često i to upravo u vertikalnoj polarizaciji u kojoj ona ima kružni dijagram zračenja. Međutim, sa povećanjem frekvencije javljaju se sve veći problemi sa vodovima za faziranje između dipola, pošto oni postaju fizički sve veći u odnosu na talasnu dužinu, što kao posledicu ima sve veći uticaj zračenja ovog dela antene na ukupni dijagram antene. Ovo neželjeno, parazitno zračenje deonica za faziranje antene rešavano je na razne načine (uvijanjem dvožičnog voda oko ose antene, zamenom dvožičnog voda kalemom i sl.) sa manje ili više uspeha.

Međutim, za rad na **2.4 GHz** ovaj problem postaje značajan i zbog ograničenja koje predstavlja relativno velika debljina provodnika antene u odnosu na talasnu dužinu, a samim tim i fizičkih dimenzija dvožičnog voda. Ove dimenzije određuju karakterističnu impedansu, ali i parazitno zračenje ovih deonica, a naročito kratko-spojnika na kraju dvožičnog voda (nešto dalje u tekstu i na crtežu označenog sa **E**).

Kratak spoj na kraju voda treba da bude fizički vrlo kratak da bi velika struja koja teče u njemu dala što manje parazitno zračenje. Njegovo skraćivanje smanjuje rastojanje žica u dvožičnom vodu, a time i snižava impedansu dvožičnog voda. Čak i uz prihvatanje posledica ovako snižene impedanse, fizička dužina ovog dela voda ne može biti dovoljno kratka da ne bude prilično značajan deo talasne dužine na ovoj frekvenciji, a time i prilično efikasan radijator elektromagnetne energije. Ovo parazitno zračenje u velikoj meri može da modifikuje ukupni dijagram zračenja antene.

Za postizanje većeg pojačanja antene potrebno je složiti veći broj dipola po vertikali. Povećavanje broja dipola ima za posledicu da se u tački napajanja antene impedansa veoma brzo povećava i postaje nepraktično velika za jednostavno i efikasno napajanje antene koaksijalnim kablom.



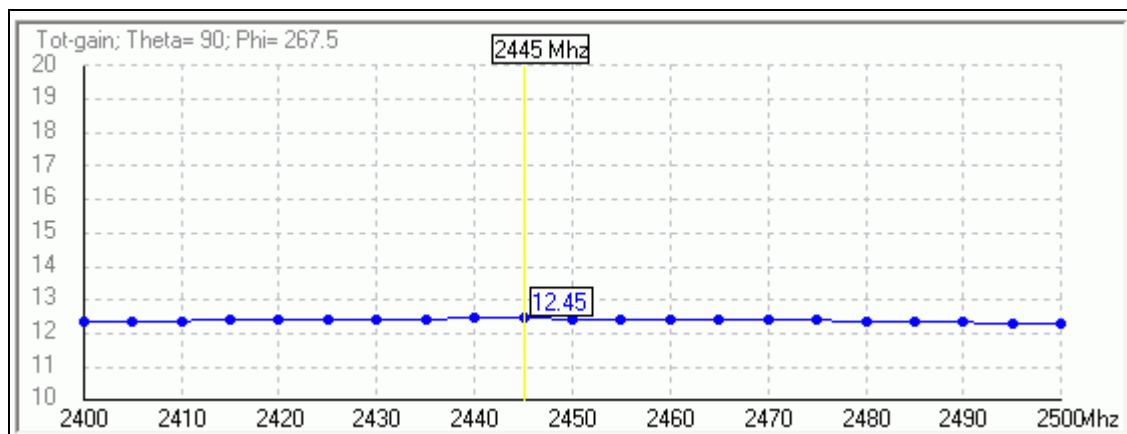
Frenklinova antena sa dodatim reflektorom

Rešenje problema uz promenu dijagrama zračenja

Međutim, postavljanjem Frenklinovog niza dipola ispred jednog relativno uzanog reflektora omogućilo je rešenje ovih problema, ali uz "žrtvu" da antena više ne bude kružnog nego polukružnog zračenja.

Postavljanjem reflektora u blizini kratko-spojenog kraja dvožičnog voda postignuto je da se žica, koja kratko spaja dvožični vod (označena sa **E**), sa reflektorom koji joj je veoma blizu ponaša kao transmisioni vod impedanse oko **150 oma**. Time je njeno parazitno zračenje prilično redukovano. Osim toga sada je bilo moguće dužinu te žice povećati do postizanja željenog rastojanja žica i potrebne vrednosti karakteristične impedanse dvožičnog voda.

Postavljanjem dipola ispred provodne reflektorske ravni snižena je impedansa u tački napajanja antene na oko **200 oma**, čime je omogućeno vrlo jednostavno i efikasno napajanje antene koaksijalnim kablom karakteristične impedanse **50 oma** preko **polutalasne petlje** vezane kao **transformator impedanse 4:1**. Reflektor je veoma uzan, svega pola talasne dužine, tako da u što manjoj meri sužava horizontalni dijagram zračenja.

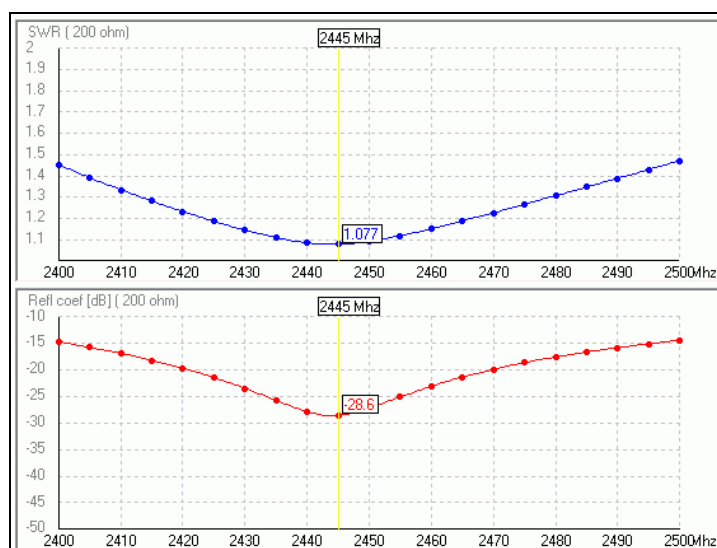


Dobijena vrednost pojačanja za Amos antenu

Dobijeni računski rezultati

Na ovaj način dobijena je antena sa vrlo širokim dijagramom zračenja u horizontalnoj ravni, koji iznosi preko **120 stepeni za -3dB** i **oko 180 stepeni za -6dB** opadanja polja. Strogom simetrijom geometrije antene i struja u njoj dobijen je veoma čist dijagram u vertikalnoj ravni sa širinom glavnog snopa od svega **15 stepeni** i sa vrlo dobro potisnutim sporednim snopovima zračenja. Visoka otpornost zračenja antene obezbedila je nizak **Q faktor** antene i veliku širinu radnog frekvencijskog opsega, što se vidi sa dijagrama ulaznog prilagođenja antene.

Pojačanje antene od preko **12 dBi** je veoma blizu teorijskog maksimuma za ovakvu konfiguraciju i sasvim je prihvatljivo za antenu sa ovako širokim dijagramom zračenja u horizontalnoj ravni. Ovo je postignuto brižljivom optimizacijom na računaru korišćenjem profesionalnog programa za simulaciju i optimizaciju antena **NEC2 (4NEC2)** i proverom na **NEC4**.



