

# Modifikovana peč antena sa proširenim opsegom rada

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

**Apstrakt**—U ovom radu data je analiza modifikovane peč antene sa bliskim višestrukim rezonansama koja se može upotrebiti kao osnovni element u nizovima sa proširenim frekvencijskim opsegom u odnosu na one sa klasičnim pečom. Modifikovani peč je znatno fleksibilniji za podešavanje u odnosu na standardni peč, naročito u pogledu prilagođenja.

**Ključne reči**—Modifikovana peč antena, višestruki modovi prostiranja, planarna struktura.

## I. UVOD

UPOTREBA štampanih antenskih struktura je dominantna u svetu prevashodno zbog male cene i mogućnosti postavljanja na bilo koju površinu. U zavisnosti od specifične potrebe prisutna su mnogobrojna rešenja pa se tako kao zračeći elementi mogu koristiti pečevi, slotovi, dipoli, kao i složenije strukture peča sa procepom u *ground* sloju, kratkospojeni peč sa vijom itd. Najfleksibilnija i najkompaktnija struktura je svakako peč antena u raznim varijantama [1], jer kod nje nema potrebe za odvojenim reflektorom. U najjednostavnijem obliku ona se sastoji se od metalne strukture raznog oblika (kvadratnog, pravougaonog, kružnog ili bilo kojeg drugog) koja je naštampana na gornjem sloju supstrata i *ground* sloja, odnosno uzemljenja na donjem sloju koji predstavlja metalnu površinu koja se prostire celom donjom površinom supstrata. Učestanost na kojem će dati peč raditi je određena rezonansom štampane strukture.

Rezonansa se javlja na učestanosti na kojoj je impedansa antene čisto realna tj. gde je imaginarni deo nula. Ova definicija je preširoka, jer se mogu razlikovati dva slučaja ove pojave [2]. Stanje kad je realni deo veoma visok i zatim imamo nagli pad i to je prava rezonansa i stanje kada je realni deo veoma nizak i zatim postepeno raste i to je antirezonansa, u oba slučaja imaginarni deo je nula. Antirezonansa i rezonansa se javljaju u parovima, tj. svaka rezonansa ima svoju antirezonansu.

Pod radnim opsegom antene se uglavnom podrazumeva širina frekvencijskog opsega u kome je KST (koeficijent stojećih talasa) manji od dva, odnosno koeficijent refleksije antene  $S_{11}$  manji od -10 dB. Raspodeljujući antirezonanse i rezonanse na određenim međusobno bliskim frekvencijama

može se postići značajno proširenje opsega koje u slučaju klasičnog peča iznosi oko 3%.

U slučaju jednostavnih pravilnih oblika peča poput jednakostraničnog trougla, kruga, pravougaonika ili kvadrata, postoje analitički izrazi koji povezuju geometrijske parametre i rezonantne učestanosti [3]. Inače svaka rezonantna učestanost odnosno par rezonansa i antirezonansa su povezani sa odgovarajućim modom prostiranja, analizirajući peč antenu modelom rezonantne šupljine. Mod prostiranja talasa na peč anteni je TM (transverzalno magnetni), prva tri dominantna moda pravougaonog peča tipično su  $TM_{010}$ ,  $TM_{020}$ ,  $TM_{030}$ , ali to ne mora biti slučaj s obzirom da je dominantnost, odnosno frekvencija od koje se neki mod može prostirati određena odnosom dužine i širine peč antene. Sa stanovišta prilagođenja postojanje više modova znači mogućnost za bolje prilagođenje i rad na više opsega, međutim sa stanovišta dijagrama zračenja nisu svi podjednako poželjni, jer u slučaju pravougaonog peča mod  $TM_{020}$  daje nulu u *broadside* pravcu dijagrama zračenja, tako da se mora izbegavati. Raznim modifikacijama na peč anteni mogu se stvoriti i prelazni modovi tj. modovi koji nemaju ceo broj poluciklusa prostiranja talasa poput  $TM_{0\delta 0}$ , gde je  $0 < \delta < 1$ , koji takođe mogu izazvati pojavu rezonanse. Kao što je rečeno u [3] na peč anteni se prostiru TM talasi, čija je rezonantna učestanost za odgovarajuće modove data kao:

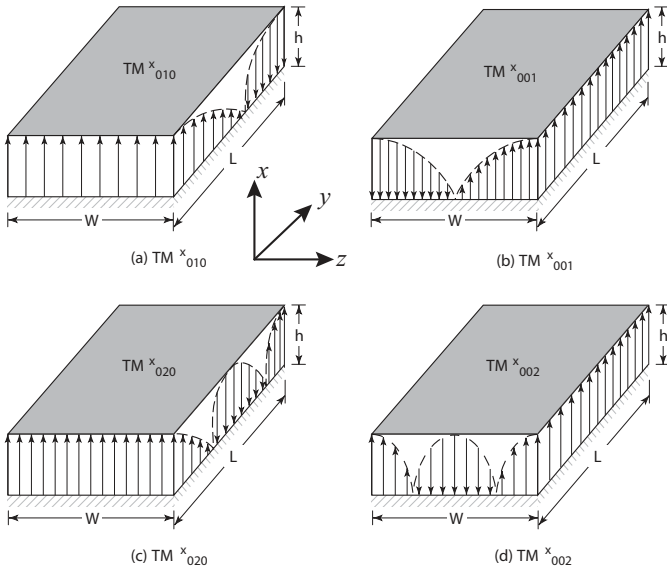
$$(f_r)_{mnp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{h}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W}\right)^2} \quad (1)$$

gde  $m$ ,  $n$ ,  $p$  predstavljaju broj poluciklusa polja duž  $x$ ,  $y$ , i  $z$  ose. Iz izraza (1), za tipičan peč dimenzija  $L > W > h$ , dominantni mod tj. onaj sa najnižom frekvencijom je  $TM^x_{010}$ , ako je  $L > W > L/2 > h$ , sledeći je ortogonalni  $TM^x_{001}$ , ili ako je  $L/2 > W > h$ , mod drugog reda  $TM^x_{020}$ . Ako je pak  $W > L > h$  dominantni mod je  $TM^x_{001}$ , dok za  $W > L/2 > h$  mod drugog reda je  $TM^x_{002}$ . Izgled polja za neke modove dat je na Sl. 1 pri čemu se oznaka  $TM^x$  odnosi na transversalno magnetno polje u sistemu gde je  $x$ -osa normalna na ravan peča.

Kada se radi o planarnom antenskom nizu broj poželjnih štampanih struktura kao osnovnog gradivnog elementa se znatno smanjuje [4]-[6]. Višeslojne i peč strukture sa vijama su obično neprihvatljive, a bilo kakvi useci u *ground* sloju tipično otežavaju integraciju, tako da je najpoželjnija struktura ona koja je najbližnja standardnom jednoslojnom pečju sa zadovoljavajućim osobinama.

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



Sl. 1. Raspedela polja osnovnih TM modova na patch anteni.

## II. MODIFIKOVANA PEČ ANTENA

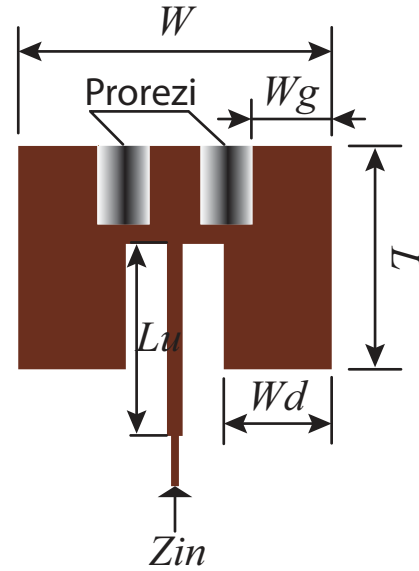
Peč antena sa manjim modifikacijama u odnosu na klasičnu data je na Sl. 2. Može se videti da je glavna razlika u odnosu na klasični peč to što postoje dva proreza na zračućoj ivici, koji su označeni na datoj slici. Oni omogućavaju kontrolu druge rezonanse i njeno spuštanje blizu prve rezonanse što omogućava širokopojasne karakteristike. Glavne dimenzije samog peča se mogu izvesti počev od nešto modifikovanih dimenzija za klasičan peč koje su izvedene na osnovu teorijskog TLM modela [3], a date su sledećim izrazom:

$$W = \frac{4c}{7f_0 \sqrt{\epsilon_r + 1}}; \quad \epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left( \frac{h}{w} \right)}} \right] \quad (2)$$

