Unipol antene za tri frekvencijska opsega

Maloča Damjanović, Danijel

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:200:575820

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

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

Unipol antene za tri frekvencijska opsega

Završni rad

Danijel Maloča Damjanović

Osijek, 2016.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
ETFOS ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

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

Osijek,

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na stručnom studiju

Ime i prezime studenta:	Danijel Maloča Damjanović
Studij, smjer:	Automatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A3777, 2009.
Mentor:	Doc.dr.sc. Vanja Mandrić Radivojević - docent
Sumentor:	
Predsjednik Povjerenstva:	
Član Povjerenstva:	
Naslov završnog rada:	**Unipol antene za tri frekvencijska opsega**
Primarna znanstvena grana rada:	**Radiokomunikacije**
Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:	
Zadatak završnog rada	Analizirati rad te odrediti sve relevantne parametre unipol antene (dijagram zračenja, ulazna impedancija, kutovi usmjerenosti, dobitak). Načiniti simulaciju rada unipol antena. Izvesti tri laboratorijska modela unipol antena za rezonantne frekvencije: 500 MHz, 900 MHz i 1500 MHz. Izmjeriti dijagrame zračenja pojedinačnih modela. Usporediti dijagrame zračenja dobivene izračunom, simulacijom i mjerenjem.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: Jasnoća pismenog izražavanja: Razina samostalnosti:

Potpis sumentora:	Potpis mentora:

Dostaviti:

1. Studentska služba

U Osijeku, 30. lipnja 2016. godine

Potpis predsjednika Odbora:

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek,

Ime i prezime studenta:	Danijel Maloča Damjanović
Studij :	Stručni studij, automatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A3777, 2009.

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**:**
Unipol antene za tri frekvencijska opsega

izrađen pod vodstvom mentora doc.dr.sc. Vanja Mandrić Radivojević, docent

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih 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, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. UNIPOL ANTENA 3
2.1 Poyntigov vektor i dijagram zračenja 3
2.1.1 Poyntigov vektor 3
2.1.2. Dijagram zračenja 3
2.2 Polarizacija 5
2.3 Usmjerenost 7
2.4 Ulazna impedancija, VSWR i $S11$ 7
2.5 Dobitak 9
2.6 Unipol na beskonačnoj i konačnoj ravnini 9
2.6.1 Unipol na beskonačnoj ravnini 9
2.6.2 Unipol na konačnoj ravnini 10
2.7 Hertzov dipol, određivanje polja unipola i dipola 11
2.7.1 Hertzov dipol u slobodnom prostoru 11
2.7.2 Radijacijsko polje dipola i unipola 12
3. LABORATORIJSKA MJERENJA I ANALIZA REZULTATA MJERENJA UNIPOL ANTENA 14
3.1 Unipol antena za frekvenciju 500 Mhz 19
3.2 Unipol antena za frekvenciju 900 Mhz 25
3.3 Unipol antena za frekvenciju 1500 Mhz 29
4. ZAKLJUČAK 35
5. LITERATURA 37
7. SAŽETAK 38
PRILOZI 40

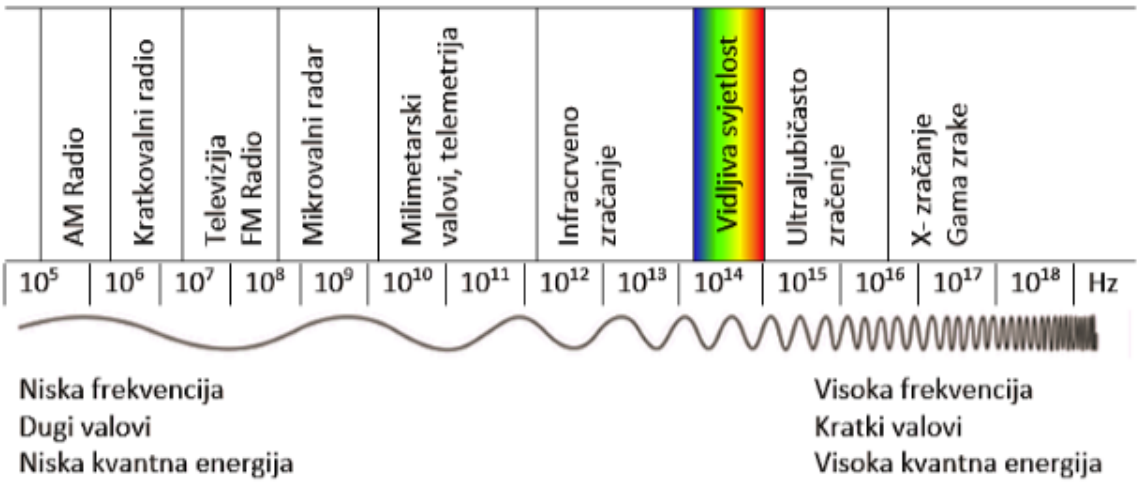
1. UVOD

Otkrićem elektromagnetnih valova pojavila se i ideja o primanju i slanju takvih vrsta valova u svrhu komunikacije i prijenosa informacija. Sustavi za slanje i primanje valova se sastoje od izvora signala, kodera signala, antene za slanje, antene za primanje signala i dekoder signala. U ovom završnom radu bit će opisane antene u takvim sustavima, točnije unipol antene i njeni najvažniji parametri: polarizacija, ulazna impedancija, dijagram zračenja, usmjerenost i dobitak. Unipol antena je linearna antena koja se sastoji od ravne visoko vodljive žice, čija je duljina četvrtina valne duljine, postavljene okomito na vodljivu ravninu. Idealna vodljiva ravnina savršeno odbija valove te stvara „virtualni“ unipol ispod ravnine, tj odbijeni val izgleda kao da dolazi od drugog unipola ispod ravnine te se unipol antena može promatrati na isti način kao i poluvalna dipol antena, odnosno jedna polovica dipol antene. U praksi nije moguće realizirati beskonačnu vodljivu ravninu nego se unipol postavlja na konačnu ravninu koja nije idealna što za posljedicu ima izobličenje dijagrama zračenja i smanjenje teorijskog maksimalnog dobitka koji iznosi 5.15 dBi. Prilikom određivanja i opisivanja parametara antena koriste se idealizirane antene poput izotropnog radijatora i Hertzovog dipola koje će također biti opisane u ovom radu. Također će biti opisan način dizajniranja i izrade unipol antene za 500, 900 i 1500MHz te prikazani rezultati mjerenja izrađenih antena. Simulacije antena napravljene su u programskom paketu Ansys® Electromagnetics Suite 16.2.0, komponenta HFSS. Kao uvod u antene, ukratko će se opisati elektromagnetski val.

Elektromagnetski val nastaje iz električnog naboja koji titra određenom frekvencijom i najvažnija svojstva EM vala su:

- širi se i kroz vakuum
- smjerovi električnog i magnetnog polja su međusobno okomiti, a zajedno su okomiti na smjer širenja vala
- brzina širenja vala ovisi isključivo o električnim i magnetskim svojstvima medija kroz koji se širi

Elektromagnetsko zračenje je općenito gledajući širenje elektromagnetske energije u prostor, u obliku elektromagnetskog vala. Na slici 1.1. prikazan je spektar elektromagnetskog zračenja i njegova podjela.



Slika 1.1 Spektar elektromagnetskog zračenja [1]

Ovaj rad je podijeljen na dva osnovna dijela:

UNIPOL ANTENA – u ovom dijelu su objašnjeni najvažniji parametri antena, unipol antene na beskonačnoj i konačnoj ravnini kao i kratak uvod u idealiziranu antenu Hertzov dipol koja se koristi kao osnova za promatranje tankih linearnih antena.

LABORATORIJSKA MJERENJA I ANALIZA REZULTATA MJERENJA UNIPOL ANTENA – ovaj dio se odnosi na tehničke karakteristike izrađenih laboratorijskih modela unipola te usporedba dobivenih laboratorijskih rezultata s teorijskim i simulacijskim rezultatima.

Na kraju je u zaključku dan kratak osvrt na obrađenu temu i dobivene rezultate.

2. UNIPOL ANTENA

Unipol antena je kao i svaka druga antena struktura napravljena od visoko vodljivog materijala dimenzionirana tako da efikasno prima i odašilje elektromagnetne valove određene frekvencije, tj pretvara izmjeničnu električnu energiju u elektromagnetne valove i obrnuto.

Unipol antena je zapravo jedna polovica dipol antene okomito pričvršćena na vodljivu ravninu (eng. *ground plane*). U teoriji unipol ima ista ili slična svojstva kao i dipol. Zbog velikih sličnosti s dipol antenom i upola manjom potrebnom duljinom u usporedbi s dipolom, unipol se često koristi za slanje AM moduliranih signala frekvencije 535 – 1605 kHz. U takvim primjenama iznosi valnih duljina su 200 – 600 m te je nepraktično koristiti „punu" vodljivu ravninu pa se ona zamjenjuje radijalnim vodičima razmaknutim za 2° do 3° okomitim na unipol. Minimalna duljina radijalnih vodiča je polovica visine antene, ali je poželjno da bude 20% – 30% više. Tako postavljeni vodiči nazivaju se još i *counterpoise*. [2, str.64]

U nastavku slijede osnovne karakteristike koje općenito opisuju antene i njenu namjenu.

2.1 Poyntigov vektor i dijagram zračenja

2.1.1 Poyntigov vektor

Poyntigov vektor predstavlja raspodjelu gustoće zračenja u jedinici vremena kroz jediničnu površinu i izražava se u vatima po kvadratnom metru [$\boldsymbol{W/m^2}$]. U literaturi se najčešće označava kao $\vec{\mathbf{P}}$ ili $\vec{\mathbf{S}}$. Znači, Poyntigov vektor je vektorski umnožak električnog polja *E* i magnetskog toka *B*.

$$\vec{\mathbf{S}} = \frac{1}{\mu_0}\,\vec{\mathbf{E}} \times \vec{\mathbf{B}} \tag{2-1}$$

U širenju elektromagnetskih valova električni i magnetski tok su uvijek međusobno okomiti u smjeru širenja vala, ali se njihove amplitude odnose kao $\mathbf{B_0} = \frac{1}{c}\mathbf{E_0}$ gdje je *c* brzina svjetlosti u vakuumu. Zbog toga što su električno i magnetno polje međusobno okomiti, iznos Poyntigovog vektora možemo zapisati i kao:

$$\mathrm{S} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{\mu_0}}\mathrm{EB} \tag{2-2}$$

2.1.2. Dijagram zračenja

Svaka antena bilo kakvog geometrijskog oblika zrači elektromagnetsko zračenje. Ako je udaljenost s koje se ta antena promatra dovoljno velika (više valnih dužina), ona se može prikazati kao točkasti izvor, a njeno zračenje kao kuglasti val. U tom slučaju, kada se antena promatra kao

točkasti izvor, zračenje energije iz izvora je radijalno. Raspodjela gustoće zračene energije u jedinici vremena kroz jediničnu površinu predstavlja se Poyntingovim vektorom u smjeru širenja. Raspodjela gustoće snage na površini kugle čije je središte točkasti izvor (antena), dovoljno velikog polumjera *r* naziva se prostornim dijagramom zračenja. Ako se zna Poyntigov vektor $\mathbf{P_r}$ u smjeru širenja, ukupna zračena snaga se može izračunati iz formule 2-3:[3]

$$W = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \mathbf{P_r} r^2 \sin\vartheta \, d\vartheta \, d\varphi \tag{2-3}$$

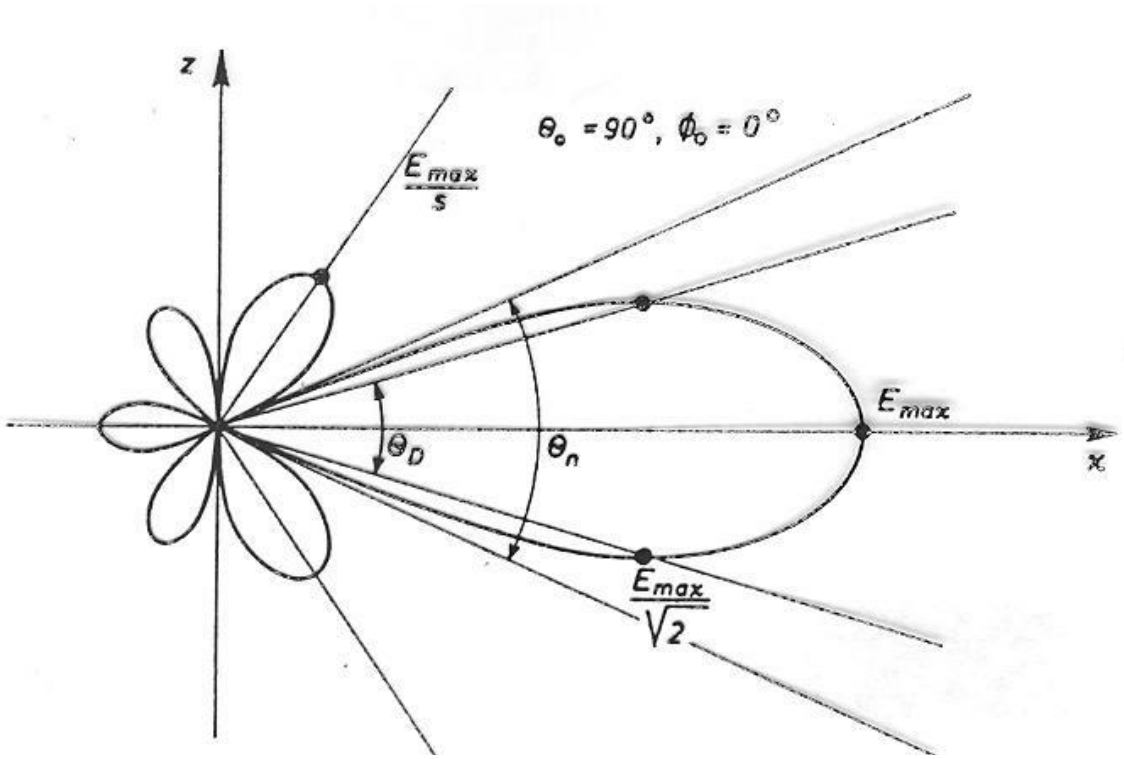
U slučaju izotropnog radijatora, antene koja bi u svim smjerovima jednako zračila – raspodjela gustoće zračenja na površini kugle je konstantna, zračena snaga se može izračunati iz formule 2-4

$$W = \mathbf{P_r} 4r^2\pi \tag{2-4}$$

jer je Poyntigov vektor konstantan. Nažalost, takvu antenu nije moguće realizirati u stvarnosti.

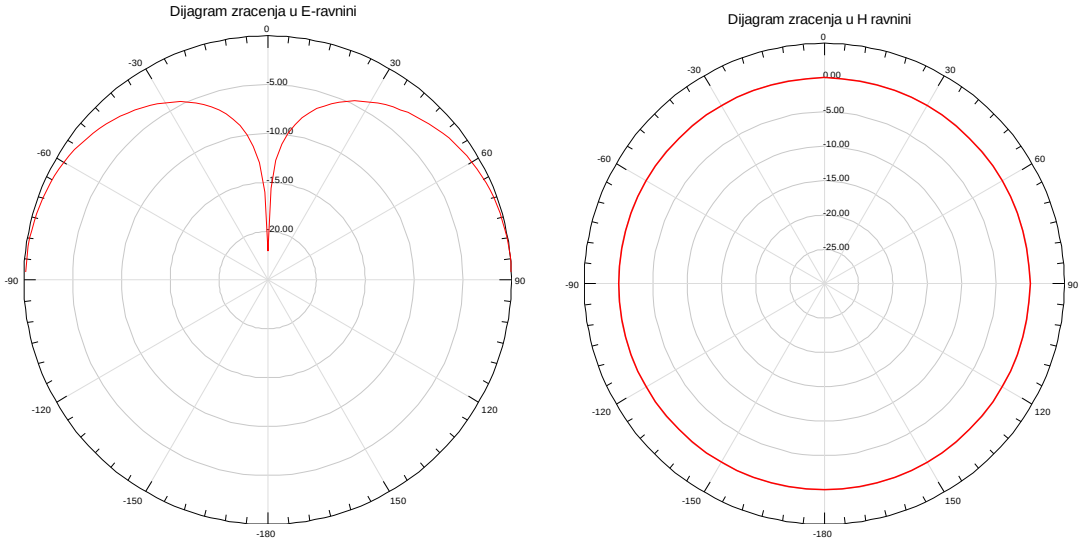
Karakteristične veličine koje su prikazane na dijagramu zračenja na slici 2.1. su:

- smjer maksimalnog zračenja ($\boldsymbol{\theta_0}$ i $\boldsymbol{\varphi_0}$) ;
- kut usmjerenosti ($\boldsymbol{\theta_D}$ i $\boldsymbol{\varphi_D}$)
- širina snopa (($\boldsymbol{\theta_n}$ i $\boldsymbol{\varphi_n}$ - kut između prvih nultočaka s jedne i druge strane smjera maksimalnog zračenja).



Slika 2.1. Skica vertikalnog dijagrama zračenja s označenim karakterističnim veličinama [4]

Kut usmjerenosti (na slici 2.1. označen $\boldsymbol{\theta_D}$) označava kut koji obuhvaća smjerove zračenja oko smjera maksimalnog zračenja unutar kojih jakost električnog polja ne opada za više od $\boldsymbol{E_{max}/\sqrt{2}}$.
Dijagram zračenje se često daje i u polarnom sustavu u E i H ravninama. Primjer takvog dijagrama za četvrt-valni unipol na beskonačnoj ravnini prikazan je na slici 2.2.



Slika 2.2. Polarni dijagram zračenja u E i H ravnini četvrtvalnog unipola

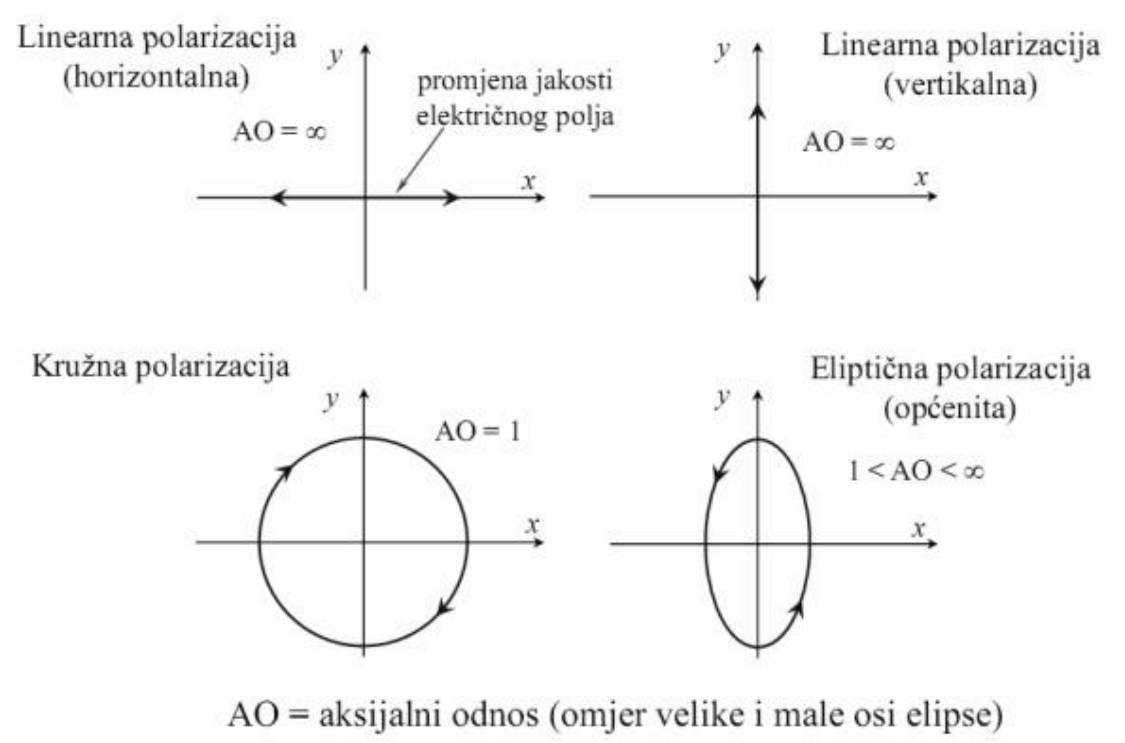
Polja zračenja antene dijele se na tri područja, ovisno o udaljenosti *r* od promatrane antene duljine *L*. Područje radijacijskih polja koje se nalaze u tzv. reaktivnoj zoni nalazi se u neposrednoj blizini antene i određeno je izrazom $r < \frac{\lambda}{2\pi}$ za električki kratak dipol. U tom području energija se prenosi indukcijom i u njemu se nalazi većina jalove snage. Na udaljenosti $\frac{\lambda}{2\pi} < r < \frac{2L^2}{\lambda}$ nalaze se bliska polja, tzv. *Fresnelova* zona. Na udaljenosti $r > \frac{2L^2}{\lambda}$ nalazi se tzv. *Fraunhoferova* zona – područje dalekih polja. U ovom radu, unipol će biti promatran u *Fraunhoferovoj* zoni. [2]

2.2 Polarizacija

Ako se elektromagnetsko polje neke antene promatra na velikoj udaljenosti od nje, vektori električnog i magnetnog polja uvijek se nalaze u ravnini okomitoj na smjer širenje vala. Budući da se vektori jakosti polja mijenjaju s vremenom, polarizaciju definira krivulja koju opisuje vrh vektora električnog polja u toj ravnini. Općenito, polarizacija vala koja se širi u različitim smjerovima od

antene može biti različita. Zato se pod polarizacijom antene podrazumijeva polarizacija vala koji se širi u smjeru maksimalnog zračenja. [5, str.3]

U najopćenitijem slučaju postoji eliptična polarizacija koja je jednoznačno određena pomoću tri veličine: aksijalnim odnosom (AO - količnik velike i male osi koji po svom iznosu može biti bilo koja vrijednost između jedan i beskonačno), smjerom velike osi (u odnosu na odabrani koordinatni sustav) i smjerom rotacije (gledano u smjeru širenja vala). Kod eliptične polarizacije postoje dva posebna slučaja – kad je AO jednak 1 i kad je AO beskonačan. U slučaju kada je AO jednak 1, pojavljuje se kružna polarizacija, a ako je AO beskonačan pojavljuje se linearna.
Linearna polarizacija se dijeli na vertikalnu i horizontalnu, a karakterizira ju to što vektor električnog polja ne mijenja smjer, nego samo veličinu. Pri kružnoj polarizaciji, vektor električnog polja ne mijenja veličinu nego smjer, tj. rotira konstantnom kutnom brzinom te se ovisno o smjeru kružne rotacije dijeli na lijevu i desnu polarizaciju. Navedeno je prikazano na slici 2.3.



Slika 2.3. Linearna, eliptična i kružna polarizacija[6]

Na nižim se frekvencijama upotrebljava vertikalna polarizacija, a na višim i vertikalna i horizontalna. [7]

2.3 Usmjerenost

Usmjerenost D antene se definira kao odnos između maksimalne i srednje gustoće snage na fiksnoj udaljenosti r od antene. [5, str.16]

$$D = \frac{P_{r,maks}}{P_{r,srednje}} \tag{2-5}$$

Srednju gustoću snage može se izračunati pomoću ukupne izračene snage:

$$P_{r,srednje} = \frac{W}{4r^2\pi} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P_r \sin\vartheta \, d\vartheta \, d\varphi \tag{2-6}$$

gdje je W ukupna zračena snaga. Srednja gustoća snage jednaka je ukupnoj izračenoj snazi antene podijeljenom sa površinom kugle polumjera r u čijem središtu je antena. Bolju usmjerenost se postiže kada je glavni snop zračenja što uži, tj. glavna latica što uža. Kut usmjerenosti antene je onaj kut oko glavnog smjera zračenja unutar kojeg gustoća zračene snage ne pada ispod polovice gustoće zračene snage u smjeru maksimalnog zračenja.

2.4 Ulazna impedancija, VSWR i S_{11}

Svaka odašiljačka antena priključena na generator preko linije može se predstaviti kao pasivni dvopol. Količnik napona i struje na stezaljkama tog dvopola predstavlja impedanciju.[5, str.14] U slučaju da je impedancija realan broj i na stezaljkama antene se inducira napon sinusnog oblika, kaže se da su napon i struja u fazi. Ako je impedancija kompleksan broj oblika

$$Z_A = R_A + jX_A \tag{2-7}$$

gdje je:

- $\boldsymbol{Z_A}$ - impedancija antene,
- $\boldsymbol{R_A}$ - omska komponenta antene,
- *j* – imaginarna jedinica,
- $\boldsymbol{X_A}$ - reaktivna komponenta antene

napon i struja kroz antenu neće biti u fazi nego će struja „kasniti“ za naponom za iznos koji možemo izračunati formulom:

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{R_A}{X_A} \tag{2-8}$$

Realni dio $\boldsymbol{R_A}$ impedancije dane kompleksnim brojem predstavlja otpor zračenja $\boldsymbol{R_z}$ i otpor gubitaka $\boldsymbol{R_d}$. Otpor zračenje definira se kao ekvivalentan otpor na kojem se troši snaga jednaka ukupnoj zračenoj snazi antene, dok je otpor $\boldsymbol{R_d}$ onaj otpor na koji se gubi snaga, zbog konačne vodljivosti materijala od kojih je antena napravljena, i pretvara se u toplinu. Kompleksni dio $\boldsymbol{X_A}$, tj. reaktivna komponenta antene predstavlja otpor koji se nalazi u indukcijskom polju u neposrednoj blizini antene. Formula 2-7 se tako može zapisati i kao

$$Z_A = R_z + R_d + jX_A \tag{2-9}$$

Kako bi se uzeli u obzir gubici u anteni i neposrednoj blizini antene, uvodi se pojam faktor iskorištenosti *k*. Njegova definicija dana je formulom 2-10 i u praksi je redovito 50% - 70%, iako su dosta česte vrijednosti i blizu 100% iskorištenosti.

$$k = \frac{I^2 R_z}{I^2(R_z + R_d)} = \frac{R_z}{(R_z + R_d)} \tag{2-10}$$

Omska i reaktivna komponenta impedancije antene se mijenjaju ovisno s frekvencijom. Redovito se promjenom frekvencije impedancija antene mijenja mnogo brže nego impedancija sustava na koji je antena priključena. Ako ulazna impedancija antene nije kvalitetno prilagođena impedanciji sustava nastaje refleksija snage iz antene u odašiljač te se pojavljuju veliki odnosi stojnih valova – VSWR (eng. *Voltage Standing Wave Ratio*). Zato postoji ograničeno frekvencijsko područje za koje je antena prilagođena na impedanciju sustava sa zadovoljavajućim odnosom stojnih valova.[5, str.15] VSWR je omjer maksimalne i minimalne vrijednosti amplitude stojnog vala te je uvijek predstavljen pozitivnim brojem. U praksi se kao gornja prihvatljiva vrijednost obično uzima odnos stojnog vala VSWR = 2, no poželjna je što manja vrijednost. Sprega ili analiza povratnog gubitka snage signala (eng. *return loss*) predstavlja odnos ulazne i izlazne vrijednosti snage poslanog električnog te se izražava S parametrima (eng. s*cattering*) u decibelima. Vrijednosti koeficijenata sprege su uvijek negativne te se nalaze između 0 dB pa sve do - ∞. $\boldsymbol{S_{11}}$ parameter označava koliko je snage reflektirano nazad u mjerni sustav - vrijednost od 0 dB je najlošiji rezultat te znači da se sva emitirana snaga reflektirala nazad u sustav, a prihvatljive vrijednosti su do -10 dB.

2.5 Dobitak

Dobitak ili *gain* je broj koji govori koliko puta izračena snaga izotropnog radijatora treba biti veća od ukupne privedene snage razmatrane antene kako bi se sa poluvalnim dipolom na određenoj udaljenosti postigla jednaka gustoća što je ima razmatrana antena u smjeru maksimalnog zračenja. Dobitak se također definira pomoću poluvalnog dipola umjesto izotropnog radijatora kao referentne antene te je potrebno naglasiti da je dobitak izražen u odnosu na poluvalni dipol ili izotropni radijator. [5] Veza između dobitka g i usmjerenosti D dana je formulom 2-11:

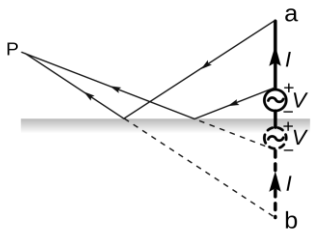
$$g = k\,D \tag{2-11}$$

gdje je k faktor iskorištenosti.

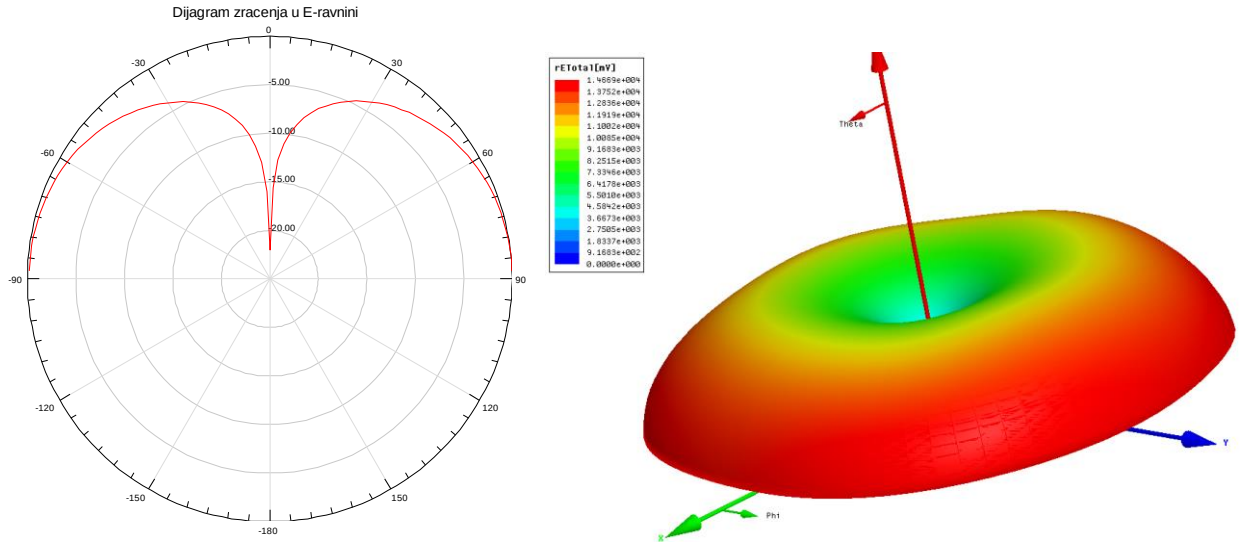
2.6 Unipol na beskonačnoj i konačnoj ravnini

2.6.1 Unipol na beskonačnoj ravnini

Unipol antenu postavljenu na beskonačnu ravninu u teoriji može se prikazati kao dipol antenu čija je jedna polovica zamijenjena beskonačnom vodljivom ravninom. U tom slučaju će radio valovi (Sl. 2.4.) sa gornje polovice (a) tako predstavljenog dipola reflektirani od vodljivu ravninu izgledati kao da dolaze od druge polovice dipola (b). U tom slučaju će unipol, kada je na beskonačnoj ravnini savršene vodljivosti, imati identičan dijagram zračenja iznad vodljive ravnine kao i dipol antena, ali sa dvostruko većim povećanjem budući da zrači samo u području iznad vodljive ravnine (polovica područja zračenja dipola). Dobitak za takav unipol iznosi 5,15 dBi. Na slici 2.5. je prikazan dijagram zračenja λ/4 unipola na beskonačnoj ravnini u E ravnini i u trodimenzionalnom polarnom grafu. U H ravnini dijagram je kružnog oblika.



Slika 2.4. Skica unipola na beskonačnoj ravnini [7]

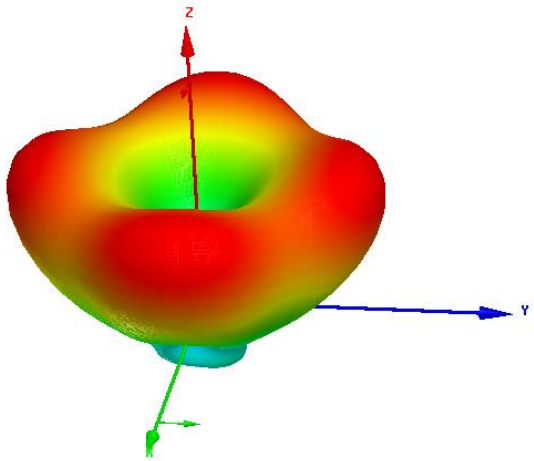


Slika 2.5. Dijagrami zračenja unipola na beskonačnoj ravnini u E ravnini (simulacija u HFSS-u)

2.6.2 Unipol na konačnoj ravnini

U praksi, unipol antene se koriste na konačnim ravninama što utječe na svojstva unipola, a najviše na svojstva zračenja, dobitak i impedanciju. Konačna ravnina koja je barem 10 puta veća od valne duljine za koju je antena dizajnirana ima minimalan utjecaj na impedanciju unipola.

Dijagram zračenja je promijenjen u odnosu na dipol (i unipol na beskonačnoj ravnini) zbog konačne ravnine „iskrivljen“ je vertikalno prema gore, gledajući odnos sa horizontalnom ravninom. Na slici 2.6. je prikazan dijagram zračenja $\lambda/4$ unipola na konačnoj ravnini kvadratnog oblika. Antena zrači u svim smjerovima, ali je najjače (eng. *peak*) zračenje pomaknuto sa x-y ravnine (slučaj dipola). Primjećuje se i četiri maksimuma zračenja koji nastaju zbog kvadratnog oblika ravnine, na mjestima gdje su pravi kutovi ravnine. Kada bi ravnina bila okrugla, maksimum zračenja bi bio podjednak. Konačna vodljiva ravnina utječe i na dobitak, koji je manji od teoretskog maksimuma od 5.15dBi. Razlog tome je što je dio energije izračen i ispod vodljive ravnine za razliku od unipola na beskonačnoj ravnini.



Slika 2.6. Prikaz izobličenja dijagrama zračenja unipola zbog nesavršene konačne ravnine (simulacija u HFSS-u)

2.7 Hertzov dipol, određivanje polja unipola i dipola

2.7.1 Hertzov dipol u slobodnom prostoru

Hertzov dipol je idealizirana antena kod koje je duljina antene puno manja od valne duljine, koji na krajevima ima dvije vodljive kugle te je struja konstantna duž cijelog dipola. Zato što je duljina Hertzovog dipola mnogo manja od valne duljine i raspodjela struje konstantna duž dipola, izrazi za jakost električnog i magnetskog polja dobivenih za Hertzov dipol koriste se u izračunu dipola i unipola sa sinusnom raspodjelom struje. Svaka antena se može podijeliti na mnogo manjih antena – antenske elemente, koji se predstavljaju Hertzovim dipolom. Kugle na krajevima dipola predstavljaju kapacitet i služe za „spremanje“ električne energije te kako se struja kroz dipol mijenja, kapacitet između kugli se puni i prazni. Uz pretpostavku da je promjena napona ili struje u vremenu dovoljno spora, jakost struje duž žice je konstantna.

Pri određivanju elektromagnetskog zračenja u nekoj točki prostora, koriste se Maxwellove jednadžbe. Rješenja Maxwellovih jednadžbi u slučaju Hertzovog dipola prema [8] glase:

$h_r(t) = 0$ - radijalna komponenta magnetskog polja

$h_{\boldsymbol{\theta}}(t) = 0$ – polarna komponenta magnetskog polja

Jakost magnetskog polja kada je duljina dipola manja od valne duljine ($\lambda << L$) i kada je udaljenost od dipola do točke promatranja veća od duljine dipola ($d >> L$) u smjeru φ dana je izrazom 2-12:

$$h_{\varphi}(t) = \frac{I_m\, L\, \sin\theta}{4\pi d}\left(j\beta + \frac{1}{d}\right)e^{-j\beta d}e^{j\omega t} = H_{m\varphi}e^{j\omega t} \qquad (2\text{-}12)$$

I_m – efektivna vrijednost struje

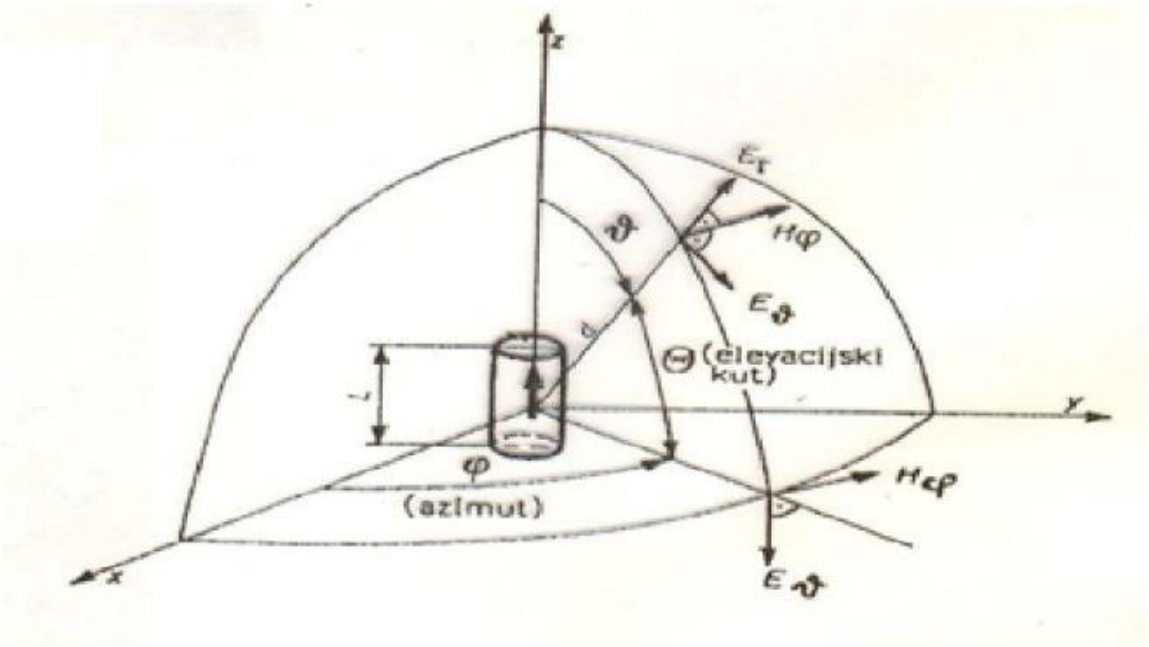
$H_{m\varphi}$ - kompleksna amplituda

$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$ - fazna konstanta

Električno polje zadano je izrazom 2-13:

$$e_{\theta}(t) = \frac{Z_c I_m L \sin\theta}{4\pi d}\left(j\beta + \frac{1}{d} - j\,\frac{1}{\beta d^2}\right)e^{-j\beta d}e^{j\omega t} = E_{m\theta}e^{j\omega t} \qquad (2\text{-}13)$$

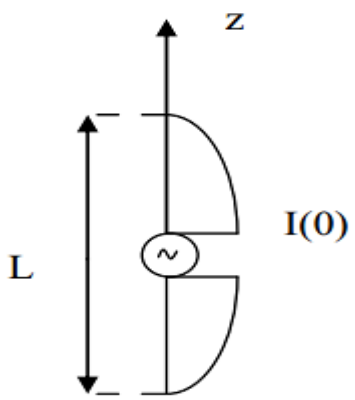
Slika 2.7 prikazuje komponente električnog i magnetskog polja na udaljenosti d od Hertzovog dipola.



Slika 2.7. Prikaz Hertzovog dipola i komponenti električnog i magnetskog polja na udaljenosti d o Hertzovog dipola [8]

2.7.2 Radijacijsko polje dipola i unipola

Pri određivanju dijagrama zračenja dipola i unipola, potrebno je poznavati raspodjelu struje po cijeloj duljini antene. Pri tome se koristi idealizirana sinusna raspodjela struje koja vrijedi za simetrično, u centru, napajanu antenu zanemarivo tankog presjeka. Slika 2.8. prikazuje idealiziranu sinusnu raspodjelu struje na dipolu.



Slika 2.8 Skica sinusne raspodjele struje duljinom dipola

Prema slici 2.8, matematički zapis za raspodjelu struje glasi:

$$I(z) = I_T \sin\left[\beta\left(\frac{L}{2} - z\right)\right] \text{ za } z > 0 \quad (2\text{-}14)$$

$$I(z) = I_T \sin\left[\beta\left(\frac{L}{2} + z\right)\right] \text{ za } z < 0 \quad (2\text{-}15)$$

I_T označava efektivnu vrijednost struje trbuha, a $\beta = 2\pi/\lambda$.

Kako bismo odredili radijacijsko polje linearne antene u udaljenoj točki P, možemo ju podijeliti na infinitezimalno male dijelove *dz* (Hertzove ili elementarne dipole) na kojima je konstanta raspodjela struje jakosti I(z). Superpozicijom svih tih dijelova dobivamo ukupno radijacijsko polje antene. Izrazi za računanje efektivne vrijednosti magnetskog i električnog polja dani su formulama 2-16 i 2-7. [8]

$$H_\Theta = \frac{I_t}{2\pi d}\frac{\cos\left(\beta\frac{L}{2}\cos\vartheta\right) - \cos\beta\frac{L}{2}}{\sin\vartheta} \quad (2\text{-}16)$$

$$E_\Theta = \frac{60I_t}{d}\frac{\cos\left(\beta\frac{L}{2}\cos\vartheta\right) - \cos\beta\frac{L}{2}}{\sin\vartheta} \quad (2\text{-}17)$$

3. LABORATORIJSKA MJERENJA I ANALIZA REZULTATA MJERENJA UNIPOL ANTENA

U ovom dijelu rada će se izrađene unipol antene u laboratorijskom okruženju analizirati i pokušati potkrijepiti teorijske rezultate ovim laboratorijskim modelima.

Unipoli koji se koriste u analizi ovog rada izrađeni su od mjedene žice debljine 2.5 mm, a vodljive ravnine od aluminijskog lima debljine 0.8 mm.

Kao što je ranije navedeno, najjednostavnija unipol antena je vertikalna $\lambda/4$ antena, što bi značilo da je duljina L antene jednaka jednoj četvrtini valne duljine. Za unipol koja će raditi na frekvenciji 500MHz po formuli (3-1):

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4f} = \frac{299792458}{4 \times 500\,000\,000} \approx 0.15[m] \qquad (3\text{-}1)$$

dolazi se do potrebne duljine L koja iznosi približno 15 cm. Tijekom simulacija utvrđeno je da je potrebno napraviti korekciju duljine žice te je žica skraćena na 14,1 cm. Razlog skraćivanja žice da bi se postigla rezonantna frekvencija na 500 MHz je taj što se formula (3-1) odnosi na beskonačno tanku žicu savršene vodljivosti te električna duljina nije jednaka fizičkoj duljini žice. [2] Krajnje duljine žica za druga dva unipola iznose: 7,97 cm za rezonantnu frekvenciju 900 MHz i 4,74 cm za rezonantnu frekvenciju 1500 MHz.

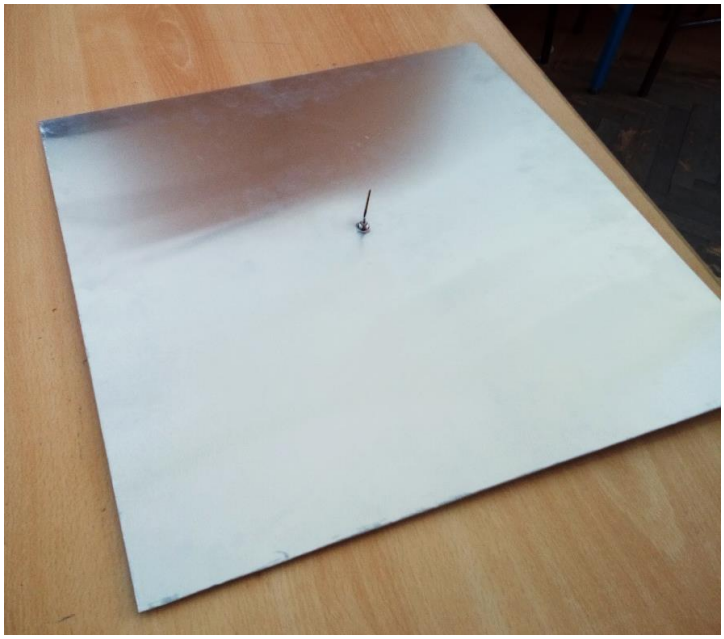
Minimalna duljina vodljive ravnine je četvrtina valne duljine gledano od žice (unipola). Za potrebe ovog rada, vodljive ravnine su napravljene veće od minimalne i jednakih su dimenzija za sve tri antene, a iznose 50 cm u širinu i dužinu. Antene su prikazane na slikama 3.1., 3.2. i 3.3. Zbog toga što su sve tri ravnine jednake, vidjet će se i utjecaj veličine ravnine na parametre antena. Sve tri antene na sebi imaju BNC/F priključni konektor i napajane su koaksijalnim kabelom impedancije 50 Ω. Za potrebe mjerenja dijagrama zračenja izrađen je plastični stalak prikazan na slici 3.4.



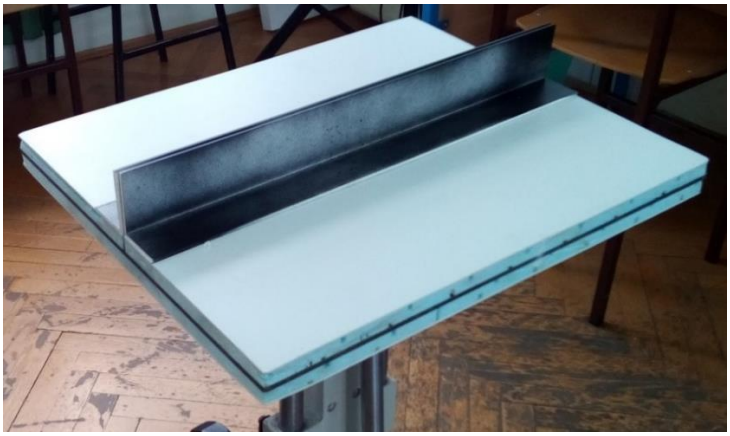
Slika 3.1. Laboratorijski model unipol antene za centralnu frekvenciju 500 MHz



Slika 3.2. Laboratorijski model unipol antene za centralnu frekvenciju 900 MHz



Slika 3.3. Laboratorijski model unipol antene za centralnu frekvenciju 1500 MHz



Slika 3.4. Plastični stalak izrađen kako bi stabilno pridržavao antene u analizi rada antena u različitim polarizacijama

Mjerenja su odrađena u prostoriji 3-16 Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku, Kneza Trpimira 2b. Ulazna impedancija, VSWR i S_{11} parametri su određeni pomoću spektralnog analizatora AGILENT FieldFox N9912A koji je prikazan na slici 3.5. Rezultati mjerenja ulazne impedancije, VSWR i S_{11} parametara u ovom radu su prikazani u grafovima posebno za svaku antenu, a tehničke karakteristike uređaja AGILENT FieldFox N9912A nalaze se u prilogu P3.1.



Slika 3.5. Spektralni analizator AGILENT FieldFox N9912A

Mjerenja jakosti električnog polja, iz kojeg su kasnije određeni dijagrami zračenja, odrađena su pomoću signal generatora Agilent 8648B (Sl. 3.6.) i spektralnog analizatora Agilent ESA-E E4402B (Sl. 3.7.). Tehničke karakteristike navedenih uređaja nalaze se u prilozima P3.2. i P3.3. Kao odašiljačke antene su poslužile antene napravljene za ovaj rad – unipoli za frekvencijska područja 500, 900 i 1500 MHz. Prijemna antena za mjerenje jakosti polja unipola centralne frekvencije 500 MHz bila je unipol antena, izrađena od mjedene žice debljine 2.5 mm i aluminijske vodljive ravnine širine i duljine 70cm. Za unipol centralne frekvencije 900 MHz prijemna antena je također bila unipol antena, izrađena od bakrene žice duljine 8 cm i bakrene vodljive ravnine širine i duljine 20 cm. Za zadnju antenu, unipol za 1500 MHz, korištena je lijevak antena kao prijemna.

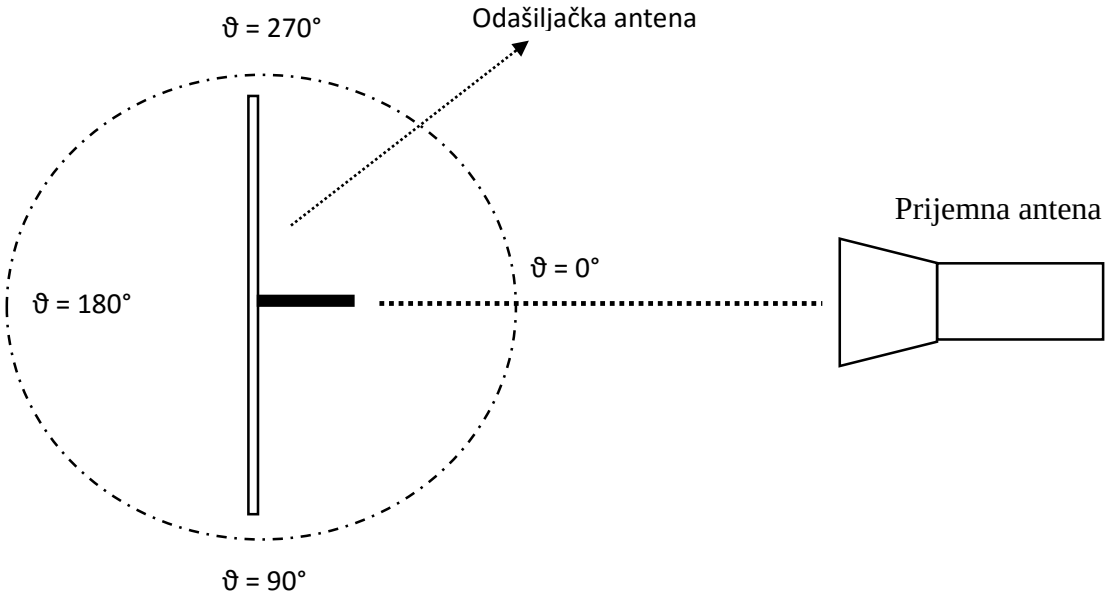


Slika 3.6 Signal generator Agilent 8648B

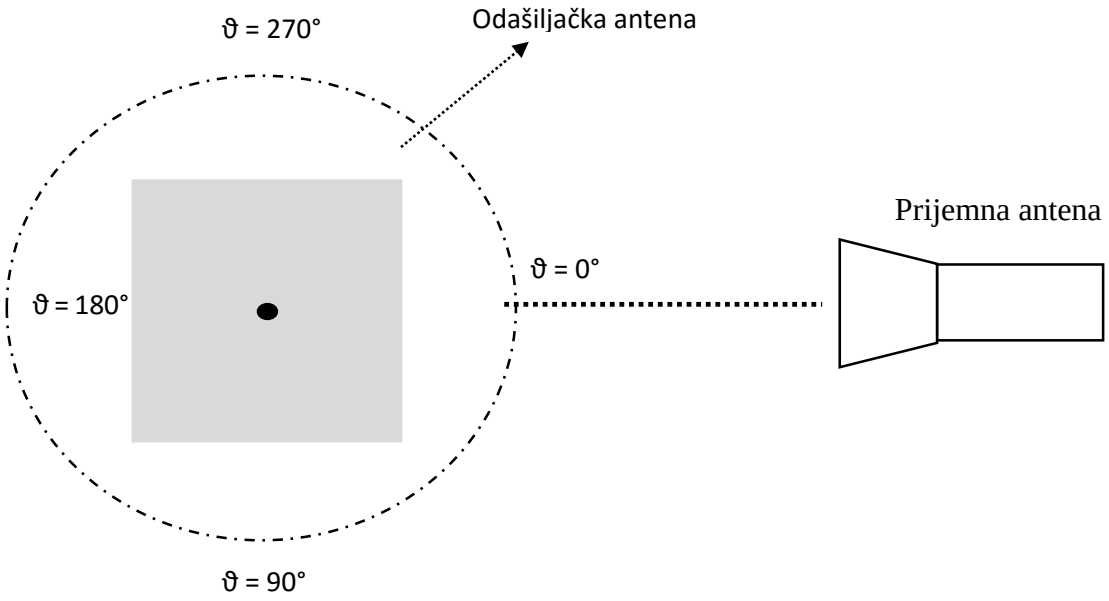


Slika 3.7. Spektralni analizator Agilent ESA-E E4402B

Blok sheme mjerenja dijagrama zračenja u E i H ravnini prikazane su na slikama 3.8. i 3.9. Odašiljačke antene su se nalazile na stalku (sl. 3.13.), izvedenim tako da se može zakretati oko svoje osi, koji na svom postolju ima označene kutove od 0 do 360 stupnjeva. Zakretanjem stalka u pomacima od 5 stupnjeva i mjerenjem jačine polja nakon svakog pomaka određen je dijagram zračenja u E i H ravnini za svaku antenu posebno.



Slika 3.8. Blok shema mjerenja dijagrama zračenja u E ravnini



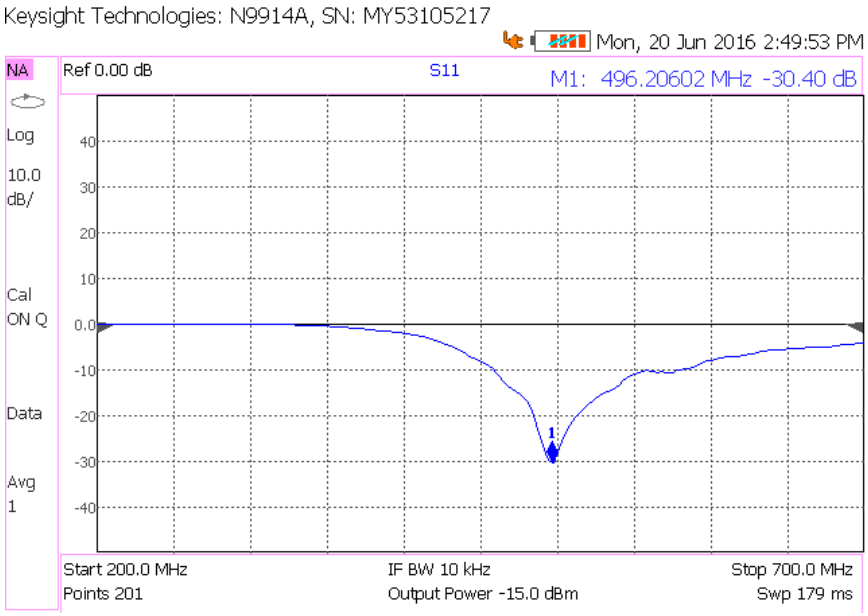
Slika 3.9. Blok shema mjerenja dijagrama zračenja u H ravnini

Vrijednosti dobivene simulacijom i mjerenjem, kao i slike mjerenih antena i uvjeta mjerenja prikazuju se u nastavku, slijedno, počevši od unipol antene za 500 MHz, preko antene za 900 MHz te zadnje unipol antene za 1500 MHz.

3.1 Unipol antena za frekvenciju 500 Mhz

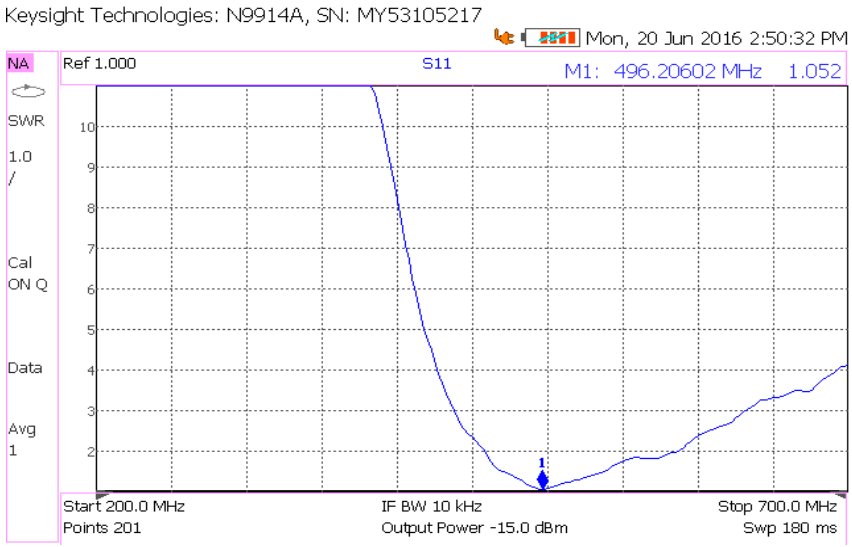
U ovom poglavlju bit će prikazani rezultati simulacije i mjerenja unipol antene za centralnu frekvenciju 500 MHz. Prvo se prikazuju rezultati mjerenja S_{11} i VSWR parametara, ulazne impedancije te jakosti električnog polja unipol antene koje je uspoređeno s rezultatima simulacije. Kao što je ranije napomenuto, antena napravljena za ovaj rad je služila kao odašiljačka, a za prijemnu antenu je korištena unipol antena napravljena također za frekvenciju 500 MHz te se zbog poklapanja frekvencijskih područja prijemne i odašiljačke antene očekuju vrlo dobri rezultati.

Slike 3.10. i 3.11. prikazuju izmjerene S_{11} i VSWR vrijednosti pomoću *Agilent FieldFox N9912A* spektralnog analizatora. Na slikama se marker nalazi na 496 MHz, što je odstupanje od 0,8% od 500 MHz pa se taj rezultat smatra vjerodostojnim.



Slika 3.10. Rezultat S_{11} mjerenja unipol antene za centralnu frekvenciju 500 MHz

S_{11} rezultat iznosi -30,40 dB, što je vrlo dobar rezultat obzirom da je prihvatljiva vrijednost do -10 dB. VSWR iznosi 1,052 što je također vrlo dobar rezultat.



Slika 3.11. Rezultat VSWR mjerenja unipol antene za centralnu frekvenciju 500 MHz

Na temelju izmjerenih S_{11} vrijednosti predstavljene su vrijednosti realne i imaginarne komponente ulazne impedancije u ovisnosti o frekvenciji. Realnu i imaginarnu komponentu se računa po formulama 3-3 i 3-4. Ovdje je predstavljen izračun realne i imaginarne komponente na temelju izmjerenih S_{11} vrijednosti za frekvenciju 500 MHz, dok su izračuni za ostale frekvencije

napravljeni u *Microsoft Excelu*. S_{11}vrijednosti dobivene pomoću spektralnog analizatora za frekvenciju 500 MHz (zaokružene na četiri decimale) iznose:

$$\text{Re} = 0{,}0014, \qquad \text{Im} = 0{,}0564$$

Odnos ulazne impedancije i S_{11} vrijednosti predstavljen je sljedećim izrazom:

$$\mathrm{S_{11}} = \frac{\mathrm{Z_{in}} - \mathrm{Z_0}}{\mathrm{Z_{in}} + \mathrm{Z_0}} \tag{3-1}$$

gdje je $\mathrm{Z_0}$ impedancija izvora i iznosi 50 Ω. Iz 3-1 slijedi da je ulazna impedancija

$$\mathrm{Z_{in}} = \mathrm{Z_0}\left(\frac{1 + \mathrm{S_{11}}}{1 - \mathrm{S_{11}}}\right) \tag{3-2}$$

Nakon što se $\mathrm{S_{11}}$ vrijednost predstavi kompleksnim oblikom R + jX, dobiveni izraz konjugira i separira varijable dobivaju se izrazi za izračun realne i imaginarne komponente ulazne impedancije:

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

$$\mathrm{Z_{in}(Im)} = \mathrm{Z_0}\left(\frac{j2\mathrm{X}}{(1 - \mathrm{R})^2 + \mathrm{X^2}}\right) \tag{3-4}$$

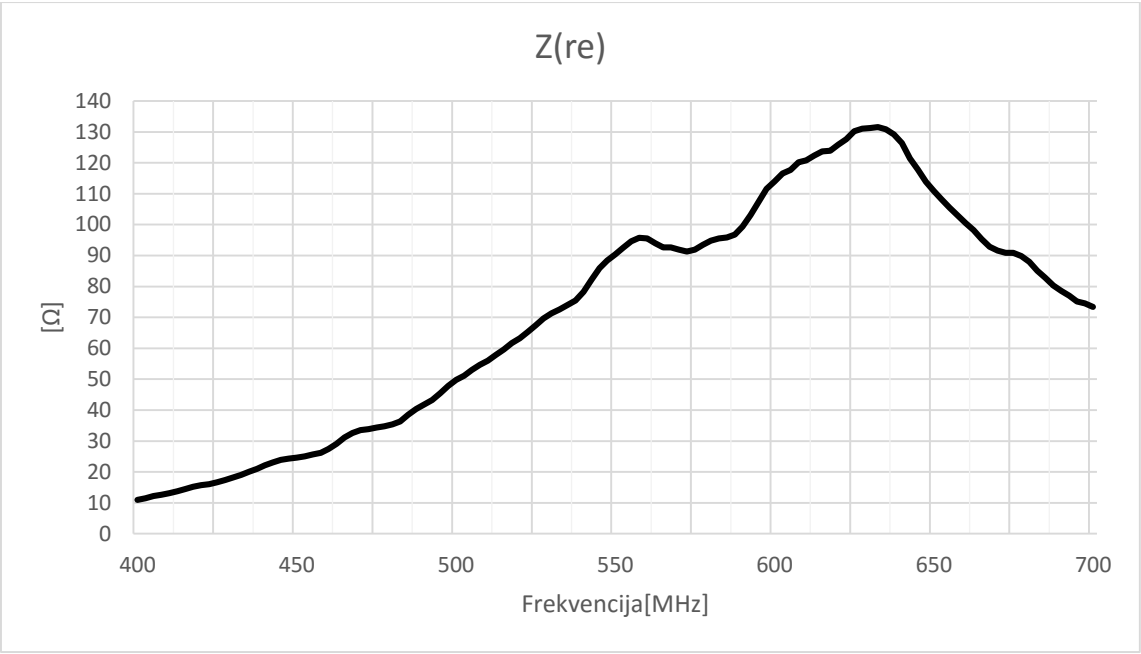
Uvrštavanjem realnih i imaginarnih komponenti $\mathrm{S_{11}}$ vrijednosti u formule 3-3 i 3-4 dobiva se ulazna impedancija antene.

$$\mathrm{Z_{in}(Re)} = \mathrm{Z_0}\left(\frac{1 - \mathrm{R^2} - \mathrm{X^2}}{(1 - \mathrm{R})^2 + \mathrm{X^2}}\right) = 50\left(\frac{1 - 0{,}0014^2 - 0{,}0564^2}{(1 - 0{,}0014)^2 + 0{,}0564^2}\right) = 47{,}85\ \Omega \tag{3-5}$$

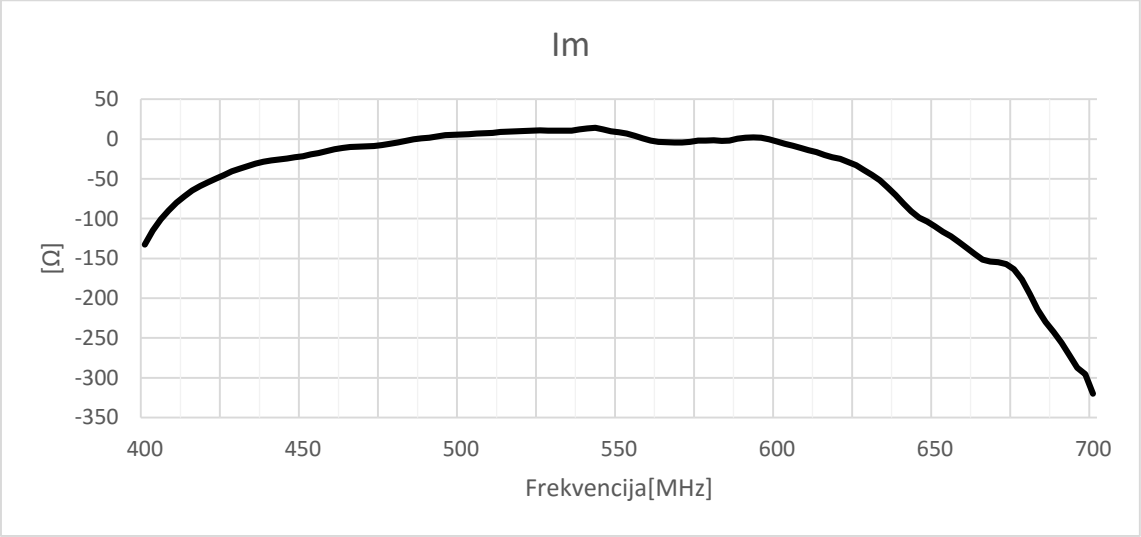
$$\mathrm{Z_{in}(Im)} = \mathrm{Z_0}\left(\frac{j2\mathrm{X}}{(1 - \mathrm{R})^2 + \mathrm{X^2}}\right) = 50\ \left(\frac{j2(0{,}0564)}{(1 - 0{,}0014)^2 + 0{,}0564^2}\right) = j5{,}42\ \Omega \tag{3-6}$$

Konačno, ulazna impedancija unipol antene za centralnu frekvenciju 500 MHz iznosi $\mathrm{Z_{in}} = 47{,}85 + j5{,}42\ \Omega$.

Slike 3.12. i 3.13. prikazuju ovisnost realne i imaginarne komponente ulazne impedancije unipol antene za 500 MHz o frekvenciji.



Slika 3.12. Ovisnost realne komponente ulazne impedancije o frekvenciji



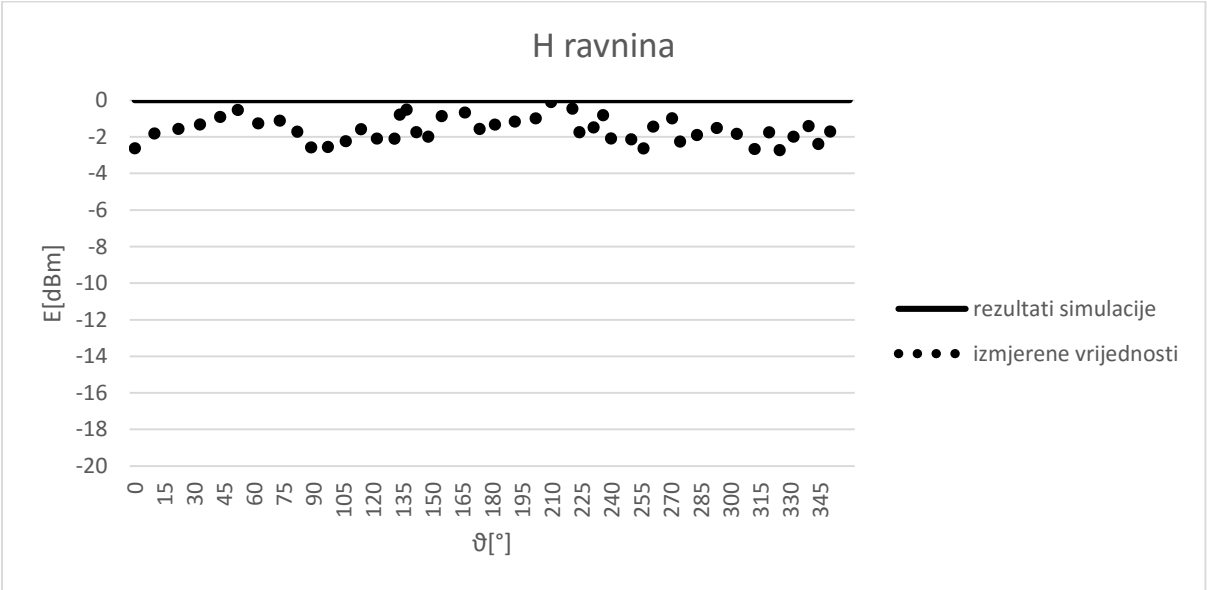
Slika 3.12. Ovisnost imaginarne komponente ulazne impedancije o frekvenciji

Prilikom mjerenja jakosti električnog polja antene su međusobno bile udaljene 2.16 m. Slika 3.13. prikazuje odašiljačku unipol antena i stalak na koji je postavljena prilikom mjerenja dijagrama zračenja u E ravnini. Za prijemnu antenu korištena je unipol antena i njena polarizacija se mijenjala kako se mijenjala polarizacija odašiljačke antene prilikom određivanja jakosti polja u E i H ravnini.

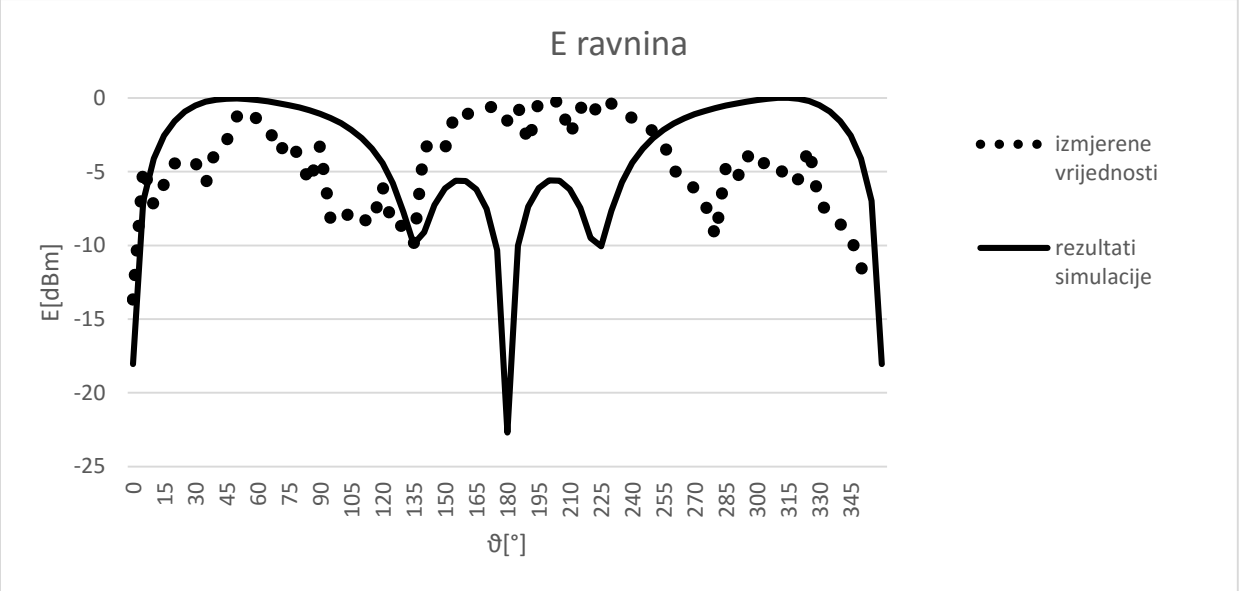


Slika 3.13. Unipol antena za centralnu frekvenciju 500 MHz na stalku prilikom mjerenja dijagrama zračenja u E ravnini

Sljedeće slike prikazuju dijagram zračenja unipol antene za centralnu frekvenciju 500 MHz. Dijagram je zbog jednostavnosti prikazan u pravokutnom koordinatnom sustavu u dvije ravnine, E i H. Vrijednosti dobivene mjerenjem jakosti električnog polja su normirane i nalaze se u tablici u prilogu P3.4.

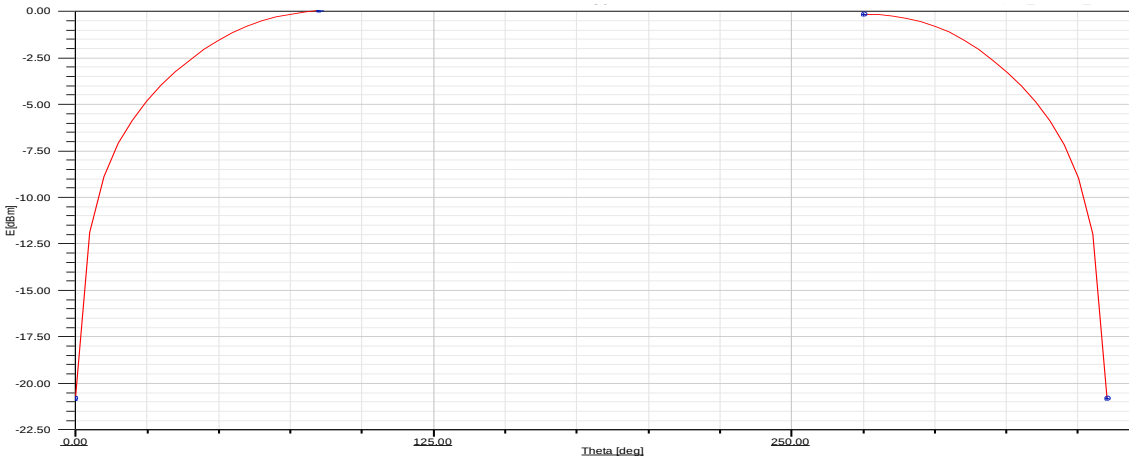


Slika 3.14. Dijagram zračenja unipola za centralnu frekvenciju 500 MHz u H ravnini



Slika 3.15. Dijagram zračenja unipola za centralnu frekvenciju 500 MHz u E ravnini

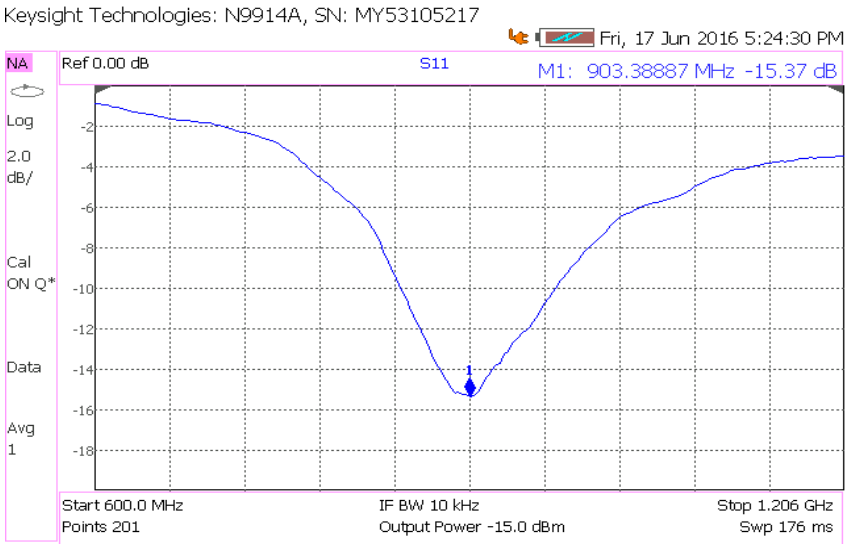
Važno je napomenuti da uvjeti prilikom mjerenja dijagrama zračenja nisu bili idealni – prostorija nije elektromagnetski izolirana, postoji puno površina koje reflektiraju ili apsorbiraju elektromagnetske valove te na kraju postoji i prisutnost osoba koje vrše mjerenja. Svi ti čimbenici utječu na izmjerene vrijednosti. Sa slike 3.14. je vidljivo da izmjerene vrijednosti dijagrama u H ravnini relativno dobro prate vrijednosti dobivene simulacijom, iako mjestimično postoje odstupanja od oko 3 dBm što odgovara smanjenju od 50%. Na slici 3.15. ima velikih odstupanja izmjerenih od simuliranih vrijednosti, pogotovo u rasponu $135° < \vartheta < 270°$. U tom području, jakost električnog polja bi trebala biti minimalna, ali izmjerene vrijednosti su blizu maksimuma što se može objasniti refleksijom elektromagnetskih valova od raznih predmeta u prostoriji. Usporedimo li simulirani i izmjereni dijagram zračenja u E ravnini sa slike 3.15 sa teorijskim dijagramom zračenja unipola na beskonačnoj ravnini, koji je prikazan na slici 3.16, vidljiv je utjecaj konačne ravnine na dijagram zračenja. Na beskonačnoj ravnini nema „curenja“ zračenja ispod vodljive ravnine te između $\vartheta = 90°$ i $\vartheta = 270°$ (raspon kutova u kojem se mjeri jakost elektromagnetskog polja ispod vodljive ravnine) jakost elektromagnetskog polja pada u minus beskonačnost.



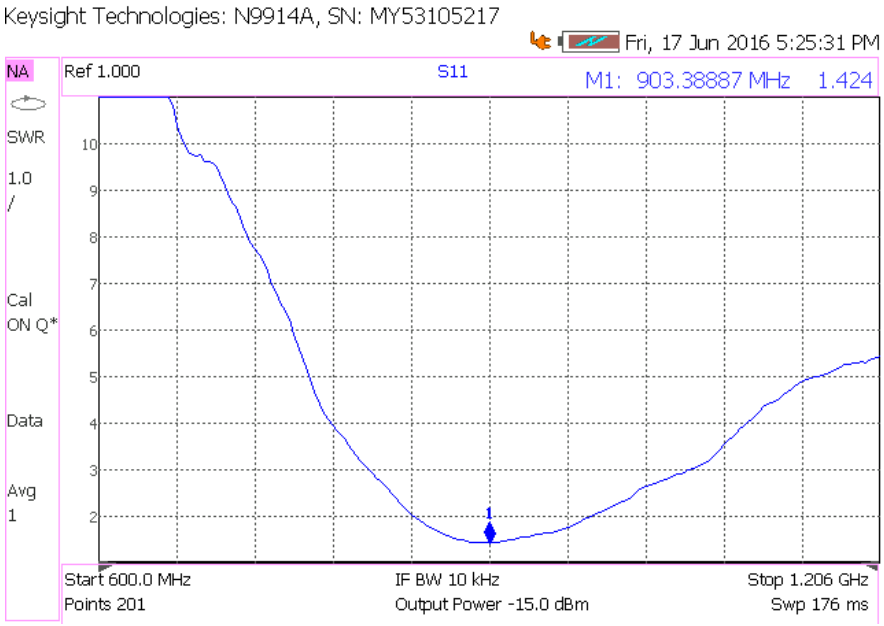
Slika 3.16. Teorijski dijagram zračenja unipola u E ravnini na beskonačnoj ravnini (simulacija u HFSS-u)

3.2 Unipol antena za frekvenciju 900 Mhz

Slike 3.17. i 3.18. prikazuju izmjerene vrijednosti S_{11} i VSWR parametara unipol antene za centralnu frekvenciju 900 MHz. Marker se nalazi na 903,39 MHz, što je odstupanje manje od 1% od 900 MHz te se izmjereni rezultati mogu uzeti kao mjerodavni i za 900 MHz. Izmjerena S_{11} vrijednost iznosi -15,37 dB što je, iako nije vrlo dobar, prihvatljiv rezultat obzirom da su prihvatljive vrijednosti do -10 dB. VSWR iznosi 1,424 što je također prihvatljiv rezultat, iako isto nije vrlo dobar (maksimalna prihvatljiva vrijednost je 2). Zaključak je da bi antena mogla biti bolje napravljena i bolje prilagođena impedanciji sustava, ali zadovoljava osnovne uvjete te se može prijeći i na ostala mjerenja.



Slika 3.17. Prikaz S_{11} parametra unipol antene za centralnu frekvenciju 900 MHz

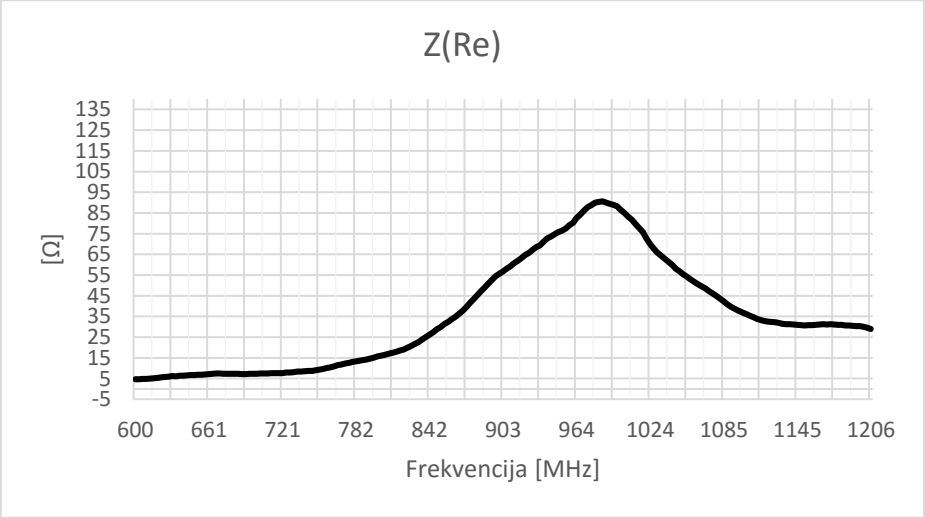


Slika 3.18. Prikaz VSWR parametra unipol antene za centralnu frekvenciju 900 MHz

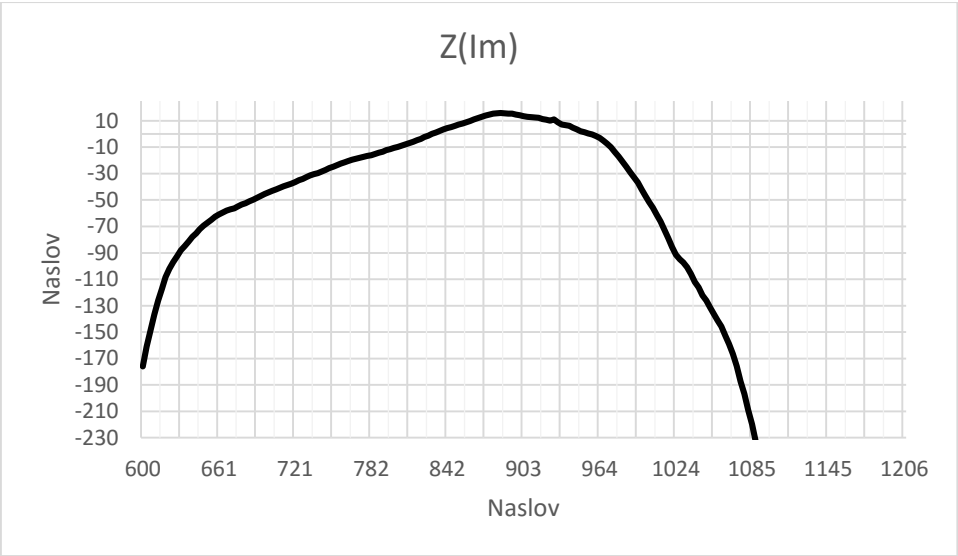
Ulazna impedancija je, kao i kod unipola za 500 MHz, izračunata u *Microsoft Excelu* iz S_{11} vrijednosti dobivenih pomoću spektralnog analizatora Agilent FieldFox i grafički predstavljena na slikama 3.19. i 3.20. Izmjerene S_{11} vrijednosti zaokružene na 4 decimale na frekvenciji 900 MHz iznose:

$$Re = 0{,}0689, \qquad Im = 0{,}1208.$$

Uvrštavanjem izmjerenih S_{11} vrijednosti u formule 3-5 i 3-6 dolazi se do konačne vrijednosti ulazne impedancije za unipol antenu na frekvenciji 900 MHz i ona iznosi $Z_{in} = 55{,}6229 + j14{,}1681\ \Omega$.



Slika 3.19. Grafički prikaz ovisnosti realne komponente ulazne impedancije o frekvenciji za unipol centralne frekvencije 900 MHZ



Slika 3.20. Grafički prikaz ovisnosti imaginarne komponente ulazne impedancije o frekvenciji za unipol centralne frekvencije 900 MHZ

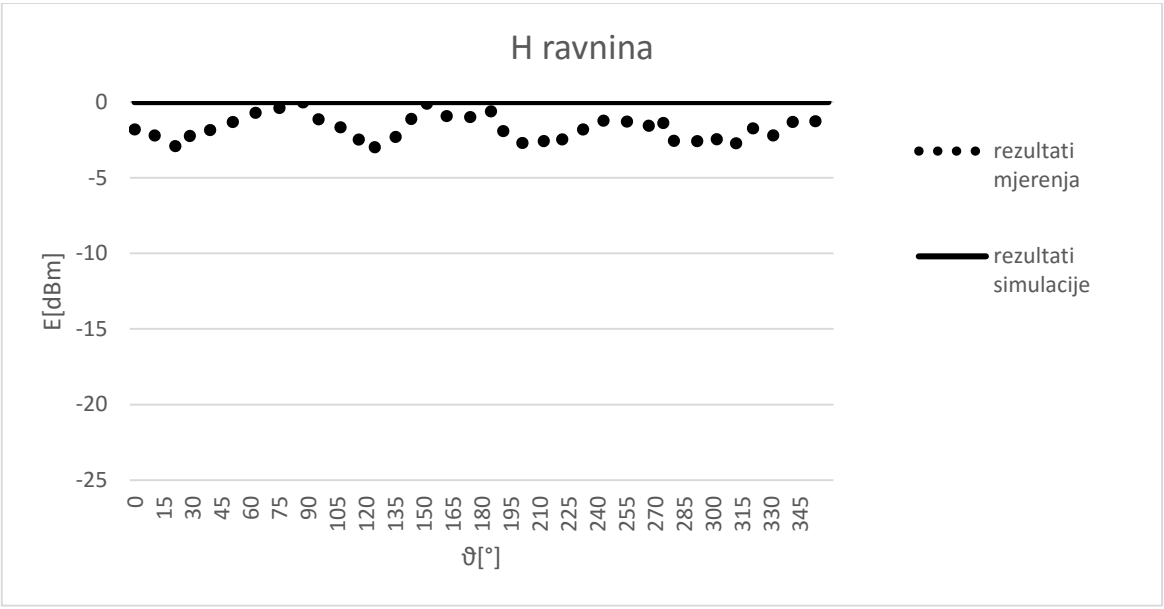
Slike 3.21. i 3.22. prikazuju odašiljačku unipol antenu za 900 MHz na stalku i prijemnu unipol antenu za 800 MHz. Izmjereni i simulirani dijagrami zračenja unipol antene za 900 MHz su prikazani na slikama 3.23. i 3.24. dok se rezultati mjerenja nalaze u tablici u prilogu P3.5. Budući da se u frekvencijskom području 900 MHz nalazi i većina GSM odašiljača, a prostorija nije elektromagnetski izolirana, za očekivati je smetnje i nepravilnosti u izmjerenim vrijednostima uzrokovane GSM odašiljačima, mobilnim telefonima itd.



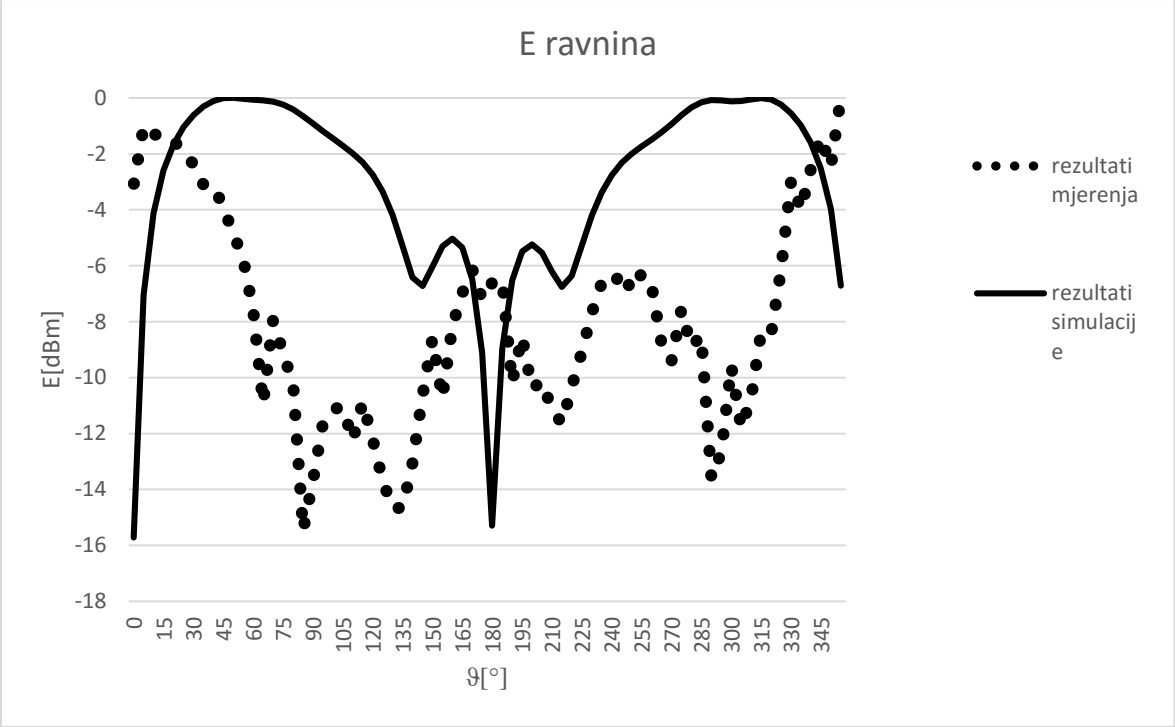
Slika 3.21. Odašiljačka unipol antena za 900 MHz na stalku prilikom mjerenja dijagrama zračenja u E ravnini



Slika 3.22. Prijemna unipol antena za 900 MHz prilikom mjerenja dijagrama zračenja u E ravnini



Slika 3.23. Dijagram zračenja unipola za centralnu frekvenciju 900 MHz u H ravnini



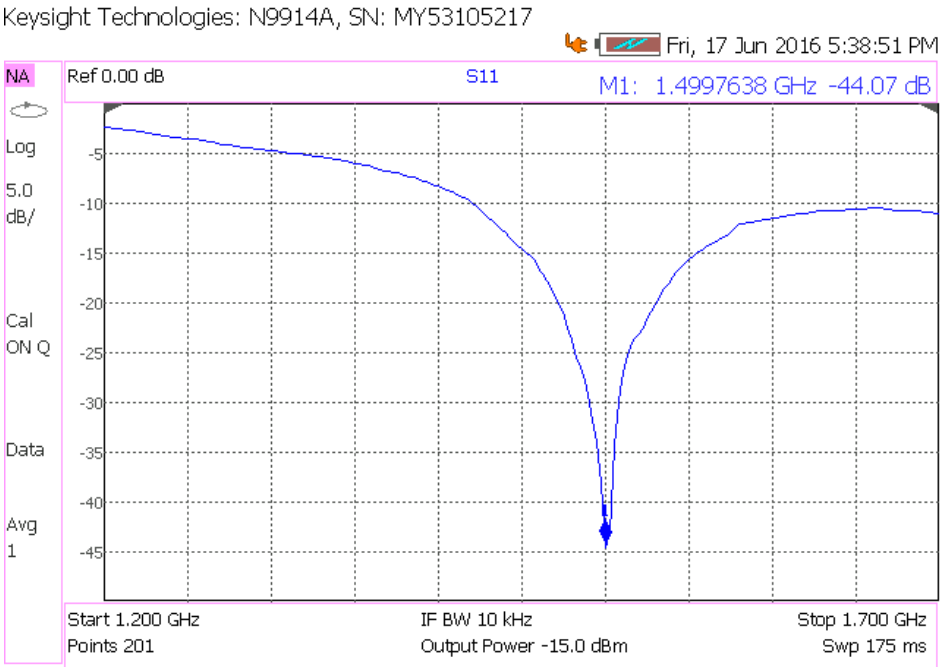
Slika 3.24. Dijagram zračenja unipola za centralnu frekvenciju 900 MHz u E ravnini

Kao i kod unipola za 500 MHz, i ovdje su vidljiva odstupanja izmjerenog dijagrama zračenja od simuliranog dijagrama, ali u manjoj mjeri. U H ravnini maksimalna odstupanja su oko 2,5 dBm, što je za očekivati zbog nesavršenosti mjernih uvjeta. U E ravnini, postoje velika odstupanja, ali ne kao kod dijagrama unipola za 500 MHz. Vidi se utjecaj povećanja vodljive ravnine u odnosu na valnu duljinu te je najveća vrijednost polja ispod vodljive ravnine -6 dBm što odgovara padu jakosti polja od oko 75%. Usporedimo li rezultate simulacije i mjerenja sa teorijskim dijagramom zračenja unipola na beskonačnoj ravnini (sl. 3.16.) vidljivo je kako vrijednosti dobivene simulacijom i mjerenjem značajno odstupaju, ali u manjoj mjeri nego kod unipola za 500 MHz. Za zaključiti je kako prilikom mjerenja ove antene nije bilo velike refleksije zračenja.

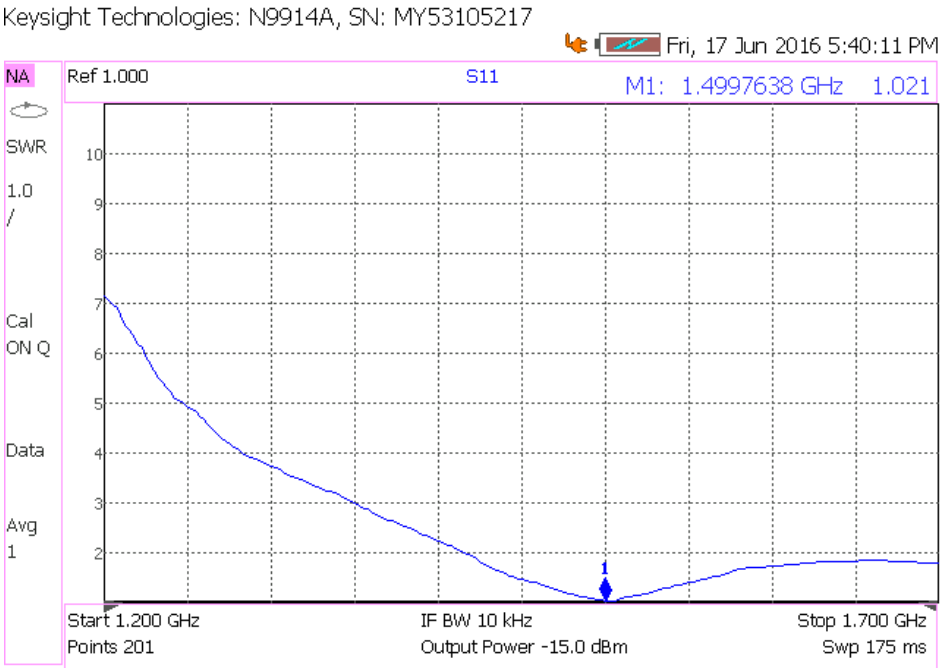
3.3 Unipol antena za frekvenciju 1500 Mhz

Nakon prve dvije, na redu je i treća unipol antena, namijenjena za centralnu frekvenciju 1500 MHz. Kao i do sada, prvo se prikazuju rezultati mjerenja S_{11} i VSWR parametara na slikama 3.25. i 3.26. Marker se ponovno ne nalazi na točno 1500 MHz nego na 1499,76 MHz što je beznačajno odstupanje. Izmjerena vrijednost S_{11} parametra na frekvenciji 1500 MHz je vrlo dobra i iznosi -44,07

dB. Vrijednost VSWR parametra iznosi 1,021 što je također vrlo dobar rezultat. Iz ovoga se zaključuje da je antena korektno napravljena te se očekuju i dobri rezultati mjerenja ulazne impedancije i dijagrama zračenja.



Slika 3.25. Prikaz S_{11} parametra unipol antene za centralnu frekvenciju 1500 MHz

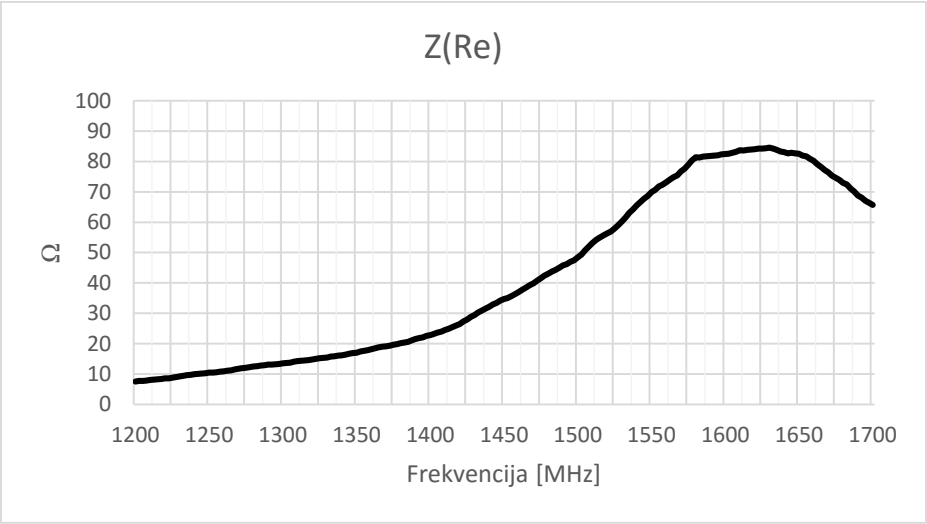


Slika 3.25. Prikaz VSWR parametra unipol antene za centralnu frekvenciju 1500 MHz

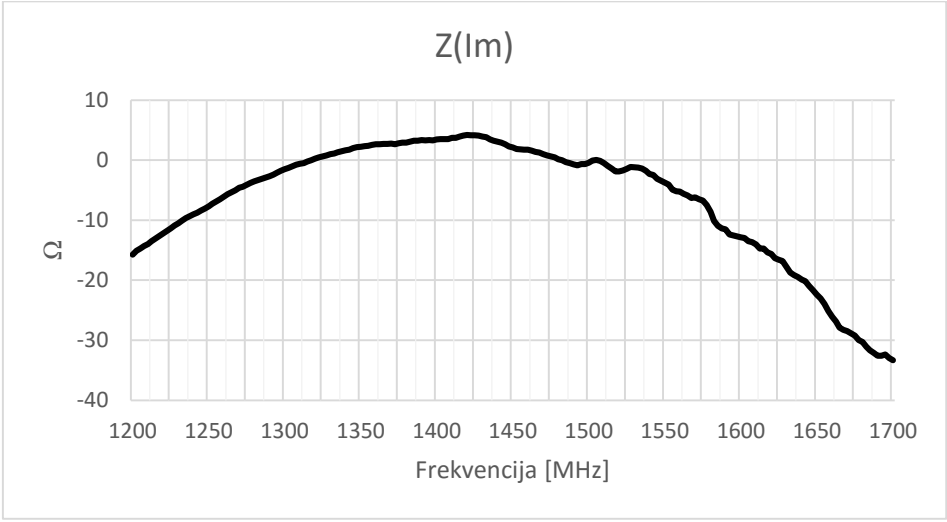
Ulazna impedancija je kao i kod prethodne dvije antene izračunata u *Microsoft Excelu* iz S_{11} vrijednosti dobivenih pomoću spektralnog analizatora Agilent FieldFox i grafički predstavljena na slikama 3.19. i 3.20. Izmjerene S_{11} vrijednosti zaokružene na 4 decimale na frekvenciji 1500 MHz iznose:

Re = -0,0159, Im = 0,0046.

Uvrštavanjem izmjerenih S_{11} vrijednosti u formule 3-5 i 3-6 dolazi se do konačne vrijednosti ulazne impedancije za unipol antenu na frekvenciji 1500 MHz i ona iznosi Z_{in} = 48,4333 - j0,4415 Ω.



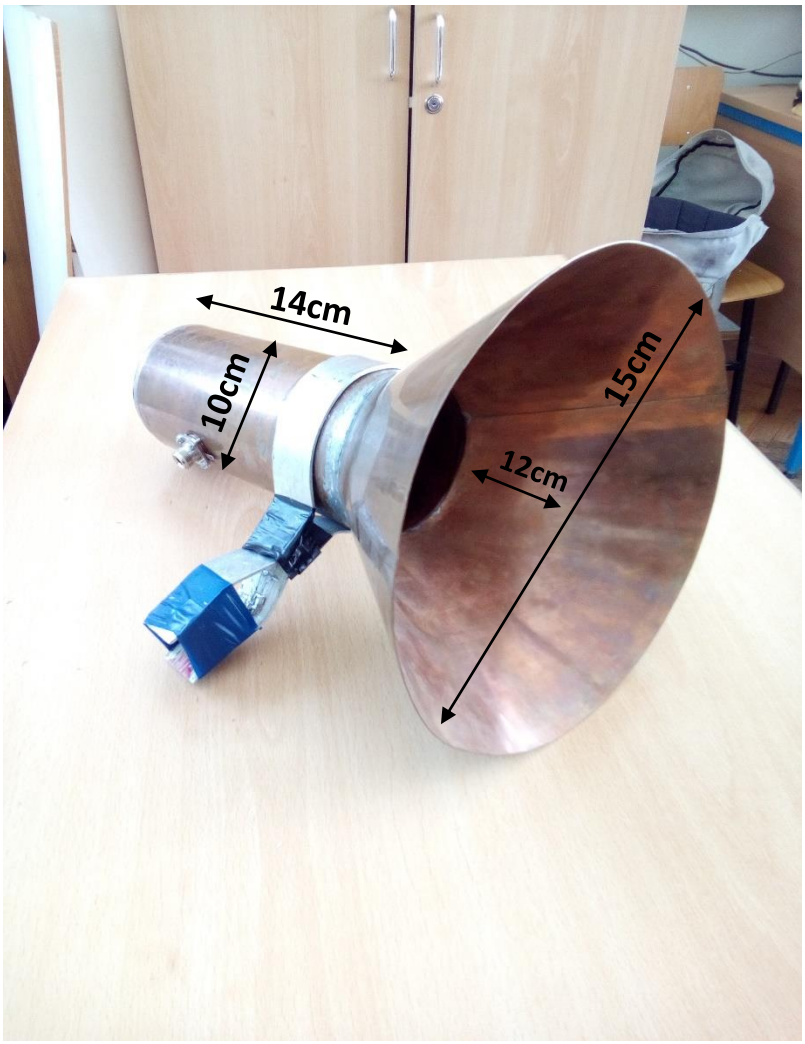
Slika 3.26. Grafički prikaz ovisnosti realne komponente ulazne impedancije o frekvenciji za unipol centralne frekvencije 1500 MHZ



Slika 3.27. Grafički prikaz ovisnosti imaginarne komponente ulazne impedancije o frekvenciji za unipol centralne frekvencije 1500 MHZ

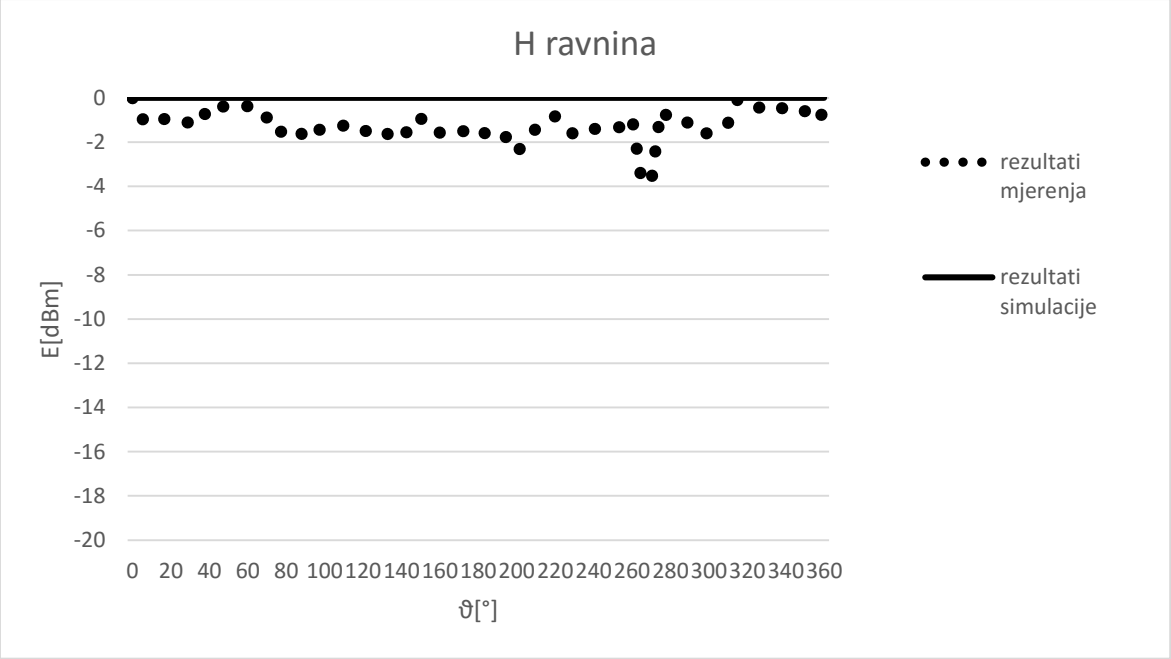
Iz slika 3.26. i 3.27. vidljivo je kako je antena kvalitetno prilagođena impedanciji sustava, na 1500 MHz imaginarna komponenta iznosi samo - j0,4415 Ω. Nastavno na prijašnje rezultate, očekuje se dobre rezultate dijagrama zračenja.

Prilikom mjerenja dijagrama zračenja unipola za 1500 MHz korištena je lijevak antena izrađena od bakra namijenjena za 1900 MHz frekvencijsko područje. Antena je prikazana na slici 3.28. gdje su označene i njene fizičke karakteristike.

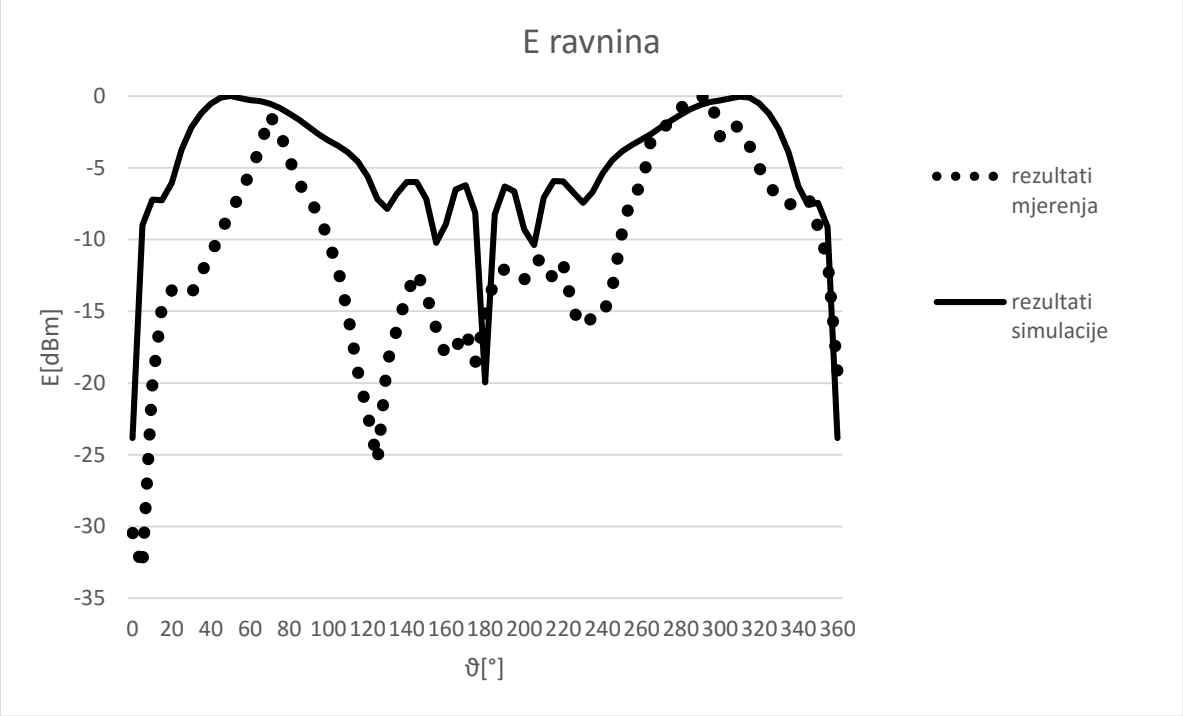


Slika 3.28. Lijevak antena korištena za mjerenje dijagrama zračenja unipola za 1500 MHz

Izmjerene vrijednosti i vrijednosti dobivene simulacijom za dijagrame zračenja unipol antene za 1500 MHz u H i E ravnini su prikazane na slikama 3.29. i 3.30. Normirane vrijednosti dobivene mjerenjem nalaze se u tablici u prilogu P3.6.



Slika 3.29. Dijagram zračenja unipola za centralnu frekvenciju 1500 MHz u H ravnini



Slika 3.30. Dijagram zračenja unipola za centralnu frekvenciju 1500 MHz u E ravnini

Nakon kratkog pogleda na dijagrame zračenja, vidljivo je kako dijagrami zračenja ovog unipola najbolje od svih antena prate vrijednosti dobivene simulacijom. Postoje izvjesna odstupanja i asimetrija što se može pripisati nesavršenosti mjernih uvjeta i tome što je prijemna antena namijenjena

za frekvencijsko područje 1900 MHz. Ispod vodljive ravnine jakost električnog polja ne prelazi iznad -10 dBm, što znači da jakost električnog polja ispod ravnine pada za oko 75%, dok mjestimično pada i puno više (-25 dBm). Vidljivo je kako je ova antena najbolje prilagođena impedanciji sustava i kako jakost električnog polja osjetno pada ispod vodljive ravnine što se pripisuje velikoj vodljivoj ravnini naspram valne duljine.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su predstavljene jedne od najjednostavnijih žičanih antena – četvrtvalne unipol antene. Njihove prednosti su jednostavnost izvedbe i konstrukcije te dobre karakteristike. Možda najpopularnija i nama svima poznati primjeri unipol antena su antene koje se koriste u radiokomunikacijama za prijem radio signala. Zbog svojih sličnosti s poluvalnim dipolom, unipol antena se često koristi tamo gdje nije moguće fizički izvesti poluvalni dipol zbog njegove visine. Ukratko su kroz unipol i dipol antenu predstavljeni najvažniji parametri antena.

U laboratorijskim mjerenjima određeni su S_{11} i VSWR parametri antena za frekvencijska područja 500, 900 i 1500 MHz koji pokazuju kvalitetu izvedbe antena i njihovu prilagodbu na sustav. Također je određena i ulazna impedancija svake antene na ciljanoj frekvenciji, a prikazani su rezultati i za ostale frekvencije. S_{11} parametar, ili sprega (eng. *scattering*), pokazuje koliko se snage reflektira nazad u sustav te su njegove vrijednosti negativne i izražavaju se u decibelima, a prihvatljive su do -10 dB. VSWR parametar (eng. Voltage Standing Wave Ratio) je broj koji predstavlja naponsku vrijednost amplituda stojnog vala koji nastaje u sustavu te je prihvatljiva vrijednost do 2, a idealna 1.

Za antenu namijenjenu frekvencijskom području 500 MHz vrijednost izmjerenog S_{11} parametra iznosi -30,4 dB, a izmjereni VSWR je 1,052. Ulazna impedancija je $Z_{in} = 47{,}85 + j5{,}42\ \Omega$.

Za antenu namijenjenu frekvencijskom području 900 MHz vrijednost izmjerenog S_{11} parametra iznosi -15,37 dB, a izmjereni VSWR je 1,424. Ulazna impedancija je Z_{in} = 55,6229 + j14,1681 Ω.

Za antenu namijenjenu frekvencijskom području 1500 MHz vrijednost izmjerenog S_{11} parametra iznosi -44,07 dB, a izmjereni VSWR je 1,021. Ulazna impedancija je Z_{in} = 48,4333 - j0,4415 Ω.

Izmjereni dijagrami zračenja pokazuju određena odstupanja od dijagrama zračenja dobivenog simulacijom, u višoj mjeri u E ravnini, dok u H ravnini izmjereni dijagrami prate dijagrame zračenja dobivene simulacijom uz manja odstupanja. Zbog nesavršenosti mjernih uvjeta (refleksije prostorije,

materijala, namještaja, prisutnosti mjernog osoblja i vanjskih utjecaja do kojih dolazi jer prostorija nije elektromagnetski izolirana) idealne dijagrame je bilo teško dobiti.

5. LITERATURA

[1] http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/ems1.html (10.4.2016. – 30.6.2016.)

[2] C. A. Balanis, „Modern antenna handbook“, John Wiley & Sons, Inc, Canada

[3] Momčilo D Dragović, Antene i prostiranje radiotalasa, Akademska misao, Elektrotehnički fakultet Beograd, 2003.

[4] E. Zentner, Antene i radiosustavi, Graphis Zagreb,1999

[5] E. Zentner, Antene i radiosustavi, udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Graphis, Zagreb, 2001. poglavlje 1.2

[6] http://www.unidu.hr/unidu/enus/Antene.pdf - stranica broj 12 (10.4.2016. – 29.6.2016)

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/File:Monopole_and_image_antenna.svg (7.3.2016–30.6.2016)

[8] I.Zahradka, Radiokomunikacijski sustavi I.dio, Školska knjiga Zagreb,1994.

6. SAŽETAK

Završni rad pod nazivom „Unipol antene za tri frekvencijska opsega“ sastoji se od tri glavna dijela. Prvi dio je kratak uvod u antene i elektromagnetske valove, drugi dio je teoretski dio u kojem se predstavljaju parametri antena i unipol antene na konačnoj i beskonačnoj ravnini. Treći dio je laboratorijska analiza unipol antena i usporedba izmjerenih vrijednosti i vrijednosti dobivenih simulacijom.

Ključne riječi: antene, dijagram zračenja, dobitak, elektromagnetski val, ulazna impedancija, polarizacija, e ravnina, h ravnina, blisko polje, daleko polje, laboratorijska analiza

7. ABSTRACT

This final thesis titled „Monopole antennas for three frequency ranges“ is composed of three main parts. The first part is a short introduction to antennas and electromagnetic waves, while the second part is about antennas' parameters and monopole antennas above perfect infinite and real finite ground planes. The third part is about laboratory measurements and comparing measured results with expected ones.

Keywords: antennas, electromagnetic wave, radiation pattern, gain, input impedance, polarization, e plane, h plane, near-field, far-field, laboratory measurements.

ŽIVOTOPIS

Danijel Maloča Damjanović rođen je 1. siječnja 1991. godine u Varaždinu. Upisuje osnovnu školu „Vladimir Nazor“ u Gvozdu, nastavlja je u OŠ Josipa Antuna Ćolnića u Đakovu te završava osnovnu školu „Vladimir Nazor“ u Čepinu. Nakon završene osnovne škole upisuje Isusovačku klasničnu gimnaziju u Osijeku koju završava 2009. godine s vrlo dobrim uspjehom. Iste godine upisuje i stručni studij automatike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.

PRILOZI

P3.1. Tehničke karakteristike spektralnog analizatora Agilent FieldFox N9912A:

Agilent FieldFox N9912A :

Key Features & Specifications

Cable and antenna analyzer (CAT), vector network analyzer (VNA)

- 2 MHz to 4/6 GHz
- Directivity > 42 dB
- CAT: Distance-to-fault, return loss, cable loss
- VNA: S11 mag and phase, S21 mag, time doman with gating

Spectrum analyzer, interference analyzer

- 5 kHz to 4/6 GHz
- DANL: -148 dBm, +18 dBm TOI
- Spectrogram, waterfall display, record and playback

Independent source, vector voltmeter (VVM), power sensor and channel power measurements

- RF source: 2 MHz to 4/6 GHz, CW and tracking
- VVM: 2 MHz to 4/6 GHz, compare phase and electrical length
- Average and peak power measurements with USB sensor
- Channel power measurements: 100 kHz to 4/6 GHz, no sensor needed

FieldFox instrument attributes

- New: Remote control via iPad or iPhone
- Standard 3-year warranty
- Battery life: 4-hours; weight: 2.8 kg or 6.2 lbs
- Operating temperature: -10 to +55 °C (14 to 131 °F)

P3.2. Tehničke karakteristike signalnog generatora Agilent 8648B:

Signal generator Agilent 8648B :

Key Features & Specifications

- Economical 2.0 GHz synthesized signal generator
- Superior level accuracy
- Wide frequency and output power coverage
- Optional pulse modulation and high power
- Remote and memory interfaces for semi-automated testing
- Simple, dependable operation

P3.3. Tehničke karakteristike spektralnog analizatora Agilent ESA-E E4402B:

Key Features & Specifications

Performance

- 0.4 dB overall amplitude accuracy
- +16 dBm TOI
- -166 dBm DANL, with internal preamp
- 1 Hz narrow resolution bandwidth (optional)

Measurement applications

- Phase Noise, Noise Figure, GSM/EDGE, cdmaOne and more view the full list of measurement applications
- Agilent's PowerSuite one-button power measurements included as standard

Features

- 10 MHz analysis bandwidth
- Segmented sweep for up to 32 discontinuous spans in one sweep
- Rugged and portable for lab grade performance in the field

- 5 minute warm-up to guaranteed measurement accuracy

Configuration selections

- Standard express analyzer E4402B-STD for faster delivery time, includes options AYX, BAA.
- Standard express analyzer with tracking generator E4402B-STG for faster delivery time, includes options 1DN, AYX, BAA.
- Communications test express analyzer E4402B-COM for faster delivery time, includes options 1D5, 1DR, B7D, B7E, BAA.
- Custom configuration for maximum flexibility with standard delivery time.

P3.4. Tablica izmjerenih normiranih vrijednosti jakosti električnog polja unipol antene za centralnu frekvenciju 500 MHz

ϑ [°]	H [dBm]	E [dBm]	ϑ [°]	H [dBm]	E [dBm]
0	-2,73	-15,18	190	-1,17	-1,62
5	-2,38	-6,14	195	-1,51	-0,76
10	-1,9	-8,79	200	-1,11	-2,05
15	-1,8	-7,33	205	-1,07	-1,62
20	-1,75	-5,93	210	-0,14	-1,08
25	-1,54	-6,22	215	-0,22	-1,09
30	-1,71	-5,87	220	-0,41	-0,91
35	-1,2	-7,32	225	-2,23	-0,51
40	-0,84	-4,87	230	-1,86	-1,7
45	-1,12	-4,41	235	-0,63	-1,23
50	-1,18	-3,17	240	-2,23	-1,9
55	-1,17	-4	245	-1,88	-3,11
60	-1,27	-3,99	250	-2,22	-3,8
65	-1,47	-4,43	255	-3,07	-4,51
70	-1,08	-5,23	260	-1,57	-6,47
75	-1,3	-4,36	265	-1,4	-6,73
80	-1,28	-5,5	270	-0,93	-7,71
85	-2,67	-7,35	275	-2,5	-8,65
90	-2,78	-4,74	280	-2,55	-11,92
95	-3,32	-9,76	285	-1,65	-6,23
100	-2,1	-10,06	290	-1,79	-7,11
105	-2,29	-9,06	295	-1,5	-5,33
110	-2,78	-9,67	300	-1,49	-6,33
115	-1,46	-10,04	305	-2,2	-5,73
120	-2,14	-7,48	310	-2,77	-5,96
125	-2,29	-10,32	315	-2,77	-9,32
130	-2,58	-10,16	320	-1,74	-7
135	0	-11,42	325	-3,09	-4,86
140	-1,46	-4,92	330	-1,98	-8,83
145	-2,56	-4,41	335	-2,31	-9,1
150	-1,71	-4,92	340	-1,38	-10,06
155	-0,9	-2,44	345	-2,69	-10,92
160	-0,95	-2,66	350	-1,76	-13,02
165	-0,75	-2,26	355	-2,83	-14,12
170	-0,82	0	X	X	X
175	-1,97	-1,02	X	X	X
180	-1,35	-1,08	X	X	X
185	-1,64	-0,28	X	X	X

P3.5. Tablica izmjerenih normiranih vrijednosti jakosti električnog polja unipol antene za centralnu frekvenciju 900 MHz

ϑ [°]	H [dBm]	E [dBm]	ϑ [°]	H [dBm]	E [dBm]
0	-1,81	-1,77	185	-0,6	-6,49
5	-1,57	-1,6	190	-1,91	-10,18
10	-2,16	-1,32	195	-1,92	-8,53
15	-2,78	-1,29	200	-2,69	-10,39
20	-2,83	-2,48	205	-2,79	-10,13
25	-3,2	-3,05	210	-2,96	-11,17
30	-1,87	-3,35	215	-2,13	-11,63
35	-2,05	-3,09	220	-2,59	-10,31
40	-1,82	-3,11	225	-2,25	-9,08
45	-1,76	-3,94	230	-2,22	-7,69
50	-1,38	-4,84	235	-1,43	-6,62
55	-1,11	-5,77	240	-1,51	-6,79
60	-0,82	-7,6	245	-1,08	-6,19
65	-0,63	-10,93	250	-1,21	-6,9
70	-0,6	-7,95	255	-1,3	-6,27
75	-0,39	-9,1	260	-1,14	-6,71
80	-0,25	-10,24	265	-1,27	-8,78
85	0	-15,46	270	-2,13	-9,42
90	-0,06	-13,67	275	-1,25	-7,56
95	-1,09	-11,63	280	-2,64	-8,9
100	-1,59	-11,12	285	-2,74	-8,49
105	-1,57	-11,05	290	-2,7	-13,61
110	-1,85	-12,25	295	-2,39	-12,66
115	-2,6	-10,88	300	-2,07	-9,58
120	-2,14	-12,23	305	-3,01	-11,8
125	-3,07	-13,7	310	-2,78	-10,73
130	-2,79	-14,68	315	-2,64	-8,39
135	-2,35	-14,65	320	-1,71	-8,48
140	-1,94	-13,05	325	-1,93	-6,18
145	-0,79	-10,65	330	-2,4	-3,95
150	0	-8,62	335	-1,63	-3,99
155	-0,38	-10,74	340	-1,42	-2,52
160	-0,97	-8,18	345	-1,08	-1,4
165	-0,86	-6,96	350	-1,35	-2,57
170	-1,12	-6,15	355	-1,22	0
175	-0,97	-7,21	X	X	X
180	-1,18	-6,6	X	X	X

P3.6. Tablica izmjerenih normiranih vrijednosti jakosti električnog polja unipol antene za centralnu frekvenciju 1500 MHz

ϑ [°]	H [dBm]	E [dBm]	ϑ [°]	H [dBm]	E [dBm]
0	0	-30,44	190	-1,96	-12,08
5	-0,98	-32,96	195	-1,74	-12,69
10	-0,73	-20,23	200	-2,46	-12,79
15	-0,98	-14,56	205	-1,95	-11,56
20	-0,89	-13,54	210	-1,37	-11,34
25	-1,09	-13,79	215	-1,21	-12,82
30	-1,11	-13,8	220	-0,82	-11,77
35	-0,55	-12,34	225	-1,2	-14,97
40	-0,87	-11,03	230	-1,69	-16,09
45	-0,37	-9,53	235	-1,53	-15,39
50	-0,42	-8,03	240	-1,39	-15,42
55	-0,3	-6,88	245	-1,45	-13,35
60	-0,38	-5,3	250	-1,36	-9,58
65	-0,89	-3,64	255	-1,31	-6,83
70	-0,89	-1,32	260	-0,86	-6,31
75	-1,64	-2,46	265	-3,73	-2,91
80	-1,39	-4,37	270	-3,84	-2,36
85	-1,32	-6,02	275	-0,54	-1,73
90	-1,84	-7,35	280	-0,95	-0,85
95	-1,39	-8,09	285	-0,9	-0,11
100	-1,49	-10,12	290	-1,17	-0,06
105	-1,33	-12,06	295	-1,66	0
110	-1,25	-15,26	300	-1,58	-2,81
115	-1,54	-19,13	305	-1,28	-1,87
120	-1,48	-22,14	310	-1,14	-2,24
125	-1,53	-25,48	315	-0,07	-3,44
130	-1,39	-18,65	320	-0,34	-5
135	-1,83	-16,22	325	-0,5	-6,11
140	-1,44	-13,85	330	-0,26	-7,24
145	-1,66	-12,25	335	-0,35	-7,6
150	-0,94	-13,81	340	-0,53	-7,2
155	-1,02	-16,16	345	-0,74	-7
160	-1,58	-18,16	350	-0,59	-9,08
165	-1,65	-17,56	355	-1,09	-11,5
170	-1,48	-16,35	360	-0,62	-19,34
175	-1,54	-18,55	X	X	X
180	-1,34	-15,32	X	X	X
185	-1,72	-12,63	X	X	X