Ulazno prilagođenje Amos antene

Radijator:

Cu ili Ms zica d=2mm

ukupne duzine L=299.3 mm (2 kom)

A=39.5 mm

B=70.6 mm

C=66.8 mm

D=19.5 mm

E=22.2 mm

Rastojanje:

F=4 mm

G=10 mm

Reflektor:

Cu, Ms ili Al lim 0.5-1.5mm

H=455 mm

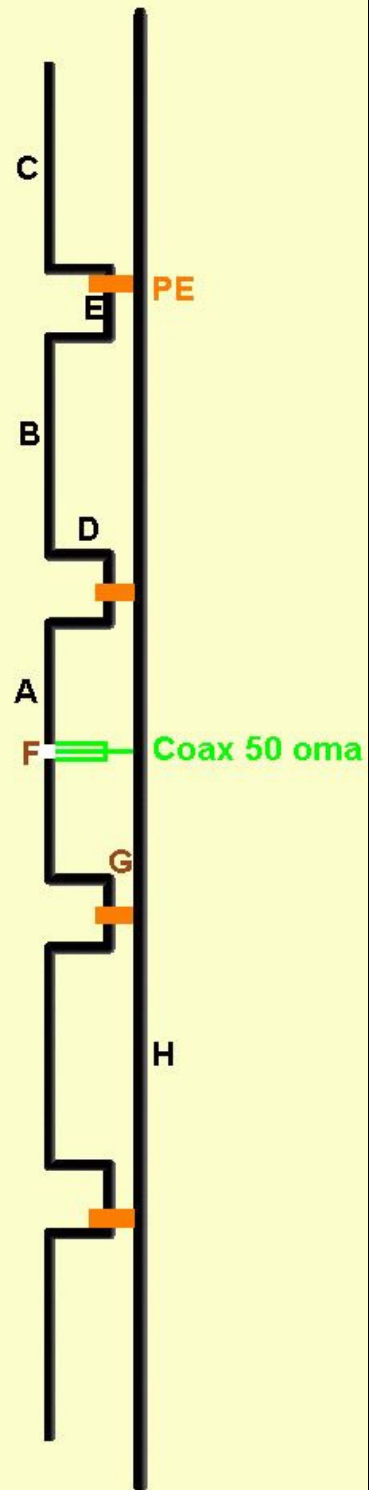
I=62 mm

Nosaci:

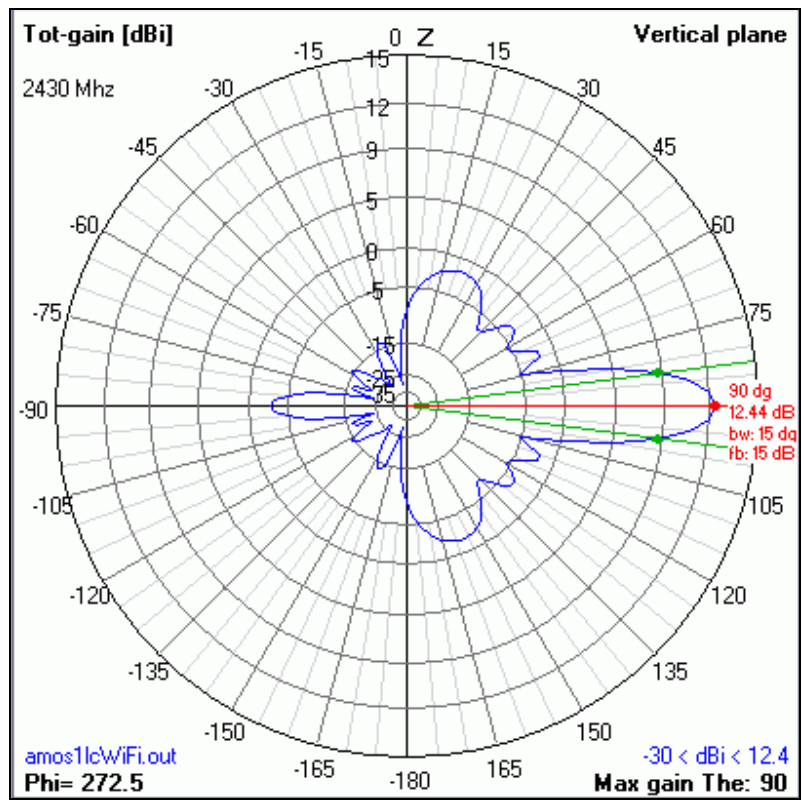
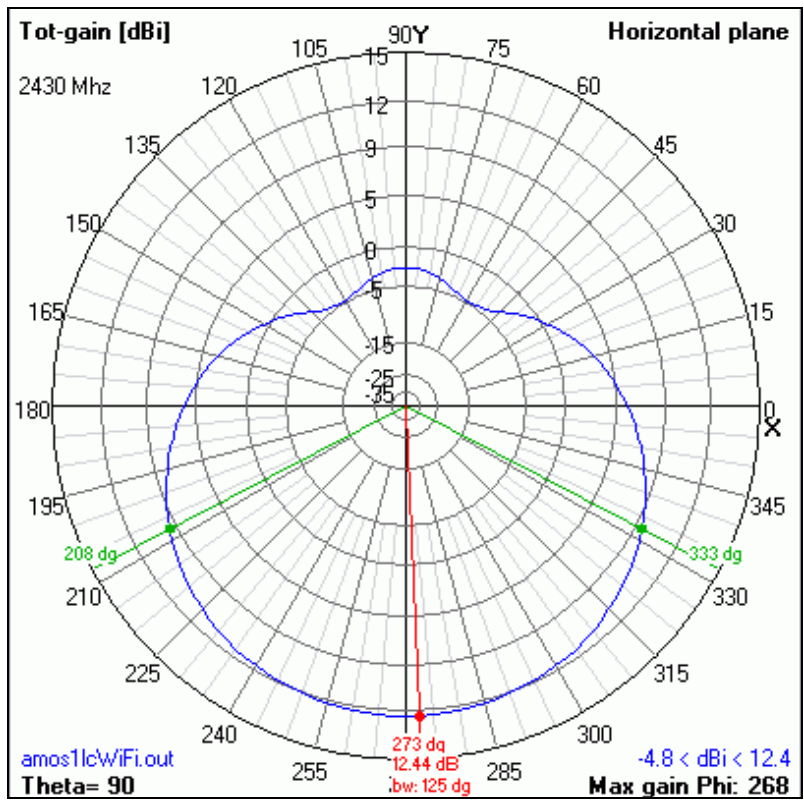
Polietilenska izolacija iz debelog koaksijalnog kabl RG8, RG213 ili slicnog. Valjak oko 8mm, duzine oko 15mm sa rupom 2mm za radijator. Pricvrscen za reflektor pomocu zavrtnja za lim.

Napajanje:

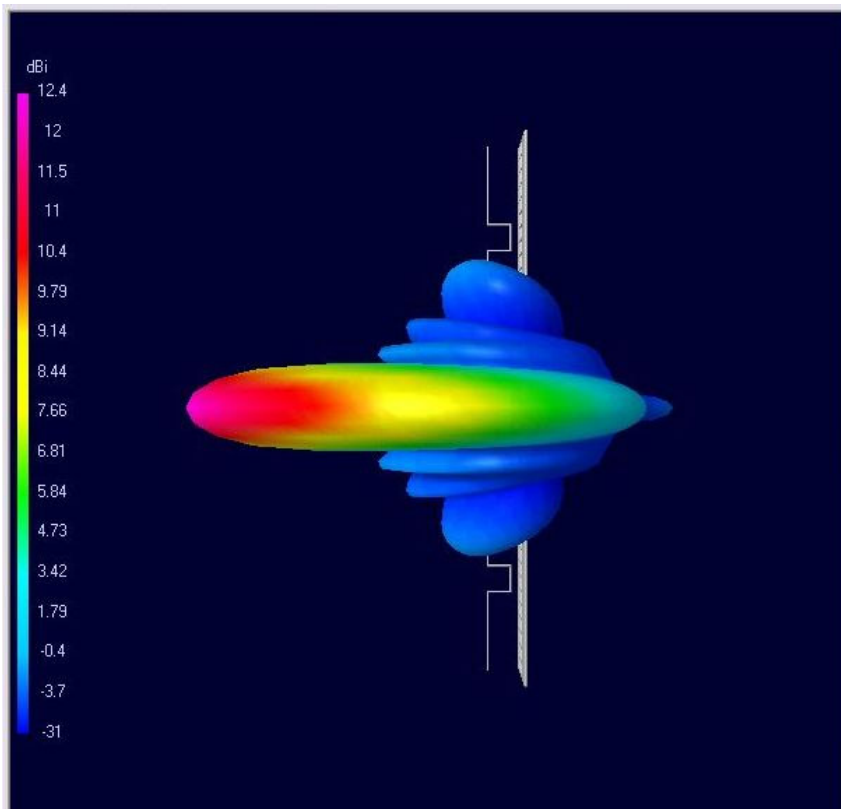
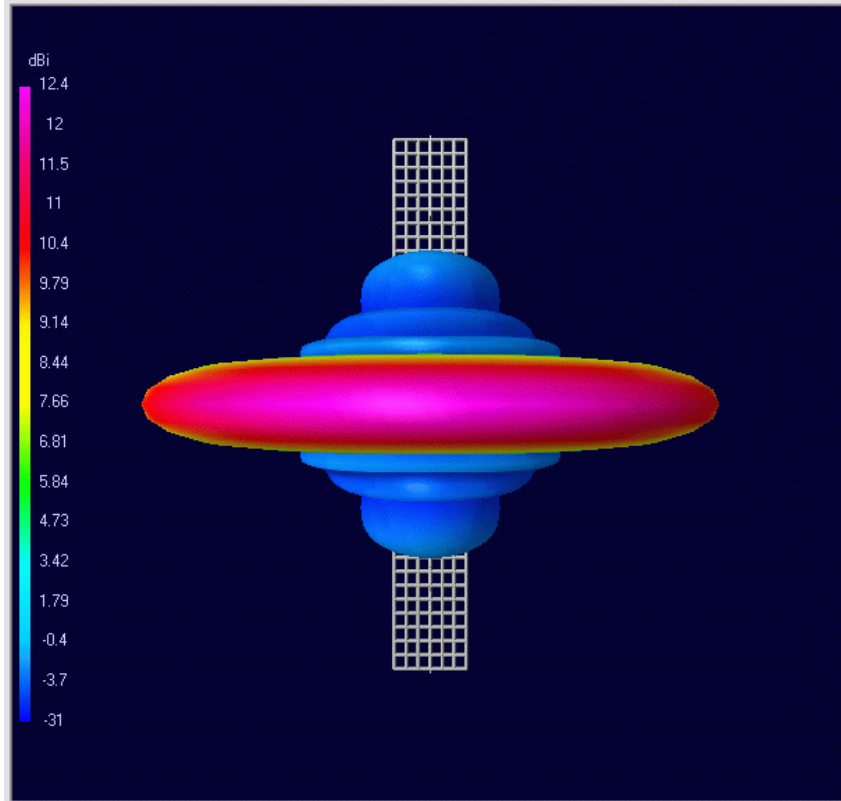
Koaksijalni kabl 50 oma sa 4:1 transformatorom napravljenim od polutalasnog odsecka kabl.



