

ISPITIVANJE POTENCIJALA ZA FREKVENCIJSKU REKONFIGURABILNOST MONOPOL ANTENE

Vojislav Milošević, *Institut za fiziku Beograd, vojislav@ipb.ac.rs*
Branko Kolundžija, *Elektrotehnički fakultet, Beograd, kol@etf.rs*

Sadržaj – U radu ispitujemo potencijal za frekvencijsku rekonfigurabilnost monopol antene pomoću prekidačkih elemenata. Najpre pokazujemo da se glavni efekat prekidača može modelovati kao kratak spoj / otvorena veza, odnosno procep. Zatim posmatramo promenu karakteristika monopola u zavisnosti od položaja procepa, za konfiguracije sa jednim, dva i tri procepa. Karakteristike koje smo posmatrali su rezonantna učestanost (koju smo određivali na dva načina, kao minimum S_{11} i kao nulu imaginarnog dela Z_{11} parametra), i ulazna impedansa i dobitak na rezonantnoj učestanosti.

1. UVOD

U mnogim bežičnim telekomunikacionim sistemima, kao što su savremeni sistemi mobilne telefonije, satelitski komunikacioni sistemi, sistemi sa proširenim spektrom itd, postoji rastuća potreba za antenama koje omogućavaju rad na više opsega. Pored tradicionalnih rešenja (dual-bend i širokopojasne antene, ili integracija više antena u okviru jednog uređaja), u poslednjih desetak godina intenzivno se istražuje oblast rekonfigurabilnih antena, koje mogu dinamički menjati svoje karakteristike [1].

Rekonfigurabilne antene možemo podeliti u nekoliko klasa, na osnovu mehanizma funkcionisanja, ili na osnovu karakteristika koje se mogu menjati. Za ovaj rad od interesa su frekvencijski rekonfigurabilne antene, kod kojih se promena radne frekvencije ostvaruje pomoću elektronski kontrolisanih prekidačkih elemenata (PIN dioda, MEMS prekidač). Njihov značaj je u sledećem – mnoge antene rade u rezonansi koja je određena električnom dužinom. Prekidanjem toka struje na pogodnom mestu (otvaranjem prekidača), vršimo promenu električne dužine, a time i rezonantne učestanosti. Ovo je jednostavan i efikasan način da se ostvari frekvencijska rekonfigurabilnost, o čemu svedoči veliki broj radova u kojima se ovaj pristup koristi [1,2,3,4].

Dipol antena, i monopol iznad provodne ravni kao njena varijacija, predstavljaju jednu od najkorišćenijih klasa antena, pa u skladu s time postoji veliki broj radova koji ispituju njihov potencijal za rekonfigurabilnost. U jednom od prvih radova iz ove oblasti, Rosko i ostali [2] prikazali su štampani dipol, čiju dužinu mogu kontrolisati pomoću 4 PIN diode, i na taj način mogu dobiti 3 radne frekvencije: 5,2, 5,5 i 5,8 GHz. Panagamuva i ostali [3] prikazali su dipol sa 2 silikonska foto prekidača, čime se izbegavaju štetni efekti, koji mogu nastati usled mreže za polarizaciju. Postignute su 2 radne frekvencije: 2,26 i 3,15 GHz, uz očuvanje ulazne impedanse i dijagrama zračenja. Sličan dizajn korišćenjem MEMS prekidača prikazali su Kiriazi i ostali [4], koji su postigli radne frekvencije od 4,86 i 8,98 GHz.

U ovom radu naš cilj je da sistematski ispitamo potencijal za rekonfigurabilnost monopol antene pomoću prekidačkih elemenata. Najpre ćemo pokazati da se glavni efekat prekidača može uzeti u obzir modelovanjem kratkog spoja /

otvorene veze, odnosno procepa. Zatim ćemo dati zavisnost parametara monopola od broja i položaja procepa. Ovi rezultati mogu da posluže kao smernice za određivanje optimalnog položaja prekidačkih elemenata prilikom projektovanja rekonfigurabilnih monopola ili dipola.

2. KAPACITIVNOST PROCEPA

Kada je prekidač otvoren, postoji kapacitivnost između aktivnog i parazitnog dela antene, koja može neželjeno uticati na karakteristike. Ova kapacitivnost može se predstaviti kao paralelna veza kapacitivnosti prekidačkog elementa, i kapacitivnosti samog procepa u provodniku. Proračunali smo vrednosti kapacitivnosti procepa na metalnoj traci širine 1mm, i rezultati su dati u tabeli.

Širina gepa (mm)	1	0,5	0,2
Kapacitivnost (pF)	1,17	1,19	1,22

Ove vrednosti mnogo veće od kapacitivnosti prekidačkih elemenata [1], pa prema tome je uticaj procepa dominantan u ovom slučaju. Zato ćemo u nastavku prekidački element (u otvorenom stanju) modelovati samo kao procep, i na taj način steći ćemo uvid u potencijal za rekonfigurabilnost monopol antene nezavisno od ciljne tehnologije.

3. ODREĐIVANJE REZONANSE POSMATRANJEM MINIMUMA S_{11} PARAMETRA

Posmatrali smo trakasti monopol iznad provodne ravni, bez debljine, dužine 31,25mm (rezonantna učestanost 2,4 GHz). Prvo smo probali da dobijemo što bolje prilagođenje, što se pokazalo da se dobija za širinu trake 5mm i što manji procep za napajanje (gde je umetnuta žica s generatorom) od 0,05mm (Sl. 1a-b).

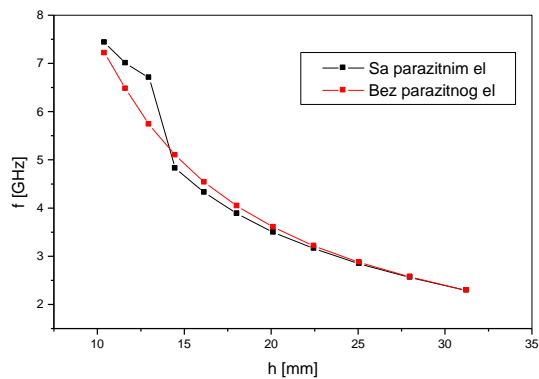
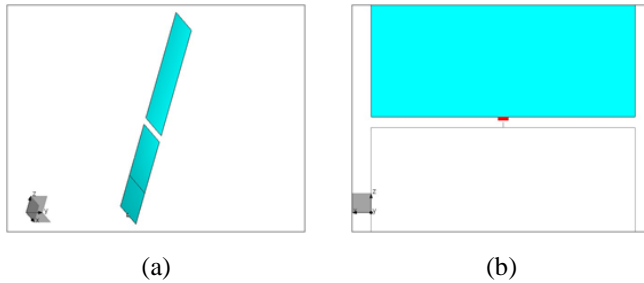
Na ovoj anteni dodali smo procep širine 1mm, i njegov položaj smo menjali u opsegu 10-30mm (gledano po visini antene). Takođe smo simulirali i običan monopol kome smo visinu menjali u istom opsegu, da bismo procenili koliki je uticaj parazitnog elementa.

Rezonantnu učestanost smo određivali kao (prvi) minimum S_{11} . Rezultate smo prikazali kao rezonantnu učestanost, i nivo S_{11} u rezonansi, u funkciji od visine monopola (t.j. položaja procepa) – Sl.1c-d.

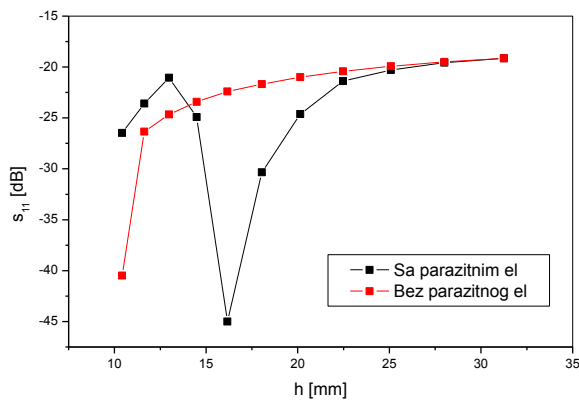
Sa ovih grafika možemo zaključiti sledeće: najpre, rezonantna učestanost se ne menja drastično u odnosu na monopol bez parazita, sa izuzetkom poslednje tri tačke. Treba napomenuti, međutim, da ovde postoji teškoća u određivanju rezonanse na opisani način, pošto minimum S_{11} nije jasno izražen. Što se tiče prilagođenja, vidimo da se ono poboljšava dok ne dođe u „rezonansu“ kada je procep približno na polovini kraka. Zatim nastavlja da raste, pa opet opada, ali za ovako male

visine procepa odnos dužine i širine aktivnog dela monopola je oko 2:1, pa je pitanje koliko je ovakva antena uopšte monopol.

Osim toga, pokazalo se da ovi rezultati nisu previše numerički stabilni, kao i da su osetljivi na promene oblika fidera.



(c)



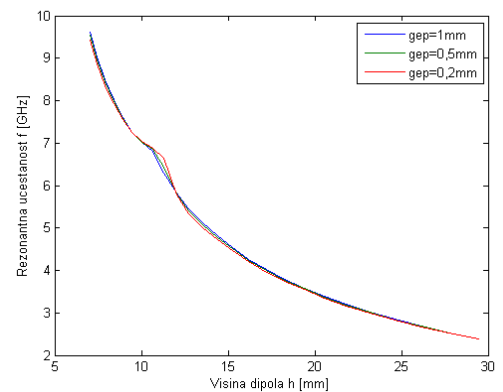
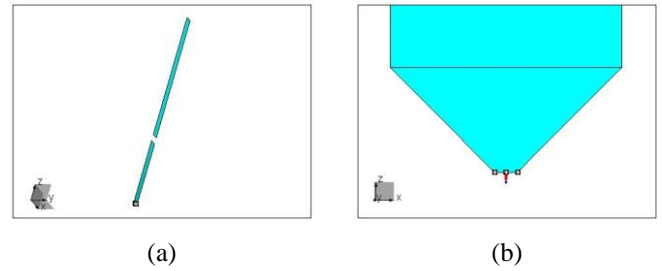
(d)

Sl.1. a) Izgled modela b) Izgled fidera; c) Rezonantna učestanost i d) Nivo S11 u rezonansi u zavisnosti od položaja procepa.

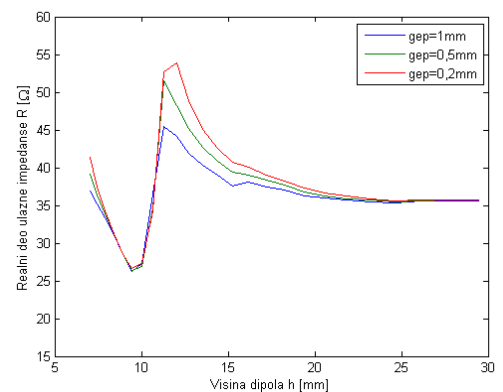
4. ODREĐIVANJE REZONANSE POSMATRANJEM NULE REAKTANSE

Iz prethodne sekcije smo zaključili da to što smo insistirali na prilagođenju uzrokuje probleme (velika širina trake, osetljivost rezultata na oblik fidera, teškoće u određivanju minimuma S11), koji nam smetaju da vidimo

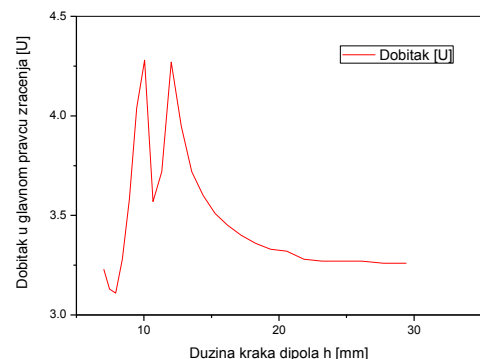
druge efekte koji nas zanimaju. Zato smo rešili da ne vodimo računa o prilagođenju, a rezonansu da odredimo kao nulu



(c)

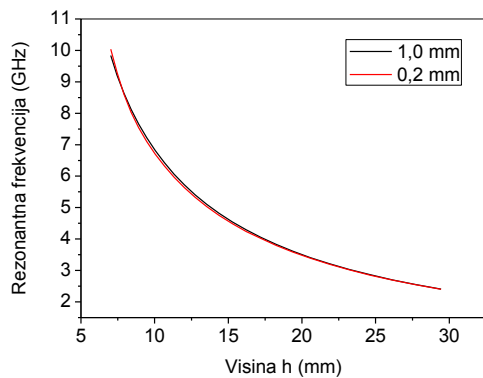


(d)

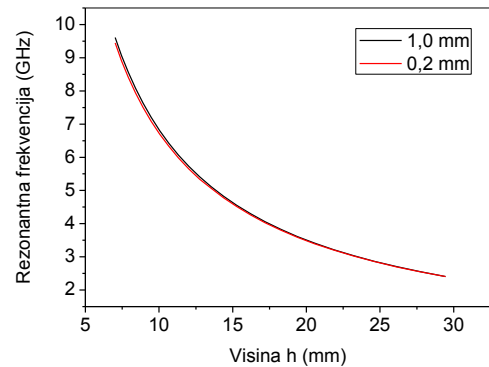


(e)

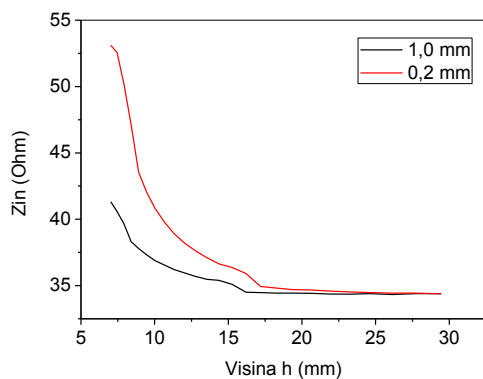
Sl.2. a) Izgled modela b) Izgled fidera; c) Rezonantna učestanost, d) Ulazna impedansa u rezonansi i e) Dobitak u glavnom pravcu zračenja u zavisnosti od položaja procepa.



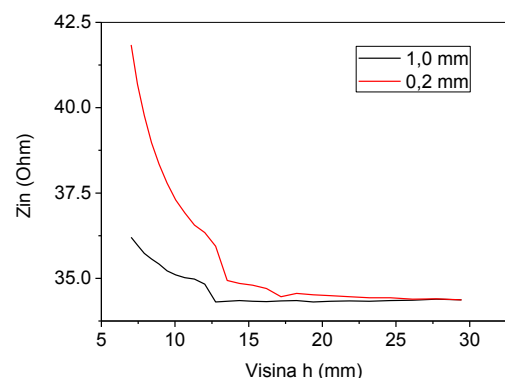
(a)



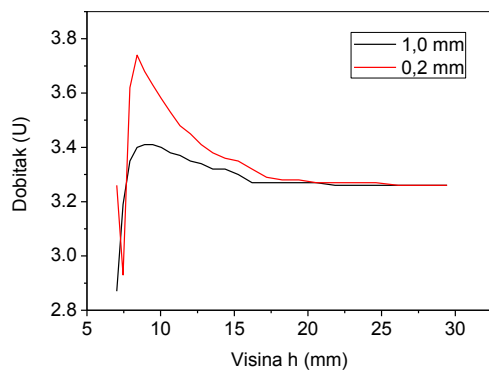
(a)



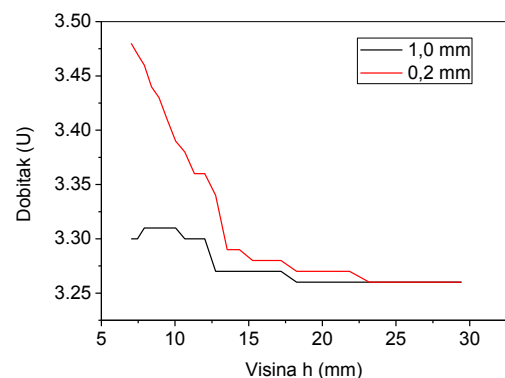
(b)



(b)



(c)



(c)

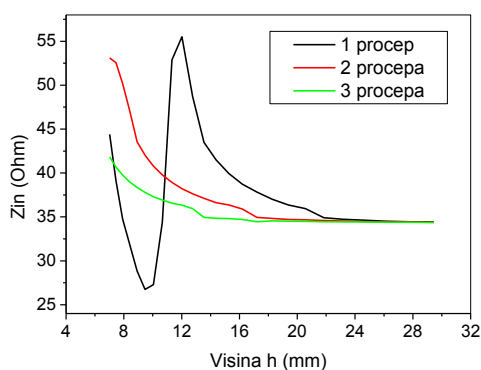
Sl.3. Monopol sa 2 procepa a) Rezonantna učestanost, b) Ulazna impedansa u rezonansi i c) Dobitak u glavnom pravcu zračenja u zavisnosti od položaja procepa.

Sl.4. Monopol sa 3 procepa a) Rezonantna učestanost, b) Ulazna impedansa u rezonansi i c) Dobitak u glavnom pravcu zračenja u zavisnosti od položaja procepa.

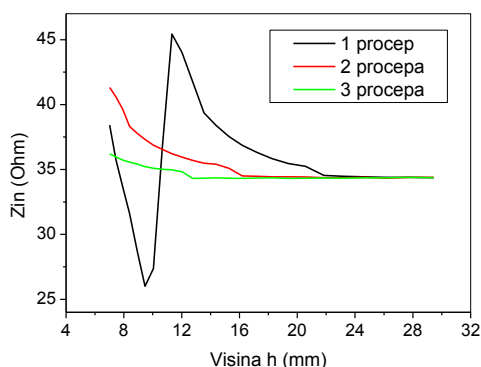
imaginarnog dela Z_{11} parametra, tj. ulazne impedanse. Širinu trake smo smanjili na 1mm. Na slici 2a-b prikazan je izgled modela. Rezultati za rezonantnu učestanost, i ulaznu impedansu i dobitak na rezonantnoj učestanosti, u zavisnosti od položaja procepa prikazani su na slici 2c-e.

Iz ovih rezultata zaključujemo sledeće. Razlika između rezonantnih učestanosti, određenih kao nule Z_{11} , za

monopole sa i bez parazitnih elemenata je manja nego u prethodnoj sekciji. Ulazna otpornost u rezonansi polako raste, ima lokalni maksimum na polovini dužine, i zatim približno na trećini dužine naglo raste i posle naglo opada. Ovakvo ponašanje možemo objasniti činjenicom da dužina parazitnog elementa iznosi oko $\lambda/2$ na toj učestanosti, pa on postaje rezonantan.



(a)



(b)

Sl.5. Ulazna impedansa u rezonansi a) širina procepa 0,2mm
b) širina procepa 1mm.

5. REKONFIGURABILNOST MONOPOL ANTENE KORIŠĆENJEM DVA PREKIDAČKA ELEMENTA

Iz prethodne sekcije zaključujemo da struja, koja se stvara u parazitnom delu monopola, uzrokuje oscilacije ulazne impedanse i promene dijagrama zračenja. Kako ovakve efekte obično želimo da izbegnemo, pokušali smo da stavimo još jedan procep na sredinu parazitnog dela, i na taj način sprečimo da njegova dužina dostigne $\lambda/2$ (kada je intenzitet struje najveći). Iz priloženih grafika (Sl. 3) se vidi da su ulazna impedansa i dobitak u ovom slučaju stabilni na većem opsegu dužina nego u prethodnom, te da se na ovaj način može povećati opseg frekvencijske rekonfigurabilnosti.

6. REKONFIGURABILNOST MONOPOL ANTENE KORIŠĆENJEM TRI PREKIDAČKA ELEMENTA

Iz prethodne sekcije vidimo da, iako smo sa dva procepa izbegli naglu oscilaciju ulazne impedanse, negde od polovine visine ona počinje da raste, da bi opet postala dosta velika kada je procep približno na trećini visine kraka. Razloge za to možemo objasniti na sledeći način: na svakom procepu se indukuje napon zbog polja koje stvara generator. Prema tome, procep možemo da zamenimo sa ekvivalentnim generatorom, koji zavisi od glavnog, pa je zbog toga ekvivalentna otpornost koju vidi glavni generator veća. Pritom je povećanje otpornosti sve izraženije kako se ekvivalentni dipoli, koji se vide sa mesta procepa, približavaju dužini od $\lambda/2$ (razlog za

to je što je ulazna impedansa električki kratkog monopola mala, i postepeno se povećava do rezonanse na $\lambda/2$).

Sledeći istu logiku kao u prethodnoj sekciji, dodali smo još jedan procep na parazitni deo monopola, da bismo ga sprečili da dostigne dužinu od $\lambda/2$ na posmatranom opsegu. Rezultati su prikazani na slici 4. Vidimo da je varijacija svih parametara mala čak i za vrlo male visine kraka.

Da bismo bolje ilustrovali razliku koja nastaje korišćenjem jednog, dva ili tri procepa, uporedili smo rezultate za ulaznu impedansu, čija promena je najznačajnija prilikom projektovanja antene, na odvojenim graficima (Sl. 5).

8. ZAKLJUČAK

U radu smo prikazali zavisnost parametara monopola od položaja procepa, za konfiguracije sa jednim, dva i tri procepa, kao i za običan monopol kome menjamo visinu (bez parazitnog dela). Uticaj parazitnog dela na rezonantnu učestanost je mali, i ona, kao što i očekujemo, zavisi inverzno proporcionalno od dužine aktivnog dela.

Varijacije ulazne impedanse i dobitka na rezonantnoj učestanosti su sve veće kako se povećava dužina parazitnog dela, ali pokazali smo da se ove varijacije mogu efikasno smanjiti dodavanjem novih procepa na parazitnom delu. Ako dozvolimo toleranciju promene ulazne impedanse od 10% u odnosu na početnu vrednost, maksimalna promena rezonantne frekvencije (relativno prema početnoj vrednosti) se kreće od 66% do čak 300% za slučaj sa 3 procepa. Cena koja se plaća jeste povećana složenost sistema.

LITERATURA

- [1] J.L.T. Bernhard. *Reconfigurable antennas*. Synthesis lectures on antennas. Morgan & Claypool, 2007.
- [2] D.J. Roscoe, L. Shafai, A. Ittipiboon, M. Cuhaci, and R. Douville. Tunable dipole antennas. In *Antennas and Propagation Society International Symposium, 1993. AP-S. Digest*, pages 672–675 vol.2, jun- 2 jul 1993.
- [3] C.J. Panagamuwa, A. Chauraya, and J.C. Vardaxoglou. Frequency and beam reconfigurable antenna using photoconducting switches. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 54(2):449 – 454, feb. 2006.
- [4] J. Kiriazi, H. Ghali, H. Ragaie, and H. Haddara. Reconfigurable dual-band dipole antenna on silicon using series mems switches. In *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2003. IEEE*, volume 1, pages 403 – 406 vol.1, june 2003.

Abstract – In this paper we investigate potential for frequency reconfigurability of monopole antenna, by use of switching elements. First, we show that effects of switch can be efficiently modelled as short / open circuit, i.e. gap. Then we observe change of characteristics with respect to position of the gap. These characteristics include resonant frequency, input impedance and gain.

INVESTIGATING POTENTIAL FOR FREQUENCY RECONFIGURABILITY OF MONOPOLE ANTENNA

Vojislav Milošević

Branko Kolundžija