

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

| I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ | | |
|--|------------------------|--|
| 1. Датум и орган који је именовео комисију: | | |
| Решење бр. 012-199/52-2019 од 27.05.2021. године, на основу предлога матичне катедре, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, декан факултета именовео је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације. | | |
| 2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> : | | |
| 1. | | |
| др Драган Пејић | ванредни проф. | Електрична мерења, метрологија и биомедицина, 01.10.2018. |
| презиме и име | звање | ужа научна област и датум избора |
| Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду | | председник комисије |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
| 2. | | |
| др Митар Симић | доцент | Општа електротехника, 29.03.2018. |
| презиме и име | звање | ужа научна област и датум избора |
| Електротехнички факултет, Универзитет у Бањој Луци | | члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
| 3. | | |
| др Саша Ћирковић | научни сарадник | Физика, 28.02.2018. |
| презиме и име | звање | ужа научна област и датум избора |
| Институт за физику, Београд | | члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |
| 4. | | |
| др Каролина Касаш - Лажетић | ванредни проф. | Теоријска електротехника, 13.06.2021. |
| презиме и име | звање | ужа научна област и датум избора |
| Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду | | члан |
| установа у којој је запослен-а | | функција у комисији |

| | | | |
|----|---|--------------------------------------|--|
| 5. | др Марјан Урекар презиме и име | доцент звање | Електрична мерења, метрологија и биомедицина, 14.09.2018. ужа научна област и датум избора |
| | Факултет техничких наука, Универзитет у Новом саду установа у којој је запослен-а | члан функција у комисији | |
| 6. | др Платон Совиљ презиме и име | ванредни проф. звање | Електрична мерења, метрологија и биомедицина, 13.09.2016. ужа научна област и датум избора |
| | Факултет техничких наука, Универзитет у Новом саду установа у којој је запослен-а | ментор функција у комисији | |

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

- Име, име једног родитеља, презиме:
Славица, Славко, Гајић
- Датум рођења, општина, држава:
7. 10. 1986., Мркоњић Град, СФРЈ
- Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:
Електротехнички факултет, Универзитет у Бањој Луци, Електроника и телекомуникације, Магистар електронике и телекомуникација
- Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:
2012. година, Енергетика, електроника и телекомуникације.

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Пројектовање, метролошка анализа и оптимизација соленоида у сврху хомогенизације електромагнетског поља за биомедицинске експерименте

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикана и сл.

Докторска дисертација под насловом "Пројектовање, метролошка анализа и оптимизација соленоида у сврху хомогенизације електромагнетског поља за биомедицинске експерименте" кандидата Славице Гајић изложена је у 6 поглавља на 102 стране, а коришћена литература, која има 135 навода датих на 12 страна, риказана је после шестог поглавља. Докторска дисертација садржи 5 табела и 40 слика, интегрисане у основни текст, те 3 прилога.

Главном делу рада претходи документација, која садржи:

- Насловну страницу дисертације;
- Обавезну општу документацију на српском језику, са изводом и кључним речима;
- Обавезну општу документацију на енглеском језику, са изводом и кључним речима;
- Сажетак рада са кључним речима на српском језику;

- Сажетак рада са кључним речима на енглеском језику;
- Захвалницу на српском језику;
- Захвалницу на енглеском језику;
- Попис коришћених скраћеница;
- Списак слика;
- Списак табела;
- Садржај рада.

Након главног дела рада, дисертација се завршава списком литературе и прилозима.

Структура главног дела рада је следећа:

1. Увод (стр. 1-7)

- 1.1. Проблем истраживања
- 1.2. Предмет истраживања
- 1.3. Циљеви истраживања
- 1.4. Научни доприноси
- 1.5. Организација дисертације

2. Стање у области истраживања (стр. 8-28)

- 2.1. Електромагнетски спектар
 - 2.1.1. Јонизујуће зрачење
 - 2.1.2. Нејонизујуће зрачење
- 2.2. Електрично и магнетско поље унутар тијела
 - 2.2.1. Процјена изложености
 - 2.2.2. Модели за експерименталне сврхе
 - 2.2.3. Стохастички ефекти, прагови и односи доза и реакције
- 2.3. Утицај ЕЛФ поља на ћелије и тиква
 - 2.3.1. Нервни систем
 - 2.3.2. Неуроендокрини систем
 - 2.3.3. Неуродегенеративни поремећаји
 - 2.3.4. Кардиоваскуларни поремећаји
 - 2.3.5. Имунолошки и хематолошки систем
 - 2.3.6. Репродукција и развој
 - 2.3.7. Карцином
 - 2.3.8. Процјена здравственог ризика и заштитне мјере
- 2.4. Актуелна истраживања
 - 2.4.1. Познате поставке за генерисање ЕЛФ ЕМ поља и њихова примјена у лијечењу обољења
 - 2.4.2. Резиме