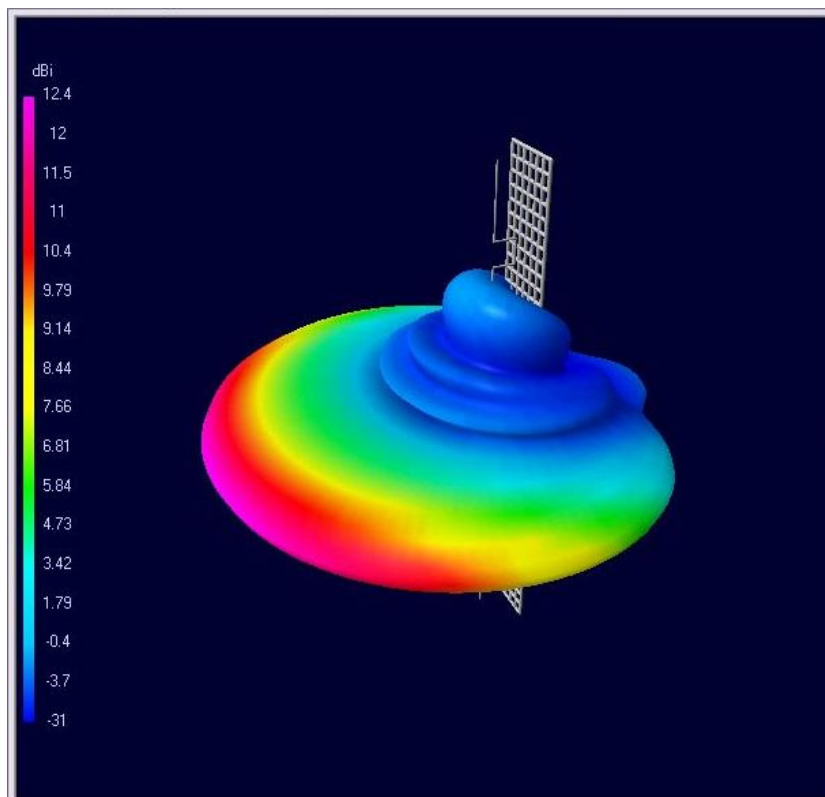
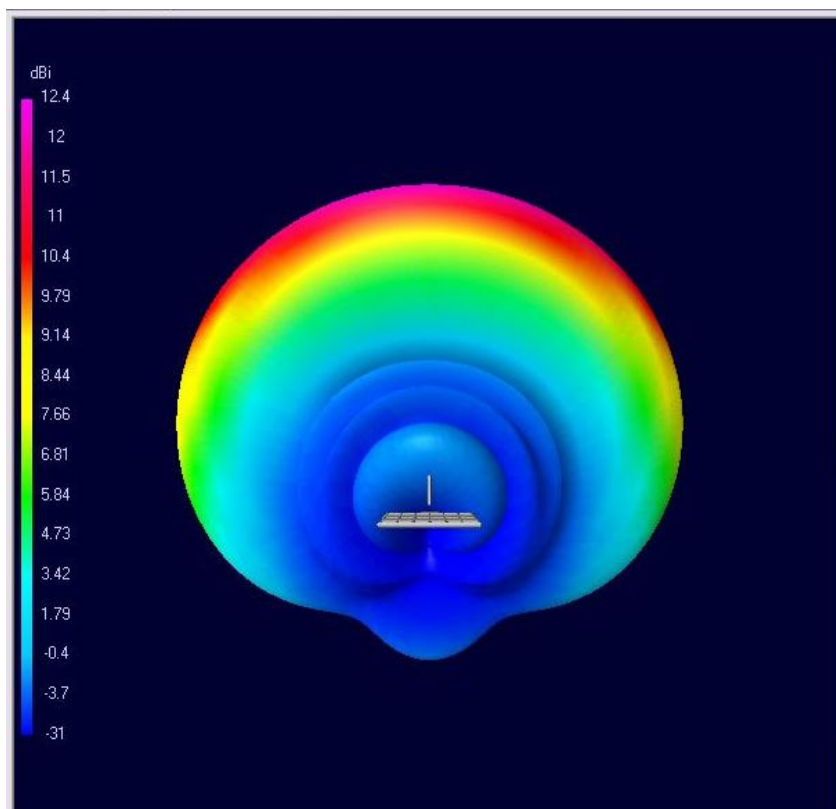
Geometrijske dimenzije i konstruktivni detalji Amos antene



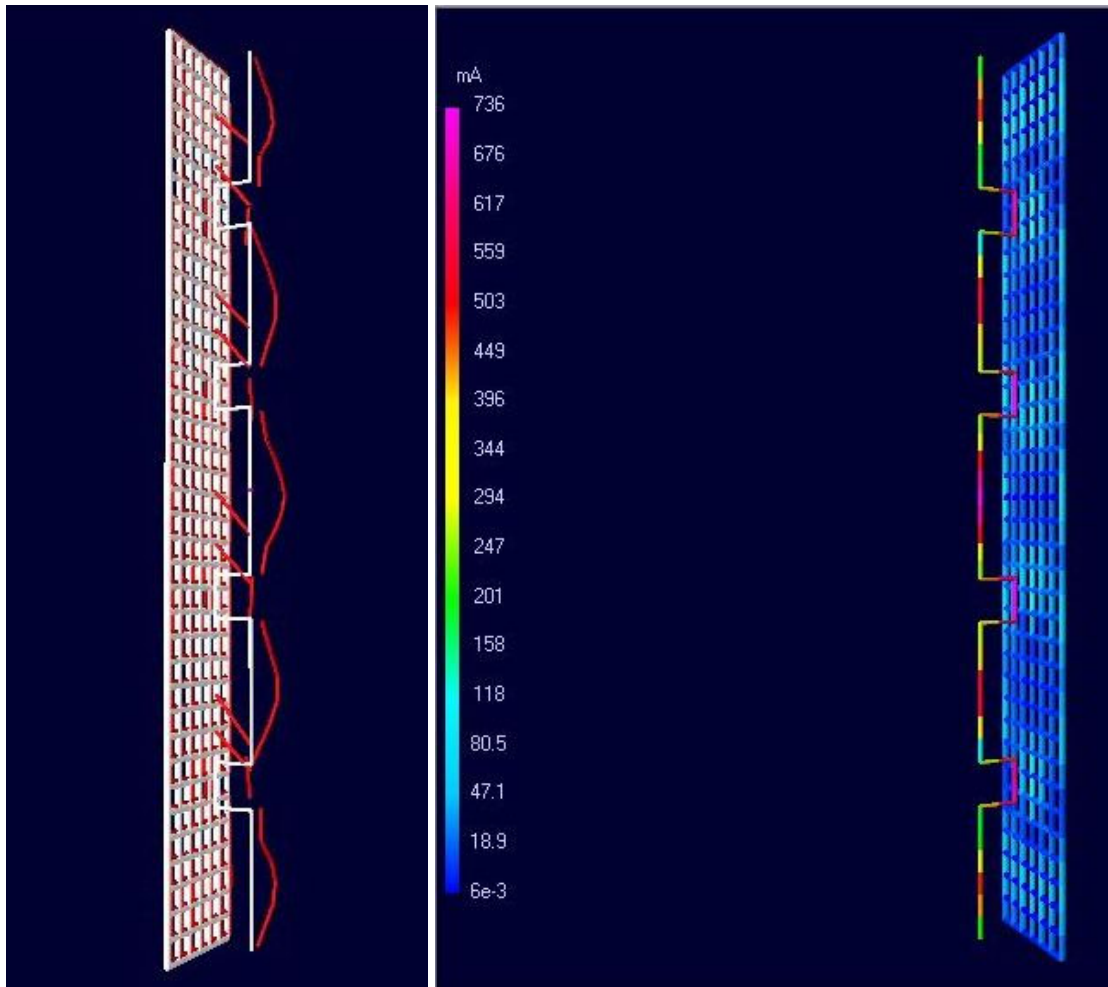
Horizontalni i vertikalni ugao zračenja Amos antene



