

## MIKROSTRIP PATCH ANTENA ZA ANTIKOLIZIONI RADAR NA 24 GHz

M. Slović<sup>1</sup>, B. Jokanović<sup>1</sup>, B. Kolundžija<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut IMTEL u Beogradu

<sup>2</sup>Elektrotehnički fakultet u Beogradu

**Sadržaj** - U ovom radu je prikazan postupak projektovanja mikrostrip patch antene za antikolizioni radar na 24 GHz. Projektovana antena se sastoji od 2 linijska niza od po 24 serijski vezana patch-a. Cilj je bio da se isprojektuje antena koja u azimutu ima lobove ispod -20 dB u opsegu od 24.2-24.7GHz gde treba da radi antikolizioni radar. Antenski niz je projektovan kao niz sa progresivnim talasom (traveling-wave) kod koga je prilagodjenje ostvareno ne samo na krajevima već i duž napojnog voda, na mestima gde su vezani zračeci elementi. Veliko potiskivanje kros polarizacionog zračenja oko -44dB ostvareno je protivfaznim napajanjem jednog niza u odnosu na drugi i obrnutim položajem zračecih elemenata u nizovima.

### 1. UVOD

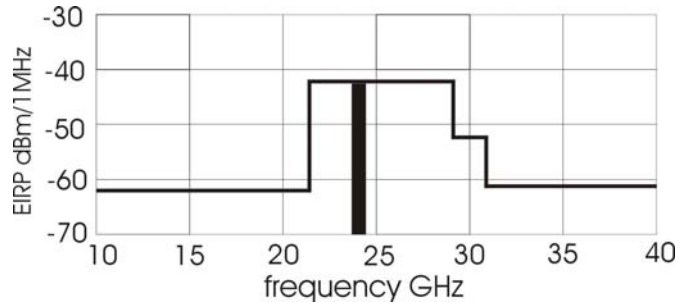
Povećanje sigurnosti vozila u saobraćaju je jedan od osnovnih postulata moderne automobilske industrije. U tu svrhu je potrebno izvršiti detekciju vozila na kritičnim rastojanjima i pri kritičnim brzinama nezavisno od uslova koji vladaju na putu. Zahvaljujući najnovijim FCC preporukama od 2002. godine, opseg od 22-29GHz je predviđen za automobilske radarske senzore.

U **Tabeli 1.** su sumirana najvažnija ograničenja koja uvodi preporuka FCC 02-48 što se tiče dozvoljene gustine snage u pojedinim delovima spektra kako ne bi došlo do interferencije sa uređajima koji rade u istom opsegu[1].

**Tabela 1.** Ograničenja u zračenju propisana FCC standardima

| FCC Ruling, FCC 02-48, Section 15.515                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Senzori moraju biti aktivni samo dok radi motor                                                                                                                                         |
| Minimalni propusni opseg je 20% ili 500MHz (zavisno koji je manji) (Propusni opseg se definiše na -10dB ispod najveće komponente u spektru)                                             |
| Propusni opseg je 22-29GHz<br>Centralna frekvencija je iznad 24.075GHz                                                                                                                  |
| Srednja snaga zračenja (22-29GHz) je ograničena na -41.3dBm EIRP, 1MHz BW, 1ms usrednjeno                                                                                               |
| Izračena snaga u peak-u je 0 dBm EIRP u 50MHz oko najviše izračene frekvencije                                                                                                          |
| Zračenje u opsegu 23.6-24GHz 30° iznad horizonta<br>-25dB ispod specificiranog limita do 2005<br>-30dB ispod specificiranog limita do 2010<br>-35dB ispod specificiranog limita do 2014 |

Na **Sl. 1.** je prikazana spektralna maska dozvoljenog zračenja. Crna linija na sredini predstavlja opseg dodeljen radio-astronomiji u okviru koga je vrlo važno ispoštovati propisane standarde.



Slika 1. Spektralna maska dozvoljenog zračenja na 24GHz

Pored ovog opsega u upotrebi je i opseg 76-77 GHz za ACC (adaptive cruise control) radare čiji je domet od 2-150m i rezolucija manja od 1.0m. Poznato je da rezolucija radara po uglovnim koordinatama zavisi od širine antenskog snopa, odnosno od noseće učestanosti pri fiksnim dimenzijama antene, dok je rezolucija po rastojanju proporcionalna širini izračenog spektra. Iz ovoga sledi da je u opsegu 22-29GHz moguće realizovati radarske senzore visoke rezolucije po rastojanju.