3. Теоријски модели и методе (стр. 29-47)

- 3.1. Временски константно магнетско поље
 - 3.1.1. Струјни елемент
 - 3.1.2. Био-Саваров закон
 - 3.1.3. Магнетски флукс
- 3.2. Вектор магнетске индукције кружне контуре
 - 3.2.1. Магнетско поље на оси кружне контуре
 - 3.2.2. Магнетско поље у произвољној тачки простора
- 3.3. Хомогена магнетска поља
 - 3.3.1. Вектор магнетске индукције Хелмхолцовог система намотаја
 - 3.3.2. Вектор магнетске индукције Меритовог система намотаја
 - 3.3.3. Вектор магнетске индукције Максвеловог система намотаја
 - 3.3.4. Вектор магнетске индукције Ли-Витинговог система намотаја
 - 3.3.5. Вектор магнетске индукције Алдред-Сколаровог система намотаја
 - 3.3.6. Вектор магнетске индукције Рубенсовог система намотаја
 - 3.3.7. Систем тетра завојница
- 3.4. Градијентна магнетска поља

4. Пројектовање и оптимизација новог модела соленоида (стр. 48-56)

- 4.1. Вектор магнетске индукције соленоида
 - 4.1.1. Магнетско поље на оси соленоида
 - 4.1.2. Магнетско поље у произвољној тачки запремине соленоида
- 4.2. Хомогенизација магнетског поља соленоида
- 4.3. Резиме

5. Метролошка анализа новог модела (стр. 57-81)

- 5.1. Нумеричка анализа новог модела
 - 5.1.1. Утицај апроксимације полинома n -тог степена развоја елиптичких интеграла прве и друге врсте
 - 5.1.2. Увођење релативних односа димензија соленоида
 - 5.1.3. Одабир критеријума хомогенизације – ΔS или Δz
 - 5.1.4. Омски губици
 - 5.1.5. Резиме
- 5.2. Симулациона анализа новог модела
 - 5.2.1. Поређење постигнутих перформанси пројектованог система са актуелним системима
- 5.3. Реализација прототипа новог модела
 - 5.2.1. Резиме

6. Закључак (стр. 82-83)

Литература (стр. 84-95)

Прилог (стр. 96-102)

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Предмет истраживања ове докторске дисертације је анализа и оптимизација основне конфигурације соленоида у сврху пројектовања новог решења које омогућава генерисања што хомогенијег електромагнетског поља унутар његове запремине. Овим се обезбеђује да се исти може примењивати у биомедицинским експериментима. У раду се утврђује најбоље теоријско решење, испитују његове карактеристике, сложеност, те врши прилагођење пројектованог модела у сврху добијања оптималног решења са становишта постигнутих циљева и сложености. Метролошка анализа постигнутих перформанси се врши аналитички, симулационо, те се на крају резултати верификују и реализацијом прототипа пројектованог система. Наслов докторске дисертације је јасно формулисан и сажето дефинише тематику и садржај дисертације.

У **уводном поглављу** описан је предмет и проблем истраживања докторске дисертације. Дефинисани су конкретни циљеви истраживања и хипотезе које су представљале оквир дисертације.

У **другом поглављу** (Стање у области истраживања) детаљно је описан електромагнетски спектар и анализирано је електрично и магнетско поље унутар тела. Такође, дата је процена изложености тела ЕМ зрачењу, те су описани стохастички ефекти, прагови и односи дозе зрачења и реакције тела на побуду. Потом, анализиран је утицај електромагнетских поља веома ниских фреквенција на ћелије и ткива, са његовом применом у лечењу различитих оболења. Посебно су анализирани научни ставови и релевантни резултати експерименталних и епидемиолошких истраживања, те је указано на огромну потребу да се врше нова, додатна, *in vitro* и *in vivo* експериментална истраживања о примени електромагнетских поља веома ниских фреквенција у биомедицинске сврхе. Извршена је процена здравственог ризика и уведене су заштитне мере. На крају овог поглавља дат је детаљан преглед стања у области истраживања, тј. примене електромагнетског поља сталног магнета у биомедицинским експериментима.

Треће поглавље (Теоријски модели и методе) даје теоријску основу која ће бити полазна тачка у даљим прорачунима и симулацијама кроз спроведено истраживање. Иста се односи на дефинисање Био-Саваровог закона, те његове примене за рачунање вектора магнетске индукције кружне контуре, како на њеној оси, тако и у било којој тачки простора јер се у оквиру биомедицинских експеримената захтева хомогенизација магнетског поља унутар целе

експерименталне запремине. Такође, у овом поглављу дат је детаљан преглед система који се у литератури користе за генерисање хомогених магнетских поља (Хелмхолцов, Меритов, Максвелов, Ли-Витингов, Алдред-Сколаров и Рубенсов систем намотаја, те систем тетра завојница). С обзиром да и градијентна магнетска поља налазе своју примену у медицини у оквиру осликавања забованом на магнетској резонанци, наведени су и неки од система за генерисање магнетског поља градијентног типа.

У **четвртном поглављу** (Пројектовање и оптимизација новог модела соленоида) описано је магнетско поље танког соленоида, те соленоида чија се дебљина не може занемарити, у свим тачкама експерименталне запремине. Уведени су апроксимативни изрази применом елиптичких интеграла прве и друге врсте који ће се користити у даљим прорачунима. Такође, у овом поглављу је дата основна хипотеза овог истраживања, тј. показано је да се пад интензитета магнетског поља при крајевима соленоида може поправити додатним намотавањем на поменути местима, чиме се постиже мало одступање интензитета вектора магнетске индукције како на оси тако и у целој запремини соленоида. Како је теоријски најадекватније (идеално) решење тешко хардверски реализовати, у овом поглављу се дају три компромисна, хардверски једноставнија предлога за пројектовање соленоида.

Петом поглављу (Метролошка анализа новог модела) даје метролошку анализу претходно предложене три модификације основног соленоида која се огледа у анализи постигнутих резултата у погледу ефикасности хомогенизације електромагнетског поља у експерименталној запремини. На основу истих долази се до одабира само једног, најефикаснијег решења, које поред успешне хомогенизације магнетског поља представља и решење за најједноставнију хардверску реализацију. Како се прво сви прорачуни врше у програмском пакету МАТЛАБ, анализиран је и утицај коришћеног математичког апарата на прецизност добијених резултата, тј. дат је детаљан опис утицаја апроксимације полинома n -тог реда елиптичких интеграла прве и друге врсте на прецизност добијеног решења. Такође, у овом поглављу уведени су и релативни односи димензија пројектованог соленоида како би се исти касније могао лако применити на различите биомедицинске захтеве у погледу потребне величине експерименталне запремине и интензитета вектора магнетске индукције. Анализирани су коришћени критеријуми за хомогенизацију, те је дат осврт и на инжењерске захтеве који подразумевају што мање омске губитке. У оквиру овог поглавља су применом дефинисаних оптимизационих функција обједињени биомедицински и инжењерски захтеви, чиме се долази до оптималног решења са становишта постигнутих перформанси. Даље, у петом поглављу је дата и симулациона анализа пројектованог соленоида у оквиру које се, ради испуњавања каснијих техничких захтева приликом хардверске реализације соленоида, соленоид реализује из два засебна сегмента. Овим решењем је обезбеђено одвојено напајање, које као последицу има још један бенефит, а то је могућост асиметричног напајања. Тиме се пројектовани соленоид може успешно користити како за генерисање хомогеног магнетског поља, тако и за реализацију градијентних магнетских поља у експерименталној запремини. Такође, ово поглавље даје поређење пројектованог решења са актуелним решењима из литературе, чиме се показује његова супериорност у односу на већину инсталација са становишта постигнутих перформанси. Коначно, кроз хардверску реализацију прототипа пројектованог соленоида, потврђује се на почетку поствљена хипотеза што даје квалитетан основ за даљу реализацију оваквих система за хомогенизацију магнетског поља.

У **шестом поглављу** (Закључак) су истакнуте предности коришћења соленоида у сврху генерисања хомогеног магнетског поља у биомедицинским експериментима, као и његова примена за генерисање градијентних електромагнетских поља. Ово поглавље даје резиме целе дисертације, те указује на главне доприносе спроведеног научно – истраживачког рада. На крају, дате су смернице будућег рада.

Попис **литературе**, по редоследу навођења, дат је после шестог поглавља. Литература је приказана прегледно и цитирана на адекватан начин. Она обухвата најзначајније радове из области, који су релевантни за испитивану тематику.

На самом крају докторске дисертације издвојени су **прилози** са главним сегментима кода, те је дата

кратка **библиографија** и **биографија** кандидаткиње, мр Славице Гајић .

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује све делове докторске дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилма докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

Категорија M21a:

J. L. Ristić-Djurović, **S. S. Gajić**, A. Ž. Ilić, N. Romčević, D. M. Djordjevich, S. R. De Luka, A. M. Trbovich, V. Spasić Jokić, S. Ćirković, „Design and Optimization of electromagnets for Biomedical Experiments With Static Magnetic and ELF Electromagnetic Fields,“ IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol 65, No. 6, June 2018.

Категорија M33:

S. Gajić, S. Ćirković, J. L. Ristić-Đurović, D. Đorđević, V. Spasić-Jokić, „Exposure system with homogeneous static and ELF magnetic field in experimental volume,“ RAD2016, Niš, maj 2016.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Наведени циљеви докторске дисертације су постигнути. Као резултат исте, пројектован је соленоид који обезбеђује хомогенизацију електромагнетског поља како на оси соленоида, тако и у целој експерименталној запремини, чиме је задовољен главни услов за његову примену у будућим биомедицинским експериментима. У току спроведеног истраживања извршено је пројектовање соленоида, те се применом метролошке анализе извршила оптимизација решења. Поступак је изведен етапно, а подразумевао је:

- систематизацију знања у области примене електромагнетског поља веома ниских фреквенција у биомедицинске сврхе, са акцентом на примену различитих система који у основи користе соленоид за генерисање хомогеног поља;
- наменско пројектовање новог/их дизајна соленоида који обезбеђује целовитост решења, без потребе за додатним сегментима конфигурације и његовог усложњавања;
- нумеричку анализу предложених решења, те одабир оптималног решења са становишта постигнутих перформанси, сложености хардверске реализације, те усвојених метролошких захтева;
- анализу постигнуте прецизности приликом нумеричких прорачуна у зависности од извршених апроксимација полинома n -тог реда која је корисна за будућа истраживања;
- увођење релативних димензија пројектованог соленоида у сврху могућности његове примене у биомедицинским експериментима чији захтеви у погледу димензија експерименталне запремине и јачине поља нису исти;
- оптимизацију решења како би се ускладили биомедицински захтеви за великом експерименталном запремином и јачином поља, те инжењерски, који се односе на што мање губитке у систему;

- симулациону анализу решења у програму *Ansys Maxwell* са припремом истог за каснију хардверску реализацију и што једноставнију примену у биомедицинским експериментима. Ово подразумева раздвајање соленоида на два сегмента, а додатни беневит решења је могућност асиметричног напајања, чиме се, поред хомогеног, може генерисати и градијентно магнетско поље које такође има велику примену у медицини;
- експерименталну проверу решења проблема у оквиру хардверске реализације прототипа пројектованог соленоида;
- дискусију појединих сегмената истраживања, закључак, те предлог за даља истраживања у области.

Имајући у виду добијене резултате истраживања, спроведену метролошку анализу симулационог модела и хардверски реализованог прототипа, предложени пројектовани соленоид се може ефикасно примењивати у биомедицинским експериментима са различитим захтевима. Како је код истог омогућено асиметрично напајање, његова примена је могућа како за генерисање хомогеног, тако и за генерисање градијентног магнетског поља.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати добијени истраживањем су у тексту докторске дисертације приказани, анализирани и тумачени применом релевантних метода прикупљања, приказивања, обраде и анализе података.

Избор наведених метода и начина њихове примене је, у потпуности прилагођен карактеру проблема који су у дисертацији решавани.

Сви графици су пропраћени адекватним текстуалним описом резултата и одговарајућим коментарима.

Интерпретација резултата је је концизна, дискусије, коментари и закључци дати у раду су логични и произилазе из добијених резултата.

Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Докторска дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем које је наведено у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења истих садржи све битне елементе који се захтевају за радове овакве врсте.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Разматрајући целокупну материју докторске дисертације кандидата мр Славице Гајић, Комисија је закључила да докторска дисертација представља оригиналан научни допринос аутора у теоријском и практичном смислу. Основа ове оцене је у чињеници да резултати овог истраживања омогућавају практичну примену пројектованог решења, који представља оригиналну реализовану идеју за побољшање ефикасности соленоида са становишта хомогенизације магнетског поља, у биомедицинским експериментима, те да се приликом будуће хардверске реализације система решење може прилагодити различитим биомедицинским захтевима у погледу интензитета ЕМ поља и димензија експерименталне запремине.

Према доступној литератури, метод оптимизације приказан у овој дисертацији, до сада није био описан у научној литератури.

Такође, ово истраживање представља добру полазну основу за будуће примене соленоида у биомедицинским експериментима, било да се захтева генерисање хомогеног или градијентног поља унутар експерименталне запремине.

Након анализе докторске дисертације кандидата мр Славице Гајић, Комисија је закључила да дисертација садржи све елементе оригиналног научног рада и да метод описан у овој дисертацији у целости представља оригинални допринос науци.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

У дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на коначан резултат истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

Полазећи од позитивне оцене докторске дисертације у целини, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, да се докторска дисертација под насловом „Пројектовање, метролошка анализа и оптимизација соленида у сврху хомогенизације електромагнетског поља за биомедицинске експерименте“ прихвати и кандидату, мр Славици Гајић одобри јавна одбрана.

У Новом Саду, 16.07.2021. године

др Драган Пејић, ванредни професор

_____, председник

др Митар Симић, доцент

_____, члан

др Саша Ћирковић, научни сарадник

_____, члан

др Каролина Касаш–Лажетић, ванредни професор

_____, члан

др Марјан Урекар, доцент,

_____, члан

др Платон Совиљ, ванредни професор

_____, ментор