

## ANTENSKI NIZ SA TEJPEROVANOM RASPODELOM I UGAONIM REFLEKTOROM NA MILIMETARSKOM OPSEGU

Aleksandar Nešić, Siniša Jovanović, Zoran Mičić, Institut IMTEL, Beograd.

**Sadržaj** – U radu je analiziran antenski niz od osam aksijalno raspoređenih i sinfazno napajanih dipola sa ugaonim reflektorom. Antenski nizovi su projektovani i realizovani za opseg 25.5-26.5 GHz, tj. na milimetarskom frekvencijskom opsegu, koji je aktuelan za savremene mikrotalasne komunikacijske mreže. Prikazane su antene sa tri različita ugla reflektora kojima su dobijene širine snopa zračenja u H-ravnini: 55°, 110° i 180° i pojačanja od 19.3dBi, 15.8dBi i 14dBi, respektivno. Gubici kod svih realizovanih antena su manji od 1dB. Antena sa širinom snopa u H-ravnini od 110° realizovana je sa neuniformnom napojnom mrežom sa Dolph-Chebyshev-ljevom raspodelom drugog reda da bi se ostvarilo potiskivanje bočnih lobova od 24dB.

### 1. UVOD

Moderni telekomunikacioni sistemi kao što su tzv. indoor i outdoor wireless LAN, point to multipoint i multipoint to multipoint sve češće koriste milimetarske frekvencijske opsege [1]. Kod tih sistema su potrebne antene sa relativno širokim snopom zračenja u ravni azimuta.

Jedan od pogodnih tipova antena sa navedenim karakteristikama je tzv. ugaona antena (corner antenna). Do nedavno su se ugaone antene koristile na UHF opsezima [2] kao i nižim mikrotalasnim opsezima [3]. Nedavno je pripremljen rad sa opisom i prikazanim rezultatima sa aksijalnim štampanim nizom i ugaonim reflektorom za frekvencijski opseg oko 26GHz [4]. Kod pomenute antene je slabljenje bočnih listova u ravni elevacije (E-ravnini) 13 dB, pošto je niz imao uniformnu raspodelu.

U ovom radu je prikazana antena sa ugaonim reflektorom koja se sastoji od štampanog niza sa osam štampanih dipola integrisanih sa napojnom mrežom koja obezbeđuje tejperovanu raspodelu i dve metalne ploče koje čine ugaoni reflektor. Antena je projektovana i realizovana za frekvencijski opseg oko 26 GHz koji se sve češće koristi u gore pomenutim telekomunikacionim sistemima. Širok dijagram zračenja u H-ravnini se koristi u ravni azimuta. Projektovane su i realizovane antene sa tri različite širine zračećeg snopa u H-ravnini od 55°, 110° i 180°. Jedan antenski niz je projektovan sa tejperovanom raspodelom napajanja zračećih elemenata radi smanjenja bočnih lobova, čemu će posebna pažnja biti posvećena u ovom radu.

### 2. KONCEPT

Prikazane antene se sastoje od tri dela: (1) štampanog niza od osam štampanih zračećih elemenata – pentagonalnih dipola koji su postavljeni aksijalno; (2) napojne mreže kojom je obezbeđena sinfazna uniformna ili tejperovana raspodela, a koja je realizovana na zajedničkoj dielektričnoj podlozi sa dipolima; (3) ugaonim reflektorom koji se sastoji od dve metalne ploče.

Dimenzije zračećih elemenata u obliku petougona su određene (optimizacijom) tako da impedansa dipola bude 100Ω. U tom slučaju dipol u obliku dva petougona radi na drugoj rezonansi. Sa obe strane dielektrične podloge se nalazi po jedna petougona polovina dipola. Rastojanje između dipola je određeno iz uslova da slabljenje bočnih listova bude veće od 24 dB, a da se pri tome dobije što veći dobitak antene.

Napojna mreža koja obezbeđuje sinfazno uniformno ili tejperovano napajanje je izvedena u tehnici simetričnog (balansiranog) mikrostripa da bi bila potpuno komplementarna sa simetričnim zračećim elementima. Mreža je binarna i ima tri stepena. Posle koaksijalne priključnice (SMA) se nalazi BAL-UN sa kojim se prelazi sa nesimetrične na simetričnu mikrostrip strukturu. Prvi stepen napojne mreže ima jedan T-spoj, drugi stepen dva T-spoja i treći stepen tri T-spoja. Transformatori impedanse kojima se ostvaruje tejperovana raspodela se nalaze u drugom i trećem stepenu napojne mreže.

### 3. TEJPEROVANA RASPODELA NAPAJANJA

Da bi se ostvarilo slabljenje bočnih lobova veće od 24 dB, potrebno je odabrati raspodelu napajanja zračećih elemenata koja može da ispuni ovaj uslov. Međutim, postoje još dva ograničavajuća faktora. Prvi je potrebna dinamika, odnosno odnos maksimalnog i minimalnog intenziteta, koja zavisi od tehnoloških mogućnosti, odnosno od mogućnosti realizacije transformatora impedanse koji obezbeđuju projekovanu raspodelu. Drugi faktor su tolerancije u realizaciji koje unose greške u rastojanjima između zračećih elemenata kao i dužinama napojnih vodova. Pomenuti efekti smanjuju slabljenje bočnih lobova.

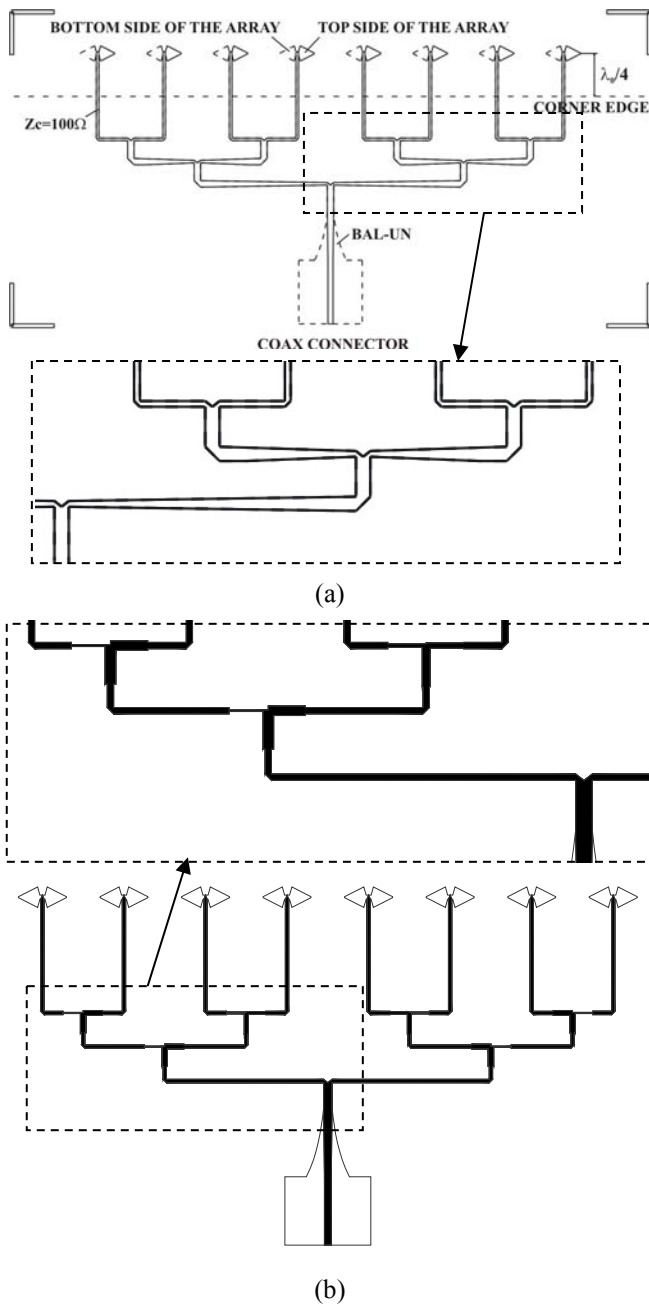
Korišćenjem programskog paketa LINPLAN [5] odabrali smo dve raspodele sa kojima je moguće ispuniti postavljen uslov: (1)  $\text{Cos}^2$  i (2) Dolph-Chebyshev-ljeva raspodela drugog reda. U Tabeli 1 su dati intenziteti napajanja, odnosno snage napajanja, pojedinih zračećih elemenata sa dinamikom napajanja od 10 dB za gore pomenute raspodele. Sa  $\text{Cos}^2$  raspodelom se dobija slabljenje bočnih lobova od 26.9 dB, a sa Dolph-Chebyshev-ljevom raspodelom drugog reda 27.3 dB. Razlika je skoro zanemariva. Pretpostavili smo da je tolerancija u rastojanjima između zračećih elemenata 0.02 lambda, odnosno oko 20μm, i da su ukupne fazne greške nastale u toku realizacije 2°, što odgovara greškama u ukupnim dužinama napojnih vodova od oko 60μm. U tom slučaju slabljenje bočnih lobova sa  $\text{Cos}^2$  raspodelom iznosi 23.73°, a sa Dolph-Chebyshev-ljevom raspodelom drugog reda 24.05dB.

Tabela 1 Relativni\* naponi i snage napajanja elemenata antenskog niza za  $\text{Cos}^2$  i Dolph-Chebyshev raspodelu drugog reda

Broj elementa	$\text{Cos}^2$ raspodela		Dolph-Chebyshev raspodela drugog reda	
	$V_{REL}$	$P_{REL}$	$V_{REL}$	$P_{REL}$
1	0.3162	0.1000	0.3162	0.1000
2	0.5165	0.2668	0.5339	0.2850
3	0.7997	0.6395	0.8074	0.6519
4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
6	0.7997	0.6395	0.8074	0.6519
7	0.5165	0.2668	0.5339	0.2850
8	0.3162	0.1000	0.3162	0.1000

\* u odnosu na centralne elemente niza

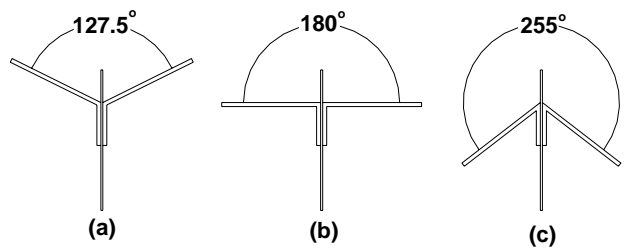
Izgled štampe antenskog niza sa uniformnom raspodelom je prikazan na Sl. 1(a), a sa tejerovanom Dolph-Chebyshev-ljevom raspodelom drugog reda na sl. 1(b).



Sl. 1. Izgled štampe (a) sa uniformnom raspodelom napajanja, (b) sa Dolph-Chebyshev raspodelom napajanja drugog reda

Aksijalni niz je postavljen između dve metalne ploče koje formiraju kornjer. Rastojanje između osa dipola i ivice kornjer reflektora je  $\lambda/4$  (na centralnoj frekvenciji). Sirina snopa u H-ravni (azimuth) zavisi uglavnom od ugla između metalnih ploča. Sirine metalnih ploča u sva tri slučaja je 10 mm. Razmatrana su tri tipična slučaja:

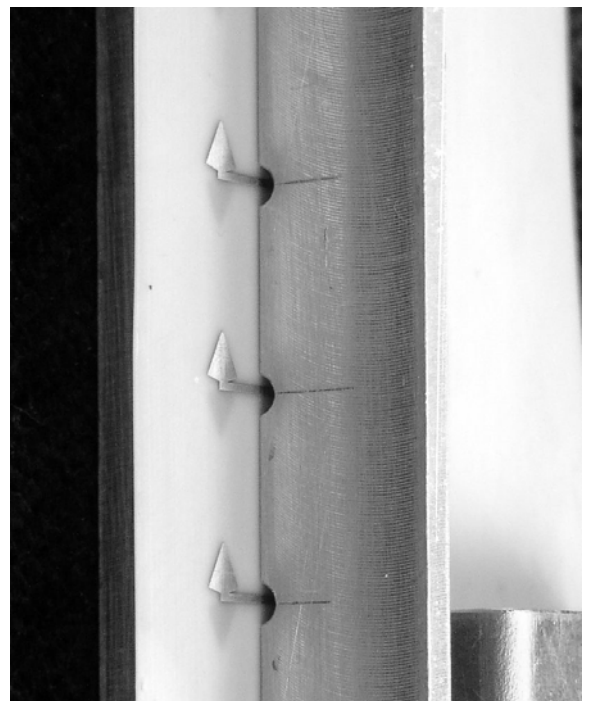
- sa uglom reflektora od  $127.5^\circ$ , sirina snopa zračenja u H-ravni je oko  $55^\circ$ , (Sl. 2a)
- sa uglom reflektora od  $180^\circ$ , sirina snopa u H-ravni je oko  $110^\circ$ , (Sl. 2b)
- sa uglom reflektora od  $255^\circ$ , sirina snopa je oko  $180^\circ$ , (Sl.2c)



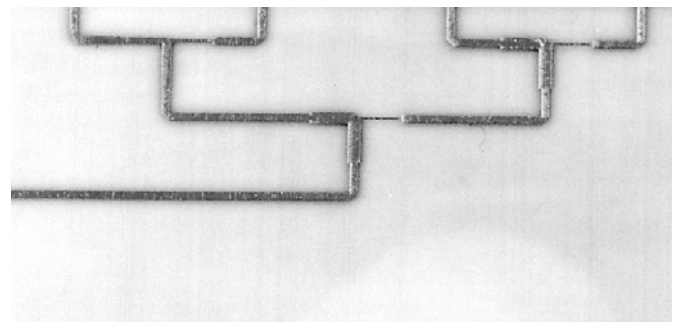
Sl. 2. Skica antene sa tri različita ugla reflektora

Napojna mreža prolazi između dve reflektorske ploče. Na mestima gde prolaze simetrični mikrostrip vodovi koji napajaju dipole nalaze se rupe (prečnika 2 mm) da bi se izbegli diskontinuiteti zbog uticaja metala na simetrične mikrostrip vodove, Sl. 3.

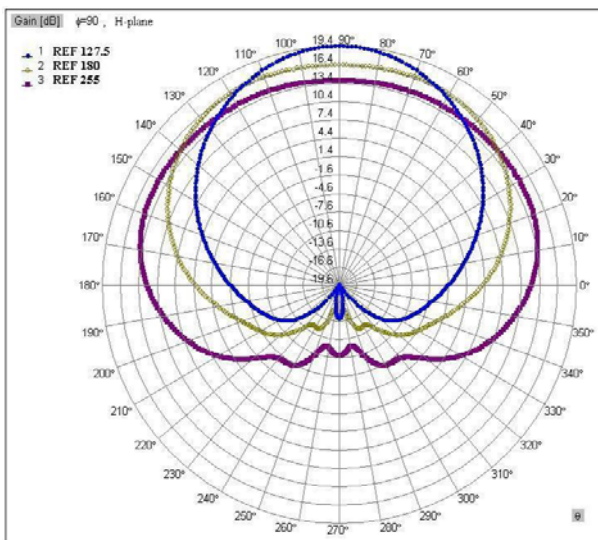
Na Sl. 4 je prikazan detalj realizovane štampane ploče na kome se vide T-spojevi sa transformatorima impedansi pomoću kojih je ostvarena Dolph-Chebyshev-ljeva raspodela drugog reda pri napajanju zračećih elemenata.



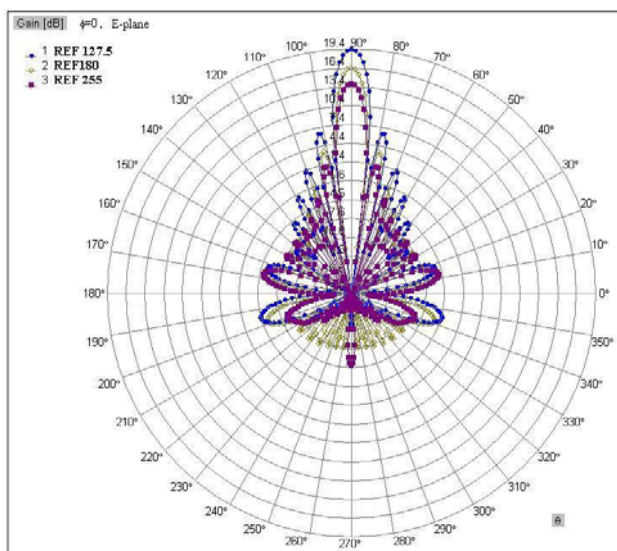
Sl. 3. Detalj reflektorske ploče sa rupama za prolaz simetričnih mikrostrip vodova napojne mreže



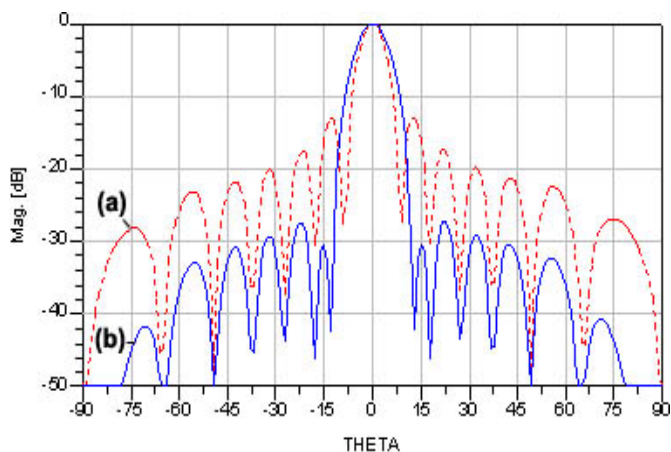
Sl. 4. Detalj realizovane napojne mreže: T-spojevi sa transformatorima impedansi



Sl. 5. Dijagrami zračenja u H-ravni štampanih antenskih nizova sa ugaonim reflektorima otvora 127.5°, 180° i 255° dobijeni simulacijom.



Sl. 6. Dijagrami zračenja u E-ravni uniformno napajanih sinfaznih štampanih antenskih nizova sa ugaonim reflektorima otvora 127.5°, 180° i 255° dobijeni simulacijom



Sl. 7 Potiskivanje bočnih lobova u E-ravni dobijeni simulacijom (a) za niz sa uniformnom raspodelom napajanja, (b) za niz sa Dolph-Chebyshev raspodelom napajanja

#### 4. PROJEKTOVANJE, REALIZACIJA I DOBIJENI REZULTATI

Zračeci elementi i mreža za napajanje su realizovani na istoj dielektričnoj podlazi sa relativnom dielektričnom konstantom  $\epsilon_r=2.1$ , debljine  $h=0.254$  mm, i  $\text{tg}\delta=4 \times 10^{-4}$ . Dimenzije pentagonalnih dipola su optimizovane da bi se dobila impedansa od 100 oma na centralnoj frekvenciji od 26 GHz koriscenjem programskog paketa WIPL-D [6]. Tokom optimizacije je uziman u obzir uticaj simetričnog mikrostrip napojnog voda ( $Z_c=100\Omega$ ).

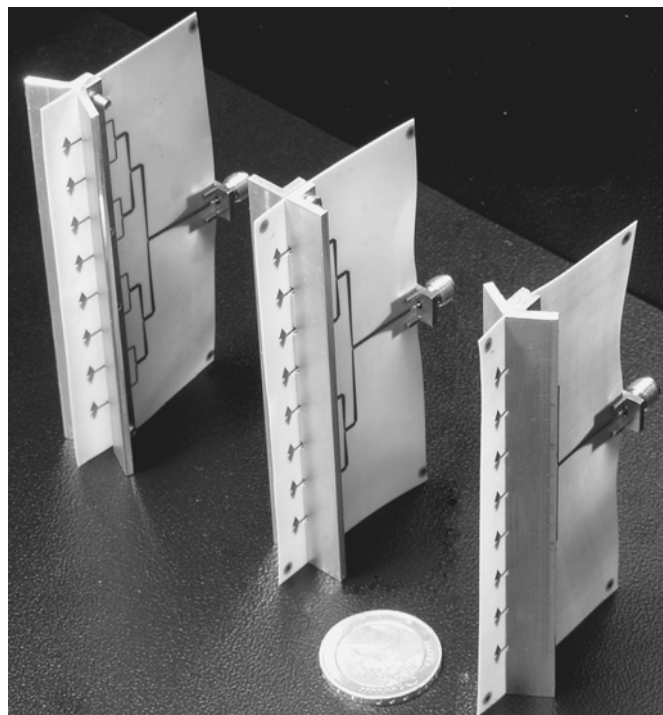
Kod napojne mreže za ugaonu antenu sa otvorom od 180° koriscena je Dolph Chebyshev-ljeva raspodela drugog reda sa dinamikom (odnosom maksimalne i minimalne amplitude) od 10 dB [4]. Relativna raspodela struja, odnosno snage napajanja, pojedinih zračecih elemenata za taj slučaj je prikazana u Tabeli 1.

Analizirane su antene sa tri različita reflektorska ugla: 127.5°, 180° i 225° sa kojima su dobijene različite širine dijagrama zračenja u azimutu (H-ravan) od: 55°, 110° i 180° respektvno. Zbog uticaja metalnih ploča ugaonog reflektora na impedanse dipola bilo je potrebno napraviti male korekcije dimenzija dipola u svakom, gore navedenom, slučaju.

Dijagrami zračenja u H-ravni (azimuth), dobijen simulacijom, u slučaju uniformnog napajanja za sva tri ugla reflektora je prikazana na Sl.5, a odgovarajući dijagrami zračenja u E-ravni na Sl.6.

Na Sl. 7 su upoređeni rezultati simulacije za potiskivanje bočnih lobova u E-ravni u slučaju uniformne raspodele napajanja i u slučaju Dolph-Chebyshev-ljeve raspodele drugog reda.

Fotografije realizovanih ugaonih antena su prikazane na Sl. 8.



Sl. 8. Fotografija realizovanih antenskih nizova sa uglovima reflektora od 127.5°, 180° i 255° upoređeni sa novčićem od 2€

U Tabeli 2 su prikazani rezultati dobijeni simulacijom, a u Tabeli 3 izmereni rezultati za pojačanje antena, slabljenje bočnih lobova, odnos napred/nazad, i trodecibelsku širinu snopa zračenja u E i H ravni za sve tri realizovane antene.

U Tabeli 4 su prikazane izmerene vrednosti pojačanja realizovanih antena na različitim učestanostima radnog opsega, dok su izmereni koeficijenti refleksije na SMA priključcima antena, u frekvencijskom opsegu od 24 GHz do 28 GHz, prikazani su na Sl. 9.

Tabela 2: Simulirani rezultati na  $f=26\text{GHz}$

Ugao reflektora	G [dBi]	FSLA [dB]	F/B [dB]	HPBW <sup>E</sup>	HPBW <sup>H</sup>
127.5°	19.4	13	33	6.9°	54.6°
180°	16.6	27	31	8.7°	109.5°
255°	14	12.9	22	6.9°	182°

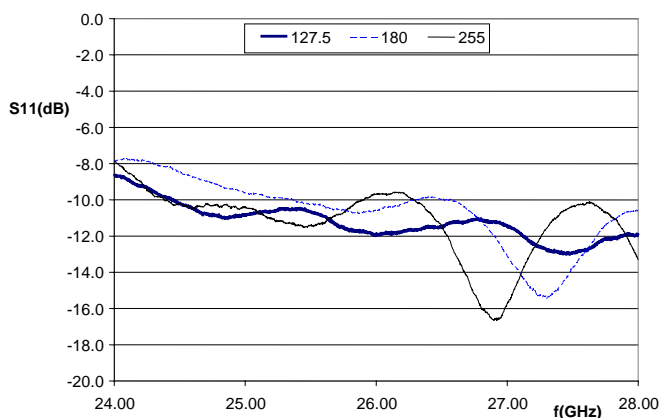
Tabela 3: Izmereni rezultati na  $f=26\text{GHz}$

Ugao reflektora	G [dBi]	FSLA [dB]	F/B [dB]	HPBW <sup>E</sup>	HPBW <sup>H</sup>
127.5°	19.3	12	30	7.4°	57°
180°	15.8	24	28	11°	112°
255°	13.8	12	21.8	7.4°	184°

G- Gain; FSLA- slabljenje bočnih lobova; F/B- odnos napred-nazad; HPBW<sup>E</sup>- 3dB širina snopa u E-ravni; HPBW<sup>H</sup>- 3dB širina snopa u H-ravni

Tabela 4: Pojačanje antene na centralnoj i ivičnim učestanostima

f [GHz]	25.5	26.0	26.5
G <sub>REF 127.5°</sub> [dBi]	19.15	19.30	19.45
G <sub>REF 180°</sub> [dBi]	15.5	15.8	16
G <sub>REF 255°</sub> [dBi]	13.7	13.8	13.9



Sl.9 Izmerena frekvencijska karakteristika koeficijenta refleksije realizovanih antenskih nizova

## 5. ZAKLJUČAK

Tri štampana antenska niza sa osam dipola i ugaonim reflektorima na milimetaskom opsegu (oko 26 GHz) su istražena, projektovana i realizovana. Sa tri različita ugaona reflektora sa otvorima od 127.5°, 180° i 225° su dobijeni snopovi zračenja u H-ravni od 55°, 110° i 180° respektivno. Antenski niz sa uglom reflektorom od 180° ima tejerpvanu raspodelu (Dolph-Chbyshev drugog reda), sa kojom je dobijeno izmereno slabljenje bočnih listova od 24 dB. Širina snopa zračenja u E-ravni je 7.4°. u slučaju nizova sa uniformnom raspodelom, odnosno 11° za niz sa tejerperovanom raspodelom. Ukuni gubici kod prikazanih antena su oko 1 dB. Prikazan koncept je pogodan i za

realizaciju antena na višim milimetarskim opsezima (do oko 75 GHz).

**ZAHVALNICA** – Autori se zahvaljuju Milki Marjanović i Momčilu Tasiću na njihovom doprinosu pri realizaciji eksperimentalnog modela. Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

## REFERENCE

- [1] IEEE Standard for Local and Metropolitan area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems-Amendment 1: Detailed System Profiles for 10-66 GHz, IEEE, 3 Park Avenue, New York, NY10016-5997, USA, 15 January 2003.
- [2] A. C. Wilson, H.V. Cottony: “Radiation Pattern of Finite-Size Corner-Reflector Antennas”, IRE Transaction Antennas Propagation, Vol. 8, pp. 144-157, March 1960.
- [3] A. Nestic, V. Brankovic, D. Kuprezevic, M. Ratni, D. Nestic: “Broadband Printed High Gain Antenna with Wide Angle Radiation in Azimuth”, IEEE AP-S, June 2001, pp.468-471.
- [4] A. Nestic, Z. Micic, I. Radnovic, S. Jovanovic, D. Nestic: “Millimeter Wave High Gain Antenna with Wide Radiation Angle in Azimuth Plane”, IST Summit, Dresden, June 2005 (prihvaćen rad).
- [5] M. Mikavica, A. Nestic: “CAD for linear and planar antenna array of various radiating elements”, Artech House, Norwood, MA, 1992.
- [6] WIPL-D Pro v5.1, Branko Kolundžija, Jovan Ognjanović, Tapan K. Sarkar
- [7] A. Nešić, I. Radnović, V. Branković: “Ultrawideband 60GHz Printed Antenna”, IEEE AP-S, June 1997, pp.2111-2115

**Abstract** – This paper presents a millimeter wave printed array with eight axial dipoles and a “corner” reflector fed by a symphase network. Three different typical beamwidths are investigated by a variation of the “corner” angle. The antenna is simulated and realized in the frequency range (25.5–26.5) GHz, which is actual in microwave communication networks. Antennas with three different H-plane beamwidths: 55°, 110° and 180° and with gains of 19.3dBi, 15.8dBi and 14dBi respectively are presented. Losses are less than 1 dB. Antenna with H plane beamwidth of 110° are investigated using Dolph-Chebyshev second order tapered distribution in order to obtain side lobe attenuation of 24 dB.

## A TAPERED ANTENNA ARRAY WITH CORNER REFLECTOR ON MILLIMETER RANGE

Aleksandar Nestic, Sinisa Jovanovic and Zoran Micic