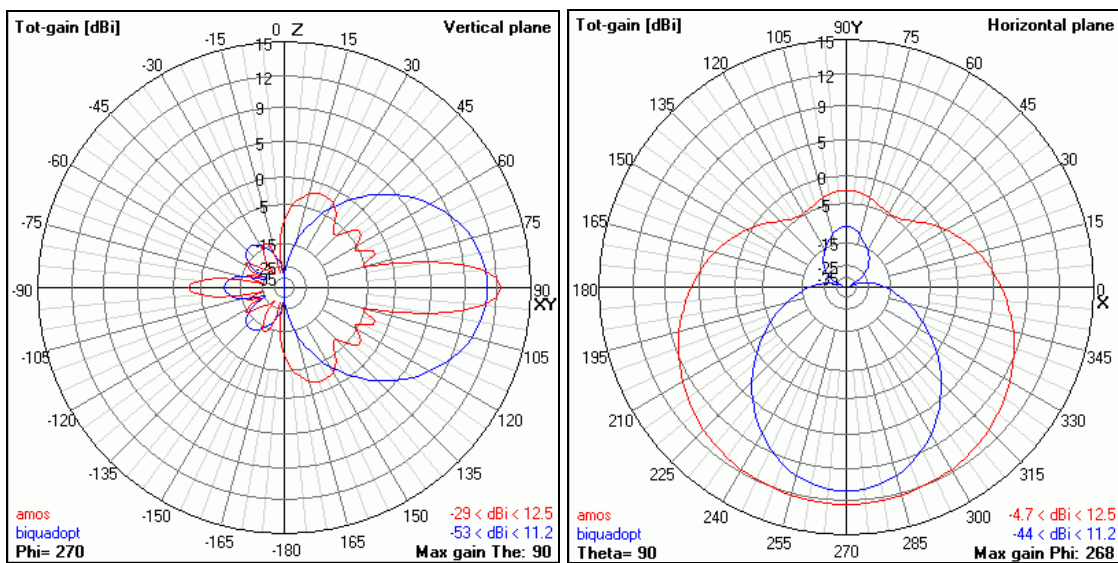
Prednji i bočni pogled na 3D dijagram zračenja



Pogled na 3D dijagram zračenja odozgo i sa strane



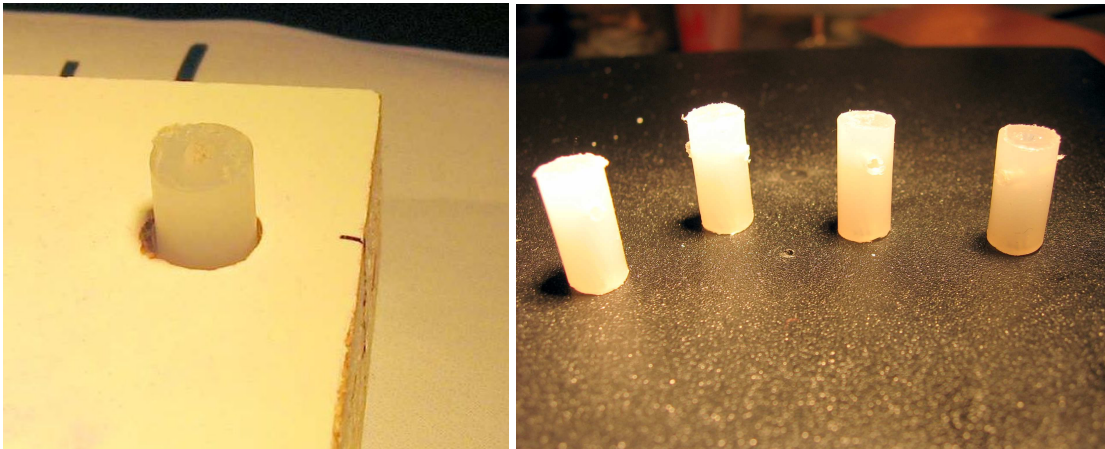
Jačina i raspored struja u elementima Amos antene



Poređenje dijagrama zračenja Amos i optimalne Biquad antene

Mehanička konstrukcija antene

Antena sa sastoji iz dva komada bakarne žice debljine **2 - 2.3 mm** i ukupne dužine **299.3 mm**. Svaki komad žice je savijen na identičan način kako je prikazano na slikama. Pre savijanja treba odmeriti i odseći dužinu od **299.3 mm**, a potom izmeriti i obeležiti flomasterom mesta na kojima će žica biti savijena pod pravim uglom. Pre savijanja treba napraviti i navući na žicu polietilenske stubiće koji služe kao izolatori i nosači zračećih elemenata antene.



Noseći izolacioni stubići i kalup za njihovu izradu

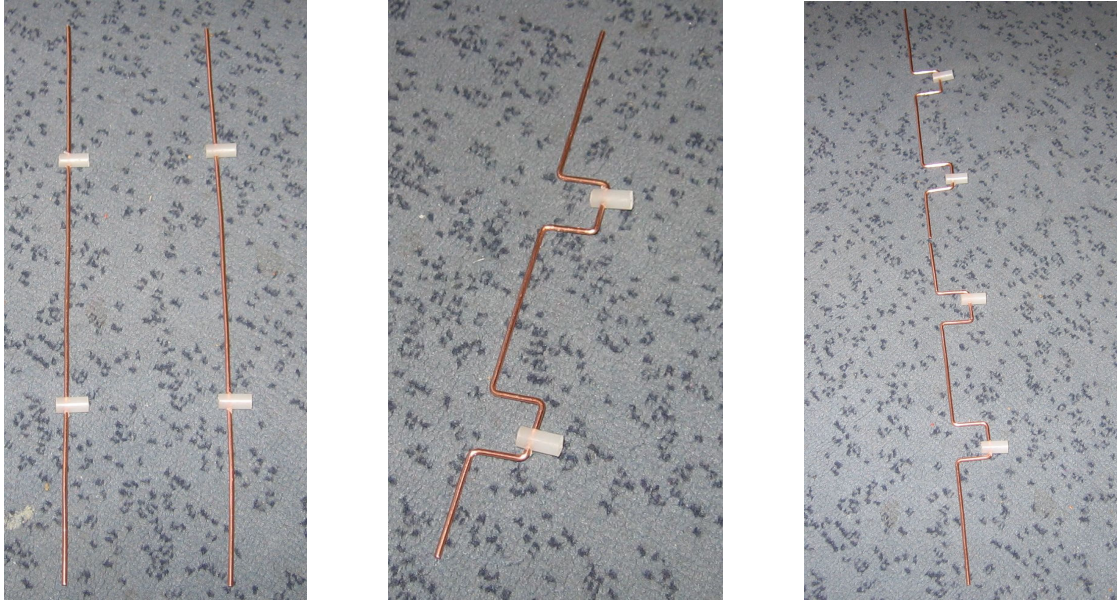
Stubići se prave od izolatora nekog debljeg koaksijalnog kabla (**RG-8, RG213** i sl.) tako što su uklonjeni unutrašnji i spoljašnji provodnici. Dužina (visina) stubića je oko **15-18 mm**, a tačno na **10 mm** od jednog kraja treba popreko kroz stubić probušiti rupu od oko **2-2.5 mm** kroz koju prolazi žica dipola. Stubići se učvršćuju tako što se sa zadnje strane kroz reflektorsku površinu zavrnju zavrtnji za lim u postojeću rupu od uklonjenog unutrašnjeg provodnika koaksijalnog kabla u njima. Rastojanje žice koja prolazi kroz stubić mereno od ose žice do površine reflektora mora biti tačno **10 mm!** Mereno od površine žice do površine reflektora je za poluprečnik žice manje, tj. **9mm!**

Reflektorska površina je napravljena od bakarnog, mesinganog ili aluminijumskog lima debljine **0.5-1.5 mm**. Može se napraviti i od jednostruko pobakrenog pertinaksa ili vitroplasta standardne debljine **1.6 mm**.

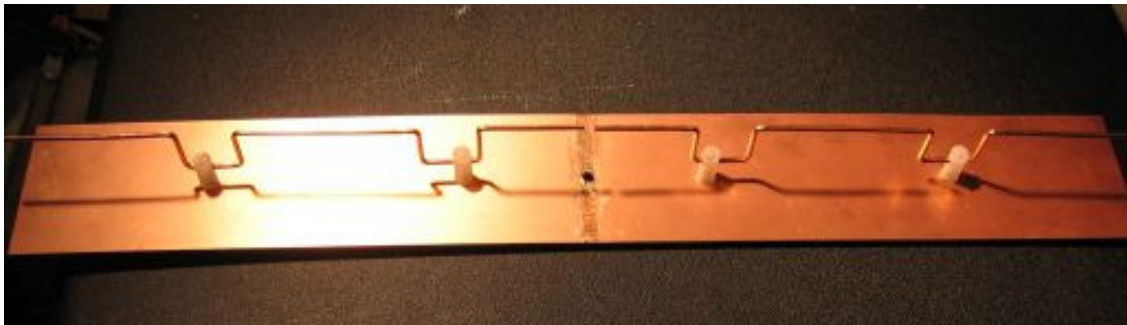
Reflektor se može sastaviti i od dva komada pertinaksa, da bi se dobila potrebna dužina. **Sastavljanje** se vrši tako što se ivice koje se sastavljaju prvo pokalajišu u širini od oko **3 mm**. Potom se uzme tanka bakarna folija širine oko **6 mm** pokalajiše sa jedne strane i onda zalemi na pokalajisani deo na ivicama koje se spajaju. Spoj treba dobro "ispeglati" da bude što ravniji. Sa zadnje strane se dvokomponentnim lepkom nalepe dva komada vitroplasta radi mehaničkog učvršćenja spoja. Tako je urađeno i na probnom modelu.

U reflektoru se na sredini probuši rupa prečnika **5 mm** kroz koju taman može komotno da prođe napojni koaksijalni kabl tipa **RG-58A, RG-58C** ili **CFD200**.

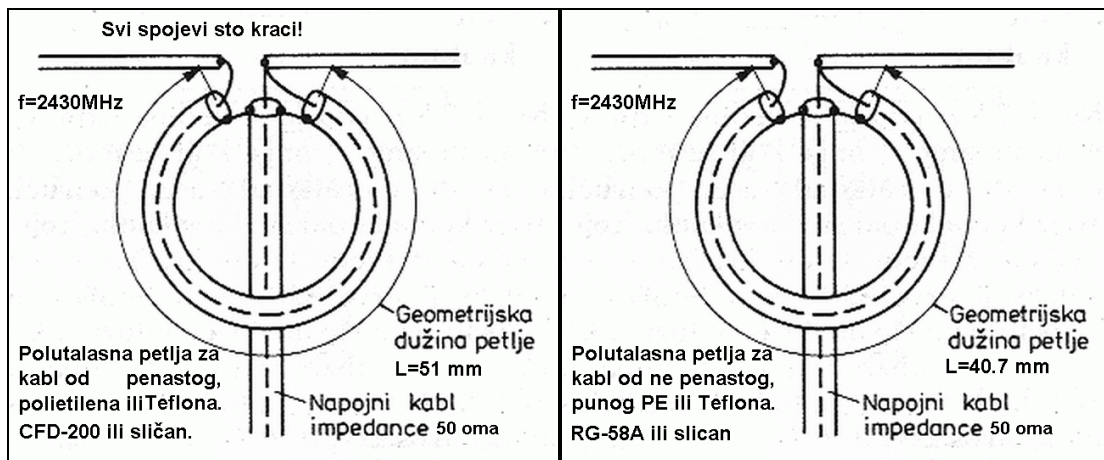
Rupe za stubiće se buše na **53** i **150 mm** od centra prečnika oko **3mm** (zavisno od upotrebljenog zavrtnja) . Kabl **nema** električni spoj sa reflektorskom površinom u tački u kojoj prolazi kroz reflektor.



Način izrade zračćeg elementa Amos antene



Izgled montiranih elemenata pre lemljenja petlje i kabla



Dužina petlje u zavisnosti od kabla i način povezivanja sa kablom i antenom

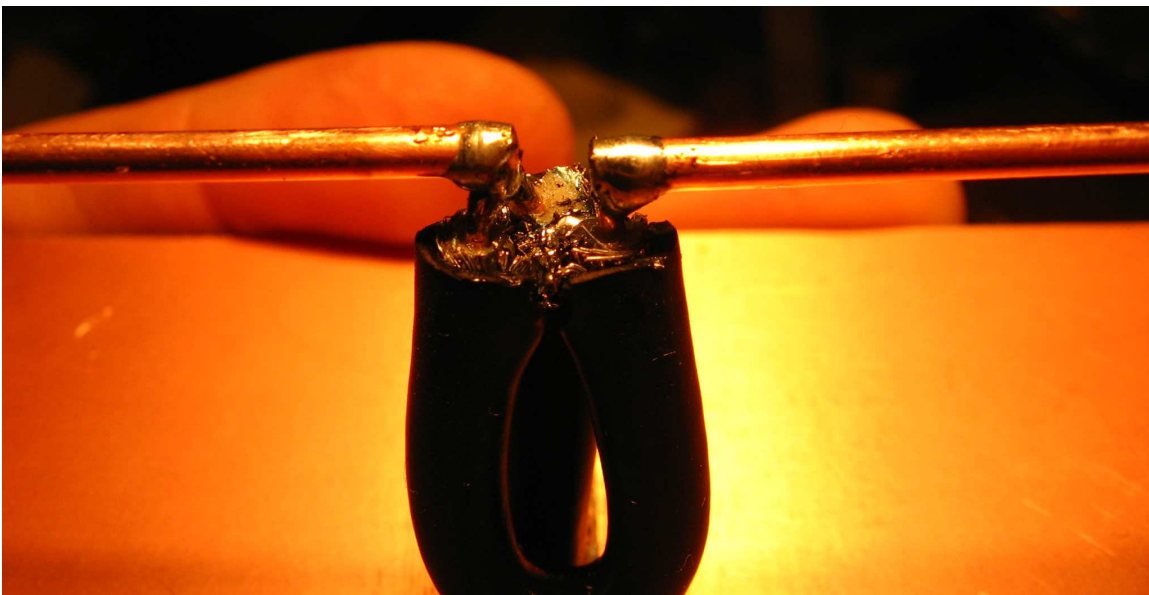
Polutalasna petlja se pravi od komada koaksijalnog kabla čija dužina zavisi od upotrebene vrste kabla! Ako se koristi kabl sa punim dielektrikom, kao što su kablovi tipa RG58A, onda je faktor skraćanja za takav kabl $v=0.66$ i dužina petlje je 40.7 mm. Međutim, ako se koristi kabl sa penastom izolacijom, kao što je tip CFD200, onda dužina petlje treba da bude 51 mm, jer je faktor skraćanja za tu vrstu kabla $v=0.83$. Kao dužina kabla uzima se **dužina spoljašnjeg provodnika pre savijanja**, s tim da dužina unutrašnjeg provodnika **ne sme biti duža od 1-2 mm**. Sve mora da bude zalemljeno što kraće da bi se izbeglo pomeranje rezonantne frekvencije antene usled parazitnih induktivnosti žica kojima se vrši spajanje. Prethodno se krajevi postavu u formi trougla, tako da se dva kraja polutalasne petlje vezuju što kraće na dipol, a napojni kabl postavljen u sredini vezuje se na jednu od strana dipola, svejedno koju. Oklopi oba kraja polutalasne petlje i napojnog kabla **spajaju se direktno jedni za druge i nigde više! Veoma je važno da se ova spajanja izvedu što je moguće kraće!**



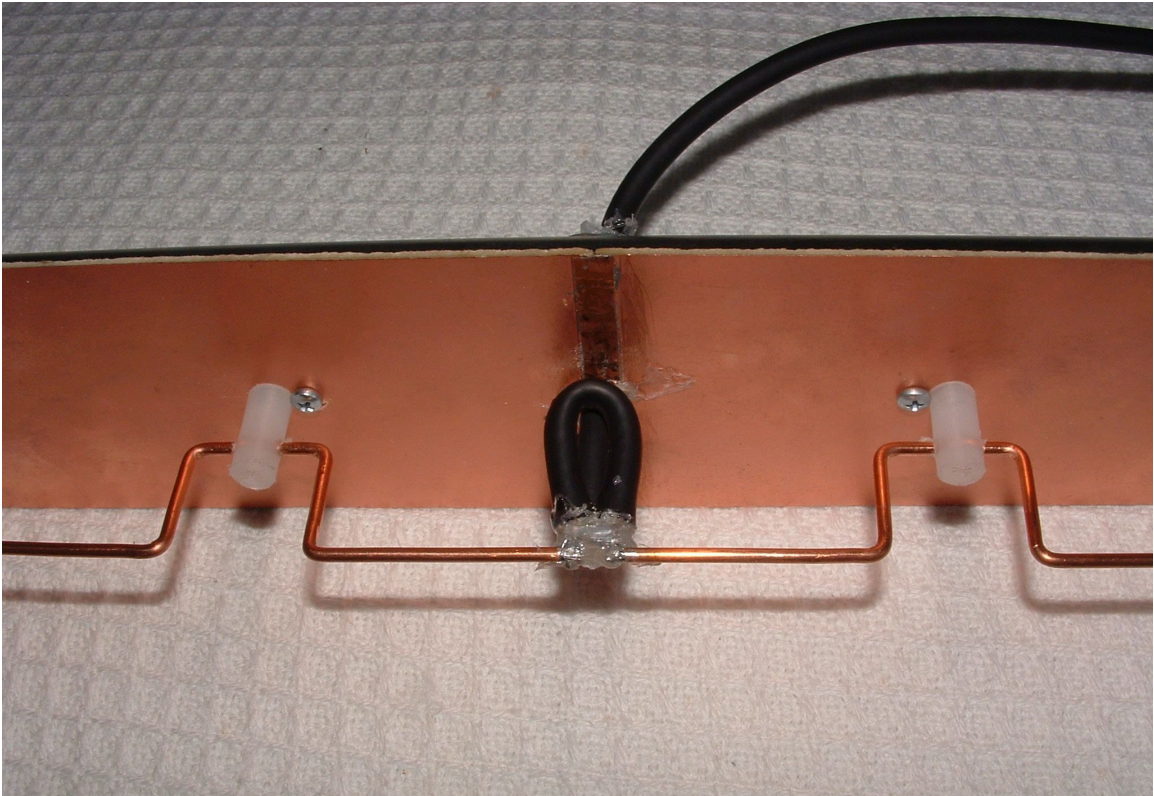
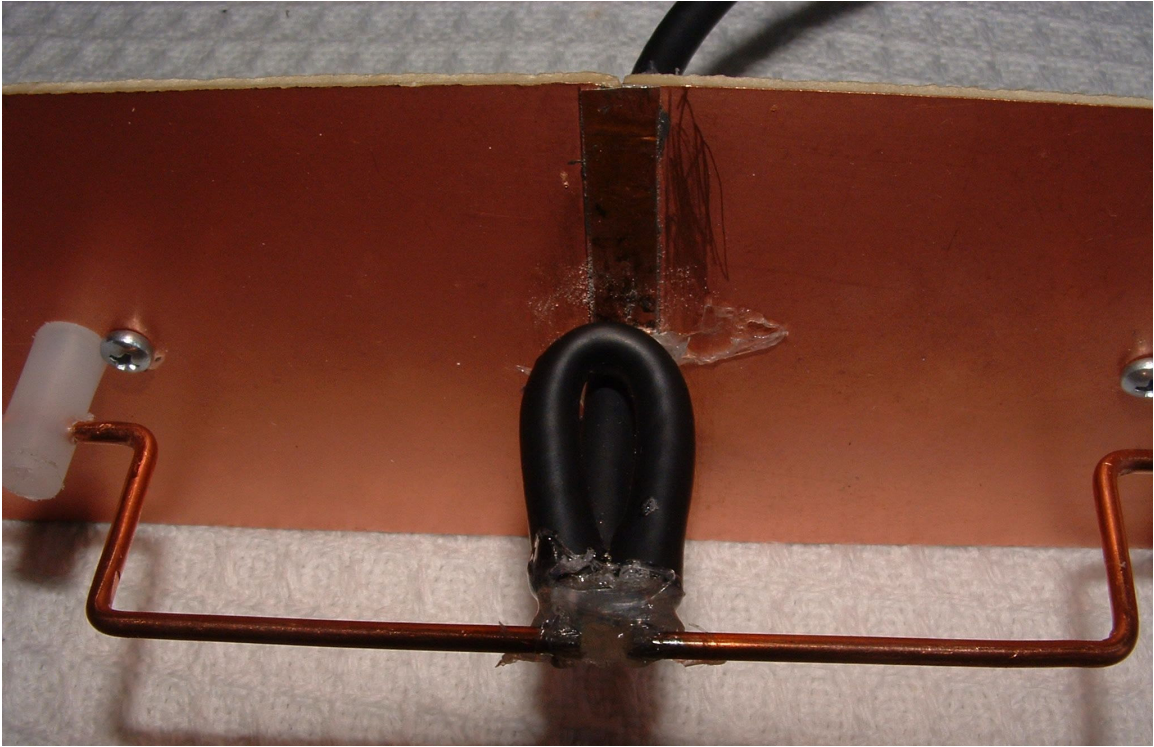
Priprema i lemljenje petlje i kabla

Zaštita od atmosferskih uticaja

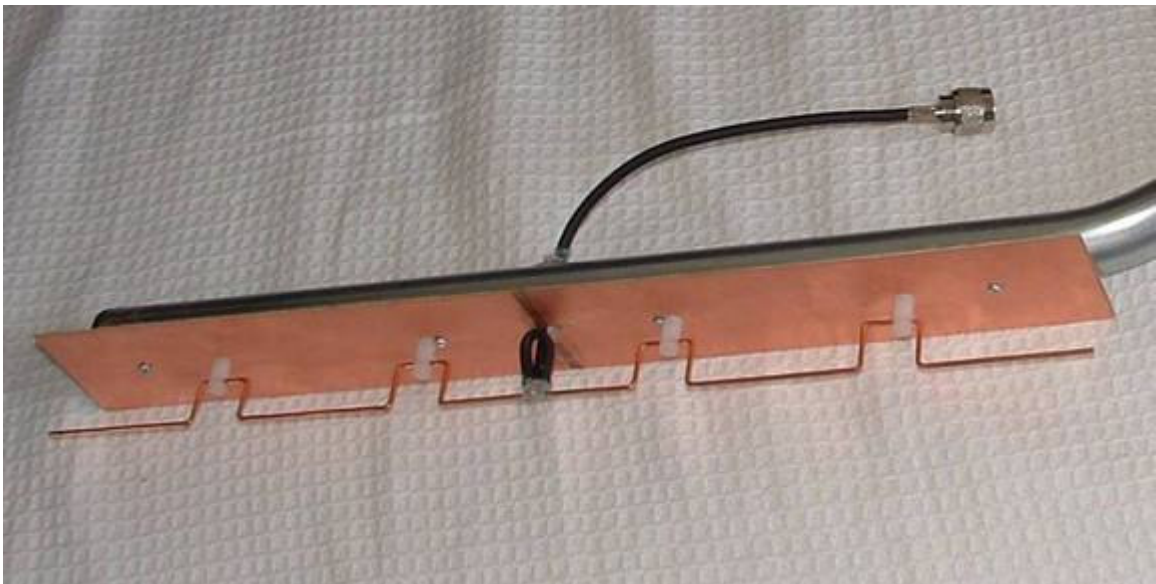
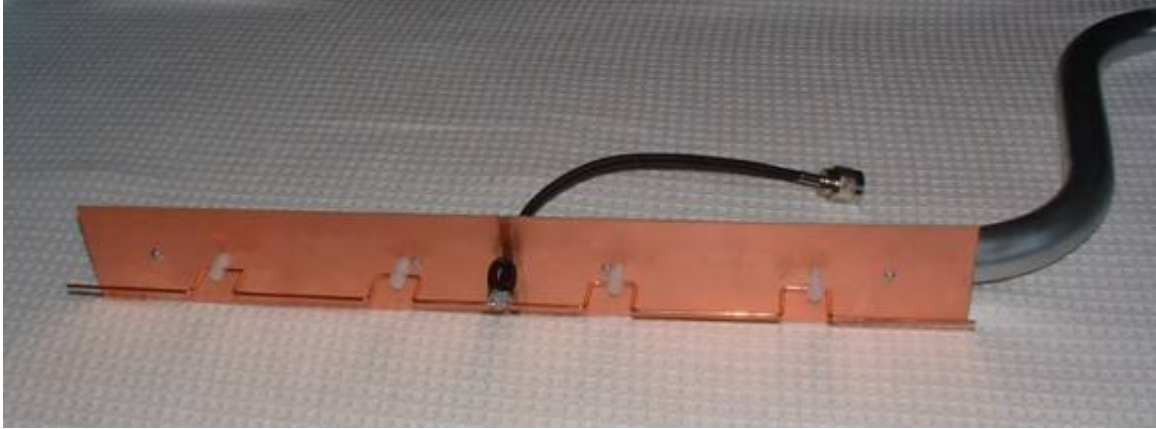
Ovu zaštitu najbolje je izvesti tako što se antena još dok je bakar svetao i bez korozije prefarba auto-lak sprejom u tankom sloju. Prethodno se samo mesto lemljenja kablova i otvoreni poprečni preseći kablova u tankom sloju prevuku polietilenom pomoću pištolja koji tope polietilenske šipke i u tečnom stanju nanose ovu plastičnu masu. Sloj treba da bude nepropustan za vodu, **ali što tanji!** Dakle, **pogrešno** je stavljati velike količine plastične mase u debelom sloju na spoj, jer ničem ne služi osim što kvari prilagođenje antene! Takođe, na ovom mestu **upotreba silikona je zabranjena** zbog njegove hemijske agresivnosti i velikih gubitaka na visokim frekvencijama!



Izgled zalemljene petlje i kabla za antenu



Polietilenska zaščita kablova i lemnih tačkaka



Izgled gotove Amos antene sa nosačem i priključnim kablom



Položaj za rad u vertikalnoj polarizaciji

Mehaničko pričvršćenje za stub

Ovo pričvršćenje se može izvesti na bilo koji pogodan način koji će omogućiti slobodno pomeranje antene po horizontali i vertikali radi preciznog usmeravanja antene u željenom smeru. Nosač, takođe, može da bude izveden tako da sa zadnje strane dodatno ukruti reflektorsku površinu ukoliko je ova izrađena od tanjeg lima ili pertinaksa nedovoljne krutosti za datu dužinu. Za prototip je korišćena poniklovana gvozdена šipka prečnika oko **25 mm** kupljena na buvljaku za **330 din** koja je već bila savijena u obliku slova **S**. **Nisu dozvoljeni** nikakvi metalni (pogotovo feromagnetni) ili plastični delovi u blizini dipola ili reflektora, jer mogu povećati gubitke, promeniti dijagram zračenja antene i ulazno prilagođenje a time i njen pravilan rad. Sva učvršćenja i mehaničke konstrukcije moraju se nalaziti sa zadnje strane reflektorske površine. Antenu treba isturiti ispred ose nosećeg stuba za oko **15-30 cm** radi smanjenja uticaja stuba na dijagram zračenja. Ukoliko se želi napajanje antene debljim kablom, može se na tanki kabl staviti **N** konektor i onda dalje voditi debeli kabl do uređaja. Takođe se može na zadnju stranu reflektora montirati ženski **N** konektor i kroz rupu u reflektoru spojiti tanki kabl koji ide do petlje i dipola, slično kao što se to radi kod Biquad antena. Ne preporučuje se uvođenje debelog kabla direktno do petlje i dipola, jer ga je teško kratko zalemiti pošto je fizički glomazan, pa je moguće razdešavanje rezonantne frekvencije antene.

Usmeravanje antene

Prilikom usmeravanja antene treba voditi računa o tome da antena ima vrlo širok dijagram u horizontalnoj ravni, pa ne treba očekivati oštar maksimum sa promenom horizontalnog ugla! Sa druge strane, u vertikalnoj ravni ugao zračenja je vrlo uzan a maksimum prijemnog signala vrlo oštar i treba antenu vrlo pažljivo i tačno podesiti u željenom smeru!

Antena je prevashodno predviđena za rad sa **vertikalnom polarizacijom** zbog specifičnog dijagrama zračenja koji ima kada se tako koristi. Antena je posebno pogodna za **Access Point-e** zbog svoje velike širine pokrivanja u horizontalnoj ravni.

Preračunavanje antene za druge frekvencije

Amos polukružna antena se može koristiti i za druge frekvencije ako se njene fizičke dimenzije preračunaju za novu radnu frekvenciju prema datim dimenzijama u talasnim dužinama:

Talasna dužina

$$\text{Lambda} = 299.8 / f(\text{MHz}) \quad \text{metara}$$

Ukupna dužina žice (u talasnim dužinama)

$$L = 2.42 \quad (2\text{komb.})$$

$$A = 0.320$$

$$B = 0.574$$

C=0.543

D=0.158

E=0.180

F=0.032

G=0.081

Prečnik žice

d=0.0162

Reflektor

H=3.70

I=0.50

Dužina polutalasne petlje

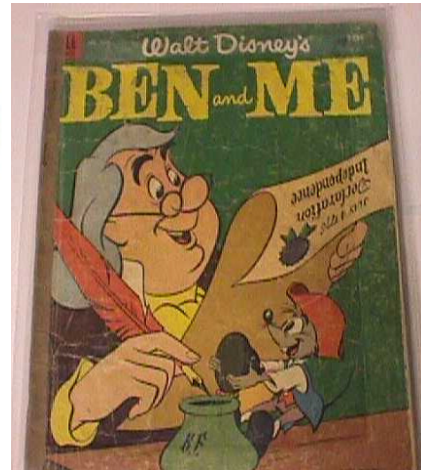
P= 0.5 * v

$v= 0.66$ za RG58, RG213, RG8 i sl.

$v= 0.83$ za CFD200

Ime antene

Antena je dobila ime zahvaljujući sasvim neočekivanim asocijacijama koje sam imao dok sam je projektovao. Pošto je ona u osnovi poznata **Frenklinova** antena postavljena ispred uzanog reflektora, o čemu je već bilo reči na početku, mislio sam tako da je i nazovem. Međutim, to ime mi je izgledalo mnogo dugačko i rogobatno. Prezime **Frenklin** me je asociiralo na još jednog čoveka istog prezimena, **Bendžamina Frenklina**, naučnika, političara i diplomate, koji je živeo otprilike jedan vek ranije.



Prorok Amos iz Tekoe

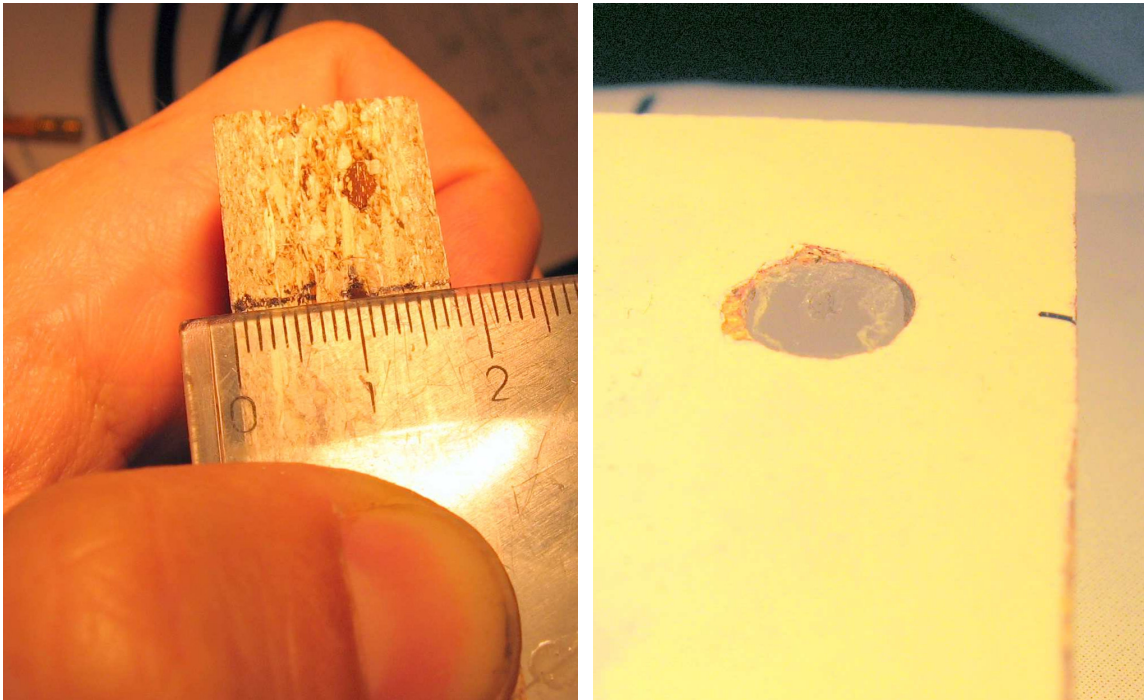
Miš Amos i Ben Frenklin u Diznijevom crtanom filmu

On je bio fizičar i pronalazač koji je, između ostalog, pomoću zmaja koga je puštao za vreme nevremena pokazao da je munja ustvari elektricitet, pronašao gromobran, bifokalne naočare i poznatu Frenklinovu peć. Ali, on je bio i vrstan političar koji je potpisao poznatu Povelju o nezavisnosti. Danas je jedan od najomiljenijih osnivača i

“otaca” američke države. Anegdote kažu da je imao pripitomljenog miša po imenu **Amos**. Miš je ime dobio po **starozavetnom proroku Amosu** iz malog mesta **Tekoa** nedaleko od **Jerusalima** koji je živeo u **8. veku pre Hrista**.

