

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата мастер инж. електротехнике Бранка М. Буквића за израду докторске дисертације.

Одлуком бр. 5021/11-1 од 17. новембра 2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације кандидата Бранка М. Буквића, мастер инж. електротехнике и рачунарства, под насловом **„Реконфигурабилни и подесиви ефикасни појачавачи снаге за предајнике четврте генерације”**.

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата и на основу обављене јавне усмене одбране предложене теме, Комисија предлаже да се наслов теме измени у **„Реконфигурабилни и подесиви ефикасни појачавачи снаге за предајнике телекомуникационих уређаја“** и подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Бранко М. Буквић је рођен 14. марта 1986. године у Чачку. Основну школу је завршио у Лучанима, одакле је и родом, а средњу електротехничку школу у Чачку, обе као носилац Вукове дипломе.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао је 2005. године. Дипломирао је 14. октобра 2009. године на Одсеку за електронику, са просечном оценом 9,54, по четворогодишњем студијском програму. Дипломски рад „Пренос сигнала помоћу *Zig bee* стандарда“ одбранио је са оценом 10.

Дипломске академске – мастер студије на Одсеку за електронику, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је 2009. године. Мастер студије је завршио 14. септембра 2011. године са просечном оценом 10,0, по једногодишњем студијском програму. Мастер рад „Развој мрежног комуникационог контролера за примену код система за контролу индустријских процеса“ одбранио је са оценом 10.

Докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Телекомуникације, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је 2011. године. Године 2012. отишао је на двогодишњу студентску размену у иностранство на University of Westminster у Лондону. Током тог периода на модулу Телекомуникације завршио је све испите са просечном оценом 10,0. По доласку из иностранства прешао је на модул Микроталасна техника, где је завршио све испитне обавезе са просечном

оценом 10,0. Тренутно је запослен у Институту ИМТЕЛ, где се бави проучавањем и пројектовањем микроталасних активних и пасивних кола.

До сада је објавио два рада у међународним часописима (М23), три рада на међународним конференцијама (М33) и два рада на домаћим конференцијама (М63).

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је докторске студије уписао у школској 2011/2012 у току које је положио следеће испите:

- Микроталасна електроника (изборни предмет),
- Моделирање и симулација радио мрежа (факултативни предмет),
- Бежичне информационе мреже (изборни предмет) и
- Савремене радио технологије (изборни предмет).

У току школске 2012/2013 године кандидат је положио следеће испите:

- Системи мобилних радио-веза (факултативни предмет),
- Енглески језик (изборни предмет),
- Метод коначних елемената у електромагнетици (изборни предмет),
- Метод момената у електромагнетици (изборни предмет),
- Линеарне и нелинеарне методе анализе сигнала (изборни предмет) и
- Когнитивне радио мреже (изборни предмет).

У току школске 2014/2015 године кандидат је положио следеће испите:

- Електромагнетска компатибилност и интегритет сигнала (изборни предмет) и
- Микроталасна техника (изборни предмет).

Све испите на модулу Микроталасна техника, као и изборне предмете ван модула, кандидат је положио је са оценом 10.

У оквиру предмета *Микроталасна електроника* кандидат је наставио са изучавањем појачавача на микроталасним учестаностима, који су били обрађени у једноставнијем облику и у оквиру истоименог предмета на основним студијама. У оквиру рада на предмету кандидат је проширио своје знање везано за класе рада појачавача, уопштено микроталасну технику, као и примену софтверских алата за дизајн поменутих појачавача (MWO, Sonnet и CST). На крају, кандидат је пројектовао један појачавач снаге. У оквиру предмета *Метод коначних елемената у електромагнетици* кандидат се по први пут упознао са теоријским основама нумеричке електромагнетике. У оквиру овог предмета кандидат је успешно решио неколико основних задатака који су се тicali како решавања поља у фреквенцијском домену, тако и решавања поља у временском домену Њумарк-бета методом (*Newmark-beta method*). У оквиру предмета *Метод момената у електромагнетици* кандидат је наставио са проучавањем математичке теорије на којој се базира нумеричка електромагнетика. За овај предмет кандидат је урадио неколико задатака везаних за разне проблеме који се могу решити поменутим методом (расподела наелектрисања на проводним телима у простору, расподела струја у дипол антени и њена импеданса, решавање струја и поља у случају када униформни талас обасја бесконачно дугачак проводни цилиндар и решавање расподеле струја и поља у случају када униформни талас обасја проводан квадрат). За предмет *Микроталасна техника* кандидат је, између осталог, радио практичну реализацију појачавача на учестаностима око 1 GHz. Новитет у односу на претходне

појачаваче је било коришћење програмског пакета AWAS за пројектовање пригушних калемова у колима за напајање појачавача. У свим претходним појачавачима које је кандидат реализовао, уместо дискретних калемова, коришћени су четвртталасни водови. Појачавач је пројектован, као и сви претходни појачавачи, комбинованим коришћењем програма базираних на анализи кола и пуноталасној анализи. Пројектовани појачавач је предвиђен да буде део кола за модулацију правоугаоним импулсима учестаности 1 kHz. У оквиру предмета *Електромагнетска компатибилност и интегритет сигнала* кандидат је, између осталог, пројектовао осцилатор на учестаности 1 GHz, који је, такође, део кола за модулацију сигнала поворком правоугаоних импулса учестаности 1 kHz.

Поред предмета који су били део докторских студија, кандидат је био на истраживачком пројекту у иностранству, у University of Westminster, где је под вођством др Ђурађа Будимира интензивно радио на проучавању микроталасних активних и пасивних кола, као и на примени графена у микроталасним колима.

1.2.1. Списак радова кандидата у међународним часописима (M23)

- [1] B. Bukvic and D. Budimir, "Reconfigurable matching networks for RF amplifiers," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 57, issue 6, pp. 1487–1491, June 2015 (ISSN: 0895-2477, IF за 2014: 0,568, DOI: 10.1002/mop.29126).
- [2] B. Bukvic and D. Budimir, "Magnetically Biased Graphene-Based Switches for Microwave Applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 57, issue 12, 2956–2958, December 2015 (ISSN: 0895-2477, IF за 2014: 0,568, DOI: 10.1002/mop.29468).

У радовима [1] и [2], који су у директној вези са предложеном темом докторске дисертације, описана је потенцијална примена графена у микроталасним колима. У раду [1] приказана је могућа употреба графена и његова контрола помоћу електричног поларизационог поља, док је у [2] контрола графена изведена магнетским поларизационим пољем.

1.2.2. Списак радова кандидата саопштених на међународним конференцијама (M33)

- [3] B. Bukvic, D. Budimir, N. Neskovic, "Reconfigurable matching networks for wireless transmitters," *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, Orlando FL, USA, pp. 796–797, 7–13 July 2013 (ISSN: 1522-3965, DOI: 10.1109/APS.2013.6711057).
- [4] N. Mohottige, B. Bukvic, D. Budimir, "Reconfigurable E-plane waveguide resonators for filter applications," *44th European Microwave Conference (EuMC)*, Rome, Italy, pp. 299–302, 6–9 Oct. 2014 (DOI: 10.1109/EuMC.2014.6986429).
- [5] B. Bukvic, A. Ilic, M. M. Ilic, "Comparison of approximate and full-wave electromagnetic numerical modeling of microstrip matching networks," *2015 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)*, pp.76–79, 7–11 Sept. 2015 (DOI: 10.1109/ICEAA.2015.7297078).

У раду [3] приказана је реконфигурабилна мрежа за прилагођење која се користи код појачавача. Приказана топологија мреже за прилагођење коришћена је у изради реконфигурабилног појачавача, подесивог појачавача и појачавача снаге у класи J. Сви наведени појачавачи биће приказани у дисертацији. У раду [4] приказана је могућа примена графена у реализацији подесивих таласоводних филтара. У раду [6] дата је

анализа симулација неколико пасивних кола која се најчешће могу наћи у колима за прилагођење појачавача снаге на микроталасним учестаностима.

1.2.3. Списак радова кандидата саопштених на домаћим конференцијама (M63)

- [6] B. Bukvic, N. Neskovic, D. Budimir, "Reconfigurable RF power amplifiers for wireless transmitters," *20th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, pp. 373–375, 20–22 Nov. 2012 (DOI: 10.1109/TELFOR.2012.6419225).
- [7] J. Mijuskovic, B. Bukvic, N. Neskovic, N. Males-Ilic, D. Budimir, "Compensation of nonlinear distortion in RF power amplifiers by injection for LTE applications," *22nd Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, pp. 352–355, 25–27 Nov. 2014 (DOI: 10.1109/TELFOR.2014.7034422).

У раду [6] приказани су симулирани резултати реконфигурабилног појачавача снаге. Овај појачавач је касније модификован, фабрикован и биће приказан у дисертацији. У раду [7] дат је метод линеаризације појачавача. Овај метод је примењен код реконфигурабилног појачавача када је на улаз доведен ОФДМ сигнал и биће приказан у дисертацији.

1.2.4. Извештај са јавне усмене одбране предложене теме докторске дисертације

Јавна усмена одбрана предложене теме докторске дисертације обављена је 27. новембра 2015. године на Електротехничком факултету у Београду, пред комисијом у саставу

- др Антоније Ђорђевић, редовни професор Електротехничког факултета,
- др Ђурађ Будимир, reader University of Westminster, London, UK и
- др Наташа Нешковић, ванредни професор Електротехничког факултета.

На усменој одбрани физички су били присутни чланови Комисије др Антоније Ђорђевић и др Ђурађ Будимир. Члан Комисије др Наташа Нешковић била је присутна путем видео-конференцијске везе (из здравствених разлога).

Усмена одбрана је почела у 13:05 часова, а завршена у 13:57 часова.

Одбрана је почела тако што је председник Комисије, др Антоније Ђорђевић, упознао присутне са хронологијом пријаве теме, одлукама Наставно-научног већа, основним подацима о кандидату и основним подацима о пријављеној теми докторске дисертације.

Затим је кандидат, у трајању од 20 минута, изложио основне поставке предложене теме докторске дисертације.

По завршеној презентацији, чланови Комисије су кандидату поставили по неколико питања.

Др Наташа Нешковић је поставила питања везана за апликације. Прво питање се односило на то да ли су појачавачи снаге тестирани за комплексни улазни сигнал, као што је ОФДМ. Одговор кандидата је да: нису тестирани због недостатка генератора. Следеће питање је било шта се очекује у ситуацијама када се жели постићи велика ефикасност појачавача, а присутан је *multicarrier* сигнал на његовом улазу, који има

велику динамику. Одговор је био да се очекује појава интермодулационих продуката што као последицу има ширење спектра и ометање рада на суседним радио каналима. Др Наташа Нешковић је потенцирала испитивање, макар кроз симулације, понашања пројектованих појачавача снаге и са становишта потенцијалних меморијских ефеката. Кандидат је одговорио да је симулацијама могуће тестирати таква понашања и да то може бити спроведено у даљем раду на дисертацији. Др Наташа Нешковић је сугерисала да је пожељно да се ураде и мерења да би се у потпуности сагледало понашање појачавача. Кандидат је одговорио да би то било могуће уколико постоји одговарајућа опрема.

Др Ђурађ Будимир је констатовао да приказани материјал не одговара у потпуности предложеном наслову дисертације јер је појачавач конструисан и мерен за ниже учестаности од оних које се користе у 4G телекомуникационим системима. Неспорно је да је концепт појачавача доказан, али би требало или урадити нове прототипове и мерења при вишим учестаностима или променити наслов дисертације. Констатовао је да треба мерити и нелинеарности, не само ефикасност. Кандидат је одговорио да приказани графици одговарају компресији од 2 dB, али да није рађена анализа интермодулационих продуката. Такође је одговорио да приказани појачавачи нису пројектовани за рад при учестаностима које тачно одговарају 4G телекомуникационим системима, већ нешто нижим. Др Ђурађ Будимир је предложио да се или редизајнира појачавач, поново направи и премери, или да се из наслова дисертације избаци помињање четврте генерације.

Др Антоније Ђорђевић је питао у чему се састоји побољшани модел у програму Microwave Office, којим је постигнуто боље слагање са теоријом. Кандидат је одговорио да су апроксимативно узети у обзир ефекти простирања кроз SMD компоненте. Др Антоније Ђорђевић је сугерисао да се у раду уједначи терминологија (варактор или варикап диода, да се уместо „трансмисиона линија“ употреби код нас уобичајени термин „вод“, да се определи између термина „графин“ и „графен“ и слично), као и да се убудуће употребљава spell checker и за презентације, и за текстове. Сугерисао је да се јасно наведе прва референца у часопису на појачаваче у класи J. Предложио је да се у тексту дисертације боље повеже излагање о графену са осталим поглављима. Кандидата је питао каквог је карактера површинска отпорност графена, а каквог површинска проводност. Кандидат је одговорио да је површинска отпорност графена, при контроли електричним пољем, претежно индуктивна, а да је површинска проводност, при контроли магнетским пољем, претежно капацитивна.

Питања из публике није било.

По завршеној одбрани, Комисија се повукла на већање и једногласно донела следећи закључак:

Комисија је констатовала да је излагање кандидата било добро и да је кандидат на сва постављена питања успешно одговорио. Стога је кандидат на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену „**задовољно**“.

Комисија предлаже да ментор докторске дисертације буде др Милан Илић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Комисија предлаже да се наслов теме измени у „Реконфигурабилни и подесиви ефикасни појачавачи снаге за предајнике телекомуникационих уређаја“, с обзиром на то да се рад односи на појачаваче снаге у телекомуникационим уређајима уопште, са циљем да буду применљиви и у телекомуникационим системима четврте генерације.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат испуњава све формалне услове за започињање израде докторске дисертације са предложеном темом. Осим чврсто испуњених формалних услова, кандидат је у свом целокупном досадашњем раду показао особине неопходне за научноистраживачки рад, као што су разумевање и проширивање теоријских концепата, самостално проучавање стручне литературе, оригиналност, истрајност, као и способност формулисања алгоритама и дефинисања структура података неопходних да би се теоријски модели могли користити за прорачуне помоћу рачунара.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације су појачавачи снаге, а шире гледано и друга активна и пасивна микроталасна кола (нпр. кола за прилагођење), за четврту генерацију бежичних телекомуникационих система и будуће телекомуникационе системе. С обзиром на то да ће такви телекомуникациони системи радити у више опсега учестаности, кола која их сачињавају морају имати одговарајуће карактеристике. Додатно, појачавачи снаге представљају веома важне аналогне склопове у модерним бежичним телекомуникационим системима. У последње време се доста пажње посвећује побољшању њихове ефикасности која деградира као последица специфичности модулација, односно сложености сигнала који се појачава. Стога је предложени предмет истраживања ове дисертације веома актуелан.

Постоје три могућа начина пројектовања микроталасних кола у више опсега учестаности: пројектовање широкопојасних кола које ће обухватити све тражене опсеге, пројектовање реконфигурабилних кола (која могу дискретно да мењају опсег радне учестаности) и пројектовање подесивих кола (која могу континуално да мењају радну учестаност у опсегу између две крајње учестаности које обухватају све задате опсеге). Акценат дисертације биће стављен на реконфигурабилна и подесива кола у опсегу учестаности од 1 GHz до 5 GHz. У оквиру истраживања биће пројектовани и фабриковани нов реконфигурабилан појачавач са PIN диодом у улазном колу за прилагођење и нов подесиви појачавач са варикап диодом.

