

Оптимизација израде микроталасних штампаних кола глодањем

Антоније Р. Ђорђевић, Драган И. Олћан и Аленка Г. Зајић

Анстракт — Приказан је утицај глодања на особине штампаних микроталасних кола. Предложена је оптимизација процеса производње тако што се остављају велики пасивни делови металације на плочици. Пасивни делови се димензионишу са циљем да се минимизира употреба алата, а да се при томе очувају перформансе микроталасног кола.

Кључне речи — паразитне резонанције, штампана микроталасна кола.

I. Увод

ПРОИЗВОДЊА микроталасних штампаних кола механичким уклањањем вишка металације (глодањем) омогућава врло брзу израду плочица, типично реда неколико часова. Због тога се ова метода често користи у процесу развоја и пројектовања микроталасних кола, нарочито када је од интереса што брже произвести прототип. Међутим, глодање доводи до специфичних промена физичке структуре и перформанси кола, о чему је потребно водити рачуна.

Ради смањења времена производње и продужетка радног века алата за глодање, од интереса је смањити површину металације коју је потребно уклонити. Такође, неуклоњене металоване површи („острва“ металације) омогућавају прецизније управљање алатом за глодање, јер на местима где нема металације, смањују елевацију алата, а то уноси грешку у процес израде. Са друге стране, велика острва на штампаним микроталасним колима утичу на параметре микроталасних водова и других елемената кола. Такође, острва образују резонаторе чије резонантне учестаности могу бити у радном фреквенцијском опсегу кола и тиме знатно променити карактеристике кола у односу на пројектоване [1].

Основни циљ овог рада је одређивање смерница за пројектовање микроталасних штампаних кола тако да се уклони минимална количина металације, а при томе минимизира утицај остављених острва на

Истраживање приказано у овом раду је делимично финансирано од стране Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, у оквиру пројекта TR 11021, од стране COST IC0603, и у оквиру пројекта F-133 Српске академије наука и уметности.

Антоније Р. Ђорђевић и Драган И. Олћан раде на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, Булевар Краља Александра 73, 11120 Београд, Србија (телефон: 381-11-3218329; e-mail: edjordja@etf.rs, olcan@etf.rs).

Аленка Г. Зајић ради на School of Computer Science, Georgia Institute of Technology, Atlanta GA 30332, USA.

перформансе кола. Резултати симулације и мерења, приказани у раду, показују да је утицај острва практично занемарљив уколико је растојање између делова кола и острва довољно велико. При томе, радни опсег учестаности кола мора бити испод прве резонантне учестаности острва. Повећање најниже резонантне учестаности острва постиже се тако што се смањују њихове физичке димензије. Ово се технички лако остварује прављењем уских процепа између великих острва. Да бисмо потврдили предложени концепт, пројектовали смо и направили микротракасти филтар са спрегнутим полуталасним резонаторима и упоредили симулиране и измерене карактеристике.

У другом одељку овог рада представљене су смернице за смањивање утицаја остављених металних острва. У трећем одељку приказани су резултати прорачуна и мерења микротракастог филтра са спрегнутим резонаторима који је пројектован у складу са предложеним смерницама.

У свим нумеричким и експерименталним примерима у раду користили смо подлогу Rogers 4003, дебљине $h = 0,508 \text{ mm}$ (20 mil), са металацијом дебљине $t = 35 \mu\text{m}$. Номинална релативна пермитивност супстрата на 10 GHz је 3,38 [2]. Међутим, и сам произвођач за пројектовање сугерише коришћење веће релативне пермитивности. Вредност предложена у [2] је 3,55. У раду [3] су коришћене вредности 3,55 за подлогу дебљине 60 mil, односно 3,63 за подлогу дебљине 20 mil. Измерена релативна пермитивност у раду [4] за подлогу дебљине 8 mil је 3,75. Наша процена, на основу експерименталних резултата, за подлогу дебљине 20 mil, је 3,7 и та вредност је коришћена у свим прорачунима. Сматрали смо да је тангенс угла губитака 0,002 на учестаности 1 GHz. Површинске неравнине металације узете су у обзир кроз ефективно смањење специфичне проводности бакра на 23 MS/m.

Прототипови микроталасних штампаних кола коришћених за мерења у овом раду израђени су глодалицом MITS чија је резолуција 50 μm [5]. Параметри расејања (s -параметри) измерени су анализатором мрежа Agilent E5062A [6]. Оба уређаја припадају Лабораторији за микроталасну технику Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

II. МИНИМИЗАЦИЈА МЕТАЛИЗАЦИЈЕ КОЈА СЕ УКЛАЊА

У циљу смањења времена потребног за производњу микроталасних штампаних кола и смањења хабања алата, од интереса је оставити што је могуће веће металзоване површи нетакнутим.

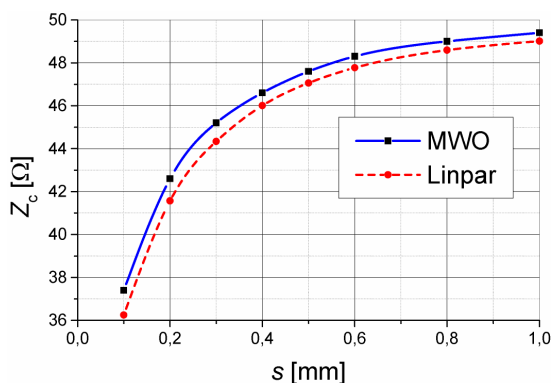
Ради илустрације утицаја острва на микроталасна кола, посматрали смо микротракасти вод приказан на слици 1. Горњи проводник вода (трака) начињен је урезивањем два процепа у метализацији, ширине s . Тиме су око горњег проводника вода остављена два велика метална острва, ширине d .



Слика 1. Микротракасти вод са околним острвима.

Острва имају двоструки утицај на микротракасти вод.

Први утицај је доминантан на нижим учестаностима, испод прве резонантне учестаности острва. Због велике међусобне капацитивности између острва и масе (која се налази са друге стране подлоге), острво се понаша практично као да је уземљено. Стога структура приказана на слици 1 практично представља уземљени копланарни таласовод. Због присуства уземљених острва, карактеристична импеданса микротракастог вода је промењена. Да бисмо илустровали овај ефекат, на слици 2 је приказана зависност карактеристичне импедансе вода од ширине процепа. Ширина микротракастог вода је $w = 1,083 \text{ mm}$, а ширине околних острва су $d = 20 \text{ mm}$. Резултати су добијени помоћу програма Linpar [7] и AWR Microwave Office (MWO) [8].



Слика 2. Карактеристична импеданса микротракастог вода приказаног на слици 1 у функцији ширине процепа s .

Са слике 2 се види да се са повећавањем ширине процепа карактеристична импеданса вода приближава

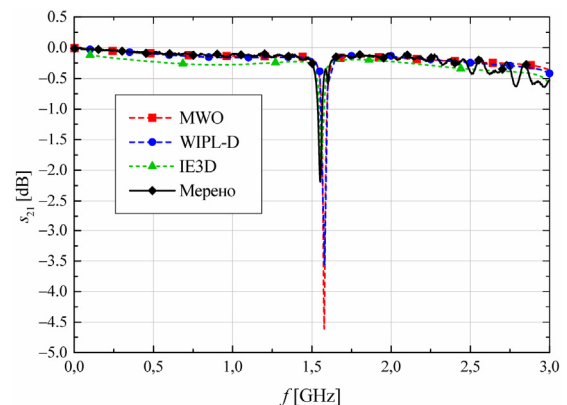
вредности 50Ω , за коју је микротракасти вод оригинално пројектован.

Други утицај је битан при високим учестаностима, а потиче од резонанција острва. Ради илустрације тог утицаја, посматран је микротракасти вод приказан на слици 1, димензија $w = 0,7 \text{ mm}$, $s = 0,28 \text{ mm}$, $d = 12 \text{ mm}$ и дужине $l = 50 \text{ mm}$. На слици 3 приказани су резултати добијени мерењем одговарајућег прототипа вода, као и резултати симулација разним софтверским алатима.

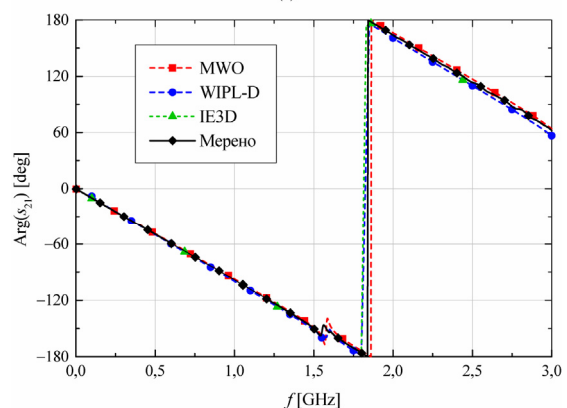
Први симулациони модел је заснован на спрегнутим микротракастим водовима из програмског пакета MWO [8]. Овај модел је релативно једноставан и ефикасан. Са слике 3 се види да се резултати добијени овим пакетом одлично слажу како са мерењима, тако и са осталим резултатима симулација.

Други модел је направљен помоћу програма WIPL-D, који служи за анализу 3-D структура начињених од метала и диелектрика који су изотропни, линеарни и део-по-део хомогени [9], [10]. Нумеричко језгро програма WIPL-D је засновано на одређивању расподеле еквивалентних површинских струја, решавањем одговарајућих интегралних једначина методом момената.

Трећи модел је заснован на анализи вишеслојних планарних структура програмом IE3D, чије се нумеричко језгро заснива на Зомерфелдовој формулацији [11].



(а)



(б)

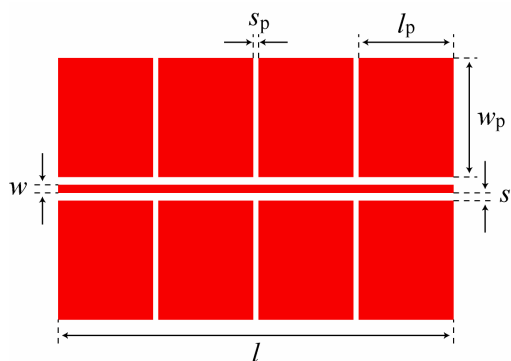
Слика 3. (а) Модул и (б) фаза параметра s_{21} добијени мерењима и симулацијом.

Остављена острва моделована су широким тракама, постављеним са сваке стране микротракастог вода, које су отворене на оба краја. Свака трака формира резонатор, чија је најнижа резонантна учестаност око 1,58 GHz. Ови резонатори су релативно јако спрегнути са средишњом траком. Спрега је посебно јака у околини резонантне учестаности. Ако се структура са слике 1 моделује спрегнутим водовима, спрега се може објаснити различитим брзинама простирања модова [12]. Уколико је диелектрик хомоген (на пример, вакуум), тај модел предвиђа да нема спрега на резонантној учестаности, иако се у пракси јавља врло уска резонанција.

Утицај резонанције полако опада када се повећава ширина процепа s . Да би се остварила довољно слаба спрега, ширину процепа је потребно повећати на преко 10 дебелина подлоге. Међутим, прављење тако широких процепа захтева уклањање великих металних површи, што је опречно постављеном задатку да се уклањање метализације минимизира.

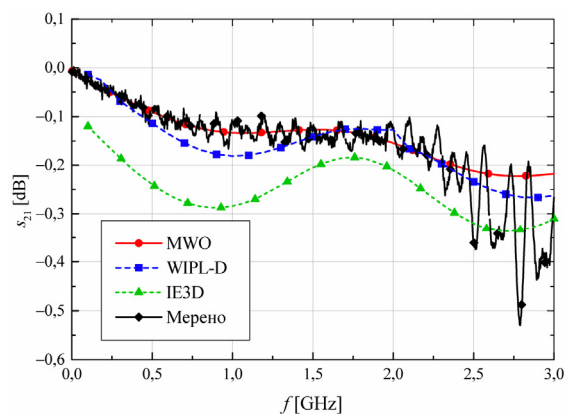
Боље техничко решење је повећавање најниже резонантне учестаности металних острва изнад највише учестаности за коју се коло пројектује. То се може остварити дељењем већих металних острва на мање делове помоћу уских процепа. Оваква пасивизација метализације може се урадити прављењем релативно малог броја прореза који се могу брзо изгледати било којим алатом који се већ користи при изради микроталасног кола. Описани поступак драстично смањује време потребно за израду кола, продужава радни век алата и смањује количину пиљевине.

Ради илустрације описаног поступка, посматраћемо микротракасти вод приказан на слици 4. Метализација око траке подељена је у 8 подударних острва. На слици 5 је приказан параметар s_{21} , у опсегу 0 до 3 GHz, за $w_p = l_p = 12$ mm и $l = 50$ mm. Експериментални резултати се добро слажу са симулацијама.

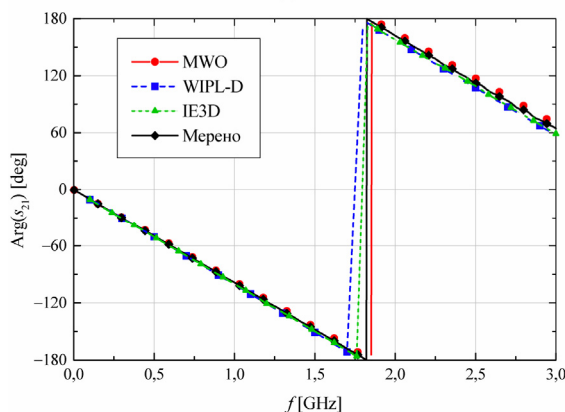


Слика 4. Микротракасти вод окружен острвима.

Модел који се заснива на вишепроводничким водовима може да предвиди искључиво резонантне модове који одговарају простирању таласа у правцу дуж вода. Са друге стране, модели који се заснивају на 3-D електромагнетској анализи могу да предвиде и резонанције које потичу од простирања таласа у трансверзалном правцу.



(a)



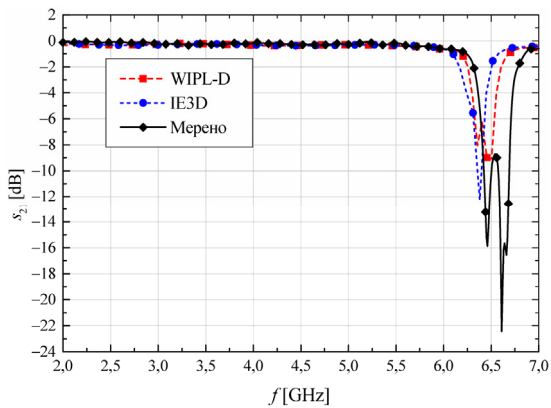
(б)

Слика 5. (а) Модул и (б) фаза параметра s_{21} микротракастог вода приказаног на слици 4 добијени мерењем и симулацијом.

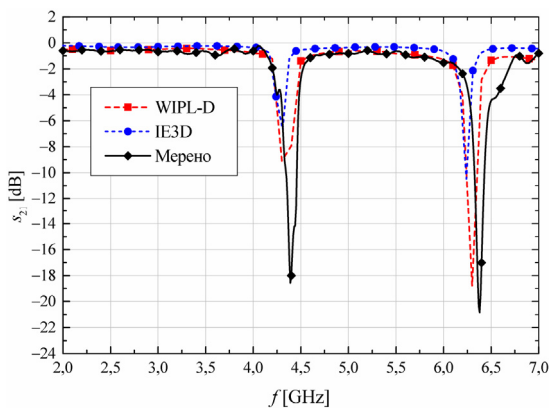
Да бисмо потврдили постојање трансверзалних резонанција, посматраћемо две ширине металних острва: $w_p = 12$ mm и $w_p = 18$ mm. Усвојили смо да су сва метална острва подударна (за посматрано w_p). Дужина острва је $l_p = 12$ mm. Ширина траке вода је $w = 0,7$ mm, а дужина траке је $l = 50$ mm. Ширина процепа између суседних металних острва је $s_p = 0,67$ mm. Ширина процепа између металних острва и траке вода је $s = 0,28$ mm. Параметри расејања су прорачунати програмима WIPL-D и IE3D, а извршено је и мерење одговарајућих прототипова. Резултати симулација и мерења приказани су на сликама 6 и 7.

За $w_p = 12$ mm, оба нумеричка модела предвиђају резонанцију на учестаности око 6,35 GHz (слика 6). На овој резонантној учестаности димензије острва w_p и l_p близу су половине таласне дужине (у супстрату).

За $w_p = 18$ mm, симулација у опсегу од 2 GHz до 7 GHz показује две резонанције (слика 7). Прва резонанција, у околини 4,3 GHz, одговара учестаности на којој је w_p близу половине таласне дужине. Друга резонанција, у околини 6,35 GHz, одговара учестаности на којој је l_p близу половине таласне дужине.



Слика 6. Модул параметра s_{21} микротракастог вода приказаног на слици 4 за $w_p = 12$ mm.



Слика 7. Модул параметра s_{21} микротракастог вода приказаног на слици 4 за $w_p = 18$ mm.

Резонантне учестаности добијене симулацијом и мерењима слажу се врло добро у оба случаја. На основу ових резултата може се закључити да највећа димензија металног острва одређује његову најнижу резонантну учестаност. Да би најнижа резонантна учестаност острва била изнад радног опсега кола, потребно је да највећа димензија острва буде мања од око половине таласне дужине (у супстрату) на највишој учестаности радног опсега.

III. ФИЛТАР СА СПРЕГНУТИМ РЕЗОНАТОРИМА

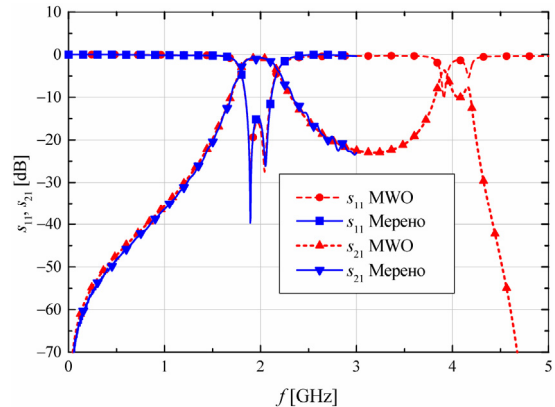
Да бисмо проверили предложени поступак, пројектовали смо микротракасти филтар пропусник опсега са спрегнутим резонаторима. Централна учестаност пропусног опсега је 2 GHz. Филтар се састоји од два полуталасна спрегнута резонатора, као на слици 8. Ширина процепа између трака резонатора је врло мала, 80 μm . Дебљина метализације је 35 μm .



Слика 8. Микротракасти филтар са спрегнутим резонаторима и острвима у околни.

На слици 9 су приказани резултати симулације и мерења s -параметара овог филтра. Резултати се врло

добро међусобно слажу. Прва резонантна учестаност острва одређена је њиховом најдужом страницом (14 mm), што одговара учестаности 5,6 GHz. Та учестаност је знатно изнад основног пропусног опсега филтра и не види се на слици 9, што потврђује закључке из претходног одељка овог рада.



Слика 9. Модули s -параметара филтра приказаног на слици 8.

IV. ЗАКЉУЧАК

У раду су предложене смернице за пројектовање микроталасних кола која се израђују поступком глодања тако да се минимизира уклањање металације у околини кола. Показано је да се предложеним поступком убрзава процес производње и продужава радни век алата, при чему су перформансе кола очуване.

РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] A. Djordjević and Z. Marićević, „Internal EM problems caused by parasitic resonances,” *2000 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Washington, DC, 2000.
- [2] <http://www.rogerscorp.com/documents/726/acm/RO4000-laminates-data-sheet-and-fabrication-guidelines-RO4003C-RO4350B.aspx>
- [3] Rogers Corporation, Technical Report 6006, March 2006.
- [4] D. Marković, B. Jokanović, M. Marjanović, M. Djordjević, „Improved method for measurement of the dielectric properties of microwave substrates using microstrip T-resonator,” *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Warsaw, Poland, 2007.
- [5] http://www.mitspcb.com/edoc/fp21t_p.htm
- [6] <http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?nid=-536902639.536883619.00&cc=US&lc=eng>
- [7] A.R. Djordjević, M.B. Baždar, R.F. Harrington, and T.K. Sarkar, *LINPAR for windows: Matrix parameters for multiconductor transmission lines*, Artech House, Norwood, MA, 1999.
- [8] Microwave Office, Applied Wave Research, El Segundo, CA, 2002.
- [9] B.M. Kolundžija, J.S. Ognjanović, T.K. Sarkar, D.S. Šumić, M.M. Parantić, B.B. Janić, D.I. Olčan, D.V. Tošić, M.S. Tasić, *WIPL-D Microwave Software and User's Manual*, WIPL-D/Artech House, Belgrade/Norwood, MA, 2005.
- [10] WIPL-D Pro v8.0, Software and User's Manual, WIPL-D d.o.o., Belgrade, 2010. www.wipl-d.com.
- [11] IE3D v9, Zeland Software, INC. Fremont, CA. 2003, <http://www.zeland.com>.
- [12] A.R. Djordjević, T.K. Sarkar, R.F. Harrington, „Time-domain response of multiconductor transmission lines,” *Proc. IEEE*, vol.75, no. 6, June 1987, pp.743-764.