

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Милане С. Лаловић

Одлуком бр. 320/20 од 20.02.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Милане С. Лаловић под насловом

### **„Утицај зрачења на оптичке линкове реализоване у силицијумској фотоници“**

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

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња је уписала докторске студије у октобру 2018. године.

27.10.2022. године кандидаткиња је пријавила тему за израду докторске дисертације.

01.11.2022. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије за оцену научне заснованости теме и упутила Наставно –научном већу на усвајање.

18.11.2022. године Наставно-научно веће именовало је Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације..

21.02.2023. године Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.

13.03.2023. године Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације. (Решење број 61206-918/2-23 од 13.03.2023. год.)

08.02.2024. године кандидаткиња је предала докторску дисертацију на преглед и оцену.

13.02.2024. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за оцену докторске дисертације.

20.02.2024. године Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за оцену докторске дисертације (број одлуке 320/20 од 20.02.2024. године).

#### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада широј научној области Електротехника и рачунарство и ужој научној области Физичка електроника (Наноелектроника и фотоника) за коју је матичан Електротехнички факултет. За ментора докторске дисертације одређен је др Пеђа

Михаиловић, редовни професор Електротехничког Факултета у Београду, на основу научних и стручних доприноса везаних за ужу научну област дисертације.

### 1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Милана Лаловић је рођена 31.08.1994. у Сарајеву – Илица, Босна и Херцеговина. 2013. године је започела студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Дипломирала је на одсеку за Физичку електронику, смер Наноелектроника, оптоелектроника и ласерска техника, 2017. године са просечном оценом 8,85. Дипломски рад на тему „Реализација све-оптичке NOR логике применом инјекционе синхронизације у ласерским диодама“ одбранила је код др Марка Крстића у јулу 2017. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за Наноелектронику и фотонику, уписала је у октобру 2017. године. Положила је све испите са просечном оценом 10. Мастер рад на тему „Све-оптички комутатори на основу унакрсне модулације фазе и оптичког појачања у полупроводничким оптичким појачавачима“ је одбранила код др Јасне Црњански у септембру 2018. године са оценом 10. Докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за Наноелектронику и фотонику, уписала је у октобру 2018. године. Успешно је положила све потребне испите и испунила обавезе предвиђене планом докторских студија, сакупивши потребних 120 ЕСПБ бодова.

Од 01.03.2020. године је запослена као докторант у Европској организацији за нуклеарна истраживања (CERN) у Швајцарској, где је обављала научна истраживања у области силицијумске фотонике. Током доктората, представила је свој рад на две међународне конференције, Radiations Effects on Components and Systems (RADECS21) и Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP22). Објавила је два рада као први аутор у часописима међународног значаја (M20), IEEE Transactions on Nuclear Science и Journal of Instrumentation. Поред тога, учествовала је као коаутор у шест других истраживачких радова објављених у часописима од међународног значаја (M20) и два рада објављена у зборницима са међународних научних скупова (M30).

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на енглеском језику. Укупан број страна дисертације почевши од увода укључујући библиографију, референце и биографију је 109. Дисертација је организована у седам поглавља са 89 слика, 3 табеле и листом од 182 референце.

Текст дисертације подељен је на основна поглавља:

1. Увод
2. Елементи силицијумске фотонике (SiPh)
3. Радијациони ефекти у SiPh направама
4. Валидација функционалности силицијумских фотонских чипова
5. Евалуација оштећења SiPh направа услед укупне дозе јонизације
6. Евалуација оштећења SiPh направа услед дејства нејонизујућег губитка енергије зрачења
7. Закључак

Поред основних поглавља дисертација садржи насловну страну на српском и енглеском језику, страницу са подацима о ментору и члановима Комисије, захвалницу и сажетак са кључним речима и подацима о научној области на српском и енглеском језику. Поред наведеног на крају текста се налазе списак литературе, биографија ауторке и обавезне изјаве

(Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада, Изјава о коришћењу).

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу је описана мотивација за развој оптичких линкова отпорних на утицаје зрачења. Представљени су експерименти Великог Хадронског Судараца у CERN-у, фокусирајући се на CMS (Compact Muon Solenoid) детектор. Објашњени су принципи рада детектора, дат је приказ тренутних оптичких линкова у CERN-у, дискутовани су услови и захтеви фазе унапређења детектора, као и услови зрачења који ће бити присутни у детекторима. Поред тога, објашњена је мотивација за одабир силицијумске фотонике као технологије за будуће оптичке линкове.

Друго поглавље се фокусира на основе силицијумске фотонике, почевши од силицијумских таласовода, решеткастих спрежњака, као и електрооптичких ефеката у допираним таласоводима. Затим, објашњени су основни принципи рада Мах-Зендерових и прстенастих модулятора, те су дефинисане основне квалитативне и квантитативне карактеристике ових модулятора. Такође, представљена су два основна типа германијумских фотодиода и дефинисане су њихове карактеристике.

У трећем поглављу су објашњени основни механизми деградације силицијумских фотонских уређаја услед јонизационих губитака енергије зрачења (тј. укупне дозе јонизације - TID), са фокусом на генерисању, транспорту и заробљавању наелектрисања створеног јонизујућим зрачењем у силицијум диоксиду. Описано је и настајање оштећења услед нејонизујућег губитка енергије зрачења (NIEL) и дефинисане су величине за квантификавање ових оштећења. Изложени су принципи термичког отпуштања обе врсте (TID и NIEL) дефеката.

У четвртном поглављу је описан дизајн силицијумског фотонског интегрисаног чипа (PICv2) и дати су параметри свих уређаја који су испитивани у овој дисертацији. Описан је начин на који је испитана основна функционалност чипа и извршено састављање и оспособљавање тест плоче. Извршена је карактеризација микро-грејача прстенастих модулятора и измерене су основне величине силицијумских фотонских модулятора и германијумских фотодиода без утицаја зрачења.

У петом поглављу је урађена евалуација оштећења насталих у силицијумским фотонским уређајима услед излагања рендгенском зрачењу. Приказани су резултати три теста у којима је PICv2 изложен X-зрацима. Описане су експерименталне поставке и услови који су коришћени у овим тестовима. Приказани су резултати мерења модуларне ефикасности прстенастих и Мах-Зендерових модулятора са различитим геометријским параметрима у функцији од укупне дозе јонизације. Приказан је одзив прстенастих модулятора на различитим радним температурама у току озрачивања. Испитиван је утицај термичког третмана силицијумских прстенастих модулятора током и након озрачивања, а у циљу унапређења њихових перформанси односно компензације деградације узроковане јонизујућим зрачењем. Проучен је утицај различитих брзина озрачивања на ефикасност модуларације.

Резултати тестова утицаја неутронског зрачења на прстенасте и Мах-Зендерове модуларе, као и германијумске фотодиоде, које служе као фотодетектори на силицијумским оптичким линковима, су представљени у шестом поглављу. Описане су експерименталне поставке као и постројење за озрачивање у Белгији у коме су извршени тестови. Представљени су резултати мерења модуларне ефикасности прстенастих модулятора при различитим радним температурама, као и ефикасности Мах-Зендерових модулятора на собним температурама у функцији од флукса неутрона. Анализирани су утицаји неутронског зрачења на струје мрака и одзивност германијумских фотодиода.

У последњем, седмом поглављу, су изложени најважнији закључци и доприноси дисертације, и дат је предлог за потенцијални будући рад који проистиче из овог истраживања.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Истраживања у области радијационог очвршћавања електро-оптичких уређаја, укључујући уређаје силицијумске фотонице, непрестано су пред новим изазовима, које намеће развој технолошких поступака израде компоненти, као и све разноврсније радијационе средине које се срећу у научним и индустријским делатностима. Резултат активности на овом пољу су бројне публикације и конференције широм света посвећене иновативним решењима за постизање веће отпорности материјала, структура, компоненти и уређаја на утицај јонизујућег зрачења.

Експерименти у физици високих енергија, који се спроводе на акцелераторима, представљају посебан изазов при дизајнирању и изради електро-оптичких компоненти и система, од којих се захтева да континуирано и поуздано раде у условима високе изложености јонизујућем зрачењу. Дијапазон разних врста зрачења широког енергетског спектра који се јавља при овим експериментима чини радијационо очвршћавање електронских и оптичких компоненти намењених акцелераторским постројењима нарочито захтевним.

CERN је један од најважнијих центара за истраживања у подручју физике високих енергија и нуклеарне физике. У наредних 15 година (до 2041.), планирано је више унапређења CERN-ових детектора као и повећање броја судара у Великом Хадронском Сударачу. Након престанка рада Великог Хадронског Сударача, у плану је развој технологија за конструисање Будућег Циркуларног Сударача (енг. FCC – Future Circular Collider) који треба да омогући даље и лакше истраживање из области физике високих енергија.

Истраживања у CERN-у су у великој мери зависна од апаратуре која омогућава детекцију судара, као и пренос и обраду података који су прикупљени у CERN-овим детекторима. С обзиром на услове који се налазе у детекторима (висок ниво зрачења, различити опсези температура), део истраживања се односи на стално унапређење технологија које се тренутно користе у погледу отпорности на зрачење.

Оптички линкови су важан део оваквог система, а комерцијално доступне компоненте које су тренутно у употреби могу да преживе само до одређених нивоа озрачивања. Силицијумска фотоника је област оптике која је доживела велики развој у последњој деценији и која обећава у погледу брзине преноса података. Претходна истраживања на интегрисаним електронским колима су показала њихову отпорност на зрачење. Због сличности између ове две технологије, силицијумска фотоника је изабрана као добар кандидат за будуће оптичке линкове.

По први пут, истраживања на тему оптичких линкова заснованих на силицијумској фотоници су спроведена 2015. а резултати публиковани 2016. године. 2017. су настављена истраживања над Мах-Зендеровим модулаторима и усавршен је симулациони модел. Претходна истраживања нису показала велики утицај нејонизујућег зрачења на ове модулаторе. Дати су први закључци у погледу оптималне дубине ецовања Мах-Зендерових модулатора, ширине области најнижег допирања ( $W_{Dop}$ ), као и концентрације допираности. У релевантној литератури, тестови до сада нису спроведени над прстенастим модулаторима, као ни над Мах-Зендеровим модулаторима када су у питању дозе које се очекују у последњим фазама рада Великог Хадронског Сударача.

У раду су по први пут приказани експериментални резултати на силицијумским фотонским прстенастим модулаторима при различитим нивоима зрачења, као и при различитим температурама, на основу чега је закључено да температура на којој раде прстенасти модулатори у великој мери утиче на њихову отпорност на зрачење. Такође, на основу резултата, предложен је дизајн као и модел рада прстенастих модулатора, како би постигли максималну отпорност на зрачење.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији су цитиране 182 библиографске референце наведене по редоследу цитирања у тексту дисертације. Цитиране референце датирају од периода објављивања првих радова о електрооптичким ефектима у силицијуму и основним механизмима утицаја зрачења на полупроводнике, па све до најновијих резултата из ових области који су објављени у претходних неколико година. Обимност референци новијег датума показује актуелност теме која је обрађена овом дисертацијом.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У току истраживања које је резултовало овом дисертацијом, примењене су следеће научне методе:

- Анализиране су потребе CERN-а као и постојећа литература везана за оптичке линкове намењене за рад у окружењу са присутним зрачењем те су уочени недостаци постојећих решења за пренос и електрооптичку конверзију података.
- Анализирана је литература из области силицијумске фотонице ради проналажења заменске технологије за конструисање нових оптичких линкова. Проучени су ефекти јонизујућег и нејонизујућег зрачења на сродне платформе (интегрисана електроника) у недостатку релевантне литературе из области силицијумске фотонице.
- Урађене су рачунарске симулације расподеле температуре у прстенастим модулаторима и микро-грејачима и извршена упоредна анализа са прикупљеним експерименталним подацима.
- Извршена су експериментална *in situ* мерења на силицијумском фотонском интегрисаном чипу (енг. PIC – Photonic Integrated Circuit) помоћу електричних микро-сонди као и мерења на чипу који је залемљен на плочу и са залепљеним оптички влакном чијим каналима се може приступити истовремено, без утицаја зрачења.
- Извршена су експериментална *in situ* мерења на силицијумском фотонском интегрисаном чипу у току зрачења са X-зрацима и неутронима. Мерења су извршена на лицу места и у тренутку озрачивања чипа са симултаним приступом свим елементима чипа.
- Урађена је упоредна анализа података прикупљених у току *in situ* мерења за интегрисане силицијумске фотонске модулаторе различитих геометријских параметара и концентрација допирања приликом озрачивања са различитим изворима зрачења.
- Извршена су експериментална мерења на прстенастим модулаторима при различитим температурним условима ради утврђивања могућег термалног опоравка у овим уређајима и дефинисан је предлог оптималног коришћења ових модулатора за максималну отпорност на зрачење.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

На основу резултата који су проистекли из ове дисертације дате су смернице за дизајн нових оптичких линкова који ће бити отпорни на утицаје зрачења.

Главна примена оваквих система очекује се у високо-енергетској физици за откривање нових честица и померање граница физике. Поред примене у CERN-овим детекторима, значај овог истраживања може да се огледа и у потенцијалној примени у свемирском окружењу, с обзиром на постојање високих нивоа зрачења и потребом за преносом података и у оваквим срединама.

Остварен је директан допринос развоју оптичких линкова који би могли да омогуће бржи проток података уз повећану отпорност на зрачење у поређењу са постојећим оптичким линковима, а чија се уградња у CERN-ове детекторе планира 2035. године. Оптички линкови су критични део CERN-ових детектора који ће омогућити даље истраживање у области честичне физике и високо-енергетској физици.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња, мастер инжењер електротехнике и рачунарства Милана С. Лаловић, приказала је способност да осмисли, формира и изведе сложене оптоелектронске експерименте за карактеризацију наменских оптоелектронских направа које ће учествовати у мерном ланцу у LHC експерименту у CERN. Резултати експерименталног рада су обрађени и уклопљени у теоријски модел понашања испитиваних направа. Критичка анализа добијених резултата и предлози за даља истраживања јасно показују висок ниво разумевања проблема и аналитички приступ који је кандидаткиња демонстрирала током израде тезе.

Учешће кандидаткиње у овако сложенем експерименталном ланцу недвосмислено потврђује способност за самостално научно истраживање из области тезе.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Током истраживања у оквиру докторске дисертације постигнути су следећи научни доприноси:

- По први пут су испитани утицаји јонизујућег зрачења (X-зраци) на интегрисане силицијумске прстенасте модулаторе. Мах-Зендерови модулатори као и германијумске фотодиоде су по први пут изложени ултра-високим нивоима зрачења који се очекују унапређењем Великог Хадронског Судараца тачније приликом фазе Високе Луминозности (енг. High Luminosity фазе). Приказано је да прстенасти модулатори и германијумске фотодиоде могу да поднесу нивое зрачења од 11 MGy без утицаја на њихову ефикасност, док Мах-Зендерови модулатори имају око 40% почетне ефикасности након ове дозе. На основу ових резултата утврђена је боља ефикасност прстенастих модулатора у случају јонизујућег зрачења и дат је предлог за коришћење овог типа модулатора за будуће оптичке линкове.
- По први пут су испитани утицаји нејонизујућег зрачења (неутрони) на интегрисане силицијумске прстенасте модулаторе. Мах-Зендерови модулатори као и германијумске фотодиоде су по први пут изложени високим нивоима зрачења који до сада нису пријављивани у литератури. Прстенасти модулатори су показали модулациону ефикасност од око 80% почетне ефикасности при максималној дози од  $3.6 \cdot 10^{16}$  n/cm<sup>2</sup>, за разлику од Мах-Зендерових модулатора који су имали само око 20% иницијалне ефикасности након ове дозе. Прстенасти модулатори су предложени као погодан избор и у случају нејонизујућег зрачења. Германијумске фотодиоде су показале минималне промене чак и при максималним дозама.
- Извршена је детаљна анализа утицаја геометријских параметара прстенастих модулатора на отпорност на зрачење, на основу чега је дат предлог оптималног дизајна

прстенастог модулятора за следећи унапређени чип наредне генерације (PICv3). Прстенасти модуlator са већом концентрацијом допираности у језгру таласовода, проширеном области допираности контаката и са ширином области најнижег допирања ( $W_{Dop}$ ) од 100 nm, је показао најбоље резултате у погледу отпорности на зрачење.

• По први пут је урађена анализа утицаја температуре на отпорност прстенастих модулятора на утицаје зрачења и дат је предлог оптималног коришћења ових модулятора у оптичким линковима. У предложеном моделу оптималног коришћења не саветује се рад прстенастих модулятора на средњим температурама (опсег 60-100°C), већ на температурама већим од 100°C. При овим температурама је показан опоравак ових уређаја. У случају да радна температура мора да буде у неком другом опсегу, саветује се повремено загревање на 150°C у кратким временским периодима када уређаји не раде у номиналном режиму.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати наведени у тачки 4.1 представљају најобимнија истраживања на прстенастим модуляторима, Мах-Зендеровим модуляторима као и германијумским фотодиодама у погледу испитивања утицаја јонизујућег и нејонизујућег зрачења.

Резултати произашли из рада у оквиру ове дисертације представљени су на две међународне конференције, Radiations Effects on Components and Systems (RADECS21) и Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP22), и објављени у часописима међународног значаја (M20), IEEE Transactions on Nuclear Science и Journal of Instrumentation, где је кандидаткиња први аутор.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У оквиру истраживачког рада у области теме докторске дисертације Милана Лаловић је објавила четири рада као аутор или коаутор, а који се непосредно односе на тему дисертације. Сва четири рада су објављена у часописима са SCI листе.

##### Категорија M22:

1. **Lalović M.**, Scarcella C., Bulling A., Detraz C., Marcon L., Olantera L., Prousalidi T., Sandven U., Sigaud C., Soos C., Troska J., Ionizing Radiation Effects in Silicon Photonics Modulators, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 69, no. 7, pp. 1521-1526, July 2022, **(IF: 1.8, ISSN: 0018-9499)**, doi: 10.1109/TNS.2022.3148579.
2. Olanterä, Lauri, Carmelo Scarcella, **Milana Lalović**, Stéphane Détraz, Awanish Pandey, Theoni Prousalidi, Ulrik Sandven, Christophe Sigaud, Csaba Soós, and Jan Troska. "Effects of High Fluence Particle Irradiation on Germanium-on-Silicon Photodiodes." *IEEE Transactions on Nuclear Science*, October 2023, 1–8. **(IF: 1.8, ISSN: 0018-9499)**, doi: 10.1109/TNS.2023.3327434.

##### Категорија M23:

1. **Lalović, M.**, S. Detraz, L. Marcon, L. Olanterä, T. Prousalidi, U. Sandven, C. Scarcella, C. Sigaud, C. Soós, and J. Troska. "Thermal Annealing in Silicon Photonics Ring Modulators." *Journal of Instrumentation* 18, no. 03, March 2023, C03028. **(IF: 1.3, ISSN: 1748-0221)**, doi: 10.1088/1748-0221/18/03/C03028.

2. Scarcella, C., S. Detraz, **M. Lalović**, L. Marcon, L. Olanterä, T. Prousalidi, U. Sandven, C. Scarcella, C. Sigaud, and J. Troska. "System Development of Silicon Photonics Links for CERN Experiments and Accelerators." *Journal of Instrumentation* 18, no. 03, March 2023, C03002. (IF: 1.3, ISSN: 1748-0221), doi: 10.1088/1748-0221/18/03/C03002.

Поред ова четири рада, у току израде дисертације, кандидаткиња је објавила још шест радова као коаутор из уже научне области физичке електронике, којој припада област дисертације.

#### Категорија M22:

1. Prousalidi, Theoni, Carmelo Scarcella, Aalia Ahmed, Stéphane Detraz, **Milana Lalović**, Lauri Olanterä, Awanish Pandey, Christophe Sigaud, Csaba Soos, Jan Troska, and Hercules Avramopolous. "System Development of Radiation-Tolerant Silicon Photonics Transceivers for High Energy Physics Applications." *IEEE Transactions on Nuclear Science* 70, no. 10, October 2023, 2373–80. (IF: 1.8, ISSN: 0018-9499), doi: 10.1109/TNS.2023.3310059.

#### Категорија M23:

1. Prousalidi, T., Bulling, A., Court, M., Detraz, S., **Lalović, M.**, Marcon, L., Olanterä, L., Orfanelli, S., Sandven, U., Scarcella, C., Sigaud, C., Soós, C., Troska, J., Towards optical data transmission for high energy physics using silicon photonics, *Journal of Instrumentation*, vol. 17, no. 05, p. C05004, May 2022, (IF: 1.3, ISSN: 1748-0221), doi: 10.1088/1748-0221/17/05/c05004.
2. Marcon, L., C. Scarcella, S. Detraz, **M. Lalović**, L. Olantera, T. Prousalidi, U. Sandven, C. Sigaud, C. Soós, and J. Troska. "High Speed Radiation Tolerant Optical Links Based on Coarse Wavelength Division Multiplexing." *Journal of Instrumentation* 18, no. 02, February 2023, C02055. (IF: 1.3, ISSN: 1748-0221), doi: 10.1088/1748-0221/18/02/C02055.
3. Soós, C., D. E. Bergin, S. Detraz, **M. Lalović**, L. Marcon, L. Olanterä, T. Prousalidi, U. Sandven, C. Sigaud, C. Soós, and J. Troska. "Versatile Link+ Transceiver Production." *Journal of Instrumentation* 18, no. 03, March 2023, C03003. (IF: 1.3, ISSN: 1748-0221), doi: 10.1088/1748-0221/18/03/C03003.

#### Категорија M33:

1. Prousalidi, Theoni, Giannis Pouloupoulos, Carmelo Scarcella, Harry Zervos, Daisy Bergin, Anthony Bulling, Stéphane Detraz, **Milana Lalović**, Leonardo Marcon, Lauri Olanterä, Ulrik Sandven, Christophe Sigaud, Csaba Soos, Jan Troska, and Hercules Avramopoulos. "Thermally tunable Silicon polarization rotator based on mode hybridization", *23rd European Conference on Integrated Optics*, 227-229, May 2022, Milan, Italy
2. Prousalidi, Theoni, Giannis Pouloupoulos, Carmelo Scarcella, Harry Zervos, Stéphane Detraz, **Milana Lalović**, Awanish Pandey, Ulrik Sandven, Christophe Sigaud, Csaba Soós, and Jan Troska. "Broadband, Low-Loss O-Band Silicon Polarization Splitter-Rotator." *24th European Conference on Integrated Optics*, 207-209, April 2023, Enschede, Netherlands



## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У докторској дисертацији под називом „Утицај зрачења на оптичке линкове реализоване у силицијумској фотоници“ кандидаткиња Милана С. Лаловић осмислила је и реализовала експерименталне поставке за карактеризацију направа у оптичким везама намењеним специфичним условима експерименталних истраживања из области физике високих енергија која се спроводе у LHC у CERN-у. Резултати истраживања и анализа предочени у дисертацији представљају стручни и научни допринос из уже научне области физичке електронике остварен у сложеном радном окружењу фундаменталних експеримената у CERN-у.

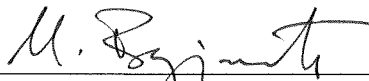
Комисија констатује да докторска дисертација кандидаткиње Милане С. Лаловић испуњава све законске, формалне и суштинске услове и критеријуме који се примењују приликом вредновања докторских дисертација на Електротехничком факултету и Универзитету у Београду. Имајући у виду постигнуте резултате и научне доприносе, Комисије предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да се докторска дисертација под називом „Утицај зрачења на оптичке линкове реализоване у силицијумској фотоници“ кандидаткиње Милане С. Лаловић прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду као и да се кандидаткињи одобри јавна усмена одбрана.

У Београду,  
25.03.2024.г.

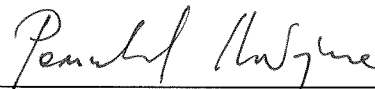
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



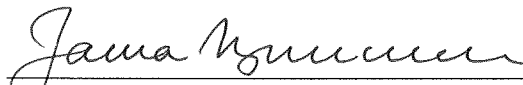
др Слободан Петричевић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Милош Вујисић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Небојша Ромчевић, научни саветник  
Институт за физику Универзитета у Београду



др Јасна Црњански, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Марко Крстић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет