

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Бојана Милановића, дипл. инж. електротехнике

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 917/3 од 24.03.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Бојана Милановића, дипл. инж. електротехнике под насловом

„Одређивање карактеристика оптичких филтара са микро-прстенастим резонатором методом коначних елемената“

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је тему под насловом „Одређивање карактеристика оптичких филтара са микро-прстенастим резонатором методом коначних елемената“ пријавио 07.05.2013. Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је 14. 05. 2013. године именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: проф. др Јован Елазар, проф. др Бранко Колунџија и науч. саветник др Бранислав Рађеновић. Извештај Комисије је усвојен на Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду 11. 06. 2013. године, а Веће области техничких наука Универзитета у Београду дало је на то сагласност 08. 07. 2013. године (бој одлуке 61206-3342/2-13).

Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 04. 03. 2015. године, а Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 10. 03. 2015. године именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: ванредни професор др Јован Елазар, редовни професор др Бранко Колунџија, научни саветник др Бранислав Рађеновић (Универзитет у Београду, Институт за Физику), доцент др Јасна Црњански и редовни професор др Дејан Гвоздић.

Кандидат, мр Бојан Милановић, дипл. инж. електротехнике, магистарски рад под називом: „Анализа утицаја електронских дејстава на моноимпулсну радаску главу за самонавођење“, одбранио је 26.10.2005. године на Електротехничком факултету у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада научној области „Електротехничко и рачунарско инжењерство“, а у ужем смислу области „Физичка електроника“, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан.

За ментора је одређен ванредни професор др Јован Елазар, који има одговарајуће компетенције за вођење докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милановић (Чедомира) Бојан, магистар електротехничких наука за област Примењена Електромагнетика и Оптике електроника, рођен је 31. августа 1976. године у Прокупљу, општина Прокупље, Република Србија. Основну школу и гимназију природно-математичког смера, завршио је у Куршумлији са просечном оценом 5,00.

Школовање је наставио 1995 године у Војно-техничкој академији у Београду на Смеру Ваздухопловно-техничке службе, који се у то време водио као Одсек за Ваздухопловну електронику и телекомуникације Електротехничког факултета у Београду. Дипломирао је 2000. године са просечним оценама 8,46 (ВГА) и 8,29 (ЕТФ). Дипломски рад под насловом „Мерење параметара микроталасних компоненти у временском домену“, одбранио је 19. септембра 2000. године са оценом 10 (десет).

Магистарске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, уписао је 2000. године а завршио 2005. године, са просечном оценом 10, чиме је стекао академско звање магистра електротехничких наука за област Примењена Електромагнетика и Оптике електроника. Магистарски рад под називом: „Анализа утицаја електронских дејстава на моноимпулсну радарску главу за самонавођење“, одбранио је 26.10.2005. године.

Магистар Бојан Милановић, дипл. инж. електротехнике, након завршених основних студија, 2000. године је почео да ради у Војно-техничкој академији на командирским дужностима. Од 2003. године, укључен је у процес наставе као асистент на предметима: Микроталасна техника, Електромагнетика, Електротехника 1, Електротехника 2, Ваздухопловни радио уређаји и системи, Радарска техника, Радарске антене. Тренутно ради у Војној академији као сарадник у настави на Катедри војно-електронског инжењерства на Одсеку за електротехнику и електронику.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација садржи насловну страну на српском и енглеском језику, кратак резиме рада на српском и енглеском језику, захвалницу, садржај, листу скраћеница и симбола, листу табела, листу слика, 7 поглавља, списак коришћене литературе, 5 прилога и кратку биографију аутора. Обим дисертације је 130 страна куцаног текста. Дисертација садржи 54 слике и 14 табела. Поглавља су насловљена: 1. Увод; 2. Микро-прстенасти резонатори; 3. Методе које се користе за прорачун микро-прстенастих резонатора; 4. Моделовање микро-прстенастог резонатора – 2D модел; 5. Моделовање микро-прстенастог резонатора – 3D модел; 6. Моделовање микро-прстенастог резонатора – 2,5D модел; 7. Закључак. Пет прилога су: Прилог 1 – Матрични параметри микро-прстенастог резонатора; Прилог 2 – Фано резонанца; Прилог 3 – Лоренцова теорема реципроцитета; Прилог 4 – Савршено прилагођен

слој; Прилог 5 – Осно-симетрични модел. Уз дисертацију су приложене Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије дисертације, Изјава о коришћењу и Списак публикација аутора.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводу је најпре истакнут значај и примењивост обрађене теме, а затим је дат преглед примењених метода и добијених резултата у области којом се дисертација бави, а који су објављени у литератури. Описане су и упоређене полу-аналитичке методе базиране на теорији спрегнутих модова и нумеричке методе коначних разлика и коначних елемената. У уводном поглављу су таксативно набројани проблеми који су истраживани у дисертацији и приказано је како је дисертација организована.

У другом поглављу су објашњене основне конфигурације микро-прстенастих резонатора. Дат је изглед типичних преносних карактеристика и преглед основних параметара који описују микро-прстенасте резонаторе. У овом поглављу су дате теоријске основе простирања електромагнетних таласа у микро-прстенастом резонатору и теоријске основе савршено прилагођеног слоја.

У трећем поглављу је дат приказ општег алгоритма методе коначних елемената као и основе методе спрегнутих модова зависних од времена. У овом поглављу су дати изрази за одређивање преносне карактеристике микро-прстенастих резонатора на основу резонантне фреквенције и фактора добротности прстена.

У четвртном поглављу су из дводимензионалног модела резонатора развијеног у дисертацији одређени полупречник прстена и доминантан мод електромагнетног таласа. Предложена метода за рачунање полупречника прстена је верификован помоћу основно-симетричног модела преузетог из литературе, који има експерименталну верификацију.

У петом поглављу је предложен тродимензионални модел и извршена његова верификација на основу дводимензионалног основно-симетричног модела. На основу тродимензионалног модела је одређено потребно растојање праволинијског и прстенастог светловода за добијање жељеног пропусног опсега филтра. На тродимензионалном моделу су приказани феномени који се јављају код микро-прстенастих резонатора, као што су раздвајање резонантне фреквенције и померање резонантне фреквенције прстена услед присуства праволинијских светловода.

У шестом поглављу је дат осврт на 2,5 димензионални модел микро-прстенастог резонатора. Приказано је добро поклапање резултата добијених из 2,5 димензионалног модела са резултатима дводимензионалних и тродимензионалних модела. Помоћу 2,5 димензионалног модела је добијена преносна карактеристика оптичког филтра који се састоји од више спрегнутих прстенова, као и утицај међусобне спреге прстенова на промену преносне карактеристике оптичког филтра.

У седмом поглављу је дат закључак, сумирани су основни резултати истраживања и дате смернице могућих праваца даљег истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Савременост истраживања из ове дисертације се огледа у томе што она разматра све шири дијапазон примене микро-прстенастих резонатора, и то у најсавременијим технологијама. У сфери оптичких комуникација, микро-прстенасти резонатори, због низа предности замењују резонаторе са стојећим таласима. Биосензори са микро-прстенастим

резонаторима су најосетљивији сензори микро организама, а због коришћења технологија са силицијумским материјалима, микро-прстенасти резонатори су погодни за израду интегрисаних оптичких и електро-оптичких кола. Микро-прстенасти резонатори се све више користе као елементи ласера, а постоје истраживања у којима се логичка кола праве на бази микро-прстенастих резонатора.

Преносна карактеристика микро-прстенастих резонатора се примарно одређује применом методе спрегнутих модова или методе коначних разлика. Метода коначних елемената се углавном користи за моделовање делова микро-прстенастих резонатора ради одређивања коефицијената спреге у спрежњацима. Оригиналноста дисертације се огледа у примени методе коначних елемената на целокупни микро-прстенасти резонатор.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, кандидат је детаљно истражио постојећу релевантну литературу и коректно навео радове који су у вези са темом дисертације. Навео је укупно 56 библиографских референци. Литература садржи радове чији је аутор или коаутор мр Бојан Милановић.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Основна метода на којој је заснована ова дисертација је нумеричко моделовање. У оквиру тога примењена је метода коначних елемената, која адекватније може пратити геометрију модела од других нумеричких метода. Поштујући методологију научног истраживања, кандидат је проверио конвергенцију нумеричког поступка, а такође је упоредио добијене резултате са резултатима добијеним на основу осно-симетричног модела. Кандидат је осно-симетрични модел, који има експерименталну верификацију, преузео из литературе и прилагодио микро-прстенастом резонатору. У литератури не постоје други експериментални или теоријски резултати са којима би резултати добијени у овој дисертацији могли бити поређени.

3.4. Применљивост остварених резултата

Основни резултат овог истраживања је развој нумеричких модела микро-прстенастих резонатора заснованих на методи коначних елемената. Добијени модели се могу применити како на синтезу, тако и на анализу оптичких филтара заснованих на микро-прстенастом резонатору. Поред тога, применом методе коначних елемената на читавом домену модела, што је урађено у овој дисертацији, обухвата се низ појава које додатно могу објаснити механизме који утичу на преносну карактеристику микро-прстенастих резонатора.

Истраживања у свету су показала могућност примене кластеризације домена и код методе коначних елемената, што омогућава коришћење ове методе на моделима са неколико стотина милиона елемената на комерцијалним рачунарима. Резултати добијени у овој дисертацији, уз примену наведених алгоритама, могу пружити целокупнију слику о појавама које се јављају унутар микро-прстенастих резонатора, са сложеном структуром.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је детаљно упознат са проблематиком моделовања микро-прстенастих резонатора. На основу увида у дисертацију и разговора са Кандидатом, може се закључити да је Кандидат успешно савладао теорију и методологију до нивоа да је оспособљен за самосталан научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси су следећи:

- сумирани су и систематизовани резултати из области моделовања микро-прстенастих резонатора објављени у доступној литератури;
- развијен је 2D модел за одређивање параметара микро-прстенастих резонатора са унапред дефинисаним карактеристикама; на основу резонантне фреквенције и слободног спектралног опсега из дводимензионалног модела одређен је полупречник прстена; за одређивање полупречника прстена искоришћени су ефективни индекс преламања и групни индекс који су добијени директним решавањем Хелмхолцове једначине; дводимензионални модел је омогућио проверу осетљивости прорачунате вредности полупречника на промену физичких параметара светловода;
- 2D осно-симетрични модел је прилагођен потребама провере адекватности избора параметара микро-прстенастог резонатора, а у циљу верификације предложеног алгорита; добијени резултати су упоређени са резултатима који се добијају из експериментално верификованог осно-симетричног модела; осно-симетрични модел је искоришћен за одређивање конвергенције решења;
- развијен је 3D модел за одређивање и процену параметара микро-прстенастог резонатора и избора растојања прстенастог и праволинијског светловода; 3D модел је омогућио подешавање ширине преносне карактеристике на основу одређених сопствених вредности, а такође и посматрање појава које се јављају код микро-прстенастих резонатора, као што су раздвајање резонантне фреквенције и померање резонантне фреквенције услед утицаја праволинијског светловода на прстен;
- развијен је 2,5D модел микро-прстенастог резонатора како би се сачувале предности мање захтевних дводимензионалних модела, а истовремено постигла прецизност тродимензионалног модела; тестирана је примена методе коначних елемената на 2,5 димензионалном моделу; трансформацијом тродимензионалног модела помоћу одговарајућих ефективних индекса преламања добијен је 2,5 димензионални модел чији се резултати у доброј мери поклапају са тродимензионалним моделом; помоћу 2,5 димензионалног модела моделовани су оптички филтри са микро-прстенастим резонаторима вишег реда и приказан је утицај међусобне спреге прстенова на преносну карактеристику филтра;
- развијен је алгоритам одређивања преносне карактеристике микро-прстенастог резонатора, при чему се модел побушује дискретним низом фреквенција; на сваком од приступа микро-прстенастих резонатора је одређен доминантни мод; доминантни модови су искоришћени за рачунање параметара расејања на приступима, при чему је доминантни мод једног од приступа искоришћен као побуда микро-прстенастог резонатора.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У досадашњој пракси у анализи микро-прстенстих резонатора углавном су се користиле нумеричка метода коначних разлика и семи-аналитичка метода спрегнутих модова. У дисертацији је приказан приступ одређивања преносне карактеристике микро-прстенастог резонатора применом нумеричке методе коначних елемената. Ова метода омогућава боље прилагођавање мреже која се користи при моделовању прстенастој геометрији резонатора и даје детаљнији увид у процесе који се дешавају у самом резонатору. Развијени су модели који се до сада нису користили у анализи микро-прстенастих резонатора, што је верификовано објављивањем резултата истраживања у часописима са SCI листе.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је објавио два рада који су резултат истраживања у оквиру докторске дисертације и оба припадају категорији М23.

1. **Милановић Б.**, Рађеновић Б. и Радмиловић - Рађеновић М.: *Three-dimensional finite-element modeling of optical microring resonators*, Physica Scripta, Vol 2012, T149, 2012, doi:10.1088/0031-8949/2012/T149/014026, **IF**₂₀₁₃ = **1.296**, ISSN: 0031-8949
2. Рађеновић Б., **Милановић Б.** и Радмиловић – Рађеновић М.: *Electric field enhancement in silicon slotted optical strip waveguides and microring resonators*, Physica Scripta, Vol 2012, T149, 2012, doi:10.1088/0031-8949/2012/T149/014027, **IF**₂₀₁₃ = **1.296**, ISSN: 0031-8949

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација мр Бојана Ч. Милановића, дипл. инж. електротехнике, под насловом „Одређивање карактеристика оптичких филтара са микро-прстенастим резонатором методом коначних елемената“, бави се нумеричким моделовањем микро-прстенастог резонатора, компоненте која се израђује у технологији интегрисане оптике и која све више налази примену у различитим областима савремене технике и технологије. Међу значајнијим областима примене микро-прстенастих резонатора налазе се оптичке комуникационе мреже, где микро-прстенасти резонатори, због низа предности, замењују резонаторе са стојећим таласима, биосензори на бази микро-прстенастих резонатора као најосетљивији сензори за микро организме, ласерска техника, где се они користе као конструкциони елементи, а постоје и истраживања у којима се микро-прстенасти резонатори користе за израду логичких кола, као претече нове генерације процесора са малом потрошњом енергије. Чињеница да се микро-прстенасти резонатори производе на подлози од силицијум-диоксида отвара могућност израде интегрисаних оптичких и електро-оптичких кола са њима као елементима.

Бојан Милановић је при изради дисертације за моделовање микро-прстенастих резонатора користио методу коначних елемената, која је до сада врло мало била заступљена у литератури. Ова метода јесте захтевна у погледу ресурса рачунара, али она омогућава боље прилагођење мреже коначних елемената стварној геометрији микро-прстенастог резонатора, остварује бољи увид у процесе у самом резонатору, а погодна је и за примену технике за разбијање модела на кластере ради повећања ефикасности прорачуна. У дисертацији су развијени 2D и 3D нумерички модели микро-прстенастих резонатора, као и 2,5D модел, који представља компромис између претходна два. Показано је да се уз помоћ модела развијених у дисертацији могу успешно прорачунати геометријски параметри микро-прстенастог резонатора.

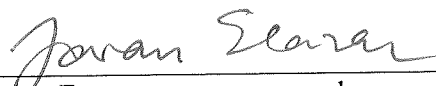
Научни доприноси дисертације, детаљно набројани раније, могу се сумирати као развој нових алгоритама за моделовање микро-прстенастих резонатора. Како су нумеричка истраживања у свету све више окренута ка методи коначних елемената, може се очекивати да ће резултати ове дисертације наћи широку примену у пракси, и то не само за боље разумевање процеса у микро-прстенастом резонатору, већ и за њихову синтезу и анализу.

Одређени резултати добијени у овој дисертацији су приказани у два рада која су публикована у часопису са SCI листе. У једном од тих радова Бојан Милановић је првопотписани аутор, а у другом је коаутор.

На основу претходног, Комисија за преглед и оцену докторске дисертације констатује да је мр Бојан Милановић, дипл. инж. електротехнике, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду, те са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да се дисертација под насловом „Одређивање карактеристика оптичких филтара са микро-прстенастим резонатором методом коначних елемената“ кандидата мр Бојана Милановића, дипл. инж. електротехнике, прихвати, изложи на увид јавности и упуту Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на коначно усвајање и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

Београд, 26. март 2015. године

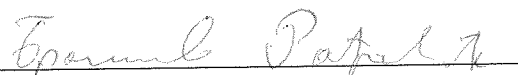
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



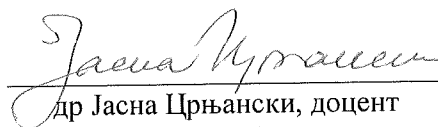
др Јован Елазар, ванредни професор
Државни универзитет у Новом Пазару



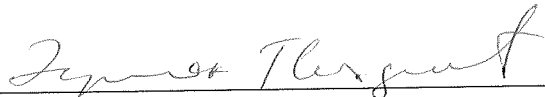
др Бранко Колунџија, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Бранислав Рађеновић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за физику



др Јасна Црњански, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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