

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Џуме Салеха Исе Абудаџела

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5053/13-3 од 16.11.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Џуме Салеха Исе Абудаџела (Giuma Saleh Isa Abudagel) под насловом

„Експериментална карактеризација магнето-оптичких особина Фарадејевог кристала намењеног за конструкцију сензора магнетског поља“

односно

„Experimental Characterization of Magneto-Optical Properties of Faraday Crystal Applied in Magnetic Field Sensor“

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

Кандидат Џума Салех Иса Абудаџел, магистар електротехничких наука, је школске 2013/2014. године уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, док је 2. марта 2017. године пријавио тему за израду докторске дисертације под називом „Експериментална карактеризација магнето-оптичких особина Фарадејевог кристала намењеног за конструкцију сензора магнетског поља“. Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на својој седници одржаној 7. марта 2017. године разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање. Наставно-научно веће је на седници одржаној 22. марта 2017. године је именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5053/13-1 од 22.03.2017. године). За ментора дисертације је предложен др Слободан Петричевић, ванредни професор Електротехничког факултета, Универзитета у Београду.

Кандидат је 18.03.2017. пред комисијом у саставу др Пеђа Михаиловић (ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Небојша Ромчевић (научни саветник, Институт за физику, Београд), др Томислав Шекара (ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и др Златан Стојковић (редовни професор Универзитета у Београду – Електротехнички факултет) успешно положио испит о подобности теме и кандидата о чему је сачињен и потписан записник.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој седници одржаној 16. маја 2017. године усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (одлука бр. 5053/13-2 од 16.05.2017. године), док је Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду на седници од 5. јуна 2017. године (одлука број 61206-2077/2-17 од 5.6.2017. године) дало сагласност на предлог теме докторске дисертације

под насловом „Експериментална карактеризација магнето-оптичких особина Фарадејевог кристала намењеног за конструкцију сензора магнетског поља“ (engl. Experimental Characterization of Magneto-Optical Properties of Faraday Crystal Applied in Magnetic Field Sensor).

Кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену 4. октобра 2018. године. Комисија за студије трећег степена је потврдила на својој седници одржаној 30. октобра 2018. године испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за предлог и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће факултета је на својој седници одржаној 6. новембра 2018. године (број одлуке 5053/13-3 од 16.11.2018. год.) именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу:

1. др Слободан Петричевић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду
2. др Златан Стојковић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду
3. др Небојша Ромчевић, научни саветник, Институт за физику Београд
4. др Пеђа Михаиловић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду
5. др Марко Барјактаровић, доцент, Електротехнички факултет у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом „Експериментална карактеризација магнето-оптичких особина Фарадејевог кристала намењеног за конструкцију сензора магнетског поља“ припада научној области Техничких наука – Електротехника, а ужа научна област је оптоелектроника, за коју је Електротехнички факултет у Београду матичан. За ментора дисертације је одређен др Слободан Петричевић, ванредни професор, Електротехничког факултета, Универзитета у Београду који је публиковао више радова и патената из проблематике Фарадејевих сензора магнетског поља и испуњава законске услове за ментора докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Џума Салех Иса Абудагел (Giuma Saleh Isa Abudagel) рођен је 1. јануара 1963.г. у Тархуни, Либија. Стекао је диплому дипломираног физичара 1987. на Катедри за физику Факултета наука Универзитета у Триполију, Либија. Школовање је наставио на Електротехничком факултету Универзитета у Београду где је стекао звање магистра електротехничких наука 2000.г. одбранивши 20.1.2000.г. магистарску тезу под насловом „Анализа и пројектовање Nd:YAG ласера са Q прекидачем“.

Професионалну каријеру започео је 1989.г. као самостални истраживач у области ласера и оптике при Централној агенцији за истраживање и производњу у Триполију. Паралелно са научно-истраживачким радом у Агенцији, од 2000. до 2005.г. предаје предмете теоријске и експерименталне физике студентима основних студија које изводи Катедра за физику Факултета наука Универзитета у Триполију. Од 2008.г. до данас предаје у звању професора предмете теоријске и експерименталне физике студентима основних студија на Универзитету Азајтуна у Либији.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Експериментална карактеризација магнето-оптичких особина Фарадејевог кристала намењеног за конструкцију сензора магнетског поља“ је написана у складу са Упутством за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација је написана на енглеском језику на 103 стране и

садржи 48 слика, 8 табела и 42 референце, које су наведене по редоследу цитирања у тексту дисертације. Текст докторске дисертације организован је у следећих осам поглавља:

1. Уводни преглед истраживања
2. Теоретске основе оптичких ефеката
3. Фарадејеви кристали
4. Полариметријска метода мерења и магнетизам
5. Полариметријски сензора магнетског поља на бази Фарадејевог ефекта
6. Бесконтактног мерења температуре Фарадејевог кристала
7. Мерење оптичке активности и Вердеове константе
8. Резултати и дискусија
9. Закључак

На почетку дисертације постоји насловна страна на српском и енглеском језику, страна са информацијама о ментору и члановима комисије, кратак резиме дисертације на српском и енглеском језику, захвалница и садржај. На крају дисертације су дати: списак коришћене литературе, односно референци, један прилог дисертацији који садржи изворни код, биографија аутора, као и изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Уводни део дисертације говори о проблематици разраде оптичких сензора магнетског поља. Приказан је кратак пресек примене оваквих сензора и дат је осврт на конструкцију у фибер оптичкој форми. Разматрани су директни и индиректни утицаји температуре на сензор као и мотивацију за компензацију њеног утицаја. Глава садржи и пресек техника мерења утицаја температуре на сензор.

Друга глава приказује теоријски модел индукованих магнето оптичких ефеката са посебним освртом на Фарадејев ефекат и његов приказ у полариметријској форми. Глава разрађује теоретски модел Фарадејевог ефекта у магнетском пољу и приказује принципе рада и примене Фарадејевих оптичких изолатора.

Трећа глава посвећена је проучавању кристала који се користе у сензорима на бази Фарадејевог ефекта. Приказана је класификација кристала и дат је осврт на технику производње и утицај температуре на кристале. Карактеристике BiGeO кристала који ће бити употребљен у експерименталном делу тезе дати су у глави.

Четврта глава приказује модел полариметријске методе мерења и осврт на њену примену у мерењу магнетског поља. Дат је теоријски модел поларизованог светла и приказани типови поларизатора који се могу користити у реализацији сензора. Затим је разрађена метода мерења путем ортогоналне поларизације два снопа која ће бити употребљена у експериментима. Глава такође разрађује употребу Хелмхолцових калемова као калибрисаног извора магнетског поља који је неопходан за извођење мерења и тестирања сензорске поставке и приказује наменски резултате просторне расподеле магнетске индукције у калемовима добијене помоћу тачкастог сензора.

Пета глава разрађује конструкционе елементе Фарадејевог сензора магнетског поља и разматра трансмисиону и рефлексивну поставку у екстринсичном типу сензора. Поставке ће наћи примену у експерименталној реализацији мерења утицаја температуре на оптичку активност и Вердеову константу.

Шеста глава приказује разраду бесконтактне методе мерења температуре кристала у магнетском пољу што је један од великих проблема у карактеризацији температурских особина Фарадејевих кристала. Метода је реализована помоћу два мерна инструмента (ручног радијацијског термометра и инфрацрвене камере високих перформанси) и демонстриран је процес загревања и постепеног хлађења кристала у сврхе реализације мерења утицаја температуре на кристал.

Седма глава приказује експерименталне поставке за мерење оптичке активности и Вердеове константе у функцији температуре. Дата је слика и шема мерне поставке, сви битни

елементи експеримента документовани су фотографијама и дата је дискусија о начину на који се мере две величине. Глава такође садржи и мерење коефицијента апсорпције кристала и повезује методу мерења температуре са мерењем параметара кристала. У глави су приказани резултати мерења хроматских својстава неозрачених и озрачених кристала, трансмитивности кристала у функције снаге озрачивања и Рамановог спектра. Резултати у глави квалификују кристале и утицај озрачивања у оптичком и магнето-оптичком смислу.

Осма глава посвећена је приказу резултата и дискусији утицаја температуре на кристал који се користи у Фарадејевом сензору. Приказани су резултати зависности Вердеове константе од температуре на две таласне дужине и оптичке активности од температуре на три таласне дужине. У глави је приказано моделовање компензације утицаја температуре у АС/DC и методи нормализације са два снопа и дата је дискусија како је могуће извршити компензацију утицаја температуре у разним конфигурацијама сензора.

Девета глава садржи закључна разматрања у тези и сумира њене резултате.

Уз главни текст овог рада је приложен један додаток који садржи опис развијеног програма за моделовање расподеле магнетског поља у Хелмхолцовим калемовима.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Фарадејеви оптички сензори магнетског поља класа су неконвенционалних сензора који захваљујући занемарљивој пертурбацији поља, великом пропусном опсегу и доброј електричној изолацији представљају предмет истраживања у области сензорике. Посебну групу сачињавају фибер-оптички сензори који налазе примену у мерењима у индустрији и електроенергетским системима због компатибилности са осталом конвенционалном мерном опремом. Оптичка својства ових уређаја значајно зависе од типа кристала али и квалитета производног процеса којим се добијају кристали. Такође испољавају изражену зависност оптичких и магнето-оптичких параметара од температуре што поставља сложене захтеве приликом разраде сензора. Иако су резултати теоретских истраживања кристала добро познати, проблем поправљања оптичких карактеристика и елиминације утицаја температуре за фибер-оптичке сензоре у индустрији и даље садржи изазове. Кристал BiGeO чија су својства предмет истраживања ове тезе посебно је значајан због своје прихватљиве цене, поновљивости у производном процесу и солидних оптичких својстава.

Процедура поправљања оптичких својстава Фарадејевих кристала путем озрачивања фемтосекундним ласером новина је у овој класи сензора и наредни је корак у поступцима производње кристала за ову намену.

Проблем компензације утицаја температуре на екстринсични фибер-оптички Фарадејев сензор магнетског поља сложен је проблем чије решење зависи од конструкције сензора. Иако је проблем утицаја температуре на изворе светла решив техником термостатирања извора, утицај температуре на кристал захтева независно мерење температуре кристала у току мерења интензитета поља док техника компензације зависи од методе мерења утицаја поља на поларизацију светлосног носиоца.

Посебно је од интереса истраживање у тези везано за конструкцију интринсичног сензора пошто је та класа од најширег интереса за реализацију преносивог сензора малих димензија и масе чија би широка примена донела значајан степен минијатуризације. У том смислу истраживања у тези примењива су директно на фибер-оптичке сензоре просторне расподеле магнетског поља и интензитета електричне струје у електроиндустрији, обновљивим изворима енергије, аутоиндустрији и индустрији уопште.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је детаљно проучавао литературу из области истраживања дисертације која је везана како за примене, конструкцију и ефекте температуре на Фарадејеве сензоре, тако и

за њихова оптичка својства. Изучена литература публикована је већим делом у реномираним часописима из области истраживања у категорији M20 а, имајући у виду датуме публикација може се закључити да је литература релевантна, савремена и да пружа широку слику о стању у овој области.

Кандидат је прочувајући литературу сагледао проблематику како из преспективе мерења својстава кристала тако и из угла конструкције сензора и њихове примене. Радови побројани у списку литературе се односе на моделовање Фарадејевог ефекта, и говоре о начинима мерења својстава кристала, о принципима конструисања сензора на бази Фарадејевих кристала и о аспектима њихове примене. Из приложене литературе може се сагледати у ком смеру се кретао научни допринос кандидата по питању мерења температуре кристала, мерења својстава кристала и технике компензације температуре код примењеним сензора.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру ове докторске дисертације представља комбинацију теоријских, практичних и експерименталних метода, које су реализоване кроз неколико фаза истраживања:

- Метода озрачивања кристала ласером великих снага користи се за поправљање оптичких и магнето-оптичких особина кристала после производње, чиме се не ремети сложен процес извлачења кристала. Метода је експериментално верификована и резултати приказани у тези мерењем својстава кристала после експонирања.
- Хроматски дијаграми третираних кристала потврђују промену спектралне карактеристике трансмитивности озрачених кристала. Овај резултат додатно је потврђен мерењем трансмисионог спектра.
- Метода бесконтактнoг мерења температуре кристала користи инфрацвену камеру високих перформанси као калибрациони и верификациони инструмент и ручни радијациони термометар за праћење временске зависности температуре кристала. Уместо постављања целокупне мерне поставке великих димензија у термокомору, формирана је метода која не захтева термостатирање кристала већ праћењем процеса хлађења кристала даје временски профил температуре тако да је довољно загревање кристала.
- Применом мерења методом два снопа промене поларизације које кристал изазива када је присутно магнетско поље формиране су две технике које служе за мерење утицаја температуре на оптичку активност и Вердеову константу без међусобног утицаја једне на другу. Ово је битно код кристала који поседују и оптичку активност поред испољавања Фарадејевог ефекта (BiGeO) где температура има сложен утицај на карактеристику сензора. Извршени су експерименти мерења утицаја температуре на оптичку активност и Вердеову константу за поменути кристал чиме је кристал карактерисан у потпуности за примеу у Фарадејевом сензору магнетског поља.

3.4. Применљивост остварених резултата

Процедура озрачивања кристала BiGeO произвела је модификоване кристале повећане трансмитивности што је од великог значаја код дизајна Фарадејевих сензора магнетског поља. Поправка трансмитивности поготово је изражена у зони таласних дужина црвене боје која се иначе користи код фибер оптичких сензора због велике расположивости ласерских диода у том делу спектра.

Један од великих проблема у карактеризацији промене својстава кристала са температуром је мерење температуре тела кристала ради карактеризације температурске зависности параметара и касније калибрације сензора. Имајући у виду присуство магнетског поља које се не сме пертурбовати, контактне методе се избегавају. У дисертацији је развијена метода мерења температуре кристала помоћу комерцијално расположивог радијативног

сензора за примену у индустријским мерењима. Метода је калибрисана помоћу инфрацрвене камере високих перформанси и као таква налази примену у лабораторијским истраживањима али и у калибрацији сензора.

За разлику од метода мерења ротације поларизације које користе само један сноп, метода мерења помоћу два снопа која је примењена у дисертацији дозвољава реализацију сензора код којег је могуће елиминисати утицај температурске зависности оптичке активности. Ако кристал испољава и оптичку активност онда је трансмисиона поставка са два снопа реалан модел за елиминацију утицаја температуре на мерење магнетског поља.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Џума Салех Иса Абудаџел магистрирао је 2000.г. на Електротехничком факултету у Београду са темом из области Nd:YAG ласера која припада области оптоелектронике. Испити које је положио током магистарских студија, садржајно претходе тематици дисертације па је кандидат приступио поступку њене израде са адекватним предзнањем.

Кандидат је током реализације дисертације показао добру мотивисаност за истраживање из области која је тема као и жељу да изводи потребне експерименте и мерења. Током фазе припреме експеримената кандидат је самостално определио мерне методе за мерења оптичке активности и Вердеове константе. Да би потврдио мерење расподеле интензитета магнетске индукције унутар Хелмхолцових калемова, извео је нумерички прорачун расподеле. Током припреме поставке за мерење температуре и њене калибрације кандидат је показао висок степен разумевања мерног процеса, самостално извео поставку и извршио мерење и обрадио резултате.

Разрада технике мерења температурске зависности оптичке активности и Вердеове константе одвијала се кроз његов допринос са циљем да се обезбеди реалан резултат без међусобног утицаја ове две зависности. Сагледавањем постојеће литературе и формирањем модела Фарадејевог сензора кандидат је током истраживања успешно формулисао елементе модела који су потребни за мерење и компензацију утицаја температуре на сензор.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације остварени су следећи научни доприноси:

- Реализовано је мерење оптичких и магнето-оптичких карактеристика Фарадејевих кристала и квантитативно показана унапређења у карактеристикама као последица озрачивања.
- Извршено је озрачивање BiGeO кристала фетмосекундним импулсима ласера велике снаге са циљем поправке оптичких и магнето-оптичких карактеристика. Експериментални резултати потврђују да озрачени кристали испољавају боље перформансе.
- Формирана је поставка и извршена калибрација бесконтактне мерне методе за мерење временске зависности температуре Фарадејевих кристала у тестном окружењу. Метода омогућава мерење температуре без пертурбације тестног магнетског поља и дозвољава мерење температурске зависности оптичких и магнето-оптичких карактеристика кристала.
- Формирани су модели две мерне методе за мерење температурске зависности оптичке активности и Вердеове константе Фарадејевог кристала, без међусобног утицаја. Методе су верификоване експериментом и добијени резултати за кристал BiGeO указују на монотону зависност ових карактеристика у функцији температуре.
- Изведена су мерења температурске зависности оптичке активности на три таласне дужине и температурске зависности Вердеове константе на две таласне дужине.

- Моделован је утицај температуре за полариметријски Фарадејев сензор магнетског поља екстринсичног типа и изведена дискусија о могућности компензације утицаја температуре на сензор у зависности од конструкционе и полариметријске конфигурације сензора.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Метода озрачивања кристала фемтосекундним импулсима ласера велике снаге поправља оптичка својства у делу спектра који је од интереса за Фарадејеве сензоре. Поготово је приметно побољшање у коефицијенту апсорпције од преко 40% што је довело до повећања магнето-оптичког квалитета кристала од 70%. Имајући у виду да перформансе Фарадејевих сензора значајно зависе од својстава кристала, овакво унапређење значајан је искорак напред.

Бесконтактна метода мерења температуре кристала у току мерења магнетског поља (у сензорском окружењу) битан је допринос процедурама тестирања кристала пошто омогућава мерење температуре тела кристала без пертурбације поља. Овакво мерење пружа могућност тестирања утицаја температуре на магнето-оптичка својства кристала што је значајан моменат везан за процес дизајна сензора на бази ових кристала. У склопу ових мерења формиране су две мерне методе за независно мерење утицаја температуре кристала на оптичку активност и Вердеову константу и то на више таласних дужина. Добијени резултати говоре да је у одређеним конфигурацијама могуће реализовати компензацију ефекта температуре на мерење, што је од великог значаја за ширу примену Фарадејевих сензора у индустрији.

Комисија констатује да су научни доприноси остварени у дисертацији објављени у радовима категорије M21 и M23 и публиковани у изводу са скупа међународног значаја.

4.3. Верификација научних доприноса

Резултат истраживања која су вршена у оквиру израде докторске дисертације представљају следећи радови:

Категорија M21:

1. Aleksander Kovacevic, Jasna L. Ristic-Djurovic, Marina Lekic, Branka Hadzic, **Giama Saleh Isa Abudagel**, Slobodan Petricevic, Pedja Mihailovic, Branko Matovic, Dragan Dramlic, Ljiljana M. Brajovic, Nebojša Romcevic: Influence of femtosecond pulsed laser irradiation on bismuth germanium oxide single crystal properties, *-Materials Research Bulletin* vol. 83, pp. 284–289, 2016 (**IF=2.435**) (ISSN:0025-5408) doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.materresbull.2016.06.023>

Категорија M23:

1. **G. S. I. Abudagel**, S. Petricevic, P. Mihailovic, A. Kovacevic, J. L. Ristic-Djurovic, M. Lekic, M. Romcevic, S. Ćirkovic, J. Trajic, N. Romcevic: Improvement of magneto-optical quality of high purity Bi₁₂GeO₂₀ single crystal induced by femtosecond pulsed laser irradiation, *Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications*, vol. 11, No. 7-8, pp. 477 – 481, 2017 (**IF=0.471**) (ISSN:1842-6573).

Категорија M34:

1. **Giama Saleh Isa Abudagel**, Slobodan Petričević, Pedja Mihailović, Aleksander Kovačević, Jasna L. Ristić-Djurović, Marina Lekić, Branka Hadžić, Nebojša Romčević: "Changes of High Purity Bi₁₂GeO₂₀ Single Crystal Properties Induced by Femtosecond Pulsed Laser Irradiation," – *Book of Abstracts, Serbian Ceramic Society Conference, Advanced Ceramics and Applications V, New Frontiers in Multifunctional Materials and Processing 2016*, Belgrade, Serbia, 2016., p.73.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација Цуме Салеха Исе Абудацела, магистра електротехничких наука, садржи научни допринос карактеризацији Фарадејевих кристала и разради сензора магнетског поља који користе овакве кристале. Процедура озрачавања кристала ласером велике снаге и експериментална карактеризација таквих кристала важан су доприноси поправци перформанси сензора. Равијена је бесконтактна мерна метода за мерење температуре кристала као и методе за мерење температурске зависности оптичке активности и Вердеове константе кристала.

Текст дисертације је написан јасно и разумљиво, са добром организацијом а циљеви дисертације су прецизно формулисани. Објављени резултати су показали испуњеност тих циљева чиме је кандидат показао способност за самостални научни рад.

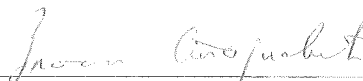
Комисија констатује да докторска дисертација кандидата Цуме Салеха Исе Абудацела испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације на Универзитету у Београду и на Електротехничком факултету у Београду. Узимајући у обзир све остварене резултате и оригиналне научне доприносе, као и њихову применљивост, комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација Цуме Салеха Исе Абудацела под називом „Експериментална карактеризација магнето-оптичких особина Фарадејевог кристала намењеног за конструкцију сензора магнетског поља“ прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се кандидату одобри јавна усмена одбрана.

У Београду, 20.12.2018. године,

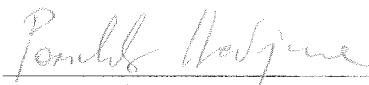
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Слободан Петричевић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



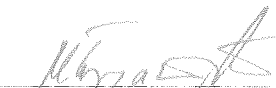
др Златан Стојковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Небојша Ромчевић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за физику Београд



др Пеђа Михаиловић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Марко Барјактаровић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет