UWB antena za tri frenkvencijska opsega

Živanović, Slaven

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:569771

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Stručni studij

UWB ANTENA ZA TRI FREKVENCIJSKA OPSEGA

Završni rad

Slaven Živanović

Osijek, 2016.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek,05.12.2016.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju

Ime i prezime studenta:	Slaven Živanović
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Informatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A3297, 19.10.2012.
OIB studenta:	19536865910
Mentor:	Izv. prof.dr.sc. Slavko Rupčić
Sumentor:	
Predsjednik Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Davor Vinko
Član Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Vanja Mandrić-Radivojević
Naslov završnog rada:	UWB antena za tri frenkvencijska opsega
Znanstvena grana rada:	**Radiokomunikacije (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak završnog rada	Teorijski obraditi UWB antene. Načiniti pregled postojećih izvedbi UWB antena te odabrati varijantu izvedbe HF UWB antene za pokrivanje tri frekvencijska opsega: 1. od 450MHz do 830 MHz; 2. od 800 MHz do 970 MHz te 3. od 1800 MHz do 1900 MHz. Korištenjem simulacijske rutine HFSS dizajnirati i analizirati rad ove antene. Izraditi laboratorijski model antene te izvesti mjerenja dijagrama zračenja te koeficijenta refleksije na ulazu S11 i ulazne impedancije.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 Jasnoća pismenog izražavanja: 1 Razina samostalnosti: 2
Datum prijedloga ocjene mentora:	05.12.2016.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

IZJAVA O ORIGINALNOSTIRADA

Osijek,18.01.2017.

Ime i prezime studenta:	Slaven Živanović
Studij:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Informatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A3297, 19.10.2012.
Ephorus podudaranje [%]:	0

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: UWB antena za tri frenkvencijska opsega**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof.dr.sc. Slavko Rupčić

i sumentora

mojvlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osimonih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada,osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, ašto je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD **1**

1.1. Zadatak rada **2**

2. ULTRA WIDEBAND TEHNOLOGIJA **3**

2.1. Helikoidalna antena **3**

2.2. Frekvencijsko-neovisna antena **5**

2.2.1. Spiralna antena **5**

2.2.2. Dvostožasta antena **6**

2.3. Logaritamsko-periodična antena **9**

2.4. Lijevak antena **11**

2.5. Antene izvedene iz rezonantnih **12**

2.5.1. 3D monopoli **13**

2.5.2. 2D rezonantne antene **17**

3. KRUŽNA MONOPOLNA ANTENA **21**

3.1. Kružna monopolna antena bez DGS **21**

3.2. Kružna monopolna antenna sa DGS **25**

4. LABORATORIJSKI MODEL ANTENE **32**

4.1. Izrada laboratorijskog modela antene **32**

4.2. Mjerenje koeficijenta refleksije, ulazne impedancije i dijagrama zračenja antene **34**

5. ZAKLJUČAK **42**

6. LITERATURA **43**

7. SAŽETAK **44**

8. SUMMARY **44**

9. ŽIVOTOPIS **45**

1. UVOD

Antena je električni uređaj koji pretvara električnu energiju u radio valove i obrnuto. Antena se obično koristi kao odašiljač ili kao prijemnik. Odašiljač snabdjeva antenu električnom strujom koja oscilira na određenoj frekvenciji, antena tada zrači zrači energiju struje kao radio valove. U prijemu antena presreće te iste radio valove kako bi stvorila mali električni napon koji šalje prijemniku koji ga tada pojačava. Antene su sastavni dio svakog uređaja koji koristi radio valove za rad. Koriste se u sustavima kao što su radio prijenos, televizijski prijenos, radarima, mobilnoj komunikaciji, bežičnim računalnim mrežama i sl. Antena se sastoji od metalnih vodiča koji su spojeni sa prijemnikom ili odašiljačem prijenosnim vodom (engl. *transmission line*). Odašiljač tjera električnu struju kroz antenu koja stvara oscilirajuće magnetsko polje oko metalnih vodiča, dok naboji elektrona stvaraju električno polje oko vodiča. Antena zrači ta dva polja u slobodni prostor. Kod prijema oscilirajuća struja i magnetska polja dolaznog radio vala pobuđuju silu elektrona u električnim vodičima antene tjerajući ih sa se miču naprijed-nazad i tako stvaraju oscilirajuću struju u anteni koju kupi prijemnik. Antene mogu biti konstruirane tako da odašilju ili primaju radio valove u svim smjerovima jedanko (neusmjerene antene) ili samo u određenim smjerovima (usmjerene antene). U području antena se koriste dvije glavne metode za izražavanje pojasa kojega antene pokrivaju. To su uskopojasne (engl. *narrowband*) i širokopojasne (engl. *wideband*) antene. Uski pojas označava kanal u kojemu širina pojasa poruke koja se njime odašilje ne prelazi širinu pojasa toga kanala. U telefoniji, uski pojas pokriva frekvencije od 300 do 3400 Hz. Široki pojas označava kanal u kojemu širina pojasa poruke značajno prelazi širinu pojasa kanala. Široki pojas pokriva frekvencije 50-7000 Hz.

Predmet završnog rada su ultra-širokopojasne (engl. *ultra-wideband*) antene i njihove izvedbe. Također kao i dizajn jedne od izvedbi korištenjem simulacijske rutine HFSS i na kraju izrada laboratorijskog modela antene i mjerenja dijagrama zračenja te koeficijenata refleksije na ulazu S11 i ulazne impedancije.

Struktura završnog rada se sastoji od sedam poglavlja. Prvo poglavlje - uvod govori općenito o antenama: što je antena, gdje se koristi, na koji način funkcionira, itd. Drugo poglavlje govori o UWB tehnologiji: što je ultra-široki pojas i UWB antena i daje uvid u postojeće izvedbe UWB antena. U trećem poglavlju je prikazana simulacija u programu HFSS. U četvrtom poglavlju se nalaze slike izrađenog laboratorijskog modela antena te dijagrami sa simuliranim i izmjerenenim rezultatima koeficijenta refleksije S11 i dijagrama zračenja. U petom poglavlju je zaključak

cijelokupnog završnog rada . U šestom poglavlju se nalazi korištena literatura. U sedmom se nalazi životopis.

1.1. Zadatak rada

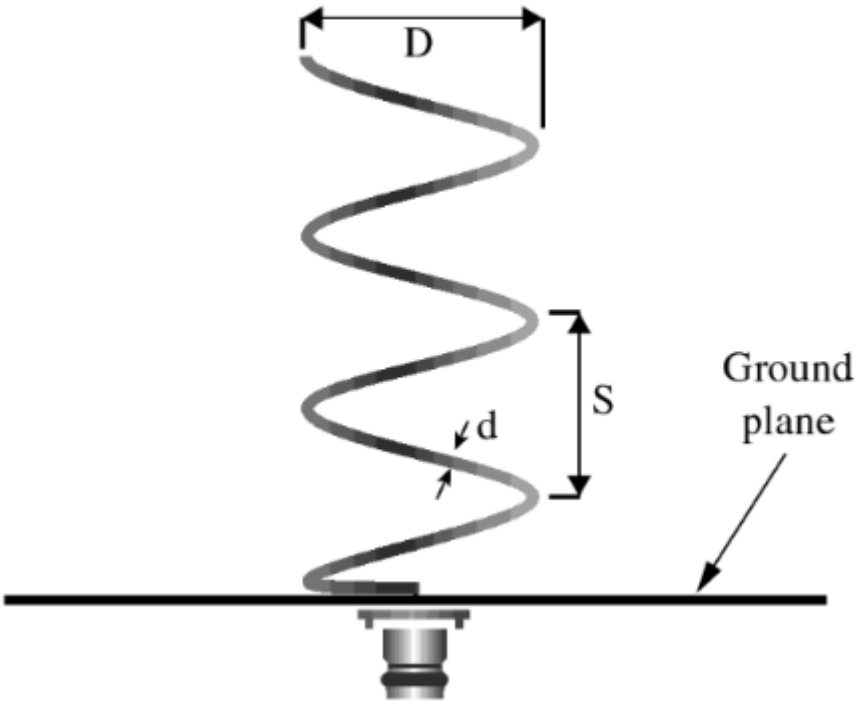
Teorijski obraditi UWB antene. Načiniti pregled postojećih izvedbi UWB antena te odabrati varijantu izvedbe HF UWB antene za pokrivanje tri frekvencijska opsega: 1. od 450MHz do 830 MHz; 2. od 800 MHz do 970 MHz te 3. od 1800 MHz do 1900 MHz. Korištenjem simulacijske rutine HFSS dizajnirati i analizirati rad ove antene. Izraditi laboratorijski model antene te izvesti mjerenja dijagrama zračenja te koeficijenta refleksije na ulazu S11 i ulazne impedancije.

2. ULTRA-WIDEBAND TEHNOLOGIJA

Napredak u tehnologiji poluvodiča i tehnikama obrade signala su ubrzale razvoj bežične komunikacije proteklih godina koja je postala ključni dio našeg društva. Danas ljudi mogu raditi bilo gdje i bilo kada zahvaljujući sutavima komuikacije kao što su satelitska komunikacija, mobilna komunikacija, globalni sustav pozicioniranja (engl. *global positioning system-GPS*), radio-frekvencijska identifikacija (engl. *radio-frequency identification-RFID*), svjetska interoperabilnost za mikrovalni pristup (engl. *world interoperability for microwave access networks-WiMAX*), bežične lokalne mreže (engl. *wireless local area networks-WLAN*), ulta-široki pojas (engl. *ultra-wideband-UWB*) i slično. Ultra-wideband je još uvjek tehnologija u razvoju u području kratko dometne bežične komunikacije. To što koristi jako širok pojas frekvencija nudi brojne mogućnosti kao što je velika brzina prijenosa podataka, precizno prostorno lociranje, odlično prodiranje kroz prepreke, otpornost na prigušenje, otpornost na smetnje i ne preklapa se sa uskopojasnim sustavima. UWB tehnologija je primila popriličan značaj kada je Federalna komunikacijska komisija (engl. *Federal Communication Commission-FCC*) oslobodila pojas širine 7.5 GHz (3.1-10.6. GHz) za potrebe komunikacije. Antene su ključne komponente u bežičnoj komunikaciji. Sveprisutnost bežične komunikacije potaknula je razvoj velikog broja antena različitih oblika i veličina koje se koriste u različite svrhe i od kojih svaka ima svoje prednosti i nedostatke. UWB antene su podjeljene u pet glavnih grupa: spiralne, frekvencijsko-neovisne, logaritamsko-periodične, lijevak antene i antene koje su izvdene iz rezonantnih antena. Prve četiri grupe se temelje na klasičnim izvedbama širokopojasnih antena koje se upotrebljavaju u ultra-širokom pojasu. Rezonantne antene su dosta nove u upotrebi i pobudlie su poseban interes budući da imaju karakteristike koje ih čine pogodnim za UWB sa čestim dodatnim modifikacijama. Većina rezonantnih antena može biti napravljena ili kao 3D ili 2D (ravne, planarne). Planarne verzije se naravno lakše uklapaju sa ostalim komponentama u komunikacijskom sustavu.

2.1. Helikoidalna antena

Helikodinalna antena se konstruira tako da se žičani vodič namota oko cilindra jednakog promjera. To je ne-rezonantna antena. Linija napajanja se nalazi između jednog kraja namotanog vodiča, i uzemljene plohe. Parametri za konstrukciju su: promjer cilindra *D*, razmak između zavoja *S*, promjer vodiča *d*, broj zavoja *N*, visina zavojnice *H=N*S*, kao i smjer zavoja (Sl. 2.1.).



Sl.2.1. Helikoidalna antena

Ovisno o parametrima, helikodialna antena se može koristiti na dva načina: normalan i aksijalni. Polje koje zrači ima dvije ortogonalne komponente u faznoj kvadraturi tako da se može ostvariti kružna polarizacija. Za rad u normalnom načinu ukupna dužina vodiča mora biti puno manja od dužine vala. Učinkovitost zračenja helikoidalne antene je niska zato što je omski otpor vodiča usporediv sa otporom zračenja. U aksijalnom načinu rada dužina vodiča mora biti ista kao u dužina vala. Otpor zračenja ima obično ima vrijednost između 100 i 200 Ω. Postiže se standardna širina pojasa oktave zbog čega otpor zračenja i aksijalan omjer između komponenti polja koje zrači ostaju konstantni. Kriterij koji je potrebno ispuniti za optimalan rad:

$$\frac{3}{4} < \frac{C}{\lambda} < \frac{4}{3} \tag{2-1}$$

C je opseg spirale i računa se kao $C=\pi D$. Pojačanje antene *G* može se računati relacijom:

$$G = \frac{6.2C^2NS}{\lambda^3} = \frac{6.2C^2NSf^3}{c^3} \tag{2-2}$$

Gdje je *c* brzina svjetlosti.

2.2. Frekvencijsko-neovisna antena

Frekvencijsko-neovisne antene se temelje na Rumseyevom Principu prema kojem antena čija je geometrija potpuno definirana kutevima je frekvencijsko-neovisna: geometrija je očuvana u istom razmjeru koji je određen valnom dužinom koja se koristi. Po strogoj primjeni ovoga pravila antena bi trebala biti beskonačne veličine da bi bila stvarno frekvencijski-neovisna. Da bi se ovo postiglo u praksi, geometrija antene mora biti skraćena.

2.2.1. Spiralna antena

Spiralne antene se dosta koriste u UWB sustavima. Najjednostavnija izvedba spiralne antene se sastoji od dvije ravne spirale suprotnih smjerova. Geometrija spirale je definirana kao:

$$r_0 = Ae^{a\phi} \tag{2-3}$$

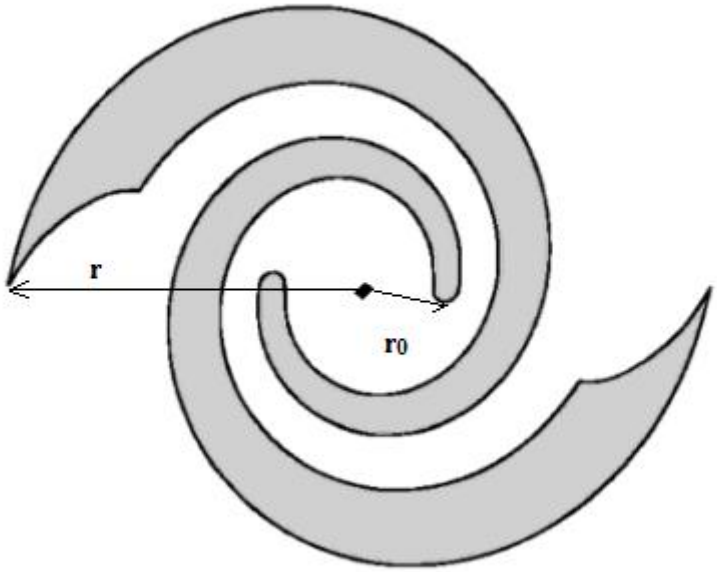
Gdje je A konstanta koja određuje početni ili unutarnji radijus spirale r_0 od središta spirale do početka prve ruke, parametar α određuje razmjer kojim ruke spirale rastu kako se ona okreće a ϕ kut. Niža frekvencija se određuje relacijom:

$$f_l = \frac{c}{2\pi r} \tag{2-4}$$

Gdje je c brzina svjetlosti a r je vanjski radijus, tj radijus od središta spirale do kraja ruke spirale. Viša frekvencija se određuje relacijom:

$$f_h = \frac{c}{4A} \tag{2-5}$$

Ruke antene su skraćene na dužinu sličnoj duljini vala najniže frekvencije u opsegu. Točka napajanja se nalazi između dva najbliža kraja spirala. Uzorak zračenja ove antene ima jako slabu usmjerenost. Ukoliko je potrebno da antena bude usmjerena, to se može postići tako da se ruke spirale namotaju na čunj. Glavni nedostatak ove antene je linija napajanja koja mora biti balansirana kroz cijeli pojas jer se uglavnom koristi koaksijalni kabel koji je nebalansirana linija napajanja. Polarizacija antene varira sa frekvencijom. Na nižim frekvencijama polarizacija je linearna, ali kako se frekvencija povećava postiže se eliptična polarizacija.



