

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Небојше Војновића**

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду, бр. 841 од 11.06.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Небојше Војновића** под насловом

### **„ПРИМЕНА БАЗИСНИХ ФУНКЦИЈА ВИШЕГ РЕДА ПРИ ПРОЦЕНИ ОБЛИКА МЕТАЛНИХ И ДИЕЛЕКТРИЧНИХ ОБЈЕКТА“**

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

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је пријавио тему за израду докторске дисертације 23.11.2017. године.

Комисија за студије трећег степена је разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата, 28.11.2017. године. Позитивна одлука је упућена Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће је 13.12.2017. године, донело је одлуку (Одлука бр. 5072/11-1) о именовању Комисије за оцену теме и кандидата, у саставу:

1. др Бранко Колунџија, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Мирослав Лутовац, научни саветник, Висока школа електротехнике и рачунарства у Београду,
3. др Александар Ракић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

За ментора докторске дисертације предложена је др Марија Стевановић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Усмена одбрана теме кандидата Небојше Војновића је одржана 27.12.2017. године на Електротехничком факултету, уз присуство свих именованих чланова комисије и ментора. На основу одбране сачињен је Извештај Комисије о подобности теме и кандидата.

На седници Наставно-научног већа одржаној 13.02.2018. године усвојен је Извештај Комисије о подобности теме и кандидата и исти упућен Већу техничких наука Универзитета у Београду на усвајање (Одлука бр. 5072/11-2).

На седници одржаној 26.02.2018. године, Веће техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом „Примена базисних функција вишег реда при процени облика металних и диелектричних објеката“ (Одлука бр. 61206-851/2-18).

Кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену 30.05.2019. године.

Комисија за студије трећег степена потврдила је 04.06.2019. године испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Факултета је на седници одржаној 21.06.2019. године именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације Небојше Војновића (Одлука бр. 5072/11-3) у саставу:

1. др Марија Стевановић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Бранко Колунџија, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
3. др Небојша Дончов, редовни професор, Електронски факултет Универзитета у Нишу,
4. др Антоније Ђорђевић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
5. др Александар Ракић, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

На основу одлуке Наставно-научног већа бр. 545/2 од 13.03.2012. године, Студијски програм студент је започео у пролећном семестру школске 2011/2012, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија за два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Небојше Војновића под насловом „Примена базисних функција вишег реда при процени облика металних и диелектричних објеката“ припада научној области Техничке науке – Електротехника, а ужа научна област теме је Електромагнетика,

антене и микроталаси за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан.

Дисертација је урађена под менторством др Марије Стевановић, ванредног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду, која је квалификована за менторство овог доктората, што је потврђено њеним релевантним радовима који су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Небојша Војновић рођен је 15.07.1983. у Београду, где је завршио основну школу и гимназију “Свети Сава”. Електротехнички факултет уписао је 2002. године, а 29.10.2008. године дипломирао је на Одсеку за електронику, телекомуникације и аутоматику, Смеру за телекомуникације. Факултет је завршио са просечном оценом 8,10 и са оценом 10 успешно одбранио дипломски рад на тему “Анализа и синтеза двоструких антенских низова у микрострип технологији”.

У периоду од 2011. до 2012. године био је запослен у “ИМТЕЛ комуникације а.д.” на позицији истраживача-приправника, на пословима научно-истраживачког типа у области антена и микроталасне технике. Претежно се бавио моделовањем и симулацијом електромагнетских структура коришћењем различитих софтверских алата. Поред неколико комерцијалних пројеката, учествовао је и на пројектима Министарства за просвету, науку и технолошки развој: TR-32052-2 (Истраживање и развој решења за побољшање перформанси бежичних комуникационих система у микроталасном и милиметарском опсегу фреквенција) и III-44009-5 (Развој дигиталних технологија и умрежених сервиса у системима са уграђеним електронским компонентама).

У периоду од 2012. до 2017. године био је запослен у Институту за физику, Универзитет у Београду, на позицији истраживача-сарадника, где се претежно бавио моделовањем микроталасних склопова и уређаја еквивалентним електричним шемама, као и применом метаматеријала и холографских антена у микроталасној и антенској техници. У овом периоду учествовао је на пројектима Министарства за просвету, науку и технолошки развој TR-32024 (Реконфигурабилне, мултибанд и скениране антене на бази метаматеријала за бежичне комуникационе системе и сензоре) и PRI-AIBSE-2011-1119 (*Reconfigurable, multiband devices and antennas based on the innovative concept of metamaterials*).