Volt Dizni je još pedesetih godina napravio sjajan crtani film po noveli **Roberta Lawsonsa** “*Ben and Me*” o životu i stvaralaštvu ovog velikog čoveka i, naravno, miš **Amos** je u tom filmu prava zvezda!

Eto tako je i ova antena dobila svoje neobično ime - po jednom neobičnom mišu! ☺



Rolexovo rešenje jednostavnog kalupa za preciznu izradu stubića

Zahvalnost

Želim da se zahvalim mojim prijateljima iz **BG Wireless-a** na pomoći i saradnji oko realizacije ovog projekta, a posebno **Rosić Nebojši - Rolexu**, koji je vrlo brzo i pedantno napravio prvi primerak ove antene za merenje. Posebno bih istakao njegovo pronicljivo rešenje alata, odnosno kalupa, za izradu izolacionih stubića. Kalup je napravljen pomoću komada iverice debljine **18 mm** sa izbušenom rupom kroz koju tačno prolazi izolacija debelog koaksijalnog kabla od koje se prave stubići. Sa strane u iverici je na **10 mm** od jedne ivice probušena rupa od oko **2.2 mm**. Plastika se gurne kroz ivericu poravna sa jedne strane, kroz rupu sa strane se probuši u njoj rupa za žicu i pre vađenja burgije se odseče i sa druge strane. Na ovaj način je moguće brzo i lako napraviti veliki broj identičnih izolacionih stubića. U rupu sa strane ubacio je i šuplji deo pop-nitne kao zaštitu da se ne bi rupa “razlotala” od većeg broja bušenja!

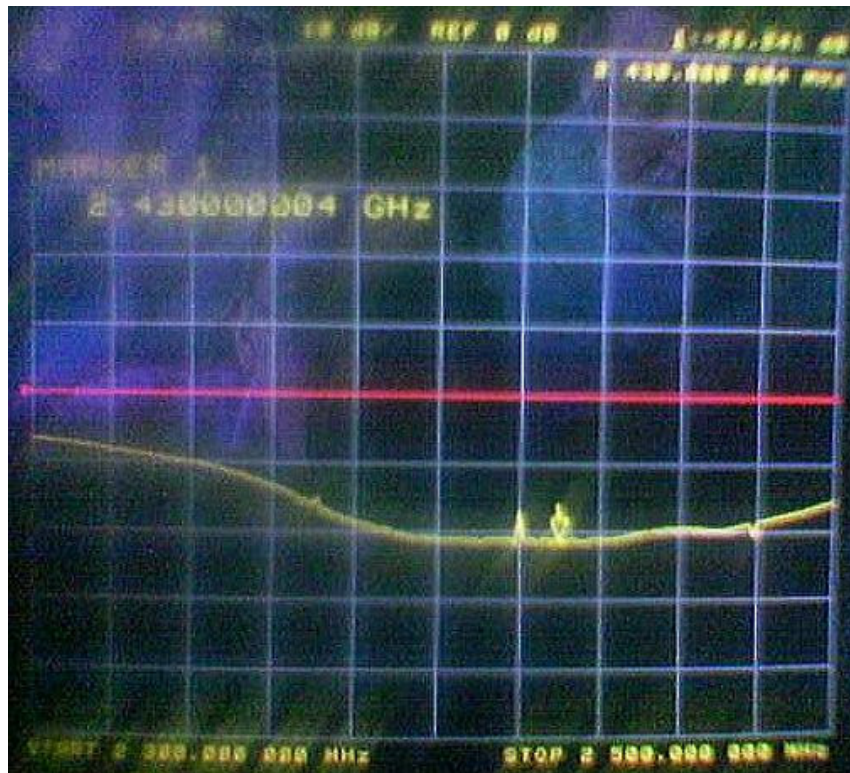
Rolex je, takođe, napravio i **optimalnu verziju Biquada** koji je već ranije opisan.



Laboratorijska merenja Amosa

Rezultati laboratorijskih merenja

Nakon završetka **Amos antena** je podvrgnuta laboratorijskim merenjima. Merenja su obavljena na profesionalnim instrumentima, pre svega na **HP Network analizatoru**. Mereno je ulazno prilagođenje antene i dobijene vrednosti su pokazale dobro slaganje sa računarskim predikcijama. Pre svega rezonantna frekvencija antene i opseg u kome je ona prilagođena su se vrlo dobro slagali sa proračunima. Maksimalna vrednost povratnog slabljenja ulaznog signala je **oko -22dB** što je za oko **5-6 dB** manje od očekivanog, što je delimično i posledica nesavršenih uslova merenja, tj. postojanja izvesne komponente prostornog reflektovanog talasa. Opseg u kome je dobro prilagođenje nešto je širi od proračunskog. Ovo ukazuje na nešto nižu, a time i povoljniju, vrednost **Q faktora** i nešto veću širinu radnog frekvencijskog opsega antene.



Prilagođenje Amos antene



Izmerena transmisija prilikom korišćenja dipola kao prijemne antene



Izmerena transmisija prilikom korišćenja Amosa kao prijemne antene

Pojačanje Amos antene je mereno metodom poređenja sa poznatom antenom, u ovom slučaju polutalasnim dipolom pojačanja **2dBi**. Merena je transmisija između zračice i prijemne antene na fiksnom rastojanju, s tim što je kao prijemna antena jedanput korišćen dipol a drugi put **Amos**. Prilikom korišćenja dipol antene transmisija je iznosila **-30.5 dB**, a sa Amosom **-19.9 dB**, što daje pojačanje od **10.6 dB** u odnosu na referentni dipol od **2dBi**. Rezultati su potvrdili pojačanje Amos antene od oko **12.6 dBi** sa mogućom greškom od oko **+/- 1dB** usled nesavršenih uslova merenja.

Rezultati praktične provere rada

Amos antena je praktično upoređena sa već ranije opisanom klasičnom kornjer reflektor antenom od oko **12dBi** koju koristim za **WiFi** i dobijeni rezultati su se vrlo dobro slagali sa očekivanim. **Amos** antena je primala signale **AP**-a sa gotovo identičnim nivoom kao i klasična kornjer reflektor antena, što se i očekivalo s obzirom na približno isto pojačanje. Međutim, broj primljenih **AP** signala je bio **nekoliko puta** veći zbog velike širine horizontalnog dijagrama! **Zbog ove osobine Amos antena je prevashodno namenjena kao antena za AP!** Mada se može koristiti i za klijente kada je potrebno, bez pomeranja antene, ostvariti komunikaciju sa nekoliko **AP**-a koji se nalaze u raznim smerovima.

Zaključak

U ovom radu je pokazana i merenjima potvrđena mogućnost korišćenja **Frenklinovog** niza polutalasnih dipola ispred relativno uzane reflektorske površine kao efikasne antene na **2.4 GHz**. Antena ima vertikalnu polarizaciju i polukružni dijagram zračenja u horizontalnoj ravni.

Problem parazitnih zračenja deonice dvožičnog kratko-spojenog voda za faziranje rešen je postavljanjem reflektorske površine u blizinu kratko-spojnog provodnika čime je on transformisan u transmisioni vod impedanse oko 150 oma i time intenzitet njegovog zračenja značajno redukovan. Na ovaj način je uticaj parazitnog zračenja na ukupan dijagram zračenja smanjen.

Pored ovoga, postavljanje reflektorske površine modifikovalo je ulaznu impedansu na vrednost koja je pogodna za efikasno prilagođenje antene na koaksijalni napojni vod. Stroga geometrijska i električna simetrija antene obezbedila je čist, simetričan i uzan vertikalni dijagram. Korišćenjem vrlo uzanog reflektora očuvana je velika širina horizontalnog dijagrama.

U Beogradu, 4. maja 2005.