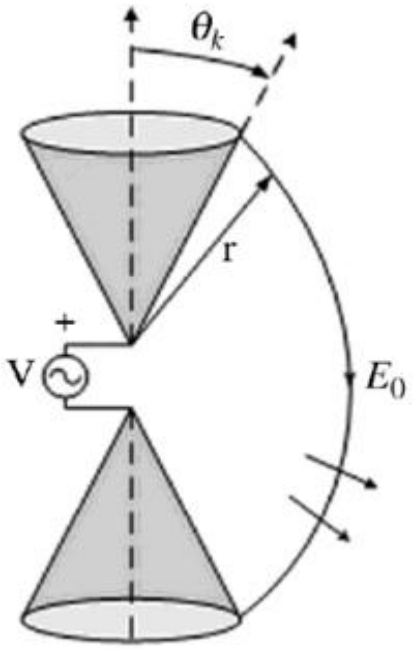
Sl.2.2. Spiralna antena

2.2.2. Dvostožasta antena

Dvostožasta antena sastoji se od dva metalna stožca koja su postavljena suprotno jedan od drugoga. Linija napajanja se nalazi između vrhova stožaca. Upoteba u UWB se temelji na činjenici da je teoretski moguće da antena pruži frekvencijsko-neovisnu impedanciju ako je beskonačne dužine. U praksi, veličina antene je skraćena što dovodi do refleksije i smanjenja širine opsega. Ulazna impedancija dvostožaste antene Z_{in} je dana relacijom:

$$Z_{in} = Z_0 = 120\ln(\cot\frac{\theta_k}{2}) \tag{2-6}$$

Gdje je θ_k kut stošca, a r je duljina plašta od vrha stošca do šireg kraja, Z_0 je karakteristična impedancija antene koja je u ovom slučaju jednaka ulaznoj impedanciji Z_{in}.



Sl. 2.3. 3D dvostožasta antena

Također postoje i ravne izvedbe (2D) dvostožastih antena koje se temelje na principu opisanim gore. Jedan od primjera je antena u leptir mašne koja je dosta popularna u UWB sustavima. Pravi se pomoću poprečnog presjeka dvostožaste antene. Sastoji se od dva trokuta koja su postavljena suprotno jedan od drugoga, a linija napajanja se nalazi između dva najbliža vrha trokuta kao što je prikazano na slici 2.4. Postoji još jedna izvedba ovakve antene gdje su trokuti smješteni na različitim stranama substrata da bi se postigla veća širina opsega. Valna duljina antene se računa relacijom:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \tag{2-7}$$

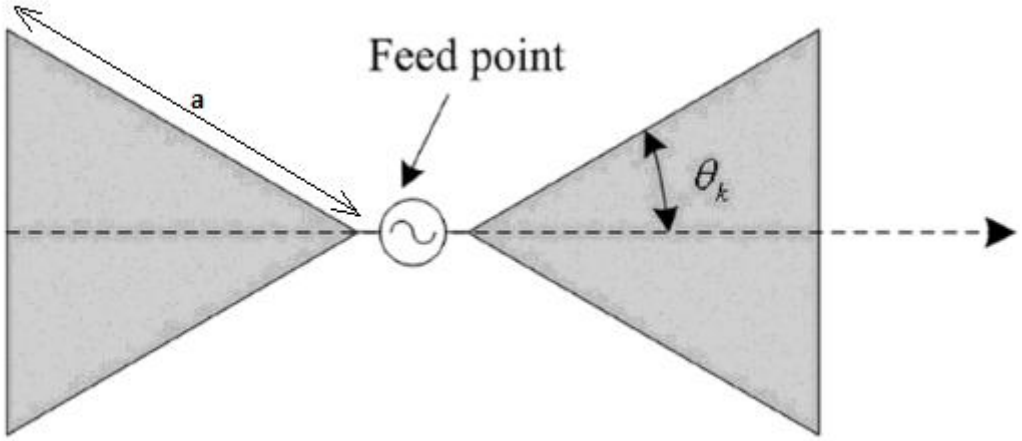
Gdje je λ_0 valna duljina u vakuumu, a ε_{eff} efektivna dielektrična konstanta substrata na kojemu se nalazi antena. Stranica a se računa:

$$a = \frac{2c}{2f_r\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2-8}$$

Gdje je c brzina svjetlosti u vakuumu, f_r rezonantna frekvencija, a ε_r relativna dielektrična konstanta. Rezonantna frekvencija antene je dana relacijom:

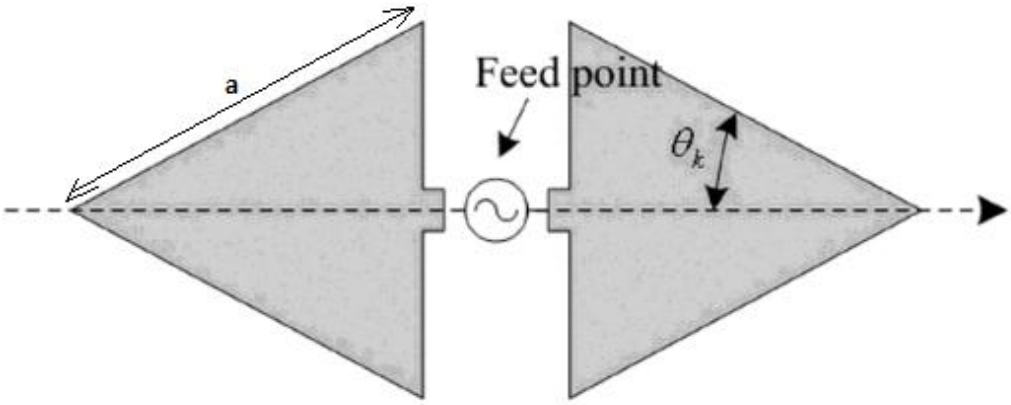
$$f_r = \frac{ck_m}{2\pi\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2-9}$$

k_m su rezonatni modovi.



Sl.2.4. Antena u obliku leptir mašne

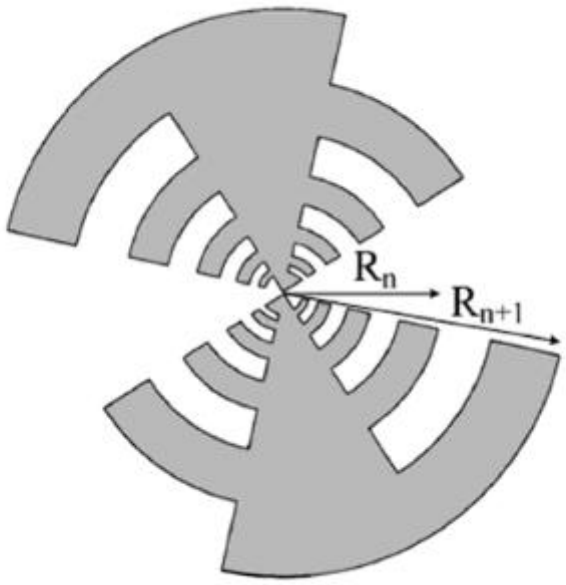
Antena u obliku dijamanta je još jedan 2D primjer dvostožaste antene. Antena je napravljena kao i antena u obluku leptir mašne samo što su trokuti suprotno okrenuti, linija napajanja je smještena između njih kao što je prikazano na slici 2.5.



Sl.2.5. Antena u obliku dijamanta

2.3. Logaritamsko-periodična antena

Geometrija logaritamsko-periodičkih antena se bazira na osnovnoj ćeliji koja se ponavlja tako da je svaka iduća ćelija veća od prethodne prema faktoru skaliranja. Antena ima karakteristike koje se periodično ponavljaju kao logaritamska funkcija frekvencije (po čemu je i dobila ime). Prvi model ove antene je konstruirao Du Hamel, a prikazan je na slici 2.6.



Sl.2.6. DuHamelova logaritamsko-periodična antena

Da bi antena imala rastući faktor elemenata sa konstantom ρ treba biti zadovoljen sljedeći uvjet:

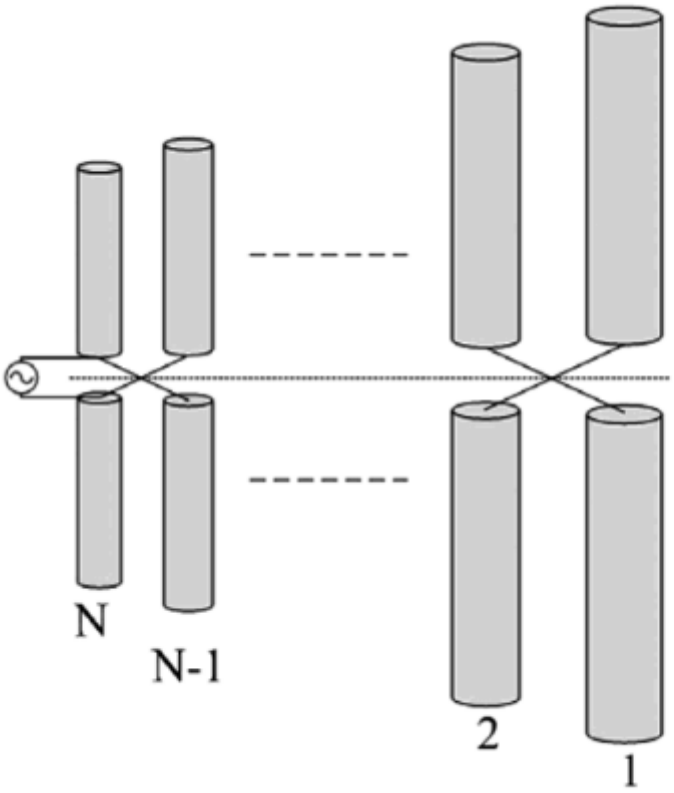
$$\rho = \frac{R_{n+1}}{R_n} \tag{2-10}$$

Prema tome faktor je $K = \rho^m$, $m = \pm 1, \pm 2$ ... Tako da antene predstavljaju ista svojstva na početnoj frekvenciji f_0 i maksimalnoj frekvenciji f_m:

$$\log f_m = m \log \rho + \log f_0 \tag{2-11}$$

Zračenje antene ima maksimum u smjeru okomitom na ravninu antene, a antena je linearno polarizirana u smjeru zubova antene. Još jedan primjer logaritamsko-periodičnih antena koje koriste dipole postavljene po veličini je prikazana na slici 2.7. Sve dimenzije dipola imaju rastući

faktor kao i razmaci između elemenata. U praksi, određivanje rastućih promjera elemenata je kompliciranо, pa oni ostaju konstantni.



Sl.2.7. Logaritamsko-periodična antena sa N dipola

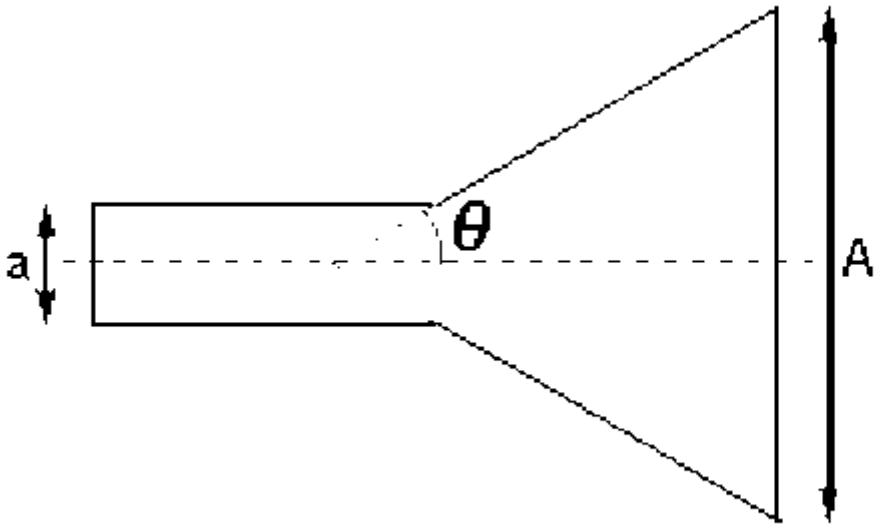
Antena se napaja kroz najmanji dipol. Za optimalno korištenje antene svaki dipol mora biti napajan sa razlikom u fazi od 180° u odnosu na fazu susjednog dipola. Dipoli koji su veći od razonantnog dipola se ponašaju kao reflektori, a oni koji su manji kao usmjerivači. Dio antene koji je u rezonanciji na određenoj frekvenciji se naziva aktivni dio. On se miče kroz antenu u radnom opsegu. Centar faze se mijenja sa frekvencijom što uzrokuje raspršenje signala pa se ovaj tip antene manje koristi za UWB. Širina pojasa *B* se računa kao

$$B = \frac{f_h}{f_l} \tag{2-12}$$

Gdje je f_h najviša frekvencija u širini pojasa, a f_l najniža.

2.4. Lijevak antena

Lijevak antena se sastoji od dva dijela: pravokutnog (kao što je prikazano na slici 2.8.) ili cilindričnog metalnog dijela koji se ponašaju kao usmjerivači vala i koji su zatvoreni na jednom kraju, a na drugom kraju su spojeni sa stožastim ili piramidalnim lijevkom. Linija napajanja se nalazi na zatvorenom pravokutnom dijelu koji usmjerava zračenje. Valovi tada zrače iz lijevka kao tanka zraka.



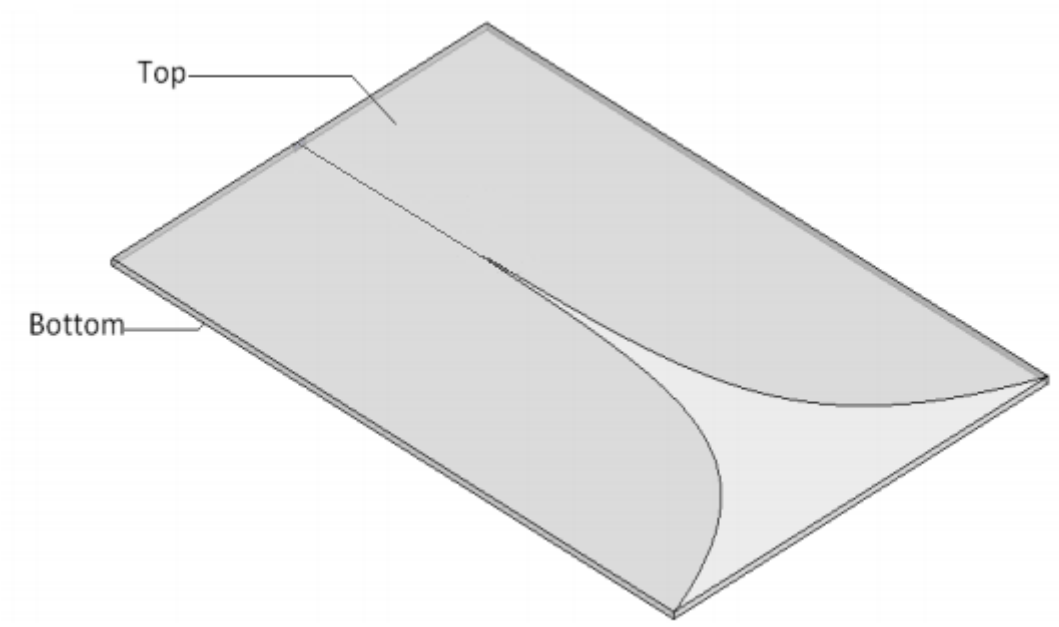
Sl.2.8. Lijevak antena

Pojačanje antene *G* se računa:

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} e_A \tag{2-13}$$

Gdje je *A* širina otvora trube, λ valna duljina, a e_A je efektivnost otvora i obično je između 0.0 i 1.0, *a* je širina zatvorenog pravokutnog dijela, a θ je kut vanjskog brida lijevka.

