

MIKROSTRIP BAND-PASS FILTER ZA NISKE MIKROTALASNE UČESTANOSTI

Siniša Jovanović, Aleksandar Nešić, *Institut IMTEL, Beograd.*

Sadržaj – U radu je detaljno izložen nov koncept filtera propusnika opsega primenjen na realizaciju štampanih filtera na veoma niskim mikrotalasnim učestanostima. Zahvaljujući predloženoj originalnoj konstrukciji, filteri su značajno manjih dimenzija u odnosu na poznate štampane filtre iste klase. Ovo omogućava da filteri realizovani na niskim mikrotalasnim učestanostima budu dovoljno malih dimenzija za jednostavnu integraciju unutar raznih mikrotalasnih sistema. Rezultati merenja električnih karakteristika realizovanih filtera se odlično slažu sa projektovanim vrednostima.

1. UVOD

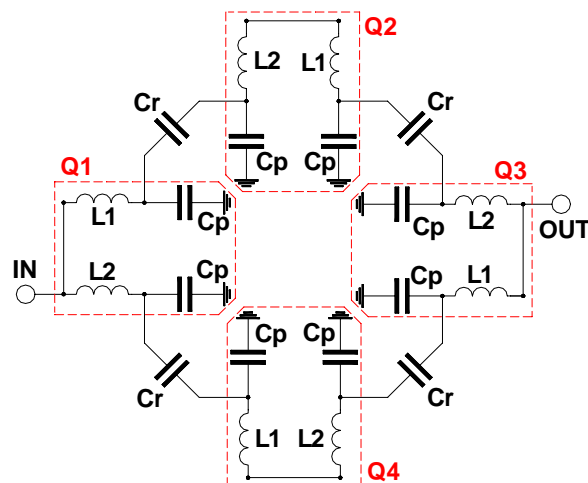
Na niskim mikrotalasnim učestanostima reda 1 GHz se mogu koristiti filteri (u našem slučaju propusnici opsega) sa koncentrisanim parametrima/elementima ili tzv. štampani (najčešće mikrostrip) filteri. Nedostaci filtera sa koncentrisanim parametrima, na ovim učestanostima, su: parazitni efekti kod kondenzatora i kalemova; tolerancije kapacitivnosti i induktivnosti kod pomenutih komponenata; parazitne međusobne sprege (npr. između kalemova), mehanička obrada kao i podešavanje nakon montaže. Osnovni nedostatak uobičajenih tipova štampanih filtera na ovim učestanostima su veoma velike dimenzije, što znatno ograničava njihovu primenu i integraciju sa ostalim pasivnim i aktivnim kolima.

Cilj ovog rada je istraživanje i razvoj štampanog filtera propusnika opsega koji bi na niskim mikrotalasnim učestanostima imao prihvatljive fizičke dimenzije. Slični problemi se razmatraju u nekoliko radova publikovanih poslednjih godina [1] - [6] u kojima se predlažu različiti tipovi štampanih filtera propusnika opsega. Autori ovog članka su u radovima [7,8] prikazali nove konfiguracije filtera propusnika opsega koji se sastoje od kapacitivno spregnutih rezonatora, a koji su naročito pogodni za realizaciju štampanih filtera na mikrotalasnim učestanostima. U radu [8] je prikazan filter realizovan u tehnici mikrostripa koji je za 57% manji u odnosu na najmanji do tada poznati filter iste klase, odnosno 68% manji u poređenju sa klasičnim mikrostrip filtrom sa spregnutim polutalasnim rezonatorima [6,8]. Isti koncept je u ovom radu primenjen za dizajniranje štampanog filtera propusnika opsega na niskim mikrotalasnim učestanostima. Fizičke dimenzije projektovanog filtera su dovoljno male da omoguće praktičnu primenu i integraciju unutar raznih mikrotalasnih uređaja.

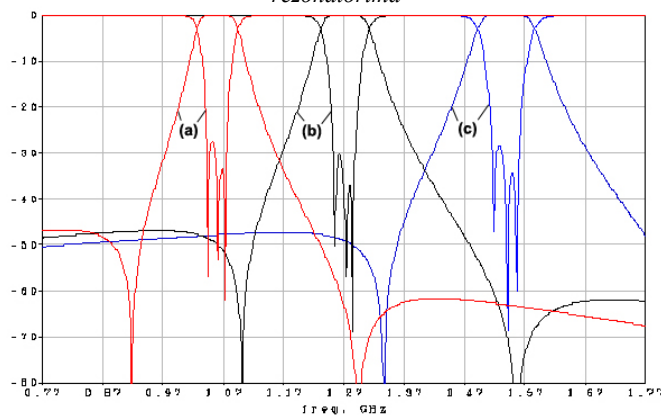
2. STRUKTURA FILTRA

Na Sl.1 je prikazana električna šema filtera koji se sastoji od četiri identična rezonatora (Q1 - Q4) međusobno spregnuta kondenzatorima Cr [8]. Sve komponente filtera označene istim simbolom imaju iste vrednosti, što znači da karakteristike filtera zavise od samo četiri promenljive: Cp, Cr, L1, i L2. Njihovim pogodnim izborom moguće je dobiti filter propusnik opsega na raznim centralnim učestanostima, kao što je prikazano na Sl.2, odnosno sa raznim širinama propusnih opsega, kao što je prikazano na Sl.3.

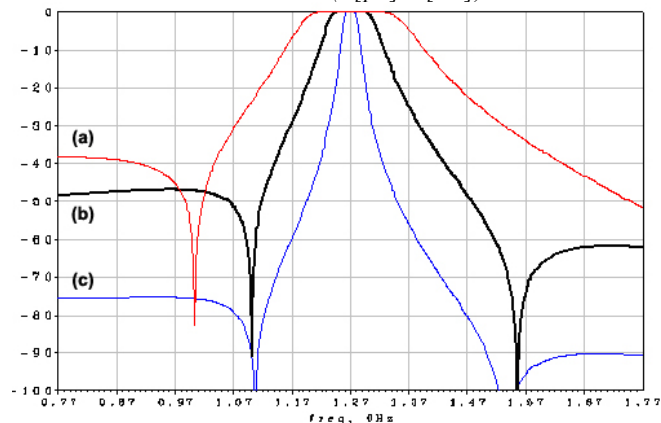
Krajnje jednostavna struktura predloženog filtera omogućava njegovu laku realizaciju u tehnici štampanih vodova.



Sl 1. Osnovna električna šema filtera sa kapacitivno spregnutim rezonatorima



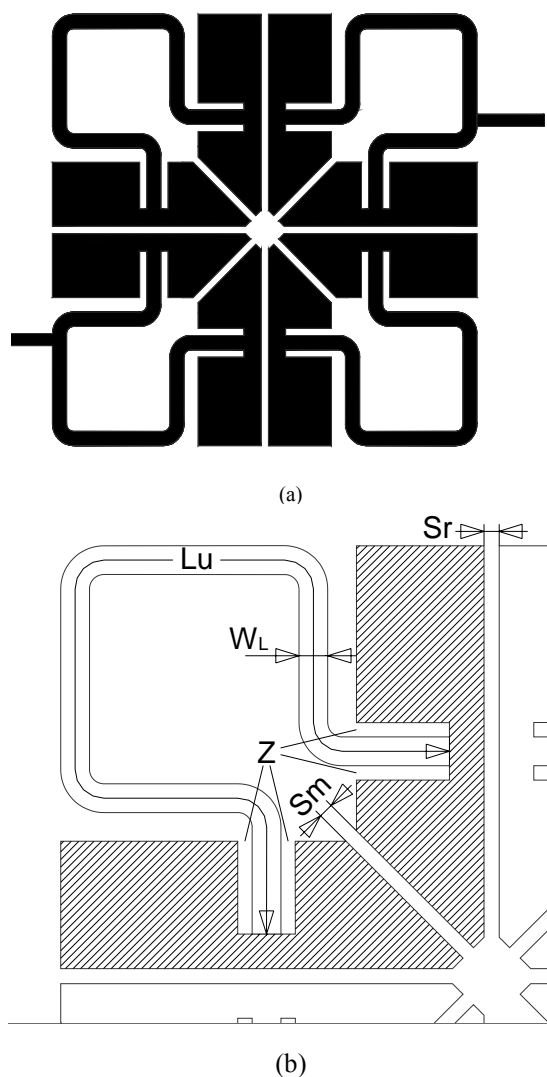
Sl.2. Frekvencijske karakteristike S21 i S11 parametara kola sa Sl.1 za vrednosti promenljivih: a) $C_p=2.75$, $C_r=0.18$, $L_1=5.2$, $L_2=10.2$; b) $C_p=2.3$, $C_r=0.15$, $L_1=4.3$, $L_2=8.5$; c) $C_p=1.9$, $C_r=0.12$, $L_1=3.6$, $L_2=7$ (C[pF], L[nH])



Sl.3. Frekvencijske karakteristike S21 kola sa Sl.1 za vrednosti promenljivih: a) $C_p=3.6$, $C_r=0.55$, $L_1=1.2$, $L_2=6.2$; b) $C_p=2.3$, $C_r=0.15$, $L_1=4.3$, $L_2=8.5$; c) $C_p=6.8$, $C_r=0.13$, $L_1=1.5$, $L_2=3$ (C[pF], L[nH])

3. PROJEKTOVANJE FILTRA

Glavni zadatak koji treba rešiti pri projektovanju i pravljenju filtra je precizna realizacija vrednosti promenljivih C_p , C_r , L_1 , i L_2 koje odgovaraju željenoj karakteristici filtra. Naročito su kritične veoma male vrednosti kapacitivnosti. Jedno od mogućih rešenja za izgled štampanog filtra u mikrostrip tehnici je predloženo na Sl. 4.



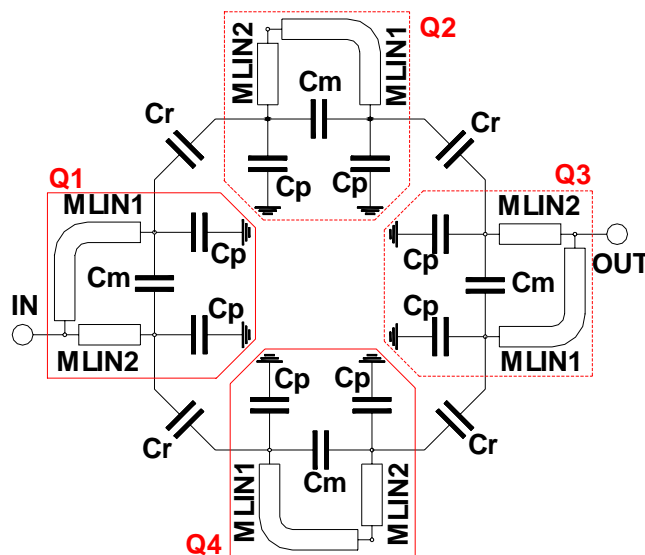
Sl.4 (a) Izgled štampanog filtra sa kapacitivno spregnutim rezonatorima izvedenog u tehnici mikrostrip;

(b) detalj: najvažnije dimenzije i delovi rezonatora

Filter je kvadratnog oblika da bi se minimizovala njegova površina. Potrebne induktivnosti unutar rezonatora (L_1 i L_2) su realizovane u vidu mikrostrip voda čija ukupna dužina (L_u) i širina (W_L) zavisi od potrebne ukupne induktivnosti (L_1+L_2) unutar svakog rezonatora. Treba izbegavati upotrebu isuviše uskih mikrostrip vodova da nebi došlo do povećavanja gubitaka u njima a samim tim i povećavanja unesenog slabljenja filtra u propusnom opsegu. Ulazni i izlazni rezonator su opterećeni pristupnim mikrostrip vodovima koji induktivne vodove rezonatora dele na dva nejednaka dela, koje odgovaraju induktivnostima L_1 i L_2 , formirajući tzv 0° -napojnu strukturu (0° Feed Structure) [5]. Induktivni vodovi su izmeandrirani da bi se minimizovala površina rezonatora, a samim tim i ukupna površina filtra, i

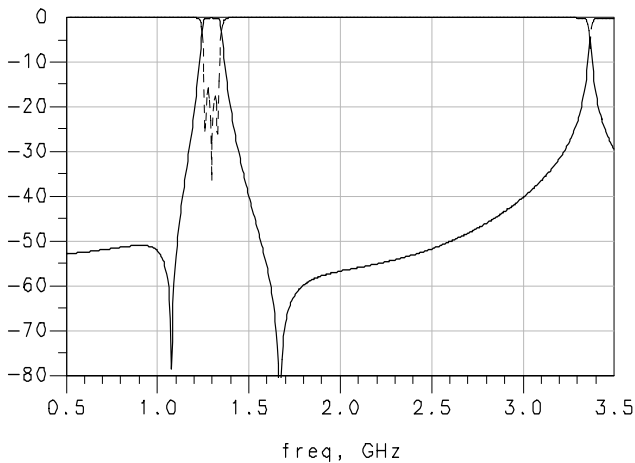
završavaju se širokim metalnim površinama (osenčene površine na Sl.4b). Ove površine sa drugom, potpuno metalizovanom, stranom mikrostrip supstrata obrazuju potrebne kapacitivnosti prema masi (C_p) tako da njihovo dimenzionisanje zavisi od potrebnih vrednosti kapacitivnosti C_p . Mesto spoja induktivnog voda sa zavšnim kapacitivnim površinama značajno utiče na ukupne električne karakteristike filtra. Za njegovo precizno pozicioniranje služe zaseci (Z na Sl.4b), koji razdvajaju induktivne vodove od zavšnih kapacitivnih površina. Sprežne kapacitivnosti C_r se formiraju između kapacitivnih površina koje pripadaju susjednim rezonatorima, a njihova željena vrednost se dobija odgovarajućim izborom rastojanja između rezonatora (S_r), pri čemu to rastojanje ne utiče na ostale parametre filtra (L_1 , L_2 i C_p).

Filter realizovan prema konfiguraciji sa Sl.4 sadrži neke parazitne elemente koji nisu prikazani na Sl.1. Najznačajniji među njima su kapacitivnosti (označimo ih sa C_m) koje se formiraju između dve kapacitivne površine koje pripadaju istom rezonatoru a razdvojeni su procepom S_m (Sl.4b). Značajan uticaj imaju i raspodeljena kapacitivnost induktivnih vodova. Uticaj ovih parazitnih elemenata se može analizirati pomoću bilo kog programa za simulaciju mikrotalasnih kola (npr. Touchstone, Microwave Office, Series IV, ADS, ...) koji sadrži biblioteku mikrostrip komponenti, a prema šemi prikazanoj na Sl.5. u cilju početnog izbora kritičnih dimenzija filtra, a pre svega za optimizaciju dužine i širine induktivne mikrostrip linije i procenu uticaja kapacitivnosti C_m . Primećeno je da ova kapacitivnost snižava centralnu učestanost i proširuje propusni opseg filtra. Veličina ove kapacitivnosti se može kontrolisati preko širine procepa koji razdvaja kapacitivne površine koje pripadaju istom rezonatoru.



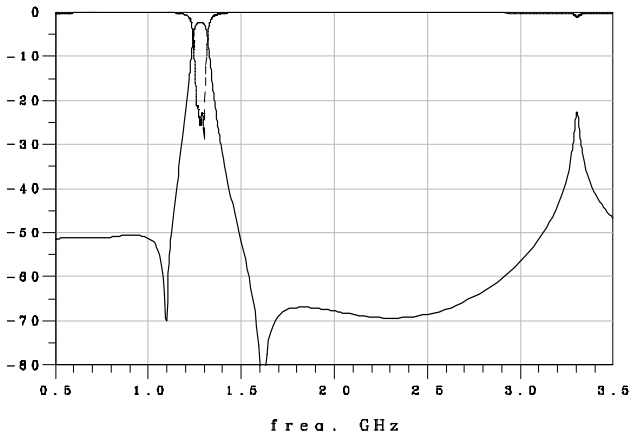
Sl.5 Šema filtra sa uvažanim parazitnim kapacitivnostima C_m i induktivnostima realizovanim u vidu mikrostrip vodova

Za filtere kod kojih su induktivnosti realizovane u vidu mikrostrip vodova karakteristična je pojava parazitnih propusnih opsega u transmisionoj (S_{21}) frekvencijskoj karakteristici (Sl.6), koji ne postoje na karakteristici filtra sastavljenog od idealnih koncentrisanih elemenata. Filter predložen u ovom radu sastoji se od rezonatora čiji su krajevi kapacitivno opterećeni, čime se parazitni propusni opseg pomera ka učestanostima većim od $2f_0$.



Sl.6 Frekventijska karakteristika S21 i S11 parametra kola sa Sl.5 dobijena simulatorim mikrotalasnih

Konačno podešavanje svih dimenzija mikrostrip filtra je obavljeno na osnovu rezultata dobijenih programom za elektromagnetnu analizu IE3D [9]. Najosetljivije veličine su: rastojanja između rezonatora, dužine i širine induktivnih linija i dubina zaseka između induktivnih vodova i kapacitivnih površina rezonatora. Rezultati EM analize su prikazani na Sl.7. Oni se veoma dobro slažu sa rezultatima sa Sl.6, a razlikuju se pre svega za veličinu slabljenja filtra u propusnom opsegu, pošto su pri analizi IE3D-om uračunati i efekti gubitaka u dielektriku i metalu.

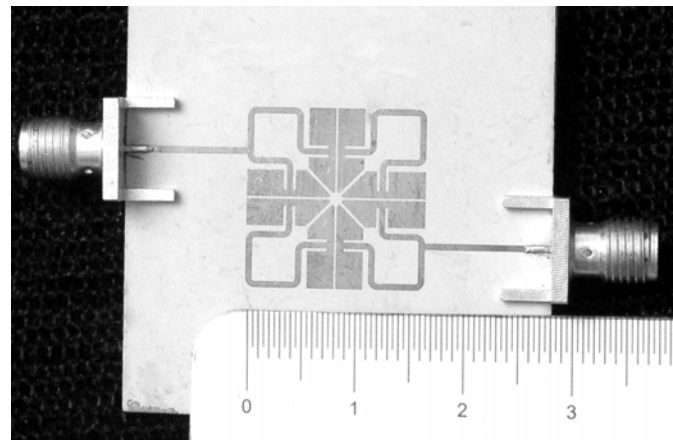


Sl.7. Rezultati EM simulacije frekventijske karakteristike S21 i S11 parametara filtra

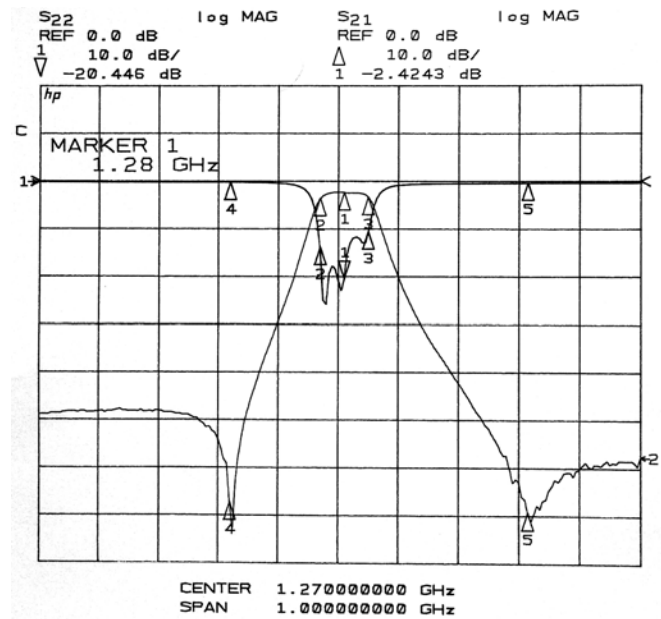
3. REALIZACIJA FILTRA I IZMERENI REZULTATI

Filter je projektovan za dielektričnu podlogu RO3010 ($\epsilon_r=10.2$, $h=0.635\text{mm}$) na centralnoj učestanosti 1270MHz. Fotografija realizovanog filtra je prikazana na Sl. 8. Filter je kvadratnog oblika sa dimenzijama $16.5 \times 16.5\text{mm}$, odnosno $0.18\lambda \times 0.18\lambda$ za izabranu dielektričnu podlogu, što ga čini pogodnim za integraciju unutar raznih mikrotalasnih podsklopova.

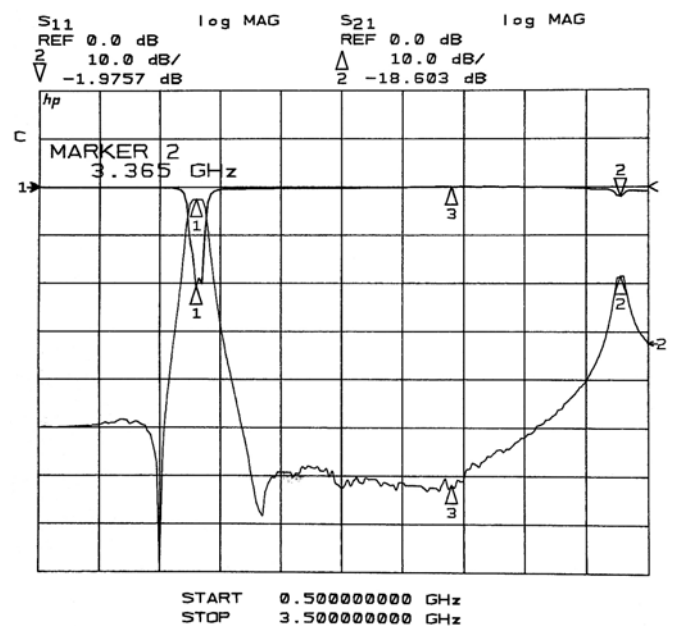
Sl. 9 prikazuje izmerene vrednosti frekventijskih karakteristika S21 i S11 parametara u opsegu od 0.77 do 1.77GHz, dok Sl.10 prikazuje iste veličine u opsegu od 0.5 do 3.5 GHz.



Sl.8 Fotografija realizovanog filtra



Sl.9. Izmerena frekventijske karakteristike filtra u opsegu širine 1GHz oko projektovane centralne učestanosti



Sl.10 Izmerena frekventijska karakteristika S21 i S11 parametara filtra u opsegu od 0.5 do 3.5 GHz

Uneseno slabljenje u propusnom opsegu je manje od 2.4dB, širina trodecibelskog propusnog opsega je 7.6% a jednodecibelskog 6.3%, pri čemu je refleksija unutar jednodecibelskog propusnog opsega bolja od 12dB. Slabljenje u nižem nepropusnom opsegu je reda 50dB, dok je slabljenje u višem nepropusnom opsegu reda 60dB sve do učestanosti većih od $2f_0$. U skladu sa osobinama filtera sa kapacitivno opterećenim rezonatorima, i realizovani filter ima paraziti propusni opeg pomenen ka višim učestanostim, tako da se najniži javlja na 3.365GHz, što iznosi $2.63f_0$. Zbog toga slabljenje na učestanostima oko $2f_0$ iznosi 62dB, što je veoma korisno za potiskivanje drugog harmonika signala iz propusnog opsega filtra. U frekvencijskoj karakteristici predloženog filtra tipično je da u blizini propusnog opsega, tj. na $0.851 f_0$ i $1.238f_0$ postoje dva duboka minimuma, sa slabljenjima reda -70dB koji mogu biti iskorišćeni za dodatno potiskivanje nekog neželjenog signala (npr. signala lokalnog oscilatora).

Izmereni rezultati filtra (Sl. 10) se odlično slažu sa rezultatima dobijenim programom za elektromagnetnu analizu (Sl. 7), a veoma dobro sa rezultatima dobijenim programom za simulaciju mikrotalasnih kola (Sl. 6). Realizovani filter ima centralnu učestanost od 1280MHz, što je za 10MHz, odnosno 0.8% više od projektovane. Ovo odstupanje se može otkloniti korekcijom širine W_L tankih (induktivnih) mikrostrip linija unutar rezonatora.

6. ZAKLJUČAK

Prikazan je štampni filter propusnik opsega koji je realizovan na veoma niskoj mikrotalasnoj učestanosti. Zbog svoje jednostavne konfiguracije filter je lak za analizu i realizaciju. Ostale pogodnosti filtra su nepropusni opseg koji se prostire iznad dvostruke centralne učestanosti i duboke nule u transmisionoj frekvencijskoj karakteristici koje se nalaze sa obe strane propusnog opsega i čiji se položaj može delimično birati prilikom projektovanja filtra. Osim u tehnici mikrostripa, predloženi koncept se može realizovati i u ostalim štampanim strukturama, pri čemu bi se u nekim pogodnim strukturama (npr. multilayer) mogli realizovati filtri još manjih dimenzija. Podudarnost između projektovanih i izmerenih karakteristika filtra je odlična.

ZAHVALNICA – Autori se zahvaljuju Milki Marjanović, Momčilu Tasiću i Petru Jankoviću 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] J-S. Hong, M. J. Lancaster: "Theory and Experiment of Novel Microstrip Slow-Wave Open-Loop Resonator Filters", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 45, No. 12, December 1997.
- [2] C-M. Tsai, S-Y Lee, H-M Lee: "Transmission-Line Filters With Capacitively Loaded Coupled Lines", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 51, No. 15, May 2003.
- [3] J-T. Kuo, E. Shoh: "Microstrip Stepped Impedance Resonator Bandpass Filter With an Extended Optimal Rejection Bandwidth", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.51, No. 15, May 2003.
- [4] S-Y Lee, C-M. Tsai: "New Cross-Coupled Filter Design Using Improved Hairpin Resonators" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 48, No. 12, December 2000.
- [5] C-M. Tsai, S-Y Lee, C-C. Tsai: "Performance of a Planar Filter Using a 0° Feed Structure" IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 50, No. 10, October 2002.
- [6] Q.S. Wu, Q.Xue, C.H.Chan: "Bandpass filter using microstrip ring resonators", Electronics Letters, Vol. 39, No.1, January 2003.
- [7] S. Jovanovic, A. Nestic: "Band-pass mikrostrip filter sa kapacitivno spregnutim rezonatorima na Ku opsegu", XLVIII konferencija ETRAN-a, Zbornik radova, sveska II, Čačak, 2004, str. 273-275
- [8] S. Jovanovic, A. Nestic: "Microstrip bandpass filter with new type of capacitive coupled resonators", Electronics Letters, Vol. 41, No. 1, January 2005.
- [9] IE3D USER'S MANUAL, Zeland Software Inc.

Abstract – This paper presents in detail a new concept of band-pass filters with capacitive coupled resonators applied for realization of a printed filter at very low microwave frequencies. An original filter configuration allows a significant size reduction compared to the smallest known filter of the same class. The agreement between the predicted and measured results is excellent.

A MICROSTRIP BAND-PASS FILTER FOR LOW MICROWAVE FREQUENCIES

Siniša Jovanović, Aleksandar Nešić