

Нов лабораторијски прототип: Лабораторијски прототип вишеслојног микроталасног филтра са минималном имплементационом површином

Руководилац пројекта: Антоније Ђорђевић

Одговорно лице: Дејан Тошић

Аутори: Милка Потребих, Дејан Тошић, Антоније Ђорђевић, Бранко Колунџија, Милан Илић, Драган Олћан, Миодраг Тасић

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-11021

Година: 2008-10.

Примена: 01. 09. 2010.

Кратак опис

Развој новог лабораторијског прототипа једне класе микроталасних филтара уског пропусног опсега са оптималним резонаторима облика укоснице (hairpin) штампаним у више слојева, који имају малу површину заузећа (footprint) и занемарљиве спреге између несуседних проводника.

Техничке карактеристике:

Реализован је нов лабораторијски прототип микроталасног филтра, уског пропусног опсега, који је направљен у вишеслојној штампаној техници. Специфицирана централна учестаност филтра је 2 GHz, а пропусни опсег је 5% централне учестаности. Избором облика резонатора (модификовани пресавијени резонатор-укосница) у вишеслојној техници, као и оптимизацијом димензија резонатора, направљен је филтар веома малог габарита на подлози Rogers RO4003C. Филтар је четвртог реда. Номинално унето слабљење филтра у пропусном опсегу је 3,5 dB. Подлога има декларисану релативну пермитивност $\epsilon_r = 3,38$, тангенс угла губитака $\text{tg } \delta = 0,0021$ (на $f = 2,5 \text{ GHz}$) и дебљину $h = 0,508 \text{ mm}$. Дебљина метализације је $t = 36 \mu\text{m}$.

Техничке могућности:

Реализовани лабораторијски прототип може се интегрисати у микроталасни уређај у комуникационим системима, радарским системима, сателитским системима, итд. Основна намена филтра је да раздвоји фреквенцијски блиске сигнале, а да при томе импулсни одзив буде локализован у времену. То омогућава да пријемник квалитетније може детектовати улазни сигнал.

Реализатор:

Електротехнички факултет у Београду

Корисници:

WIPL-D као основни корисник који укључује резултат у своју комерцијалну понуду консалтинга и дизајна микроталасних кола и антена.

Подтип решења:

Нов прототип (M85)

Стање у свету

Пројектовање микроталасних филтара је још увек актуелна област савремене микроталасне технике, што показују и два посебна издања реномираног стручног часописа [1], [2] посвећена микроталасним филтрима и једна скорашња монографија о напредном пројектовању микроталасних филтара [3]. Микроталасни филтри постоје у практично свим сложенијим уређајима комуникационих и радарских система. У расположивој литератури није нађен ниједан предлог лабораторијског прототипа микроталасног филтра, реализованог у вишеслојној планарној техници, који истовремено узима у обзир селективност амплитудске карактеристике и локализованост импулсног одзива.

Опис

Један од захтева при пројектовању савремених филтара подразумева задовољење карактеристика и у фреквенцијском, и у временском домену. Код система код којих је потребно раздвојити фреквенцијски блиске сигнале, јавља се потреба за филтрима са ужим пропусним опсезима и великом селективношћу, што може проузроковати изобличење одзива у временском домену. За такве примене је од интереса да импулсни одзив буде локализован у времену, што омогућава квалитетнију детекцију улазних сигнала пријемника. Општа тенденција за смањивањем димензија преносивих и других комуникационих уређаја имплицира потребу за смањивањем величине RF и микроталасних подсистема. То значи да је потребно минијатуризovati и поједине склопове ових подсистема, као што су микроталасни филтри.

Као резултат наставка истраживања започетих у претходним фазама пројекта [4], у којима је разматран класичан микротракасти филтар са резонаторима-укосницама, у овом техничком решењу се разматра нов лабораторијски прототип микроталасног филтра који се реализује у вишеслојној техници. лабораторијски прототип је утемељен на методи изложеној у техничком решењу [5] и алгоритму изложеном у техничком решењу [6].

Метода изложена у техничком решењу [5] може се сажето формулисати на следећи начин:

(1) прво пројектовати оптималан једнослојни филтар реализован као микротракаста структура са поклопцем,

(2) пресавијањем резонатора реализовати вишеслојни филтар као структуру са поклопцима на обе стране,

(3) при модификацији једнослојног филтра у вишеслојни очувавају се дужине кракова, ширине кракова и ширине процепа, а редизајнира се спој кракова.

У циљу јасног и једнозначног референцирања на различите структуре филтара, у овом истраживању користимо следеће називе:

микротракасти филтар са укосницама – филтар реализован у техничком решењу [4],

једнослојни поклопљени филтар са укосницама – полазни једнослојни филтар [5] [6],

савијени вишеслојни поклопљени филтар – циљни вишеслојни филтар [5] [6].

1. Спецификација филтра

Филтар има следеће спецификације:

Ред филтра: $N = 4$.

Апроксимација: Rhodes-ова [7].

Централна учестаност: $f_0 = 2 \text{ GHz}$.

Релативна ширина пропусног опсега 3 dB: $b = 0,05$; 5%. (Ширина пропусног опсега: $\Delta f = 100 \text{ MHz}$.)

Номиналне импедансе приступа: $Z_0 = 50 \Omega$.

Највеће унето слабљење: $A_0 = 3,5 \text{ dB}$.

Најмање прилагођење у пропусном опсегу: 12 dB.

Подлога (супстрат): Rogers RO4003C.

За потребе симулације, подлога је описана следећим параметрима:

релативна пермитивност диелектрика $\epsilon_r = 3,6$,

дебљина супстрата $h = 0,508 \text{ mm}$,

тангенс угла губитака $\text{tg } \delta = 0,0021$ (на $f = 2,5 \text{ GHz}$),

дебљина металације бакарних проводника $t = 36 \mu\text{m}$,

мера површинских неравнина $h_{\text{RMS}} = 2,4 \mu\text{m}$,

проводност бакра $\sigma_{\text{Cu}} = 14 \text{ MS/m}$ да би се у обзир узели и губици услед површинских неравнина.

Висина поклопца подлоге, рачуната од површи диелектрика, је $h_u = 0,75 \text{ mm}$.

Уводници се постављају паралелно резонаторима ради компактности реализације.

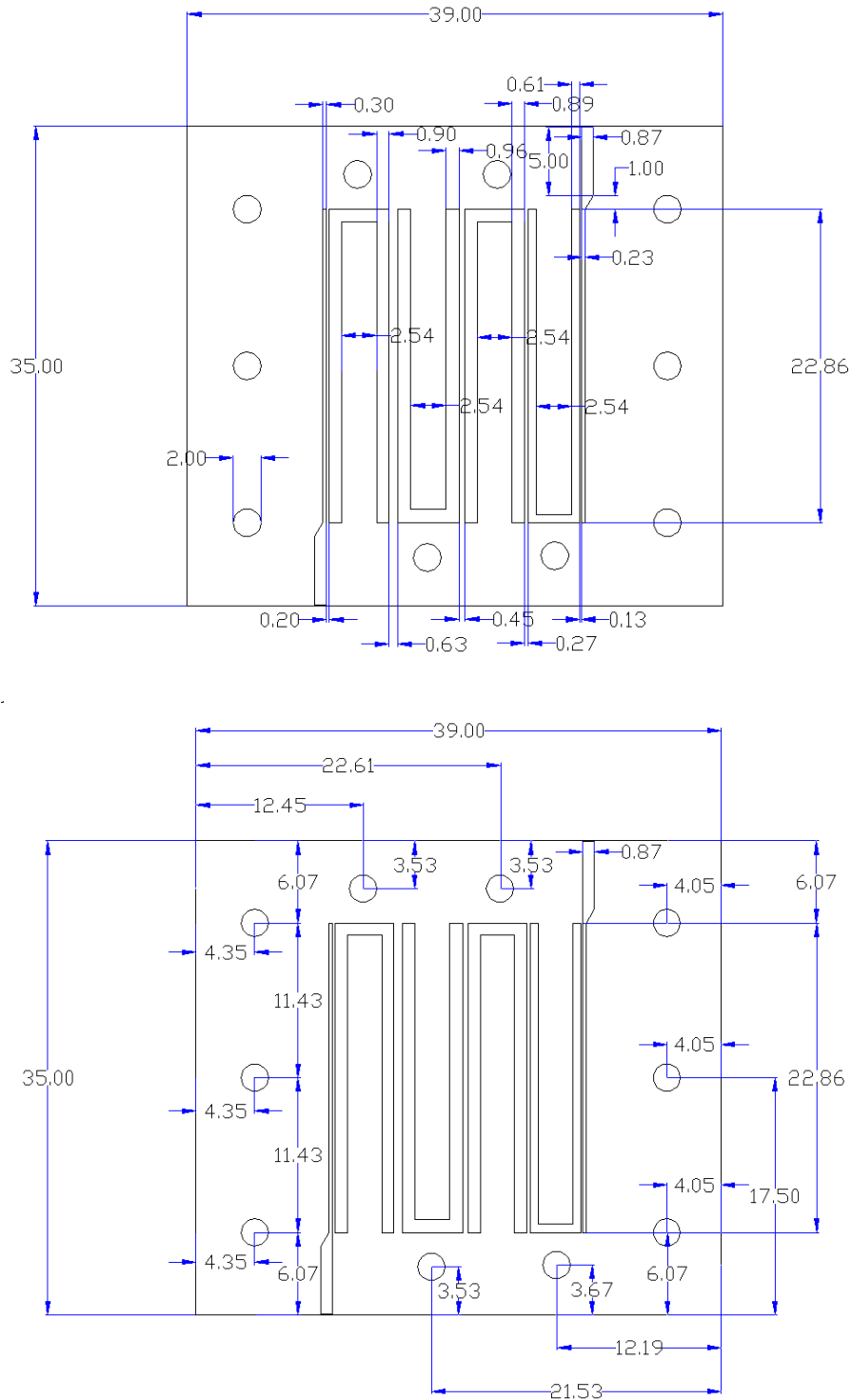
Конектори су SMA.

2. Пројектовање филтра

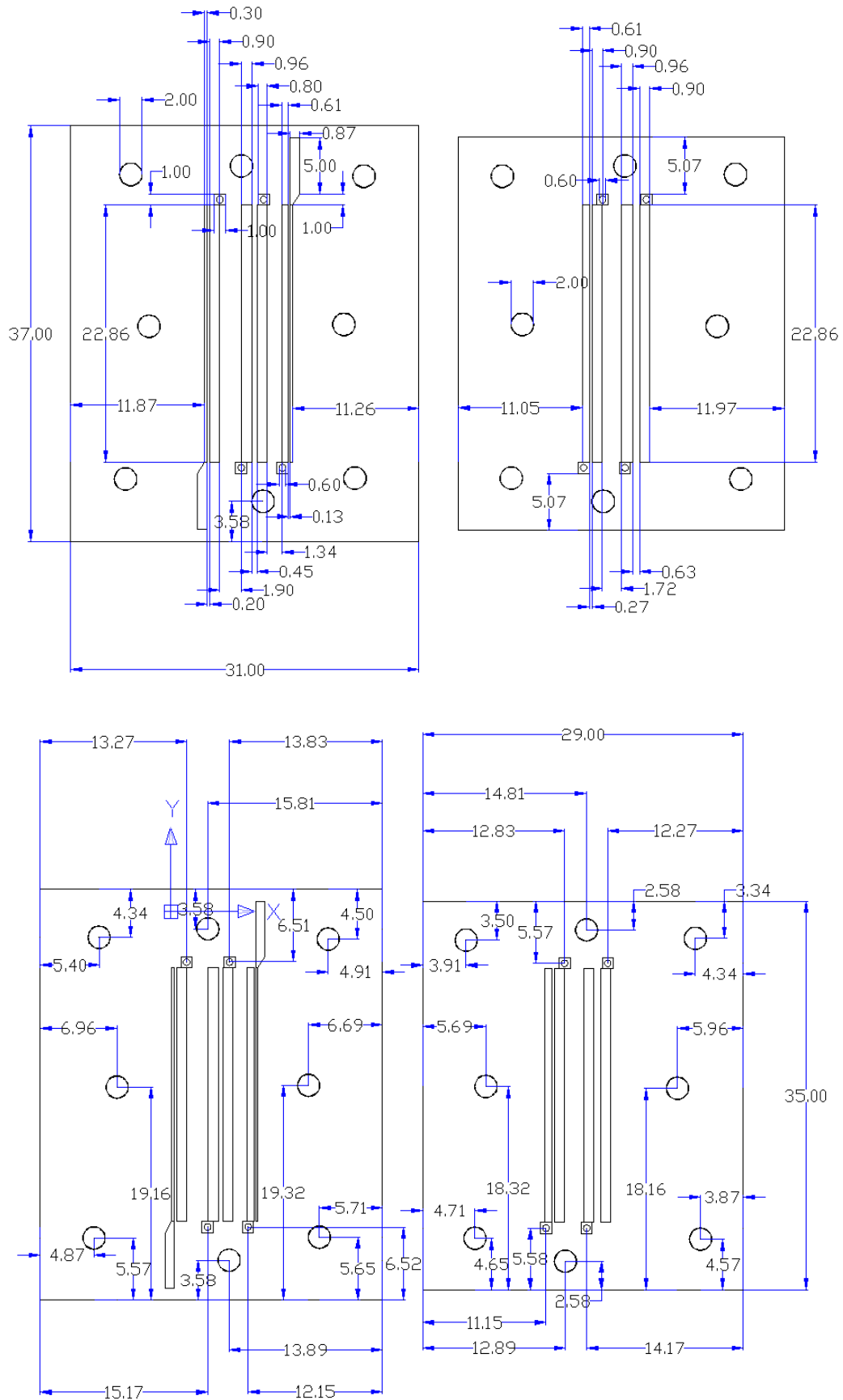
На основу радних кривих и табела алгоритма [6] одређене су оптималне вредности димензија једнослојног поклопљеног филтра са укосницама, слика 31 у [6]. На основу оптималног једнослојног поклопљеног филтра са укосницама добијене су димензије савијеног вишеслојног поклопљеног филтра, који је приказан на слици 34 у техничком решењу [6].

Скица штампане плочице једнослојног поклопљеног филтра са укосницама је приказана на слици 1.

Скица штампаних плочица савијеног вишеслојног поклопљеног филтра је приказана на слици 2.

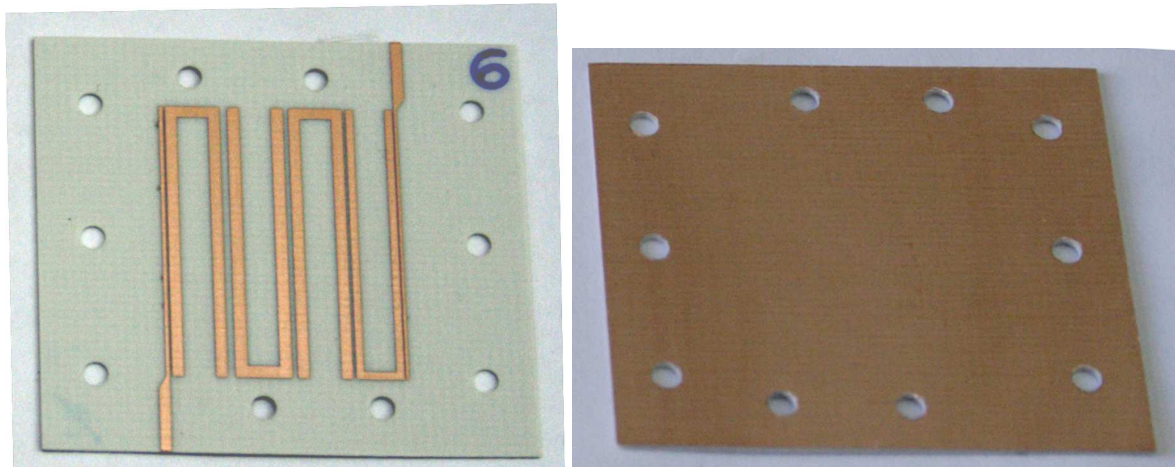


Слика 1. Скица штампане плочице оптималног једнослојног поклопљеног филтра са укосницама. Кружићи у угловима представљају рупе за завртње М2 којима се плочица спаја са поклопцем.

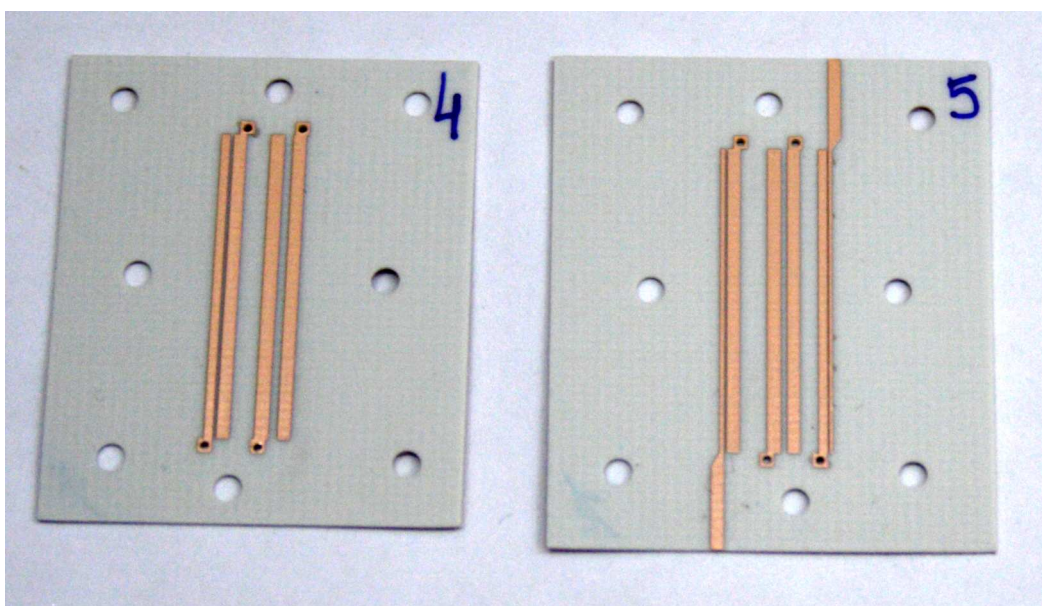
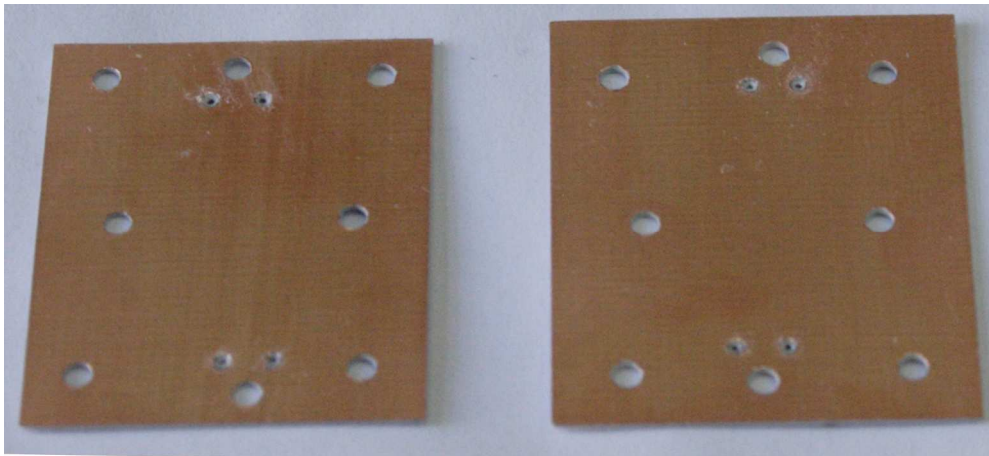


Слика 2. Скица штампаних плочица савијеног вишеслојног поклопљеног филтра. Кружићи у угловима представљају рупе за завртње M2 којима се плочице спајају маса-на-масу.

Мокрим поступком (нагризањем метала киселином – ецовањем) направљене су штампане плочице једнослојног поклопљеног филтра са укосницама (слика 3) и савијеног вишеслојног поклопљеног филтра (слика 4).

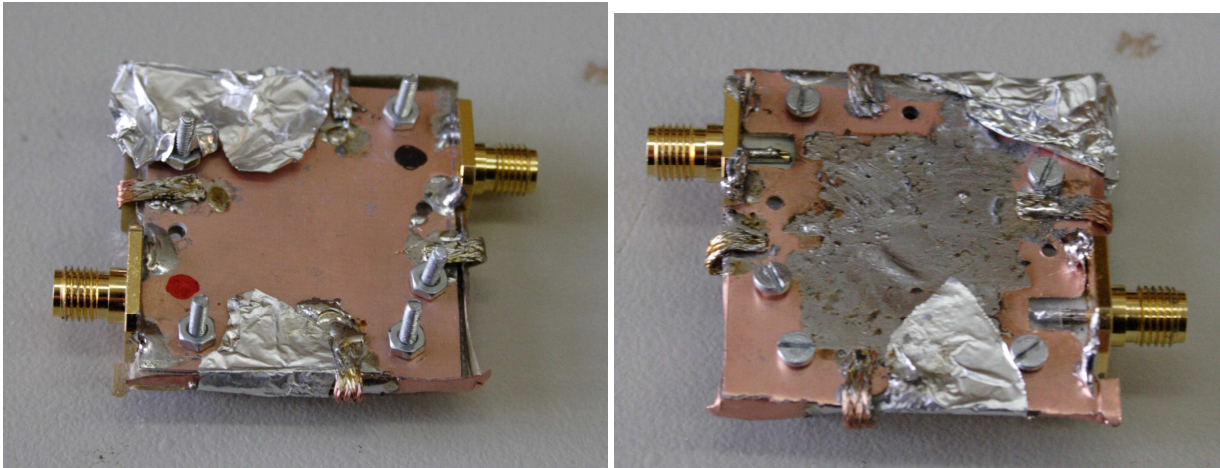


Слика 3. Штампана плочица једнослојног поклопљеног филтра са укосницама. Кружићи у угловима представљају рупе за завртње M2 којима се плочица спаја са поклопцем.

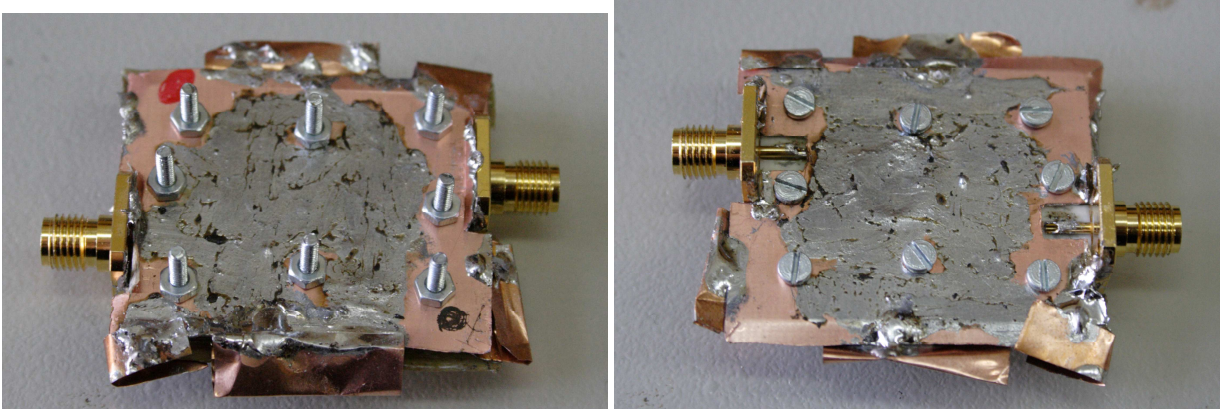


Слика 4. Скица штампаних плочица савијеног вишеслојног поклопљеног филтра. Кружићи у угловима представљају рупе за завртње M2 којима се плочице спајају маса-на-масу.

Фотографије лабораторијског прототипа филтара су приказана на сликама 5 и 6.

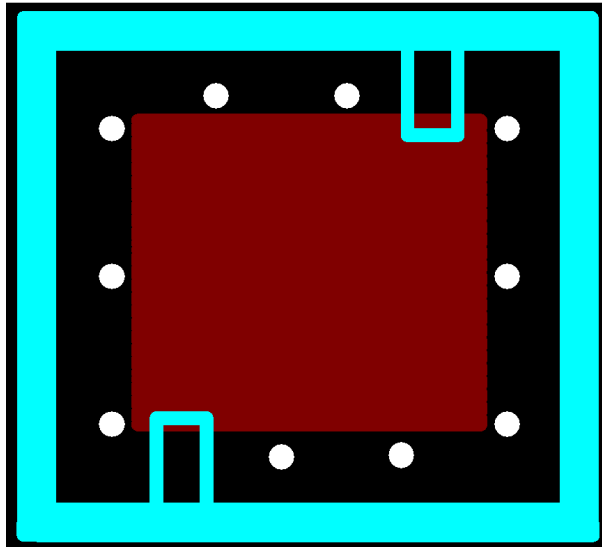


Слика 5. Лабораторијски прототип једнослојног поклопљеног филтара са укосницама. Филтар је асиметричан, па су приступи обележени. Црвена тачка је поред приступа 1, а црна поред приступа 2.

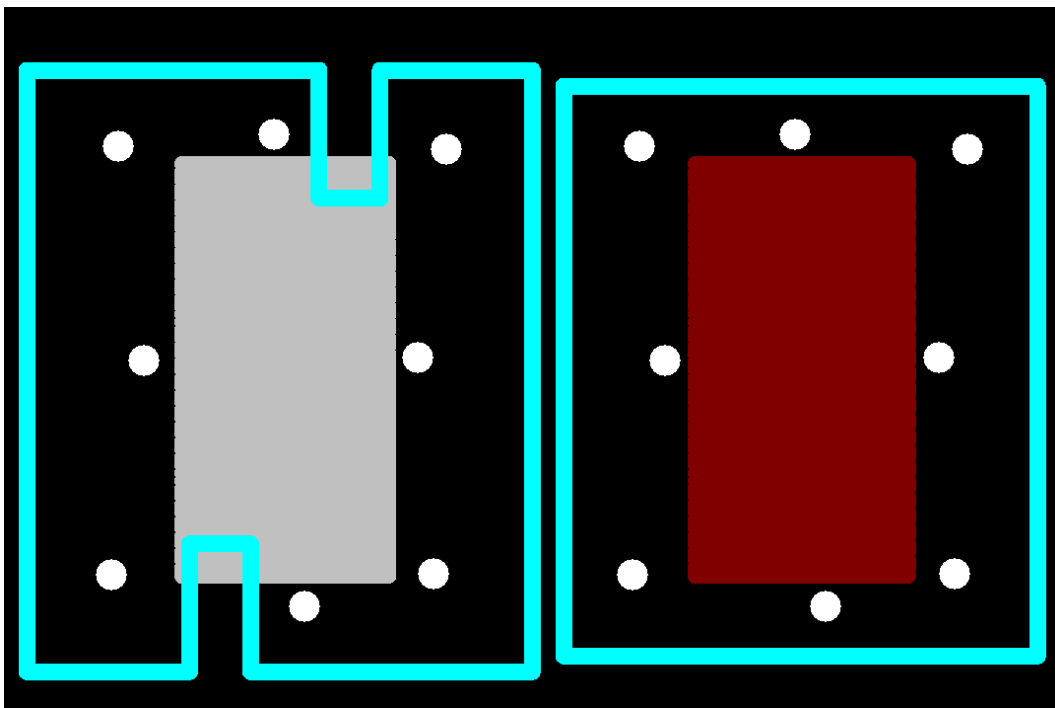


Слика 6. Лабораторијски прототип савијеног вишеслојног поклопљеног филтара. Филтар је асиметричан, па су приступи обележени. Црвена тачка је поред приступа 1, а црна поред приступа 2.

Поклопци за филтре су израђени од супстрата FR-4, дебљине 0,85 mm, релативне пермитивност 4,4 и тангенса угла губитака 0,02, на чијој једној страни је бакарна фолија дебљине 18 μm . Диелектрик је на одговарајућим местима уклоњен глодањем. На основу димензија са слика 1 и 2, направљен је у програму *Design Pro* [8], модул *Easy CAD*, опис плочица за глодалицу (машинску обраду), слике 7 и 8.



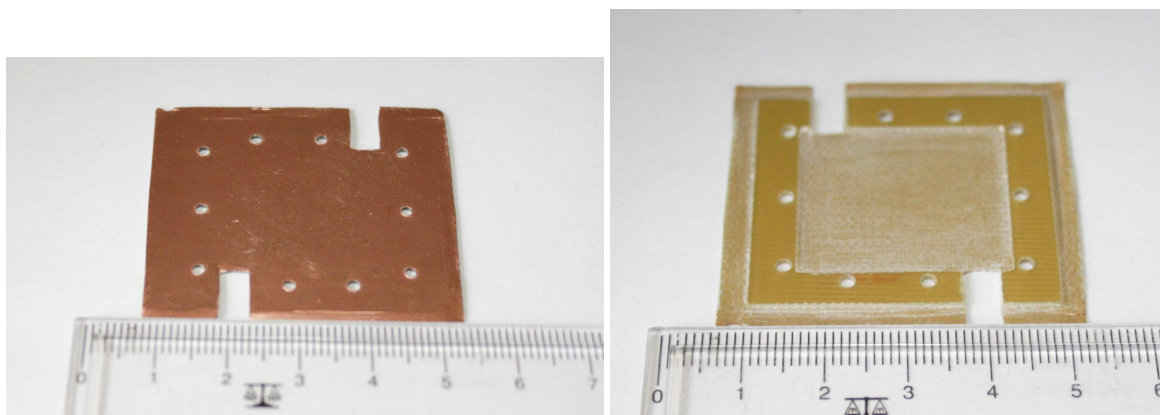
Слика 7. Опис плочице-поклопаца за глодалицу (машинску обраду) једнослојног поклопљеног филтра са укосницама.



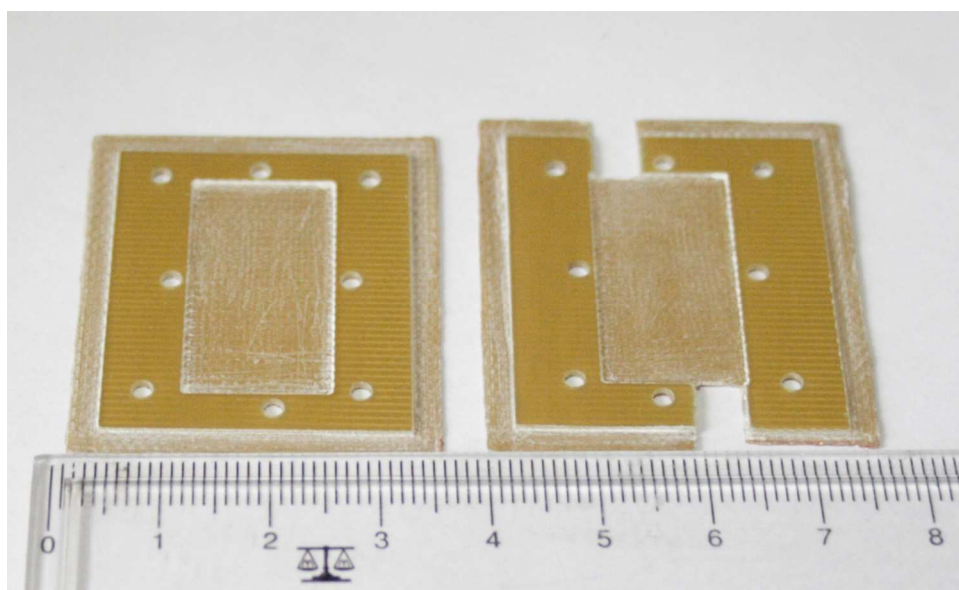
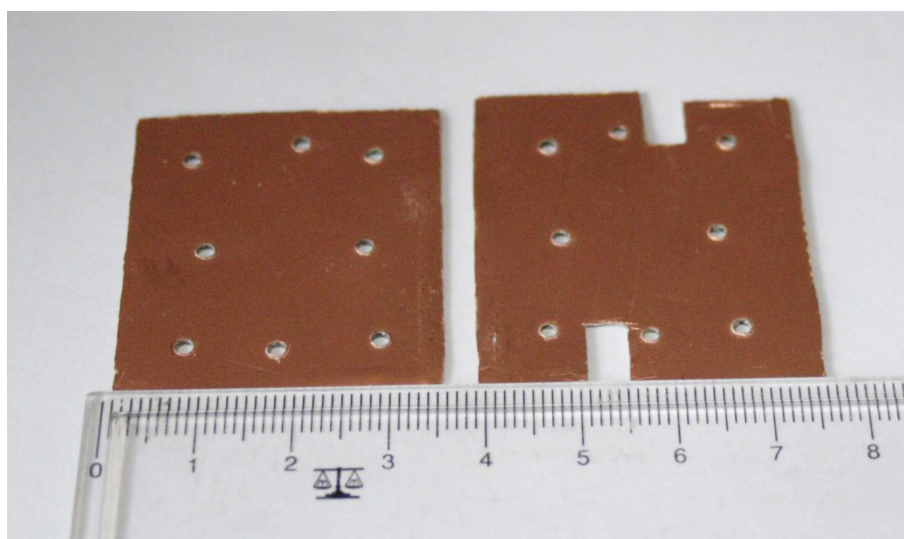
Слика 8. Опис плочице-поклопаца за глодалицу (машинску обраду) савијеног вишеслојног поклопљеног филтра.

На основу описа са слика 7 и 8, приступљено је реализацији поклопаца. Поклопци су израђени глодалицом за израду штампаних кола *FP-21TP Precision* произвођача *MITS Electronics* [9]. Резолуција машине *FP-21TP* је 50 μm (минимална ширина процепа, односно минимална ширине траке).

Поклопци лабораторијског прототипа филтара приказани су на сликама 9 и 10.



Слика 9. Плочница-поклопац једнослојног поклопљеног филтра са укосницама.

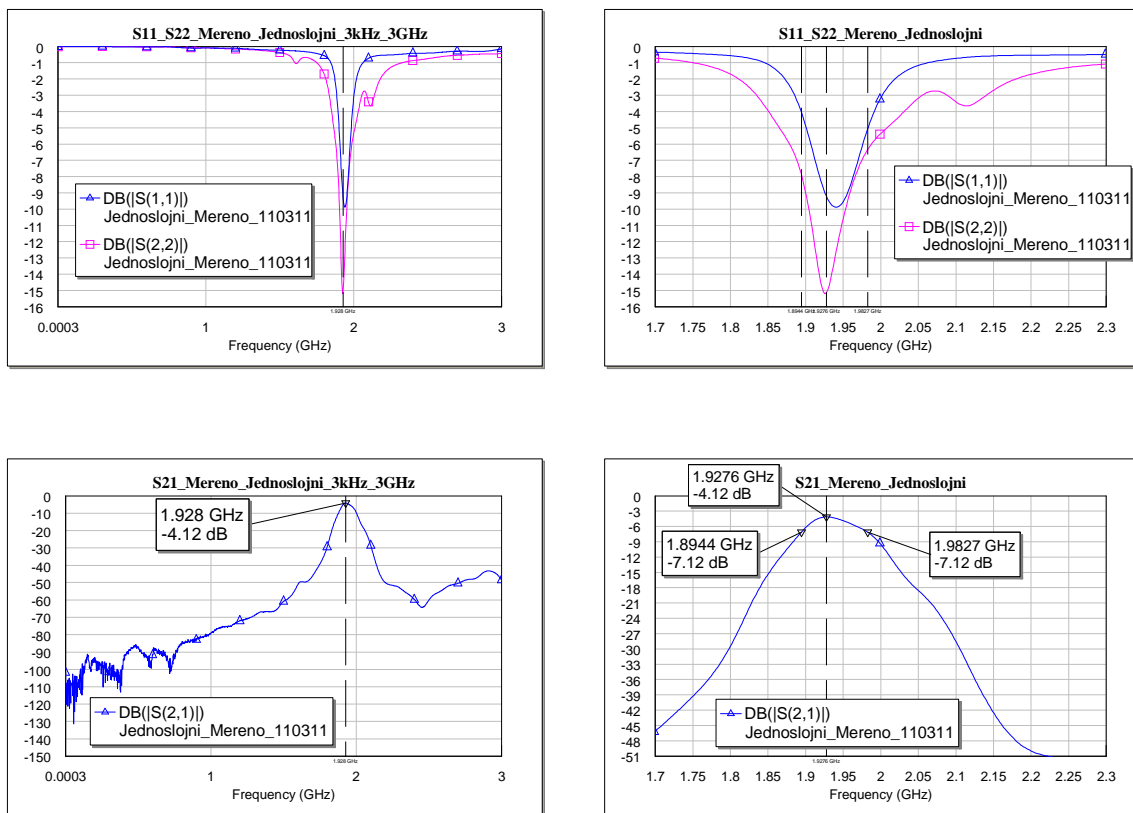


Слика 10. Плочице-поклопци савијеног вишеслојног поклопљеног филтра.

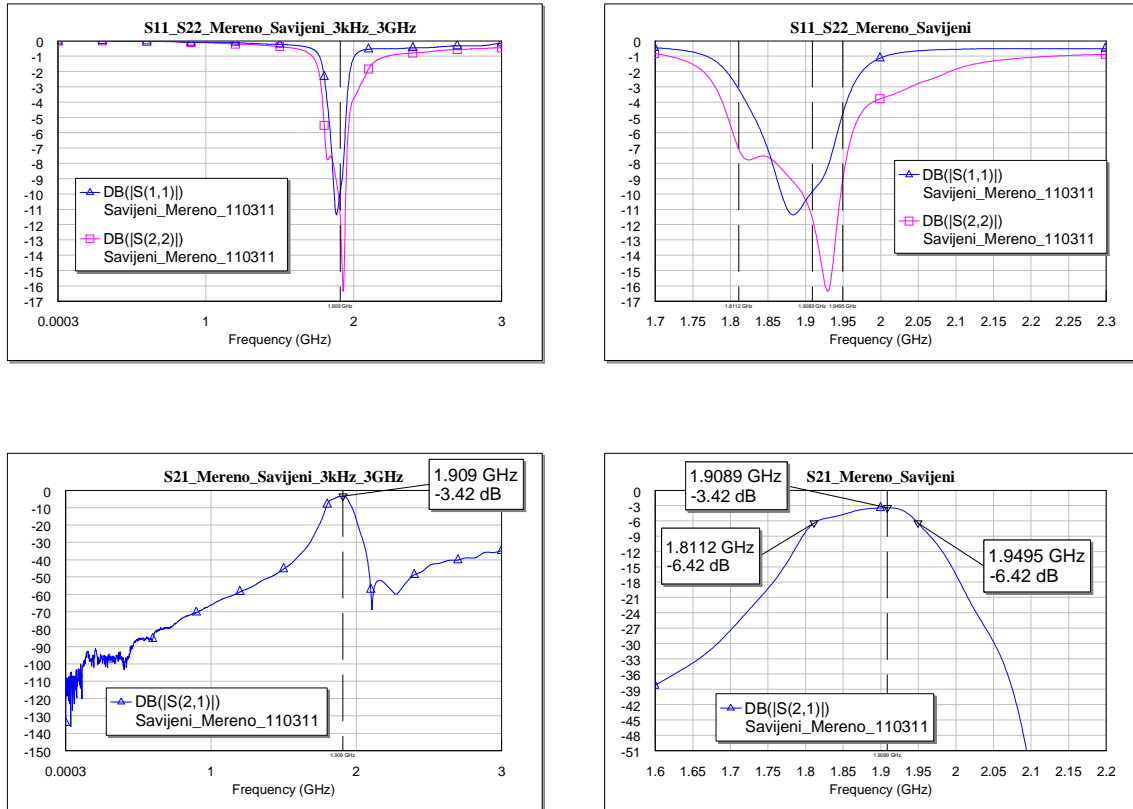
Димензије реализованог филтра су премерене да би се утврдило да ли оне одговарају пројектованим вредностима. Највеће уочено одступање на плочицама израђеним мокрим поступком је 0,005 mm. Премеравањем плочица-поклопаца је утврђено да је висина поклопаца већа од пројектоване, 0,83 mm за једнослојни, а 0,85 mm за савијени филтар. Утврђено је да се на поклопцу налази (нежељени) слој диелектрика. Дебљина овог слоја је мерена милиметарским завртњем у пет тачака, у средини и у хошковима, а усвојена је дебљина 0,4 mm.

3. Експериментални резултати

Измерени параметри расејања лабораторијских прототипова филтара су приказани на сликама 11 и 12. Мерења су извршена анализатором мрежа Agilent E5062A произвођача Agilent Technologies [10]. Извршена је 2-портна калибрација калибрационим китом 85052A у пуном фреквенцијском опсегу уређаја од 300 kHz до 3 GHz. Пропусни опсег међуфреквенцијског појачавача ј подешен на 3 kHz. Снага побуде је подешена на 10 dBm. Фактор усредњавања је подешен на 10x.

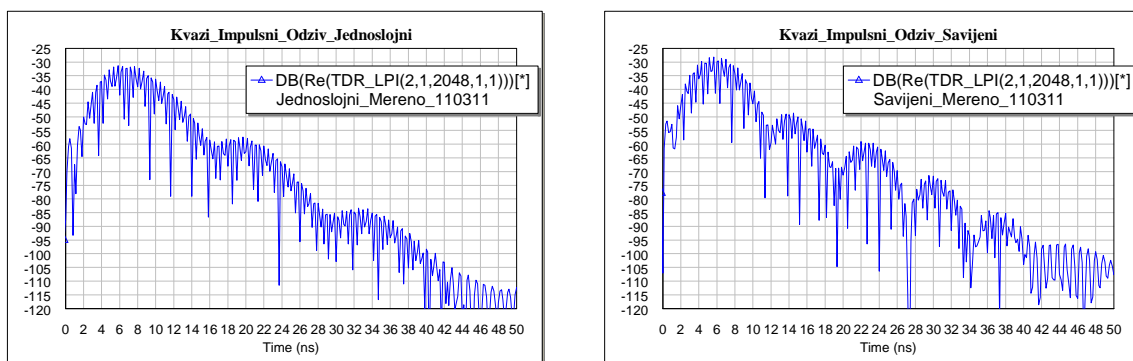


Слика 11. Измерени параметри расејања лабораторијског прототипа једнослојног поклопљеног филтра са укосницама.



Слика 12. Измерени параметри расејања лабораторијског прототипа савијеног вишеслојног поклопљеног филтра.

На основу измерених параметара расејања у фреквенцијском домену, применом инверзне Фуријеове трансформације, израчунат је квази-импулсни одзив филтра (одзив филтра на побуду добијену филтрирањем Дираковог импулса помоћу идеалног филтра пропусника ниских учестаности). Гранична учестаност идеалног филтра је таква да обухвата спектар сигнала релевантан за микроталасни уређај у који се филтар уграђује, односно да обухвата целокупан фреквенцијски опсег који је доступан за мерења, а тиме и за верификацију карактеристика филтра. На слици 13 приказан је квази-импулсни одзив филтра за граничну учестаност 3 GHz, који је израчунат из измерених параметара растојања.



Слика 13. Квази-импулсни одзив израчунат из измерених параметра расејања.

Експериментални резултати добијени мерењем показују следећа одступања у односу на спецификацију и резултате симулације [6]:

- (1) Централна учестаност је мања од пројектоване за око 100 MHz (померена за око 5% у лево).
- (2) Пропусни опсег једнослојног филтра је ужи за око 12 MHz.
- (3) Пропусни опсег савијеног филтра је шири за око 38 MHz.
- (4) Унето слабљење једнослојног филтра је веће за око 0,6 dB.
- (5) Унето слабљење савијеног филтра је мање за око 0,1 dB.
- (6) Квази-импулсни одзив је већи.

Уочена одступања се могу објаснити (1) присуством (нежељеног) слоја диелектрика на поклопцу, (2) повећаном висином поклопца, (3) угибањем поклопца услед шрафљења, (4) реализацијом вија помоћу жица, (5) осетљивошћу оклапања и обезбеђивања потребних спојева поклопаца и маса, као и (6) разликом релативне пермитивности употребљеног супстрата и вредности у симулацији.

Улазни параметри расејања су различити, а то је у складу са чињеницом да је филтар несиметричан.

У пројектовању овог прототипа су претпостављене једнаке ширине кракова резонатора и није разматрана оптимизација структуре у којој су дужине кракова различите.

Литература

- [1] "Focus on Filters", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 8, no. 2, April 2007.
- [2] "All the World is a Filter", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 8, no. 5, Oct. 2007.
- [3] P. Jarry and J. Beneat, *Advanced Design Techniques and Realizations of Microwave and RF Filters*, Wiley, 2008.
- [4] М. Потребих, А. Ђорђевић, Д. Тошић, „Лабораторијски прототип микроталасног филтара”, техничко решење, фаза 6, активност 23, пројекат ТР-11021, 2009.
- [5] М. Потребих, Д. Тошић, А. Ђорђевић, Б. Колунџија, В. Петровић, М. Николић, „Развој нове методе за пројектовање вишеслојних микроталасних филтара са минималном имплементационом површином”, техничко решење, фаза 9, активност 31, пројекат ТР-11021, 2010.
- [6] М. Потребих, Д. Тошић, А. Ђорђевић, Б. Колунџија, М. Илић, Д. Олћан, „Развој новог алгоритма за пројектовање вишеслојних микроталасних филтара са минималном имплементационом површином”, техничко решење, фаза 9, активност 32, пројекат ТР-11021, 2010.
- [7] J. D. Rhodes, "Prototype filters with a maximally flat impulse response", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 17, no. 4, pp. 421–427, 1989.
- [8] *Design Pro*, software for *CB Prototyping machine MITS FP-21TP Precision*, MITS Electronics, <http://www.mitspcb.com/>, Tokyo, Japan.
- [9] *PCB Prototyping machine MITS FP-21TP Precision*, MITS Electronics, <http://www.mitspcb.com/>, Tokyo, Japan.
- [10] *Agilent ENA-L RF Network Analyzer E5062A*, Agilent Technologies, <http://www.home.agilent.com/>, Santa Clara, CA, USA.

Лабораторијски прототип је развијен на Електротехничком факултету у Београду у оквиру текућег пројекта бр. ТР-11021 код Министарства за науку и технолошки развој

Штампано децембра 2010.