I za lijevak antenu također postoje 2D izvedbe od kojih je najpoznatija vivaldi antena koja je prikazana na slici 2.9. Teoretski ona omogućava beskonačan opseg, ali u praksi je opseg ograničen veličinom antene, načinom izrade antene i načinom napajanja.



Sl. 2.9. Vivaldi antena napravljena na FR-4 substratu

Ovaj tip antene daje dobru linearnost faze i nizak nivo izobličenja u radnom opsegu. Latice antene određuju oblik antene i njene dimenzije. Također služe kako bi kontrolirale različite rezonantne frekvencije koje definiraju širokopojasni odaziv antene. Širina pojasa se definira promjenom radijusa zakrivljenog djela metalnih djelova. Valna duljina se računa kao:

$$\lambda = \frac{c}{f_l \sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2-14}$$

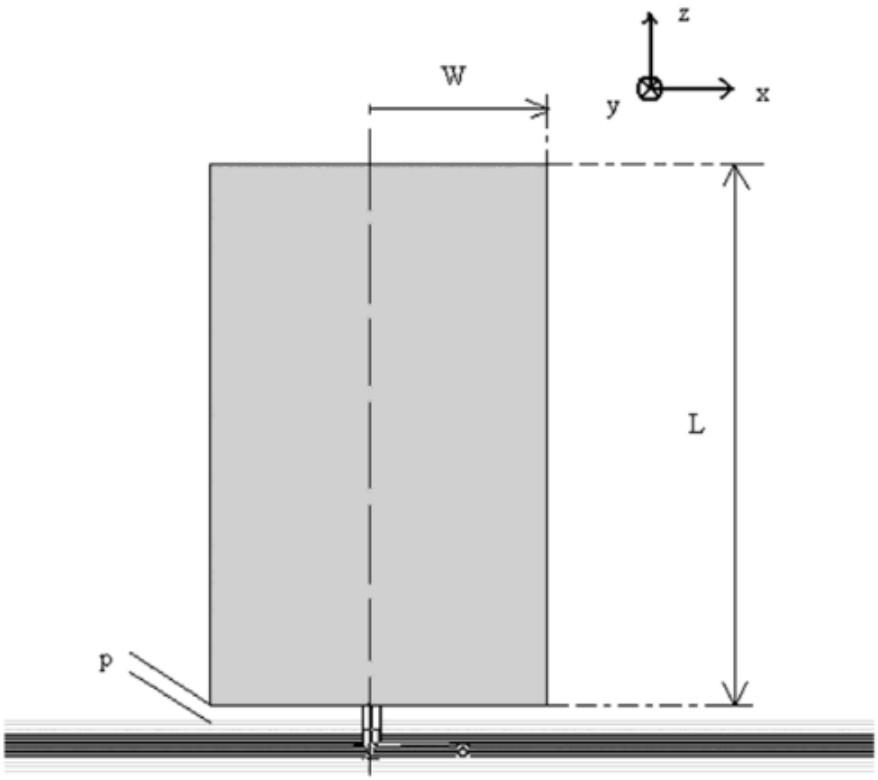
Gdje je c brzina svjetlosti, f_l najniža frekvencija i ε_r je relativna dielektrična konstanta substrata.

2.5. Antene izvedene iz rezonantnih

U prethodnim potpoglavljima radilo se o izvedbama UWB antena koje su bile izvedene iz ne-rezonantnih antena. To su bile izvedbe antena koje su bile frekvencijsko-neovisne kao što je antena u obliku leptir-mašne koja je izvedena iz dvostožaste antene ili vivaldi antena, koja je izvedena iz trubaste antene. U nastavku se radi o rezonantnim antenama koje su promjenjene u UWB monopole.

2.5.1. 3D monopoli

3D monopoli se sastoje od elementa koji zrači (obično metalne plohe) koji je okomit na uzemljenu plohu. Najjednostavniji od njih je linearni monopol koji ima jedan element koji zrači valnom duljinom λ/4 koji je okomit na uzemljenu plohu. Ovakva rezonantna antena nije pogodna za UWB i širokopojasnu upotrebu. Takva izvedba antene se naziva planarna monopolna antena (PMA) iznad uzemeljene plohe ili jednostavnije samo planarni monopol i nalazi se na slici 2.10.



Sl. 2.10. Planarna pravokutna monopolna antena

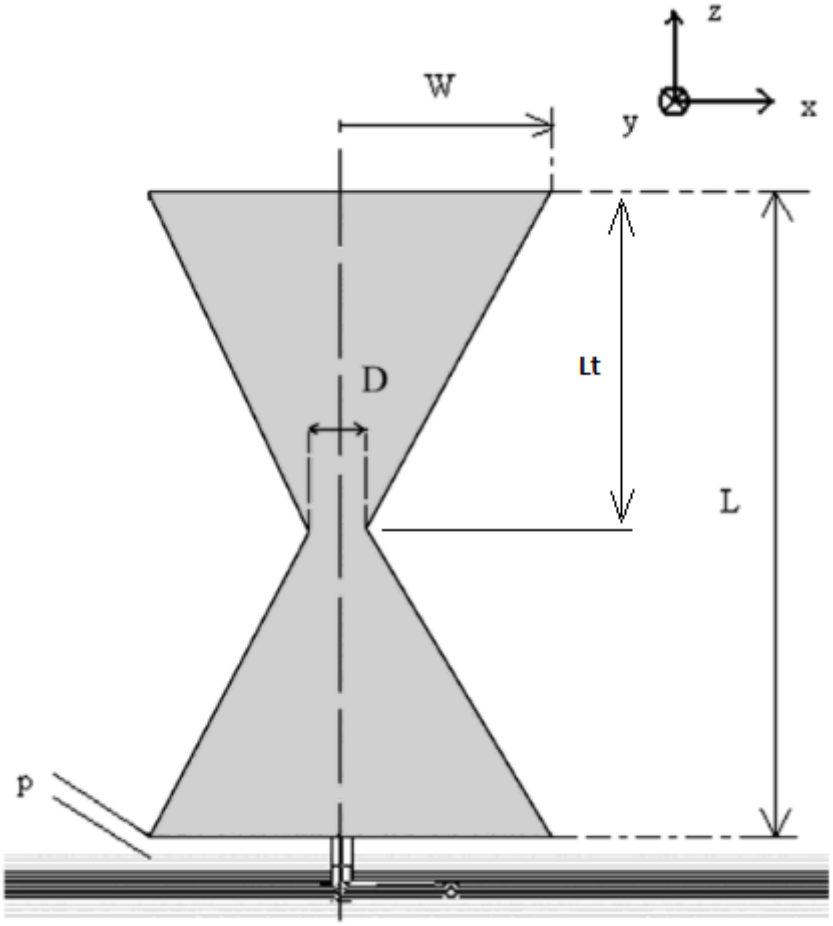
Najniža frekvencija f_l se računa kao:

$$f_l = \frac{7.2}{\left(L+\frac{2W}{\pi}+p\right)} \tag{2-15}$$

Gdje je *L* duljina, *2W* širina pravokutnog monopola i *p* je razmak između uzemljene plohe i samog monopola.

Kao svi ostali monopoli, 3D monopoli ostvaruju dobru linearnost faze, vrlo visoku učinkovitost i vrlo velike širine pojasa. Cijena proizvodnje im je vrlo niska, a uzorak zračenja im je ne usmjeren. Jedan od načina povećavanja širine pojasa da bi on odgovarao UWB specifikacijama

je testiranje različitih Euklidovih oblika. Prvi proučavani oblik je trokutasti monopol. Njegova glavna prednost je da se može spojiti direktno na napajanje bez kratkog spajanja na uzemljenu plohu kao proširenja baze monopola. Najzastupljenija antena planarnih monopola Euklidijevog oblika je kvadratna antena. Jedna od varijanti je monopol u obliku leptir-mašne koji ima širinu pojasa sličan kao i kvadratna antena s time da je najniža frekvencija u pojasu smanjena, a električni put struja koje kruže oko vanjskog ruba antene je povećan.



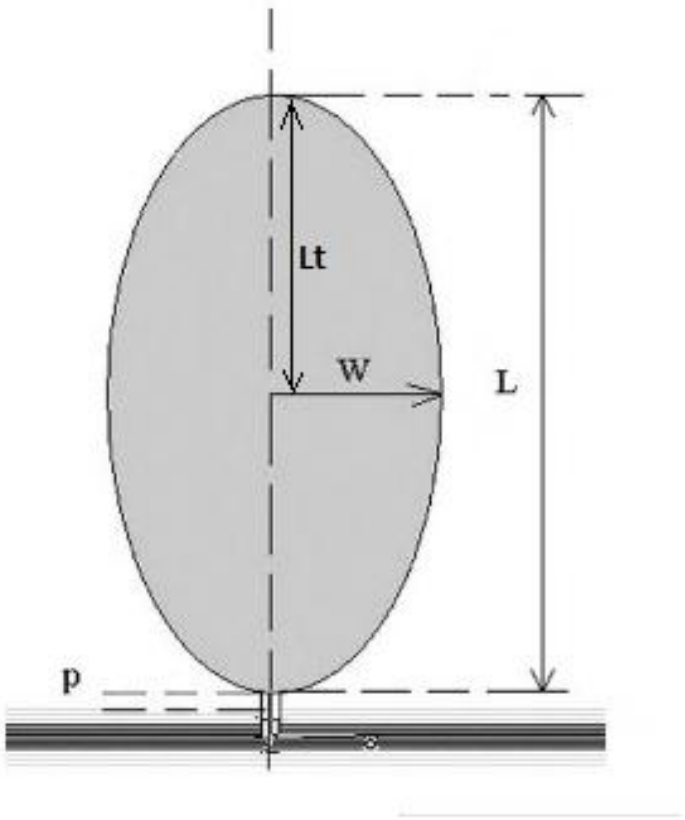
Sl. 2.11. Monopolna antena u obliku leptir-mašne

Najniža frekvencija se računa kao:

$$f_l = \frac{7.2}{(L_t + r + p)k} \tag{2-16}$$

Gdje je L_t visina jednog trokuta, r je radijus ekvivalentnog cilindričnog monopola koji se računa kao: $r = \frac{2W}{4\pi}$, p je razmak između monopola i uzemljene plohe, a k je konstanta koja se računa pomoću efektivne dielektrične konstante $k = \frac{2}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}}$.

Od svih Euklidovih oblika najveće širine pojasa daju kružni i eliptični oblici. Neki smatraju da se uzorak zračenja eliptičnih antena pogoršava više od pravokutnih monopola. Ipak, pri usporedbi se čini da postoji veza između stabilnosti uzorka zračenja i impedancije pojasa.



Sl 2.12. Eliptični (kružni) monopol

Radijus r se računa kao:

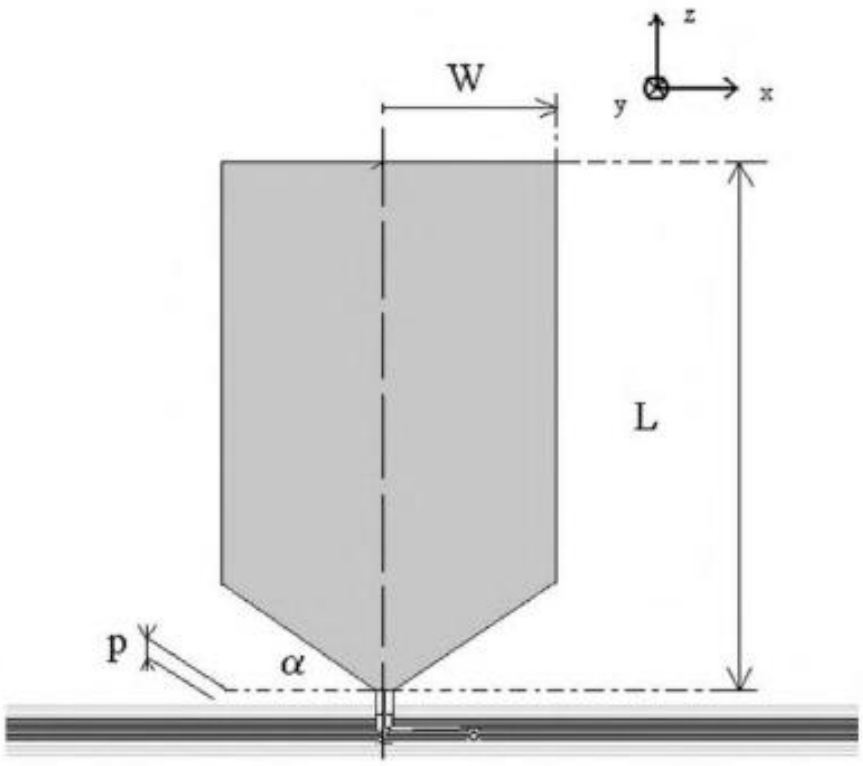
$$r = W L_t \pi \tag{2-17}$$

Gdje je W polumjer širine elipse, a L_t polumjer duljine elipse. Rezonantna frekvencija se računa kao:

$$f = \frac{c}{\lambda} \tag{2-18}$$

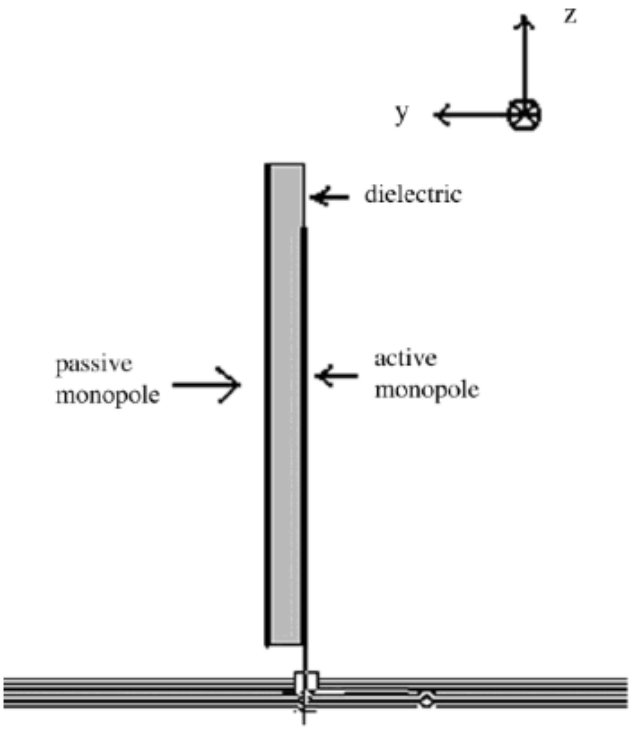
Gdje je c brzina svjetlosti, a λ valna duljina.

Još jedan način proučavanja monopola je da se na već proučenim oblicima rade dodatne izmjene. Na primjer kada se profil nižeg ruba mijenja da bi se povećala širina pojasa tako da se napravi kosi usjek ili rez kao što je prikazano na slici 2.13.



Sl. 2.13. Monopol sa odsječenim rubovima

Još jedna mogućnost proučavanja je korištenje parazitskih elemenata. To su elementi koji nisu spojeni na napajanje (pasivni elementi) i smješteni su blizu elemanata koji su spojeni na napajanje kao što je prikazano na slici 2.14.



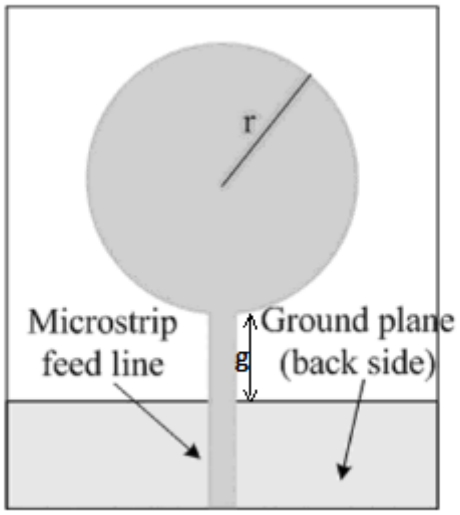
Sl. 2.14. Monopol sa pasivnim elementima

Pasivni elementi moraju imati sličnu razonantnu frekvenciju kao i aktivni elementi da bi postigli djelomično preklapanje pojasa. Ako se radi o anteni koja je printana na tiskanu pločicu, jedna od metoda je da se se monopoli naslažu u paralelnim slojevima. Ali ako monopoli imaju sličnu visinu iznad uzemljene plohe, frekvencija za koju je vertikalna dužina λ/4 će biti filtrirana iz pojasa. Da bi se spriječilo filtriranje neke frekvencije, monopoli moraju biti duži jedan od drugoga. Asimetrična točka napajanja se također koristi kako bi se poboljšala širina pojasa tako što se točka napajanja miče po horizontalnoj osi tako da se više ne nalazi na osi simetrije. Ova metoda ne uzrokuje dodatne načine pobude na nižim frekvencijama. Uzorak zračenja tada gubi svojstvo neusmjerenosti antene budići da se offset nalazi na horizontalnoj ravnini. Dupla točka napajanja se temelji na tome da se koriste dvije točke napajanja umjesto uobičajene jedne. Dvije točke napajanja su su simetrično postavljene u odnosu na središte antene. Kružna polarizacija je smanjena jer ovaj sustav pojačava vertikalnu pobudu.

2.5.2. 2D rezonantne antene

2D rezonantne antene imaju najčešće izvedbe kao cijeli 2D monopoli koji se sastoje od metalne „zakrpe“ (engl. *Patch*) na jednoj strani tiskane pločice i uzemljene plohe koja je paralelna sa

njom i koja se obično nalazi sa druge strane pločice. Napajanje se vrši kroz mikrotrakastu liniju koja ima istu uzemljenu plohu kao i monopol. Kada su i monopol i uzemljena ploha na istoj strani pločice, napajanje se odvija koplanarnim valovodom. Jedan od primjera ovakve antene je kružni monopol koji je otisnut na tiskanu pločicu, što je prikazano na slici 2.15.



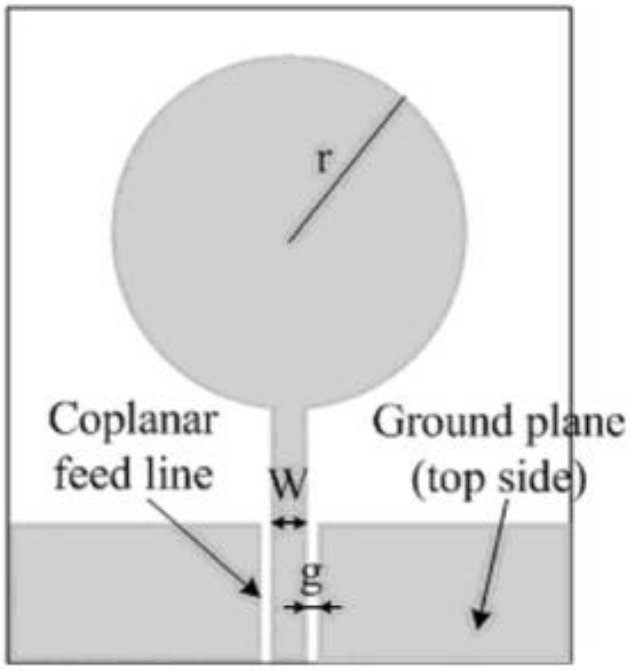
Sl. 2.15. Kružna monopol antena printana na tiskanoj pločici

Najniža frekvencija se računa:

$$f_l = \frac{7.2}{2.25r + g} \tag{2-19}$$

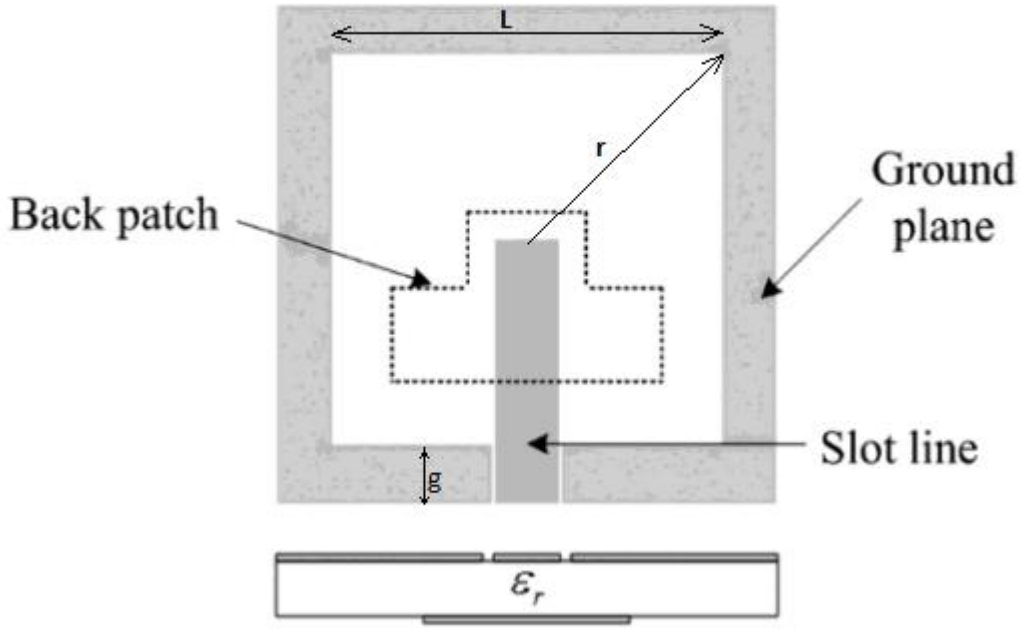
Gdje je r radijus kružnog monopola, a g je razmak između kružnog monopola i uzemljene plohe.

Isto tako na slici 2.16. je prikazana izvedba kružne monopolne antene sa koplanarnim valovodom koja daje širinu pojasa na -10dB od 3.27 do 12 GHz. Dimenzije monopola (kruga) kontroliraju prvu rezonantnu frekvencjiu i niže frekvencije pojasa. Uzorak zračenja je neusmjeren.



Sl. 2.16. Kružna monopol antena printana na tiskanoj pločici sa koplanarnim valovodom

Antene sa prorezom (engl. *Slot antennas*) su zapravo komplementarne verzije cijelih 2D monopola. Sastoje se od otvora na metalnoj strani tiskane pločice koji može biti pravokutnog, trokutastog, kružnog i sličnih oblika. Napaja se kroz koplanarni valovod. Ovakve antene osiguravaju velike širine pojasa ali ipak ne pokrivaju cijeli UWB pojas (3.1 – 10.6 GHz). Korisna karakteristika ovih antena je ta da one ograničavaju električno polje u dielektriku što je nužno kod uređaja koji zahtjevaju da antena bude integrirana sa ostatkom strujnog kruga. Na slici 2.17. je prikazana četvrtasta antena sa prorezom i zakrpom na poleđini antene. Mijenjanjem položaja te zakrpe se može kontrolirati širina pojasa.



Sl. 2.17. Četvrtasta antena sa prorezom i komplanarnim valovodom

Najniža frekvencija se računa kao:

$$f_l = \frac{7.2}{(L+r+p)k} \tag{2-20}$$

Gdje je L širina kvadratnog monopola, r je radijus opisane kružnice oko kvadrata, p je duljina linije napajanja a g je razmak između kvadratnog monopola i uzemljene plohe.

3.KRUŽNA MONOPOLNA ANTENA

3.1. Kružna monopolna antena bez DGS-a

Kružna monopolna antena je dobar kandidat za uporabu u UWB komunikaciji jer je jednostavne strukture za analizu, lako se izrađuje i ima ultraširokopojasne karakteristike. Kod tiskanih antena, poželjna je tanja podloga sa malom dielektričnom konstantom da bi povećala zračenje antene. Impedancija širine pojasa se također povećava što je podloga tanja i dielektrična konstanta manja. Niža frekvencija f_L koja je povezana sa valnom duljinom λ i brzinom svjetlosti u vakuumu c je:

$$f_L = \frac{c}{\lambda}\ GHz \tag{3-1}$$

Za cilindričnu monopolnu antenu niža frekvencija je:

$$f_L = \frac{c}{\lambda} = \frac{7{,}2}{L+a+g} GHz \tag{3-2}$$

gdje je L visina monopola, a ekvivalentni radijus cilindričnog monopola i g je razmak između uzemljene plohe i plohe koja zrači i izraženi su u centimetrima. Za kružnu monopolnu antenu ekvivalentne vrijednosti su L=2R i a=R/4. Tada niža frekvencija iznosi

$$f_L = \frac{7{,}2}{2.25R+g} GHz \tag{3-3}$$

a uzimajući u obzir i efektivnu permitivnost podloge koja također utječe na frekvenciju antene

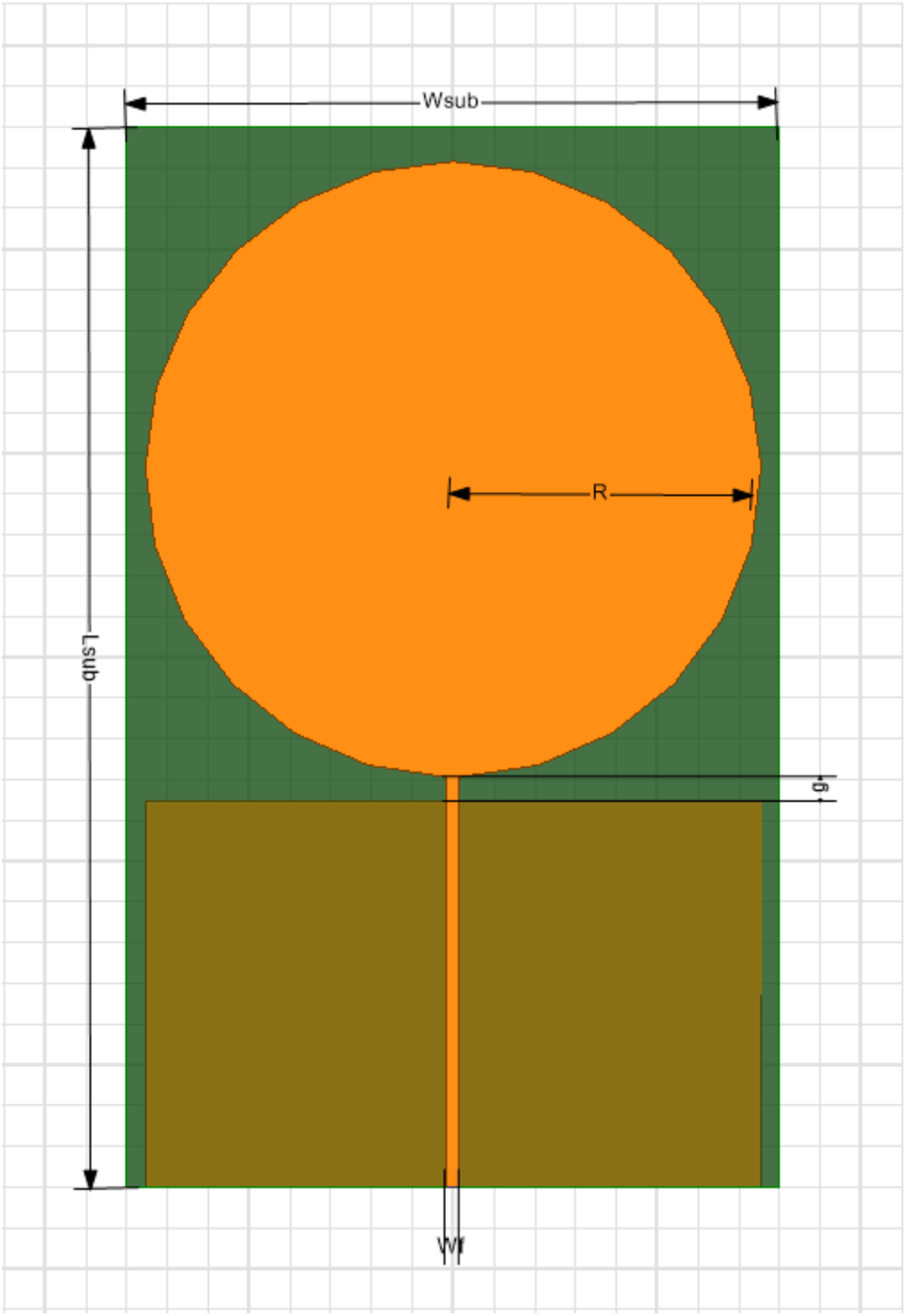
$$f_L = \frac{7{,}2}{(2{,}25R+g)\sqrt{\varepsilon_{eff}}} GHz \tag{3-4}$$

gdje je R polumjer kruga u centimetrima, g razmak između uzemljene plohe i kruga u centimetrima. Efektivna permitivnost se računa

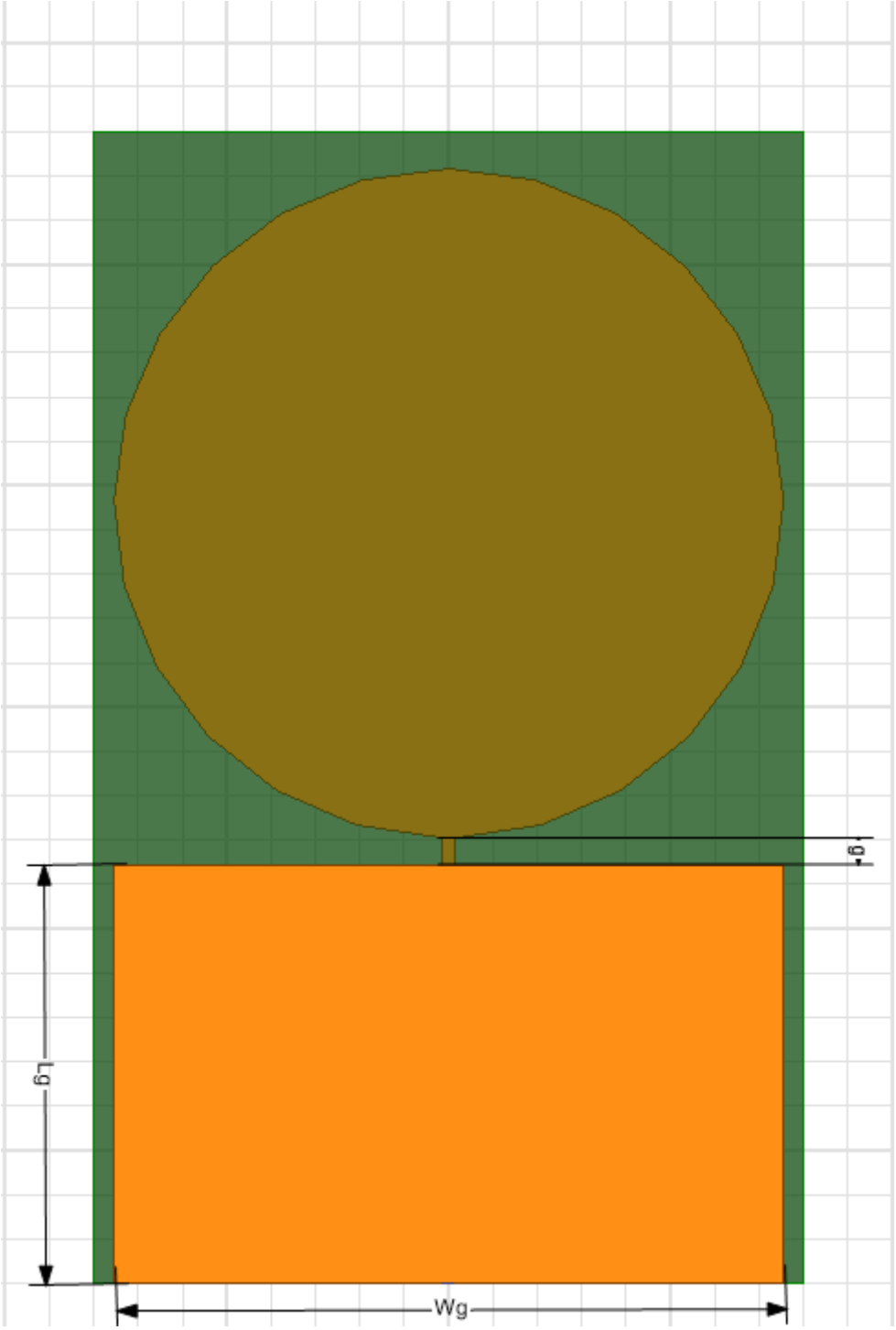
$$\varepsilon_{eff} = \frac{(\varepsilon_r+1)}{2} \tag{3-5}$$

gdje je ε_r relativna permitivnost podloge.

Izgled tiskane monopolne antene sa parametrima prikazan je na slikama 3.1. i 3.2



Sl. 3.1. Kružna monopolna antena (prednja strana)



Sl. 3.2. Kružna monopolna antena (stražnja strana)

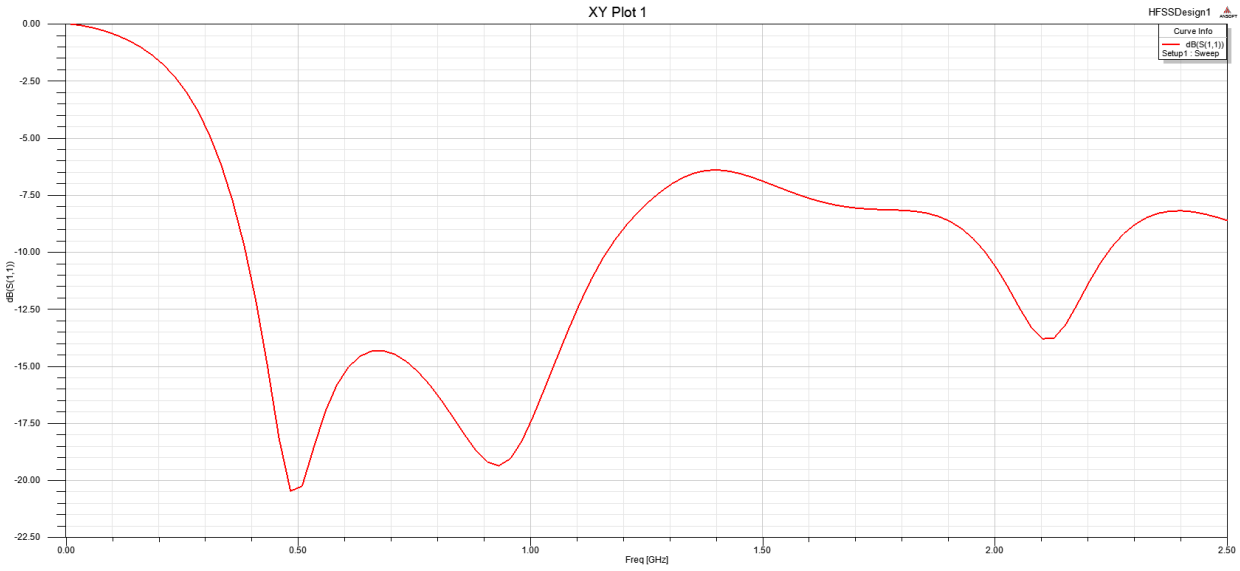
Antena ima polumjer *R*, razmak između uzemljene plohe i kružnog monopola *g*, te dimenzije uzemljene plohe: širinu *Wg* i duljinu *Lg*. Kružna antena je smještena na gornjem dijelu pločice a uzemljena ploha na drugoj strani. Pločica (podloga) je napravljena od materijala FR4 širine kojemu je relativna permitivnost ε_r=4.4 i debljina 1.55mm i tankog sloja bakra debljine 35μm sa obje strane podloge. Antena se napaja kroz 50Ω mikrotrakastu liniju napajanja širine W_f. Duljina linije napajanja je zbroj duljine uzemljene plohe L_g i razmaka između uzemljene plohe i

monopola *g*. Antena je dizajnirana i optimizirana korištenjem simulacijskog programa Ansoft HFSS. Da bi se postigao određeni UWB pojas, potrebno je optimizirati polumjer kružnog monopola. Razmak između uzemljene plohe se optimizira da bi se postigla željena impedancija pojasa. Dimenzije uzemljene plohe je također potrebno optimnizirati, a one utječu na S11 i uzorak zračenja kao i na rezonantnu frekvenciju i operativnu širinu pojasa. Korištenjem relacija (3-4) i (3-5) dobiveni su sljedeći rezultati koji su navedeni u tablici 3.1.

W_{sub}	160mm
L_{sub}	260mm
R	75,5mm
g	5,5mm
W_f	2,98mm
W_g	151mm
L_g	94,5mm

Tab. 3.1. Parametri kružne monopolne antene

Na slici 3.3 je prikazan S11 dijagram kružne monopolne antene koja se sastoji samo od monopola i cijele uzemljene plohe pravokutnog oblika. Kao što je vidljivo na dijagramu početna frekvencija prema kojoj se temeljio izračun radijusa kružnog monopola je u zadanom opsegu te je vidljivo da su pokrivena prva dva tražena opsega 450MHz-830MHz i 800-970MHz. Prvi opseg doseže vrijednost -20dB na 480 MHz, a drugi -19dB na 930 MHz. Treći traženi opseg 1800MHz-1900MHz u ovoj izvedbi antene nije pokriven i biti će potrebno raditi dodatne modifikacije uzemljene plohe kako bi antena pokrivala i treći opseg što je napravljeno u sljedećem potpoglavlju.



Sl 3.3. S11 dijagram kružne monopolne antene bez DGS-a

3.1. Kružna monopolna antena sa DGS-om

DGS (engl. *Defected Ground Structure*) je tehnika izbacivanja neželjene frekvencije u pojasu prorezima na monopolu ili na uzemljenoj plohi. Željena frekvencija može biti postignuta ubacivanjem proreza L oblika na uzemljenu plohu. Frekvencija koju želimo izbaciti iz pojasa dana je relacijom:

$$f_{DGS} = \frac{c}{4(L+\Delta l)\varepsilon_{eff}} GHz \tag{3-6}$$

Ukupna duljina proreza L oblika se računa:

$$L = (W_l + L_l) - \left(\frac{w_s + l_s}{2}\right) \tag{3-7}$$

Efektivna dielektrična konstanta se računa:

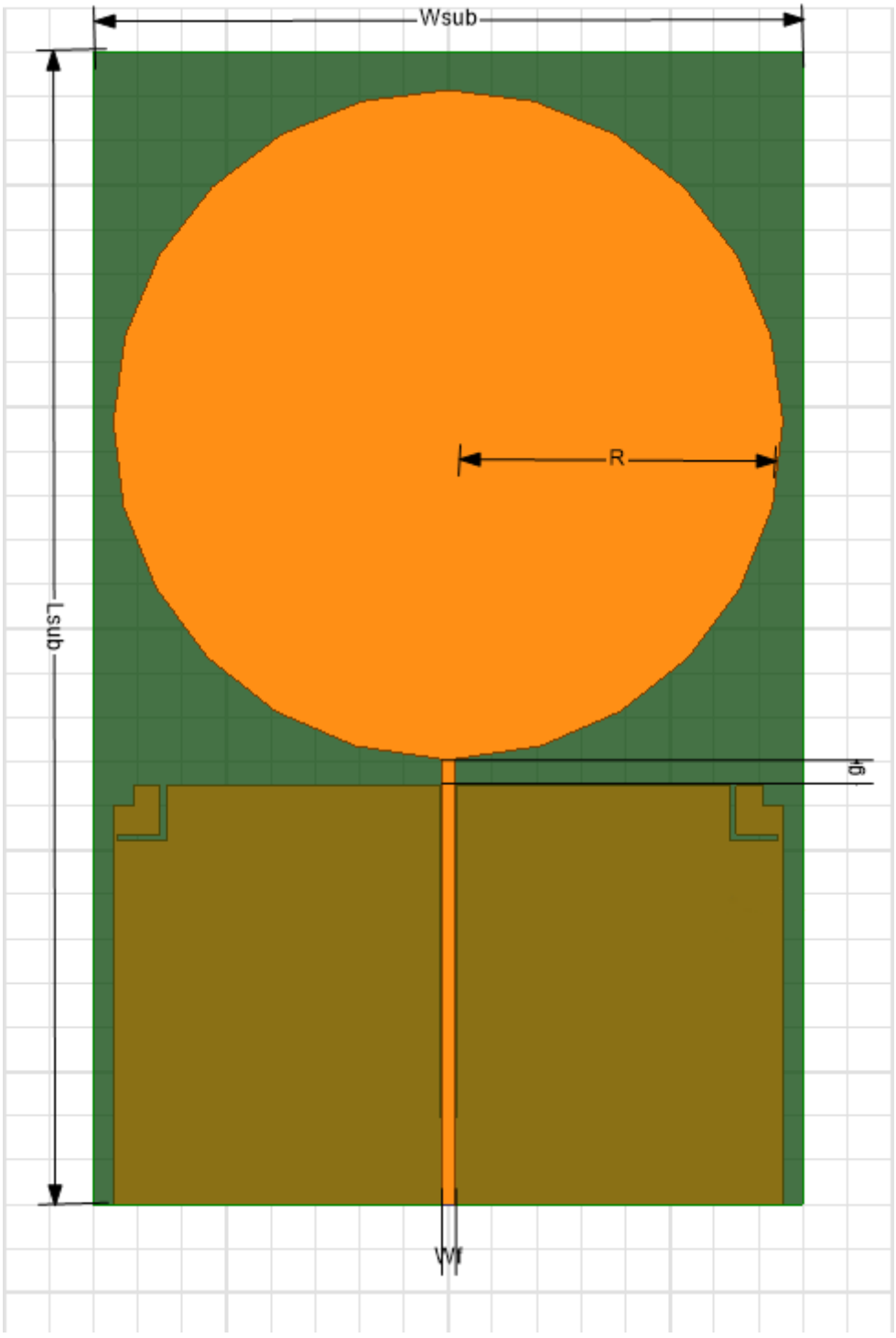
$$\varepsilon_{eff} = \frac{(\varepsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\varepsilon_r - 1)}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{1+\frac{12H}{W_g}}}\right) \tag{3-8}$$

Izraz Δl dan je relacijom:

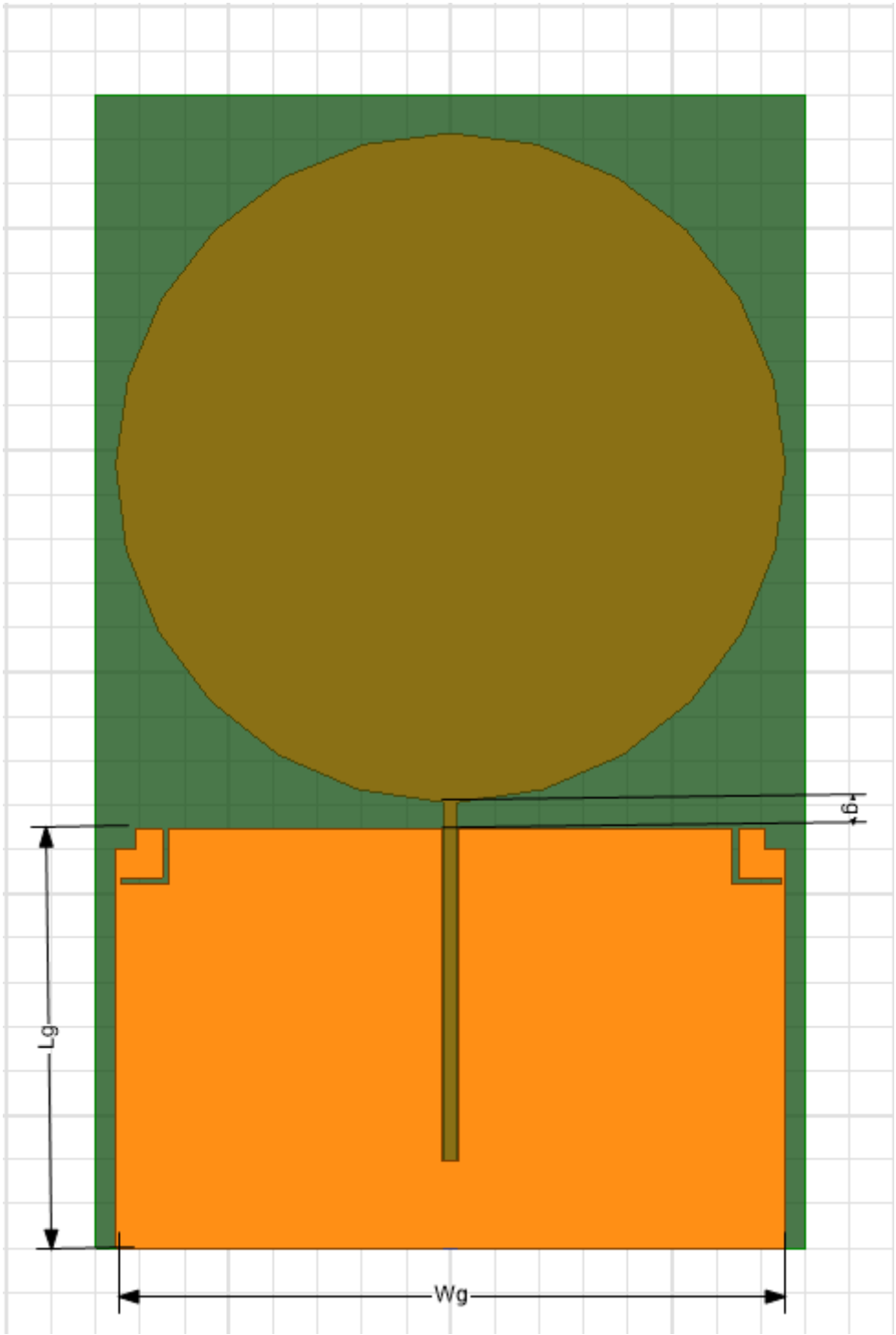
$$\Delta l = \frac{0{,}412H(\varepsilon_{eff}+0{,}3)\left(\frac{W_g}{H}+0{,}262\right)}{(\varepsilon_{eff}-0{,}258)\left(\frac{W_g}{H}+0{,}813\right)}cm \tag{3-9}$$

Gdje je c brzina svjetlosti u vakuumu, L ukupna duljina proreza L oblika, ε_{eff} i ε_r efektivna i relativna dielektrična konstanta, H debljina tiskane pločice (substrata) u centimetrima i W_g širina uzemljene plohe u centimetrima.

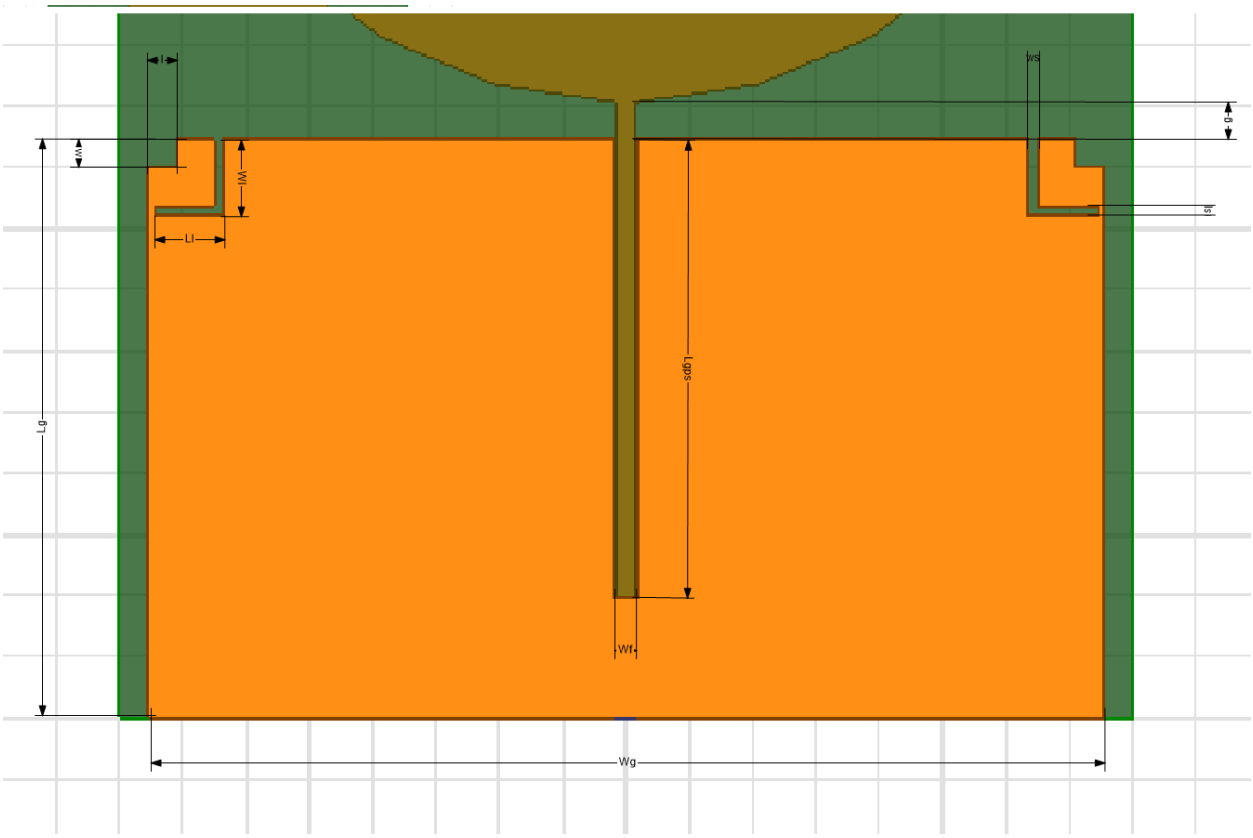
Izgled tiskane antene sa parametrima prikazan je na slikama 3.3 i 3.4. a izgled uzemljene plohe sa DGS-om na slici 3.5.



Sl. 3.3. Kružna monopolna antena sa DGS-om (prednja strana)



Sl. 3.4. Kružna monopolna antena sa DGS-om (stražnja strana)



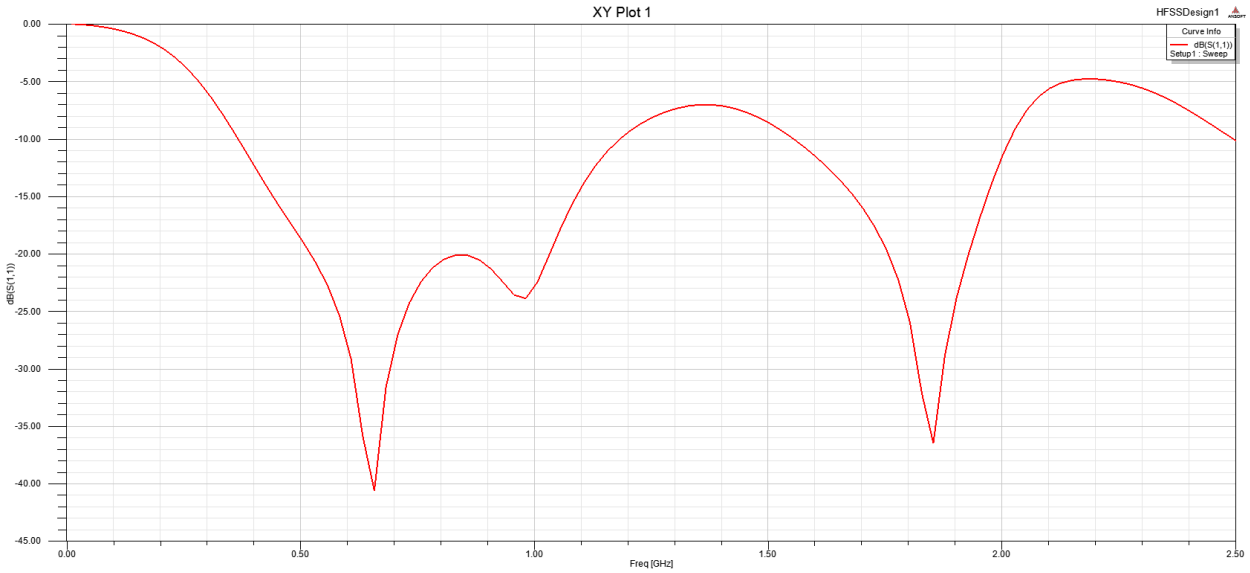
Sl. 3.5. Uzemljena ploha sa DGS-om

Antena je također simulirana na materijalu FR4, kojemu je relativna permitivnost ε_r=4.4 i debljina 1.55mm. Presvučena je tankim slojem bakra debljine 35μm sa obje strane podloge. Monopol se nalazi na prednjoj strani pločice, a na stražnloj je uzemljena ploha sa simetričnim prorezima L oblika na gornjoj strani i jednim pravokutnim prorezom na sredini uzemljene plohe. Rad antene ovisi o brojnim parametrima kao što su razmak između monopola i uzemljene plohe *g*, radijus kružnog monopola *R*, širina w_s i duljina l_s proreza L oblika, duljina proreza na sredini uzemljene plohe L_{gps}, ukupna širina W_s i ukupna duljina L_s proreza L oblika, širina *w* i duljina *l* simetričnog kvadratnog proreza. Korištenjem relacija (3-6) – (3-8) i dotatnim optimiziranjem parametara dobiveni su sljedeći rezultati koji su navedeni u tablici 3.2.

W_{sub}	160mm
L_{sub}	260mm
R	75,5mm
g	5,5mm
W_f	3,5mm
L_{gps}	75mm
W_g	151mm
L_g	94,5mm
w	4,5mm
l	4,5mm
W_l	12,5mm
L_l	9,5mm
w_s	1,5mm
l_s	1,5mm

Tab. 3.2. Parametri kružne monopolne antene sa DGS-om

Na slici 3.6 je prikazan S11 dijagram kružne monopolne antene sa DGS-om. Kako što je vidljivo na slici, prva dva opsega 450MHz-830MHz i 800MHz-970MHz su dobro pokrivena. Prvi opseg doseže vrijednost -40dB na 650MHz, a drugi -23dB na 950MHz. Korištenjem metode DGS-a na anteni iz prethonog potpoglavlja je postignuta pokrivenost i trećeg opsega 1800MHz-1900MHz koji ima vrijednost -36dB na 1850Mhz.



Sl. 3.6. S11 dijagram kružne monopolne antene sa DGS-om

4.LABORATORIJSKI MODEL ANTENE

4.1. Izrada laboratorijskog modela antene

Nakon simulacije, izrađen je laboratoriski model antene na pločici napravljenoj od materijala FR4 koja je presvučena tankim slojem bakra debljine 35µm. Dimenzije pločice su 160x260mm, a debljina joj je 1,55mm. Slika antene i uzemljene plohe je izvezena iz programa za simulaciju HFSS i isprintana na termofoliju u mjerilu 1:1. Zatim je postupkom preslikavanja zagrijavanjem preslikana na pločicu kao što je vidljivo na slici 4.1.



Sl. 4.1. Preslikana slika antene na pločici

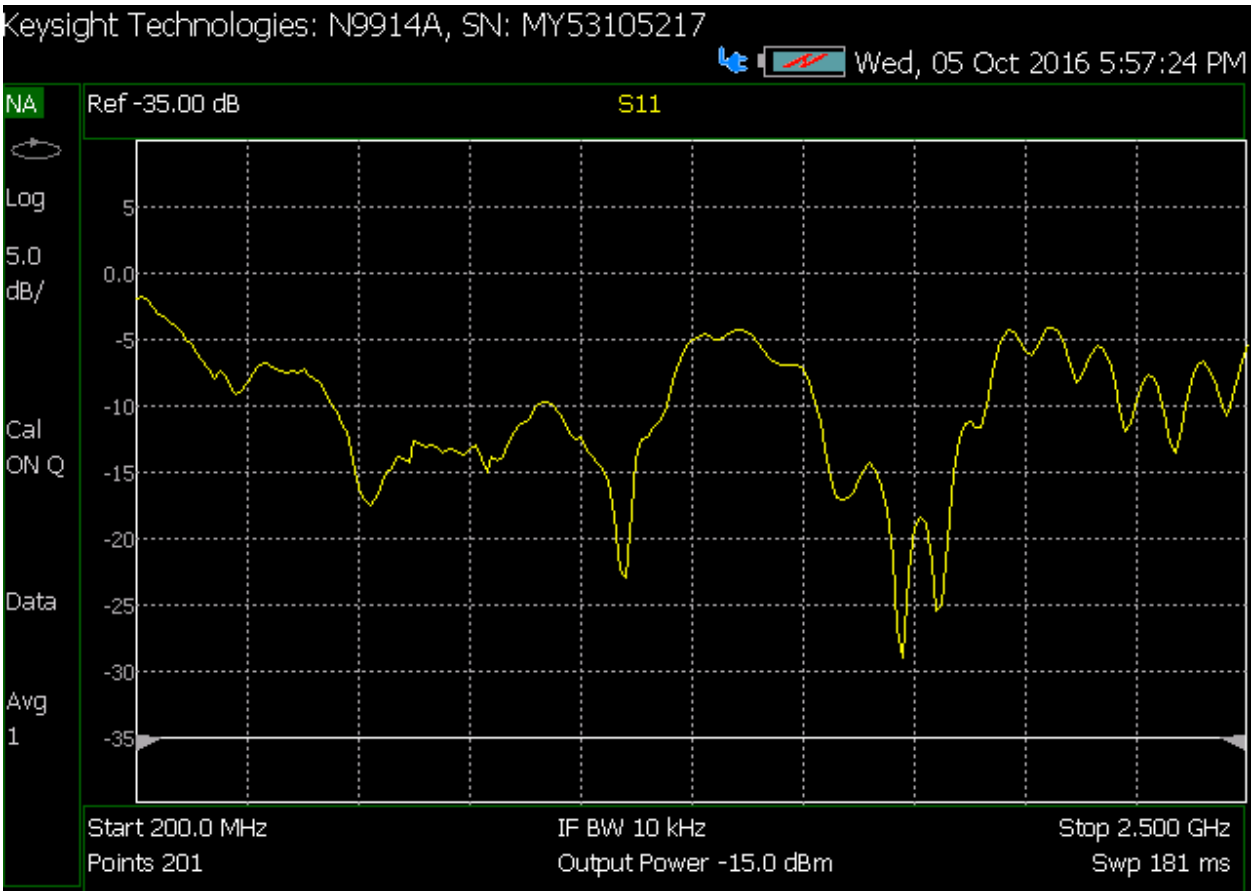
Nakon preslikavanja, pločicu se jetkalo u otopini solne kiseline i vodikovog peroksida kako bi se uklonio višak bakra koji nije pokriven tintom. Također je zalemljen SMA konektor na kraju linije napajanja i uzemljenoj plohi. Rezultat je vidljiv na slici 4.2.



Sl. 4.2. Antena poslje procesa jetkanja

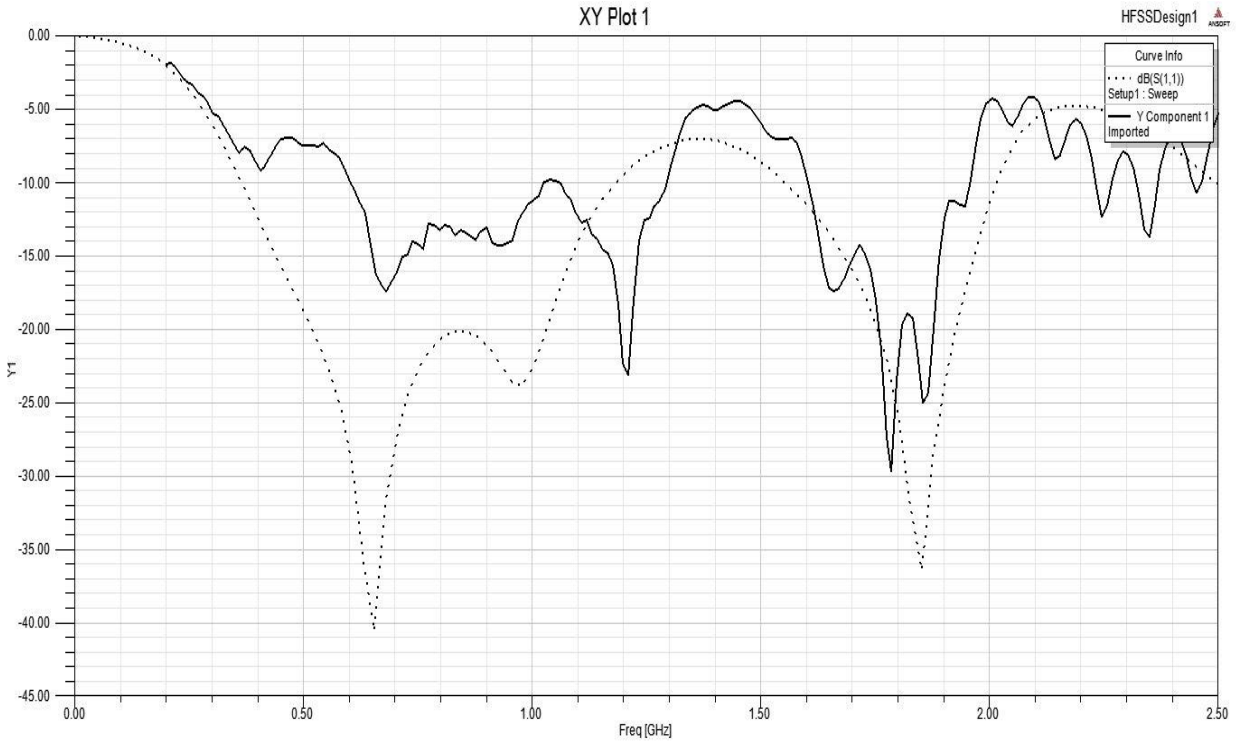
4.2. Mjerenje koeficijenta refleksije, ulazne imedancije i dijagrama zračenja antene

Mjerenje koeficijenta refleksije i ulazne impedancije izvršeno je na uređaju za RF analizu. Na slici 4.3. su prikazani rezultati mjerenja koeficijenta refleksije.



Sl. 4.3. Izmjereni S11 dijagram koeficijenta refleksije

Na slici 4.4. prikazani su rezultati mjerenja i simulacije. Punom linijom prikazani su izmjereni rezultati, a isprekidanom linjom su prikazani simulirani rezultati koeficijenta refleksije. Vidljivo sa slike, prvi opseg je pokriven od 614MHz a najbolji rezultat od -17dB postiže na frekvenciji od 680MHz. U drugom opsegu najbolji rezultat od -14dB postignut je na frekvenciji od 940MHz. U trećem opsegu najbolji rezultat od -25dB je postignut na frekvenciji od 1850MHz.



Sl. 4.4. Simulirani i izmjereni S11 dijagram koeficijenta refleksije

Prema izmjerenim S11 vrijednostima, ulazna imedancija se računala u ovisnosti o frekvenciji 680 MHz, 940 MHz i 1850 MHz. Odnos ulazne impedancije i S11:

$$S11 = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \tag{4-1}$$

Gdje je Z_0 impedancija izvora sa predpostavljenom vrijednosti 50Ω. Prema relaciji (4-1) ulazna impedancija je:

$$Z_{in} = Z_0 \left(\frac{1+S11}{1-S11}\right) \tag{4-2}$$

Kada se S11 predstavi kompleksnim brojem $R+jX$ dobivaju se relacije za izračun realne i imaginarne komponente ulazne impedancije:

$$Z_{in}(Re) = Z_0 \left(\frac{1-R^2-X^2}{(1-R)^2+X^2}\right) \tag{4-3}$$

$$Z_{in}(Im) = Z_0 \left(\frac{j\,2X}{(1-R)^2+X^2}\right) \tag{4-4}$$

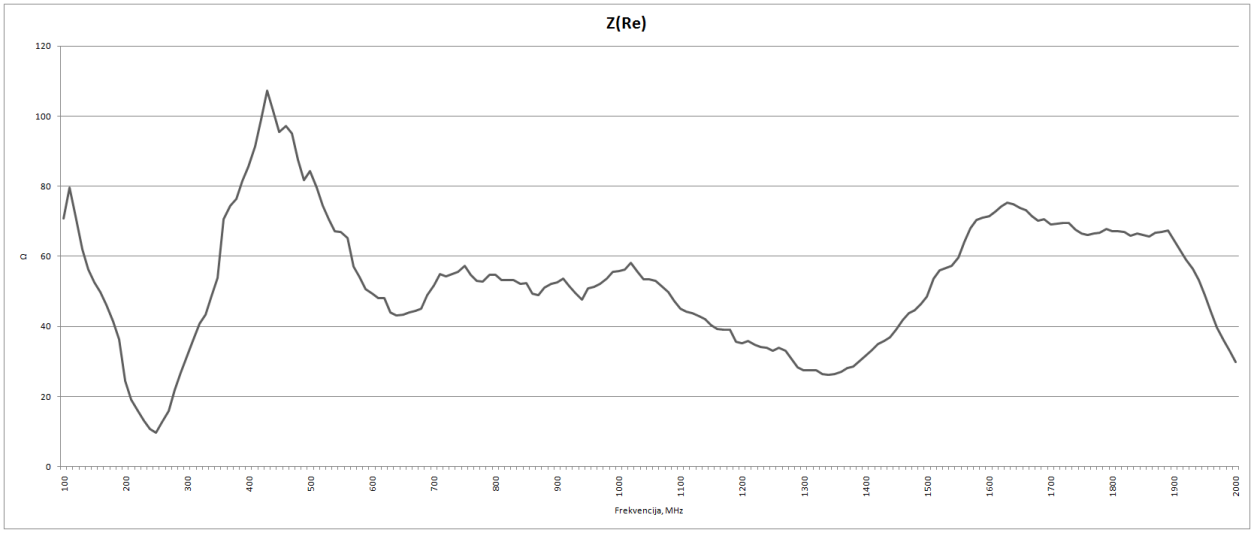
Na frekvenciji 680MHz izmjerene vrijednosti S11 iznose Re=-0,0527 i Im=-0,0817, na frekvenciji 940MHz iznose Re=-0,0238 i Im=0,0261, a na frekvenciji 1850MHz iznose Re=0,1389 i Im=0,0394. Korištenjem relacija (4-3) i (4-4) izračunate su sljedeće vrijednosti:

Z_{in}(680MHz)= 45,02 - j6,98 Ω

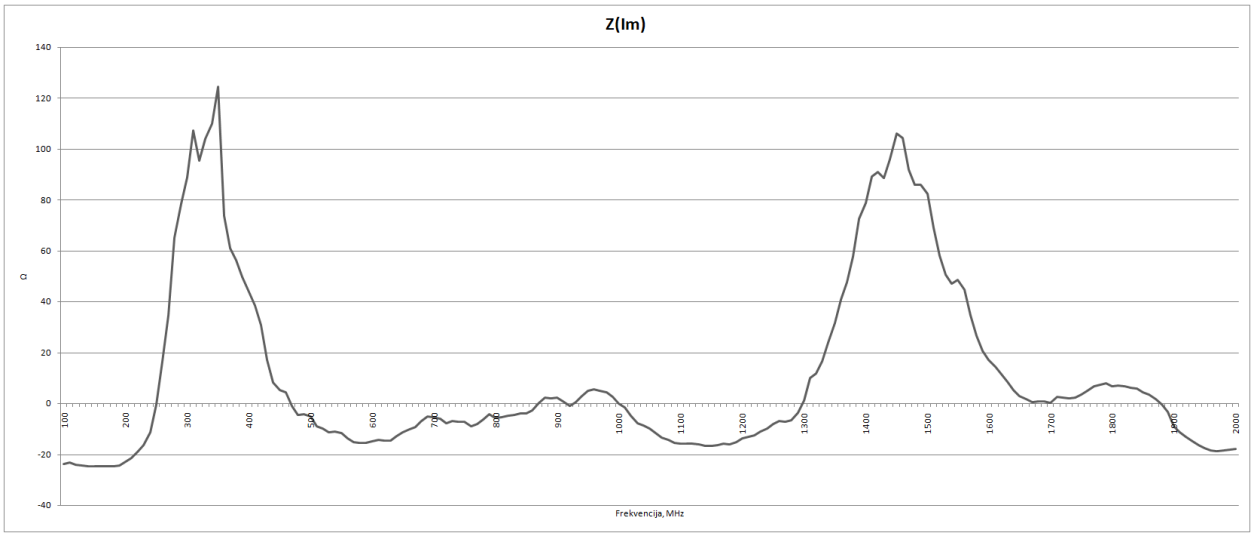
Z_{in}(940MHz)= 47,68 + j2,75 Ω

Z_{in}(1850MHz)= 66,11+j 4,27 Ω

Ovisnosti realne i imaginarne komponente ulazne impedancije prikazane su na slikama 4.5. i 4.6.

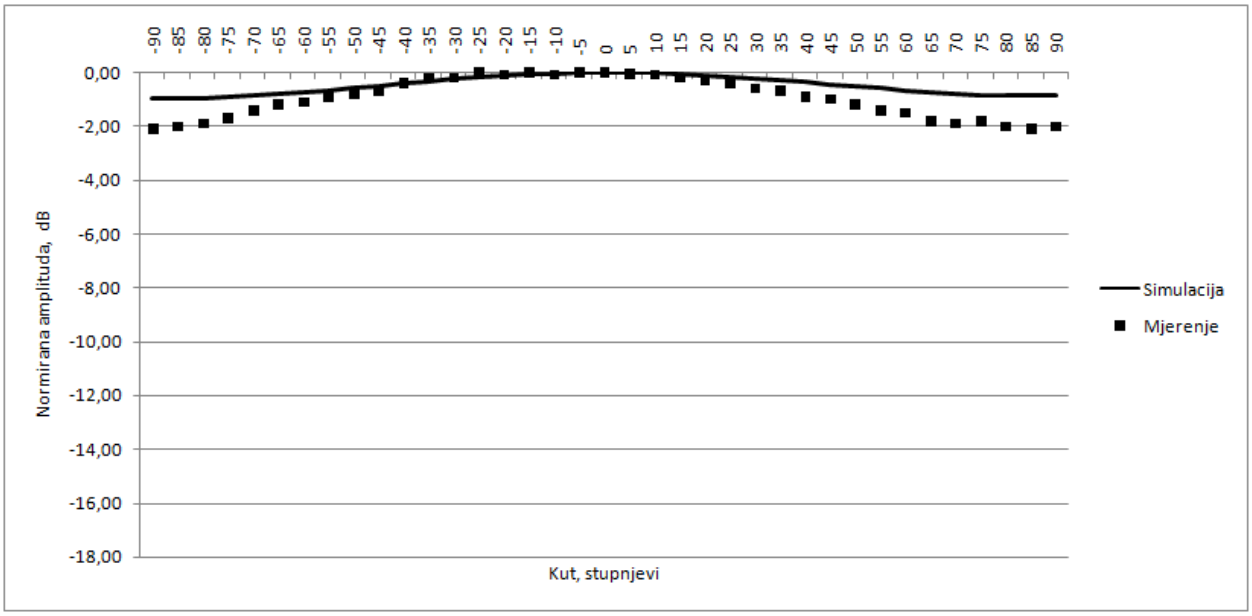


Sl. 4.5. Ovisnost realne komponente ulazne impedancije o frekvenciji

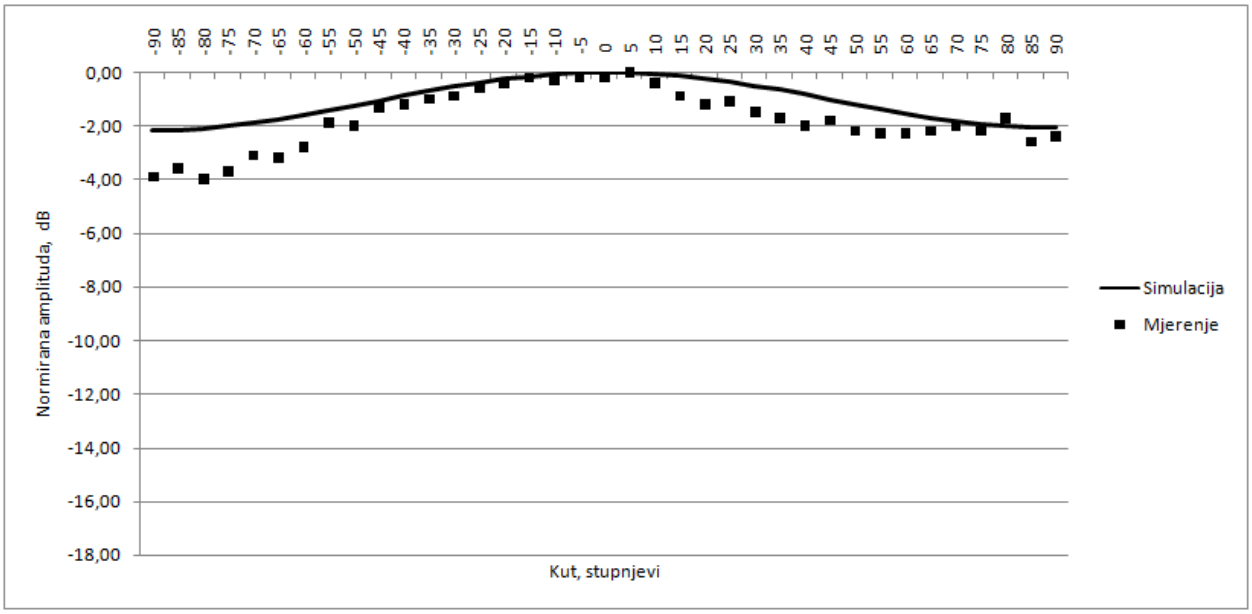


Sl. 4.6. Ovisnost imaginarne komponente ulazne impedancije o frekvenciji

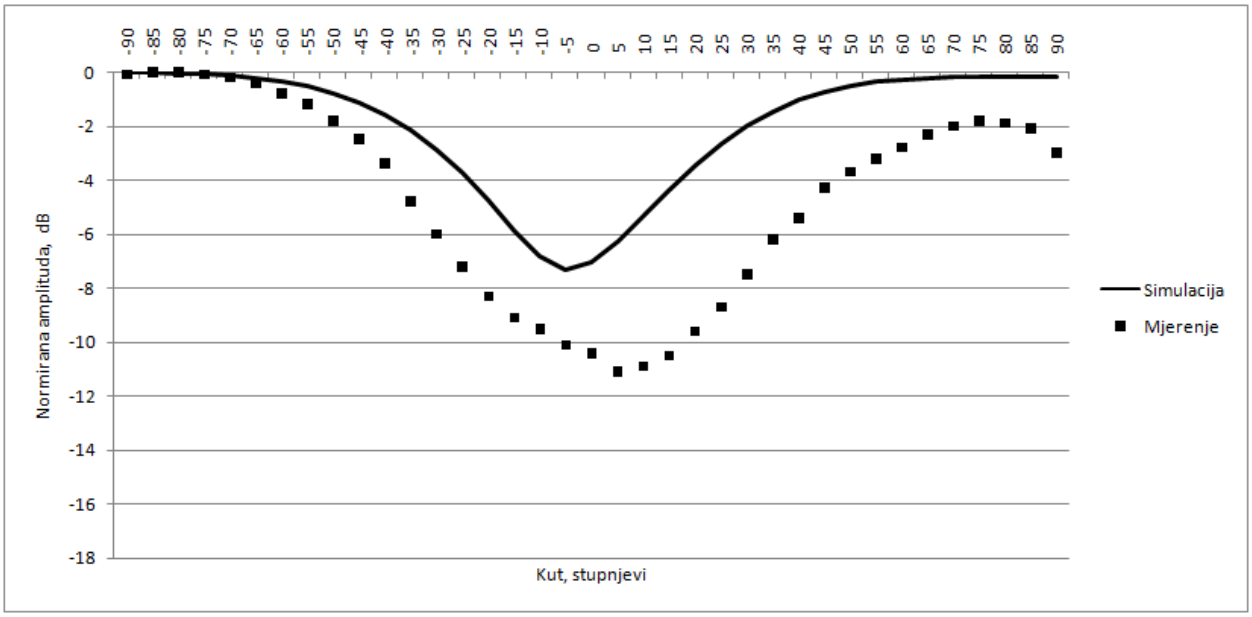
Na temelju dobivenih rezultata mjerenja S11 koeficijenta refleksije napravljeno je mjerenje dijagrama zračenja antene na frekvencijama 680MHz, 940MHz i 1830MHz. Na navedenim frekvencijama mjerenja su izvršena u horizontalnom i vertikalnom položaju antene od -90° do 90° u koracima po 5°. Rezultati mjerenja i simulacije dijagrama zračenja su normirani i prikazani su na slikama 4.7.- 4.12.



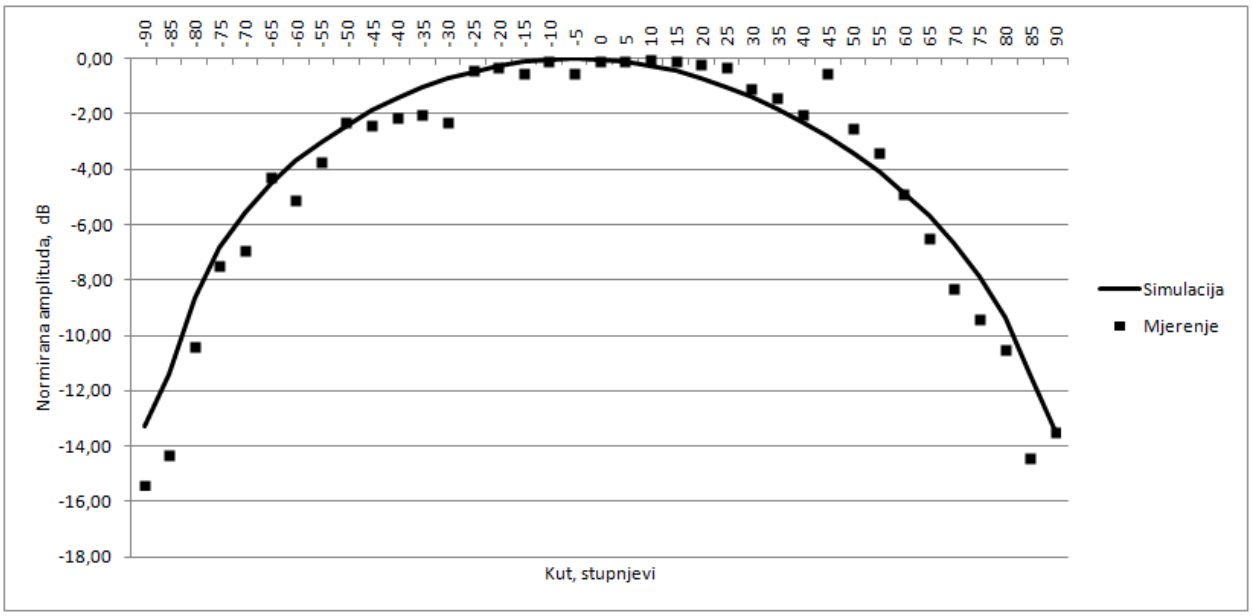
Sl. 4.7. Izmjereni i simulirani dijagram zračenja antene na frekvenciji od 680MHz u horizontalnom položaju.



