

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Александра Медведева 14 · Поштански фах 73
18000 Ниш · Србија
Телефон 018 529 105 · Телефакс 018 588 399
E-mail: einfo@elfak.ni.ac.rs; http://www.elfak.ni.ac.rs
Текући рачун: 840-1721666-89; ПИБ: 100232259



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING

Aleksandra Medvedeva 14 · P.O. Box 73
18000 Niš - Serbia
Phone +381 18 529 105 · Fax +381 18 588 399
E-mail: einfo@elfak.ni.ac.rs
http://www.elfak.ni.ac.rs

ДЕКАН
05.05.2015.

ОБАВЕШТЕЊЕ
НАСТАВНИЦИМА И САРАДНИЦИМА ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Докторска дисертација кандидата мр **Мирјане Перић** под насловом «Квазистационарни приступ за анализу микроталасних водова» и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације налазе се у Библиотеци Електронског факултета у Нишу и могу се погледати до **20.05.2015. године**.

Примедбе на наведени извештај достављају се декану Факултета у напред наведеном року.

ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Декан

Проф. др Драган Јанковић



НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОНСКОГ ФАКУЛТЕТА У НИШУ

Предмет: Извештај за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „Квазистационарни приступ за анализу микроталасних водова“ кандидата мр Мирјане Перић.

На седници Наставно-научног већа Електронског факултета у Нишу, одржаној 16.04.2015. године, одлуком број 07/03-024/15-002, именована је Комисија за писање извештаја за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „Квазистационарни приступ за анализу микроталасних водова“ кандидата мр Мирјане Перић, асистента Електронског факултета у Нишу, у саставу:

1. Проф. др Славољуб Алексић, Електронски факултет у Нишу
2. Проф. др Иван Јачев, Технички универзитет у Софији, Бугарска
3. Доц. др Небојша Раичевић, Електронски факултет у Нишу
4. Проф. др Злата Цветковић, Електронски факултет у Нишу
5. Проф. др Небојша Дончов, редовни професор, Електронски факултет, Ниш

ЕЛЕКТРОНСКИ ФАКУЛТЕТ
У НИШУ

Примљено 04.05.15.
Број
07/03-024/15-003

На основу прегледа докторске дисертације Комисија подноси Наставно-научном већу Електронског факултета у Нишу следећи

ИЗВЕШТАЈ

Докторска дисертација кандидата мр Мирјане Перић, под називом „Квазистационарни приступ за анализу микроталасних водова“ изложена је на 196 страница формата А4 и садржи 130 слика, 253 формуле и 50 табела. Састоји се из десет поглавља, списка коришћене литературе, који је сачињен од 200 библиографских јединица и четири прилога. Организована је на следећи начин: 1. Увод, 2. Електромагнетно поље у непокретним срединама, 3. Методи за квазистационарну анализу микроталасних водова, 4. Хибридни метод граничних елемената, 5. Водови кружног и правоугаоног попречног пресека, 6. Тракасти водови, 7. Микротракасти водови, 8. Прекривени микротракасти водови, 9. Примена хибридног метода граничних елемената у биизотропним срединама, 10. Закључак, Литература и Прилози.

1. Приказ докторске дисертације

Анализа микроталасних водова предмет је истраживања у свету већ више од шест деценија. Од првих дана настанка тракастог вода, почетком педесетих година прошлог века, а затим и свих његових модификација које су уследиле у наредним годинама, научници су покушавали да што једноставније анализирају и пројектују ове структуре које су, због својих карактеристика, нашле широку примену у микроталасним интегрисаним колима, за реализацију микроталасних филтара и антена, линија за кашњење, усмерених спрежњака, итд. Различити нумерички и аналитички методи као што су: варијациони метод, метод момената, метод граничних елемената, метод коначних елемената, метод конформног пресликавања, Фуријеова трансформација, метод покретног савршеног електричног зида, метод еквивалентне електроде и др., могу се применити са мање или више успеха за анализу микроталасних водова. У овој докторској дисертацији извршена је квазистационарна ТЕМ анализа микроталасних водова помоћу хибридног метода граничних елемената. Овај метод је развијен на Катедри за теоријску електротехнику Електронског факултета у Нишу. Метод је веома успешно примењен за анализу вишеслојних електромагнетних проблема, одређивање расподеле електромагнетног поља у околини кабловских завршница и спојница, уземљивачких система и при прорачуну магнетног поља и силе левитације сталних магнета. Са циљем

да се прошири област примене овог метода, у овој дисертацији кандидат је метод применио за квазистационарну анализу микроталасних водова. Кроз бројне примере приказана је примена метода за одређивање карактеристичних параметара микроталасних водова са подлогом од изотропног диелектрика. Посебна пажња посвећена је анализи микротракастих водова са биизотропном подлогом. Анализирани су биизотропни материјали Телегеновог типа. За разлику од широког спектра литературе која се бави анализом микроталасних водова са изотропним диелектриком, биизотропне средине, због њихове сложености, нису тако чест предмет истраживања. Хибридни метод граничних елемената је у овој дисертацији са успехом примењен и за анализу оваквих структура.

Садржај дисертације по поглављима:

У **Поглављу 1**, „Увод“, приказано је стање досадашњих истраживања микроталасних водова у свету кроз детаљни преглед литературе и примењиваних метода, уз навођење њихових предности и недостатака, дати су циљеви истраживања, очекивани резултати и научни доприноси, као и приказана организација дисертације.

Поглавље 2, „Електромагнетно поље у непокретним срединама“, садржи основне изразе и појмове из електромагнетике који се односе на поље у непокретним срединама и који су коришћени у дисертацији у циљу разумевања приказаних истраживања.

Прегледу метода који се примењују за анализу микроталасних водова посвећено је **Поглавље 3**, „Методи за квазистационарну анализу микроталасних водова“. Приказане су карактеристике најчешће коришћених аналитичких и нумеричких метода, истакнуте њихове предности и недостаци.

У **Поглављу 4**, „Хибридни метод граничних елемената“, дат је теоријски приказ хибридног метода граничних елемената, који је настао на Катедри за теоријску електротехнику Електронског факултета у Нишу. Детаљно је објашњена суштина поменутог метода, с обзиром да се он, по први пут, примењује за одређивање карактеристичних параметара микроталасних водова (ефективне релативне диелектричне константе и карактеристичне импедансе). На овај начин, могу се анализирати веома сложене конфигурације микроталасних водова, које до сада нису решаване у литератури или су анализиране применом сложенијег математичког апарата. За разлику од метода коначних елемената, примена хибридног метода граничних елемената увек доводи до тога да су елементи на главној дијагонали матрице доминантни тако да је систем линеарних једначина које треба решити увек добро условљен, а време израчунавања је много краће у односу на примену метода коначних елемената. Хибридни метод граничних елемената се показао као веома ефикасан при дводимензионалној анализи сложених микроталасних водова и ти резултати су приказани у наредним поглављима.

Пето поглавље, „Водови кружног и правоугаоног попречног пресека“, садржи примере водова који представљају претечу микротракастих водова. Вод правоугаоног попречног пресека је прелазни облик од коаксијалног вода кружног попречног пресека ка тракастим водовима. Метод еквивалентне електроде показао се као веома успешан у тој анализи, док је у овом поглављу за анализу различитих конфигурација водова кружног и правоугаоног попречног пресека са успехом примењен и хибридни метод граничних елемената. Приказан је утицај различитих параметара микроталасних водова на вредност карактеристичних параметара, а добијени резултати приказани графички и табеларно. Са циљем да се провери тачност примењеног метода, искоришћени су резултати који се могу наћи у литератури, а примењен је у програмски пакет који се базира на примени метода коначних елемената. Приказана је и конвергенција резултата, еквипотенцијале, као и расподела везаног електричног оптерећења дуж раздвојне површине две средине.

Поглавље 6, „Тракасти водови“, даје приказ три типа вишеслојних тракастих водова који су анализирани применом хибридног метода граничних елемената. Резултати за карактеристичну импедансу и ефективну релативну диелектричну константу приказани су за раз-

личите димензије и параметре водова. Провера добијених резултата извршена је применом метода коначних елемената.

У **Поглављу 7**, „Микротракасти водови“, представљена је друга генерација микроталасних водова. У литератури су углавном анализирани структуре код којих је уземљена трака бесконачно танка, а супстрат неограничено широк. Све ово није ситуација са којом се срећемо приликом практичне реализације. Због тога су развијани методи који би успели да што реалније узму у обзир параметре микротракастог вода и анализирају ове структуре. Један од таквих метода, који се са успехом може применити, је и хибридни метод граничних елемената. У приказаним примерима анализирани су симетрични и асиметрични водови. Истакнуте су најважније карактеристике различитих структура. Проблем међусобног утицаја проводника двојичних микротракастих водова и могућност да се тај ефекат смањи убацивањем једног или више додатних слојева диелектрика у подлогу приказан је у једном од анализираних примера. С обзиром да се у том случају ради о вишеслојним срединама, предност коришћења хибридног метода граничних елемената посебно долази до изражаја, а добијени резултати за ефективну релативну диелектричну константу и карактеристичну импедансу биће упоређени са методом коначних елемената.

Још једна група микротракастих водова анализирана је у **Поглављу 8**, „Прекривени микротракасти водови“. Ови водови представљају прелазну структуру између тракастог и микротракастог вода. Карактеристични параметри ових структура добијени применом хибридног метода граничних елемената приказани су табеларно и графицима.

Поглавље 9, „Примена хибридног метода граничних елемената у биизотропним срединама“, посвећено је примени хибридног метода граничних елемената за анализу биизотропних средина тј. микротракастих водова који имају подлогу од биизотропног материјала Телегеновог типа. Када се овакви материјали унесу у електрично поље, оно не делује само на електричне, већ и на магнетне диполе. Магнетно поље, попут електричног, такође утиче на распоред како магнетних, тако и електричних дипола. Због своје комплексности, ови материјали нису тако често анализирани у литератури. Најпре су, на основу теореме лика у биизотропној средини, одређени гранични услови који важе на раздвојној површини две биизотропне средине, а онда је примењен метод. Посматран је прво случај подужног наелектрисања у двослојној биизотропној средини и одређена расподела електричних и магнетних површинских оптерећења дуж раздвојне површине две средине различитих карактеристика, а затим анализиран и микротракасти вод са подлогом од биизотропног материјала коначне ширине постављен изнад савршено проводне равни. Такође, узета је у обзир коначна дебљина проводне траке.

У **Поглављу 10** приказана су генерална запажања у примени хибридног метода граничних елемената и дати закључци до којих се дошло на основу резултата добијених током истраживања изведених у дисертацији.

Списак коришћене **Литературе** од укупно 200 библиографских јединица наведен је након **Поглавља 10**. Приказ литературе је организован тако да су цитиране референце аутора дисертације, као и публикације домаћих и иностраних аутора, наведене по редоследу појављивања у тексту.

На крају су дати **Прилози**, у којима су приказани на који начин су одређени полупречници еквивалентних електрода, како би читаоцима било омогућено лакше разумевање и праћење основног текста.

2. Вредновање и оцена докторске дисертације

Докторска дисертација представља квалитетан истраживачки рад који садржи оригиналне резултате у области анализе микроталасних водова и примене хибридног метода граничних елемената. Хибридни метод граничних елемената примењен је, по први пут, за

анализу сложених, вишеслојних структура коначне дебљине проводне траке и коначне ширине уземљене проводне равни. Кроз велики број примера илустроване су могућности овог метода, приказано је време израчунавања, тачност и конвергенција резултата. Метод је развијен на Катедри за теоријску електротехнику Електронског факултета у Нишу и представља комбинацију метода еквивалентне електроде и метода граничних елемената.

Комисија посебно истиче следеће научне доприносе:

- Први пут је хибридни метод граничних елемената примењен за анализу микроталасних водова. Развијена је група програмских кодова за одређивање карактеристичних параметара различитих типова водова (симетрично и асиметрично спрегнути микротракасти водови, водови кружног и правоугаоног попречног пресека, тракасти и микротракасти водови и прекривени микротракасти водови). Применом овог метода могуће је веома брзо и једноставно анализирати микроталасне водове сложенијих конфигурација, у односу на аналитичке методе којима се анализирају једноставније структуре, као и процесорску и временску захтевност коју поседују други нумерички методи. То свакако представља велику предност при процесу моделовања и производње ових компоненти.
- Анализиране су структуре са неограничено широком уземљеном равни, али и коначних димензија – геометрије са уземљеном траком коначне ширине, коначном дебљином метализације и коначном ширином супстрата, што није тако чест случај који се среће у литератури.
- Проблем међусобног утицаја проводника двојичних микротракастих водова и могућност да се тај ефекат смањи убацивањем једног или више додатних слојева диелектрика у подлогу, анализиран је у једном од примера. С обзиром да се у том случају ради о вишеслојним срединама, предност коришћења хибридног метода граничних елемената је посебно дошла до изражаја.
- Хибридни метод граничних елемената примењен је са успехом за анализу изотропних средина, али и по први пут за анализу биизотропних средина, чиме је сада могуће анализирати читав спектар електромагнетних проблема, не само у области микроталасних водова.
- Развијен је теоријски приступ примене хибридног метода граничних елемената за анализу биизотропних средина. Осим електричних везаних оптерећења, с обзиром на природу биизотропних материјала, уведен је појам фиктивних магнетних оптерећења.
- Дефинисани су гранични услови на раздвојној површини две биизотропне средине.
- Израчунат је полупречник еквивалентних електрода, јер се њима замењују траке на које се дели раздвојна површина две биизотропне средине приликом примене хибридног метода граничних елемената. У овој анализи кренуло се од претпоставке да се еквивалентни полупречник разликује од оног добијеног у случају раздвојне површине две изотропне средине.
- Након развијања теоријског приступа примене метода за анализу биизотропних средина, извршена је анализа микротракастих водова са биизотропним супстратом. На основу приказаних резултата за карактеристичне параметре за средине са слабо, средње и јако израженим ефектом биизотропије, могуће је вршити оптимизацију и пројектовање микротракастих водова у циљу побољшања карактеристика уређаја у чији састав они улазе.

ЗАКЉУЧАК

На основу увида у поднету докторску дисертацију, Комисија сматра да докторска дисертација мр Мирјане Перић садржи више оригиналних научних доприноса који се односе на квазистационарну анализу микроталасних водова и примену хибридног метода граничних елемената. Један део изложених резултата већ је верификован у 13 научних радова и то: по један рад у међународним часописима са SCI листе: *ACES Journal* (издавач *ACES Society*), *Electromagnetics* (издавач *Taylor & Francis*) и *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics* (*IOS Press*), три рада у часописима од националног значаја, од тога један у часопису *Facta Universitatis – Electronics and Energetics* и седам радова изложених на међународним научним скуповима.

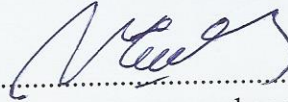
Имајући у виду значај обрађене проблематике и остварене научне резултате кандидата, чланови Комисије предлажу Наставно-научном већу Електронског факултета у Нишу, да се докторска дисертација под насловом “**Квазистационарни приступ за анализу микроталасних водова**” прихвати и да се кандидату мр Мирјани Перић одобри усмена одбрана.

У Нишу, 04.05.2015.

Чланови Комисије,



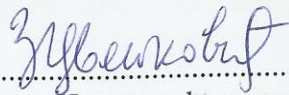
.....
Др Славољуб Алексић, редовни професор
Електронски факултет у Нишу



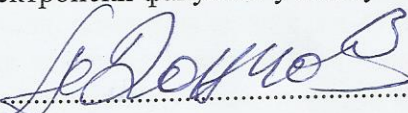
.....
Др Иван Јачев, редовни професор
Технички универзитет у Софији, Бугарска



.....
Др Небојша Раичевић, доцент
Електронски факултет у Нишу



.....
Др Злата Цветковић, редовни професор
Електронски факултет у Нишу



.....
Др Небојша Дончов, редовни професор
Електронски факултет у Нишу