Antikolizioni radar koji se razvija u Institutu IMTEL namenjen je za detekciju vozila koja se kreću velikom brzinom iz suprotnog pravca, istom trakom u kojoj je i vozilo u kome se nalazi radar. Radar najpre reaguje na prepreku koja se kreće velikom brzinom i proverava njenu udaljenost. Ukoliko je udaljenost kritična, tj. postoji procena da se sudar ne može izbeći, radar daje signal za aktiviranje zaštitnog sistema. Zbog toga je ovaj radar po svojim karakteristikama sličniji ACC radarima na 77GHz nego konceptu minijaturnog radarskog senzora sa širokim antenskim snopom (60° u azimutu i 12-15° u elevaciji) koji su mnogi proizvođači usvojili za radare na 24GHz. Antenski sistem IMTEL-ovog radara treba da ima uzak snop u azimutu od maksimalno 3.5° da bi na rastojanju od 50m mogao da razlikuje vozila koja se kreću u različitim trakama. Ugao u elevaciji treba da bude oko 15°.

Pri izboru antene za automobilski radar treba voditi računa da bude jednostavne konstrukcije, laka za montažu, male debljine da ne naruši izgled automobila i da pri tom ima veliku efikasnost, tj. da njene dimenzije budu minimalne za traženo pojačanje.

Većinu ovih zahteva ispunjava mikrostrip patch antena, izuzev efikasnosti koja nije zadovoljavajuća zbog velikih gubitaka u napojnoj mreži. Ove antene mogu biti napajane direktno ili pomoću proreza (slot), ukoliko se želi veliko potiskivanje bočnih lobova. Kod napajanja pomoću slot, antena postaje komplikovanija za izradu jer su potrebna dva supstrata, ali je zato napojna mreža izolovana od zračecog

elementa, čime se dobija veća fleksibilnost u realizaciji i širi propusni opseg antene.

U ovom radu je prikazano projektovanje mikrostrip patch antene sa direktnim napajanjem. Zračeći elementi su napajani serijski i paralelno pomoću mikrostrip voda. Izabrano je serijsko napajanje patch-eva sa progresivnim talasom jer se na taj način dobija širi propusni opseg i bolja efikasnost u odnosu na rezonantni niz[2]. Niz sa progresivnim talasom ima prilagodjenje ne samo na krajevima, već i duž napojnog voda, na mestima gde se priključuju zračeći elementi.

Ispitane su različite raspodele koje se mogu primeniti na progresivni niz s obzirom na zahtevano potiskivanje bočnih lobova i pojačanje. Korišćenjem 3D elektromagnetskog simulatora WIPL-D Pro[3] isprojektovan je antenski niz koji se sastoji od 2 linijska podniza sa po 24 elementa. Podnizovi se napajaju u protivfazi da bi se poništilo parazitno zračenje koje potiče od napojnih vodova kao i zračenje viših modova samog patch-a, što značajno smanjuje zračenje u kros-polarizaciji.

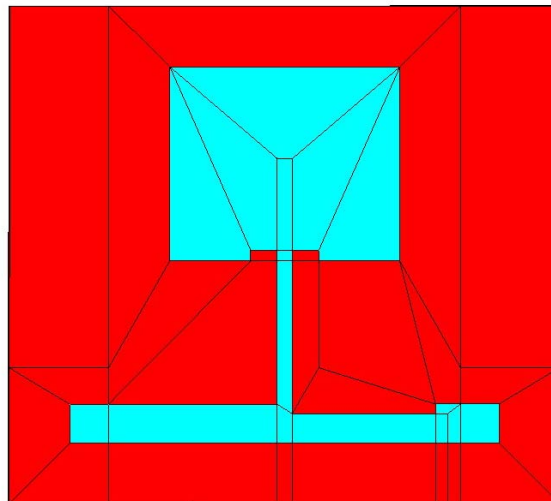
## 2. OPIS ANTENSKOG NIZA

Antenski niz je projektovan na supstratu teflon fiberglas relativne dielektrične konstante  $\epsilon_r=2.17$  i debljine  $h=0.254\text{mm}$ . Rastojanje između serijski napajanih patch-eva je jedna talasna dužina, odnosno  $D_H=0.73\lambda_0$  gde je  $\lambda_0$  talasna dužina u vazduhu. Linijski podnizovi se napajaju koaksijalnim vodom koji je po vertikali pomeren od centra za  $\lambda g/4$  ( $\lambda g$ -talasna dužina u mikrostrip vodu), što na centralnoj učestanosti unosi fazni pomeraj od  $90^\circ$ . Na taj način je ostvareno napajanje podnizova u protivfazi. Sa ovakvim napajanjem i uz zračeće elemente koji su postavljeni kao lik u ogledalu, poništava se parazitno zračenje koje potiče od horizontalnih napojnih vodova kao i zračenje viših modova samih patch-eva.

Antenski niz se sastoji od 48 identičnih patch-eva sa odgovarajućom mrežom za prilagodjenje, kao što je pokazano na **Sl. 2.** Zavisno od odabrane raspodele, impedansa patch-a se tako optimizuje da na rezonantnoj učestanosti  $f_r=24.45\text{GHz}$  ima impedansu od  $300\Omega$  ili  $400\Omega$  na mestu priključenja na napojni vod. Prilagodjenje patch-a na  $50\Omega$ -ski napojni vod se vrši  $\lambda/4$ -skim transformatorom impedanse koji vod od  $50\Omega$  transformiše na  $60\Omega$ , odnosno od  $57\Omega$  za patch-eva od  $300\Omega$  i  $400\Omega$  respektivno. Na taj način je ostvareno prilagodjenje duž napojnog voda na mestima gde se vezuju patch-evi.

Poznato je da niz sa progresivnim talasom mora da se zatvori opterećenjem na kome se troši deo snage koji je preostao posle zadnjeg elementa. U našem slučaju, umesto opterećenja je upotrebljen  $\lambda/2$ -ski otvoren vod koji reflektuje deo neiskorišćene snage i zrači je preko patch-eva. Kako su patch-evi na međusobnom rastojanju  $\lambda g$ , to je talas reflektovan od otvorenog voda u fazi sa direktnim progresivnim talasom, pa je gubitak energije veoma mali.

Na **Sl. 3.** je prikazan izgled centralnog dela antenskog niza sa napojnom mrežom. Napojna mreža je optimizovana u programskom paketu Serenada tako što je umesto antenskih podnizova korišćena njihova ulazna impedansa dobijena elektromagnetskom simulacijom u programskom paketu WIPL-D Pro.



Slika 2. Izgled  $300\Omega$ -skog patch-a sa mrežom za prilagodjenje

### a) Izbor optimalne raspodele

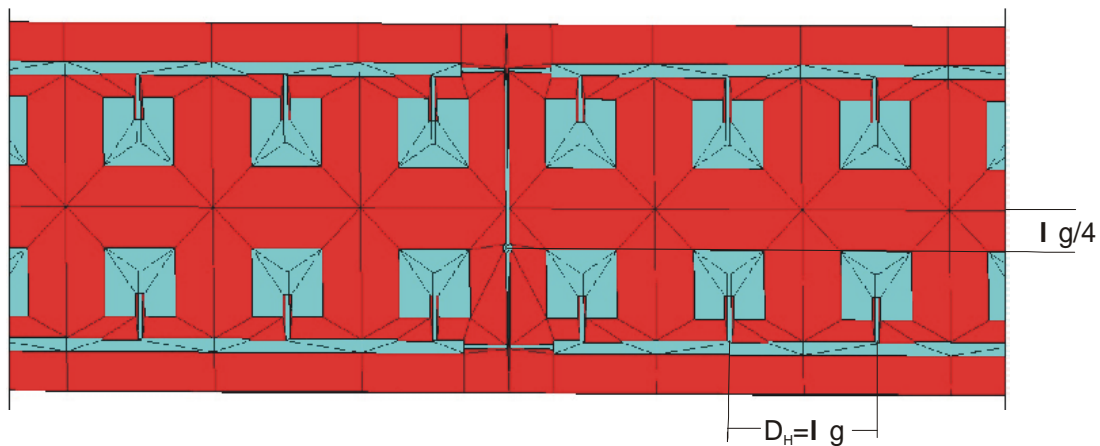
Pri projektovanju antenskog niza posebna pažnja je posvećena izboru optimalne raspodele. Za razliku od rezonantnog niza koji pruža znatno više mogućnosti za oblikovanje željenog dijagrama zračenja, niz sa progresivnim talasom nudi nešto širi opseg i veću efikasnost antene, što je bilo presudno da se opredelimo za niz sa progresivnim talasom. Opredelili smo se za antenski niz sa identičnim elementima uz koje ide identična mreža za prilagodjenje. Tako da je amplitudska raspodela duž antenskog niza data izrazom:

$$|A_i| = q^{i-1} + q^{2N-i}, \quad \text{za } i = 1, \dots, N \quad (1)$$

pri čemu koeficijent  $q$  određuje koji deo snage dolazećeg talasa biva predat zračećem elementu. Ukupan broj elemenata u nizu je  $2N$ . Drugi član u izrazu za raspodelu potiče od snage koja se reflektuje od otvorenog voda na kraju niza.

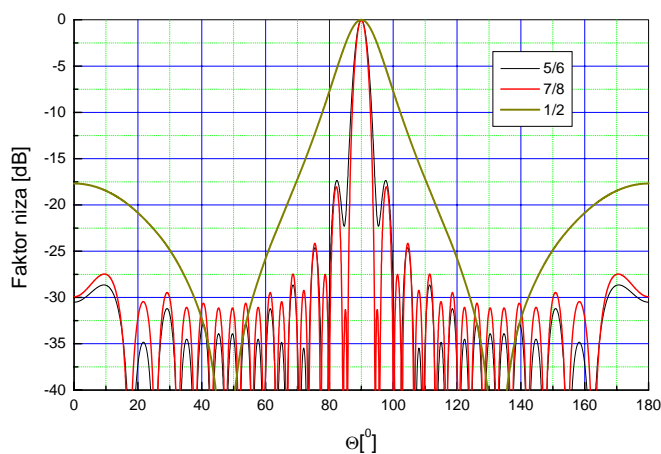
Na **Sl. 4.** su prikazani dijagrami zračenja za tri različite vrednosti koeficijenta  $q$  ( $q=1/2, 5/6$  i  $7/8$ ) računati za niz od 24 izotropna radijatora. Različitim koeficijentima  $q$  odgovaraju i različiti odnosi amplituda na krajnjem i srednjem elementu niza tj.  $-31.3\text{dB}$ ,  $-6.0\text{dB}$  i  $-3.0\text{dB}$  respektivno. Sa dijagrama se vidi da je nivo najvećeg loba u sva tri slučaja skoro identičan ( $n_L=-17.6\text{dB}$ ), ali su širine glavnog snopa veoma različite kao i pozicije lobova.

Kako se za  $q=7/8$  dobija najuži glavni snop i najdublje prve nule, odlučili smo da realizujemo antenski niz sa ovakvom raspodelom. Da bi se postiglo prilagodjenje duž napojnog voda projektovan je patch koji sa uvodnikom ima impedansu od oko  $400\Omega$  koja u paraleli sa impedansom od  $57\Omega$  daje  $50\Omega$ .

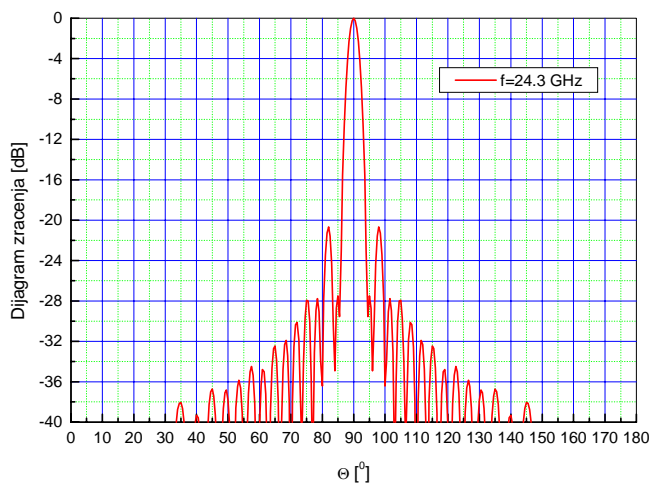


Slika 3. Izgled središnjeg dela antenskog niza sa napojnom mrežom

Na **Sl. 5.** je prikazan dijagram zračenja niza sa **Sl. 3.** dobijen elektromagnetskom analizom u programu WIPL-D Pro.

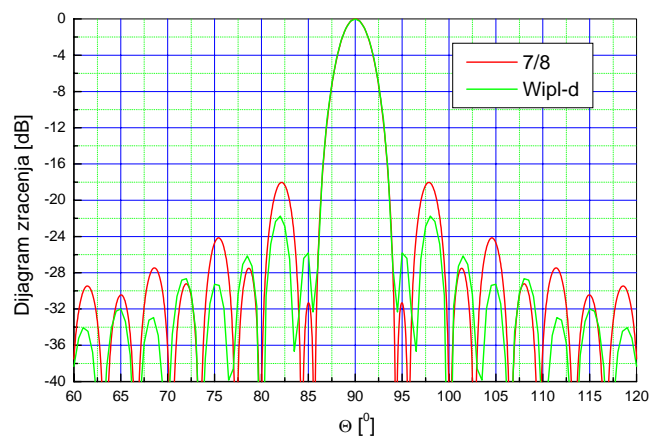


Slika 4. Dijagram zračenja za različite vrednosti  $q$



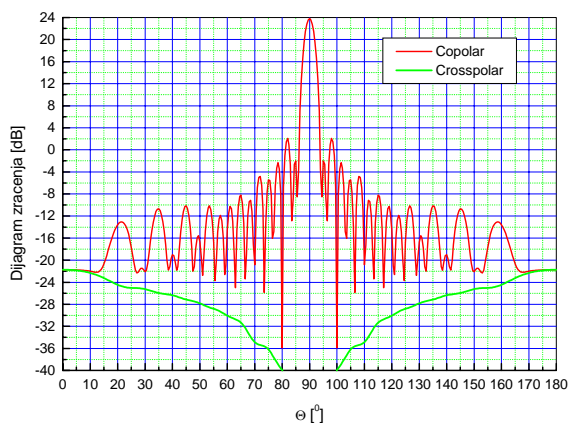
Slika 5. Dijagram zračenja niza dobijen elektromagnetskom simulacijom na  $f=24.3\text{GHz}$

Sa **Sl. 5.** i **Sl. 6.** se vidi da projektovani niz ima nešto niže lobove od onih koji su očekivani na osnovu faktora niza, što je posledica obrnutog položaja patch-eva kao i njihove međusobne sprege.



Slika 6. Poredjenje dijagrama zračenja sa izotropnim radijatorima za  $q=7/8$  i realizovane raspodele sa patch-evima na  $f=23.4\text{GHz}$

Na **Sl. 7.** je prikazan copolarni i krosopolarni dijagram zračenja za projektovani niz dobijen simulacijom u programu Wipl-d, sa koga se vidi da je zračenje u krosopolarnoj ravni potisnuto za više od 46dB u odnosu na zračenje u kopolarnoj ravni, što je posledica položaja patch-eva i njihovog napajanja.



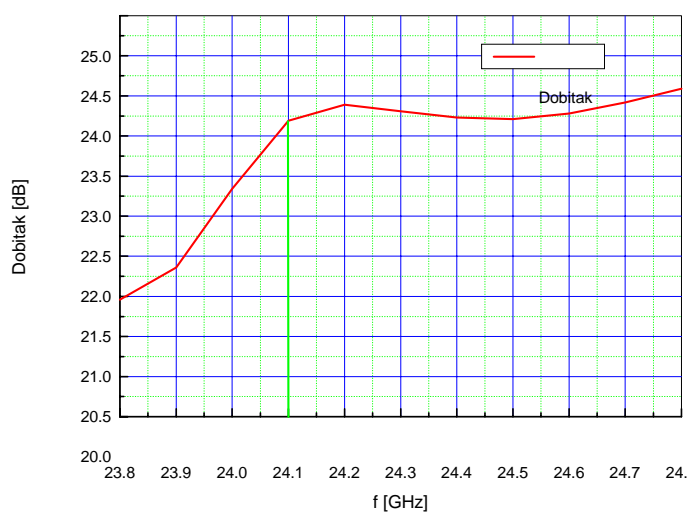
Slika 7. Kopolarni i krosopolarni dijagram zračenja na učestanosti od 24.3GHz

Projektovani antenski niz ima lobove manje od  $-20\text{dB}$  i nivo kros-polarizacionog zračenja niži od  $-44\text{dB}$  u 2% opsega ( $24.2\text{--}24.7\text{GHz}$ ), što je izuzetno dobar rezultat. Na osnovu simuliranog dijagrama zračenja  $3\text{dB}$ -širina snopa u azimutu je  $3.3^\circ$ , a u elevaciji  $33^\circ$  što na osnovu relacije:

$$D \approx \frac{41253}{\Theta_{3\text{dBH}} \Theta_{3\text{dBE}}} \quad (2)$$

daje direktivnost  $D=25.78\text{dB}$ . Uzimajući u obzir da je simulirani dobitak antene na učestanosti od  $24.3\text{GHz}$   $G=23.8\text{dB}$ , ispada da antena ima efikasnost  $\eta=63.3\%$ .

Na **Sl. 8.** je prikazan izračunati dobitak antene koji se kreće od  $23.75\text{dB}$   $-24.0\text{dB}$  u opsegu od  $24.1\text{GHz}$  do  $24.75\text{GHz}$ .



Slika 8. Dobitak antene

### 3. ZAKLJUČAK

U radu je prikazano projektovanje mikrostrip patch antene za antikolizionni radar na  $24\text{GHz}$  koja se sastoji od 48 identičnih zračućih elemenata koji su poredjani u dva linijska niza. Da bi se dobio što veći preopisni opseg i što veća efikasnost antene, za realizaciju je izabran niz sa progresivnim talasom kod koga je prilagodjenje ostvareno ne samo na krajevima serijski napajnog niza već i duž napojnog voda gde su vezani zračućii elementi.

Niz je projektovan korišćenjem programskog paketa WIPL-D Pro pomoću koga je najpre izvršena optimizacija

jednog zračućeg elementa i njegove mreže za prilagodjenje, a zatim i analiza cele antene. Mreža za napajanje je optimizovana pomoću programa Serenada, ali su korišćeni  $S$ -parametri podnizova koji su dobijeni elektromagnetskom analizom pomoću programa WIPL-D.

Projektovani niz ima dobitak oko  $24\text{dB}$  i lobove koji su ispod  $-20\text{dB}$  u opsegu  $24.2\text{--}24.7\text{GHz}$ , dok je kros-polarizaciono zračenje ispod  $-44\text{dB}$  u celom opsegu.

Treba napomenuti da je ovde prikazano projektovanje dela antenskog niza za antikolizionni radar na  $24\text{GHz}$ , koji bi u konačnoj verziji trebalo da ima 6 linijskih nizova od po 24 elementa da bi se dobila širina snopa u elevaciji od  $15^\circ$ , za razliku od  $33^\circ$  koliko ima ovaj niz.

Takodje treba imati u vidu da su zahtevi što se tiče nivoa bočnih lobova u elevaciji veoma oštri, ali su definisani preko srednje gustine izračene snage po MHz, tako da je moguće napraviti kompromis između predajne snage i nivoa lobova koji se nalaze na  $30^\circ$  iznad horizontalne ravni.

### 4. LITERATURA

- [1] Gresham I, et al, *Ultra-Wideband Radar Sensors for Short-Range Vehicular Applications*, IEEE Trans. on MTT, vol. 52, no.9, September 2004, pp.2105-2122.
- [2] Huang, J, *Parallel-Series-Fed Microstrip Array with High Efficiency and Low Cross-Polarization*, Microwave and Optical Technology Letters, vol. 5, no. 5, pp.230-233, May 1992. @ Wiley and Sons
- [3] WIPL-D Pro, *Software and User's Manual*, WIPL-D Ltd., Belgrade, 2004.

**Abstract**-We present a design of microstrip patch antenna for anticollision radar at  $24\text{GHz}$ . The antenna consists of a total of 48 identical microstrip patches that are arrayed in two rows of 24 elements. The main requirement in this design is to choose a proper amplitude distribution in order to get side-lobe suppression less than  $20\text{dB}$  in  $24.2\text{--}24.7\text{GHz}$  range. We employed traveling-wave technique in array design which means that the impedance is not only matched at the input location but also matched to all the elements and all the power division points. Very low cross-polarisation radiation less than  $-44\text{dB}$  is achieved by antiphase feeding and opposite feed locations for two rows of elements.

### MICROSTRIP PATCH ANTENNA FOR ANTICOLLISSION RADAR AT $24\text{GHz}$

Slović, M., Jokanović, B., Kolundžija, B.