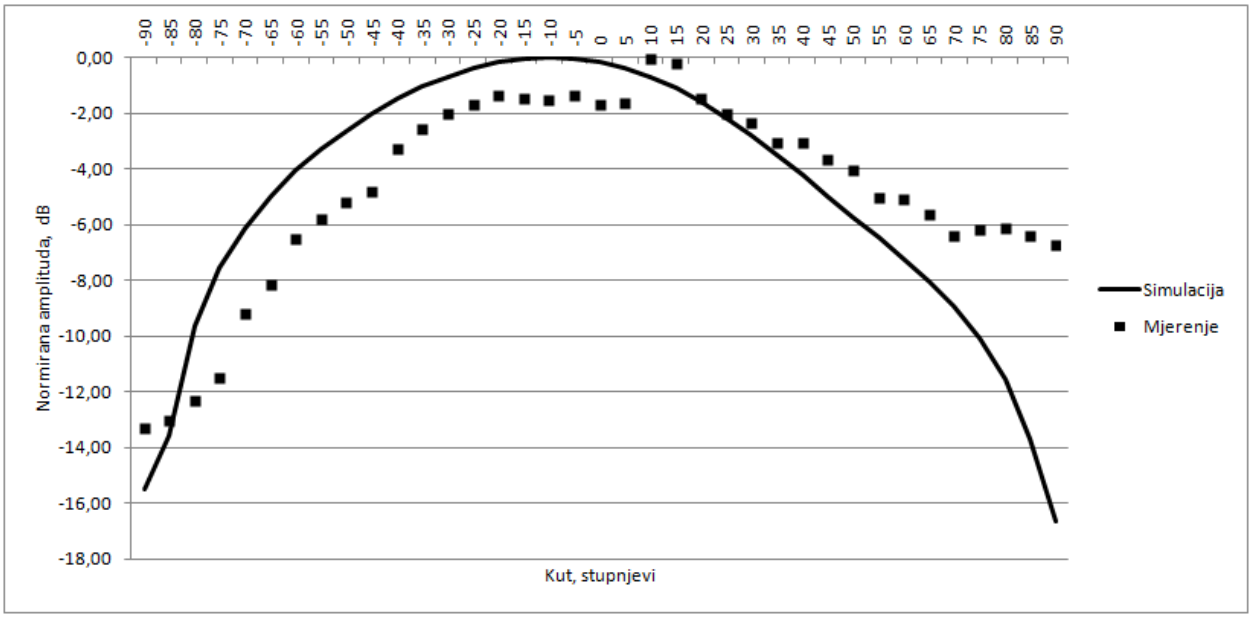
Sl. 4.8. Izmjereni i simulirani dijagram zračenja antene na frekvenciji od 940MHz u horizontalnom položaju.



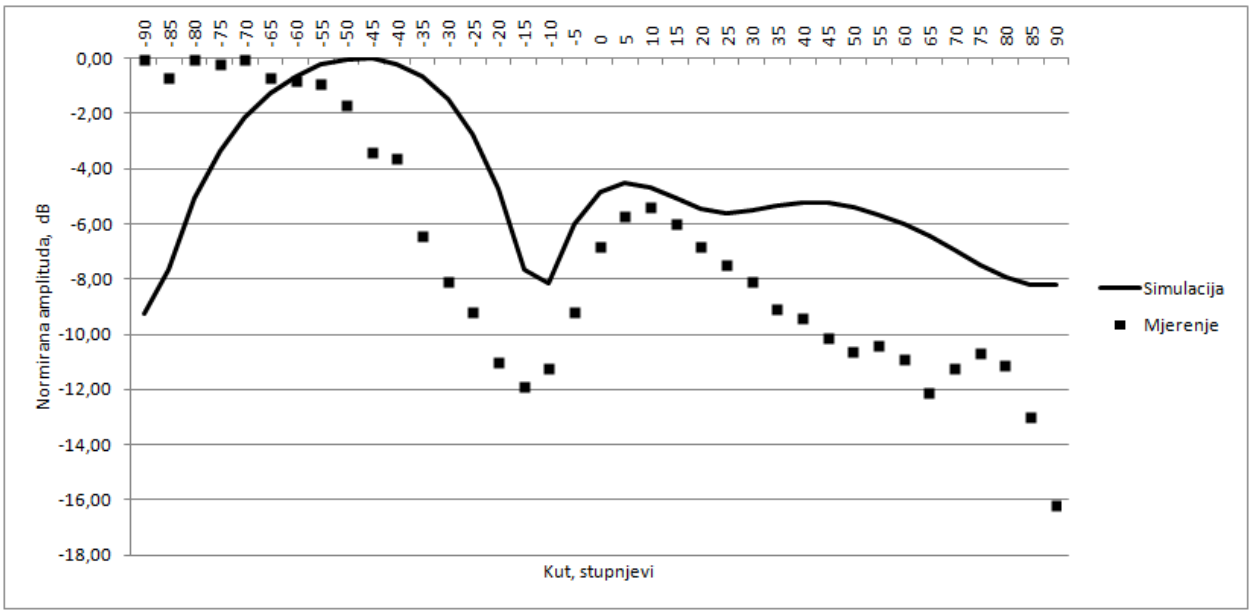
Sl. 4.9. Izmjereni i simulirani dijagram zračenja antene na frekvenciji od 1830MHz u horizontalnom položaju.



Sl. 4.10. Izmjereni i simulirani dijagram zračenja antene na frekvenciji od 680MHz u vertikalnom položaju.



Sl. 4.11. Izmjereni i simulirani dijagram zračenja antene na frekvenciji od 940MHz u vertikalnom položaju.



Sl. 4.12. Izmjereni i simulirani dijagram zračenja antene na frekvenciji od 1830MHz u vertikalnom položaju.

Na slici 4.7. je prikazano mjerenje antene u horizontalnom položaju na frekvenciji od 680MHz. Prema simulaciji, antena ima najveće polje pod kutem -5° do 5° na 0dB, a najmanje pod kutevima -90° i 90° na -1 dB, što bi značilo da antena pod svim mjerenim kutevima ima gotovo isto polje . Prema mjerenju, antena ima najveće polje pod kutem -25° do 5° na 0dB, a najmanje pod pod kutevima -90° na 85° na -2dB.

Na slici 4.8. je prikazano mjerenje antene u horizontalnom položaju na frekvenciji od 940MHz. Prema simulaciji, antena ima najveće polje pod kutem -5° do 5° na 0dB, a najmanje pod kutevima -90° i 90° na -2dB. Također nije velika razlika između najvećeg i najmanjeg polja. Prema mjerenju, antena ima najveće polje pod kutem 5° na 0dB, a najmanje pod kutem -75° na -4dB i 85° na -2,5dB.

Na slici 4.9. je prikazano mjerenje antene u horizontalnom položaju na frekvenciji od 1830MHz. Prema simulaciji, antena ima najveće polje pod kutem -90° do -75° na 0dB, i kutem 60° do 90° na -0,2dB, a najmanje pod kutem -5° na -7,5dB. Prema simulaciji, najveće polje antene je također pod kutem -90° do -75° na 0dB, a pod kutem 60° do 90° je na -2dB. Najmanje izmjereno polje je pod kutem 5° na -11dB.

Na slici 4.10. je prikazano mjerenje antene u vertikalnom položaju na frekvenciji od 680MHz. Prema simulaciji, antena najveće polje ima pod kutem -15° do 5° na 0dB, a najmanje pod kutevima -90° i 90° na -13dB. Prema mjerenju, antena ima najveće polje pod kutem -10° do 20° na 0dB, a najmanje pod kutem -90° na -15,5dB i 85° na -14 dB.

Na slici 4.11. je prikazano mjerenje antene u vertikalnom položaju na frekvenciji od 940MHz. Prema simulaciji, antena ima najvće polje pod kutem -20° do 0° na 0dB, a najmanje pod kutevima -90° na -15,5dB i 90° na -17dB. Prema mjerenju, antena ima najveće polje pod kutem 10° do 15° na 0dB, a najmanje pod kutevima -90° na -13dB i 60° na -6dB.

Na slici 4.12. je prikazano mjerenje antene u vertikalnom položaju na frekvenciji od 1850MHz. Prema simulaciji, antena ima najveće polje pod kutem -50° do -45° na 0dB, a najmanje pod kutem -90° na -9dB i 90° na -8dB. Prema mjerenju, antena ima najveće polje pod kutem -80° do -70° na 0dB, a najmanje pod kutem 90° na -16 dB.

5.ZAKLJUČAK

U radu su teorijski obrađene postojeće izvedbe UWB antena od kojih su najpoznatije helikoidalna antena, frekvencijsko neovisne antene (spiralna i dvostožasta antena), logaritamsko periodična, lijevak antena i antene izvedene iz rezonantnih antena (3D monopoli i 2D rezonantne antene). Od tih izvedbi odabrana je kružna monopolna antena koja je dizajnirana izračunima temeljenim na relacijama koje povezuju radijus antene sa ostalim parametrima koji su ključni za izradu (početna frekvencija, materijal pločice na kojoj se nalazi antena, razmak između monopola i uzemljene plohe i sl.) te korištenjem programa za simulaciju Ansoft HFSS. Rezultat simulacije antene bez DGS-a je zadovoljavao samo prva dva tražena opsega 450MHz-830MHz i 800MHz-970MHz, dok je treći opseg nije bio pokriven. Korištenjem metode DGS-a i dodatne optimizacije parametara kao što su širina i duljina proreza L oblika i duljine i širine pravokutnog proreza na uzmljenoj plohi postignuta je pokrivenost i trećeg opsega 1800MHz-1900MHz. Pri postignutim zadovoljavajućim rezultatom simulacije, napravljen je laboratorijski model antene na FR4 pločici postupkom preslikavanja antene koja je prethodno isprintana na termofoliju i jetkanjem u otopini solne kiseline i vodikovog peroksida. Mjerenjem realnih i imaginarnih vrijednosti koeficijenta S11 izračunate su ulazne imedancije za svaku frekvenciju: Z_{in}(680MHz) = 45,02 - j6,98 Ω, Z_{in}(940MHz) = 47,68 + j2,75 Ω, Z_{in}(1850MHz) = 66,11+j 4,27 Ω. Mjerenjem dijagrama zračenja napravljeno je na frekvencijama 680MHz, 940 MHz i 1830 MHz u horizontalnom i vertikalnom položaju. U horizontalnom položaju na frekvenciji 680MHz antena ima najveće polje pod kutem -25° do 5° , na 940MHz pod kutem 5°, a na frekvenciji 1830MHz pod kutem -90° do -75°. U vertikalnom položaju na frekvenciji 640 MHz antena ima najveće polje pod kutem -10° do 20°, na 940MHz pod kutem 10° do 15° a na 1830MHz pod kutem -80° do -70°. Odstupanja između izmjerenih i simuliranih rezultata pri izradi antene mogla su nastati zbog fizičkih dimenzija pločice (debljina bakra i substrata) te nesimetričnosti između uzemljene plohe i kružnog monopola pri preslikavanju na pločicu. Odstupanja pri mjerenju dijagrama zračenja mogla su nastati iz više razloga kao što su refleksija metalnih površina i elektromagnetska neizoliranost u prostoru mjerenja, nepreciznosti u postavljanu antene u vertikalan i horizontalan položaj i poravnavanja sa mjernom antenom.

6.LITERATURA

[1] Sanjeev Kumar Mishra, Jayanta Mukherjee, "Planar UWB Antennas: Design, Analysis and Aplications", *LAP LAMBERT Academic Publishing*, 2012.

[2] Daniel Valderas, Juan Ignacio Sancho, David Puente, Cong Ling, Xiaodong Chen, "Ultrawideband Antennas: Design and Applications" *Imperial College Press*, 2011. Dostupno na https://books.google.hr/books?id=lniHgSohdGkC&pg=PA48&lpg#v=onepage&q&f=false

[3] Jianxin Liang, "Antenna Study and Design for Ultra Wideband Communication Applications", *Department of Electronic Engineering Queen Mary, University of London*, 2006.

[4] Johnna Powell, "Antenna Design for Ultra Wideband Radio", *Massachusetts Institute of Technology*, 2004.

[5] H. R. Hassani, S. M. Mazinani, "Wideband planar plate monopole antenna", *Electrical & Electronic Eng. Dept., Shahed University* 2010.

[6] Hans Gregory Schantz, "Introduction to Ultra-Wideband Antennas", *Next-RF, Inc.*, 2003.

[7] Eng Gee Lim, Zhao Wang, Chi-Un Lei, Yuanzhe Wang, K.L. Man, "Ultra Wideband Antennas – Past and Present", *IAENG International Journal of Computer Science*, 2010.

7.SAŽETAK

U radu su teorijski obrađene postojeće izvedbe UWB antena. Od istih izvedbi bilo je potrebno odabrati jednu i korištenjem programa za simulaciju Ansoft HFSS dizajnirati i analizirati rad antene koja pokriva tri frekvencijska opsega: 450MHz-830MHz, 800MHz-970MHz i 1800MHz-1900MHz. Izvedena je simulacija dvije antene, jedna bez DGS-a koja je pokrivala prva dva opsega i antena sa DGS-om koja je pokrivala sva tri opsega.Nakon simulacije, bilo je potrebno izraditi laboratorijski model antene i izmjeriti te izvesti mjerenja dijagrama zračenja te koeficijenta refleksije na ulazu S11 i ulazne impedancije. Razultati mjerenja koeficijenta refleksije i dijagrama zračenja su uspoređeni sa rezultatima simulacije.

Ključne riječi: UWB, antena, simulacijski program HFSS, dijagram zračenja, koeficijent refleksije, ulazna impedancija.

8.SUMMARY

VF UWB TRI-BAND ANTENNA

This work is about UWB antennas which are theoretically explained. From those antennas one has been chosen and using simulation application Ansoft HFSS designed and analysed. Antenna covers three bands: 450MHz-830MHz, 800MHz-970MHz and 1800MHz-1900MHz. Two antennas were simulated. Antena without DGS covered first two bands and antenna with DGS covered all three bands. After simulation, it was needed to make laboratory model of proposed antenna and make measurments of reflection coefficient S11 and input impedance. Also was needed to measure radiaton pattern for antenna. Measurment results of reflection coefficient and radiation pattern are compared with simulation results.

Keywords: UWB, antenna, simulation application HFSS, radiation pattern, reflection coefficent, input impedance.

9.ŽIVOTOPIS

Slaven Živanović rođen 15. rujna 1987. godine u Sremskoj Mitrovici, Srbija. Upisuje prvi razred osnovne škole 1994/95 u Sotu, Srbija, a drugi razred osnovne škole u Gornjem Miholjcu. Osmi razred osnovne škole završava 2001/02. Upisuje srednju Elektrotehničku školu u Slatini 2002/03 koju završava 2005/06 i stječe zvanje Elektrotehničar. Elektrotehnički fakultet na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku upisuje 2007/08 godine, stručni studij, smjer informatika.