

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет:

Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Николе Томашевића, дипл. инж.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 5015/07-2 од 19.09.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Николе Томашевића

„Симулација краткотрајног фединга мобилног пропагационог канала заснована на вештачким неуралним мрежама”.

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Никола Томашевић уписао се школске 2007/2008. године на докторске академске студије, студијски програм Електротехника и рачунарство, модул Телекомуникације и информационе технологије. Тему докторске дисертације под насловом “Симулација краткотрајног фединга мобилног пропагационог канала заснована на вештачким неуралним мрежама” пријавио је 15. јуна 2012. године. На седници Комисије за студије трећег степена Електротехничког факултета, одржаној 26. јуна 2012. године, дата је сагласност на предлог теме за израду докторске дисертације и у складу са Правилником о докторским студијама, Наставно-научном већу је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме у саставу: др Александар Нешковић (ванр. проф. Електротехничког факултета у Београду), др Наташа Нешковић (ванр. проф. Електротехничког факултета у Београду), др Будимир Ђурађ (*Reader, University of Westminster*, Лондон, Велика Британија), др Жељко Ђуровић (ред. проф. Електротехничког факултета у Београду) и др Ирини Рељин (ред. проф. Електротехничког факултета у Београду). За ментора дисертације предложен је др Александар Нешковић.

На 751. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 03. јула. 2012. године, прихваћен је предлог Комисије за студије трећег степена и потврђена је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме, као и предложени ментор. На основу извештаја Комисије и пратеће документације, предложена тема је прихваћена на

седници Наставно-научног већа, одржаној 25. септембра 2012. године, а 22. октобра 2012. године прихваћена је и на Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 6. септембра 2013. године. На седници Комисије за трећи степен, одржаној 10. септембра 2013. године, констатовано је да је кандидат предао урађену дисертацију, па је на основу увида у дисертацију и пратећих докумената, а у складу са Правилником о докторским студијама, Комисија за трећи степен студија потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену дисертације у саставу: др Александар Нешковић (ванр. проф. Електротехничког факултета у Београду), др Ирине Рељин (ред. проф. Електротехничког факултета у Београду), др Будимир Ђурађ (*Reader, University of Westminster*, Лондон, Велика Британија), др Наташа Нешковић (ванр. проф. Електротехничког факултета у Београду) и др Жељко Ђуровић (ред. проф. Електротехничког факултета у Београду). На седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 19. септембра 2013. године, прихваћен је предлог Комисије за трећи степен студија.

1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације јесте симулација краткотрајног фединг процеса мобилног пропагационог канала и у оквиру ње предложена је нова симулациона метода заснована на принципима вештачких неуралних мрежа. У ширем смислу дисертација припада научној области Техничких наука – електротехнике, а у ужем смислу области Телекомуникација и информационих технологија. За ментора докторске дисертације одређен је др Александар Нешковић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, због својих научних доприноса у области мобилних радио система и моделовања радио канала коришћењем вештачких неуралних мрежа.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Никола Томашевић рођен је 04.12.1983. године у Београду. Основну школу „Браћа Јерковић” у Београду завршио је 1998. године са максималном просечном оценом (5.0) и добитник је Вукове дипломе. У периоду од 1998. до 2002. године, био је ученик XIII београдске гимназије, коју је завршио, такође, са максималном просечном оценом. У периоду од 2002. до 2007. године студирао је на Електротехничком факултету у Београду, смер Телекомуникације. 2006. године, у оквиру стручне праксе у области телекомуникација, био је део тима компаније *General Telecom Services* у Тунису. Студије је завршио јула 2007. године са просечном оценом 9.67. Резултати дипломског рада под називом “Симулација *short-term fading*-а помоћу вештачких неуралних мрежа”, под менторством ванр. проф. др Наташе Нешковић, објављени су на 15. телекомуникационом форуму TELFOR 2007 и награђени на конкурс у ETF BAFA USA за најбољи пројекат студената на редовним студијама на Електротехничком факултету.

Почетком 2008. године уписао је Докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, смер Телекомуникације и информационе технологије - Телекомуникације, под менторством ванр. проф. др Александра Нешковића. Испите на Докторским студијама положио је просечном оценом 10.00. Од 2007. године до данас запослен је као научни истраживач у Институту Михајло Пупин, тачније у *Fraunhofer – Pupin Joint Project Office*-у под вођством генералног директора института проф. др Сање Вранеш. На позицији научног истраживача у институту стекао је значајно радно искуство радећи на великом броју националних и европских истраживачких пројеката у областима као што су развој софтверског окружења за интелигентно и адаптивно управљање комплексним

инфраструктурама, развој интелегентних система за повећање енергетске ефикасности комплексних објеката попут аеродрома, развој первазивно-адаптивних инфраструктура за контекстно осетљив интелегентни систем човек-окружење, итд.

У току досадашњег истраживачког рада Никола Томашевић био је аутор или коаутор 17 техничких решења у оквиру пројеката Министарства науке и технолошког развоја (категорија М85), четири рада у часописима од међународног значаја (категорија М20), затим једанаест радова на конференцијама од међународног значаја (категорија М33) и шест радова на конференцијама од националног значаја (категорија М63). Од споменутих радова, три рада у часописима од међународног значаја, један рад на конференцији од међународног значаја и један рад на конференцији од националног значаја су проистекли из истраживачког рада у оквиру докторске дисертације.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на 163 стране куцаног текста латиничним писмом и садржи 67 слика, 18 табела и 142 библиографске референце. Такође, дисертација садржи насловну страну, кратак резиме дисертације на српском и енглеском језику, предговор, садржај, 8 тематских глава, закључак и списак коришћене литературе. Главе дисертације су следеће: 1. Увод, 2. Пропагационе карактеристике радио канала, 3. Статистички параметри фединга, 4. Основне карактеристике вештачких неуралних мрежа, 5. Симулација краткотрајног фединга, 6. Симулација корелисаног краткотрајног фединга, 7. Симулација других стохастичких процеса и 8. Закључак.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

План и методологија истраживања се састоје од теоријског и практичног дела који су изложени у оквиру докторске дисертације. Структура докторске дисертације је организована по следећим главама. Глава 2 разматра основне пропагационе карактеристике радио канала. Најпре је дефинисан појам радио канала. Затим су уведени појмови пропагационог слабљења и фединга као ограничавајућих фактора при коришћењу мобилних радио система. Потом су дати математички изрази који дефинишу модел радио канала и објашњени су појмови *multipath* фединга и Доплеровог (*Doppler*) ефекта.

У оквиру Главе 3 докторске дисертације су анализирани карактеристични параметри фединг сигнала. Најпре су дефинисане основне статистичке расподеле које се користе при карактеризацији феномена фединга, као што су Гаусова (*Gauss*), Рејлијева (*Rayleigh*) и Рајсова (*Rice*) расподела. Затим су анализирани параметри који описују интензитет фединга попут учестаности проласка фединга кроз одређени ниво (*Level-Crossing Rate* - LCR) и средњег трајања фединга (*Average Duration of Fades* - ADF) параметара. Додатно, описане су и аутокорелационе карактеристике фединга. Теоријске вредности параметара, као и методе за процену вредности карактеристичних параметара из датог узорка, такође су разматране.

У глави 4 размотрен је појам вештачких неуралних мрежа (*Artificial Neural Network* - ANN) у циљу представљања основних карактеристика, структуре, као и области апликација у којима неуралне мреже заузимају значајно место. Тачније, анализирани су рачунске способности основне неуронске јединице. Затим су дефинисане категорије учења мрежа, од којих је “надгледано” учење детаљније анализирано. Такође, описан је начин функционисања вишеслојних мрежа, као и једно од најзначајнијих правила учења, алгоритам

пропагације грешке уназад (*Error Back-Propagation* – EBP). Зарад анализе генерализационих способности ANN-а, уведен је и појам крос-валидационе (*cross-validation*) процедуре.

У Глави 5 докторске дисертације је анализирана проблематика симулирања појединачног фединг процеса. Заправо, предложена је нова метода симулирања краткотрајног фединга, која се заснива на принципима вештачких неуралних мрежа. Да би се формирао адекватни скуп тренинг података, спроведена су мерења јачине пријемног електричног поља у *indoor* окружењу, у *nonline-of-sight* (NLoS) сценарију. Као оцена квалитета предложене методе, спроведено је поређење са постојећим симулационим методама Рејлијевог фединга. Садржај Главе 5 је организован тако што су, најпре, побројане и описане постојеће методе симулирања сигнала Рејлијевог фединга у литератури. Затим је разматрана мерна процедура и обрада мерних података, као и екстракција краткотрајног фединга из снимљеног узорка. Потом је детаљно анализирана предложена метода и описан општи модел фединг симулатора, који се базира на неуралним мрежама. Тачније, представљена је структура предложеног симулатора, као и његове главне компоненте. Да би се избегао улазак ANN-а у стационарно стање, уведен је концепт водећег сигнала. Након описа процеса оптимизације и валидације предложеног модела над мерним подацима, представљена је компаративна анализа резултата и перформанси како предложене, тако и постојећих метода.

У оквиру Главе 6 је предложена нова метода за симулацију корелисаних фединг процеса, тачније две корелисане анvelope краткотрајног фединга. Предложена метода је, такође, заснована на принципима вештачких неуралних мрежа. Основна идеја је да се оптимизација симулатора врши искључиво над мерним резултатима. Стога је мерење јачине електричног поља спроведено у *indoor* окружењу, у NLoS сценарију. Ради верификације предложене методе, извршено је поређење перформанси у односу на једну од актуелних метода која се базира на *coloring* матрици. Структура Главе 5 започиње, најпре, анализом постојеће методе симулације корелисаних фединг сигнала у литератури. Након описа процедуре прикупљања и обраде мерних података, детаљно је описан предложени модел симулатора корелисаног фединга који се базира на вештачким неуралним мрежама. Затим је описан концепт водећег сигнала за случај симулације корелисаних фединг сигнала. Потом су анализирани главне компоненте симулатора, структура коришћених неуралних мрежа, као и начин на који су мреже оптимизоване над мерним подацима. Ради увида у перформансе, како предложене тако и постојеће методе, разматрани су компаративни резултати спроведених симулација.

У Глави 7 докторске дисертације је анализиран пример примене предложене методе за симулацију других стохастичких сигнала који показују тзв. квази-периодичне карактеристике сличне процесу краткотрајног фединга, као што је то случај са људским можданим таласима (*Electroencephalogram* - EEG). Заправо, разматрана је могућност примене предложене методе у циљу симулације спонтане људске позадинске EEG активности на основу експериментално прикупљених EEG података. Да би се формирао адекватан скуп тренинг података, извршено је мерење EEG сигнала здраве одрасле особе. У циљу демонстрације перформанси предложеног приступа, спроведено је поређење у односу на постојећу методу која се базира на *autoregressive moving average* (ARMA) филтрирању. Структура Главе 7 је организована тако што је, најпре, дат опис постојеће симулационе методе EEG сигнала која се заснива на филтрирању Гаусовог шума. Потом су описана мерења спроведена на људском субјекту и обрада снимљених EEG вредности. Након уопштеног прегледа предложеног приступа EEG симулацији, уведен је концепт водећег сигнала оптимизован за случај EEG симулације. Затим је детаљно анализирана архитектура ANN-а, као и оптимизациона процедура симулатора над мерним подацима. У циљу верификације предложеног симулационог приступа, спроведено је поређење перформанси постојећег и предложеног симулатора.

Закључна разматрања и коначна анализа истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације су изложени у завршној Глави 8.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација припада модерној и атрактивној области мобилних радио система. Највећи број данашњих радио система припада групи мобилних система што подразумева да радио предајник и/или пријемник имају могућност кретања, без обзира да ли се они стварно крећу или не. При томе, од посебног интереса су земаљски радио системи код којих су и предајник и пријемник у непосредној близини тла. У типичним пропагационим условима, без обзира да ли између предајне и пријемне антене постоји директна оптичка видљивост, или не, до пријемника по правилу долази већи број рефлектованих компоненти изворног сигнала. Стога, сигнал на пријему губи своје детерминистичке особине и постаје случајан у простору и времену, што се описује појмом фединга. С обзиром на чињеницу да за описивање фединга није могуће користити детерминистички приступ, анализа се по правилу ослања на велики број мерења и одговарајућу статистичку обраду.

Нестабилност нивоа сигнала на пријему, односно стохастичка природа сигнала, може довести до тога да сигнал падне испод прага пријема и на тај начин дође до нарушавања квалитета везе. Такође, због случајних вредности кашњења рефлектованих компоненти долази до ширења емитованог импулса, односно до ткз. дисперзије која потенцијално води до интерсимболске интерференције. Са друге стране, различите технике примењене у преносу сигнала, као што су нпр. диверсити и MQAM (*Multilevel Quadrature Amplitude Modulation*) системи са више носилаца, подлежу утицају корелисаних краткотрајних фединг процеса. Стога су фединг симулатори од велике важности за процену перформанси бежичних комуникационих система. Симулација како појединачног, тако и корелисаних фединг процеса, од теоријског и практичног интереса је већ дуги низ година. Пошто се докторска дисертација кандидата бави проблемом симулирања појединачног, као и корелисаних фединг процеса, односно стохастичких флукуација сигнала на пријему, може се констатовати да је тема веома актуелна. Оригиналност рада презентованог у докторској дисертацији огледа се у новој симулационој методи краткотрајног фединг процеса са приближно истим статистичким и корелационим карактеристикама као код фединг процеса издвојених из сигнала на пријему реалног комуникационог система. С обзиром на значај истраживања који проистиче из савремености и актуелности описане проблематике, сматрамо да дисертација кандидата задовољава све прописане стандарде за израду докторске дисертације.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у дисертацији је пажљиво одабрана и садржи најважније радове који покривају посматрану научну област. Велики број радова је новијег датума, што указује на актуелност одабране проблематике. На основу обима коришћене литературе може се закључити да је кандидат имао темељан увид у досадашње доприносе у овој и блиским научним областима. Постојеће симулационе методе на основу којих је извршена верификација предложене методе претежно су објављене у реномираним и врхунским међународним часописима. Део референци упућује и на радове објављене на најзначајнијим међународним конференцијама.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Предложена метода симулације краткотрајног фединг процеса заснива се на принципима вештачких неуралних мрежа због њихове адаптивне природе и способности „учења према примеру”. Заправо, симулациона метода користи вредности нивоа електричног поља измерене у бежичном комуникационом систему ради тренирања неуралне мреже. Основна идеја методе је да се на основу више sukcesивних одбирака фединг сигнала, пропуштених кроз неуралну мрежу, врши предикција наредне фединг вредности. Да би се избегао улазак вредности генерисаних на излазу неуралне мреже у стационарно стање, предложен је концепт „водећег сигнала”. Другим речима, имплементиран је генератор водећег сигнала који указује на смер у ком неурална мрежа треба да генерише следећу фединг вредност. На тај начин је неурална мрежа навођена кроз процес симулације. Генератор водећег сигнала заснован је на статистичким карактеристикама измереног фединг сигнала и генератору случајних бројева. Целокупни експеримент, односно имплементација симулатора, спроведен је у четири корака. У првом кораку, вршена су мерења нивоа електричног поља на месту покретне пријемне антене. Други корак се састојао од одређивања одговарајуће врсте и архитектуре неуралне мреже и процене оптималних параметара симулације, као што је величина тренинг скупа и број елемената улазног вектора неуралне мреже. Затим, у трећем кораку, спроведени су тренинг и валидациони поступци у циљу оптимизације и увида у генерализационе способности неуралне мреже. У последњем кораку приступљено је симулацији и верификацији добијених резултата.

У циљу верификације симулатора спроведена је одговарајућа статистичка анализа, односно утврђено је у којој мери добијени резултати одговарају подацима измереним у реалном комуникационом систему. Спроведено је и поређење перформанси предложене методе у односу на постојеће симулационе методе чиме су истакнуте предности и мане сваке методе понаособ. У циљу утврђивања колико симулирани процеси одступају од измерених, у оквиру статистичке анализе анализиран је већи број квалитативних и квантитативних параметара који описују стохастичке флукуације сигнала на пријему. Такође, ради поређења са теоријским карактеристикама модела радио канала, измерене и симулиране фединг вредности анализирани су и у односу на теоријске резултате. На тај начин испитана је могућност практичне примене предложене симулационе методе.

На основу изложеног Комисија констатује да примењене научне методе у потпуности одговарају проблему и циљевима докторске дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

У циљу симулације радио канала обично се претпоставља да фединг подлеже „чистој“ Рејлијевој статистичкој расподели, што често и није случај у пракси. Такође, приликом анализе перформанси савремених комуникационих система, код којих су примењене диверзити шеме и OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) методе, често се подразумевају некорелисане фединг анvelope на пријему. Овакав приступ за последицу може имати да спроведена анализа не даје реалну слику перформанси комуникационог система. У литератури су предложене различите симулационе технике фединг процеса. Предложене технике углавном су развијене и тестиране узимајући у обзир искључиво теоријске карактеристике фединг процеса. Мерења у конкретним системима нису узимана у обзир.

Супротно постојећим симулационим методама, које су развијене ослањајући се на теоријске карактеристике фединг процеса, основна идеја предложене методе је имплементација фединг симулатора који је оптимизован над мереним подацима добијеним у бежичном комуникационом систему. На основу статистичке анализе добијених симулационих резултата, може се донети закључак да се предложена метода заснована на

ANN-у може користити за потребе симулације стохастичких сигнала који показују одређене аутокорелационе карактеристике као и квази-периодичну природу осцилација. Најпре, може се закључити да је примена предложене методе за симулирање појединачних и корелираних сигнала Рејлијевог краткотрајног фединга показала задовољавајуће резултате. Пошто су мерења јачине електричног поља спроведена у *indoor* окружењу које је окарактерисано неправилним механизмима пропагације и различитим пропагационим ефектима радио таласа, може се очекивати да ће предложено решење, након одговарајуће оптимизације неуралних мрежа, показати сличне перформансе и у *outdoor* окружењу. Са друге стране, такође се могу констатовати задовољавајући резултати добијени применом предложене методе за потребе симулирања људске позадинске EEG активности. Имајући претходно поменуто у виду, задовољавајуће перформансе предложене ANN симулационе методе могле би се, такође, очекивати при симулацији других стохастичких сигнала који показују сличне карактеристике као и фединг процес (по питању аутокорелације и квази-периодичне природе осцилација).

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу прегледане дисертације Комисија процењује да је кандидат показао способност за самостални научни рад, почевши од систематизације и критичког осврта на постојеће симулационе методе, преко уочавања проблема, па до развоја оригиналних симулационих метода и алгоритама. У прилог напоменутог је и чињеница да је кандидат објавио низ научних радова који су проистекли из дисертације а у којима се појављује као први аутор.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације огледају се у следећем:

- Развој нове симулационе методе стохастичког фединг сигнала са дефинисаним статистичким карактеристикама, веће тачности од постојећих симулационих метода, која се заснива на вештачким неуралним мрежама.
- Развој нове симулационе методе корелираних фединг процеса са одговарајућим статистичким и корелационим карактеристикама.
- Могућност примене предложене симулационе методе на друге стохастичке сигнале који показују тзв. квази-периодичне карактеристике сличне краткотрајном фединг процесу (попут људске позадинске EEG активности).

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених хипотеза, циљева истраживања и остварених резултата констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва релевантна питања за решавање проблема дефинисаног предметом истраживања. Систематичан и детаљан приказ имплементације предложене симулационе методе, темељна статистичка анализа симулационих резултата, поређење са постојећим релевантним симулационим методама,

представљају значајан научни допринос у области телекомуникација и информационих технологија, што је и верификовано објављивањем резултата истраживања у престижним часописима од међународног значаја, као и на признатим конференцијама од међународног и националног значаја.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је објавио више радова у вези са темом докторске дисертације, чији су резултати директно проистекли из дисертације или су тесно везани са истраживањем спроведеним у оквиру ње:

Категорија M23:

- **Тomašević N. M.**, Nešković A. M., Nešković N. J., “Short-term fading simulation using artificial neural networks,” AEU - International Journal of Electronics and Communications, vol. 65, no. 7, pp. 641–649, 2011., doi:10.1016/j.aeue.2010.09.005. (IF=0,588 за 2011. год., ISSN 1434-8411)
- **Тomašević N. M.**, Nešković A. M., Nešković N. J., “Artificial neural network based simulation of correlated short-term fading,” AEU - International Journal of Electronics and Communications, (accepted for publication), 2013. (IF=0,551 за 2012. год., ISSN 1434-8411)

Категорија M21:

- **Тomašević N. M.**, Nešković A. M., Nešković N. J., “Artificial neural network based approach to EEG signal simulation,” International Journal of Neural Systems (IJNS), vol. 22, no. 3, 1250008 (16 pages), 2012., doi:10.1142/S0129065712500086. (IF=5,054 за 2012. год., ISSN 0129-0657)

Категорија M33:

- **Тomašević N. M.**, Nešković A. M., Nešković N. J., “Short-term fading simulator based on artificial neural networks,” IEEE EUROCON 2009 Conference, pp. 1681-1688, 2009.

Категорија M63:

- **Тomašević N. M.**, Nešković A. M., Nešković N. J., “Simulacija *short-term fading*-a pomoću veštačkih neuralnih mreža,” 15. Telekomunikacioni forum TELFOR 2007, Beograd, Srbija, pp. 749-752, 2007.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Николе Томашевића под насловом „Симулација краткотрајног фединга мобилног пропагационог канала заснована на вештачким неуралним мрежама” у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све битне елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији је предложена нова симулациона метода краткотрајног фединг процеса са приближно истим статистичким и корелационим карактеристикама као код фединг процеса издвојених из сигнала на пријему реалног комуникационог система. Супротно постојећим симулационим методама, које су развијене ослањајући се на теоријске карактеристике фединг процеса, основна идеја предложене методе је имплементација фединг

симулатора који је оптимизован над мереним подацима добијеним у бежичном комуникационом систему. Резултате проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације кандидат је објавио у водећим међународним часописима и презентовао стручној јавности на конференцијама од међународног и националног значаја. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидата, Комисија констатује да дисертација представља оригиналан и савремен научни допринос у домену Телекомуникација и информационих технологија.

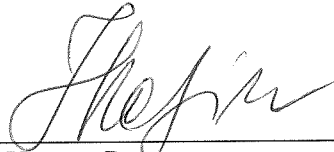
На основу наведеног, Комисија констатује да је кандидат Никола Томашевић, дипломирани инжењер електротехнике, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета у Београду, те, са задовољством, предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да овај реферат прихвати, и у складу са законском процедуром, упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

У Београду, 18. октобар 2013.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



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



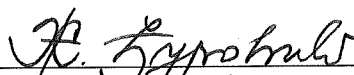
др Ирине Рељин, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Будимир Ђурађ, *Reader*
University of Westminster, Лондон, Велика Британија



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



др Жељко Ђуровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет