

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације под насловом „Примена машинског учења за анализу и синтезу одзива електромагнетских система“ (енглески: *Machine learning for analysis and synthesis of responses of electromagnetic systems*) кандидата **Дарка Нинковића**

Одлуком број 2300/25 од 10.12.2024. године именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом „Примене машинског учења у електромагнетици“ (енглески: *Machine learning in electromagnetics*) кандидата **Дарка Нинковића**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Дарко Нинковић је рођен 18. јула 1995. године у Београду. У истом граду је завршио основну школу „Јосиф Панчић“ и Тринаесту београдску гимназију. Обе школе је завршио као носилац Вукове дипломе и ученик генерације.

На Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао се школске 2014/15. године. Основне академске студије је завршио 2018. године на студијском програму Електротехника и рачунарство, модул Телекомуникације и информационе технологије—смер Микроталасна техника, са просечном оценом 9,93. Дипломски рад „Оптимизација низа микротракастих антена“ одбранио је са оценом 10. Теленор фондација му је 2018. године доделила награду Проф. др Илија Стојановић за најбољег дипломираног студента модула Телекомуникације и информационе технологије Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Мастер академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је 2018. године на модулу Микроталасна техника. Мастер академске студије је завршио 2019. године са просечном оценом 10,00. Мастер рад „Решавање комбинаторних електромагнетских проблема генетичким алгоритмом“ одбранио је са оценом 10. Рад је освојио трећу Пупинову награду Матице српске, која се додељује сваке три године за дипломске, мастер, магистарске и друге научне радове студената који представљају допринос техничким и природно-математичким дисциплинама.

Докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2019/20. године на модулу Микроталасна техника. Положио је све испите са оценом 10. Дарко Нинковић је 2024. године освојио стипендију IEEE Antennas and Propagation Society Fellowship Program Awards (2024) за реализацију пројекта Machine Learning Approaches for Modeling of Antennas.

Дарко Нинковић је од 1.2.2019. године био ангажован на Електротехничком факултету Универзитета у Београду као сарадник у настави при Катедри за општу електротехнику, а од 21.2.2020. године је ангажован као асистент при истој катедри. Учествовао је у извођењу рачунских и лабораторијских вежби на основним и мастер академским студијама из предмета Основи електротехнике 1 и 2, Лабораторијске вежбе из Основа електротехнике, Практикум из основа електротехнике 2, Микроталасна техника, Моделовање и симулација електромагнетских поља, Електромагнетика, Електромагнетска компатибилност и Инжењерски оптимизациони алгоритми.

Дарко Нинковић је коаутор два рада у часописима са међународним значајем, једног рада у домаћем часопису, осам радова са међународних конференција, два рада са конференција од националног значаја и једног поглавља у монографији међународног значаја.

Учествовао је на четири међународна, три научна и два комерцијална пројекта.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидат Дарко Нинковић је 10. октобра 2019. године уписао докторске студије на Електротехничком факултету у Београду на Смеру за микроталасну технику. Током докторских академских студија испунио је све предвиђене обавезе и положио све испите са оценом 10:

Назив испита или обавезе	Оцена	ЕСПБ
Електромагнетика (13Д071ЕМ)	10	9
Метод момената у електромагнетици (13Д071ММЕ)	10	9
Микроталасна техника (19Д071МТ)	10	9
Микроталасна електроника (19Д071МЕ)	10	9
Метод коначних елемената у електромагнетици (19Д071МКЕ)	10	9
Вештачка интелигенција и експертски системи (19Д111ВИЕ)	10	9
Енглески језик (19Д091ЕЈ)	10	6
Напредне технике за микроталасно формирање слике (19Д071НТМ)	10	9
Електромагнетска компатибилност и интегритет сигнала (19Д071ЕКИ)	10	9
Антене и простирање радиоталаса (19Д071АПР)	10	9
Студијско истраживачки рад I		15
Научно стручни рад		3
Студијско истраживачки рад II		15

Активности по предметима су следеће:

- **Електромагнетика:** проучавање литературе (*Roger F. Harrington "Time-Harmonic Electromagnetic Fields"*), консултације, пројекат. Тема пројектног задатка је била анализа електромагнетског поља равноталаса који наилази на сферни диелектрични расејач. Пројекат је обухватао извођење аналитичких израза и њихово поређење са нумеричким резултатима генерисаним у софтверу за електромагнетску анализу.
- **Метод момената у електромагнетици:** проучавање литературе (*Roger F. Harrington "Field Computation by Moment Methods"* и *Tapan K. Sarkar, Antonije R. Djordjevic,*

Branko M. Kolundzija "Method of Moments Applied to Antennas"), консултације, пројектни задаци. Пројектни задаци су били: 1) проблем расподеле наелектрисања на штапу, 2) расподела наелектрисања на микротракастом воду, 3) расподела наелектрисања на плочи, 4) нумеричко одређивање капацитивности плочастог кондензатора, 5) расподела струје на жичаној антени (Халенова једначина), 6) расподела струје и расејано поље од дводимензионог (2D) расејача у ТМ моду облика елипсе у попречном пресеку и 7) одређивање радарског попречног пресека (енглески: *radar cross-section*) квадрата.

- **Микроталасна техника:** проучавање литературе (David M. Pozar "Microwave Engineering"), консултације, пројекат. Задатак пројекта био је пројектовање, реализација и мерење мултиплексера са једним излазом и пет улаза (925 MHz – 960 MHz, 1160 MHz – 1300 MHz, 1560 MHz – 1610 MHz, 1805 MHz – 1880 MHz и 2110 MHz – 2170 MHz).
- **Микроталасна електроника:** проучавање литературе (Stephen A. Maas "Nonlinear Microwave and RF Circuits"), консултације и пројекат. Задатак пројекта је било писање програма за решавање нелинеарних електричних кола са сложенопериодичном побудом методом Harmonic balance.
- **Метод коначних елемената у електромагнетици:** проучавање литературе (Milan Plić, "Higher order hexahedral finite elements for electromagnetic modeling," phd thesis) консултације, пројекат. Тема пројекта је било поређење дисконтинуалне Галеркинове методе и континуалне методе коначних елемената за решавање дводимензионалног проблема магнетостатике.
- **Вештачка интелигенција и експертски системи:** проучавање литературе (S. Russel, P. Norvig "Artificial Intelligence – A Modern Approach"), консултације, пројекат. Тема пројекта је било обучавање неуралних мрежа за анализу електромагнетских одзива bow-tie антена.
- **Енглески језик:** проучавање литературе (Ђурић, Miloš D. "English for Electrical Engineering, Belgrade: Faculty of Electrical Engineering and Academic Mind"), консултације, пројектни задатак. Пројектни задатак било је превођење научног рада.
- **Напредне технике за микроталасно формирање слике:** проучавање литературе (Matteo Pastorino "Microwave Imaging"), консултације, пројекат на тему примене Борнове итеративне методе (енглески: *distorted Born iterative method*) и техника машинског учења за процену расподеле пермитивности реалистичних фантома.
- **Електромагнетска компатибилност и интегритет сигнала:** проучавање литературе (Howard W. Johnson, Martin Graham "High-speed of digital design – a handbook of black magic"), консултације и пројекат. Пројекат је обухватао идентификацију типа рачунарских монитора на основу анализе израченог електромагнетског поља.
- **Антене и простирање радиоталаса:** проучавање литературе (J. H. Richmond "Radiation and Scattering by Thin-Wire Structures in the Complex Frequency Domain"), консултације и пројекат. Задатак пројекта је био одређивање блиског поља дипола са пресавијеним крајевима. Пројекат је обухватао извођење аналитичких израза и њихово поређење са нумеричким резултатима генерисаним у софтверу за електромагнетску анализу.

Библиографија кандидата:

- Радови у међународним часописима

[1] T. Singh, D. M. Ninkovic, B. M. Kolundzija and M. N. Stevanovic, "Smooth Polynomial Approach for Microwave Imaging in Sparse Processing Framework," in *IEEE Access*, vol. 10, pp.

120616-120629, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3217221. (IF₂₀₂₂=3.9, ISSN Online: 1558–187X, ISSN Print: 0018-9375, **M22**)

[2] **D. M. Ninković** and D. I. Olćan, "AI-Assisted Identification of State and Type of Flat-Panel Monitors in the Presence of EM Noise," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 66, no. 4, pp. 1057-1067, Aug. 2024, doi: 10.1109/TEMC.2024.3370653. (IF₂₀₂₄=2.0, ISSN: 2169-3536, **M23**)

- **Радови у домаћим часописима**

[3] **D. Ninković**, D. Olćan, "Genetic Algorithm Applied to Discrete Optimization of Band-Pass Microwave Filter," *TELFOR JOURNAL*, Vol. 13, No. 1, pp. 19–24, 2021. (**M53**)

- **Радови са међународних скупова**

[4] **D. Ninković** and D. Olćan, "Genetic Algorithm Applied to Discrete Optimization of Band-Pass Microwave Filter," *2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, 2020, pp. 1–4. (**M33**)

[5] **D. Ninković**, S. Savić and M. Ilić, "Comparison of Discontinuous Galerkin and Continuous Finite Element Methods in Analysis of a 2-D Magnetostatic Problem," *2021 29th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Belgrade, Serbia, 2021, pp. 1–4. (**M33**)

[6] D. Olćan, **D. Ninkovic**, Z. Stankovic, N. Doncov and B. Kolundžija, "Training of Deep Neural Networks With up to 10 Million Antennas," *2022 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI)*, Denver, CO, USA, 2022, pp. 65–66. (**M33**)

[7] **D. Ninković**, Á. Yago Ruiz, M. Cavagnaro, B. Kolundžija, L. Crocco and M. Nikolić Stevanović, "Deep Learning Enhanced Microwave Imaging for Brain Diagnostics," *2023 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Florence, Italy, 2023, pp. 1–4. (**M33**)

[8] A. Kovačević, **D. Ninković**, L. Crocco, B. Kolundžija and M. N. Stevanović, "Generating a Library of Head Phantoms for Microwave Imaging using Spherical Harmonic Approximation," *2024 18th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Glasgow, United Kingdom, 2024, pp. 1–4. (**M33**)

[9] **D. Ninković**, Á. Y. Ruiz, S. Nikolaou, L. Crocco, B. Kolundžija and M. N. Stevanović, "Polynomial Basis Functions for Qualitative Head Tissue Segmentation via Linearized Microwave Imaging," *2024 18th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Glasgow, United Kingdom, 2024, pp. 1–5. (**M33**)

[10] **D. Ninkovic** and D. Olćan, "Artificial Neural Network Topology for Modelling of Symmetrical Dipole Antenna," *2024 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI)*, Florence, Italy, 2024. (**M33**)

[11] **D. Ninković** and D. Olćan, "Monitor Identification Based on Electromagnetic Emanations and Multilayer Perceptron Networks," *2024 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe*, Brugge, Belgium, 2024, pp. 238–242, doi: 10.1109/EMCEurope59828.2024.10722401 (**M33**)

- **Радови са скупова од националног значаја**

[12] M. Nikolić Stevanović, **D. Ninković**, T. Singh, B. Ninković, M. Tasić, and B. Kolundžija, "Application of Microwave Imaging for Brain Diagnostics," *9th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcEtran 2022*, Novi Pazar, Serbia, 2022. (**M61**)

[13] D. Olćan and **D. Ninković**, "Machine Learning in Applied Electromagnetics," *11th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcEtran 2024*, Niš, Serbia, 2024. (**M61**)

- **Књиге и монографије**

[14] Á. Yago Ruiz, A. Prokhorova, **D. Ninković**, M. Helbig, M. Stevanović, M. Cavagnaro, L. Crocco, "Deep Learning Enhanced Medical Microwave Imaging," Chapter in Electromagnetic Imaging for a Novel Generation of Medical Devices, Edited by: Francesca Vipiana, Lorenzo Crocco, pp. 179–201, Springer, Cham, Jun, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-28666-7. (M14)

Кандидат је 24. децембра 2024. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду јавно усмено бранио предложену тему докторске дисертације пред Комисијом у саставу:

1. др Марија Стевановић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Небојша Дончов, редовни професор, Електронски факултет Универзитета у Нишу,
3. др Бошко Николић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

На јавној усменој одбрани предложене теме, Комисија је закључила да је кандидат Дарко Нинковић добио оцену задовољно и да испуњава потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу резултата које је кандидат постигао у свом досадашњем стручном и научном раду, од којих бисмо издвојили следеће:

- сакупио је сто двадесет (120) ЕСПБ (полагањем испита на докторским студијама и обављањем научно истраживачких обавеза),
- јавно је одбранио тему докторске дисертације 24. децембра 2024. године, пред Комисијом (др Марија Стевановић, др Небојша Дончов, др Бошко Николић) формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду на седници број 902. одржаној 10.12.2024. године,
- публиковао је укупно четрнаест радова, од којих су два публикована у међународним часописима, један у домаћем часопису, осам у саопштењима међународних научних скупова штампаних у целини, два у саопштењима са скупова националног значаја штампаних у целини и један публикован као поглавље у монографији међународног значаја, што га квалификује за научни рад,
- остварио је практично искуство у области коју покрива предложена тема докторске дисертације,

можемо закључити да кандидат Дарко Нинковић у сваком погледу испуњава услове који га квалификују да приступи изради докторске дисертације са предложеном темом.

2. Предмет и циљ истраживања

Модел машинског учења (енглески: machine learning) успешно су примењени у бројним научним дисциплинама, а све чешће се користе и за решавање различитих електромагнетских проблема. На пример, вештачке неуралне мреже (енглески: artificial neural networks) представљају један тип модела машинског учења који се може обучити да са високом тачношћу апроксимира вишедимензионе нелинеарне зависности између улаза и излаза система. Стога су овакви модели нашли примену у бројним електромагнетским областима попут дизајна пасивних микроталасних компоненти [1]–[2], микроталасног

формирања медицинских слика [3], анализе и синтезе различитих типova антена [4]–[8] и електромагнетске компатибилности [9]–[11].

Предмет предложеног истраживања је примена машинског учења на моделовање и предикцију одзива различитих електромагнетских система. Посебно ће бити истражена примена машинског учења за синтезу електромагнетских одзива различитих типova антена и анализу израченог електромагнетског поља.

Анализа, дизајн и оптимизација електромагнетских система (антена и микроталасних кола), рачунарски су захтевни услед ограничења доступних ресурса. Нумеричка електромагнетска анализа најједноставнијих антена на једној учестаности траје око 100 ms на стандардном десктоп рачунару, док нумеричка анализа сложенијих антена може трајати сатима или данима. У данашње време, дизајн антена подразумева оптимизације већег броја параметара чије вредности се типично мењају у широком опсегу. Велики оптимизациони простори обично захтевају велики број оптимизационих итерација, тј. израчунавања електромагнетских одзива. Уколико се у сврху израчунавања тих одзива користе обучени модели машинског учења, уместо рачунарски захтевнијих електромагнетских симулација, оптимизација и дизајн антена могу се значајно убрзати [4]–[8].

Пре него што могу да буду употребљени, модели машинског учења морају се обучити. Током тренинга (обуке), у моделу се подешавају коефицијенти, тј. како се у литератури често каже, „модел учи“ како да реши постављени проблем. Како би се покренула оптимизација за подешавање коефицијената мреже, потребно је припремити одговарајуће податке, тј. скуп података за тренинг (енглески: training dataset). Стога, како би се применило машинско учење за решавање неког проблема, потребно је направити различите изборе по питању скупа података, коришћених модела машинског учења и алгоритама за тренинг. Како је тренинг модела машинског учења најчешће стохастички процес, понављањем тренинга добијају се другачији резултати. За процену перформанси различитих приступа, тренинг је потребно поновити више пута, како би се добила поуздана статистика.

Основни циљ овог истраживања је поређење различитих приступа примене машинског учења за моделовање електромагнетских одзива: улазне импедансе, усмереног појачања, коефицијента рефлексије за различите типове антена (дипол антене, Уда-Јаги антене итд.). Биће разматрани сви потребни кораци, укључујући генерисање и обраду скупова података за тренинг, избор погодних модела, као и алгоритама за тренинг. Систематична анализа резултата тренинга различитих модела биће спроведена са циљем развијања општих смерница за примену модела машинског учења за пројектовање антена.

Други део рада биће посвећен анализи израченог електромагнетског поља уређаја, конкретно рачунарских монитора. Као и сви електрични и електронски уређаји, монитори зраче у својој близини. У израченом пољу налазе се информације и о хардверу самог монитора и о текућој слици која је приказана на монитору. У последњих 30 година развијено је више техника за реконструкцију слике приказане на монитору на основу израченог електромагнетског поља [12]–[15]. Све ове технике подразумевају познавање неких информација о монитору (резулација, фреквенција пиксела итд.). Сходно томе, идентификација типа монитора на основу израченог поља најчешће је први корак у процесу реконструкције слике, али је веома важна и за развијање метода заштите безбедности података. Такође, идентификација (укљученог) монитора се може применити и ради минимизирања потрошње електричне енергије у објектима са великим бројем рачунара, као и у истраживањима електромагнетске компатибилности.

У оквиру предложене теме докторске дисертације биће развијена метода заснована на неуралним мрежама за аутоматску идентификацију типа монитора и његовог стања (укључен или искључен) на основу израченог електромагнетског поља, тј. коришћењем бесконтактнoг надгледања. Неуралне мреже ће бити обучене на основу измереног израченог поља различитих монитора (више од десет) у стандардним канцеларијским условима уз присуство

електромагнетског шума који постоји у реалним условима. Такође, на основу резултата тренинга великог броја мрежа, биће развијена метода за аутоматско проналажење значајних фреквенцијских подопсега за детекцију монитора. Очекивано је да ова метода омогући елиминацију мање релевантних опсега и тиме значајно убрза тренинг неуралних мрежа, као и да минимизује скуп података које је потребно измерити у ову сврху. Коначно, биће извршена мерења електромагнетског зрачења истих монитора у анехоичној соби и резултати мерења биће упоређени са значајним фреквенцијским опсезима добијеним анализом обучених неуралних мрежа.

Значај предложеног истраживања је сагледавање предности и ограничења употребе машинског учења у електромагнетици. Коришћење обучених модел машинског учења отвара могућности рачунарски ефикаснијег пројектовања електромагнетских система, као и аутоматизовану анализу електромагнетског поља. Са друге стране, модели машинског учења су по правилу стохастичког типа и процена грешака које уносе у резултате електромагнетске анализе није у овом тренутку позната, али је од изузетног значаја за инжењере и истраживаче који се баве примењеном електромагнетиком.

Релевантни радови из области истраживања:

- [1] Z. Zhou et al., "Bayesian-Inspired Sampling for Efficient Machine-Learning-Assisted Microwave Component Design," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 72, no. 2, pp. 996-1007, Feb. 2024, doi: 10.1109/TMTT.2023.3298194.
- [2] Q. J. Zhang and K. C. Gupta, *Neural Networks for RF and Microwave Design*. Boston, MA, USA: Artech House, 2000.
- [3] X. Hu, F. Xu, Y. Guo, W. Feng and Y. -Q. Jin, "MDLI-Net: Model-Driven Learning Imaging Network for High-Resolution Microwave Imaging With Large Rotating Angle and Sparse Sampling," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 60, pp. 1-17, 2022, Art no. 5212617, doi: 10.1109/TGRS.2021.3110579.
- [4] A. Gupta, E. A. Karahan, C. Bhat, K. Sengupta and U. K. Khankhoje, "Tandem Neural Network Based Design of Multiband Antennas," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 71, no. 8, pp. 6308-6317, Aug. 2023, doi: 10.1109/TAP.2023.3276524.
- [5] Y. He, J. Huang, W. Li, L. Zhang, S. -W. Wong and Z. N. Chen, "Hybrid Method of Artificial Neural Network and Simulated Annealing Algorithm for Optimizing Wideband Patch Antennas," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 72, no. 1, pp. 944-949, Jan. 2024, doi: 10.1109/TAP.2023.3331249.
- [6] Y. Su et al., "Time-domain Scattering Parameters Based Neural Network Inverse Model for Antenna Designs," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, doi: 10.1109/LAWP.2024.3375303.
- [7] M. R. Khan, C. L. Zekios, S. Bhardwaj and S. V. Georgakopoulos, "A Deep Learning Convolutional Neural Network for Antenna Near-Field Prediction and Surrogate Modeling," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 39737-39747, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3377219.
- [8] Z. Ž. Stanković, D. I. Oléan, N. S. Dončov and B. M. Kolundžija, "Consensus Deep Neural Networks for Antenna Design and Optimization," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 7, pp. 5015-5023, July 2022, doi: 10.1109/TAP.2021.3138220.
- [9] N. Nourshamsi, P. U. Rodríguez, A. H. Jafari and C. F. Bunting, "Estimating Mean of Maximum Fields Inside Reverberation Chambers Using Deep Neural Networks," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 62, no. 6, pp. 2342-2348, Dec. 2020, doi: 10.1109/TEMPC.2020.2975131.
- [10] D. Lho et al., "Channel Characteristic-Based Deep Neural Network Models for Accurate Eye Diagram Estimation in High Bandwidth Memory (HBM) Silicon Interposer," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 64, no. 1, pp. 196-208, Feb. 2022, doi: 10.1109/TEMPC.2021.3081713.

- [11] R. Choupanzadeh and A. Zadehgo, "A Deep Neural Network Modeling Methodology for Efficient EMC Assessment of Shielding Enclosures Using MECA-Generated RCS Training Data," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 65, no. 6, pp. 1782-1792, Dec. 2023, doi: 10.1109/TEMPC.2023.3316916.
- [12] P. De Meulemeester, B. Scheers and G. A. E. Vandenbosch, "A Quantitative Approach to Eavesdrop Video Display Systems Exploiting Multiple Electromagnetic Leakage Channels," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 62, no. 3, pp. 663-672, June 2020, doi: 10.1109/TEMPC.2019.2923026.
- [13] Y. Hayashi, N. Homma, Y. Toriumi, K. Takaya and T. Aoki, "Remote Visualization of Screen Images Using a Pseudo-Antenna That Blends Into the Mobile Environment," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 59, no. 1, pp. 24-33, Feb. 2017, doi: 10.1109/TEMPC.2016.2594237.
- [14] P. de Meulemeester, B. Scheers and G. A. E. Vandenbosch, "Eavesdropping a (Ultra-)High-Definition Video Display from an 80 Meter Distance Under Realistic Circumstances," *2020 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI)*, Reno, NV, USA, 2020, pp. 517-522, doi: 10.1109/EMCSI38923.2020.9191457.
- [15] T. Kitazawa, K. Arai, Y. Kim, D. Fujimoto and Y. Hayashi, "A Novel Remote Visualization of Screen Images Against High-Resolution Display With Divided Screens Focusing on the Difference of Transfer Function of Multiple Emanations," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 64, no. 6, pp. 1941-1948, Dec. 2022, doi: 10.1109/TEMPC.2022.3204357.

3. Полазне хипотезе

- Применом обучених модела машинског учења могу се израчунати електромагнетски одзиви антена до високе тачности коришћењем значајно мањих рачунарских ресурса у односу на класичне приступе нумеричке електромагнетике.
- Одговарајућим избором скупова података за тренинг, параметара модела машинског учења и алгорита за оптимизацију, могу се брзо и ефикасно обучити модели који значајно убрзавају и рачунски олакшавају дизајн и оптимизације антена.
- Обучене неуралне мреже могу са великом поузданошћу одредити тип и стање (укључен или искључен) монитора рачунара на основу измереног електромагнетског поља у околини монитора.
- Анализом обучених неуралних мрежа, може се одредити значај фреквенцијских подопсега за одређивање типа монитора, а елиминацијом мање значајних опсега, може се значајно убрзати тренинг неуралних мрежа као и мерење поља.

4. Научне методе истраживања

- Прикупљање и анализа постојећих знања из монографија и научних радова који се баве применом машинског учења и вештачке интелигенције у електромагнетици.
- Анализа и систематизација прикупљених знања, сагледавање проблема и постављање хипотеза.
- Генерисање скупова података за тренинг коришћењем нумеричких симулација и мерењима.
- За проверу хипотеза биће коришћени нумерички и лабораторијски експерименти.
- Компаративна анализа резултата тренинга бројних модела машинског учења и дефинисање општих смерница за примену машинског учења за пројектовање антена.
- Прорачун значаја фреквенцијских опсега за одређивање типа монитора анализом резултата тренинга неуралних мрежа.

- Експериментална верификација одређених значајних фреквенцијских опсега поређењем са резултатима мерења.

5. Очекивани научни допринос

- Креирање скупова података добијених електромагнетском анализом различитих типова антена који су бар за ред величине већи од постојећих у јавно доступној литератури.
- Компаративна анализа различитих приступа (избор скупова за обучавање, модела и алгорита за оптимизацију) примене машинског учења за одређивање електромагнетских одзива антена.
- Дефинисање општих смерница за примену машинског учења за пројектовање антена.
- Креирање великих скупова података добијених мерењем електромагнетског поља у околини различитих монитора.
- Анализа тачности резултата добијених неуралним мрежама тренираним за препознавање типа и стања монитора на основу израченог поља.
- Развој аутоматске методе за одређивање значајних фреквенцијских подопсега за одређивање типа и стања монитора.
- Експериментална верификација одређених значајних фреквенцијских опсега поређењем са резултатима мерења у анехоичној соби.

6. План истраживања и структура рада

- Генерисање скупова података за обуку неуралних мрежа коришћењем нумеричких електромагнетских анализа.
- Обучавање модела машинског учења за одређивање електромагнетских одзива антена.
- Детаљна анализа резултата обуке коришћених модела машинског учења и дефинисање општих смерница за примену машинског учења за пројектовање антена.
- Мерења електромагнетског поља монитора у присуству реалног шума и креирање скупова података за обуку неуралних мрежа обрадом резултата мерења.
- Тренинг неуралних мрежа за одређивање типа и стања (укључен или искључен) монитора рачунара на основу измереног електромагнетског поља у околини.
- Естимација значаја фреквенцијских подопсега за одређивање типа монитора на основу анализа више неуралних мрежа које су трениране за овај проблем.
- Експериментална провера одређених значајних фреквенцијских подопсега поређењем са резултатима мерења у анехоичној соби.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Дарка Нинковића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија закључује следеће.

1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за израду докторске дисертације.

2. Предложена тема **„Примене машинског учења у електромагнетици“** (енглески: *Machine learning in electromagnetics*) је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи изградом ове дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос. Тема припада ужој научној области Електромагнетика, антене и микроталаси. Комисија сматра да је потребно променити наслов теме у **„Примена машинског учења за анализу и синтезу одзива електромагнетских система“**.

Докторска дисертације ће бити написана на српском језику.

На основу претходно изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Дарку Нинковићу одобри израду докторске дисертације под насловом **„Примена машинског учења за анализу и синтезу одзива електромагнетских система“** (енглески: *Machine learning for analysis and synthesis of responses of electromagnetic systems*), а за ментора предлаже др Драгана Олћана, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У Београду 25.12.2024. године.

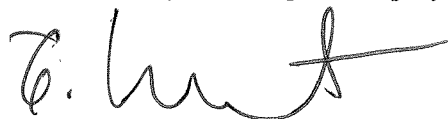
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Марија Стевановић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Небојша Дончов, редовни професор
Универзитет у Нишу – Електронски факултет



др Бошко Николић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет