

Antenski niz sa cirkularnom polarizacijom za radarske sisteme na 24 GHz

Jelena Mišić, Nikola Bošković, Branka Jakanović, *Member, IEEE*, Vera Marković, *Member, IEEE*

Apstrakt—U ovom radu predstavljen je antenski niz sa cirkularnom polarizacijom namenjen radarskim sistemima koji rade u ISM opsegu 24-24.25 GHz, na centralnoj frekvenciji od 24.15 GHz. Predloženi antenski niz sastoji se od 24 zasečene peč antene sa cirkularnom polarizacijom. Predloženi antenski niz projektovan je i testiran u WIPL-D softverskom okruženju. Rezultati su pokazali da predloženi niz ima dobre performanse, naime, elipticitet na željenom opsegu je manji od 2 dB, pojačanje je iznad 17 dB, dok je 3-dB širina glavnog snopa zračenja u H-ravni 5.2°.

Ključne reči—antenski niz; cirkularna polarizacija; ISM opseg; peč antena; radarski sistemi.

I. UVOD

Antene su jedne od najvažnijih komponenti u komunikacionim sistemima. U skorije vreme mikrostrip peč antene su postale veoma zastupljene u različitim aplikacijama zbog brojnih pogodnosti, kao što su mala težina i volumen, lako prilagodiva konfiguracija i mogućnosti integracije u integrisanim kolima [1]. Takođe, ono što odlikuje ovu vrstu antena je laka realizacije napojnih vodova i mreža za prilagođenje, koje se mogu realizovati na zajedničkom supstratu sa antenskom strukturom.

Jedna od vrlo bitnih podklasa mikrostrip peč antena su mikrostrip peč antene sa cirkularnom polarizacijom, koje imaju široki spektar primene u bežičnim sistemima i satelitskim komunikacijama. Osnovni razlog za ovo je što se kod cirkularne polarizacije signal prenosi u svim ravnima, pa je otporniji na uticaj prepreka i ostalih spoljašnjih uslova. Takođe veoma bitna karakteristika antena sa cirkularnom polarizacijom je to što daju određeni stepen slobode u orijentaciji prijemne i predajne antene, koji kod linearno polarizovanih talasa ne postoji. Poslednje navedena karakteristika je veoma značajna za radarske, i mobilne i satelitske komunikacione sisteme u kojima je vrlo teško održati konstantnu orijentaciju antena, pogotovu prijemnih. U skorije vreme predložen je veliki broj različitih peč antena sa cirkularnom polarizacijom namenjen bežičnim sistemima. U [2] predstavljena je koplanarna slot antena sa cirkularnom polarizacijom, koja se napaja vodećim talasom, namenjena navigacionim i bežičnim sistemima koji rade u opsegu 2.2-

5.2 GHz. Još jedan tip antene sa cirkularnom polarizacijom namenjen bežičnim sistemima, tačnije RFID i WiMAX sistemima predstavljen je u [3]. Naime, predložen je antenski niz koji se sastoji od dve zasečene mikrostrip peč antene sa dodatnim slotom. U [3] je pokazano da zasečeni tip mikrostrip peč antene proširuje frekvencijski opseg antene i redukuje koeficijent stojećeg talasa. Jedna od modifikacija zasečene peč antene, odnosno peč antena koja je zasečena samo na jednoj strani, umesto na dve suprotne strane, predstavljena je u [4]. Takođe, u [4] je pokazano da mikrostrip zasečena peč antena sa cirkularnom polarizacijom ima za oko 24.6% manje dimenzije od konvencionalne pravougaone peč antene.

Antene sa cirkularnom polarizacijom se retko koriste pojedinačno, zbog malog pojačanja. Naime, mnogo se češće primenjuju antenski nizovi sa cirkularnom polarizacijom, koji su najčešće realizovani tako da je broj elemenata po svakoj od dve ose jednak. Ovakav način organizacije antenskih nizova uslovljena je zahtevom za elipticitetom, koji predstavlja odnos komponenti električnog polja po osama prostiranja. Naime, dodavanjem antenskih elemenata po nekoj od osa favorizuje se komponenta polja po toj osi i degradira elipticitet. Baš iz tog razloga skoro svi do sada predstavljeni antenski nizovi su kvadratnog tipa. Antenski nizovi kvadratnog oblika od četiri i šezdeset i četiri antene sa cirkularnom polarizacijom koji rade u Ka opsegu predstavljeni su u [5]. Još jedan antenski niz od šezdeset i četiri zasečene mikrostrip peč antene sa cirkularnom polarizacijom kvadratnog oblika, namenjen aplikacijama u ISM (Industrial, Scientific and Medical) opsegu na 2.4 GHz predložen je u [6]. Pored karakteristika predloženog niza, u [6] dat je detaljan opis projektovanja mikrostrip peč antena sa cirkularnom polarizacijom.

Mikrostrip peč antena sa cirkularnom polarizacijom namenjena radarskim sistemima predstavljena je u [7]. Takođe, 8x8 antenski niz namenjen radarskim i satelitskim sistemima koji rade na 29 GHz, sačinjen od mikrostrip antena sa cirkularnom polarizacijom, predstavljen je u [8].

Iako predstavljeni kvadratni nizovi imaju dobre performanse, danas se akcenat stavlja na linijske nizove sa cirkularnom polarizacijom, koji su kompaktniji od kvadratnih nizova. Međutim, linijski raspored antenskih elemenata dovodi do degradacije elipticiteta. Zbog toga je vrlo mali broj studija odrađen na temu linijskih antenskih nizova sa cirkularnom polarizacijom. Jedan od takvih nizova namenjen je aplikacijama u Ku frekvencijskom opsegu, ali sa samo 4 antenskih elemenata dat je u [9].

U ovom radu predstavljen je nov način poboljšanja elipticiteta linijskih antenskih nizova sa cirkularnom polarizacijom baziran na dodavanju antenskih elemenata suprotne cirkularne polarizacije. Predloženi način verifikovan je na antenskom niz od 24 zasečene mikrostrip

Jelena Mišić – Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu, Pregrevica 118, 11080 Pregrevica, Srbija; Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: jelenaeka@gmail.com).

Nikola Bošković – Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu, Pregrevica 118, 11080 Pregrevica, Srbija; Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: nikolab@ipb.ac.rs).

Branka Jakanović – Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu, Pregrevica 118, 11080 Pregrevica, Srbija (e-mail: brankaj@ipb.ac.rs).

Vera Marković – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: vera.markovic@elfak.ni.ac.rs).

peč antene sa cirkularnom polarizacijom koji radi u ISM frekvencijskom opsegu B tipa namenjenom radiokomunikacijama, tačnije u opsegu 24-24.25 GHz, na centralnoj frekvenciji od 24.15 GHz. Po saznanju autora ovo je prvi linijski antenski niz sa većim brojem antenskih elemenata sa cirkularnom polarizacijom.

Rad je organizovan na sledeći način. U Sekciji II, date su opšte karakteristike i najčešće korišćene mikrostrip peč antene sa cirkularnom polarizacijom. U Sekciji III, dat je detaljan opis predloženog antenskog niza sa cirkularnom polarizacijom. U Sekciji IV, predstavljeni su rezultati simulacija antenskog niza. Konačno, zaključak i smernice za budući rad izloženi su u Sekciji V.

II. MIKROSTIP PEČ ANTENE SA CIRKULARNOM POLARIZACIJOM

Mikrostrip peč antena je najčešće dizajnirana tako da generiše linearnu polarizaciju. Međutim, mikrostrip peč antene sa cirkularnom polarizacijom imaju mnogo prednosti u odnosu na mikrostrip peč antene sa linearnom polarizacijom, bilo vertikalnom ili horizontalnom. Naime, ove antene su mnogo otpornije na interferenciju usled *multipath* prostiranja i fedinga.

Da bi mikrostrip peč antena zračila cirkularno polarizovan talas, peč treba da podržava dva ortogonalna moda koja imaju jednake amplitude i faznu razliku od $\pm 90^\circ$, gde predznak definiše smer rotacije električnog polja, odnosno vrstu cirkularne polarizacije. Ukoliko je smer rotacije električnog polja, gledano od strane predajnika ka prijemniku, u smeru kazaljke na satu antena je desno polarisana, u suprotnom je levo polarisana.

A. Projektovanje mikrostrip peč antena sa cirkularnom polarizacijom

Konvencionalne mikrostrip peč antene se generalno sastoje od metalizacije koja se nalazi na supstratu određene debljine i odgovarajućih karakteristika.

Postizanje cirkularne polarizacije kod mikrostrip peč antena se može postići na više načina. Jedan od njih je da se peč antena pobuđuje na odgovarajući način, odnosno primena dualno-ortogonalno napajanja, koje podrazumeva korišćenje eksternog delitelja snage. Međutim ovaj način zahteva prilično složenu mrežu za napajanje tako da se retko koristi. Mnogo praktičniji način realizacije cirkularne polarizacije kod mikrostrip peč antena je napajanje u jednoj tački uz izbor odgovarajućeg oblika peč antene. Takođe, retko kada se koristi samo jedna antena sa cirkularnom polarizacijom, i najčešći oblik primene peč antena sa cirkularnom polarizacijom je realizacija kvadratnog antenskog niza sa odgovarajućim faziranjem.

Najčešći ciljevi u istraživanju i razvoju antena sa cirkularnom polarizacijom uključuju minijaturizaciju antena, rad u više frekvencijskih opsega, širokopoljnost, veliko pojačanje, rekonfigurabilnost, mogućnost promene pravca glavnog snopa (*beam steering*) itd. Potrebno je napomenuti da, kada govorimo o propusnom opsegu antena sa cirkularnom polarizacijom, moramo praviti razliku između propusnog opsega impedanse i propusnog opsega elipticiteta. Elipticitet (Axial Ratio - AR) predstavlja odnos komponenti električnog polja po osama prostiranja i najčešće se izražava u decibelima:

$$AR[dB] = 20 \log \left| \frac{E_x}{E_y} \right|, \quad (1)$$

Propusni opseg elipticiteta predstavlja frekvencijski opseg u kome je cirkularna polarizacija idealna, i definiše kao opseg frekvencija u okviru kog je elipticitet manji od 3 dB. Dok je kod linearno polarizovanih antena ulazna impedansa najosetljiviji parametar, kod antena sa cirkularnom polarizacijom dobro prilagođenje impedanse ne podrazumeva nužno i nizak elipticitet ili dobro pojačanje antene, tako da se pri projektovanju mora voditi računa o specifičnim zahtevima. No, kako nije moguće ispuniti sve zahteve u potpunosti, projektovanje mikrostrip peč antena sa cirkularnom polarizacijom predstavlja kompromis između navedenih parametara antena.

Generalno, glavni nedostaci svih vrsta peč antena su uzak propusni opseg i potencijalno manja efikasnost zračenja u poređenju sa drugim tipovima antena. Kod antena sa cirkularnom polarizacijom ovaj opseg je još uži usled dodatnog zahteva za odgovarajućim elipticitetom. Međutim, opšte je poznato da propusni opseg raste s povećanjem debljine supstrata i smanjenjem permitivnosti (dielektrične konstante), pa se korišćenjem debljih supstrata može obezbediti širi propusni opseg.

B. Najčešće korišćene mikrostrip peč antena sa cirkularnom polarizacijom

U literaturi se susreću različiti oblici antenskih elemenata pogodnih za realizaciju cirkularne polarizacije – kvadratni, pravougaoni, kružni, eliptični, trougaoni, petougaoi, itd. Međutim, u praksi se najviše koriste kvadratni i kružni peč.

Najčešće korišćene kvadratne mikrostrip peč antene sa cirkularnom polarizacijom sa napajanjem u jednoj tački su romboidna peč antena, koja je približno kvadratnog oblika, Sl. 1(a), kvadratna peč antena sa prorezom u sredini, Sl. 1(b), i kvadratna zasečena peč antena, Sl. 1(c).

III. ANTENSKI NIZ

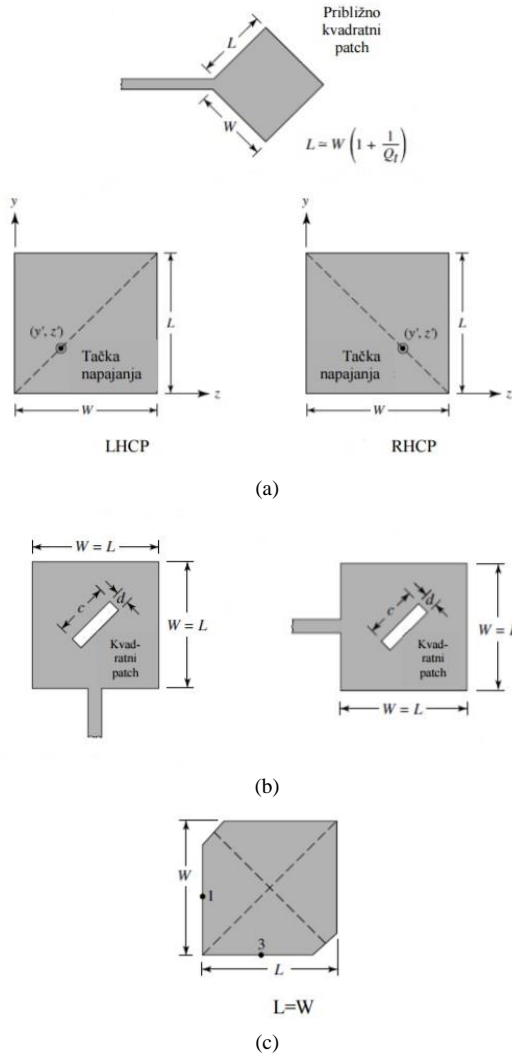
Detaljnou analizom najčešće korišćenih kvadratnih peč antena sa cirkularnom polarizacijom ustanovljeno je da je zasečena peč antena najpogodnija jer je propusni opseg elipticiteta najširi.

Antenski niz projektovan je u WIPL-D softveru [10] na supstratu od teflona debljine $h=0.508$ mm i dielektrične konstante $\epsilon_r=2.2$. Niz se sastoji od 24 antenskih elemenata, među kojima se nalaze antenski elementi leve cirkularne polarizacije (LHCP) i desne cirkularne polarizacije (RHCP).

Rastojanje antenski elemenata u nizu je podjednako i jednako je talasnoj dužini u dielektriku, odnosno $d=0.76\lambda_0$. Na krajevima niza nalazi se otvorena linija dužine $\lambda/2$ koja ima funkciju reflektora preostale snage posle poslednjeg antenskog elementa u nizu, i dodata je sa ciljem iskorišćenja celokupne snage.

Impedansa svih antena je ista i iznosi 440 Ω . Kao napojni vod korišćen je vod impedance od 100 Ω . Impedansa napojnog voda je izabrana tako da se dobije što jednostavnija mreža za napajanje i što uži vod ispod peč antena kako bi se smanjila sprega između voda i antenskih elemenata. U slučaju da se za napajanje peč antena koristi napojni vod od 50 Ω , bila bi potrebna još najmanje dva

transformatora impedancije koji bi 50-Ω ulazni napojni vod prilagodili na drugi 50-Ω vod. Takođe, 100-Ω napojni vod je oko tri puta uži, tako da je sprega sa antenskim elementima znatno manja nego kada bi koristili 50-Ω napojni vod. Dalje, kako bi se peč antene prilagodile na 100-Ω napojni vod korišćen je $\lambda_g/4$ transformator, Sl. 2.



Sl. 1. Najčeće korišćene peč antene sa cirkularnom polarizacijom i napajanjem u jednoj tački: (a) romboidna patch antena, (b) kvadratna patch antena sa slotom u sredini, levo RHCP, i desno LHCP, i (c) kvadratna zasećena patch antena, 1-RHCP, 3-LHCP.

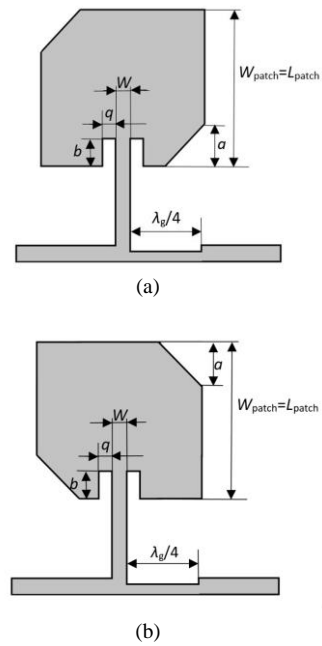
Dobro je poznato da je jedan od bitnih faktora prilikom projektovanja antenskog niza izbor najpogodnije raspodele snage među antenskim elementima. Kao što je već rečeno u ovom radu antenski niz se sastoji od identičnih peč antena, koje se razlikuju samo po polarizaciji dok su fizičke dimenzije iste, tako da je raspodela snage definisana na sledeći način:

$$|A_n| = q^{n-1} + q^{N-n}, \quad (2)$$

gde je $n=1, 2, \dots, N/2$, pri čemu je N ukupan broj antenskih elemenata u nizu, a koeficijent q definiše intenzitet pobude antenskih elemenata u nizu i definisan je kao:

$$q = 1 - \frac{Z_0}{Z_{patch}}, \quad (3)$$

gde je Z_0 impedansa napojnog voda, a Z_{patch} impedansa peč antene.



Sl. 2. Zasećena peč antena: (a) LHCP, i (b) RHCP.

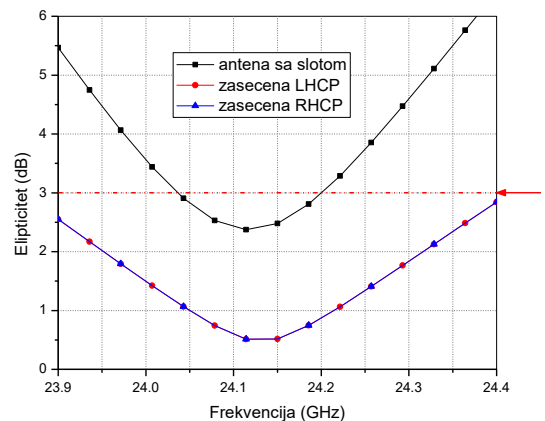
Svi antenski elementi su istih dimenzija, pri čemu je dužina odnosno širina peč antene $W_{patch}=L_{patch}=3.66$ mm, zasećeni deo je pomeren za $a=W_{patch}/5$ od ivice peča, slot oko linije za napajanje peč antene je dimenzija $b=0.6$ mm i $q=0.2$ mm, a širina linije za napajanje je $W=0.2$ mm, Sl. 2.

A. Antenski niz bez napojnog voda

Projektovanje antenskog niza sa cirkularnom polarizacijom je vrlo složen postupak i treba voditi računa o nizu parametara, među kojima su pojačanje, potiskivanje bočnih lobova i elipticitet.

Potiskivanje bočnih lobova postiže se povećanjem impedancije antene, odnosno odabirom određenog koeficijenta q . U našem sličaju $q=4/5$, što je sasvim dovoljna vrednost za potiskivanje bočnih lobova od 15 dB.

Što se tiče zahteva za elipticitet, elipticitet bi trebao da bude manji od 3 dB na željenom opsegu. Na Sl. 3 prikazan je elipticitet antenskih elemenata LHCP i RHCP tipa. Na istoj slici prikazan je i elipticitet kvadratne peč antene sa slotom.

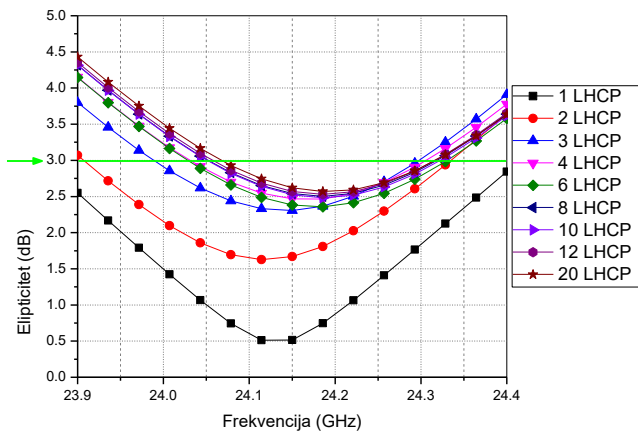


Sl. 3. Elipticitet LHCP i RHCP zasećene peč antene i antene sa slotom.

Kao što se na Sl. 3 može videti, elipticitet za LHCP i

RHCP antene je apsolutno isti što se moglo i očekivati jer su fizičke dimenzije ovih antena identične, dok je elipticitet kvadratne peč antene sa slotom dosta lošiji. Takođe, elipticitet LHCP i RHCP antena u željenom opsegu (24-24.25 GHz) je manji od 1.5 dB što se može smatrati vrlo dobrim rezultatom.

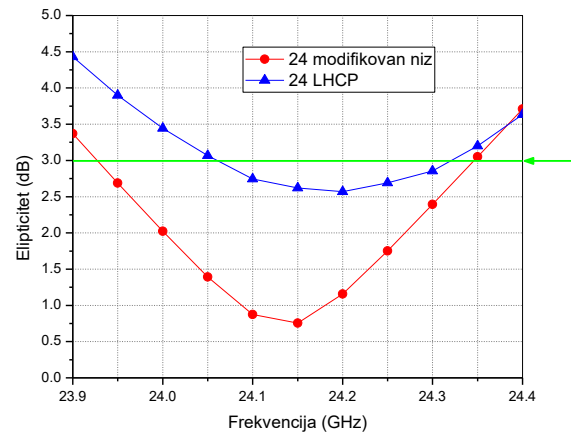
Detaljnou analizom elipticiteta za različit broj antenskih elemenata raspoređenih samo po jednoj osi, ustanovili smo da se elipticitet pogoršava sa povećanjem broja elemenata. Na Sl. 4 dat je prikaz elipticiteta za nizove sa različitim brojem elemenata sa unofrmnom raspodelom snage bez napojne mreže. Kao što se na Sl. 4 može videti, elipticitet se znatno pogoršava već dodavanjem drugog elementa u niz. Daljim dodavanjem elemenata elipticitet se sve više pogoršava, tj. njegov propusni opseg se sve više smanjuje, a donji nivo podiže. Još jedna pravilnost koja se može uočiti na Sl. 4 je to da se nakon šestog elementa, dodavanjem novih elemenata u niz elipticitet znatno slabije pogoršava, tj. dolazi do grupisanja krivih. Takođe, elipticitet niza od više od 3 elemenata je nezadovoljavajući na željenom ISM opsegu, bez obzira na činjenicu da je elipticitet osnovnog antenskog elementa u tom frekventijskom opsegu veoma dobar.



Sl. 4. Zavisnost elipticiteta od broja antenskih elemenata u nizu sa uniformnom raspodelom snage.

B. Antenski niz sa napojnom mrežom

Prilikom projektovanja antenskog niza ispitano je više modifikacija zarad poboljšanja elipticiteta. Međutim, većina modifikacija ili nije ili je vrlo malo poboljšala elipticitet. Jedina modifikacija osnovnog niza koja je znatno uticala na poboljšanje elipticiteta je dodavanje antenskih elemenata suprotne polarizacije. Naime, ispitane su sve mogućnosti u pogledu broja i položaja elemenata suprotne polarizacije, I ustanovljeno je da ukoliko je broj antenskih elemenata suprotne polarizacije veliki dolazi do narušavanja elipticiteta. Takođe, utvrđeno je da se dodavanjem svaka dva elementa suprotne polarizacije pojačanje pri uniformnoj raspodeli snage smanji za 1 dB, tako da se poboljšanje elipticiteta mora platiti smanjenjem pojačanja antenskog niza. U cilju jasnijeg predstavljanja poboljšanja elipticiteta predloženom metodom koja se ogleda u dodavanju antenskih elemenata suprotne polarizacije na odgovarajućem mestu u nizu na Sl. 5 prikazan je elipticitet niza od 24 istih antenskih elemenata i modifikovanog niza od 24 elemenata.



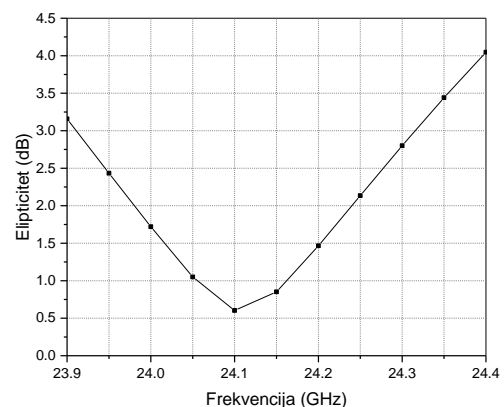
Sl. 5. Elipticitet antenskih nizova sa istim i mešovitim antenskim elementima sa uniformnom raspodelom snage.

Kao što se na Sl. 5 može videti elipticitet za niz sa mešovitim elementima je zadovoljavajući na celom opsegu od interesa. Takođe, može se videti da je poboljšanje elipticiteta više nego očito. Još jedan od zaključaka koji je proistekao iz svih analiza je da se pri uniformnoj raspodeli snage, dodavanjem antenskih elemenata iste polarizacije kriva elipticiteta pomera ka višim frekvencijama, tako da je potrebno pomeriti frekvenciju osnovnog elementa ka nižim učestanostima kako bi krajnji niz imao zadovoljavajući elipticitet na željenoj centralnoj frekvenciji. Međutim, dodavanjem elemenata suprotne polarizacije ovaj efekat se poništava, tako da nije potrebna nikakva modifikacija osnovnog antenskog elementa.

IV. REZULTATI

Verifikacija predloženog antenskog niza odrađena je u WIPL-D softverskom okruženju.

Elipticitet za modifikovani antenski niz od 24 antenska elementa pri čemu su dva sa suprotnom cirkularnom polarizacijom prikazan je na Sl. 6.

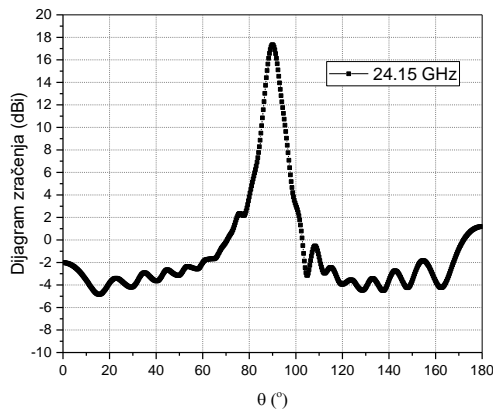


Sl. 6. Elipticitet modifikovanog antenskog niza sa eksponencijalnom raspodelom $q=4/5$.

Kao što se na Sl. 6 može videti, elipticitet za modifikovani antenski niz je manji od 2 dB na celom opsegu od interesa, što se može smatrati vrlo dobrim rezultatom. Šta više, elipticitet je manji od 3 dB i na širem frekventijskom opsegu od posmatranog.

Dijagram zračenja modifikovanog niza sa mrežom za

napajanje u H ravni na centralnoj frekvenciji od 24.15 GHz prikazan je na Sl. 7.



Sl. 7. Dijagram zračenja na centralnoj učestanosti modifikovanog antenskog niza sa esponencijalnom raspodelom snage $q=4/5$.

Dijagram zračenja modifikovanog antenskog niza u H ravni ispunjava unapred zadate kriterijume u pogledu pojačanja i potiskivanja bočnih lobova. Naime, ostavreno je potiskivanje bočnih lobova od 15 dB, što nam je i bio cilj. Takođe 3-dB širina glavnog snopa zračenja je u H ravni je 5.2°.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je linijski antenski niz sa cirkularnom polarizacijom namenjen radarskim sistemima koji rade u ISM frekvencijskom opsegu 24-24.25 GHz, na centralnoj frekvenciji od 24.15 GHz. Predstavljen antenski niz se sastoji od dve vrste antena, zasečene mikrostrip peč antene sa levom cirkularnom polarizacijom i zasečene mikrostrip peč antene sa desnom cirkularnom polarizacijom. Svi antenski elementi su istih fizičkih dimenzija i razlikuju se samo po tipu polarizacije. Antenski niz je projektovan i testiran u WIPL-D softveru. Rezultati testiranja su pokazali da projektovani niz ima dobre karakteristike u pogledu pojačanja, potiskivanja bočnih lobova i elipticiteta, naime elipticitet je manji od 2 dB na željenom opsegu, pojačanje je iznad 17 dB, a 3-dB širina glavnog snopa zračenja u H-ravni je 5.2°. Na osnovu navedenog može se zaključiti da je predloženi antenski niz vrlo pogodan za radarske sisteme.

Naše buduće istraživanje biće usmereno ka poboljšanju karakteristika i optimizaciji predstavljenog antenskog niza.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je rezultat projekta TR 32024 finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Autori se zahvaljuju na softverskoj licenci

firmi WIPL-D d.o.o. iz Beograda, koja je participant na projektu TR32024.

LITERATURA

- [1] C. A. Balanis, *Antenna theory: Analysis and Design*, 3th ed. Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, 2005
- [2] N. Kushwaha and R. Kumar, "Compact coplanar waveguide-fed wideband circular polarised antenna for navigation and wireless applications," in *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 9, no. 14, pp. 1533-1539, 11 19 2015.
- [3] A. Maria, V. Vishnupriya, K. K. A. John and T. Mathew, "Dual band circularly polarized truncated peč antenna for RFID reader and WiMAX applications," 2015 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS), Coimbatore, pp. 684-687, 2015
- [4] A. A. Abdelaziz and D. M. Nashaat, "Compact GPS Microstrip Peč Antenna," MILCOM 2007 - IEEE Military Communications Conference, Orlando, FL, USA, pp. 1-4, 2007
- [5] Nasimuddin, X. Qing and Z. N. Chen, "A wideband circularly polarized microstrip array antenna at Ka-band," 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, pp. 1-4, 2016.
- [6] D. L. Lavanya, "Design of 8x8 Circularly Polarized planar array antenna for ISM band," 2012 International Conference on Radar, Communication and Computing (ICRCC), Tiruvannamalai, pp. 112-116, 2012
- [7] C. Y. Kim, J. G. Kim, D. Baek and S. Hong, "A Circularly Polarized Balanced Radar Front-End With a Single Antenna for 24-GHz Radar Applications," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 57, no. 2, pp. 293-297, Feb. 2009.
- [8] A. Chen, Y. Zhang, Z. Chen and C. Yang, "Development of a SKa-Band Wideband Circularly Polarized 64-Element Microstrip Antenna Array With Double Application of the Sequential Rotation Feeding Technique," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, no. , pp. 1270-1273, 2011.
- [9] L. Song and Y. Nie, "A hybrid-fed dual-polarized stacked peč array antenna for Ku-band radar systems," 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Vancouver, BC, pp. 1908-1909 , 2015
- [10] WIPL-D Pro, *Software and User's Manual*, WIPL-D Ltd., Belgrade, 2004

ABSTRACT

This paper presents a circularly polarized antenna array intended for radar systems that work in ISM frequency band, 24-24.25 GHz, at the central frequency of 24.15 GHz. The proposed antenna array consists of 24 truncated circularly polarized patch antennas. The proposed antenna array is designed and tested in WIPL-D software environment. The proposed array exhibits good performances, namely, the ellipticity is less than 2 dB in the frequency band of interest, the gain is greater than 17 dB and the 3-dB width of main lobe is 5.2°.

Circularly Polarized Antenna Array Intended for Radar Systems at 24 GHz

Jelena Mišić, Nikola Bošković, Branka Jokanović, Vera Marković