Међу новијим предложеним решењима која обезбеђују довољно велику ефикасност појачавача снаге, уз очување линеарности, су појачавачи у класи J. Иако су у последњој деценији ти појачавачи значајно унапређени, показује се да не постоји једноставно упутство за њихово пројектовање које обезбеђује оптимизацију параметара појачавача, а засновано је на основној анализи таласних облика напона и струје на излазу појачавача. Стога ће бити развијена нова теорија везана за RF (radio frequency) таласно обликовање сигнала (RF waveform engineering) појачавача у класи J. Та теорија ће бити искоришћена за генерисање нове дизајн-криве која ће омогућити једноставну оптимизацију параметара појачавача на основу унапред изабране високе ефикасности. На основу развијене теорије биће пројектована и реализована два прототипа појачавача снаге у класи J у опсегу учестаности око 1,5 GHz, на којима ће се, мерењем, верификовати развијена теорија. Пројектовани појачавачи снаге биће

засновани на модерном GaN HEMT (high electron mobility transistor) транзистору Cree CGH40010F, чији је радни опсег учестаности до 6 GHz, а излазна снага до 10 W.

На крају ће се, теоријски и кроз нумеричке симулације, изучити могућност коришћења графена, као новог материјала, у реконфигурабилним колима.

Основни циљ истраживања је

- развој појачавача снаге, велике ефикасности и линеарности, као и одговарајућих пасивних кола, који су примерени имплементацији у телекомуникационим системима четврте генерације и будућим напредним телекомуникационим системима.

У оквиру основног циља истраживања биће

- проучена теорија и остварен развој реконфигурабилних и подесивих пасивних кола, са акцентом на колима за прилагођење која имају директну примену у активним колима,
- проучена теорија појачавача снаге и остварен развој нових реконфигурабилних и подесивих појачавача,
- проучена теорија појачавача снаге у класи J, остварена надоградња постојеће теорије и развијен нови поступак за пројектовање појачавача у класи J са унапред дефинисаном ефикасношћу и
- изучена могућност коришћења графена, као новог материјала, у микроталасним колима у циљу добијања реконфигурабилних карактеристика.

Развој мобилне телефоније изазвао је драматичан раст количине података који се преносе између корисника. Потребна за што већим протоком условила је да су ресурси који су на располагању (нпр. време и опсег учестаности) све више заузети и стога је потребно њима боље управљати. Софтверски дефинисани радио и когнитивни радио су најпогоднији кандидати за имплементацију у садашњим телекомуникационим системима треће и четврте генерације и будућим телекомуникационим системима јер омогућују ефикасније управљање ресурсима. Идеја је да се обрада сигнала у телекомуникационом систему пребаци што је могуће више у дигитални домен. Развој дигиталних процесора сигнала омогућио је имплементацију веома сложених алгоритама и модулационих техника, па тиме и пребацивање већине процеса обраде сигнала у дигитални домен. Таквим системом могуће је управљати помоћу софтвера, а тиме се и управљање ресурсима своди на извршавање алгорита који је имплементиран у софтверу. Такође, свака измена, поправка и надоградња система изводе се веома једноставно, надоградњом или заменом софтвера. То целом систему даје робусност и смањује цену одржавања.

Међутим, неки делови преноса и обраде сигнала у телекомуникационом систему и даље остају у аналогном домену. Карактеристичан пример је појачавач снаге. Због повећавања сложености телекомуникационог система, и сам појачавач постаје сложенији, како би могао да задовољи постављене захтеве. Могућност рада на више учестаности и појачавање сигнала различитих модулација неки су од нових захтева, при чему стари захтеви, попут линеарности и ефикасности, остају на снази. То све представља озбиљан изазов будућим инжењерима-пројектантима, тако да је решавање описаних проблема, што је предмет ове дисертације, неспорно од великог значаја за даљи развој телекомуникационог хардвера. Наравно, поред појачавача, значајно је

развити и остала пасивна реконфигурабилна и подесива кола, како би се делови система могли повезивати, а корисно је и испитати могућност употребе нових компоненти и материјала.

Релевантни библиографски извори

- [1] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, Wiley, 4th edition, 2011.
- [2] R. E. Collin, *Foundations for microwave engineering*, Wiley-IEEE Press, 2001.
- [3] S. C. Cripps, *RF power amplifiers for wireless communications*. Artech House, 1999.
- [4] A. Grebennikov, *RF and microwave power amplifier design*, Wiley, 2011.
- [5] P. Wright, J. Lees, J. Benedikt, P. J. Tasker, S. C. Cripps, "A methodology for realizing high efficiency class-J in a linear and broadband PA," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 57, no. 12, pp. 3196–3204, Dec. 2009.
- [6] J. Moon, J. Kim, and B. Kim, "Investigation of a class-J power amplifier with a nonlinear C_{out} for optimized operation," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 58, no. 11, pp. 2800–2811, Nov. 2010.
- [7] K. Mimis, K. A. Morris, S. Bensmida, J. P. McGeehan, "Multichannel and wideband power amplifier design methodology for 4G communication systems based on hybrid class-J operation," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 60, no. 8, pp. 2562–2570, Aug. 2012.
- [8] N. Tuffy, A. Zhu, T. J. Brazil, "Class-J RF power amplifier with wideband harmonic suppression," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (MTT)*, 2011, vol., no., pp. 1–4, 5–10 June 2011.
- [9] J. H. Kim, S. J. Lee, B. H. Park, S. H. Jang, J. H. Jung, C. S. Park, "Analysis of high-efficiency power amplifier using second harmonic manipulation: inverse class-F/J amplifiers," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 59, no. 8, pp. 2024–2036, 2011.
- [10] G. Dambrine, A. Cappy, F. Heliodore, E. Playez, "A new method for determining the FET small-signal equivalent circuit," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 36, no. 7, pp. 1151–1159, Jul 1988.
- [11] M. Berroth, R. Bosch, "Broad-band determination of the FET small-signal equivalent circuit," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 38, no. 7, pp. 891–895, Jul 1990.
- [12] G. W. Hanson, "Dyadic Green's functions for an anisotropic, nonlocal model of biased graphene," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, pp. 747–757, 2008.
- [13] F. D. Cabric, M. S. W. Chen, D. A. Sobel, J. Yang, and R. W. Brodersen, "Future wireless systems: UWB, 60 GHz, and cognitive radios," *Proceedings of the IEEE Custom Integrated Circuits Conference*, pp. 793–796, 2005.
- [14] F. M. Ghannouchi, "Power amplifier and transmitter architectures for software defined radio systems," *IEEE Circuits Syst Mag* 10, pp. 56–63, 2010.

Референце [1] и [2] представљају основну литературу за изучавање микроталасних активних и пасивних кола. Референце [3] и [4] спадају у основну литературу везану за појачаваче снаге и у њима се објашњавају класе рада појачавача и дају основни примери дизајнирања појачавача. У референци [3] се први пут уводи класа J, као нова класа рада појачавача. Референца [5] је први рад објављен у научном часопису у вези са појачавачем у класи J. Референце [6]–[9], заједно са [5], чине групу најважнијих радова из области појачавача у класи J. У [10] и [11] дат је опис екстракције паразита транзистора, при чему је [10] један од најцитиранијих и уводних радова у ову област. Референца [12] је један од првих радова где се графен уводи у област везану за микроталасну технику. Поред строге математичке анализе везане за извођење Гринове функције графенске равни у тродимензионом (3-D) простору, та референца даје и основне формуле, преузете из физичарских радова, које карактеришу електричне особине графена. Те формуле су даље коришћене у многим следећим радовима. У [13] и [14] дефинишу се софтверски дефинисани радио и когнитивни радио, респективно.

3. Полазне хипотезе

Основне полазне поставке у раду су:

- Претпоставља се да је нелинеарни модел транзистора довољно тачан да се на њему може применити теорија везана за екстраховање паразитних елемената који ће се касније користити у колима за прилагођење.
- Претпоставља се да ће бити остварено добро слагање резултата добијених рачунарским симулацијама и мерењем на прототиповима. За добијање максимално тачних нумеричких резултата користиће се и софтверски алати који су базирани на методима пуноталасне (full-wave) анализе.
- Очекује се да ће нова развијена теорија везана за класу J омогућити успешан једноставан начин пројектовања ефикасних појачавача у тој класи и да ће параметри прототипова фабрикованих на основу нове теорије моћи успешно да се верификују мерењима у лабораторији.
- Претпоставља се да ће модели електричних параметара графена, преузети из радова из области физике, у симулацијама дати тачне резултате.

4. Научни методи истраживања

На почетку истраживања биће обављена исцрпна студија доступне литературе из области појачавача снаге, пројектовања реконфигурабилних и подесивих кола и коришћења графена у микроталасним колима.

Затим ће бити примењена теоријска анализа и обављено извођење формула које описују потребна микроталасна кола. Након тога, теорија ће се верификовати кроз софтверске алате, где ће посматрани модели бити идеализовани. У овој фази истраживања, софтверски алати не морају да описују све реалне феномене (нпр. губитке у проводницима услед постојања коначне проводности, радијационе губитке, паразитне капацитивности и индуктивности, фреквенцијску зависност коришћених кола итд.), већ ће се само користити за проверавање предложених теоријских модела. Предложени софтверски алати у овој фази истраживања могу бити засновани на симболичким и нумеричким солверима или могу бити неки једноставнији софтверски алати за анализу електричних кола.

За дизајн конкретних микроталасних кола користиће се специјализован CAD (computer aided design) софтвер за пројектовање RF кола. У овој фази истраживања користиће се најпре софтверски алати који анализирају електричне феномене њиховим моделовањем помоћу еквивалентног електричног кола (circuit-based софтверски алати). Због велике брзине рада тих алата, у њима ће се обавити сва значајнија подешавања параметара (нпр. подешавање димензија микротракастих водова или оптимизација целог кола како би његове карактеристике задовољиле задате критеријуме). Након тога, вршиће се додатне симулације у софтверским алатима који се базирају на методима пуноталасне електромагнетске анализе. Ти алати дају знатно тачније резултате, уз значајно дуже време симулације, тако да ће се они користити у завршном кораку за мања подешавања параметара пројектованог кола. Оваква комбинована техника коришћења оба типа софтверских алата треба да обезбеди сигурност да ће реализована кола имати практично исте карактеристике као пројектована симулирана кола.

Већина пројектованих кола ће се фабриковати, тако да ће се резултати симулација и мерења упоређивати и анализирати и, ако се покаже потребно, предложени поступак пројектовања кола ће се модификовати како би се добило што боље поклапање симулираних и измерених резултата.

Истраживање везано за примену графена ће се изводити искључиво кроз симулације, због недоступности технологије фабрикације кола са графеном.

5. Очекивани научни доприноси

Оригинални научни доприноси дисертације би били у следећем:

- Проширење теорије пројектовања појачавача снаге у класи J засновано на новим једноставним формулама које дефинишу ефикасност појачавача у класи J.
- Дефинисање нове дводимензионе (2-D) дизајн криве за избор оптималних параметара појачавача у класи J који обезбеђују унапред дефинисану ефикасност.
- Развој методологије пројектовања појачавача на микроталасним учестаностима комбиновањем CAD алата заснованих на методима анализе електричних кола и методима пуноталасне електромагнетске анализе која обезбеђује одлично слагање резултата добијених симулацијама и мерењем.
- Израда прототипова реконфигурабилног појачавача снаге, подесивог појачавача снаге и два појачавача снаге у класи J применом предложених метода и нове развијене теорије.
- Анализа могућности коришћења графена у реконфигурабилним микроталасним колима.

6. План истраживања и структура рада

На почетку истраживања биће обављено упознавање са тренутним стањем у свету у областима микроталасне технике везаним за тематику дисертације на основу претраге отворене литературе.

Потом ће се сагледати теорија везана за пасивна и активна микроталасна кола. Та теорија је широко примењивана за пројектовање кола која раде на фиксним опсезима учестаности. Комбиновањем таквих кола са прекидачким елементима, или са

подесивим елементима, могуће је направити реконфигурабилна или подесива кола, што је предмет овога истраживања. На почетку ће бити пројектован и фабрикован појачавач снаге који ће бити реконфигурабилан. Тај појачавач ће користити PIN диоду у улазном колу за прилагођење. Помоћу те диоде бираће се један од два могућа радна опсега учестаности. Основни задаци при реализацији појачавача биће да се провере веродостојност поступка пројектовања, нелинеарни модел транзистора, као и тачност симулација помоћу софтвера који се користи за анализу и оптимизацију појачавача. Након тога, када се поступак пројектовања додатно побољша, приступиће се пројектовању и фабрикацији другог, подесивог, појачавача. Тај појачавач ће по својим спецификацијама бити напреднији од претходног и његовом реализацијом ће се додатно усавршити поступак пројектовања. Очекује се да ће се симулирани резултати и резултати добијени мерењем на реализованом прототипу веома добро поклопити. Додатно, при пројектовању оба описана појачавача користиће се Source/Load Pull техника за дефинисање улазних и излазних кола за прилагођење, а појачавачи ће радити у класи АВ.

У наставку истраживања биће развијена нова теорија везана за таласно обликовање сигнала код појачавача у класи J и биће развијена нова дизајн-крива која ће омогућити једноставно пројектовање појачавача са унапред дефинисаном ефикасношћу. Пошто се за успешно пројектовање појачавача у класи J морају знати унутрашњи паразити транзистора (линеарни и нелинеарни), изучиће се додатна теорија како би се ови паразити могли екстраховати. Захваљујући томе, излазно коло за прилагођење, које дефинише класу рада појачавача, биће направљено тачније и појачавач ће боље радити у задатој класи J. Параметри два реализована прототипа појачавача у класи J биће верификовани мерењем у лабораторији и биће урађена компаративна анализа параметара добијених симулацијама и мерењем.

Кола за прилагођење су неизоставни пасивни делови активних кола и од посебног су значаја код реконфигурабилних и подесивих појачавача. Стога је разумљиво да је њихово изучавање неопходно у циљу успешне реализације предложених појачавача. Посебна пажња ће се посветити пројектовању dual-band кола, а као прекидачки елементи у њима ће се користити PIN диода и силицијумски оптички прекидач.

На крају ће се, теоријски и кроз нумерике симулације, изучити могућност коришћења графена, као новог материјала, у реконфигурабилним колима. Графен је релативно скоро откривен и, као први пронађени 2-D материјал у природи, има неке веома занимљиве особине. За ову дисертацију од интереса су електричне особине које ће се искористити у пројектовању кола за прилагођење. Графен неће бити изучаван са физичарске тачке гледишта, већ ће се само његове електричне особине, кроз адекватне моделе, имплементирати у софтвер, а добијени симулирани резултати ће се проучити у циљу добијања јасне слике о његовом потенцијалу и будућој употреби. У разна микроталасна кола заснована на микротракастој технологији и технологији копланарног таласовода може се имплементирати графен и на тај начин може се постићи реконфигурабилност. На крају, део реконфигурабилног кола за прилагођење првог појачавача предложеног (и реализованог) у дисертацији, који садржи PIN диоду, биће замењен колом са графеном и симулацијама ће се анализирати предности и мане таквог дизајна. Слично се може урадити и са другим реконфигурабилним колима предложеним у дисертацији, где се уместо PIN диода и оптичких прекидача могу користити графенски прекидачи.

7. Закључак и предлог

На основу изложеног, Комисија констатује да мастер инж. електротехнике Бранко М. Буквић испуњава све потребне услове да може приступити изради докторске дисертације. Комисија предлаже да се наслов теме измени из “Реконфигурабилни и подесиви ефикасни појачавачи снаге за предајнике четврте генерације” у „Реконфигурабилни и подесиви ефикасни појачавачи снаге за предајнике телекомуникационих уређаја“.

Предложена тема је научно заснована, припада ужој научној области Електромагнетика, антене и микроталаси, а тиме и модулу Микроталасна техника на докторским студијама, и представља развој методологије за пројектовање ефикасних појачавача снаге који могу бити реконфигурабилни и подесиви. Тема је и од практичног значаја јер омогућава једноставну физичку реализацију нових појачавача.

Стога комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да одобри Бранку М. Буквићу израду докторске дисертације под руководством др Милана Илића, ванредног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

14. децембар 2015.

Чланови комисије



др Милан Илић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Антоније Ђорђевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Ђурађ Будимир, reader
University of Westminster, London, UK



др Наташа Нешковић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет