Minijaturizacija mikrotalasnog planarnog filtra višeg reda

ANA M. PLAZINI, Univerzitet u Kragujevcu,

Fakultet tehničkih nauka, a a k

MILKA M. POTREBI, Univerzitet u Beogradu,

Elektrotehnički fakultet, Beograd

DEJAN V. TOŠI, Univerzitet u Beogradu,

Elektrotehnički fakultet, Beograd

MILAN V. PLAZINI, Univerzitet u Kragujevcu,

Fakultet tehničkih nauka, a a k

Originalni naučni rad

UDC: 621.3.049.76

DOI: 10.5937/tehnika1604579P

U radu je prikazan novi postupak realizacije mikrotalasnog filtra višeg reda koji koristi rezonatore sa dve rezonantne u estanosti. U cilju minijaturizacije, filter je realizovan u višeslojnoj tehnici. Struktura se sastoji od dva dielektrična sloja, razdvojena provodnom ravni. Filter je realizovan sa dva rezonatora koji se nalaze sa različitih strana dielektričnih slojeva. Sprezanje rezonatora ostvareno je kondukcijom vezom, koja je realizovana pomoću vijčica. Ispitan je uticaj sprege rezonatora u funkciji položaja vijčica koja ih povezuje. Predloženom realizacijom filtra postiže se smanjenje površine zauzete štampane ploče za oko 50% u odnosu na realizaciju u mikrotrakastoj tehnici.

ključne reči: kondukcijna sprega, minijaturizacija, rezonator sa dve rezonantne u estanosti, višeslojna tehnika

1. UVOD

Brzi razvoj sistema za bežičnu komunikaciju uslovio je potrebu za stalnim unapređenjem mikrotalasnih komponenti i njihovih performansi. Sastavni deo svakog uređaja namenjenog za rad na radio frekvencijskim (RF) i mikrotalasnim u estanostima su pasivna kola, kao što su rezonatori i filtri.

Ove komponente predstavljaju jednu od prepreka za minijaturizaciju i unapređenje performansi uređaja za bežičnu komunikaciju, koji podržavaju servise kao što su mobilna telefonija (900 MHz, 1,8 GHz, 1,9 GHz, 2,1 GHz), GPS (1,6 GHz), WiMAX (3,5 GHz), WiFi (2,4 GHz, 5,8 GHz).

Minijaturizacija je jedan od ključnih zahteva koji se nameće prilikom projektovanja mikrotalasnih filtera. Jedan od postupaka koji se koristi za smanjenje veličine zauzete površine filtra je realizacija u višeslojnoj tehnici [1]. U višeslojnoj tehnici, raspored i organizacija kom-

ponenti nije više ograničena samo na jednu ravan. Komponente se mogu rasporediti u više ravni i na taj način se ostvaruje fleksibilnost pri projektovanju i minijaturizacija samog uređaja [1-3].

Filter se mogu minijaturizovati i korišćenjem rezonatora sa dve rezonantne u estanosti (2RU), dual-mode resonator [1]. Osnovna karakteristika ovih rezonatora je što imaju dve bliske rezonantne u estanosti. To omogućava da se pri projektovanju filtera n -tog reda koristi duplo manji broj rezonatora u odnosu na realizaciju sa rezonatorima sa jednom rezonantnom u estanosti (single-mode resonator) [4, 5].

Jedan od načina realizacije rezonatora sa dve rezonantne u estanosti dobijen je modifikacijom polutalasnog rezonatora pravougaonog oblika dodavanjem kaskadno vezane dve sekcije vodova (stepped-impedance) na mestu virtuelne mase [6]. Prve dve rezonantne u estanosti koje se javljaju kod ovog rezonatora su u stvari u estanosti parnog i neparnog moda. U zavisnosti od geometrijskih parametara bilo kojeg moda, parni ili neparni, može imati višu ili nižu u estanost. U estanosti modova su nezavisne, odnosno modovi nisu spregnuti, bez obzira na promene geometrije rezonatora.

Adresa autora: Ana Plazini, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka, a a k, Svetog Save 65

Rad primljen: 06.05.2016.

Rad prihvaćen: 09.07.2016.

U ovom radu bi e prikazan novi postupak mini-jaturizacije filtra propusnika opsega u estanosti koriš-enjem višeslojne tehnike, što predstavlja nastavak istraživanja prikazan u [7-10].

Slika 1 - Realizacija rezonatora sa dve rezonantne u estanosti u mikrotrakastoj tehnici modifikacijom polutalasnog rezonatora pravougaonog oblika

2. FILTER SA REZONATOROM SA DVE REZONANTNE U ESTANOSTI

U cilju minijaturizacije, za realizaciju filtra propusnika opsega u estanosti, izabran je rezonator sa dve rezonantne u estanosti. Koriš-enjem ovog rezonatora može se postići zadovoljavajuća selektivnost filtra, kao i minimalno slabljenje u propusnom opsegu.

Prilikom projektovanja rezonatora, odnosno određivanja rezonantne u estanosti parnog i neparnog moda, u velikoj meri je moguće nezavisno podešavati karakteristike za parni i neparni mod. Razlog leži u činjenici da je dužina otvorene petlje približno jednaka polovini talasne dužine za neparni mod, odnosno $2(a_1 + b_1) \approx \lambda_{g, \text{neparni mod}}/2$, da je unutrašnja sekcija vodova spojena na sredini te dužine, odnosno u tački virtuelne mase (slika 1). S obzirom na tu činjenicu dimenzije a_2 , b_2 , a_3 i b_3 neznatno utiču na karakteristike neparnog moda i njihove promene se koriste za podešavanje parnog moda. Ostale dimenzije utiču na karakteristike oba moda te se prilikom projektovanja prvo one podešavaju.

Koriš-enjem predloženog 2RU rezonatora projektovan je filter propusnik opsega u estanosti u mikrotrakastoj tehnici. Za realizaciju filtra koriš-en je substrat relativne permitivnosti $\epsilon_r=10.8$, debljine $h=1.27$ mm, tangensa ugla gubitaka $\tan \delta=0.001$ i debljine metalizacije $t=18 \mu\text{m}$. Filter propusnik opsega u estanosti projektovan je za centralnu u estanost od 1.05 GHz i širinu propusnog opsega od 130 MHz. Dimenzije filtra prikazane su na slici 2. Pristupi filtra su realizovani pomoću 50 mikrotrakastih vodova, širine 1.1 mm i dužine 5 mm.

Slika 2 – Dimenzije (u mm) filtra realizovanog pomoću rezonatora sa dve rezonantne u estanosti u mikrotrakastoj tehnici

Slika 3 - Prikaz rezonantnih u estanosti neopterećenog rezonatora sa slike 2

Slika 4 - Prikaz promene rezonantnih u estanosti 2RU rezonatora (sa slike 2) u funkciji dimenzija a_3 i b_3

Rezonantne u estanosti neoptere enog 2RU rezonatora, tj. u estanosti parnog i neparnog moda, su prikazane na slici 3. Pri odreivanju rezonantnih u estanosti uzeto je da se uvodnici nalaze na rastojanju oko $3h$ od posmatranog rezonatora (slika 2), gde je h debljina mikrotrakaste podloge. U cilju ispitivanja uticaja dimenzija 2RU rezonatora na promenu rezonantnih u estanosti vršena je promena dimenzija a_3 i b_3 , što je prikazano na slici 4. Promenom dimenzija a_3 i b_3 donja rezonantna u estanost ostaje nepromenjena, dok se menja gornja rezonantna u estanost. Povećavanjem vrednosti a_3 smanjuje se vrednost gornje rezonantne u estanosti, dok se povećanjem vrednosti b_3 povećava vrednost gornje rezonantne u estanosti.

Slika 5 - S-parametri filtra realizovanog u mikrotrakastoj tehnici sa slike 2

Slika 6 - 3D EM model višeslojnog filtra u softveru WIPL-D Pro

Veličina zauzeta filtra na štampanoj ploči je $15,6 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ bez uvodnika (odnosno $0,145 \lambda_g \times 0,14 \lambda_g$, gde je λ_g vodna talasna dužina 50 GHz na centralnoj u estanosti). Na slici 5 su prikazani s-parametri filtra (sa slike 2) dobijeni pomoću softvera WIPL-D

Pro [11]. Primećuje se da je ostvarena bolja selektivnost za više u estanosti zbog postojanja nule u funkciji prenosa filtra. Da bi se ostvarila bolja selektivnost i za više i za niže u estanosti oko propusnog opsega, potrebno je realizovati filter sa dva spregnuta 2RU rezonatora, tako da se jednim podešava nula za niže u estanosti, a drugim nula za više u estanosti [1].

3. FILTER VIŠEG REDA REALIZOVAN U VIŠESLOJNOJ TEHNICI

U cilju minijaturizacije filtra propusnika opsega u estanosti višeg reda, realizovanog u mikrotrakastoj tehnici, predložena je nova realizacija u višeslojnoj tehnici sa kondukcijom spregom između rezonatora. Filter četvrtog reda je realizovan sa dva rezonatora koji se međusobno razlikuju, a imaju po dve rezonantne u estanosti. Rezonatori se projektuju tako da se sa jednim podešava nula prenosa na višim u estanostima, a sa drugim rezonatorom na nižim u estanostima propusnog opsega filtra u cilju ostvarenja što bolje selektivnosti. Filter je realizovan spajanjem dve mikrotrakaste podloge masama, tako da se u sredini strukture nalazi zajednička masa. Trodimenzionalni elektromagnetski (3D EM) model filtra prikazan je na slici 6. Rezonatori se nalaze na spoljašnjim stranama strukture i postavljeni su jedan ispod drugog.

Slika 7 - Poprečni presek filtra (sa slike 6) i prikaz vijke koja kondukcijom spreže dva 2RU rezonatora sa suprotnih strana strukture

Slika 8 - Položaj vijke koja kondukcijom spreže dva 2RU rezonatora

Slika 9 - Koeficijent sprege dva 2RU rezonatora, kondukciono spregnuta, u funkciji veličine vijice i njenog položaja R

Slika 10 - Prikaz rezonantnih u estanosti neopterećenih 2RU rezonatora na gornjem i donjem sloju strukture sa slike 6

Sprega izme u rezonatora je ostvarena pomo u kondukционе veze, a realizovana je pomo u vijice. Vijica predstavlja metalizovanu rupu koja prolazi kroz celu strukturu i povezuje spoljašnje delove rezonatora, što je prikazano na slikama 6 i 7. Vijica je realizovana tako da nema elektri ni kontakt sa zajedni kom masom. U zajedni koj provodnoj ravni (masi) je napravljen procep oko vijice, to jest prostor bez metalizacije od 0.5 mm i on treba da obezbedi da budu spojeni samo rezonatori bez spoja sa masom (slika 7).

Uvodnik na gornjem sloju strukture spregnut je sa gornjim rezonatorom, dok je uvodnik na donjem sloju spregnut sa donjim rezonatorom.

Višeslojni filtar je projektovan za centralnu u estanost od 1.05 GHz i širinu propusnog opsega od 110 MHz. Filtar je realizovan na dve spojene mikrotrakaste podloge parametara: $\epsilon_r=10.8$, $h=1.27$ mm, $\tan \delta=0.001$ i $t=18$ μ m.

U cilju realizacije višeslojnog filtra, prvo je ispitivan uticaj veličine i položaja vijice na koeficijent sprege dva kondukciono spregnuta 2RU rezonatora. Rastojanje R, u odnosu na koje se meri položaj vijice, je prikazano na slici 8. Popre ni presek vijice je pravougaonik, a posmatrane su dimenzije: 1 mm×1 mm, 2 mm×1 mm i 4 mm×1 mm, a dužina je oko 2h (slika 7).

Slika 11 - S-parametri filtara realizovanih pomo u samo gornjeg i samo donjeg rezonatora (sa slike 6) u mikrotrakastoj tehnici

Na osnovu odre enih rezonantnih u estanosti f_1 i f_2 (za svaki položaj vijice R) dobijeni su koeficijenti sprege k iz jedna ine

$$k = \frac{f_2^2 - f_1^2}{f_2^2 + f_1^2} \quad (1)$$

Zavisnost koeficijenata sprege u funkciji položaja i veličine vijice prikazana je na slici 9. Uo ava se da koeficijent sprege raste sa pove anjem veličine vijice. Za razmatrani slu aj, uo ava se da se isti koeficijent sprege može posti i sa vijama razli ite veličine. U ovom slu aju postoji grani na vrednost veličine vijice do koje se vijica može smanjivati a da se i dalje postigne zahtevana vrednost koeficijenta sprege. Veli ina vijice uti e na gubitke i menja impedansu vijice što treba uzeti u obzir pri projektovanju filtra.

Pri merenju koeficijenta sprege uvodnici su se nalazili na rastojanju oko 3h od rezonatora (slika 8), gde je h debljina jedne mikrotrakaste podloge (slika 7).

Za realizaciju višeslojnog filtra odabran je položaj vijice $R=5.5$ mm (za vijicu popre nog preseka 4 mm×1 mm). Isti koeficijent sprege se može ostvariti i sa položajem vijice $R=3.2$ mm za popre ni presek vijice od 2 mm×1 mm.

Rezonantne u estanosti 2RU rezonatora na gornjem i donjem sloju strukture prikazane su na slici 10, dok su odzivi filtara realizovani sa pojedina nim rezonatorima sa gornjeg/donjeg sloja prikazani na slici 11.

Dimenzije oba rezonatora (sa gornjeg i donjeg dielektri nog sloja) su prikazane na slici 12. Pristupi filtra su realizovani pomo u 50 mikrotrakastih vodova.

Odgovaraju i s-parametri višeslojnog filtra prikazani su na slici 13. Uo ava se zadovoljavaju a selektivnost filtra i za niže i za više u estanosti oko propusnog opsega. Slabljenje na centralnoj u estanosti je 1.12 dB. Veli ina filtra realizovanog u višeslojnoj tehnici je 15 mm×15.6 mm (bez uvodnika), odnosno

$0,14 \lambda_g \times 0,145 \lambda_g$, gde je λ_g vo ena talasna dužina 50 voda na centralnoj u estanosti.

Zauze e štampane plo ice je oko 50% manje u odnosu na realizaciju u mikrotrakastoj tehnici, što je bio cilj prikazanog postupka minijaturizacije koriš e njem višeslojne tehnike.

Slika 12 – Dimenzije (u mm) 2RU rezonatora sa gornjeg i donjeg dielektri nog sloja višeslojnog filtra

Slika 13 - S-parametri višeslojnog filtra sa slike 12

5. ZAKLJU AK

U cilju smanjenja površine zauze a filtra višeg reda predložen je nov postupak minijaturizacije u višeslojnoj tehnici. Koriš ena su dva rezonatora sa po

dve rezonantne u estanosti. Rezonatori se me usobno razlikuju da bi se postigla bolja selektivnost filtra. Struktura je realizovana sa dve mikrotrakaste podloge spojene masama.

Ostvarene karakteristike filtra, kao što su slabljenje u propusnom opsegu, potiskivanje u nepropusnom opsegu, selektivnost i zauze e štampane plo ice, omogu avaju primenu ovog rešenja za opsege u estanosti koji se koriste za komunikacione sisteme.

Predloženi postupak minijaturizacije može se primeniti i za realizaciju filtara sa više propusnih opsega.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansijski podržan od Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta TR-32005.

LITERATURA

- [1] Hong J. S, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, Wiley, Hoboken, NJ, USA, 2nd edition, 2011.
- [2] Potrebi M., Toši D. V, A novel design of a compact multilayer resonator using double-sided microstrip, *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, Vol. 6, No. 3-4, pp. 441-445, March-April 2012.
- [3] Miljanovi D, Potrebi M, Toši D. V, Design of Microwave Multibandpass Filters with Quasilumped Resonators, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2015, Article ID 647302, pp. 1-14, 2015.
- [4] Curitis J. A, Fiedziuszko S. J, Miniature dual-mode microstrip filters, in *Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Boston, MA, USA, Vol. 2, pp. 443-446, July 10-14, 1991.
- [5] Xiao J. K, Li Y, Novel Compact Microstrip Square Ring Bandpass Filters, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 20, No. 13, pp. 1817-1826, 2006.
- [6] Athukorala L, Budimir D, Potrebi M, Design of open-loop dual-mode microstrip filters, *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 19, pp. 179-185, 2010.
- [7] Athukorala L, Budimir D, Compact dual-mode open-loop microstrip resonators and filters, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 19, No. 11, pp. 698-700, November 2009.
- [8] Plazini A, Potrebi M, Toši D. V, Minijaturizacija filtara realizovanih pomo u rezonatora sa dve rezonantne u estanosti koriš enjem višeslojne tehnike, *Zbornik radova 58. Konferencije ETRAN 2014*, Vrnja ka Banja, Srbija, pp. MT1.1.1-4, 2-5 jun 2014.

- [9] Plazini A, Potrebi M, Kompaktan višeslojni filter sa dva propusna opsega, *Zbornik 59. Konferencije ETRAN 2015*, Srebrno jezero, Srbija, 8–11 jun, 2015, str. MT1.2 1–4.
- [10] Plazini A, Potrebi M, Toši D. V, Circuit model of microwave dual-band bandpass filter, in *Proc. 12th International Conference on Applied Electromagnetics (2015)*, Niš, Serbia, pp. 81–82, Aug. 31–Sep. 02, 2015.
- [11] WIPL-D Pro 10.0, 3D Electromagnetic Solver, WIPL-D d.o.o., Belgrade, Serbia. [online] <http://www.wipl-d.com/>

SUMMARY

MINIATURIZATION OF MICROWAVE PLANAR HIGHER-ORDER FILTER

In this paper, a novel microwave higher-order filter design is presented using dual-mode resonators. The filter is realized in multilayer technology in order to reduce the footprint area. The structure consists of two dielectric layers separated by a common ground plane. The filter is realized with two resonators which are printed on different sides of dielectric layers. The conductive coupling between the resonators is realized with a via. The coupling between the resonators is investigated as a function of the via position. The proposed filter design achieves a size reduction of 50% as compared to classical microstrip design.

Key words: *conductive coupling, miniaturization, dual-mode resonator, multilayer technology*