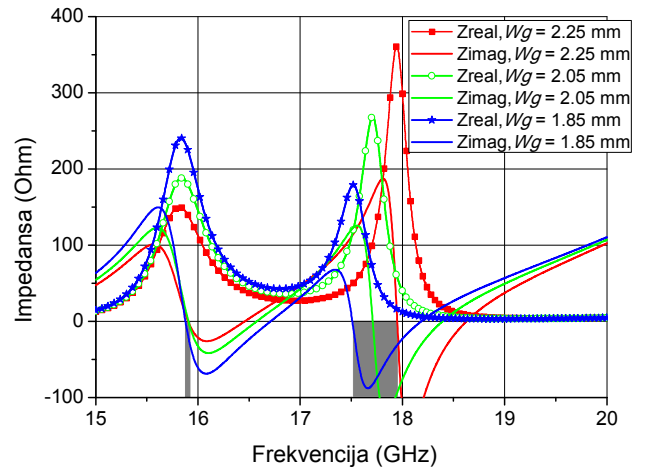
$$L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 0.824h \left( \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \right)$$

U datom izrazu parametri  $h$ ,  $\epsilon_r$ ,  $c$ ,  $f_0$  su redom visina supstrata, relativna dielektrična konstanta, brzina svetlosti u vakuumu, centralna učestanost. U ovom konkretnom slučaju  $h$ ,  $\epsilon_r$ ,  $f_0$  su redom 0.508 mm, 2.17, 17 GHz što na osnovu izraza (1) daje vrednosti za  $W$  i  $L$  kao 8 mm i 5.7 mm. Držeći ove parametre fiksne i menjajući neki od preostalih parametara datog peča, mogu se dobiti željene karakteristike.

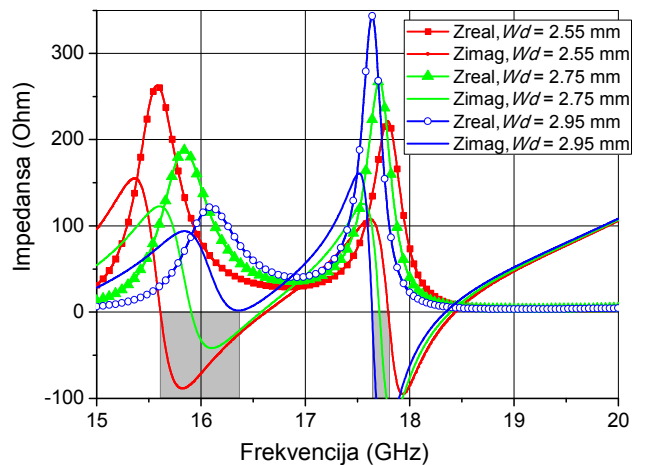
Sl. 3 prikazuje uticaj parametra  $Wg$  (koji se menja u opsegu od 1.85 mm do 2.25 mm) na impedansu antene. Kao što se vidi ovaj parametar se može koristiti za nezavisnu kontrolu položaja gornje rezonanse, jer se donja znatno manje menja. Vidi se da se sa povećavanjem  $Wg$  gornja rezonansa pomera ka nižim učestanostima, takođe se procepi smanjuju, tako da za određenu vrednost  $Wg$  potpuno iščezavaju, a sa njima i druga rezonansa. Zavisnost je određena korišćenjem [7].



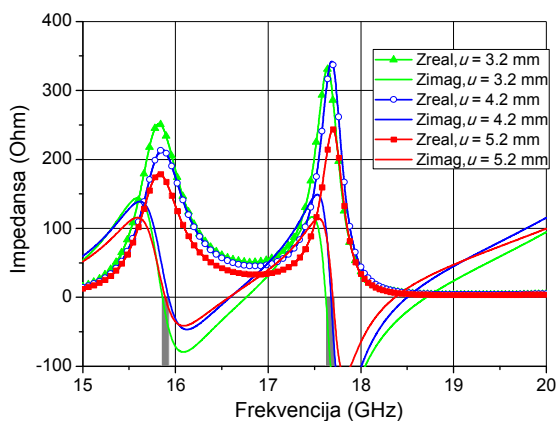
Sl. 2. Izgled modifikovanog peča sa karakterističnim dimenzijama.



Sl. 3. Zavisnost impedanse datog peča u odnosu na parametar  $Wg$ . (Sivi pravougaonici predstavljaju mesta gde imaginarni deo impedanse prolazi kroz nulu).



Sl. 4. Zavisnost impedanse datog peča u odnosu na parametar  $Wd$ . (Sivi pravougaonici predstavljaju mesta gde imaginarni deo impedanse prolazi kroz nulu).



Sl. 5. Zavisnost impedanse datog peča u odnosu na parametar  $Lu$ . (Sivi pravougaonici predstavljaju mesta gde imaginarni deo impedanse prolazi kroz nulu).

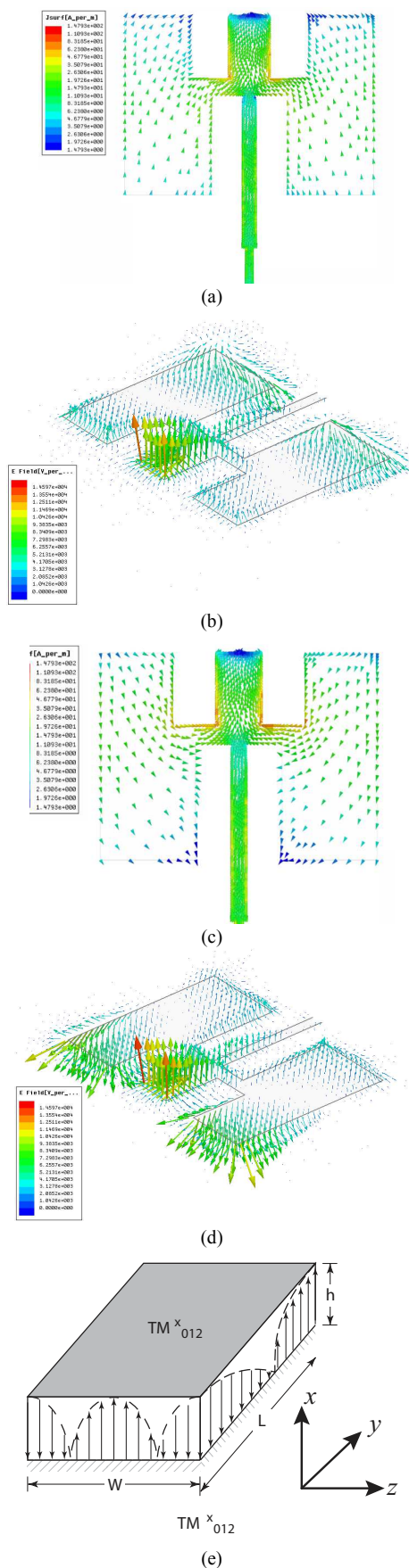
Sl. 4 prikazuje zavisnost impedanse antene od parametra  $Wd$ . Ovde je situacija praktično obrnuta u odnosu na prethodnu, tj. prva rezonansa se znatno više menja u odnosu na drugu, mada se u suštini rastom  $Wd$  rezonanse međusobno približavaju. Na prvi pogled može izgledati da će prva rezonansa iščeznuti na račun druge, ali to se ne dešava, pošto je ona dominantna i postoji nezavisno od procepa. Ono do čega će doći jeste da se prva rezonansa spoji u izraženiju drugu rezonansu što u principu ne donosi nikakvu prednost, jer se onda opet dobija antena sa jednom rezonansom.

Kontrola realnog dela impedanse, a da pri tome razmak između rezonansi ostane konstantan može se postići promenom parametra  $Lu$ , kao na Sl. 5. Vidi se da se njegovim povećanjem smanjuje realni deo naročito onaj između dve rezonanse, što je veoma značajno za kontrolisanje prilagođenja u željenom opsegu.

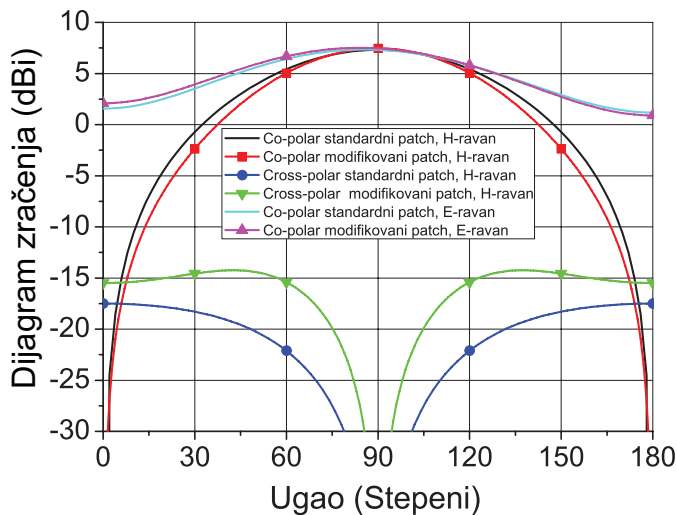
### III. RASPODELA POLJA NA IZABRANOM PEČU

Rezonanse izabranog peča se nalaze na 15.8 GHz i 17.8 GHz i njegova impedansa je data Sl. 3 i Sl. 4 za vrednosti  $Wg = 2.05$  mm i  $Wd = 2.75$  mm. Vrednost  $Lu$  je 4.9 mm. Izgled polja i struja je dat na Sl. 6. Izgled polja za mod  $TM_{010}^x$  je dat na Sl. 1a, dok je izgled polja za mod  $TM_{012}^x$  dat na Sl. 6e. Posmatranjem Sl. 6b vidi se jasno postojanje jednog poluciklusa na vrhu antene duž  $W$  širine, što odgovara osnovnom modu sa Sl. 1a. Na Sl. 6d vidi se situacija koja podseća na onu sa Sl. 6e, tj. vidi se postojanje dva poluciklusa na vrhu antene duž  $W$  širine, dok duž ivice  $L$  dužine vidi se postojanje jednog poluciklusa. Što na osnovu prethodnog znači da osnovna rezonansa je posledica moda  $TM_{010}^x$  dok je druga rezonansa posledica moda  $TM_{012}^x$ . Kako druga rezonansa potiče od moda koji ima u sebi i ortogonalnu komponentu u dijagramu zračenja može se očekivati postojanje jače kros-polarizacije u odnosu na standardni patch. Ovaj nedostatak se može izbeći koristeći dva para pečeva u antifaznoj konfiguraciji.

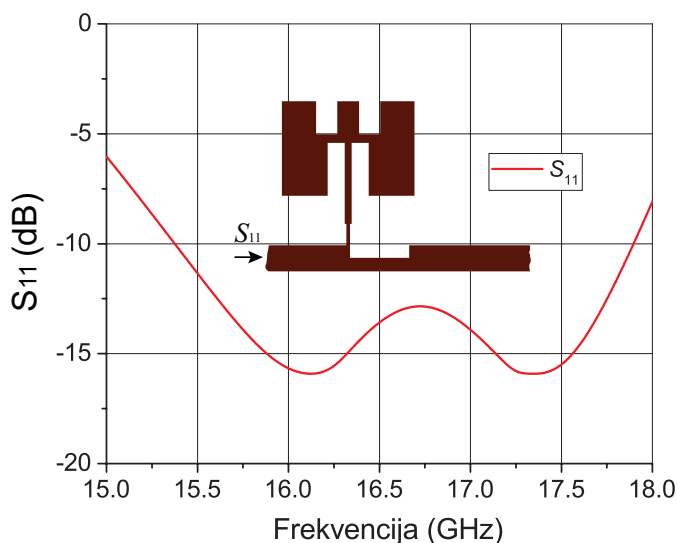
Sl. 7 prikazuje poređenje dijagrama zračenja standardnog peča na 17 GHz i modifikovanog u ovom radu na 17 GHz. Vidi se da modifikovani peč ima nešto veći dobitak i uži snop u ko-polarizacionoj H-ravni i očekivano veći nivo



Sl. 6. (a) raspodela struja i (b) polja za prvu rezonansu, (c) raspodela struja i (d) polja za drugu rezonansu, (e) raspodela polja za mod  $TM_{012}^x$ .



Sl. 7. Dijagrami zračenja modifikovanog peča i standardnog na 17 GHz.



Sl. 8.  $S_{11}$  parametar osnovne ćelije niza sa datom peč antenom.

kros-polarizacije, koji u zavisnosti od broja elemenata u nizu i njihove konfiguracije može biti manje ili više izražen u zoni glavnog snopa ko-polarizacione komponente. Vidi se da su u ko-polarizacionoj E-ravni dijagrami takođe dosta slični, dok kros-polarizaciona E-ravan za obe antene nije prikazana zbog dosta niskog nivoa.

#### IV. KARAKTERISTIKE PATCH ANTENE

Dati model peč antene nije prevashodno predviđen da se upotrebljava kao samostalna antena već kao deo niza, shodno tome  $S_{11}$  osnovne ćelije niza je dat na Sl. 8. Ćelija je koncipirana kao sastavni deo linearnog niza kao u [8]. Ulazni vod je  $50 \Omega$ , dok između samog peča i izlaznog voda od  $50 \Omega$  je vod veće impedanse kojim se može kontrolisati dinamika raspodele snage u kolu, samim tim nivo bočnih lobova i širina glavnog snopa.

Data antena radi u opsegu oko 17 GHz mada se dimenzije lako mogu skalirati tako da antena radi i na višim i na nižim učestanostima. Antena u obliku niza se može upotrebti u antikoalizacionim radarima, *point-to-point* komunikaciji u uslovima povećanog ometanja itd.

#### V. ZAKLJUČAK

U ovom radu data je modalna i parametarska analiza peč antene sa višestrukim rezonansama. Njena mala razlika u odnosu na standardnu peč antenu je njena velika prednost, jer se može upotrebti u svim antenskim nizovima sa standardnim pečem bez nekih većih modifikacija. Kros-polarizacija je lošija u odnosu na standardni peč, što se može rešiti korišćenjem para modifikovanih pečeva u antifaznoj konfiguraciji. U zavisnosti od konkretnih uslova moguće je ostvariti višestruko veći opseg rada u odnosu na standardni peč.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan na projektima TR32024 i III45016 koji su finansirani do 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] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, London, United Kingdom: Artech House, 2001.
- [2] A. D. Yaghjian and S. R. Best, "Impedance, bandwidth, and Q of antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no. 4, pp. 1298–1324, 2005.
- [3] C. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, Hoboken, New Jersey, United States, John Wiley, 2005.
- [4] S. Maci and G. Biñi Gentili, "Dual-frequency patch antenna," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 39, No. 6, pp. 13-18, 1997.
- [5] J.-Y. Sze and K.-L. Wong, "Slotted rectangular microstrip antenna for bandwidth enhancement," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 48, no.8, pp. 1149–1152, Aug. 2000.
- [6] F. Yang, X.-X. Zhang, X. Ye, and Y. Rahmat-Samii, "Wide-band E-patched patch antenna for wireless communications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 49, pp. 1094–1100, Jul. 2001.
- [7] www.wipl-d.com
- [8] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, "Comparison of the three series fed microstrip array geometries," *Int. Symp. Antennas Propag. Soc. (AP-S) Dig.*, Jun. 1993, vol. 2, pp. 728–731.

#### ABSTRACT

In this paper we present the characteristics of the modified patch antennas with close multiple resonances that can be used as a basic element in the antenna arrays with extended frequency range than those with classic patch antennas. Modified patch is much more flexible, particularly in terms of the matching.

#### Modified Patch Antenna with an Extended Working Range

Nikola Boskovic, Branka Jokanovic, Vera Markovic