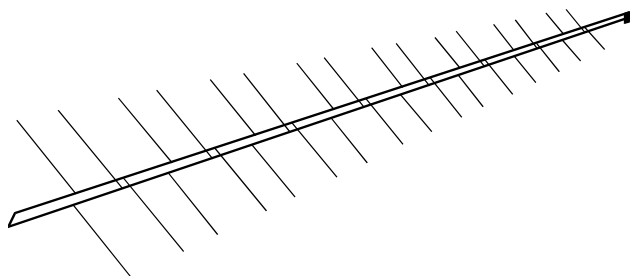


## ANALIZA NAPOJNOG VODA KOMERCIJALNIH LOG-PERIODIČNIH DIPOL ANTENA

Đorđević, A.R., Zajić, A.G., Kolundžija, B.M.  
Elektrotehnički fakultet u Beogradu

### I UVOD

Log-periodične dipol antene (popularno nazvane loge) postale su tokom poslednje dve decenije najrasprostranjeniji tip komercijalnih antena za prijem televizijskog signala u VHF i UHF opsegu kod nas. Skica jedne UHF loge data je na slici 1. Loge su primat oduzele jagi antenama zahvaljujući relativno jednostavnoj konstrukciji i dobrim širokopojasnim osobinama, uprkos tome što je usmerenost dobrih jagi antena znatno veća (tipično 9-10 dBi za loge, a 14 dBi za jagi antene).



Slika 1. Skica komercijalne log-periodične dipol antene za UHF TV.

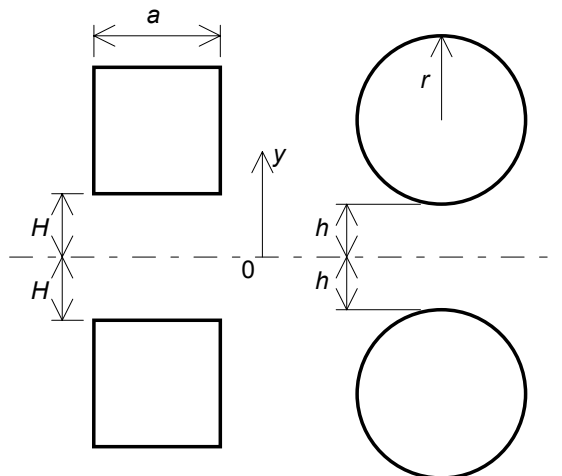
Loga predstavlja antenski niz simetričnih dipola. Dipoli komercijalnih antena su obično načinjeni od žice kružnog poprečnog preseka prečnika 4 mm. Idući od vrha antene ka drugome kraju, dužine dipola i odstojanja između njih se progresivno povećavaju.

Dipoli se napajaju dvoprovodničkim vodom (koji istovremeno predstavlja mehanički nosač antene). Dipoli su postavljeni naizmenično, da bi se postiglo pravilno faziranje elemenata niza. Kod komercijalnih antena provodnici voda su kvadratnog poprečnog preseka, kao što je prikazano na slici 2. Tipično, stranica kvadrata je  $a=14$  mm, a odstojanje između provodnika  $2H=12$  mm. Dvoprovodnički vod je na vrhu antene priključen na koaksijalni vod, karakteristične impedanse (u TV sistemima)  $75 \Omega$ .

Pretpostavimo da antena radi kao predajna, pri čemu je radna učestanost oko sredine opsega za koji je loga projektovana. Koaksijalni vod pobuđuje talas na dvoprovodničkom vodu, koji se kreće unazad. Talas prvo nailazi na kratke dipole, čija je rezonantna učestanost iznad radne, a ulazna impedansa relativno velika. Takvi dipoli praktično ne utiču na prostiranje talasa. Talas zatim nailazi na grupu dipola čija je rezonantna učestanost blizu radne. Dužina takvih dipola je oko polovine talasne dužine, a ulazna impedansa relativno mala. Ti dipoli opterećuju vod,

pobuđuju se i uzimaju energiju iz voda. Zahvaljujući odgovarajućem faziranju, grupa pobuđenih dipola zrači kao mali antenski niz, pri čemu je maksimum zračenja unapred. S obzirom da su

aktivni dipoli uzeli veliki deo energije, iza njih je talas na dvoprovodničkom vodu znatno oslabljen i bez bitnog uticaja na rad antene.



Slika 2. Poprečni presek dvoprovodničkog voda kojim se napajaju dipoli komercijalne log-periodične antene i poprečni presek ekvivalentnog voda sa provodnicima kružnog preseka.

Loga spada u klasu takozvanih žičanih antena. To su antene načinjene od vitkih provodnika, tankih u odnosu na talasnu dužinu. Po pravilu, provodnici su kružnog poprečnog preseka. Za ovakve antene postoji više raspoloživih programskih paketa, od kojih su neki razvijeni na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu [1,2]. U analizi žičanih antena unose se razne aproksimacije, sa ciljem da ubrzaju numerički postupak. Napojni vod komercijalne log-periodične antene ne ispunjava u potpunosti uslove da se može smatrati žicom, kako zbog oblika poprečnog preseka, tako i zbog relativno velikih dimenzija u odnosu na dužine dipola, posebno u gornjem delu UHF opsega.

Da bi se, ipak, loga mogla precizno analizirati kao žičana antena, a time iskoristila efikasnost postojećih metoda analize, u ovome radu je ustanovljena ekvivalencija između napojnog voda kvadratnog poprečnog preseka i odgovarajućeg žičanog voda sa provodnicima kružnog

poprečnog preseka (slika 2). Ta ekvivalencija je posmatrana u dva smisla. Prvi je strog, uz precizno modelovanje raspodele struja i naelektrisanja po obimu provodnika. Drugi je vezan za aproksimacije koje se koriste u analizi žičanih antena.

## II STROGA EKVIVALENCIJA VODOVA

Kao što je rečeno u Uvodu, napojni vod log-periodične antene ima provodnike kvadratnog poprečnog preseka, koje je potrebno ekvivalentirati vodom sa provodnicima kružnog poprečnog preseka (slika 2). Sa gledišta teorije vodova, vodovi su ekvivalentni pod uslovom da su im jednake karakteristične impedanse i koeficijenti prostiranja. U ovoj analizi zanemarujemo gubitke u provodnicima, koji su veoma mali jer su poprečni preseki provodnika veliki, a vodovi relativno kratki. S obzirom da je dielektrik voda u svakom slučaju vazduh, jednakost koeficijenata prostiranja je automatski ispunjena. Dakle, ostaje uslov jednakosti karakterističnih impedansi. Međutim, kod posmatrane antene sprema voda sa okolinom (dipolima) nije zanemarljivo mala zbog velikih poprečnih dimenzija. U tome smislu, uslov ekvivalencije vodova je proširen zahtevom da dva voda, pod istim eksitacijama, u svojoj okolini stvaraju isto elektromagnetsko polje. Taj zahtev se, približno, svodi na uslov da, pri identičnim potencijalima provodnika, oba voda imaju identične dipolne momente [3].

Analiza vodova se svodi na rešavanje odgovarajućeg dvodimenzionog elektrostatickog problema [4]. Analitičko rešenje postoji za vod sa provodnicima kružnog poprečnog preseka, dok je vod sa provodnicima kvadratnog preseka analiziran numerički programom LINPAR.

Za  $a=14$  mm i  $2*H=12$  mm, karakteristična impedansa voda je oko  $100 \Omega$ . Međutim, opštosti radi, proračuni su rađeni za vodove u širokom dijapazonu karakterističnih impedansi, od  $60 \Omega$  do  $130 \Omega$  (u koracima od  $10 \Omega$ ). Da bi se ubrzala analiza, umesto simetričnog dvoprovodničkog voda posmatran je ekvivalentan sistem koji se sastoji od provodnika iznad beskonačne provodne ravni. Karakteristične impedanse ekvivalentnog sistema su stoga u opsegu od  $30 \Omega$  do  $65 \Omega$  (u koracima od  $5 \Omega$ ).

Stranica kvadrata je fiksirana na  $a=14$  mm, a postupak proračuna sastojao se od sledećih koraka.

- Pretraživanjem je određeno odstojanje provodnika kvadratnog poprečnog preseka od provodne ravni ( $H$ ), potrebno da bi se realizovala zadata karakteristična impedansa (sa greškom ispod 1%).
- Iz numerički određene raspodele naelektrisanja izračunato je odstojanje težišta naelektrisanja kvadratnog provodnika od provodne ravni ( $y_s$ ).
- Analitički je određeno odstojanje provodnika kružnog poprečnog preseka od provodne ravni normalizovano poluprečnikom ( $h/r$ ), potrebno da bi se realizovala zadata karakteristična impedansa (sa greškom ispod 1%).
- Analitički je određeno odstojanje težišta naelektrisanja kružnog provodnika od provodne ravni normalizovano poluprečnikom ( $y_c/r$ ).
- Iz uslova jednakosti apsolutnih položaja težišta naelektrisanja dva voda (odakle sledi jednakost odgovarajućih dipolnih momenata) izračunat je

poluprečnik kružnog provodnika, odnosno izvršena je denormalizacija.

U cilju provere, rezultati numeričke analize programom iz reference [4] za provodnik kružnog poprečnog preseka upoređeni su sa rezultatima dobijenim analitički, pri čemu je ustanovljeno odstupanje ispod 1%.

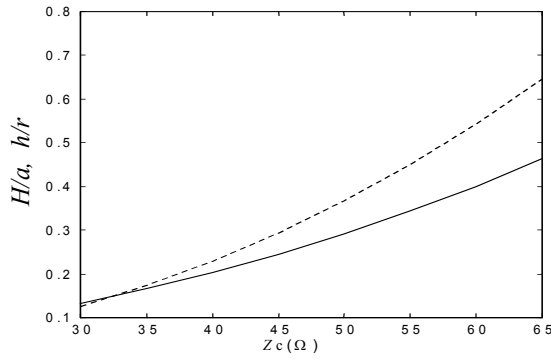
Dobijeni rezultati sumirani su u tabelama 1 i 2, kao i na slikama 3 i 4. Za vod sa kvadratnim provodnikom (iznad provodne ravni) tabela 1 prikazuje odgovarajuće odstojanje i visinu težišta naelektrisanja. Tabela 2 prikazuje analogne rezultate za vod sa kružnim provodnikom koji je ekvivalentan odgovarajućem vodu sa kvadratnim provodnikom. Slika 3 prikazuje normalizovana odstojanja provodnika od provodne ravni u funkciji karakteristične impedanse, dok slika 4 prikazuje količnik poluprečnika kružnog provodnika i njemu ekvivalentnog kvadratnog provodnika

Tabela 1. Odstojanje kvadratnog provodnika od provodne ravni ( $H$ ) i visina težišta naelektrisanja ( $y_s$ ), u funkciji karakteristične impedanse ( $Z_c$ ), za stranicu kvadrata  $a=14$  mm.

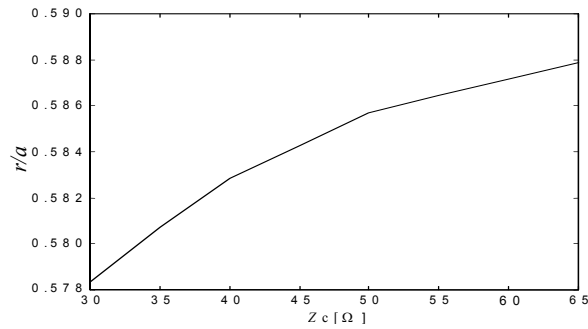
$Z_c$ [ $\Omega$ ]	$H$ [mm]	$y_s$ [mm]
30	1.850	4.220
35	2.320	5.015
40	2.847	5.849
45	3.433	6.723
50	4.085	7.647
55	4.808	8.624
60	5.605	9.660
65	6.484	10.762

Tabela 2. Poluprečnik kružnog provodnika ( $r$ ), njegovo odstojanje od provodne ravni ( $h$ ) i visina težišta naelektrisanja ( $y_s$ ), u funkciji karakteristične impedanse ( $Z_c$ ), za ekvivalenciju sa kvadratnim provodnikom stranice  $a=14$  mm.

$Z_c$ [ $\Omega$ ]	$r$ [mm]	$h$ [mm]	$y_c$ [mm]
30	8.10	1.023	4.218
35	8.13	1.413	5.015
40	8.16	1.871	5.849
45	8.18	2.400	6.723
50	8.20	3.005	7.648
55	8.21	3.688	8.622
60	8.22	4.454	9.656
65	8.23	5.313	10.764



Slika 3. Odstojanje kvadratnog provodnika od provodne ravni normalizovano na stranicu kvadrata (—) i odstojanje kružnog provodnika od provodne ravni normalizovano na poluprečnik kruga (---), u funkciji karakteristične impedanse.



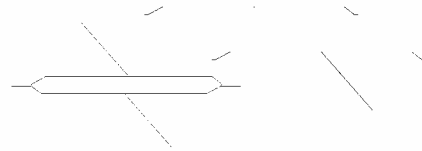
Slika 4. Količnik poluprečnika kružnog provodnika i stranice ekvivalentnog kvadratnog provodnika, u funkciji karakteristične impedanse.

### III EKVIVALENCIJA VODOVA U ANALIZI ANTENA

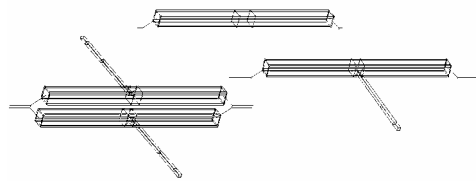
U analizi žičanih antena uvodi se više aproksimacija, koje se svode na to da se žica zamenjuje jednim linijskim provodnikom čiji geometrijski položaj nije sasvim precizno definisan i zavisi od numeričke implementacije. Stoga su najpre upoređeni numerički rezultati za karakterističnu impedansu voda koji se sastoji od provodnika kružnog poprečnog preseka postavljenog iznad provodne ravni, dobijeni programima iz referenci [1,2,4]. Zatim je preciznije ispitan uticaj spoja žice od koje su načinjeni dipoli log-periodične antene sa napojnim vodom, kao i efekat kraja žice. Na slici 5 prikazani su pri tome korišćeni žičani modeli voda, monopola postavljenog paralelno provodnoj ravni i dipola kao kod log-periodične antene (za programe AWAS i WIPL). Na slici 6 prikazani su odgovarajući modeli sastavljeni od metalnih ploča (za program WIPL). Pločasti modeli su znatno finiji jer preciznije modeluju raspodelu struja i naelektrisanja, a posebno zonu spajanja i zonu vrha. Upoređujući dobijene rezultate kod pločastih i žičanih modela ustanovljeno je kolika je potrebna korekcija žičanog modela da bi se rezultati analize dobro složili sa pločastim modelom. Napomenimo da je ekvivalencija kružnog i kvadratnog provodnika proverena i na primeru para spregnutih vodova. Takođe, upoređene su i podužne kapacitivnosti pločastog modela voda (sa provodnikom kvadratnog preseka) sa odgovarajućim rezultatima

dvodimenzione analize. Ustanovljeno je odstupanje manje od 1%.

Algoritmom sličnim onome u odeljku II, načinjeni su dijagrami na slikama 7-10 koji omogućavaju da se u programima AWAS i WIPL analiziraju žičani vodovi ekvivalentni vodovima sa provodnicima kružnog i kvadratnog poprečnog preseka. Pri tome, žičani model ne može aproksimirati vod karakteristične impedanse ispod oko 50  $\Omega$ .



Slika 5. Žičani model voda (provodnika iznad provodne ravni), monopola postavljenog paralelno provodnoj ravni i dipola napajano dvoprovodničkim vodom.



Slika 6. Pločasti modeli koji odgovaraju žičanim modelima sa slike 5.

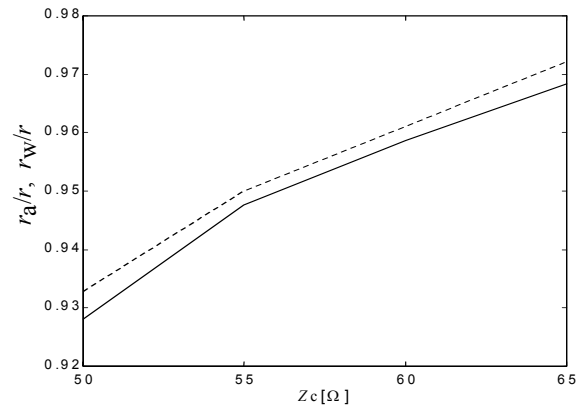
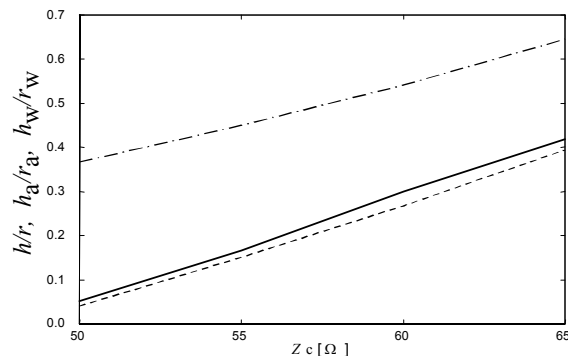


Figure 7. Normalizovani poluprečnik provodnika, u funkciji karakteristične impedanse, za žičane modele u programima AWAS (—) i WIPL (---). Normalizacija je na poluprečnik provodnika u dvodimenzionom modelu voda.



Slika 8. Normalizovano odstojanje kružnog provodnika od provodne ravni, u funkciji karakteristične impedanse, za dvodimenzioni model voda (— · —) i žičane modele u programima AWAS (—) i WIPL (—). Normalizacija je na poluprečnik provodnika u odgovarajućem modelu.

Poredeći  $S$ -parametre žičanih i pločastih modela monopola i dipola, ustanovljeno je da krake monopola i dipola u žičanim modelima (u programima AWAS i WIPL) treba produžiti za 2 mm da bi se dobilo dobro slaganje. Pri tome se dužina kraka antene računa od ose provodnika voda do vrha kraka. Ta korekcija je potvrđena i eksperimentalno, a u sebi uključuje efekat spoja antene sa vodom i efekat vrha. Na graficima 11 i 12 demonstrirano je dobro slaganje  $S$ -parametara žičanih i pločastih modela nakon izvršene korekcije. Eksperimentalni rezultati nisu prikazani zbog nedostatka prostora.

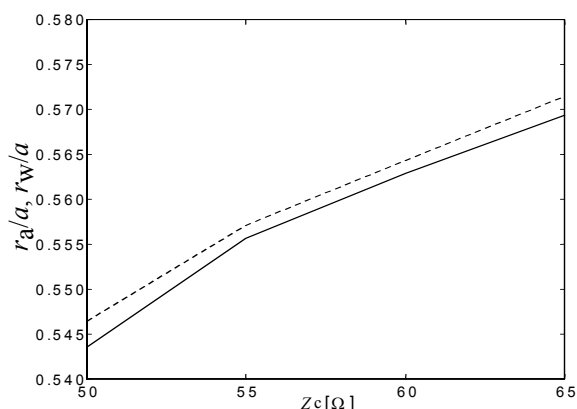


Figure 9. Količnik poluprečnika kružnog provodnika i stranice ekvivalentnog kvadratnog provodnika u programima AWAS (—) i WIPL (---), u funkciji karakteristične impedanse.

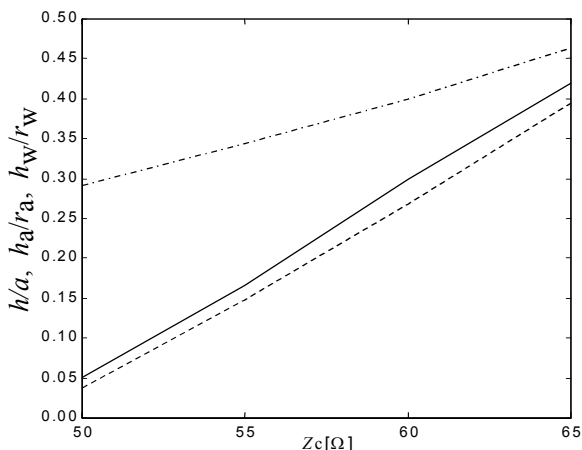
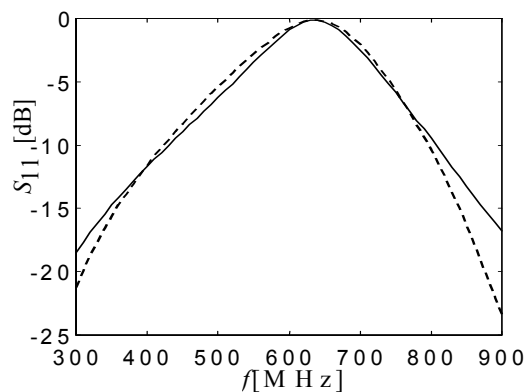
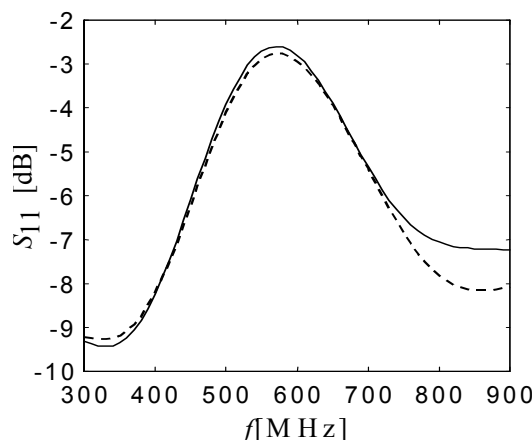


Figure 10. Normalizovano odstojanje kvadratnog provodnika od provodne ravni (— · —) i žičanog provodnika od provodne ravni za modele u programima AWAS (—) i WIPL (---), u funkciji karakteristične impedanse. Normalizacija je na stranicu kvadrata, odnosno poluprečnik provodnika u odgovarajućem modelu.



Slika 11.  $S$ -parametri žičanog (—) i pločastog (---) modela monopola.



Slika 12.  $S$ -parametri pločastog (—) i žičanog (---) modela dipola.

## V ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati koji omogućavaju uspostavljanje ekvivalencije između vodova sa provodnicima kvadratnog i kružnog poprečnog preseka, sa posebnim akcentom na analizi vodova pomoću žičanih modela u programskim paketima AWAS i WIPL. Cilj je da se obezbedi jednostavna, efikasna, ali veoma tačna analiza log-periodičnih dipol antena, a time olakša njihovo projektovanje.

## LITERATURA

- [1] Djordjević, A.R., Baždar, M.B., Sarkar, T.K., and Harrington, R.F., *AWAS for Windows: Analysis of Wire Antennas and Scatterers (software and user's manual)*, Artech House, Boston, 1995.
- [2] Kolundžija, B.M., Ognjanović, J.S., Sarkar T.K., and Harrington, R.F., *WIPL: Electromagnetic Modeling of Composite Wire and Plate Structures (software and user's manual)*, Artech House, Boston, 1995.
- [3] Djordjević, A.R., *Elektromagnetika za Računarsku tehniku*, Univerzitet u Beogradu, 1996.

- [4] Djordjević, A.R., Baždar, M.B., Harrington, R.F., and Sarkar, T.K., *LINPAR for Windows: Matrix Parameters for Multiconductor Transmission Lines (software and user's manual)*, Artech House, Boston, 1996.

#### **ABSTRACT**

The paper presents results that establish an equivalence between transmission lines whose conductors have a square viz. a circular cross section. This equivalence is aimed at using programs for numerical analysis of wire antennas to obtain accurate results for log-periodic dipole arrays in a short cpu time.

**ANALYSIS OF FEEDERS OF COMMERCIAL LOG-PERIODIC DIPOLE ANTENNAS, Đorđević, A.R., Zajić, A.G., Kolundžija, B.M.**