Од 2017. године запослен је на Електротехничком Факултету, Универзитет у Београду, на позицији истраживача-сарадника у области електромагнетике, антена и микроталаса. Учествоје на пројекту Министарства за просвету, науку и технолошки развој TR-32005 (Алгоритми и софтвер за симулације у фреквенцијском домену RF подсистема и електромагнетских сензора у ICT).

Објавио је 18 радова на страним и домаћим конференцијама и пет радова у страним и домаћим часописима. Такође, објавио је и пет техничких решења. Служи се енглеским језиком.

Од 2015. године ради као рецензент у еминентном часопису *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, од 2016. у домаћем часопису *Microwave Review* (Микроталасна Ревизија), а од 2017. и за потребе међународне конференције *TELFOR*. Већ дуго година члан је *IEEE* удружења.

На конференцији ЕТРАН 2015 освојио је награду из области Микроталасне технике за најбољи рад под насловом “Независно померање резонанси у правоугаоном ENZ таласоводу”. Године 2016. добио је награду “проф. др Илија Стојановић” за најбољи стручни рад објављен у реномираном међународном часопису током 2015. и 2016. године за рад под насловом “*Modeling of non-resonant longitudinal and inclined slots for resonance tuning in ENZ waveguide structures*”.

На седници Научног већа Института за физику одржаној 10.11.2015. године изабран је у звање истраживач-сарадник.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на 134 стране текста и садржи 68 слика, 7 табела и 134 библиографских референци. Такође, дисертација садржи насловну страну на српском и енглеском језику, страну са подацима о ментору и члановима комисије, кратак резиме на српском и енглеском језику, садржај и седам поглавља, преглед коришћене литературе, биографију аутора и прилог. Поглавља дисертације су насловљена на следећи начин: 1. Увод, 2. Инверзни проблеми у електромагнетици, 3. Развој по мултиполима, 4. Нумерички резултати за дводимензионалне проблеме, 5. Концепт оптималног реда мултипола, 6. Нумерички резултати за тродимензионалне проблеме и 7. Закључак. Прилог се састоји од три дела: Прилог 1. Изјава о ауторству, Прилог 2. Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и Прилог 3. Изјава о коришћењу.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу дат је детаљан преглед релевантне литературе из области микроталасног формирања слике. Наведене су предности и ограничења савремених алгоритама који се користе приликом решавања инверзних електромагнетских проблема. Такође, образложена је и мотивација за рад на теми доктората која проистиче из недостатка алгоритама који адекватно реконструишу облик сложених (конкавних) тела.

У другом поглављу изведена је једначина електромагнетског расејања, дефинисан је појам некоректно постављеног проблема и објашњен појам регуларизације као методе за решавање оваквих проблема.

У трећем поглављу аналитички је разматрана техника развоја по мултиполима, односно решења Хелмхолцове једначине за случај дво- и тродимензионалног сценарија. Анализиране су две могуће поларизације упадног електромагнетског таласа, и то трансверзално-магнетска и трансверзално-електрична.

У четвртном поглављу дати су резултати добијени за случај дводимензионалног сценарија (уз засебно разматране обе поларизације). Анализирани су објекти различите комплексности и састава, уз присуство шума. Такође, посебан осврт дат је на дефинисање неопходног броја антена у примопредајном низу, синтезу конвексне анвелопе, као и на редове мултипола које је потребно укључити у коначну реконструкцију.

Пето поглавље бави се концептом оптималног реда мултипола, односно могућношћу коришћења само једног реда мултипола уместо суперпозиције свих релевантних редова. Показано је да оптималан ред мултипола зависи како од поларизације, тако и од облика и комплексности разматраног објекта.

У шестом поглављу дати су резултати у случају тродимензионалног сценарија. И у овом случају анализирани су две поларизације, као и реконструкција металних и диелектричних објеката.

Закључна разматрања и коначна анализа истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације изложени су у завршном, седмом поглављу.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

У многим применама, као што су медицинска дијагностика, подземна истраживања, и неинвазивно испитивање материјала, потребно је познавање објеката који су недоступни директном мерењу. Параметри од интереса могу бити локација, величина, облик, а такође и електрична својства, као што су пермитивност и пермеабилност материјала од кога је објекат направљен. Један од начина за добијање потребних података о недоступном објекту је примена микроталасног зрачења. Поред инхерентне неинвазивности, једна од најзначајнијих предности микроталасног формирања слике је коришћење нејонизујућег зрачења, као и приступачност компоненти за производњу одговарајућих уређаја. Микроталасно формирање слике спада у класу инверзних проблема, који су инхерентно некоректно постављени, због чега је њихово решавање тешко.

