

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидат Јоване Бабић за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа бр. 1470-38 од 10.10.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Јоване Бабић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом:

„Модулациони одзив ласера заснованог на спрези рефлексионог оптичког појачавача и оптичког влакна“

(енг. „*Modulation response of reflective semiconductor optical amplifier - fiber cavity laser*“).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Јована Бабић је рођена 20.01.1992. године у Београду. Електротехнички факултет уписала је 2011. године. Дипломирала је на одсеку за Физичку електронику 2015. године са просечном оценом 9,13. Дипломски рад, под називом „Утицај неортогоналности таласних функција на матрични елемент прелаза у полупроводничким квантним јамама“ одбранила је у септембру 2015. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу наноелектроника и фотоника уписала је у октобру 2015. године. Положила је све испите са просечном оценом 10. Мастер рад, под називом „Одређивање односа дифузионе константе и покретљивости у квантном каскадном ласеру“ одбранила је у септембру 2016. године са оценом 10. Докторске студије уписала је на Електротехничком факултету при истоименом модулу у октобру 2016. године.

Фокус рада маг. инж. Јоване Бабић током докторских студија усмерен је на RSOA-FCL ласере који користе рефлексиони оптички појачавач (RSOA) као активни медијум и оптичко влакно као резонаторску шупљину (FCL). Објавила је три рада у међународним

часописима са SCI листе и један рад на међународној конференцији. Септембра 2023. године поднела је захтев за одобравање теме докторске дисертације на тему „Модулациони одзив ласера заснованог на спрези рефлексионог оптичког појачавача и оптичког влакна“ матичној Катедри за микроелектронику и техничку физику.

У периоду од јула 2018. до априла 2020. год. Јована је радила као истраживач приправник на Електротехничком факултету у Београду, на пројекту “Фотонске компоненте и системи”, под покровитељством Министарства просвете, науке и технолошког развоја. У периоду од 2017. до 2020. год. била је ангажована као демонстратор на предмету Оптиоелектронске телекомуникационе компоненте на основним академским студијама. Од 2020. године запослена је у компанији VELSERA (претходно Seven Bridges) на позицији биоинформатичар.

Председник је и један од оснивача удружења „Студентски део Оптичког друштва на Универзитету у Београду“ које представља студентски огранак Оптичког друштва Америке (OSA) и бави се промоцијом оптике и фотонице.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Јована Бабић је у оквиру свог научно-истраживачког рада показала посебно интересовање за област моделирања активних полупроводничких направа за примене у оптичким комуникацијама. Докторске студије је уписала 2016/17. године, на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за наноелектронику и фотонику. Положила је све испите са просечном оценом 10 и успешно реализовала све обавезе предвиђене планом и програмом докторских студија. Списак положених испита и одрађених обавеза приказан је у табелама које следе:

Р. Бр.	Испит	Оцена	ЕСПБ
1	Нелинеарна оптика	10	9
2	Енглески језик	10	6
3	Електронска структура полупроводника	10	9
4	Квантна оптика	10	9
5	Фуријеова оптика	10	9
6	Оптичке особине полупроводничких хетероструктура	10	9
7	Транспортни процеси у наноелектроници и фотоници	10	9
8	Моделирање полупроводничких ласера	10	9
9	Пројектовање интегрисаних кола	10	9
10	Фотонске комуникације	10	9

Р. Бр.	Одрађене обавезе	ЕСПБ
1	студијски истраживачки рад II	15
2	научно стручни рад	3
3	студијски истраживачки рад I	15

У периоду од јула 2018. до априла 2020. год. Јована Бабић је радила као истраживач приправник на Електротехничком факултету у Београду, на пројекту “Фотонске компоненте и системи”, под покровитељством Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Од уписа на докторске студије објавила је три рада у међународним часописима са SCI листе и један рад на међународној конференцији.

Радови у међународним часописима:

1. Babić J., Totović, A., Crnjanski, J., Krstić, M., Gvozdić, D.: *Small-signal modulation response and -3dB bandwidth of reflective semiconductor optical amplifier based fiber cavity laser*, - Optics Communications, Vol 512, 2022, pp. 128057 [doi:10.1016/j.optcom.2022.128057, ISSN: 0030-4018, IF2022=2.4, M22]
2. Babić J., Totović, A., Crnjanski, J., Krstić, M., Mašanović, M., Gvozdić, D.: *Exploiting Inductive Peaking for Enhancing the RSOA's Large-Signal Modulation Performance*, - Journal of Lightwave Technology, Vol 39, No 11, 2021, pp. 3502-3510 [doi:10.1109/JLT.2021.3069660, ISSN: 0733-8724, IF2021=4.439, M21]
3. Babić J., Totović, A., Crnjanski, J., Krstić, M., Mašanović, M., Gvozdić, D.: *Enhancement of the MQW-RSOA's Small-Signal Modulation Bandwidth by Inductive Peaking*, - Journal of Lightwave Technology, Vol 37, No 9, 2019, pp. 1981-1989 [doi:10.1109/JLT.2019.2896194, ISSN: 0733-8724, IF2019=4.288, M21]

Рад са међународне конференције:

1. Babić J., Totović, A., Crnjanski, J., Krstić, M., Gvozdić, D.: *Large-Signal Modulation of an RSOA Enhanced by Inductive Peaking*, - Proceedings of the VII International School and Conference on Photonics – PHOTONICA2019, Belgrade, 2019., pp 154 [ISBN: 978-86-7306-153-5, M34]

У периоду од 2017. до 2020. год. Јована Бабић је била ангажована као демонстратор на предмету Оптиелектронске телекомуникационе компоненте (13E063ОТК) на основним академским студијама на Модулу за телекомуникације и информационе технологије.

Јавној усменој одбрани теме докторске дисертације Јована Бабић је приступила 07.11.2023. године пред комисијом у саставу др Дејан Гвоздић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду (председник Комисије), др Небојша Ромчевић, научни саветник, Институт за физику у Београду, др Наташа Нешковић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду и др Марко Крстић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду. Предложеној тему докторске дисертације Јована је одбранила са оценом „задовољила.“

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Комисија је размотрила све претходно наведене резултате рада и стечена искуства кандидата Јоване Бабић. На основу приложених докумената и усмене презентације теме докторске дисертације, Комисија је стекла увид у способности кандидата за научно-истраживачки рад и њене могућности да током израде докторске дисертације оствари резултате који ће бити приказани и оцењени од стране међународне научне заједнице. Став Комисије је да маг. инж. Јована Бабић испуњава све потребне суштинске и формалне услове да приступи изради докторске дисертације под наведеном темом.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене докторске дисертације су модуларне перформансе нове и врло специфичне класе ласера, која се заснива на спрези активне компоненте - рефлексионог полупроводничког оптичког појачавача и пасивне компоненте -

оптичког влакна. Пасивна компонента ласера, оптичко влакно, заправо представља последњу деоницу приступне пасивне оптичке мреже. Посматрана врста оптичког предајника, уобичајено означена акронимом RSOA-FCL, представља потенцијално ефикасно, технолошки једноставно и финансијски исплативо решење за реализацију оптичких мрежних јединица, које у пасивним оптичким мрежама са мултиплексирањем по таласним дужинама могу да обезбеде динамичку доделу радних таласних дужина [1, 2, 3, 4]. Разлика између RSOA-FC ласера и стандардних полупроводничких ласерских предајника који се користе у оптичким комуникационим системима је значајна. Она се огледа у чињеници да ови ласери могу релативно лако да прилагоде своју радну таласну дужину применом одговарајућег оптичког филтра. Поред тога, њих карактерише огромна диспропорција у погледу величине активног и пасивног сегмента резонаторске шупљине у корист пасивног дела (неколико редова величине) и повратна спрега, која у великој мери одговара случајном (у овом случају Рејлијевом) расејању, због чега се често сврставају у категорију тзв. „случајних ласера“ [5,6,7]. И поред тога, значајан утицај на степен повратне спреге може да има тзв. „удаљено огледало“, које је обично смештено на страни пријемника, због којег ефекти расејања могу имати мањи утицај [8]. У тој ситуацији се случајна природа повратне спреге може оправдано занемарити. Међутим, овај пасивни део ласера је средина која поседује друге и суштински нежељене карактеристике, а то су пре свега слабљење и дисперзија, које у великој мери лимитирају квалитет повратне спреге. Са друге стране, активну област одређује компонента која, генерално гледано, има слабије модуларне перформансе, пре свега због чињенице да се уобичајено не користи у режиму ласерске емисије, што отвара простор за унапређење предметне конфигурације [9,10].

Циљ истраживања докторске дисертације је формирање детаљног математичко-физичког и нумеричког модела, као и рачунарског кода, којим ће се омогућити симулација одзива сваке од компонената RSOA-FC ласера. У случају рефлексионог оптичког појачавача модел треба да урачуна паразитне ефекте самог појачавача али и његовог паковања. Интегрална варијанта софтвера треба да омогући симулацију целокупног ласерског система којим ће бити обезбеђена идентификација и анализа фактора који лимитирају модуларне перформансе овог уређаја. Поред тога симулација одзива би требало да омогући сагледавање метода којима је могуће превазићи лимитирајуће факторе пропусног опсега [11,12,13]. Анализа модуларних карактеристика рефлексионог оптичког појачавача би требало да осим малих обухвати и велике сигнале, будући да се рефлексиони појачавач може користити и као самостална компонента у пасивним оптичким мрежама [12,14], али и у другим применама као што су оптичке неуралне мреже у оквиру којих могу имати улогу активног огледала [15].

- [1] Q. Deniel, F. Saliou, L. A. Neto, N. Genay, B. Charbonnier, D. Erasme, and P. Chanclou, *Up to 10 Gbit/s transmission in WDM-PON architecture using external cavity laser based on self-tuning ONU*, - National Fiber Optic Engineers Conference, OSA Technical Digest (Optica Publishing Group, 2012), paper JTh2A.55.
- [2] Simon A. Gebrewold; Lucia Marazzi; Paola Parolari; Romain Brenot; Seán P. Ó Dúill; Romain Bonjour; David Hillerkuss, Christian Hafner, Juerg Leuthold, *Reflective-SOA fiber cavity laser as directly modulated WDM-PON colorless transmitter*, - IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol 20, No. 5, 2014, pp. 3100409 (doi: 10.1109/JSTQE.2014.2307314)
- [3] R. El Hassanieh, P. Morel, M. Hamze, V. Quintard, A. Perennou, and A. Sharaiha, *Experimental OFDM transmission performance analysis in a SOA - fiber cavity laser*, Optics Express, Vol 31, 2023, pp 24875-24886 (doi: 10.1364/OE.494718)

- [4] F. Saliou, G. Simon, P. Chanclou, M. Brunero, L. Marazzi, P. Parolari, M. Martinelli, R. Brenot, A. Maho, S. Barbet, G. Gavioli, G. Parladori, S. Gebrewold, and J. Leuthold, 125-km Long Cavity Based on Self-Seeded RSOAs Colorless Sources for 2.5-Gb/s DWDM Networks, *Journal of Lightwave Technology*, Vol 33, No 8, 2015, pp. 1602-1607.
- [5] G. Simon, F. Saliou, P. Chanclou, R. Brenot, A. Maho, S. Barbet, D. Erasme, F. Grillot, *Observation of a random fiber laser induced by Rayleigh backscattering*, Proceedings of the 2014 International Semiconductor Laser Conference, Palma de Mallorca, 2014, pp. 104–105 (doi:10.1109/ISLC.2014.185)
- [6] S.A. Gebrewold, R. Bonjour, S. Barbet, A. Maho, R. Brenot, P. Chanclou, M. Brunero, L. Marazzi, P. Parolari, A. Totovic, D. Gvozdic, D. Hillerkuss, C. Hafner and J. Leuthold, *Self-seeded RSOA-fiber cavity lasers vs. ASE spectrum-sliced or externally seeded transmitters - A comparative study*, - *Applied Sciences*, Vol 5, No 4, 2015, pp. 1922–1941 (doi:10.3390/app5041922)
- [7] Y. F. Wu, C. H. Yeh, C. W. Chow, J. Y. Sung, and J. H. Chen, *Stable and wavelength-tunable self-injected reflective semiconductor optical amplifier-based fiber laser*, - *IEEE Photonics Journal*, Vol 7, No 4, 2015, pp. 1–7 (doi: 10.1109/JPHOT.2015.2445098).
- [8] D.M. Gvozdić, A.R. Totović, J.V. Crnjanski, M.M. Krstić, S.A. Gebrewold, J. Leuthold, and M.L. Mašanović, *Self-Seeded RSOA Fiber Cavity Laser and the Role of Rayleigh Backscattering—An Analytical Model*, - *Journal of Lightwave Technology*, Vol 35, 2017, pp 4845-4850.
- [9] Z. Rizou, K. Zoiros, *Theoretical Analysis of Directly Modulated Reflective Semiconductor Optical Amplifier Performance Enhancement by Microring Resonator-Based Notch Filtering*, *Applied Science*, Vol 8, 2018, pp. 223 (doi: 10.3390/app8020223).
- [10] Z. Rizou, K. Zoiros, T. Rampone, A. Sharaiha, *Reflective Semiconductor Optical Amplifier Direct Modulation Capability Enhancement Using Birefringent Fiber Loop*, *Applied Science*, Vol 10, 2020, pp. 5328 (doi:10.3390/app10155328).
- [11] Norio Chujo, Toshiaki Takai, Toshiki Sugawara, Yasunobu Matsuoka, Daichi Kawamura, Koichiro Adachi, Tsuneo Kawamata, Toshinobu Ohno, Kenichi Ohhata, *A 25 Gb/s 65-nm CMOS Low-Power Laser Diode Driver With Mutually Coupled Peaking Inductors for Optical Interconnects*, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I*, Vol 58, 2011, pp. 2061–2068 (doi; 10.1109/TCSI.2011.2163982).
- [12] L. Bogaert, J. Van Kerrebrouck, A. Abbasi, J. Lambrecht, G. Torfs, X. Yin, G. Roelkens, J. Bauwelinck, *Resonant optical receiver design by series inductive peaking for sub-6 GHz RoF*, *Microwave Optical Technology Letters*, Vol 59, 2017, pp. 22792284 (doi: 10.1002/mop.30721).
- [13] M. Gould, T. Baehr-Jones, R. Ding, and M. Hochberg, *Bandwidth enhancement of waveguide-coupled photodetectors with inductive gain peaking*, *Optics Express*, Vol 20, 2012, pp. 7101–7111 (doi: 10.1364/OE.20.007101).
- [14] A. Totović, M. Santagiustina, C. Antonelli, D. Gvozdić, P. Parolari, P. Boffi, *RSOA-based colorless multilevel transmitter with electrical signal predistortion* - *Optics Communications*, Vol 456, 2020, pp. 124654 (10.1016/j.optcom.2019.124654)
- [15] Xiaoyu Li, Ning Jiang, Qiang Zhang, Chuanjie Tang, Yiqun Zhang, Gang Hu, Yongsheng Cao, and Kun Qiu, *Performance-enhanced time-delayed photonic reservoir computing system using a reflective semiconductor optical amplifier*, *Optics Express*, Vol 31, 2023, pp. 28764-28777 (10.1364/OE.495697)

3. Полазне хипотезе

Предложена дисертација се заснива на следећим хипотезама:

1. Полупроводнички оптички појачавачи су уређаји чија је брзина модулације у великој мери одређена временом рекомбинације носилаца, али и другим операционим и структурним параметрима, као што су струја поларизације, улазна оптичка снага модулисаног сигнала, диференцијално појачање и сл. Претпоставка коју је потребно доказати је да је пропусни опсег сопственог модулационог одзива рефлексионог појачавача заправо већи у односу на оно што се може закључити на основу доступних експерименталних података.
2. Паразитни ефекти који обухватају транспортне ефекте носилаца, времена захвата и ослобађања носилаца, као и паразитне капацитивности, индуктивности и отпорности структуре и паковања појачавача у великој мери лимитирају и пригушују пропусни опсег сопственог одзива оптичког појачавача.
3. Постоји потенцијал оптимизације електричног дела паразитног кола у смеру побољшања модулационих перформанси рефлексионог појачавача, а онда и целог ласерског система, кроз примену концепта „индуктивног пика“.
4. Унапређења рефлексионог појачавача по питању модулације за мале сигнале могу се применити и у случају великих сигнала у дигиталном ООК формату.
5. Ласери са оптичким влакном као резонаторском шупљином спадају у класу ласера са повратном спрегом на бази расејања, тзв. „случајних ласера“, будући да је дужина оптичког влакна од једног до неколико десетина километара, што доводи до значајног Рејлијевог расејања које остварује улогу повратне спреге. Претпоставка је да Рејлијево расејање неће имати значајан утицај на повратну спрегу, уколико се на страни пријемника (тј. страни оптичког линијског терминала) налази рефлексиона површина која се назива „удаљеним огледалом“.
6. Снаге у оптичком влакну су недовољно велике да би довеле до нелинеарних ефеката, па је претпоставка да осим слабљења и дисперзије у влакну не постоје додатни фактори деградације квалитета сигнала.
7. Прелазак са „С“ прозора на „О“ трансмисиони прозор може значајно да унапреди пропусни опсег ласера због екстремно мале дисперзије стандардних мономодних оптичких влакана у овом дијапазону таласних дужина.

4. Научне методе истраживања

У оквиру предложеног истраживања, а полазећи од уведених хипотеза, биће примењене следеће методе, како би се остварили дефинисани циљеви истраживања:

1. Математичко-физички модел одзива рефлексионог полупроводничког оптичког појачавача биће формулисан кроз сет брзинских једначина по концентрацији носилаца у активној области појачавача и хетероструктурној области намењеној за конфинирање светлости (SCH), као и брзинских једначина са путујућим таласом за пропагацију фотона за оба смера простирања светлости.
2. Формулисани систем једначина ће бити допуњен трансфер функцијом оптичког влакна, која се може добити из инверзне Фуријеове трансформације импулсног одзива влакна, што ће омогућити да се у обзир узме утицај слабљења и дисперзије на пропагацију сигнала кроз влакно, односно резонатор ласера.

3. Систем једначина који описује модулациони одзив рефлексионог појачавача и ласера биће линеаризован и раздвојен на стационарни нелинеарни део и линеаризовани систем једначина за мале сигнале. Одређивање стационарног стања зависи од режима рада рефлексионог појачавача и биће одређено самосагласном итеративном методом у случају самосталног рада појачавача, односно методом решавања трансцендентних једначина полазећи од услова прага појачања за симулацију ласерског система RSOA-FCL. Самосагласни поступак ће обухватити решавање једначина путујућег таласа по фотонима применом метода коначних разлика и решавања трансцендентне једначине по концентрацији носилаца увезаних у итеративни самосагласни поступак. Линеаризовани део који одређује модулациони одзив биће решен као проблем граничних вредности за систем од две нелинеарне спрегнуте једначине првог реда по концентрацији фотона.
4. Утицај паразитног кола ће бити разматран кроз софтвер за симулацију кола и симболичко одређивање функције преноса у линеарним електричним колима.
5. Оптички фактор конфинирања дизајнираног таласовода и други оптички параметри захтеваће примену софтвера за прорачун модова у мултислојним таласоводним полупроводничким структурама, који могу бити једно- или дводимензионални.
6. У случају великих сигнала поступак ће захтевати директно решавање просторно временских спрегнутих брзинских једначина путујућег таласа методом коначних разлика и обичне нелинеарне диференцијалне једначине по носиоцима у активној и хетероструктурној оптичкој области.
7. У процедури одређивања вероватноће грешке при модулацији великим сигналама користиће се непараметарски KDE (*Kernel Density Estimator*) приступ заснован на линеарим дифузионим процесима са Гаусовским кернелом.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани резултати у оквиру предложене теме докторске дисертације су следећи:

1. Развој детаљног математичко-физичког модел и његова софтверска имплементација која ће омогућити симулацију модулације одзива рефлексионог полупроводничког оптичког појачавача у случају малих и великих сигнала уз урачунавање паразитних ефеката саме структуре, транспортних ефеката, као и захвата и ослобађања носилаца у активној области појачавача.
2. Проширење модела рефлексионог оптичког појачавача моделом оптичког влакна, што ће омогућити комплетирање математичко-физичког модела и софтвера за симулацију одзива RSOA-FCL.
3. Дизајн оптимизоване структуре рефлексионог оптичког појачавача са унапређеним модулационим перформансама у погледу пропусног опсега за мале сигнале и повећаним протоком за дигиталне OOK сигнале уз стандардну вероватноћу грешке.
4. Унапређење модулационог одзива рефлексионог појачавача и RSOA-FCL применом методе „индукционог пика“ у оквиру паразитног кола.
5. Утврђивање степена утицаја и компензације дисперзије на пропусни опсег RSOA-FCLa.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање на предложеној тему докторске дисертације ће обухвати више значајних сегмената:

1. Истраживање ће започети детаљним прегледом литературе која се односи на modele рефлексионих полупроводничких оптичких појачавача, оптичких влакана и ласерског система RSOA-FCL.
2. Селекована литература ће се након анализе систематизовати у погледу уочених и дефинисаних проблема и недостатака постојећих решења, примењених метода и модела.
3. На основу претходне анализе биће предложен математичко-физички модел обе компоненте, рефлексионог оптичког појачавача и оптичког влакана, као и комплетног RSOA-FCL система.
4. Реализоваће се софтвер који ће омогућити симулацију одзива RSOA за случај малих и дигиталних сигнала, оптичког влакана и RSOA-FCL.
5. Биће предложена и дизајнирана оптимизована структура RSOA са унапређеним оптичким перформансама, пре свега оптичким појачањем, оптичким фактором конфинирања и транспортним карактеристикама, за коју ће бити могуће спровести детаљан прорачун паразитних електричних ефеката.
6. Софтвер за симулацију одзива RSOA биће проширен модулом који се односи на симулацију електричног одзива паразитног кола.
7. Применом софтвера биће симулиран одзив RSOA за случај малих и великих сигнала и биће испитан сопствени и екстерни пропусни опсег из перспективе зависности од операционих и технолошких параметара.
8. Полазећи од шеме паразитног кола, биће испитана могућност увећања пропусног опсега и дигиталног протока RSOA применом методе „индуктивног пика“.
9. Спровешће се симулација модулативног одзива RSOA-FCLa и биће испитани утицај дисперзије на пропусни опсег ласера, као и могућност компензације њеног утицаја применом методе унапређења пропусног опсега RSOA.

Постојећи резултати из литературе, као и резултати симулација на основу оригинално-развијених нумерички имплементираних модела и уз њихову анализу и извођење релевантних закључака биће на систематски начин приказани у докторској дисертацији.

7. Закључак и предлог

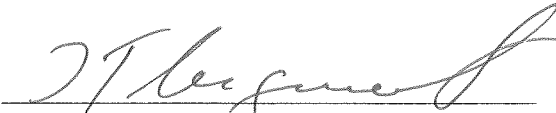
На основу изложеног, Комисија констатује да кандидат Јована Бабић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, испуњава све потребне услове за израду докторске дисертације под насловом „Модулациони одзив ласера заснованог на спрези рефлексионог оптичког појачавача и оптичког влакана.“ Поред испуњености формалних услова, кандидат је демонстрирао способност систематичног приступа анализи проблема и теоријским знањима неопходним за формирање детаљних математичко-физичких модела који ће обезбедити симулациону анализу модулативних карактеристика рефлексионих полупроводничких оптичких појачавача као самосталних компонената и у конфигурацији ласера са резонатором који чини дистрибутивно оптичко влакно приступне оптичке мреже.

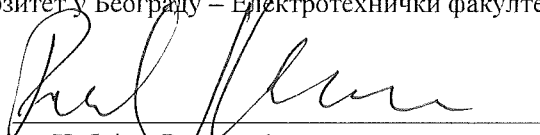
Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Јовани Бабић, мастер инжењеру електротехнике и рачунарства, одобри израду докторске дисертације под насловом „Модулациони одзив ласера заснованог на спрези рефлексионог оптичког појачавача и оптичког влакна,“ под менторством др Јасне Црњански, ванредног професора на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

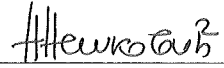
У Београду, 09.11.2023.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


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


др Дејан Гвоздић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


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


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


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