Utjecaj duljine i polumjera poprečnog presjeka dipola na jakost polja, dobitak i impedanciju dipola

Marošević, Ivan

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:200:611497

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

Sveučilišni studij

UTJECAJ DULJINE I POLUMJERA POPREČNOG PRESJEKA DIPOLA NA JAKOST POLJA, DOBITAK I IMPEDANCIJU DIPOLA

Završni rad

Ivan Marošević

Osijek, 2017.

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

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 08.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

Ime i prezime studenta:	Ivan Marošević
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3936, 18.07.2014.
OIB studenta:	59833114070
Mentor:	Doc.dr.sc. Mario Vranješ
Sumentor:	Dr.sc. Denis Vranješ
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Utjecaj duljine i polumjera poprečnog presjeka dipola na jakost polja, dobitak i impedanciju dipola
Znanstvena grana rada:	**Radiokomunikacije (zn. polje elektrotehnika)**
Predložena ocjena završnog rada:	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	08.09.2017.
Datum potvrde ocjene Odbora:	11.09.2017.

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 ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 20.09.2017.

Ime i prezime studenta:	Ivan Marošević
Studij:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3936, 18.07.2014.
Ephorus podudaranje [%]:	0

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Utjecaj duljine i polumjera poprečnog presjeka dipola na jakost polja, dobitak i impedanciju dipola**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Mario Vranješ

i sumentora Dr.sc. Denis Vranješ

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
1.1. Zadatak završnog rada 2
2. PARAMETRI ANTENE 3
2.1. Dijagram zračenja 3
2.2. Impedancija antene 4
2.3. Usmjerenost 5
2.4. Dobitak 6
2.5. Efektivna površina 6
2.6. Efektivna duljina (visina) 7
2.7. Temperatura šuma 7
2.8. Polarizacija antene 8
3. DIPOLI 9
3.1. Poluvalni dipol 9
3.2. Punovalni dipol 12
3.3. Kratki dipol 13
3.4. Unipol 14
4. SIMULACIJA 15
5. ZAKLJUČAK 20
LITERATURA 21
SAŽETAK 22
ABSTRACT 23
ŽIVOTOPIS 24

1. UVOD

Elektromagnetska energija prenosi se na dva različita načina. Jedan od načina je prijenos elektromagnetskog vala prijenosnom linijom. Drugi način za prijenos vala je zračenjem istog vala u slobodnom prostoru. Drugi način zahtjeva upotrebu uređaja koji će pretvarati elektromagnetsku energiju u elektromagnetski val i/ili suprotno. Takvi uređaji, koji mogu biti različitih oblika i izrađeni od različitih materijala, zovu se antene.

Antena je naprava koja služi za pretvaranje elektromagnetske energije u elektromagnetski val koji će se širiti prostorom odnosno naprava za odašiljanje i primanje radio valova. Antena ima dvije funkcije: prilagođava energiju za prijenos između prijenosne linije i slobodnog prostora te služi kako bi usmjerila zračenu energiju u određenom smjeru u slobodnom prostoru. Oblici antena mogu biti različiti, stoga je njihova analiza jako složena. Oblik antene ovisi o izboru valne duljine za koju je projektirana.

Najosnovnija podjela antena je podjela na pasivne i aktivne antene. Pasivne antene mogu se koristiti i kao prijemne i kao odašiljačke antene. U novije vrijeme pojavljuju se aktivne antene koje sadrže aktivne elektroničke elemente bez kojih antena ne može funkcionirati. Antene se također mogu podijeliti na odašiljačke i prijamne antene. Odašiljačka antena pretvara elektromagnetski val koji ima jednodimenzionalno širenje energije u trodimenzionalni elektromagnetski val u slobodnom prostoru dok prijemna antena pretvara trodimenzionalni val, koji je poslan od strane odašiljačke antene, u jednodimenzionalni val za širenje prijenosnom linijom. Budući da antene rade samo u određenom frekvencijskom području, moguće ih je podijeliti na aperiodske (širokopojasne) i na rezonantne (uskopojasne). Za signale koji se šire pri nižim frekvencijama koriste se linearne ili žičane antene, a pri višim frekvencijama koriste se površinske.

Svojstva antene određena su različitim parametrima kao što su dijagram zračenja, impedancija antene, usmjerenost, dobitak, efektivna površina, efektivna duljina(visina), polarizacija antene i temperatura šuma.

Ukoliko se radi s usmjerenim vezama glavna latica bi trebala biti što uža, a sekundarne latice što manje. Takvim odnosom glavne i sekundarnih latica postiže se veći dobitak, a vjerojatnost interferencije sa sustavima bliskih frekvencija, se smanjuje. Prilikom prijenosa televizijskog ili radio signala poželjno je da odašiljačka antena ima kružni dijagram zračenja u horizontalnom smjeru kako bi se osiguralo pokrivanje većeg područja signalom dovoljne jačine. Prijemna antena

može imati usmjereni ili kružni dijagram, ovisno o tome prima li se signal samo s jedne ili s nekoliko strana, tj. s jednog ili više odašiljača.

1.1. Zadatak završnog rada

U ovom završnom radu proučavaju se parametri antena, njihov odnos i utjecaj jednih parametara na druge. Zadatak ovog završnog rada je ispitati utjecaj duljine i polumjera poprečnog presjeka dipola na vrijednosti jakosti polja, dobitka i impedancije.

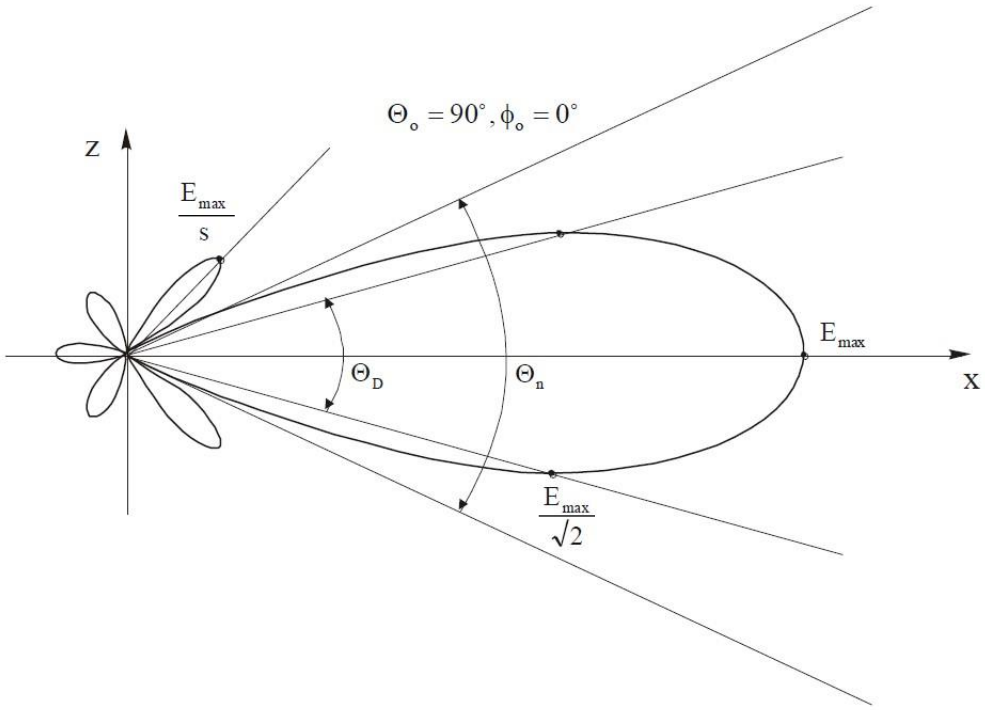
2. PARAMETRI ANTENE

2.1. Dijagram zračenja

Dijagram zračenja je grafički prikaz koji prikazuje prostorne raspodjele zračenja antene. Za prikaz dijagrama zračenja koristi se sferni koordinatni sustav. Takav se dijagram uvijek daje u relativnim vrijednostima, u odnosu na maksimalnu vrijednost snage ili se izražava brojčano ili u decibelima.

Karakteristične veličine dijagrama zračenja su:

- smjer maksimalnog zračenja (E_{max})
- kut usmjerenosti (kut oko smjera maksimalnog zračenja unutar kojeg gustoća zračene snage ne pada ispod polovice snage maksimalnog zračenja) (Θ_D)
- širina snopa (kut između dvije tangente iz ishodišta na glavnu laticu koji ju omeđuje) (Θ_n)
- faktor potiskivanja sekundarnih latica (odnos jakosti polja u smjeru maksimalnog zračenja i onog polja u smjeru maksimuma najveće latice) (E_{max}/S)



Slika 2.1. Prikaz dijagrama zračenja s karakterističnim veličinama [4]

2.2. Impedancija antene

Impedancija antene je omjer napona i struje na njenim priključnicama [3]. Mjerna jedinica za impedanciju je **Ω**. Kada se antena nalazi u slobodnom prostoru na dovoljnoj udaljenosti od svih objekata, tada se može govoriti o vlastitoj impedanciji antene. Vlastita impedancija određena je sljedećim izrazom:

$$Z_A = R_A + jX_A = R_Z + R_D + jX_A. \tag{2-1}$$

Kako je antena dvopol, tako je i njena impedancija kompleksni broj. Realna komponenta R_A, predstavlja zbroj otpora zračenja R_Z i otpora gubitaka R_D, a imaginarna komponenta X_A je reaktivna. S obzirom da odašiljačka antena zrači u prostor, gubitak snage može se prikazati jednim zamišljenim otporom koji je dio omske komponente vlastite impedancije. Taj se zamišljeni otpor naziva otporom zračenja. Sukladno navedenom, otpor zračenja je ekvivalentan omski otpor na kojemu se „troši" zračena snaga antene, i to je ujedno jedini korisni dio impedancije antene [2]. Otpor gubitaka ili disipacija predstavlja otpor na kojemu dolazi do prelaska dijela privedene snage u toplinu. Reaktivna komponenta predstavlja uskladištenu energiju koja se nalazi u neposrednoj blizini antena. Ona ovisi o indukcijskom polju koje nastaje u blizini antene i stvara uskladištenu energiju. Zbog disipacije antene javljaju se gubici pa se faktor iskorištenja antene *k*, može odrediti sljedećim izrazom:

$$k = \frac{I^2 R_Z}{I^2 (R_Z + R_D)} = \frac{R_Z}{R_Z + R_D}, \tag{2-2}$$

gdje je *I* struja na stezaljkama antene. Antena se fizikalnom smislu može razmatrati kao titrajni krug i na određenim frekvencijama ističe se ili kapacitet ili induktivitet. Ukoliko se taj krug pobudi na titraj, magnetska energija nastala na zavojnici pretvarat će se u električnu energiju na kondenzatoru. Takav proces u kojemu se naizmjenično energija magnetskog polja sa zavojnice pretvara u električnu energiju na kondenzatoru, predstavlja rezonanciju titrajnog kruga. Realni i imaginarni dio impedancije mijenjaju se ovisno o frekvenciji. Impedancija antene je frekvencijska funkcija, a to znači da se i prilagođenje mijenja s frekvencijom. Savršeno prilagođenje je nemoguće postići u nekom rasponu frekvencija. Neprilagođenje uzrokuje refleksiju, a reflektirani val, zajedno s upadnim valom, formira stojni val na prijenosnoj liniji. Mjera neprilagođenja je omjer stojnog vala(engl. *SWR – Standing Wave Ratio*) [2] koji može poprimiti vrijednost u rasponu

od 1 do beskonačno, s tim da vrijednost 1 označava potpuno prilagođenje, a beskonačnost označava potpuno neprilagođenje.

Na impedanciju antene također utječu i predmeti koji se nalaze u njenoj blizini. U praksi je vrlo česta primjena antenskih sustava napravljenih od nekoliko antena. U takvom slučaju impedancija je nešto drukčija, odnosno pojavljuje se međusobni utjecaj antena pa se uvodi pojam međuimpedancije. Za dvije antene koje se nalaze u neposrednoj blizini međuimpedancija predstavlja omjer napona na stezaljkama otvorene druge antene, U_2, i struje na stezaljkama prve antene, I_1, uz uvjet da je struja na stezaljkama druge antene I_2 jednaka nuli, odnosno

$$Z_{21} = \left(\frac{U_2}{I_1}\right)_{I_2=0}. \tag{2-3}$$

Ukoliko se sustav sastoji od *n* antena i na svakoj postoji napon, struje i naponi svih *n* antena određeni su sljedećim izrazima:

$$\begin{aligned} U_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + \cdots + Z_{1N}I_N, \\ U_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + \cdots + Z_{2N}I_N, \\ U_N &= Z_{N1}I_1 + Z_{N2}I_2 + \cdots + Z_{NN}I_N, \end{aligned} \tag{2-4}$$

gdje su U_N i I_N napon i struja na stezaljkama N-te antene [1].

2.3. Usmjerenost

Usmjerenost antene predstavlja omjer gustoće snage u smjeru maksimalnog zračenja, S_{max}, i srednje gustoće snage na određenoj udaljenosti od antene, $\bar{S}$:

$$D = \frac{S_{max}}{\bar{S}}. \tag{2-5}$$

Srednja gustoća snage određena je sljedećim izrazom:

$$\bar{S} = \frac{P_t}{4d^2\pi}, \tag{2-6}$$

gdje P_t označava izračenu snagu, a *d* je udaljenost od antene.

Gustoću snage u smjeru maksimalnog zračenja moguće je odrediti sljedećim izrazom

$$S_{max} = E * H = \frac{E_{max}^2}{Z_c} [W/m^2], \tag{2-7}$$

pri čemu je *E* oznaka za jakost električnog polja, a *H* označava jakost magnetskog polja i Z_C označava valnu (karakterističnu impedanciju).

2.4. Dobitak

Dobitak antene označava broj koji govori koliko puta treba biti veća ukupna zračena snaga izotropnog radijatora od ukupne privedene snage promatrane antene kako bi se postigla jednaka gustoća izotropnog radijatora na određenoj udaljenosti kao što je ima promatrana antena u smjeru maksimalnog zračenja i izražava se u decibelima. Pri utvrđivanju dobitka u obzir se uzima i prostorna raspodjela zračene snage i gubitak snage zbog disipacije u anteni. U nekolicini slučajeva pri mjerenju se umjesto izotropnog radijatora koristi poluvalni dipol. U takvim slučajevima, proizvođač mora naglasiti da je dobitak izražen u odnosu na poluvalni dipol. Dobitak se može odrediti sljedećim izrazom:

$$g = k * D \ [dB]. \tag{2-8}$$

U izrazu (2-8), *k* označava faktor iskorištenja, a *D* je usmjerenost antene. Često se u literaturi izjednačava dobitak i usmjerenost, odnosno uzima se da je faktor iskorištenja jednak jedan. Budući da se u anteni javljaju veliki gubici, usmjerenost može biti jako velika, a dobitak malen. Takav slučaj postoji kod antena sa superusmjerenošću. Kod takvih antena javljaju se velike struje koje uzrokuju veliku usmjerenost, a samim time pojavljuje se velika koncentracija reaktivne snage na malom području. Budući da je vodljivost materijala konačna, javljaju se veliki gubici, pa je faktor iskorištenja je malen pa takve antene, praktički, nemaju zračenje.

2.5. Efektivna površina

Svaka antena ima efektivnu površinu. Ukoliko se nalazi dovoljno daleko od izvora vala, na mjestu prijema, val se može promatrati kao planarni (ravni) val. Efektivna površina antene, A_{ef}, definira se kao proporcija raspoložive snage koja je predana prilagođenom teretu, *P*, uz prilagodbu antene za maksimalni prijenos snage, i gustoće snage upadnog vala, *S*, a antena nema gubitaka i polarizirana je isto kao upadni val:

$$A_{ef} = \frac{P}{S}[m^2] \tag{2-9}$$

2.6. Efektivna duljina (visina)

Kod linearnih antena, koristi se pojam efektivne duljine, ako se nalazi u slobodnom prostoru ili efektivna visina ako se antena nalazi okomito iznad vodljive plohe. Efektivna duljina ili visina (l_{ef}, h_{ef}) predstavlja proporciju napona na stezaljkama otvorene antene (U_{pl}, U_{ph}) i jakosti električnog polja E na mjestu antene:

$$l_{ef(pr)} = \frac{U_{pl}}{E}[m], \tag{2-10}$$

$$h_{ef(pr)} = \frac{U_{ph}}{E}[m]. \tag{2-11}$$

Efektivna duljina ili visina odašiljačke antene jednaka je duljini linearne antene koja na svojoj cijeloj duljini ima konstantu struju jednaku struji na priključnicama antene. Za odašiljačku antenu mogu se primijeniti sljedeći izrazi:

$$l_{ef(od)} = \frac{1}{I(0)} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} I(z)dz, \tag{2-12}$$

$$h_{ef(od)} = \frac{1}{I(0)} \int_{0}^{H} I(z)dz. \tag{2-13}$$

2.7. Temperatura šuma

Temperatura šuma povezuje se s prijemnom antenom i predstavlja mjeru za snagu šuma koji antena predaje prijemniku. Većina šuma koji se pojavljuje ovisi o vanjskim utjecajima i izvorima šuma te njihovu položaju u odnosu na antenu. Šum koji se javlja na prijemniku može po svojoj prirodi biti prirodni ili umjetni. Umjetni šum je onaj šum koji je nastao pod čovjekovim utjecajem, odnosno proizveden je nekim drugim uređajem. Temperatura umjetnog šuma razlikuje se od mjesta do mjesta jer postoji velik broj umjetnih izvora i ne zna se gdje se nalaze. Za razliku od

umjetnih, prirodni izvori su stabilniji i mogu se podijeliti na atmosferski, kozmički, šum Zemlje i šum pojedinih svemirskih tijela. Temperatura šuma određena je izrazom:

$$T_A = \frac{W_s}{kB}\ [K], \tag{2-14}$$

gdje W_s predstavlja raspoloživu snagu, k je Boltzmannova konstanta koja iznosi 1,3806488 * 10^{-23} J/K, a B širina pojasa.

2.8. Polarizacija antene

Vektori električnog i magnetskog polja uvijek se nalaze u ravnini okomitoj na elektromagnetsko polje antene. Kako su ti vektori vremenski promjenjivi, polarizacija antene određena je krivuljom koju opisuje vrh vektora električnog polja u ravnini. Najopćenitiji slučaj je eliptična polarizacija, a karakteristično za tu polarizaciju je da vrh vektora električnog polja mijenja i veličinu i kutnu brzinu.

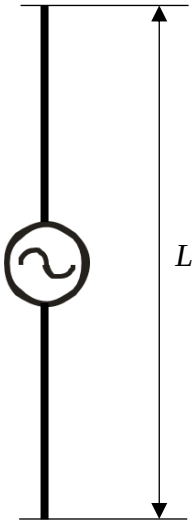
Tri karakteristične veličine koje određuju eliptičnu polarizaciju su:

- aksijalni odnos (*AO*) – količnik velike i male osi, vrijednosti variraju od jedan do beskonačno
- smjer velike osi u odnosu na odabrani koordinatni sustav
- smjer rotacije gledano u smjeru prostiranja vala.

Uz eliptičnu postoje još dvije vrste polarizacije, a to su linearna i kružna polarizacija. Kod linearne polarizacije, smjer vektora električnog polja uvijek je konstantan, ali mijenja vrijednost. Linearna polarizacija može biti horizontalna ili vertikalna. Kod kružne polarizacije, vrijednost vektora je identična, ali mu se mijenja smjer tj. vektor rotira. Ovisno o tome, rotira li vektor električnog polja u lijevu ili desnu stranu razlikuje se lijeva i desna kružna polarizacija.

3. DIPOLI

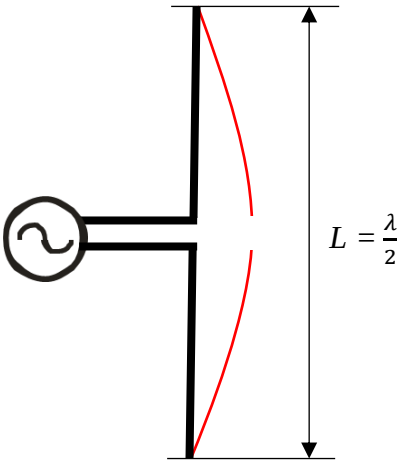
U radiokomunikacijskim sustavima često se koriste dipol antene. One spadaju u skupinu tankih linearnih antena kojima je promjer presjeka jako mali u usporedbi s duljinom antene. Dipol je ravni vodič koji se sastoji od dva tanka vodljiva štapa jednake duljine i napaja se na sredini(Sl.3.1.). Može biti bilo koje duljine, ali su najčešće manji od ½ valne duljine. Raspodjela struje na dipolima je sinusna. Jedan od najčešćih oblika dipola je poluvalni dipol kojemu je duljina jednaka polovici valne duljine, a tu su i kratki dipoli, unipoli te punovalni dipoli. Dipoli čija je duljina veća od valne duljine, λ, koriste se vrlo rijetko jer imaju nepovoljan dijagram zračenja.



Slika 3.1. Prikaz dipola napajanog u sredini

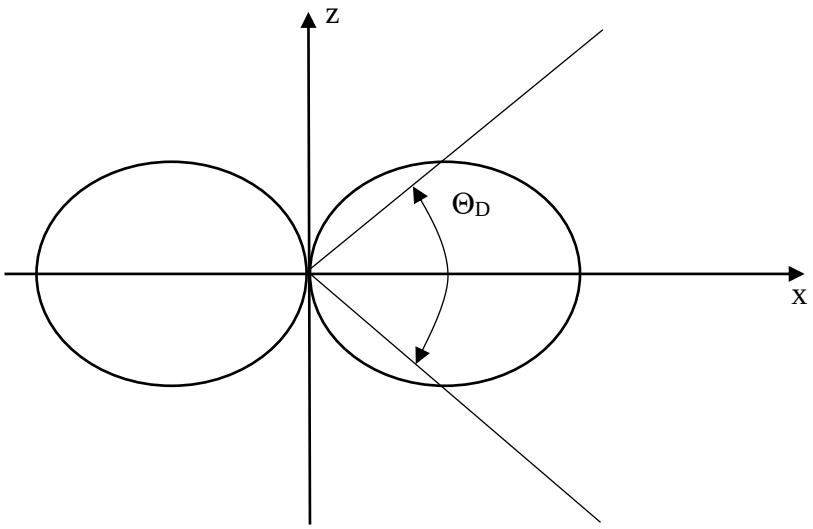
3.1. Poluvalni dipol

Najčešći oblik dipola sa širokom primjenom u radiokomunikacijskim sustavima je poluvalni dipol koji se napaja na sredini, a duljina poluvalnog dipola jednaka je polovici valne duljine signala (Sl.3.2.). Otpor zračenja poluvalnog dipola puno je veći od otpora vodiča što im osigurava učinkovitost od skoro 100%. Koristi se za područje od 30 do 3000 MHz i ima ulaznu impedanciju između 30 i 80 Ω, što osigurava dobar spoj s 50-omskim koaksijalnim kabelima te prijemnicima ili predajnicima.



Slika 3.2. Prikaz poluvalnog dipola napajanog u sredini

Dijagram zračenja poluvalnog dipola ima oblik torusa, a presjek *xz* ravnine prikazuje jakost električnog polja u određenoj točki što je prikazano prema slici 3.3.



Slika 3.3. Dijagram zračenja poluvalnog dipola u *xz* ravnini

Širina glavne latice Φ_D poluvalnog dipola iznosi 360°, dok kut usmjerenosti Θ_D iznosi 78°.

Jakost električnog polja poluvalnog dipola određena je sljedećim izrazom [1]:

$$E_\vartheta = \frac{60I_m}{r} * \frac{\cos(\frac{\pi}{2}\cos\vartheta)}{\sin\vartheta}\left[\frac{V}{m}\right], \tag{3-1}$$

gdje ϑ označava kut za koji se računa jakost električnog polja, a I_m vrijednost maksimalne struje, dok je r udaljenost od antene do točke u kojoj se računa jakost električnog polja.

Otpor zračenja poluvalnog dipola dobiva se iz jednadžbe za zračenu snagu W [1]

$$W = 73I_m^2[A^2]. \tag{3-2}$$

Budući da je $I_m = 1$ izravno se dobiva otpor zračenja u sredini dipola

$$R_Z = 73\ \Omega. \tag{3-3}$$

Impedancija poluvalnog dipola sadržava otpor zračenja od 73 Ω i reaktanciju od 42,5 Ω

$$Z = 73 + j42.5\ \Omega. \tag{3-4}$$

Efektivna duljina poluvalnog dipola određena je izrazom[1]:

$$l_{ef} = 2 * \frac{1}{I_m}\int_0^{\frac{\lambda}{4}} I_m \sin\left[\beta\left(\frac{\lambda}{4} - z\right)\right] dz, \tag{3-5}$$

pri čemu je β oznaka za fazni pomak u odnosu na ishodište, λ oznaka za valnu duljinu elektromagnetskog vala, a z predstavlja infinitezimalni dio antene

Prema izrazu (3-5) može se odrediti efektivna duljina poluvalnog dipola:

$$l_{ef} = \frac{\lambda}{\pi}[m]. \tag{3-6}$$

Iz izraza koji povezuje efektivnu površinu i duljinu

$$A_{ef} = \frac{l_{ef}^2\eta}{4 * R_A}[m^2], \tag{3-7}$$

može se odrediti efektivna površina poluvalnog dipola:

$$A_{ef} = 0{,}131\lambda^2[m^2]. \tag{3-8}$$

Efektivnu površinu i usmjerenost moguće je povezati sljedećim izrazom:

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{ef}, \tag{3-9}$$

pa je primjenom izraza (3-8) i (3-9) moguće odrediti usmjerenost poluvalnog dipola

$$D = 1{,}64\ (2{,}15\ dB). \tag{3-10}$$

3.2. Punovalni dipol

Dipol kojemu je duljina približno jednaka valnoj duljini naziva se punovalni dipol. Njegov dijagram zračenja također je u obliku torusa (Sl.3.4.). Budući da je struja u sredini punovalnog dipola jednaka nuli (Sl.3.5.), ne može se odrediti otpor zračenja kao kod poluvalnog dipola. U ovome će se slučaju odrediti otpor zračenja na mjestu maksimuma struje i on iznosi R_z = 199 Ω što je više nego dvostruko veći otpor u usporedbi sa poluvalnim dipolom [1]. Efektivna duljina također će se određivati na mjestu maksimuma struje. S obzirom da je punovalni dipol dva puta dulji od poluvalnog dipola za isti sinusni signal, i efektivna će duljina biti dvostruko veća odnosno:

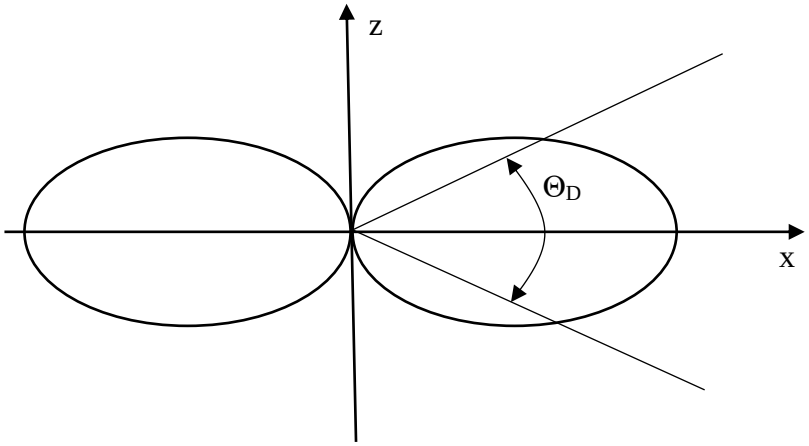
$$l_{ef} = \frac{2\lambda}{\pi}[m]. \tag{3-11}$$

Efektivna površina punovalnog dipola također se može odrediti iz izraza (3-7) i iznosi

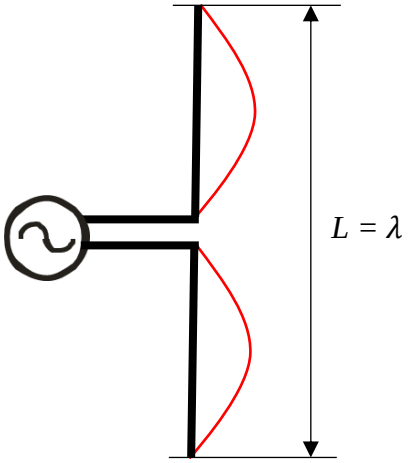
$$A_{ef} = 0{,}192\ \lambda^2[m^2]. \tag{3-12}$$

Izraz koji povezuje usmjerenost i efektivnu površinu također će dati vrijednost usmjerenosti za punovalni dipol i iznosi

$$D = 2{,}41\ (3{,}82)[dB]. \tag{3-13}$$



Slika 3.4. Dijagram zračenja punovalnog dipola u xz ravnini



Slika 3.5. Punovalni dipol

3.3. Kratki dipol

Dipoli kojima je duljina puno manja od valne duljine signala, λ, nazivaju se kratki dipoli. Kratki dipoli u stvarnosti imaju linearnu raspodjelu struje. U literaturi se spominje i trokutasta raspodjela struje jer struja linearno raste od nule na krajevima dipola do maksimuma u sredini dipola(Sl.3.6.). Polovica geometrijske duljine kratkog dipola odgovara njegovoj efektivnoj duljini. Električno polje kratkog dipola određeno je sljedećim izrazom:

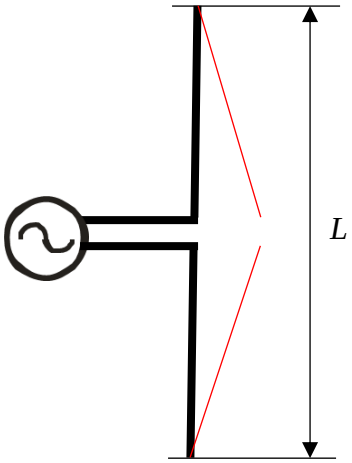
$$E_\vartheta = \frac{30\pi I}{r}\left(\frac{L}{\lambda}\right)\sin\vartheta\left[\frac{V}{m}\right], \tag{3-14}$$

gdje je I oznaka za struju koja prolazi kroz antenu, a L je duljina dipola. Kratki dipoli nisu učinkovite antene jer je njihov otpor zračenja vrlo nizak, a kapacitivna reaktancija visoka, što znači

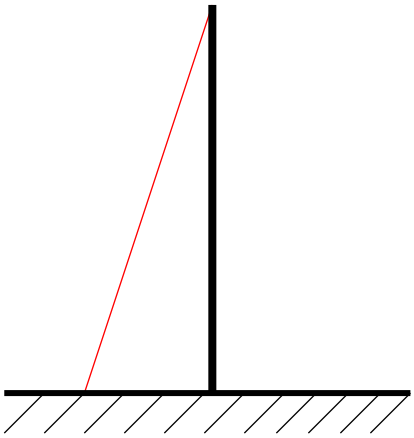
da bi se veliki dio energije trošio kao toplina na vodiču. Ipak, kratki dipoli mogu biti učinkoviti, ali samo za signale duljih valnih duljina i upotrebljavaju se pri frekvencijama nižim od 30 MHz.

3.4. Unipol

Ukoliko se ravan vodič postavi okomito na vodljivu plohu, vodič postaje unipol s asimetričnim napajanjem (Sl.3.7.). Uz pretpostavku vodljivosti plohe, unipol visine *H* ima identičan dijagram zračenja kao što ima dipol duljine *L*=2**H*. Zbog njihove simetričnosti, impedancija unipola mora biti jednaka polovici impedancije dipola.



Slika 3.6. Kratki dipol



Slika 3.7. Unipol

Raspodjela struje kod kratkog dipola i unipola prikazana je crvenom linijom na slikama 3.6. i 3.7. U oba slučaja raspodjela struje je linearna.

4. SIMULACIJA

Sukladno zadatku rada, analiziran je utjecaj duljine dipola i polumjera njegovog poprečnog presjeka na jakost polja, dobitak i impedanciju. Za provedbu simulacije korišten je DCSS ANWIN simulacijski alat. U prvom dijelu eksperimenta analizirano je kako odnos duljine dipola i valne duljine, L/λ, uz stalan odnos poprečnog presjeka dipola i valne duljine signala, a/λ, utječe na jakost polja, dobitak i impedanciju dipola. Mjerenja su izvršena za četiri različita odnosa a/λ (0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001), a rezultati su prikazani u tablicama 4.1 – 4.4.

Tablica 4.1. Jakost električnog polja, dobitak i impedancija dipola uz odnos presjeka i valne duljine a/λ = 0,01

L/λ	**E_{max}**	**D[dB]**	**Z[Ω]**	**|Z|**
0,1	0,05	1,10	2,24 - j308,67	308,678
0,2	0,19	1,66	4,66 - j169,62	169,684
0,3	0,41	1,92	16,52 - j122,32	123,431
0,4	0,69	2,04	43,66 – j51,96	67,868
0,5	1	2,21	103,86 +j31,90	108,649
0,6	1,31	2,44	237,68 + j106,41	260,413
0,7	1,59	2,73	467,57 + j50,27	470,265
0,8	1,81	3,09	537,85 - j235	586,948
0,9	1,95	3,52	353,51 - j387,08	524,214
1	2	4,02	200,06 - j366,30	417,372

Tablica 4.2. Jakost električnog polja, dobitak i impedancija dipola uz odnos presjeka i valne duljine a/λ = 0.001

L/λ	**E_{max}**	**D[dB]**	**Z[Ω]**	**|Z|**
0,1	0,05	1,65	1,67-j1015,78	1015,781
0,2	0,19	1,82	7,48-j568,53	568,579
0,3	0,41	1,90	19,42-j326,79	327,367
0,4	0,69	2,01	41,78-j138,91	145,057
0,5	1	2,18	84,38+j43,57	94,965
0,6	1,31	2,39	172,97+j252,97	306,451
0,7	1,59	2,66	388,37+j520,11	649,111
0,8	1,81	3,00	1016,75+j754,29	1265,991
0,9	1,95	3,43	1952,66-j248,56	1968,416
1	2	3,94	926,88-j1123,02	1456,118

Tablica 4.3. Jakost električnog polja, dobitak i impedancija dipola uz odnos presjeka i valne duljine a/λ = 0.0001

L/λ	E_{max}	D[dB]	Z[Ω]	|Z|
0,1	0,05	1,80	1,82-j1891,89	1891,891
0,2	0,19	1,82	7,90-j956,24	956,273
0,3	0,41	1,90	19,79-j530,13	530,499
0,4	0,69	2,01	41,09-j229,46	233,110
0,5	1	2,17	79,74+j43,65	90,905
0,6	1,31	2,37	156,00+j345,85	379,405
0,7	1,59	2,64	333,29+j748,23	819,103
0,8	1,81	2,97	886,48+j1371,37	1632,943
0,9	1,95	3,39	3225,64+j1403,60	3517,790
1	2	3,91	2218,64-j2231,89	3147,014

Tablica 4.4. Jakost električnog polja, dobitak i impedancija dipola uz odnos presjeka i valne duljine a/λ = 0.00001

L/λ	E_{max}	D[dB]	Z[Ω]	|Z|
0,1	0,05	1,79	1,88-j2752,84	2752,841
0,2	0,19	1,82	8,04-j1339,88	1339,904
0,3	0,41	1,90	19,91-j732,18	732,451
0,4	0,69	2,01	40,77-j319,74	322,329
0,5	1	2,16	77,79+j43,32	89,039
0,6	1,31	2,36	148,98+j436,06	460,807
0,7	1,59	2,63	309,66+j955,67	1004,587
0,8	1,81	2,96	802,22+j1821,47	1990,304
0,9	1,95	3,37	3495,16+j3151,94	4706,471
1	2	3,89	4064,62-j3685,22	5486,527

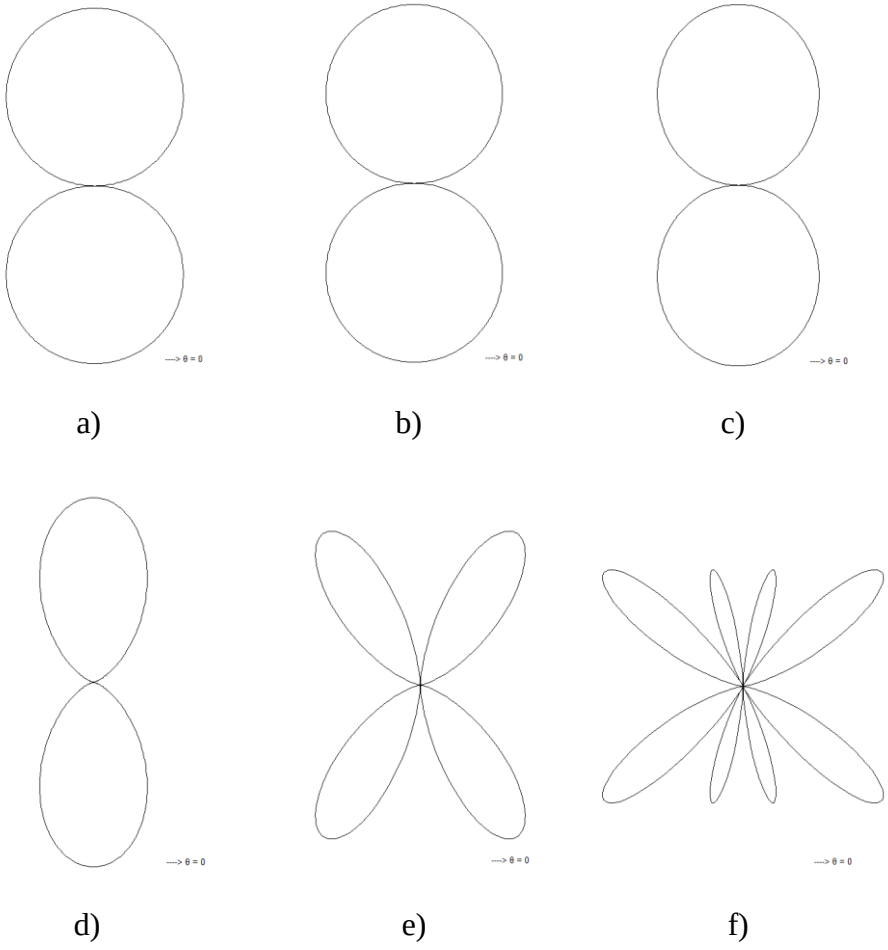
Analizom dobivenih rezultata može se zaključiti da promjena polumjera poprečnog presjeka dipola nema utjecaj na jakost električnog polja, dok povećanjem duljine dipola, raste i jakost električnog polja. Za razliku od električnog polja, na promjenu dobitka antene utječu i duljina i polumjer. Iz mjerenja je vidljivo da uz isti polumjer, povećanjem duljine dipola, raste i njegov dobitak. Ukoliko se za usporedbu uzme konstantna duljina dipola, vidljivo je da se uz smanjenje polumjera poprečnog presjeka dipola, također smanjuje i dobitak.

Budući da impedancija ima svoju realnu i imaginarnu komponentu potrebno je prvo odrediti njen modul prema izrazu:

$$|Z| = \sqrt{Re^2 + Im^2}, \tag{4-1}$$

gdje *Re* predstavlja realni, a *Im* predstavlja imaginarni dio impedancije. Promatrajući impedanciju dipola, neovisno o polumjeru, može se zaključiti da s povećanjem duljine dipola do $L/\lambda = 0.5$ ona opada, a nakon toga s povećanjem duljine impedancija raste.

U nastavku eksperimenta analiziran je utjecaj promjene odnosa duljine dipola i valne duljine signala, L/λ, uz stalan odnos $a/\lambda = 0.0001$, na izgled dijagrama zračenja te raspodjelu struju po dipolu. Na slici 4.1. a) – f) prikazan je dijagram zračenja dipola za različite odnose L/λ.



a) b) c)

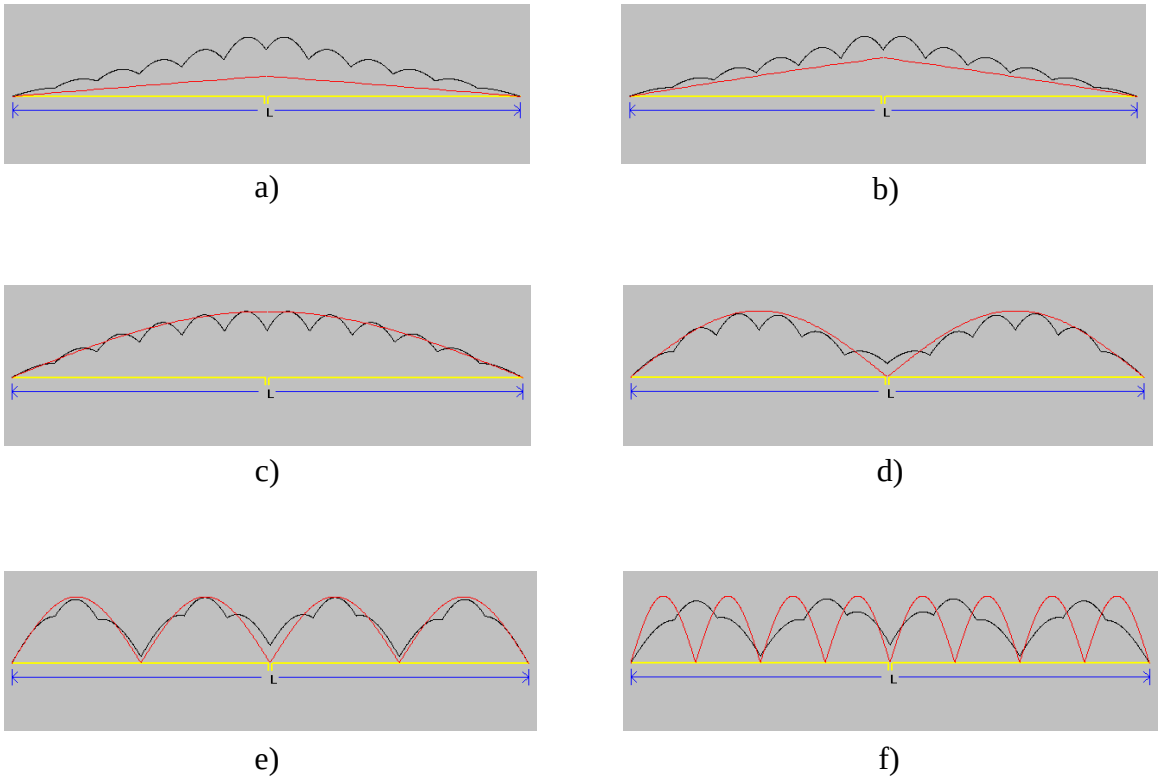
d) e) f)

Slika 4.1. Dijagram zračenja dipola uz omjer $a/\lambda = 0.0001$ za
a) $L/\lambda = 0.1$, b) $L/\lambda = 0.2$, c) $L/\lambda = 0.5$, d) $L/\lambda = 1$, e) $L/\lambda = 2$, f) $L/\lambda = 4$

Može se zaključiti da za male odnose L/λ (0.1 i 0.2) dijagrami zračenja izgledaju gotovo identično. Daljnjim porastom odnosa L/λ latice dijagrama se sužavaju sve do onoga trenutka kada duljina dipola L ne premaši valnu duljinu λ upadnog elektromagnetskog vala. Kada duljina dipola

premaši valnu duljinu, glavne latice postaju još uže, a pojavljuju se i sporedne latice. Ovisno o odnosu L/λ, povećava se i broj latica. Ako je $L/\lambda > 1$, broj latica u dijagramu zračenja je odnos L/λ pomnožen s dva, odnosno ako je odnos $L/\lambda = 2$, tada će se dijagram zračenja sastojati od četiri latice.

Osim utjecaja na dijagram zračenja, analiziran je i utjecaj odnosa L/λ na raspodjelu struje po dipolu. Odnos poprečnog presjeka dipola i valne duljine signala, a/λ, postavljen je na 0.0001, dok se odnos duljine dipola i valne duljine, L/λ, postupno mijenja od 0.1 do 4. Raspodjela struje po dipolu za različite odnose L/λ prikazana je na slici 4.2. a) – f).



Slika 4.2. Raspodjela struje po dipolu uz omjer a/λ = 0.0001 za
a) L/λ = 0.1, b) L/λ = 0.2, c) L/λ = 0.5, d) L/λ = 1, e) L/λ = 2, f) L/λ = 4

Na slici 4.2. crvena linija predstavlja raspodjelu struje. U slučaju kada je odnos $L/\lambda = 0.1$ (Sl.4.2.a) na duljini dipola je samo 1/10 perioda sinusnog signala, pa se takva raspodjela struje može aproksimirati kao linearna. Slično je i sa odnosom $L/\lambda = 0.2$ gdje je duljina dipola puno manja u odnosu na valnu duljinu pa i takav odnos može biti linearna aproksimacija. Za odnos $L/\lambda = 0.5$ na duljini dipola je 1/2 perioda sinusnog signala(Sl.4.2.c). Ako je $L/\lambda = 1$, znači da su valna duljina i

duljina dipola jednake pa će na duljinu dipola biti raspoređena cijela perioda sinusnog signala(Sl.4.2.d). Kada je odnos $L/\lambda > 1$ na duljinu dipola se pojavljuju veći broj perioda sinusnog signala (Sl.4.2.e – f). Općenito može se zaključiti da se za male odnose L/λ (0.1 i 0.2) raspodjela može aproksimirati linearnom, a za veće odnose L/λ može se primijetiti da s porastom odnosa L/λ raste i broj perioda sinusnog signala po duljini dipola.

5. ZAKLJUČAK

Antene imaju vrlo široku primjenu u praksi. Prema dostupnoj literaturi postoje različite podjele antena. Predmet istraživanja u ovom radu su dipol antene koje su u praksi vrlo često korištene. Prednosti dipola su jednostavnost izvedbe i konstrukcije te vrlo dobre karakteristike. Zbog svoje jednostavne konstrukcije imaju široku primjenu (najviše poluvalni dipol) te se pojavljuju i kao osnovna sastavnica drugih antena. Promjenom duljine i polumjera poprečnog presjeka dipola dobivaju se različite vrijednosti parametara antene. Korištenjem programa DCSS ANWIN izvršene su simulacije kojima su ispitivane promjene dobitka, impedancije i jakosti električnog polja u ovisnosti o duljini i poprečnom presjeku dipola. Analizirajući dobivene rezultate moguće je zaključiti kako se povećanjem duljine dipola, povećava i jakost električnog polja i dobitak, dok za istu duljinu smanjenjem polumjera jakost polja ostaje ista, a dobitak opada. Za impedanciju ne postoji konstantan porast ili pad. Neovisno o polumjeru impedancija opada smanjenjem duljine do poluvalnog dipola, nakon čega ima porast do duljine punovalnog dipola. Uzimajući u obzir da je svaka simulacija opterećena pogreškama koje nije moguće izbjeći, rezultat impedancije poluvalnog dipola 80 – 90 Ω, kao što je rečeno u teorijskom dijelu rada, osigurava dobar spoj s 50 – omskim koaksijalnim kabelima te predajnicima i prijemnicima. Daljnjim nastavkom simulacije analiziran je utjecaj promjene odnosa duljina dipola i valne duljina signala, L/λ, na izgled dijagrama zračenja. Rezultati simulacije jasno pokazuju kako će se povećanjem duljine dipola njegov dijagram proširiti te broj latica konstanto povećavati kada odnos L/λ premaši vrijednost 1. Zadnji dio simulacije u ovome radu pokazuje utjecaj promjene odnosa duljine dipola i valne duljine signala , L/λ, na raspodjelu struje po dipolu. Iz rezultata simulacije na slici 4.2. može se zaključiti kako se za male odnose L/λ (0.1 i 0.2) raspodjela može smatrati gotovo linearnom. Povećanjem odnosa L/λ na dipolu se raspodjeljuje i veći dio perioda sinusnog signala. Za odnos $L/\lambda = 1$, na dipolu je prikazan cijeli period sinusnog signala. Ukoliko taj odnos prelazi vrijednost 1, tada se broj perioda raspodijeljenih po dipolu povećava.

LITERATURA

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

[2] A. Šarolić, Antene – bilješke s predavanja, FESB, Split, 2015.

[3] C. A. Balanis, Analysis and design, USA, 1997.

[4] S. Rimac – Drlje, M. Vranješ, D. Vranješ, Priručnik za laboratorijske vježbe, Osijek, 2015.

[5] Žičane antene, dostupno na:
http://www.qrz.com.hr/wpcontent/uploads/2011/07/5_zicane_antene_2011.pdf [20.8.2017.]

[6] S. Rimac – Drlje, Antene 1. dio, dostupno na:

https://loomen.carnet.hr/mod/resource/view.php?id=159459 [24.8.2017.]

[7] S. Rimac – Drlje, Antene 2. dio, dostupno na:

https://loomen.carnet.hr/mod/resource/view.php?id=159460 [24.8.2017.]

[8] N. Mustapić, Poluvalni dipol, FER, dostupno na:
http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Poluvalni_dipol_Mustapic.pdf [15.8.2017.]

SAŽETAK

Elektromagnetska energija prenosi se na dva načina, putem prijenosnih linija ili pomoću antena. Budući da se signali često šalju na jako velike udaljenosti, svoju prednost imaju antene jer se valovi pružaju slobodnim prostorom. Ovisno o uvjetima rasprostiranja i frekvencijskom području potrebno je prilagoditi vrstu i parametre antene. U praksi je vrlo česta primjena dipol antena. Promjenom duljine i polumjera poprečnog presjeka dipola moguće je ostvariti različite vrijednosti njegovih parametara (dobitak, impedancija ili jakost polja) te se na taj način antena može projektirati za određenu namjenu. Na temelju provedenih simulacija dobiveni su rezultati koji pokazuju kako se mijenjaju dobitak, impedancija i jakost električnog polja s promjenom duljine i polumjera poprečnog presjeka dipola. Povećanjem duljine dipola, povećava se i jakost električnog polja i dobitak, dok za istu duljinu smanjenjem polumjera jakost polja ostaje ista, a dobitak opada. Smanjenjem duljine dipola, neovisno o polumjeru, impedancija opada do duljine poluvalnog dipola, a zatim raste do duljine poluvalnog dipola.

Ključne riječi: antene, elektromagnetska energija, dipoli, dobitak, impedancija, električno polje

ABSTRACT

Electromagnetic energy is transmitted in two ways – over transmission lines or antennas. As signals are often being transmitted over long distances, antennas are here at advantage because waves are emitted in free space. Depending on the conditions of emission and frequency band, it is necessary to accordingly adjust the type and the parameters of the antenna. Dipoles are commonly used antennas. By changing the length and the radius of the cross-section of the dipole, various parameter values (gain, impedance or field strength) can be achieved. As a result, the antenna can be designed for a certain purpose. The aftermath of the simulations has shown how gain, impedance and field strength change if the length and the radius of the cross-section of the dipole are changed. By prolonging the dipole, the strength and the gain of the field are changed, whereas, if the length stays the same and the radius is decreased, the field strength stays the same and the gain decreases. By reducing the length of the dipole, regardless of the radius, the impedance decreases to the length of the half-wave dipole and then increases to the length of the full-wave dipole.

Keywords: antennas, electromagnetic energy, dipoles, gain, impedance, electric field.

ŽIVOTOPIS

Ivan Marošević rođen je 6. siječnja 1996. g. u Vinkovcima, Republika Hrvatska. Živi u obiteljskoj kući u Nuštru sa svojim roditeljima te bratom i sestrom. Od 2003. g. pohađao je Osnovnu školu „Zrinskih“ Nuštar u Nuštru. Nakon završene osnovne škole, 2010. g. upisuje Opću gimnaziju u Vinkovcima koju je završio 2014. godine. Iste godine, upisuje Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike u Osijeku, pri sveučilištu J. J. Strossmayera, te je trenutno na 3. godini studija.