Једна од потешкоћа у реконструкцији облика непознатих објеката применом микроталаса је разликовање конвексних и неконвексних тела. Већина метода, уместо стварног облика, заправо реконструише конвексну анVELOПУ тела. Међутим, у многим ситуацијама информација о облику је врло важна. На пример, у медицинској дијагностици је познато да су малигни тумори неправилног облика, док су бенигни најчешће обли.

У овом раду, побољшање у реконструкцији сложених облика остварено је применом базисних функција вишег реда које су изведене из мултиполног развоја електромагнетског поља. У литератури се за апроксимацију расејаног поља, у линеарним инверзним техникама, обично користе једноставне базисне функције. Иако једноставне за примену, оне не пружају довољно информација које би омогућиле реконструкцију финих детаља као што су неконвексни делови тела.

Предмет овог истраживања је анализа електромагнетског поља расејаног од објеката различитих облика и састава, у условима побуде електромагнетским таласима различите поларизације, уз присуство шума различитих нивоа. Циљ овог истраживања је био развој нове квалитативне методе, базиране на аналитичким изразима, која ће што верније да изврши реконструкцију облика разматраних објеката.

У литератури постоје различити алгоритми за реконструкцију облика дводимензионалних и тродимензионалних објеката на основу података добијених помоћу антенског низа. Међутим, постојећи алгоритми имају потешкоћа у реконструкцији облика неконвексних

тела. Значај овог истраживања јесте у развоју новог алгоритма који ће имати већу тачност у односу на стандардне квантитативне методе реконструкције и који ће радити и при малим односима сигнал-шум.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у дисертацији пажљиво је одабрана и садржи најважније радове који покривају посматрану научну област. Велики број радова новијег је датума, што указује на актуелност одабране проблематике. На основу обима коришћене литературе може се закључити да је кандидат имао темељан увид у досадашње доприносе у овој и блиским научним областима. Наведено је укупно 134 библиографских референци. Листа укључује и три рада које је кандидат објавио током израде докторске дисертације, а који су директно проистекли из рада на дисертацији.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се у следећем:

- проучавање доступне литературе из области дисертације ради сагледавања актуелног стања науке и технике у ужој посматраној области,
- упоредна анализа линеарних техника инверзног расејања са освртом тачност, отпорност на шум и време извршавања,
- упоредна анализа различитих техника регуларизације са освртом на жељену резолуцију и предзнање о испитиваним објектима,
- извођење аналитичких израза за мерене сигнале на приступима антене који се заснивају на мултиполном развоју,
- развој новог линеарног инверзног алгоритма, заснованог на техници обраде ретких сигнала, који ради у дводимензионалном простору,
- развој новог линеарног инверзног алгоритма, заснованог на техници обраде ретких сигнала, који ради у тродимензионалном простору,
- развој алгоритма за просторно филтрирање којим се побољшавају перформансе алгоритма,
- тестирање алгоритма на објектима различите геометријске сложености и састава,
- испитивање постојања оптималног реда мултипола у зависности од облика објекта,
- развој методе за процену тачности реконструкције алгоритма у условима различитог нивоа шума.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Нова методологија, захваљујући примени базисних функција вишег реда, омогућава верну реконструкцију конкавних објеката и тиме проширује применљивост микроталасног формирања слике. Једна од потенцијалних примена ове методе је у медицинској дијагностици, као што је класификација тумора или можданог удара. Додатна предност микроталасних система за добијање слике је и портабилност уређаја, као и ниска цена у односу на остале модалитете попут магнетске резонансе.

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

На основу прегледане дисертације Комисија процењује да је кандидат Небојша Војновић показао способност за самостални научни рад, почевши од систематичног прегледа постојеће научне литературе, преко уочавања недостатака у до сада предлаганим алгоритмима, до осмишљавања нове методе, применљиве у низу различитих сценарија, која је способна да као

результат пружи реконструкцију високе тачности. Такође, уочене су и могућности за будућа истраживања. У прилог поменутом је и чињеница да је кандидат објавио неколико научних радова који су проистекли из дисертације.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси које је кандидат Небојша Војновић остварио кроз истраживања описана у овој докторској дисертацији су следећи:

- развијена је нова метода, заснована на мултиполном развоју електромагнетског поља и примени технике обраде ретких сигнала, намењена за одређивање броја, локације и облика објеката сложеног попречног пресека,
- развијене су различите варијанте методе у зависности од поларизације антенског низа, као и геометрије проблема (дводимензионални и тродимензионални случај),
- развијен је алгоритам за просторно филтрирање, чиме је унапређено понашање алгоритма,
- показано је да нова метода даје веома добре реконструкције када се анализирају објекти конкавног облика попречног пресека, што није био случај са стандардним методама,
- показано је постојање оптималних мултиполних редова који зависе од облика и електричне величине испитиваних објеката,
- демонстрирано је на бројним примерима да је метода стабилна и у случају смањеног односа сигнал-шум.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених хипотеза, циљева истраживања и остварених резултата констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва релевантна питања за решавање проблема дефинисаног предметом истраживања. Систематичан преглед постојеће научне литературе, развој новог алгоритма за локализацију и одређивање облика дводимензионалних и тродимензионалних објеката произвољног састава, осмишљавање процедура за одређивање релевантних редова мултипола, као и поређење добијених резултата са оним добијеним до сада објављиваним методама, представљају значајан научни допринос у области микроталасног формирања слике, што је потврђено објављивањем резултата истраживања у врхунском међународном часопису, као и на признатим конференцијама од међународног значаја.

### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је објавио више радова у вези са темом докторске дисертације, чији су резултати проистекли из дисертације или су тесно везани са истраживањем спроведеним у оквиру ње:

#### Категорија M21:

1. N. Vojnovic, M. Nikolic Stevanovic, L. Crocco, A. R. Djordjevic: "High-Order Sparse Shape Imaging of PEC and Dielectric Targets Using TE Polarized Fields", *IEEE Transactions on*

Категорија M33:

1. M. Nikolic Stevanovic, **N. Vojnovic**, A. Djordjevic, D. Olcan, A. Nehorai: Microwave Imaging of Dielectric Targets Using Higher-Order Sparse Processing, - *2017 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2017, San Diego, USA, DOI 10.1109/APUSNCURSINRSM.2017.8072258, ISSN: 1947-1491.
2. **N. Vojnovic**, M. Stevanovic, A. Djordjevic, L. Crocco: Optimal Multipole Orders in TE Imaging of PEC Scatterers, - *2018 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications*, 2018, Vasteras, Sweden, DOI 10.1109/CAMA.2018.8530604, ISBN: 978-1-5386-5796-6.
3. M. Nikolic Stevanovic, **N. Vojnovic**, L. Crocco: A Numerical Study on Optimal Multipole Order for Sparse Microwave Imaging of Star-Shaped Scatterers, - *2019 13th European Conference on Antenna and Propagation*, 2019, Krakow, Poland, ISBN: 978-88-907018-8-7.

Категорија M63:

1. **Н. Војновић**, М. Стевановић: “Детекција присуства и процена диелектричне пермитивности цилиндричних објеката на основу симулираних и мерених резултата,” - *ЕТРАН 2015*, 8-11. јун 2015, Сребрно језеро, Србија.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Небојше Војновића под насловом „Примена базисних функција вишег реда при процени облика металних и диелектричних објеката“ у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све битне елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Остварени научни допринос ове дисертације се огледа у развоју нове процедуре која омогућава да се на основу мерења добијених коришћењем антенског низа, помоћу еквивалентних извора зрачења у виду мултипола, применом технике обраде ретких сигнала, верно одреди непозната позиција и облик металног или диелектричног објекта. При томе, посебна пажња је посвећена одабиру релевантних редова мултипола, као и дизајну мерног система, тј. примопредајног антенског низа. У обзир су узете две поларизације упадног електромагнетског таласа, као и утицај шума на веродостојност реконструкције. У случају објеката са сложеним обликом попречног пресека, добијени су знатно бољи резултати у поређењу са резултатима добијеним методама до сада представљеним у литератури.

Резултате проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације кандидат је објавио у врхунском међународном часопису и презентовао стручној јавности на конференцијама од међународног и националног значаја. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидата, Комисија констатује да дисертација представља оригиналан и савремен научни допринос у области микроталасног формирања слике.

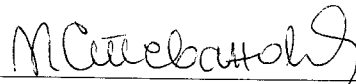


Кандидат Небојша Војновић показао је способност за самостални научни рад, што потврђује и чињеница да је објавио неколико научних радова који су проистекли из дисертације, а у којима се појављује као први аутор. Комисија констатује да је кандидат Небојша Војновић, дипломирани инжењер електротехнике, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

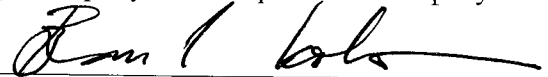
Имајући у виду наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом **„Примена базисних функција вишег реда при процени облика металних и диелектричних објеката“** кандидата Небојше Војновића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 25.08.2019. године.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



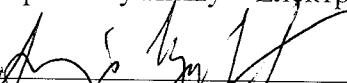
др Марија Стевановић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Бранко Колунџија, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Антоније Борђевић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Александар Ракић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет