

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Ивана Кнежевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком 5042/08/4 бр. од 11.06.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ивана Кнежевића, мастера инжењера електротехнике и рачунарства, под насловом

"Радијациона отпорност резистивних постојаних меморија"

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На основу Захтева кандидата, на седници Комисије за трећи степен студија Електротехничког факултета одржаној 1.11.2012. констатовано је да је Иван Кнежевић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, пријавио докторску дисертацију под називом "Радијациона отпорност резистивних постојаних меморија". У складу са Статутом Електротехничког факултета, Наставно-научном већу Електротехничког факултета је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме у саставу: др Милош Вујисић, доц. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду), др Предраг Осмокровић, ред. проф. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду), др Александра Васић-Миловановић, ванр. проф. (Машински факултет Универзитета у Београду). За ментора дисертације је предложен др Милош Вујисић.

На 755. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета одржаној 6.11.2012. прихваћен је предлог Комисије за трећи степен студија и потврђена је предложена Комисија за оцену услова и прихватања теме, као и предложени ментор.

Именована Комисија је 30.1.2013. године, на основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Научно-наставном већу Електротехничког факултета поднела Извештај о подобности теме "Радијациона отпорност резистивних постојаних меморија" и кандидата Ивана Кнежевића за израду докторске дисертације. На 760. седници Научно-наставног већа Електротехничког факултета одржаној 12.3.2013. предложена тема је усвојена.

На основу те одлуке, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност да се предложена тема прихвати, на својој седници одржаној 15.4.2013.

На седници Комисије за трећи степен студија одржаној 4.6.2013. констатовано је да је кандидат Иван Кнежевић предао урађену докторску дисертацију. На основу увида у дисертацију и пратећих докумената, а у складу са Статутом електротехничког факултета, Комисија за трећи степен студија је потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. Комисија за трећи степен студија је Наставно-научном већу Електротехничког факултета предложила Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Милош Вујисић, доц. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду), др Предраг Осмокровић, ред. проф. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду), др Александра Васић-Миловановић, ред. проф. (Машински факултет Универзитета у Београду).

На 763. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета одржаној 11.6.2013. је овај предлог Комисије за трећи степен студија прихваћен, с тим да је Комисија за преглед и оцену проширена са два члана: др Ковиљка Станковић, доц. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду) и др Братислав Иричанин, доц. (Електротехнички факултет Универзитета у Београду).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом "Радијациона отпорност резистивних постојаних меморија" припада научним областима физичке електронике и нуклеарне технике (у ужем смислу, области изучавања ефеката зрачења у материјалима и електронским компонентама), при чему садржи елементе примењене математике (нумеричке симулације транспорта честица зрачења кроз средину, засноване на пробабилистичком моделовању физичких интеракција). Ментор дисертације је др Милош Вујисић, доцент на Електротехничком факултету Универзитета у Београду који се се дуги низ година бави наставним и научноистраживачким радом у областима физичке електронике, метрологије и нуклеарне технике, са до сада објављених 56 радова у часописима са SCI листе.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Иван Кнежевић је рођен 5.1.1984. у Чачку. Основну школу и Прву београдску гимназију, природно-математички смер, завршио је у Београду, обе са Вуковом дипломом и звањем Бака генерације. Електротехнички факултет у Београду је уписао 2003. године. Основне студије на одсеку за Физичку електронику, смер Биомедицински и еколошки инжењеринг, завршио је 2007. године, са просечном оценом 9,49. Дипломски рад под називом "Заштита од зрачења код примене ^{131}I у терапији карцинома штитасте жлезде" је одбранио под менторством проф. Предрага Осмокровића, са оценом 10. Мастер судије на истом смеру је завршио 2008. године, са просечном оценом 10,00. Мастер рад под називом "Интеракција нејонизујућег зрачења екстремно ниских фреквенција са живом материјом" је одбранио под менторством проф. Предрага Осмокровића, са оценом 10. Школске 2008/2009 је уписао докторске студије на студијском подручју Нуклеарна, медицинска и еколошка техника, где је положио све испите са просечном оценом 10,00 и одрадио све обавезе предвиђене наставним програмом докторских студија за прве две године.

Од септембра 2008. године ради у Лабораторији за заштиту од зрачења и заштиту животне средине Института за нуклеарне науке "Винча" као инжењер за заштиту од зрачења. У фебруару 2009. године завршава 182. Специјални курс заштите од јонизујућих зрачења под називом "Мере радијационе и нуклеарне сигурности у Институту Винча", а од новембра 2009. добија посао у Јавном предузећу "Нуклеарни објекти Србије" као инжењер за испитивање радиоактивности. У јулу 2010. завршава обуку на "Националном курсу о сигурном и безбедном отпремању истрошеног нуклеарног горива из Републике Србије у Руску Федерацију". Бива ангажован на препакивању и транспорту истрошеног нуклеарног горива из истраживачког реактора РА у Винчи у Руску Федерацију, где врши мониторинг радиолошких параметара радне средине као руководиоца сменског особља. Ради на испитивању интеракције зрачења са различитим врстама и типовима материјала и одређивању специфичне активности и дозиметријских величина. Учествује у изради Програма за систематско испитивање радиоактивности у околини нуклеарног објекта. Испитује и врши мерења специфичне активности одређених радионуклида у узорцима воде, ваздуха, земље и биљака приликом радиолошког мониторинга животне средине. Гамаспектрометријски анализира биолошке узорке професионално изложених лица и као први аутор презентује радове ове проблематике на домаћим конференцијама. На регионалном скупу 2011. године у организацији Међународне агенције за атомску енергију под називом "Regional Workshop on Operational Radiation Protection Programme and Waste Management Programmes for Research Reactors" у Турској представља земљу као оператор нуклеарног објекта. Одржава националну интернет презентацију посвећену радијационој сигурности и управљању радиоактивним отпадом на сајту Института Винча, од настанка до данас. Учествује у изради Коначног извештаја о нуклеарној сигурности за привремено складиште радиоактивног отпада ХЗ и безбедно складиште радиоактивних извора БС. У марту 2011. године у Србији завршава обуку фирме RadPro International из Немачке за термолуминисцентну дозиметрију, а у мају исте године обуку за оптички стимулисану дозиметрију, у фирми Landauer у Паризу. Са тимом сарадника учествује у акредитовању метода лабораторије за испитивање Јавног предузећа према стандарду ISO/IEC 17025.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Ивана Кнежевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под називом "Радијациона отпорност резистивних постојаних меморија" написана је на 174 стране, латиничним писмом, подељена је на шест поглавља, при чему садржи списак литературе са 117 референци. Поглавља докторске дисертације су следећа: 1. Увод (2 стране), 2. Интеракција зрачења са материјалом (24 стране, 9 слика), 3. Резистивне меморије са произвољним приступом (47 страна, 38 слика, 2 табеле), 4. Радијациона оштећења у резистивним меморијама са произвољним приступом (31 страна, 16 слика, 2 табеле), 5. Експериментални рад и дискусија (63 стране, 31 слика, 1 табела), 6. Закључак (2 стране).

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *Уводу* укратко је описана актуелност проблематике којом се бави дисертација, са посебним освртом на широки спектар примена меморија када се оне налазе у пољу јонизујућег зрачења. Предмет истраживања је дефинисан као утицај јонизујућег зрачења на особине и начин функционисања резистивних постојаних меморија, са циљем прорачуна концентрације дефеката насталих у активном материјалу ових меморија након интеракције зрачења са

материјалом, приказа запреминског оштећења меморијске ћелије по упадној честици по јединици дужине, прорачуна апсорбоване дозе у материјалу резистивне постојане меморије и приказа промена облика хистерезисне струјно-напонске криве у зависности од промене отпорности примарног активног региона меморијске ћелије и промене покретљивости ваканција кисеоника у активном региону меморије, које се јављају услед дејства зрачења. Дат је кратак преглед поглавља дисертације.

У поглављу под називом *Интеракција зрачења са материјалом* је разматрана интеракција зрачења са материјалом на нивоу изолованог атома материјала, независно од агрегатног стања и типа хемијских веза међу атомима. Интеракција зрачења са материјалом је представљена у две одвојене целине: интеракција електромагнетног зрачења са материјалом и интеракција честица са материјалом. У првом делу су представљени и објашњени атенуација гама зрака, фотоелектрични ефекат, расејање електромагнетног зрачења на електрону (Томсоново, Рејлијево и Комптоново) и стварање пара електрон-позитрон. У другом делу овог поглавља изложени су детаљи о нееластичном расејању лаким и тешким наелектрисаним честица на електронском омотачу атома, интеракционим процесима неутрона, као и о нееластичним и еластичним расејањима честица на атомском језгру.

У поглављу под називом *Резистивне меморије са произвољним приступом* су приказане упоредне карактеристике резистивних постојаних меморија са карактеристикама других типова меморија које су у актуелној употреби данас. Објашњена је структура ћелије резистивне постојане меморије са посебним освртом на врсте материјала који су погодни за израду примарног и секундарног активног региона меморијске ћелије. Представљени су начини функционисања и основни типови резистивних постојаних меморија са случајним приступом: меморије базиране на електродама, меморије базиране на термохемијском механизму и меморије базиране на дефектима. Посебан осврт је дат на рад резистивних меморија базираних на кисеоничним ваканцијама, где су објашњене следеће фазе: процес формирања, RESET стање, SET стање, читање, верификација и вишестепена операција. Објашњени су биполарно и униполарно отпорно прекидање, као два основна типа резистивних прекидачких механизма. Приказана је коегзистенција хомогеног и филаментарног резистивног прекидања у Fe допираном SrTiO₃ танком филму. Изведени су изрази за идеалан физички модел меморијске ћелије, где су претпостављени омско електронско провођење, линеарни јонски дрифт и оштра вертикална разлика између слојева унутар активног дела структуре овог уређаја.

У поглављу под називом *Радијациона оштећења у резистивним меморијама са случајним приступом* су представљена оштећења у материјалу резистивних постојаних меморија која се јављају услед излагања зрачењу: појава нечистоћа, јонизација атома средине, депоновање енергије и оштећења измештањем (са посебним освртом на нејонизујуће губитке енергије). Изложена је класификација дефеката на кластере и тачкасте дефекте. Посебна пажња је посвећена радијационим ефектима у оксидима, пошто су оксиди материјали који су највише заступљени као материјали за израду активног региона резистивне меморијске ћелије. Објашњени су следећи ефекти који се при томе јављају: струја цурења индукована радијацијом, мек пробој индукован радијацијом, модели захвата наелектрисања у оксидима након јонизације и систем замки наелектрисања на површини оксидованог силицијума. На крају поглавља је објашњено отпуштање дефеката, као и кинетика овог процеса.

У *Експерименталном раду и дискусији* су приказани резултати нумеричког експерименталног рада, у оквиру ког је развијен посебан *MatLab* код за прорачун дозиметријских величина од интереса. Након симулација излагања за сваки тип испитиване

меморијске ћелије и врсту и енергију зрачења, добијени су следећи резултати: приказ трајекторија честица упадног зрачења кроз целу дубину материјала излагане ћелије, приказ дистрибуције измештених атома материјала, упоредни приказ јонизационих енергетских губитака насталих од упадних честица и од измештених атома материјала, приказ расподеле насталих ваканција атома у зависности од структуре ћелије, тродимензионални приказ оштећења меморијске ћелије по упадној честици по јединици дужине, израчуната апсорбована доза у материјалу резистивне меморијске ћелије, приказ промене струно-напонске криве са смањењем отпорности примарног активног региона резистивне меморијске ћелије, приказ промене струно-напонске криве са смањењем покретљивости ваканција кисеоника у активном региону меморије након дејства зрачења.

У поглављу *Закључак* невидено је да пролаз јонизујућег зрачења кроз резистивне меморије са произвољним приступом утиче на особине и функционалност ћелија ових меморија путем више механизма, у које се убрајају: генерација нечистоћа; захват, заустављање и формирање привременог слоја наелектрисања у активној запремини меморије; раскидање хемијских веза које се јављају на интерфејсима (међуповршима), нарочито између активног дела уређаја и електроде; појава оштећења измештањем и настанак дефеката (тачкастих дефеката и кластера); настанак струје цурења и појава меког пробоја. Утицај ваканција кисеоника створених зрачењем на резистивну меморијску ћелију је најизраженији за амплитуде наизменичног напона које не доводе димензије стехиометријског примарног слоја активне области до димензија читаве ћелије. Пад отпорности примарног региона меморијске ћелије због присуства ваканција кисеоника и смањење покретљивости ваканција кисеоника доводе до промене облика и положаја хистерезисне струјно-напонске криве резистивне меморијске ћелије. Када се ћелија резистивне постојане меморије налази у стању високе отпорности, при ком је слој активне области сиромашан кисеоником смањен, зрачење може, путем ефеката који су установљени анализом спроведеном у дисертацији, да доведе до пертурбовања логичког стања ћелије и тиме до грешке при читавању садржаја.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Многе примене меморија, укључујући резистивне постојане меморије, подразумевају њихову изложеност јонизујућем зрачењу – на постројењима са нуклеарним реакторима, током процеса управљања и процесирања радиоактивног отпада, приликом стерилизације производа јонизујућим зрачењем, у дозиметрији јонизујућег зрачења, у нуклеарној медицини, радиодијагностици, радиотерапији, приликом коришћења акцелератора у физици високих енергија, у свемирским летелицама. У овим случајевима поузданост и исправан рад меморијских компоненти у великој мери зависе како од карактеристика зрачења, тако и од техничких специфичности меморија. Због свега наведеног, данас се проучавању радијационе отпорности електронских компоненти и материјала посвећује велика пажња. Анализа утицаја зрачења на савремене материјале за израду резистивних меморијских ћелија значајна је и због увида у понашање ових материјала током стандардних технолошких процеса израде интегрисаних електронских компоненти, који често укључују излагање јонским сноповима. Израда резистивних постојаних меморија од материјала који имају прекидачке особине је актуелна од пре свега неколико година, па је анализа ефеката зрачења на ове материјале од великог значаја у циљу употпуњавања свеобухватних испитивања карактеристика наведених материјала. Нумеричке симулације спроведене у раду су на оригиналан начин доведене у везу са теоријским аспектима који се тичу модела резистивне меморијске ћелије, узимајући у

обзир особине како конститутивних материјала ћелије тако и карактеристике радијационих поља са становишта енергије, флуенса и типа упадног зрачења. Докторска дисертација под називом "Радијациона отпорност резистивних постојаних меморија" кандидата Ивана Кнежевића има велики значај за будућа изучавања радијационе отпорности резистивних постојаних меморија, од којих зависи даља примена ових компоненти у новим генерацијама електронских кола.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Коришћена литература у раду се креће у опсегу од еминентних књига на тему радијационе отпорности електронских компоненти и интеракције зрачења са материјалом уопште, преко значајних публикација о интегрисаним електронским колима, до радова о резистивним постојаним меморијама објављених у престижним међународним часописима. У наведеним референцама се налазе и научни радови чији је аутор, односно коаутор, Иван Кнежевић.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методе коришћене у дисертацији укључују: теоријско моделовање структуре резистивне меморијске ћелије; примену нумеричких експеримената у циљу предвиђања понашања материјала за израду резистивне меморијске ћелије, као и сâмих меморијских ћелија, у условима изложености зрачењу; примену математичких алгоритама за одређивање дозиметријских величина које квантификују утицај зрачења на испитиване структуре. Симулације транспорта зрачења спроведене у раду омогућавају задавање променљивих параметара који се односе на материјале меморијске ћелије и физичке карактеристике поља зрачења, захваљујући чему представљају добар основ за одређивање оптималног опсега вредности физичких карактеристика материјала меморијске ћелије који могу повећати њихову радијациону отпорност.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати дисертације значајни су за праксу са становишта процене применљивости резистивних постојаних меморија у срединама које подразумевају изложеност зрачењу. Поред тога, анализа утицаја зрачења на материјале коришћене за израду меморијских ћелија значајна је и због увида у понашање тих материјала током технолошких процеса израде интегрисаних електронских компоненти, јер механизми израде могу укључити процесе излагања јонским сноповима. Применом Монте Карло симулација могуће је варирати особине и начин организације конститутивних материјала резистивне меморијске ћелије, и тиме установити дизајн који обезбеђује максимум њене радијационе отпорности.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Иван Кнежевић је у највећој мери самостално израдио докторску дисертацију. Свестраним праћењем актуелних истраживања у домену утицаја зрачења на меморијске компоненте, он је уочио значај испитивања утицаја јонизујућег зрачења на резистивне постојане меморије због све веће употребе ових меморија у срединама у којима су изложене јонизујућем зрачењу. Кроз оригиналан научно-истраживачки приступ проблему, кандидат је успешно остварио предвиђени циљ, пруживши свеобухватну анализу радијационих ефеката у резистивним постојаним меморијама.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

На основу приказаних резултата и дискусије утврђено је следеће:

- Излагање резистивних постојаних меморија јонизујућем зрачењу доводи до генерисања нечистоћа у материјалу меморије, што може довести до промена електричних и механичких особина материјала.
- Након излагања резистивних постојаних меморија зрачењу долази до формирања привременог слоја наелектрисања у активном региону ћелије.
- Радијација у меморијама нарушава лабилне везе које се јављају на интерфејсима (међуповршима), нарочито између активног дела уређаја и електроде.
- Зрачење у материјалу меморија индукује настанак тачкастих дефеката, који могу имати дискретне нивое у енергетском процепу и стога бити електрично активни.
- Зрачење одређеног типа и енергије у материјалу меморија индукује настанак кластера (области са високом густином дефеката), због чега долази до промене локалне зонске структуре.
- Излагање резистивних постојаних меморија зрачењу доводи до појаве струје цурења која зависи од дебљине активне области меморијске ћелије и од линеарног преноса енергије јонизујуће честице. Смањењем дебљине оксида испод 4 nm повећава се толерантност уређаја на описане ефекте, услед директног тунеловања електрона кроз баријеру оксида.
- Појава меког пробоја индукованог радијацијом након излагања резистивен меморијске ћелије јонском снопу са високим линеарним преносом енергије (тј. великом специфичном јонизацијом), кога карактерише повећање струје цурења активне запремине.
- Пошто је нејонизујући губитак енергије израженији за тешке јоне него за протоне и алфа честице истих енергија, тешки јони имају већи утицај на меморијску ћелију.
- Због димензија меморијских ћелија, које су нанометарске, испитиване ћелије резистивних постојаних меморија на бази оксида су имуне на протоне и јоне са енергијама већим од 10 MeV.
- Меморијске ћелије базиране на HfO_2 имају највећи степен оштећења у односу на остале испитиване материјале (TiO_2 , ZrO_2 , SrTiO_3).
- Апсорбована доза у испитиваним меморијама је за два реда величине већа приликом интеракције тешких јона (нпр. снап јона гвожђа) са материјалом, него у случају када је упадни снап сачињен од лакших наелектрисаних честица (нпр. снап протона, алфа честица, угљеникових јона).
- Утицај ваканција кисеоника индукованих радијацијом на меморијску ћелију је најистакнутији за амплитуде наизменичног напона које не приближавају димензије стехиометријског примарног региона димензијама саме ћелије.
- Радијација индукује појаву кисеоничних ваканција у примарном региону, што доводи до пада његове отпорности и тиме узрокује промену облика и положаја струјно-напонске криве меморијске ћелије.
- Присуство интерстицијалних атома измештених радијацијом може да смањи покретљивост ваканција кисеоника, мењајући изглед хистерезисне струјно-напонске криве меморијске ћелије.
- Када се ћелија резистивне постојане меморије налази у стању високе отпорности, при ком је слој активне области сиромашан кисеоником смањен, зрачење може, путем ефеката који су установљени анализом спроведеном у дисертацији, да доведе до пертурбовања логичког стања ћелије и тиме до грешке при читавању садржаја.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Након увида у актуелност проблематике, постављене циљеве, примењену методологију и представљене резултате, можемо констатовати да је кандидат успешно спровео истраживање ефеката зрачења на резистивне постојане меморије, које са развијеним нумеричким алгоритмима представља значајан научни и стручни допринос у областима физичке електронике и нуклеарне технике.

4.3. Верификација научних доприноса

Током досадашњег научно-истраживачког рада, Иван Кнежевић је објавио, у својству аутора и коаутора, један рад у истакнутом међународном часопису (са SCI листе) и четири рада на скуповима националног значаја.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Кнежевић, И.**, Здјеларевић, Н., Обреновић М., Вујисић М.: Absorbed Dose Assessment in Particle-Beam Irradiated Metal-Oxide and Metal-Nonmetal Memristors, - *Nuclear Technology & Radiation Protection*, vol. 27, no. 3, pp. 290-296, 2012 (IF=1.000) (ISSN 1451-3994)

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. **Кнежевић, И.**, Здјеларевић, Н., Обреновић М., Долићанин Е., Вујисић М.: Радијациони ефекти у мемристорима на бази титанијум диоксида, - 31. *Међународно саветовање за велике електроенергетске системе CIGRE Србија*, Зборник радова, Р Д1 11, Златибор, Србија, 2013

2. Бајчетић Н., **Кнежевић И.**: Испитивање стабилности карактеристика гасних одводника пренапона при излагању јонизујућем зрачењу (n и γ), - 29. *Међународно саветовање за велике електроенергетске системе CIGRE Србија*, Зборник радова, Р Д1 05, Златибор, Србија, 2009

3. **Кнежевић И.**, Бајчетић Н.: Испитивање утицаја температуре на стабилност карактеристика пренапонске диоде, - 29. *Међународно саветовање за велике електроенергетске системе CIGRE Србија*, Зборник радова, Р Д1 07, Златибор, Србија, 2009

4. Гршић З., Павловић С., Орлић М., **Кнежевић И.**: Модул за процену еквивалентне дозе интерног и екстерног излагања у математичком моделу за распрострањавање радионуклида кроз гранични слој атмосфере у околини нуклеарног објекта, - XXVI *Симпозијум Друштва за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе*, Тара 2011, Зборник радова, стр. 41-45

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу презентованих резултата и оцена датих у овом реферату може се закључити да поднета дисертација представља оригиналан и значајан научни допринос у областима физичке електронике и нуклеарне технике. Делови дисертације публиковани су у виду рада у истакнутом међународном часопису са SCI листе и два рада у оквиру саопштења са скупа националног значаја. На основу свега изложеног у овом реферату, Комисија позитивно

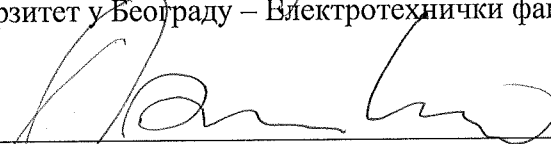
оцењује докторску дисертацију кандидата Ивана Кнежевића, мастера инжењера електротехнике и рачунарства, под насловом "Радијациона отпорност резистивних постојаних меморија". С обзиром да је кандидат испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да прихвати оцену Комисије, изложи докторску дисертацију на увид јавности и упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

У Београду, 15.8.2013.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



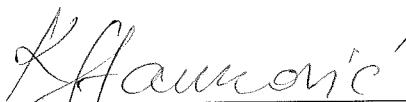
др Милош Вујисић, доцент (ментор)
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



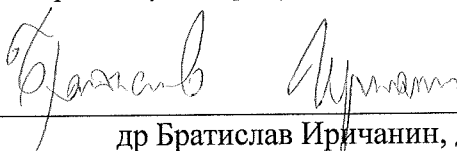
др Предраг Осмокровић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Александра Васић-Миловановић, редовни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет



др Ковиљка Станковић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Братислав Иричанин, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

