

Микроталасни филтар реализован у вишеслојној техници са капацитивно спрегнутим уводником

Дејан М. Миљановић

m:tel

Добој, Босна и Херцеговина
dejan.miljanovic@mtel.ba

Милка М. Потребих и Дејан В. Тошић

Електротехнички факултет Универзитета у Београду
Београд, Србија
milka.potrebic@etf.rs, tosic@etf.rs

Садржај—У овом раду је анализиран нови начин капацитивног спрезања уводника са вишеслојним резонатором. Вишеслојни резонатор је реализован помоћу двије микротракасте подлоге спојене заједничком масом. Резонатор се састоји од два квази-концентрисана елемента: калема у облику квадратне спирале и кондензатора реализованог као квадратни одсјечак микротракастог вода. У раду је предложен интердигитални начин спрезања уводника са кондензатором у циљу постизања веће спреге и смањења димензија филтра. Интердигитални начин спреге повећава спрегу и смањује фактор добротe оптерећеног резонатора. Предложени начина спрезања верификован је реализацијом филтра другог реда пропусника опсега учестаности.

Кључне ријечи—вишеслојни резонатор; интердигитална спрега; фактор добротe; филтар пропусник опсега учестаности.

I. Увод

Један од начина реализације филтра у циљу смањења димензија је кориштење вишеслојне технике. Модерне комуникације захтијевају минијатуризацију свих склопова у уређајима па овај приступ има посебну важност. Овим поступком се елементи филтра распоређују у више равни па се на тај начин смањује површина заузећа штампане структуре, што оставља више простора за постављање осталих елемената. Приликом пројектовања филтра пожељно је имати што више могућности избора геометрија, просторног распореда, великог расположивог опсега коефицијената спреге и Q -фактора. У расположивој литератури анализирани су вишеслојни резонатори са различитим начинима реализације уводника [1]-[3]:

- 1) Капацитивно спрегнут уводник са калемом резонатора,
- 2) Модификована капацитивна спрега уводника и калема резонатора са интердигиталном реализацијом,
- 3) Кондукциона спрега уводника и калема.

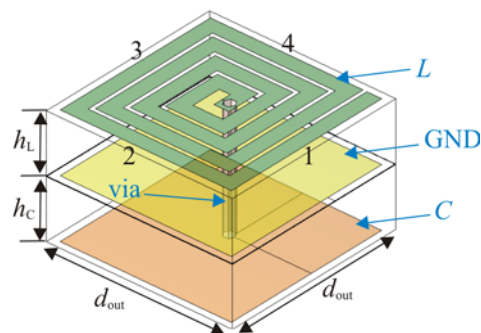
Наведени начини спрезања уводника и резонатора имају за посљедицу велики опсег добијених фактора

доброте што повећава флексибилност реализације филтра. Свако од тих рјешења је имало и неке компаративне недостатке као што су: највећи Q -фактор за прву реализацију, велики утицај на централну учестаност резонатора за другу реализацију и мања селективност при реализацији филтра другог реда у последњем случају.

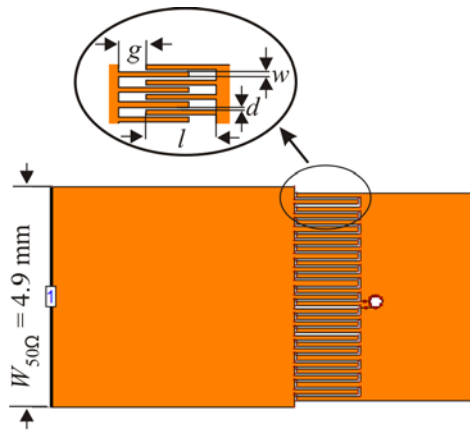
У овом раду биће предложен и анализиран интердигитални начин спрезања уводника и кондензатора вишеслојног резонатора.

II. РЕАЛИЗАЦИЈА РЕЗОНАТОРА И ИНТЕРДИГИТАЛНОГ СПРЕЗАЊА СА УВОДНИКОМ

На сл. 1 је приказан тродимензионални електромагнетски (3D EM) модел резонатора, а на сл. 2 предложени начин реализације интердигиталног спрезања. У нашем случају структура филтра се састоји од двије микротракасте структуре које су спојене са заједничком проводном равни. Заједничка централна проводна раван се користи као маса. Резонатор се састоји од три елемента: калема, кондензатора и вије. На једној страни вишеслојне структуре је одштампан калем у облику квадратне спирале, а на другој страни се налази кондензатор реализован као одсјечак микротракастог вода. Калем и кондензатор су спојени вијом која пролази кроз проводну раван, али је не додирује. Уводник је својим централним дијелом спрегнут са кондензатором у виду интердигиталне структуре.



Слика 1. 3D EM модел вишеслојног резонатора.



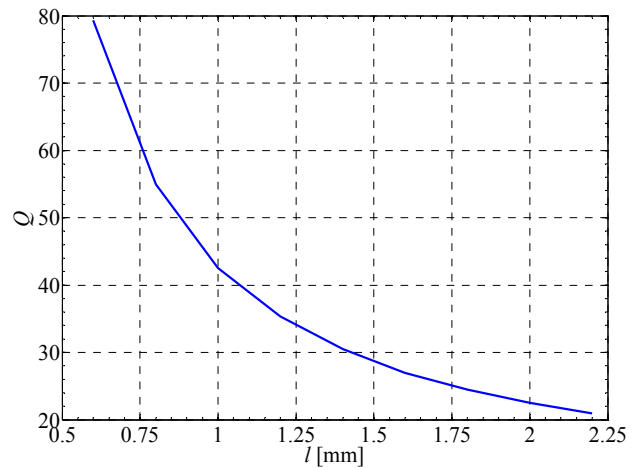
Слика 2. Начин остваривања капацитивне спреге уводника и резонатора.

Ширина уводника ($W_{50\Omega}=4.9\text{ mm}$) одговара карактеристичној импеданси вода од $50\ \Omega$. Кондензатор је у циљу спрезања модификован усијецањем жљебова одговарајуће ширине и дубине. Контролом димензија тих жљебова се контролише величина спреге уводника и резонатора као и фактор доброте. У овом истраживању изабрана је резонантна учестаност резонатора од 1.6 GHz , а коришћени супстрат је RT/duroid 5880 ($\epsilon_r=2.2$, $\text{tg}\delta=0.001$, $h=1.575\text{ mm}$, метализација дебљине $t=18\ \mu\text{m}$) и $h_L=h_C=h$. Ширина вода спирале калема је 0.4 mm , а растојање између проводника спирале је 0.1 mm . За задату спецификацију површина заузећа резонатора је $4.6\text{ mm}\times 4.6\text{ mm}$.

III. Q-ФАКТОР ОПТЕРЕЂЕНОГ РЕЗОНАТОРА

Спрега уводника са кондензатором резонатора реализована је интердигиталним спрезањем. На сл. 2 се види да је могуће независно подешавати: ширину прста w , ширина процјепца d , дужину прста l , удаљеност прста g , што даје велике могућности у подешавању фактора доброте. У сваком случају, таквим измјенама се димензије почетног кондензатора (са сл. 1) мијењају чиме се смањује његова капацитивност односно повећава резонантна учестаност резонатора. Међутим, утицај уводника са интердигиталним спрезањем је да повећава капацитивност, тако да он дјелује компензујуће на промјену резонантне учестаности. На крају у збиру немамо великих помјерања резонантне учестаности а уколико је потребно извршити додатно подешавање то се може постићи врло малим скраћивањем дужине калема. Ово је позитиван ефекат за разлику од друге реализације која је наведена у уводу гдје се мора прибијегавати великом скраћивању калема.

Детаљна анализа природе утицаја промјенивих димензија w , d , l и g на фактор доброте се може наћи у [4], [5]. У принципу, повећање спреге тј. смањење фактора доброте се постиже дужим прстима, мањим размаком између њих, већим бројем прстију и смањењем удаљености прстију, другим ријечима повећањем “контактне” линије између уводника и кондензатора.



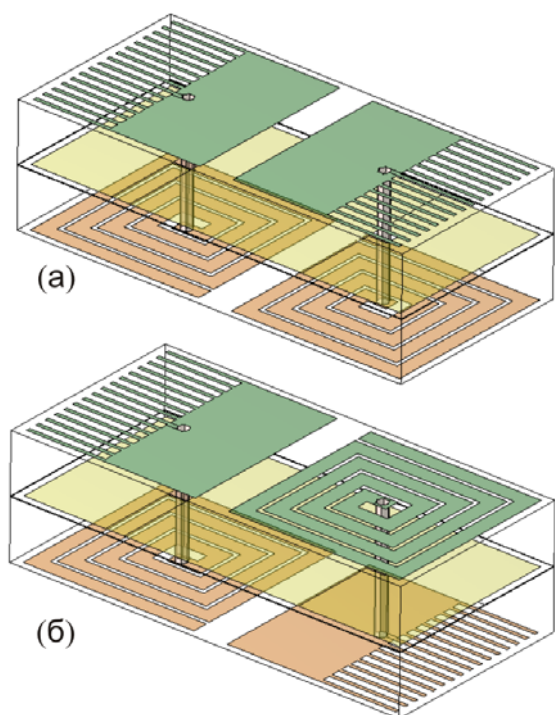
Слика 3. Q-фактор оптерећеног резонатора са интердигиталном капацитивном спрегом.

У раду су одабрани следећи параметри: $w=0.1\text{ mm}$, $g=d=0.05\text{ mm}$ док се дужина прстију l мијења у опсегу $0.6\text{--}2.2\text{ mm}$. За те димензије су на сл. 3 приказане вриједности Q-фактора добијене екстракцијом параметара [6] у зависности од дужине l . Фактор доброте неоптерећеног резонатора је око 120. Распон добијених вриједности Q-фактора оптерећеног резонатора је од 20–80. Минимална вриједност од 20 ће одредити максималну ширину опсега филтра пропусника опсега учестаности. Овим начином постигнуто је побољшање у односу на капацитивну спрегу уводника и калема [4], гдје је минимални постигнути фактор доброте износио 30.

IV. КОЕФИЦИЈЕНТ СПРЕГЕ ДВА РЕЗОНАТОРА

Када је ријеч о спрезању два резонатора могуће је извршити спрезање два сусједна калема на једној страни супстрата а два кондензатора на супротној страни. Могуће је вршити и мјешовито спрезање тако да калем једног резонатора буде у спрези са кондензатором другог на свакој страни структуре. Ове двије варијанте су приказане на сл. 4. Такође је могуће различито оријентисати калемове један према другом што директно утиче на вриједност спреге. Могуће их је позиционирати један према другом симетрично или асиметрично и усмјерити један према другом различитим сегментима калема.

Анализе су показале да се у првом случају (сл. 4а) постижу највеће вриједности коефицијената спреге и то до вриједности од 0.25 за случај асиметричне оријентације калемова. Друга варијанта (сл. 4б) има предност јер генерише нуле у преносној функцији. У раду је зато изабрана мјешовита спрега. У случају мјешовите спреге максимална вриједност коефицијената спреге за разматрани резонатор је 0.18 уколико су први сегменти калемова спрегнути са кондензатором и 0.14 ако су четврти сегменти калема спрегнути са кондензаторима. С обзиром да су резонатори најближе постављени у случају спреге на четвртном сегменту, та је варијанта разматрана у даљем раду.

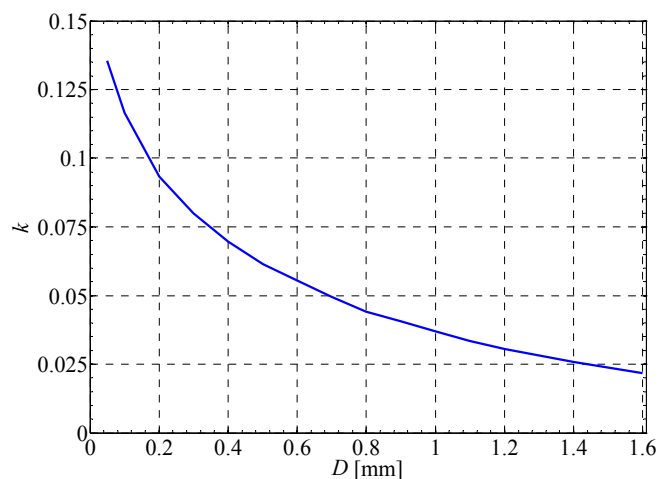


Слика 4. Спрега два резонатора: (а) обична и (б) мјешовита.

На сл. 5 је приказан коефицијент спреге (за изабрани случај) у зависности од удаљености два резонатора [6]–[8].

V. РЕАЛИЗАЦИЈА ФИЛТРА ДРУГОГ РЕДА

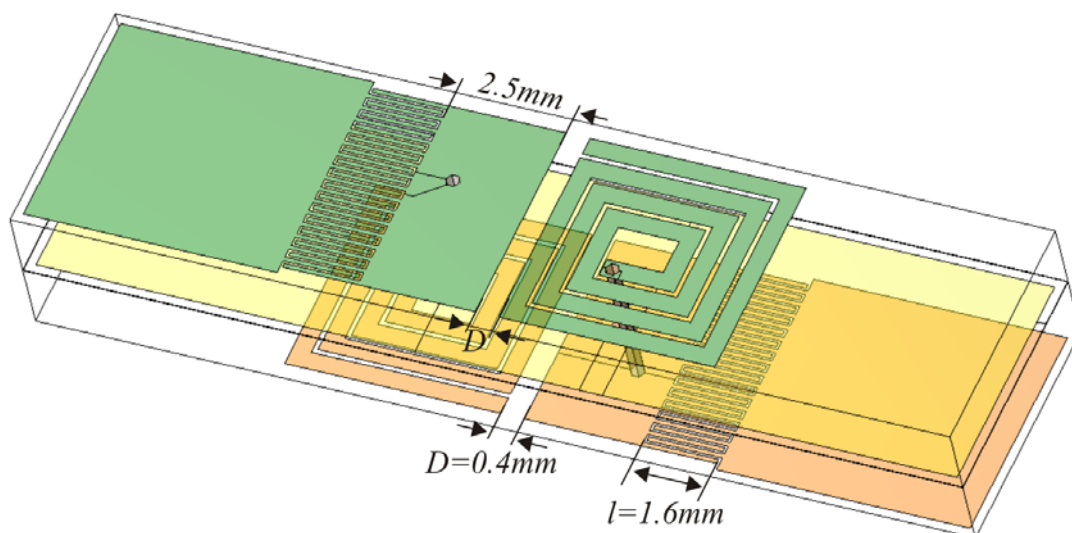
Усвајајући спрегу приказану на сл. 4.б пројектован је филтар пропусник опсега учестаности. Усвојени захтјеви су: централна учестаност 1.6 GHz, релативна ширина пропусност опсега 7%. Неопходно је да Q -фактор оптерећеног резонатора буде 25, а коефицијент спреге резонатора 0.06.



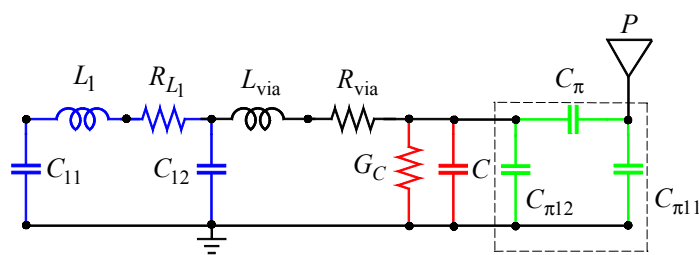
Слика 5. Коефицијент спреге два резонатора са сл.4.б.

VI. РЕАЛИЗАЦИЈА ФИЛТРА ДРУГОГ РЕДА

За задату спецификацију изабране су димензије за дужину чешљева $l = 1.6 \text{ mm}$ и удаљеност између два резонатора $D = 0.4 \text{ mm}$. На сл. 6 је приказан 3D ЕМ модел предложеног филтра, а на сл. 7 приближан еквиваленти модел резонатора са концентрисаним компонентама. Вриједности елемената на сл. 7, добијених екстракцијом, приказани су у табели 1. На сл. 8 приказано је поређење параметра S_{11} добијеног ЕМ симулацијом оптерећеног резонатора и еквивалентног кола са сл. 7. Овим је верификован еквивалентни модел резонатора. Када је ријеч о комплетном филтру било је неопходно извршити мало скраћивање дужине калема чиме је његова индуктивност смањена, те је на тај начин извршена компензација помјераја резонантне учестаности. Како је промјена дужине калема незнатна, мјерења су показала да је утицај скраћивања на фактор добротe и коефицијент спреге занемарљив.



Слика 6. 3D ЕМ модел филтра пропусника опсега учестаности за $f_0 = 1.6 \text{ GHz}$ и $FBW = 7\%$.



Слика 7. Еквивалентна мрежа оптерећеног резонатора са сл. 1.

ТАБЕЛА I. ВРИЈЕДНОСТ ПАРАМЕТАРА КОНЦЕНТРИСАНИХ КОМПОНЕНТИ ЗА ШЕМУ СА СЛ. 7.

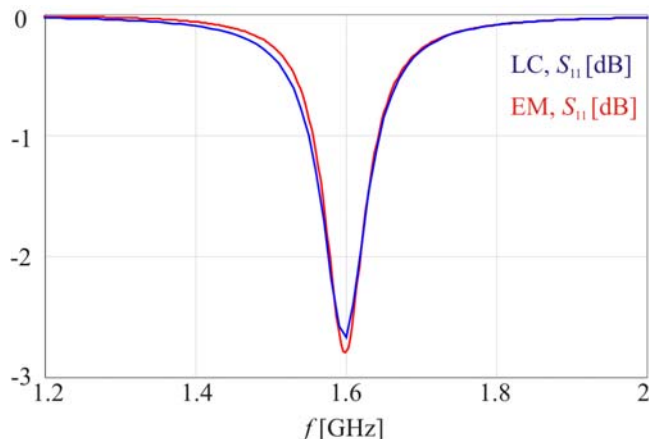
Калем		Кондензатор			Вија		
L_1 [nH]	R_{L1} [Ω]	C_{11} [pF]	C_{12} [pF]	C [pF]	G_c [μS]	L_{via} [nH]	R_{via} [Ω]
33	1.04	0.36	0.26	0.37	5.68	1.7	0.54

Интердигитални уводник		
C_π [pF]	$C_{\pi11}$ [pF]	$C_{\pi12}$ [pF]
0.87	0.065	0.076

Одзив пројектованог филтра добијен 3D ЕМ симулацијом приказан на сл. 9. За реализовани филтар добија се: централна учестаност филтра 1.6 GHz, 3dB ширина пропусног опсега 6.8 %, слабљење на централној учестаности 1.2 dB и повратно слабљење 18.6 dB. Слабљење је последица губитака у диелектрику и металу при чему губици у металу доминирају. Двије нуле преноса се налазе на учестаностима 1.45 GHz и 2.38 GHz. Коначне димензије овог филтра су 9.1 mm×4.6 mm (0.071 λ_g ×0.036 λ_g) без уводника.

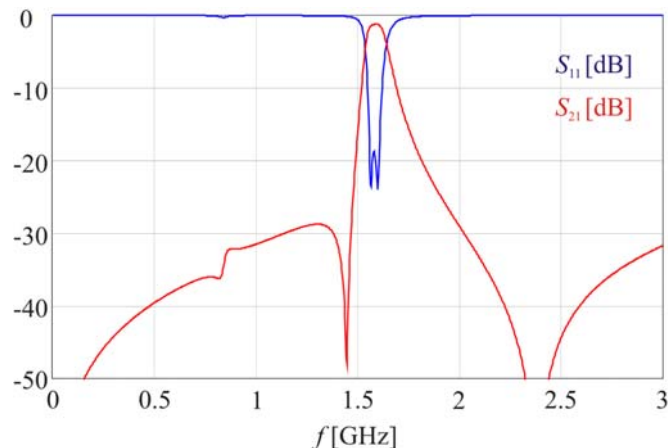
VII. ЗАКЉУЧАК

У раду је приказан нов начин капацитивног спрезања уводника и резонатора. При реализацији кориштена је вишеслојна техника. Спрега је реализована интердигиталним капацитивним спрезањем уводника и кондензатора резонатора како би се додатно повећала спрега.



Слика 8. Параметар S_{11} добијен симулацијом оптерећеног резонатора.

Овај начин спрезања има велику флексибилност због великих могућности подешавања спреге мијењањем димензија прстију. У раду је постигнута спрега која резултира минималним фактором доброте од око 20. У циљу верификације предложеног поступка спрезања реализован је филтар пропусник опсега, другог реда, са релативном ширином пропусног опсега од 7 %. Овим поступком је могуће повећати ширину пропусног опсега филтра без повећања заузећа површине штампане плочице.



Слика 9. S параметри предложеног филтра (са сл. 6) добијени 3D ЕМ симулацијом.

VIII. ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је делимично финансиран од Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру пројекта TR 32005.

IX. ЛИТЕРАТУРА

- [1] S.-C. Lin, C.-H. Wang, C. H. Chen, "Novel Patch-Via-Spiral Resonators for the Development of Miniaturized Bandpass Filters With Transmission Zeros," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 55, no. 1, pp. 137–146, Jan. 2007.
- [2] M. Potrebic, D. V. Tošić, "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] C.-H. Chen, C.-H. Huang, T.-S. Horng, S.-M. Wu, J.-Y. Li, C.-C. Chen, C.-T. Chiu, "Very Compact Stacked LC Resonator-Based Bandpass Filters With a Novel approach to Tune the Transmission Zeros," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters.*, vol. 19, no. 5, pp. 293–295, May. 2009.
- [4] D. Miljanović, M. Potrebic, D. V. Tošić, "Фактор доброте квази-концентрисаног вишеслојног резонатора са индуктивним уводником," in *Proc. 20th Telecommunications forum TELFOR 2012*, Belgrade, Serbia, Nov. 20–22, 2012, pp. 1139–1142.
- [5] D. Miljanović, M. Potrebic, D. Tošić, Z. Stamenković, "Feeder Realization for Quasi-lumped Multilayer Resonators with Low Q-factor," in *Proc. 11th WSEAS International Conference on Circuits, Systems, Electronics, Control & Signal Processing CSECS '12*, Montreux, Switzerland, December 29-31, 2012, pp. 63-68.
- [6] J.-S. Hong, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, New York: John Wiley & Sons, 2nd ed. 2011.
- [7] D. G. Swanson, "Narrow-band microwave filter design," *IEEE Microw. Magazine*, vol. 8, no. 5, pp. 105-114, 2007.

- [8] Đ. Mirković, D. Miljanović, M. Potrebić, D. V. Tošić, „Modelovanje mikrotalasnog filtra sa kvazi-koncentrisanim rezonatorima u softveru WIPL-D“, *Zbornik 56. konf. ETRAN*, Zlatibor, Srbija, 11–14 jun, 2012, MT2.6., str. 1–4.

ABSTRACT

In this paper we propose and analyze capacitive coupling of a feeder and the resonator capacitor for multilayer realization. The resonator is implemented as a double-sided microstrip structure in which two dielectric layers are separated by a common ground plane. The resonator consists of two quasi-lumped components: a spiral coil and a patch capacitor. The

paper proposes interdigital coupling between the feeder and the capacitor in order to achieve a greater coupling and a smaller footprint. Intedigital coupling increases the coupling coefficient and decreases the loaded quality factor. The proposed coupling method is verified by realization a second order bandpass filter.

MULTILAYER BANDPASS FILTER WITH A CAPACITIVELY COUPLED FEEDER

Dejan M. Miljanović,
Milka M. Potrebić,
Dejan V. Tošić