

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

На 748. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду одржаној 29.05.2012. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације Душана Грујића, дипл. инг. електротехнике, под насловом “Методи пројектовања монолитских микроталасних интегрисаних кола предвиђених за рад са сигнаlima учестаности око 60 GHz”. На основу увида у приложени материјал, Наставно-научном већу подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

Кандидат Душан Грујић је рођен у Београду, Република Србија, 22. октобра 1981. године. Основну школу и гимназију је завршио у Пожаревцу. Школовање је наставио на Електротехничком факултету у Београду, на смеру за Електронику. У току основних студија учествовао је на студентском пројекту беспилотне летелице. Истраживање о хардверској реализацији декомпозиције матрице, која се користи у алгоритмима инерцијалне навигације, резултовало је радовима на конференцији ЕТРАН, као и темом за дипломски рад. Дипломирао је септембра 2006. са просечном оценом 8.60, и дипломским радом на тему “FPGA имплементација QR декомпозиције матрице”. Докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, смер Електроника, уписао је октобра 2007. године. У оквиру научно-истраживачког рада на докторским студијама, у области пројектовања интегрисаних кола за рад на веома високим учестаностима, добијени су теоријски и експериментални резултати који су објављени у врхунским међународним часописима. Члан је IEEE удружења у статусу пуноправног члана. Од априла 2007. године запослен је у фирми TES Electronic Solutions, на позицији пројектанта наменских аналогних и RF интегрисаних кола.

Радови кандидата објављени у врхунским међународним часописима (M21):

1. Grujić, D.; Savić, M.; Bingöl, C.; Saranovac, L.; , "60 GHz SiGe:C HBT Power Amplifier With 17.4 dBm Output Power and 16.3% PAE," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE* , vol.22, no.4, pp.194-196, April 2012
2. Grujić, D.; Savić, M.; Popović-Božović, J.; , "A Power Efficient Frequency Divider for 60 GHz Band," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE* , vol.21, no.3, pp.148-150, March 2011

Радови кандидата објављени у зборницима међународних конференција (M33):

1. Grujić, D.; Savić, M.; Bingöl, C.; Saranovac, L.; , "Wide-bandwidth 60 GHz differential LNA in SiGe:C technology," *Circuits and Systems for Communications (ECCSC), 2010 5th European Conference on* , pp.71-74, Belgrade, Serbia, 23-25 Nov. 2010

Радови кандидата објављени у зборницима домаћих конференција (M63):

1. Grujić, D.; Tasovac, D.; Saranovac, L.; “FPGA implementacija QR dekompozicije matrice”, *Zbornik radova sa 51. konferencije ETRAN*, Herceg Novi, Crna Gora, Jun 2007, Broj rada EK1.5, 2007,
2. Nijemčević, Đ.; Grujić, D.; Saranovac, L.; Popović-Božović, J.; “FPGA implementacija sistema za automatsko upravljanje bespilotnom letelicom”, *Zbornik radova sa 51. konferencije ETRAN*, Herceg

Novi, Crna Gora, Jun 2007, Broj rada EK1.4, 2007,

3. Grujić, D.; Popović-Božović, J.; Savić, M.; , "Baseband PLL frequency synthesizer for LDR UWB transmitter," *16th Telecommunications forum TELFOR 2008*, Belgrade, Serbia, pp. 297-299, 25-27 Nov. 2008

На основу изложених биографских и библиографских података, сматрамо да је кандидат подобан за израду предложене докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања у овој тези ће бити развој метода пројектовања монолитних микроталасних интегрисаних кола (ММИК) за рад у 60 GHz-ом опсегу учестаности. Таласна дужина сигнала учестаности 60 GHz од 2.8 мм у силицијумском интегрисаном колу, омогућава коришћење кола са расподељеним параметрима унутар ММИК-а. Расположивост микроталасних структура у ММИК-у отвара могућност развоја нових метода пројектовања, које ће објединити постојеће методе пројектовања интегрисаних кола са микроталасним, и прилагодити их специфичностима интегрисаних кола.

Специфичности интегрисаних кола се огледају у комплексним вишеслојним металним структурама, великом броју компоненти и њихових прикључака, као и ограничењима у виду правила пројектовања. Савремена интегрисана кола имају велики број металних слојева, обично од 5 до 9, где су ширине водова самерљиве са дебљином. Поред тога, диелектрик се састоји из великог броја слојева различите пермитивности - уобичајено је да се користе 3 диелектрична слоја по металном слоју. Из ових разлога употреба електромагнетног симулатора је неопходна за карактеризацију пројектованих структура. Велики број компоненти, њихових прикључака и комплексност њиховог повезивања су такође специфичности интегрисаних кола, које резултују електромагнетским моделима велике сложености. Стога је потребно спровести истраживање о методама партиционисања интегрисаног кола на мање електромагнетне моделе, уз очување тачности резултата.

Правила пројектовања која могу утицати на процес пројектовања се односе на минималне и максималне ширине, растојања и површинске густине металних водова и потребом за расечањем метала ради смањивања механичког напрезања. Ограничења су последица технолошких процеса израде, као што су хемијско-механичко полирање при планаризацији и резолуција литографије, и механичких особина материјала, тако да их није могуће мењати. Услед тога потребно је извршити истраживање о утицају ових ограничења на перформансе, као и начине да се методе пројектовања прилагоде ограничењима.

После идентификације проблема, као и налажења одговарајућих решења за специфичности пројектовања ММИК-а у милиметарском опсегу таласних дужина сигнала, приступиће се развоју метода пројектовања. Утицај могућности које пружа употреба микроталасних структура, проблеми везани за расподељеност параметара, као и физичка ограничења, на методе пројектовања ће бити размотрени. Методе пројектовања критичних блокова, као што су малолумени појачавач, појачавач снаге и делитељ фреквенције, ће бити размотрене у светлу нових могућности и ограничења ММИК-а у милиметарском опсегу таласних дужина сигнала.

Развијене методе пројектовања ће бити употребљене за пројектовање малолуменог појачавача, појачавача снаге и делитеља учестаности за 60 GHz-ни опсег. Пројектована интегрисана кола ће бити фабрикована у изабраном технолошком процесу. Приступиће се карактеризацији фабрикованих интегрисаних кола, и резултати мерења ће бити упоређени са резултатима симулације, чиме ће се утврдити исправност метода пројектовања.

Осврт на релевантне библиографске изворе

1. Lee, T. H., "The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits, Second Edition", 2003, *Cambridge University Press*
2. Lee, T. H., "Planar Microwave Engineering", 2004, *Cambridge University Press*
3. Behzad, R., "RF Microelectronics, Second Edition", 2011, Prentice Hall
4. Maas, S. A., "Nonlinear Microwave and RF Circuits", 2003, Artech House Publishers
5. Niknejad, A. M., Meyer, R. G., "Design, Simulation and Applications of Inductors and Transformers for Si RF ICs", 2000, Springer
6. Niknejad, A. M., "Electromagnetics for High-Speed Analog and Digital Communication Circuits", 2007, Cambridge University Press
7. Niknejad, A. M., Hashemi, H., "mm-Wave Silicon Technology: 60 GHz and Beyond", 2010, Springer
8. Gonzales, G., "Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design", 1996, Prentice Hall
9. Collin, R. E., "Foundations for Microwave Engineering, Second Edition", 2000, Wiley-IEEE
10. Rogers, J., Plett, C., "Radio Frequency Integrated Circuit Design", 2010, Artech House Publishers
11. Cripps, S. C., "RF Power Amplifiers for Wireless Communications", 1999, *Artech House Publishers*
12. Cripps, S. C., "Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design", 2002, *Artech House Publishers*
13. Pozar, D. M., "Microwave Engineering, Fourth Edition", 2011, *Wiley*
14. Pozar, D. M., "Microwave and RF Design of Wireless Systems", 2000, *Wiley*
15. Greig, W. J., "Integrated Circuit Packaging, Assembly and Interconnections", 2007, *Springer*
16. Bahl, I., "Lumped Elements for RF and Microwave Circuits", 2003, *Artech House Publishers*

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе за развој метода пројектовања ММИК-а предвиђених за рад са сигнаlima учестаности око 60 GHz су:

- специфичности технологије израде интегрисаних кола захтевају развој нових метода пројектовања,
- расподељеност параметара унутар интегрисаног кола омогућава употребу микроталасних структура,
- партиционисање ММИК-а на мање електромагнетске моделе може допринети бољем слагању резултата симулације и мерења,
- методе пројектовања које узимају у обзир променуте ефекте резултују колима бољих перформанси од постојећих метода.

4. Научне методе истраживања

Методологија истраживања у оквиру предложене дисертације састојаће се од следећих корака:

- преглед постојећих резултата у области пројектовања ММИК-а,
- истраживање утицаја специфичности технологије израде интегрисаних кола на оствариве перформансе,
- истраживање утицаја партиционисања на кола са концентрисаним и расподељеним параметрима,

- на основу добијених резултата приступиће се пројектовању кола која имају критичан утицај на перформансе бежичног система преноса, за рад са сигнаlima учестаности око 60 GHz:
 - малошумног појачавача,
 - делитеља учестаности,
 - појачавача снаге.
- у поступку пројектовања користиће се софтверски алати:
 - Ansoft HFSS за 3D електромагнетне симулације методом коначних елемената,
 - Agilent ADS за електромагнетне симулације планарних структура методом момената и симулацију електричних кола у фреквенцијском домену у устаљеном режиму,
 - Cadence Virtuoso за пројектовање и проверу физичке реализације интегрисаних кола, као и за симулацију електричних кола у временском домену у устаљеном режиму.
- пројектована интегрисана кола ће бити фабрикована у изабраном технолошком процесу,
- фабрикована кола ће бити измерена ради поређења са очекиваним резултатима.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни доприноси ове докторске дисертације обухватају:

- методе за пројектовање ММИК-а које узимају у обзир специфичности технологије израде интегрисаних кола у милиметарском опсегу учестаности сигнала,
- методе за партиционисање ММИК-а на мање електромагнетске моделе, који омогућавају велики степен поузданости резултата симулације у милиметарском опсегу учестаности сигнала,
- методе за пројектовање малошумних појачавача за рад са сигнаlima учестаностима око 60 GHz,
- методе за пројектовање делитеља учестаности за рад са сигнаlima учестаности око 60 GHz,
- методе за пројектовање појачавача снаге за рад са сигнаlima учестаности око 60 GHz.

6. План истраживања и структура рада

У првом делу рада биће изложене специфичности технологије израде интегрисаних кола, као и њихов утицај на перформансе кола која раде у милиметарском опсегу учестаности. Биће размотрене и могућности употребе кола са расподељеним параметрима.

У другом делу рада биће развијене методе пројектовања ММИК-а за рад у милиметарском опсегу учестаности. Развијене методе пројектовања ће узимати у обзир све специфичности и ограничења технологије израде интегрисаних кола, као и расподељености параметара. У овом делу биће развијене и методе партиционисања ММИК-а на мање електромагнетне моделе, који омогућавају велики степен поузданости резултата симулације.

У трећем делу рада развијене методе пројектовања ће бити употребљене за пројектовање малошумног појачавача, делитеља учестаности и појачавача снаге за рад са сигнаlima учестаности око 60 GHz. Ова кола су изабрана јер перформансе бежичног система преноса у великој мери зависе од њих. Биће приказано поређење резултата кола пројектованих развијеним методама у односу на постојеће.

У четвртм делу рада биће приказано поређење очекиваних и измерених перформанси кола. Поређење резултата ће омогућити процену валидности развијених метода пројектовања.

7. Закључак и предлог

На основу свега изложеног, Комисија сматра да кандидат Душан Грујић, дипломирани инжењер електротехнике, испуњава све формалне и суштинске услове за приступ изради докторске дисертације. Резултати до којих ће кандидат доћи имаће значајан допринос у области пројектовања ММИК-а за рад у милиметарском опсегу учестаности. Такође Комисија предлаже малу језичку преформулацију у наслову рада, уместо монолитских микроталасних интегрисаних кола треба да стоји монолитних микроталасних интегрисаних кола. Стога Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Душану Грујићу одобри израду дисертације под насловом “Методи пројектовања монолитних микроталасних интегрисаних кола предвиђених за рад са сигналама учестаности око 60 GHz”.

У Београду 06.09.2012. године

Комисија

др Лазар Сарановац, доцент

Универзитет у Београду, Електротехнички факултет

др Јелена Поповић Божовић, доцент

Универзитет у Београду, Електротехнички факултет

др Мирјана Виденовић-Мишић, доцент

Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

др Радивоје Ђурић, доцент

Универзитет у Београду, Електротехнички факултет