

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње **Жаклине Ј. Манчић**

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета број 902/3 од 21. јануара 2014. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње **Жаклине Ј. Манчић**, магистра електротехнике, под насловом „**Јака формулација методе коначних елемената за квазистатичку анализу водова**“.

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Мр Жаклина Манчић одбранила је магистарски рад под насловом „Примена метода еквивалентне електроде на прорачун тракастих водова“ на Електронском факултету Универзитета у Нишу 1996. године.

Мр Жаклина Манчић је 2006. године започела консултације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду у вези са израдом докторске дисертације, и то са др Антонијем Ђорђевићем, редовним професором, и др Владимиром Петровићем, ванредним професором. Од 2007. године, израдом њене докторске дисертације претежно је руководио др Владимир Петровић, а од средине 2012. године, због дужег одсуства на које је др Владимир Петровић отишао, израдом докторске дисертације претежно је руководио др Антоније Ђорђевић. Стога је, фактички, дисертација урађена под коменторством др Владимира Петровића и др Антонија Ђорђевића.

Мр Жаклина Манчић је 25. августа 2012. године пријавила тему за израду докторске дисертације под насловом „Јака формулација методе коначних елемената за квазистатичку анализу водова“. Комисија за студије III степена дала је сагласност на предлог теме за израду докторске дисертације на седници одржаној 30. августа 2012. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета именовало је 4. септембра 2012. године Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу:

- др Антоније Ђорђевић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду,
- др Владимир Петровић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду,

- др Братислав Миловановић, редовни професор Електронског факултета Универзитета у Нишу, и
- др Милан Илић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Извештај ове Комисије, о подобности теме и кандидаткиње, усвојило је Наставно-научно веће Електротехничког факултета на седници одржаној 12. марта 2013. године. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације мр Жаклине Манчић на седници одржаној 15. априла 2013. године (Одлука бр. 61206-1549/2-13 од 15. 4. 2013. године).

Мр Жаклина Манчић предала је 23. децембра 2013. године своју докторску дисертацију, под насловом „Јака формулација методе коначних елемената за квазистатичку анализу водова“, на преглед и оцену. Комисија за студије III степена дала је сагласност са предлогом Комисије за преглед и оцену докторске дисертације 15. јануара 2014. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације на седници одржаној 21. јануара 2014. године (Одлука бр. 902/3 од 21. јануара 2014. године), у саставу:

- др Антоније Ђорђевић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду (председник комисије),
- др Владимир Петровић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду,
- др Братислав Миловановић, редовни професор Електронског факултета Универзитета у Нишу,
- др Милан Илић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, и
- др Бранко Колунџија, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Ова одлука је званично достављена, и то само председнику Комисије, тек 14. марта 2014. године.

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области Електромагнетика, антене и микроталаси, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Именовани ментор докторске дисертације, др Антоније Ђорђевић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, има укупно око 50 радова из наведене научне области у часописима који имају *impact factor*, а од тога 15 радова у последњих 10 година. Осим тога, коаутор је две монографије из те области објављене у САД.

## 1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Жаклина Манчић је рођена 21. септембра 1963. године у Алексинцу. Основну и средњу школу завршила је са одличним успехом, као носилац дипломе „Вук Караџић“. Електронски факултет у Нишу уписала је 1982/83. године, а завршила 1987. године са средњом оценом 8,24 и оценом 10 на дипломском испиту. Постдипломске студије је завршила 1996. године са средњом оценом 10 на Катедри за теоријску електротехнику Електронског факултета у Нишу, под менторством проф. др Драгутина Величковића. Назив магистарске тезе је „Примена метода еквивалентне електроде на прорачун тракастих водова“. Као стипендиста ЕИ-ИРИН-а радила је, по дипломирању, од септембра 1987. до октобра 1989. године, у ЕИ-ИРИН-у као истраживач. Истовремено је током 1988. године изводила рачунске вежбе из предмета Теорија електричних кола на Електронском факултету у Нишу. Од 1989. до 1997. године радила је најпре као асистент-приправник, а затим као

асистент при Катедри за теоријску електротехнику Електронског факултета у Нишу на предметима Основи електротехнике, Теорија електричних кола и Електромагнетика. Децембра 2000. године прешла је у Рачунски центар Електронског факултета, где и данас ради као виши стручни сарадник, веб-програмер.

Коаутор је једног уџбеника (Збирка задатака из Теорије електричних кола) који се користи на редовним студијама на Електронском факултету у Нишу. Аутор је или коаутор 32 рада на домаћим и међународним конференцијама, као и у међународним часописима. Учествовала је на пројектима МНТР.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Јака формулација методе коначних елемената за квазистатичку анализу водова“ има укупно 211 страна. По форми и структури у свему одговара Упутству за формирање репозиторијума докторских дисертација Универзитета у Београду од 14. децембра 2011. године.

Дисертација има девет поглавља, списак литературе и пет прилога. Поглавља су:

1. Увод, 6 страна,
2. Максвелове једначине, електромагнетске особине средина, статичка и квазистатичка анализа водова, 14 страна,
3. Метода коначних елемената (FEM), 43 стране,
4. Функције базиса, 34 стране,
5. Нумерички примери квазистатичке анализе водова помоћу слабе FEM формулације, 14 страна
6. Примена јаке FEM формулације за квазистатичку анализу водова, 44 стране,
7. Поређење јаке и слабе FEM формулације, 5 страна,
8. FEM методологија за неограничене домене, 16 страна,
9. Могући правци даљег истраживања, 2 стране.

У дисертацији има укупно 128 слика, 8 табела, 122 нумерисане једначине и више нумерисаних једначина. Литература садржи 204 библиографске јединице.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље је уводно. У њему се даје глобални преглед литературе непосредно везане за тему дисертације, наводе мотиви за рад на теми дисертације и истичу доприноси дисертације.

У другом поглављу су наведени појмови коришћени у дисертацији, са нагласком на ТЕМ и квази-ТЕМ режим на водовима.

У трећем поглављу је описан метод коначних елемената (FEM), са акцентом на Галеркиновој формулацији.

У четвртном поглављу је дат преглед две врсте функција базиса, од којих су једне чворно засноване, а друге нису чворно засноване. Посебна пажња је посвећена овим другим функцијама, од којих неке до сада нису биле коришћене у методу коначних елемената.

У петом поглављу су упоређена три нумеричка метода за квазистатички прорачун водова: метод момената, метод еквивалентне електроде и слаба формулација метода коначних елемената, а затим је детаљније разматрана слаба формулација са хијерархијским базисним функцијама које нису чворно засноване.

У шестом поглављу су детаљно истраживане особине јаке FEM формулације, и то код водова са изотропним, анизотропним и део-по-део хомогеним диелектриком, као и биизотропним и Телегеновим супстратом.

У седмом поглављу су упоређене јака и слаба формулација метода коначних елемената и изведени одговарајући закључци.

У осмом поглављу дат је преглед постојећих модификација метода коначних елемената за отворене домене и предложен нов хибридни метод за прорачун отворених домена.

У деветом, закључном поглављу сумирани су основни доприноси дисертације и дате смернице за даља истраживања.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Развој нумеричких метода за анализу електромагнетских поља још увек представља актуелну област, о чему сведочи релативно велики број радова који се сваке године у свету објављују у водећим међународним часописима. У тој ситуацији, кандидаткиња је оригиналност доприноса свог научног рада на дисертацији верификовала на најбољи начин – објављивањем два рада у међународном часопису категорије М23, на којима је првопотписана (при чему на радовима постоји само још један коаутор – коментор израде докторске дисертације).

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У раду је коришћена веома обимна литература из области метода коначних елемената, полазећи од фундаменталних референци, па све до најновијих радова у врхунским међународним часописима. На основу тих референци, оригинални научни доприноси до којих је кандидаткиња дошла у дисертацији стављени су у коректан контекст.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У раду је успешно примењена комбинација аналитичког и синтетичког поступка, уз верификацију резултата нумеричким експериментима, коришћењем сопственог софтвера.

У раду је најпре спроведена критичка анализа досадашњих FEM формулација, укључујући ту и формулације за отворене проблеме са егзактним задовољавањем граничних услова. Посебна пажња је посвећена уочавању недостатака постојећих формулација и могућностима за унапређење тих формулација.

У раду је, затим, спроведена критичка анализа функција базиса које су у литератури до сада коришћене за решавање ЕМ проблема, са посебним нагласком на функције базиса које се стандардно користе у методу коначних елемената, као и нагласком на функције базиса вишег реда.

У раду је предложен и математички обрађен нов тип јаким дводимензионалних функција базиса, које су темељ за заснивање јаке FEM формулације. Полазећи од услова јединствености решења електростатичких проблема, математичком анализом су изведени изрази за матричне елементе система линеарних алгебарских једначина, карактеристичног за FEM, чијим се решавањем добијају непознати коефицијенти расподеле потенцијала.

На основу резултата математичке анализе формиран су алгоритам и софтвер за решавање затворених електростатичких проблема јаком FEM формулацијом. Кроз многобројне нумеричке експерименте, на низу примера из инжењерске праксе, проучени су конвергенција и тачност метода. Једна група су канонички примери, чије је аналитичко решење познато. Друга група примера је из литературе. Осим поређења са резултатима из литературе, обављено је поређење са резултатима које дају други софтверски пакети.

У раду су, на крају, критички сагледане карактеристике нове формулације. Осим истицања предности, уочени су и могући недостаци и ограничења.

У раду су успешно доказане све полазне хипотезе постављене у пријави теме дисертације.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати до којих је кандидаткиња дошла у својој дисертацији имају непосредну примену у формирању ефикасних нумеричких алгоритама за прорачун дводимензионалних електромагнетских система, а посебно водова. Моделовање водова је важан елемент рачунарских симулација и пројектовања микроталасних кола и брзих дигиталних веза.

Резултати дисертације имају и фундаменталан значај. Наиме, у литератури је запостављена јака FEM формулација. Међутим, мр Жаклина Манчић је у својој докторској дисертацији показала да је то запостављање неоправдано јер јака FEM формулација као резултат даје нумерички ефикасне алгоритме. Због тога се може очекивати да ће резултати до којих је кандидаткиња дошла у својој дисертацији бити подстрек даљим истраживањима, не само код нас, већ и у свету.

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

Кандидаткиња је у свом досадашњем раду показала квалитете пресудне за научноистраживачки рад, као што су схватање и проширивање теоријских концепата, оригиналност, способност да теоријске методе преточи у алгоритме и рачунарске програме, као и да критички анализира добијене резултате.

### **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОСИ**

#### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У својој докторској дисертацији кандидаткиња је остварила следеће главне оригиналне научне доприносе:

- засновала је нову формулацију метода коначних елемената за анализу дводимензионалних електромагнетских проблема, са посебним акцентом на анализи водова и
- засновала је нов тип дводимензионалних функција базиса (јаким функција базиса) за примену у нумеричкој електромагнетици.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Метод коначних елемената је један од неколико основних нумеричких метода за анализу електромагнетских система, а у широкој је употреби и у другим областима технике, као што су механика, теорија еластичности и динамика флуида. У практично свим објављеним књигама и радовима који се односе на овај метод приказана је слаба FEM формулација, која се заснива на функцијама базиса које су ван домена оператора који описује анализирану појаву, а који је типично диференцијални оператор другог реда. Осим тога, највећи број приказаних метода се заснива на апроксимацији ниског (првог) реда.

Јака FEM формулација је у литератури врло мало проучена. Број радова посвећен њој је врло мали, а област толико нова, да се тек формира одговарајућа терминологија. Својим пионирским радом, кандидаткиња је показала да ова формулација може, у односу на слабу формулацију, имати одређене предности, нарочито у концепционој једноставности, инхерентној примени апроксимација вишег реда (минимално трећег), као и једноставнијем природнијем дефинисању граничних услова. Како је развој јаке FEM формулације тек у зачетку, природно је да се она прво имплементира у анализи дводимензионалних статичких и квазистатичких ЕМ проблема. Одличан тест-пример за то је анализа водова са TEM таласима, код којих параметри одређени електростатичком (квазистатичком) анализом у потпуности карактеришу простирање ЕМ таласа.

#### 4.3. Верификација научних dopриноса

Научно dopриноси дисертације верификовани су следећим радовима<sup>1</sup>:

##### Категорија M23:

- [1] **Z. J. Mancic**, V. V. Petrovic, "Strong and Weak FEM Formulations Of Higher Order for Quasi-Static Analysis of Shielded Planar Transmission Lines", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol.53, No.5, pp. 1114-1119, May 2011 (DOI 10.1002/mop.25917, online ISSN 1098-2760, **IF=0.538**).
- [2] **Z. J. Mancic**, V. V. Petrovic, "Strong FEM Formulation for Quasi-Static Analysis of Shielded Striplines in Anisotropic Homogeneous Dielectric", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol.54, No.4, pp. 1001-1006, April 2012 (DOI 10.1002/mop.26676 online ISSN 1098-2760, **IF=0.522**).

##### Категорија M33:

- [1] **Ž. J. Mančić**, V. V. Petrović: „Strong FEM solution for the square coaxial line”, *Proc. of TELSIKS 2009*, pp. 343-346, Niš, 2009.
- [2] V. V. Petrović, **Ž. J. Mančić**, „Strong FEM Formulation for Quasi-Static Analysis of Shielded Planar Transmission Lines in Anisotropic Media“, *ECCSC2010*, Beograd.
- [3] **Ž. J. Mančić**, V. V. Petrović: „Quasi-Static Analysis of the Square Coaxial Cable with Tellegen Bi-isotropic Material”, *Proc. of TELSIKS 2011*, pp. 533-535, Niš, 2011.
- [4] **Ž. J. Mančić**, V. V. Petrović: „Quasi-Static Analysis of the Shielded Microstrip Line with Bi-isotropic Substrate by the Strong FEM Formulation”, *Proceeding of TELSIKS 2013*, pp. 513-516, Niš, 2013.

##### Категорија M53:

- [1] **Ž. J. Mančić**, V. V. Petrović, „Analiza kvadratnog koaksijalnog voda sa anizotropnim dielektrikom metodom konačnih elemenata“, *Telfor Journal*, Vol. 3, No. 2, 2011.

##### Категорија M63:

- [1] **Ž. J. Mančić**, S. R. Aleksić, V. V. Petrović: „Comparison of FEM, MoM and EEM in solving a benchmark 2D electrostatic problem”, *Proc. of PES 2007*, Niš, 2007.
- [2] **Ž. J. Mančić**, V. V. Petrović: „Analiza konvergencije i tačnosti metoda konačnih elemenata za proračun vodova sa TEM talasom“, *Zbornik konferencije YU INFO 2009*, Kopaonik, 2009.
- [3] **Ž. J. Mančić**, V. V. Petrović: „Jedno referentno (benchmark) rešenje za dvodimenzionalne elektrostaticke probleme“, *Zbornik konferencije YU INFO 2009*, Kopaonik, 2009.
- [4] **Ž. J. Mančić**, V. V. Petrović: „Accurate algorithm for calculating characteristic impedance of a square coaxial line“, *Proc. of ICEST 2009*, pp. 3-6, Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2009.
- [5] **Ž. J. Mančić**, V. V. Petrović: „Strong FEM Calculation of the Influence of the Conductor's Position on Quasi-Static Parameters of the Shielded Stripline With Anisotropic Dielectric“, *Proc. of ICEST 2011*, pp. 191-194, Niš, 2011.
- [6] V. V. Petrović, **Ž. J. Mančić**: „Konceptiono jednostavan metod FEM-MOM hibridizacije za otvorene statičke probleme“, *Elektronski zbornik radova 56. konferencije za ETRAN*, Zlatibor, 2012, AP1.2-1-2.
- [7] **Ž. J. Mančić**, V. V. Petrović: „Strong FEM Analisis of the Multilayered Anisotropic Striplines”, *Icist 2013*, Kopaonik, 03.-06.03.2013.

---

<sup>1</sup> Радови су објављени пре 1. октобра 2013. године, односно пре ступања на снагу Одлуке о афилијацији коју је донело Наставно-научно веће Електротехничког факултета 16. априла 2013. године.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ


На основу изложеног, комисија констатује да докторска дисертација **Жаклине Ј. Манчић**, магистра електротехнике, под насловом „**Јака формулација методе коначних елемената за квазистатичку анализу водова**“, испуњава све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

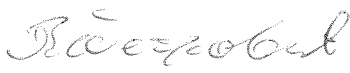
Докторска дисертација Жаклине Манчић садржи научне доприносе који се састоје у пионирском истраживању јаке FEM формулације, као и увођењу нових апроксимационих функција. Резултати дисертације су верификовани кроз два рада категорије M23, на којима је кандидаткиња првопотписана. Ови резултати би требало да омогуће формирање ефикаснијих и тачнијих алгоритама за нумеричку анализу електромагнетских система, али и да подстакну истраживања јаке FEM формулације у другим областима технике. Током целокупне израде докторске дисертације кандидаткиња је показала несумњиву способност за самосталан научноистраживачки рад.

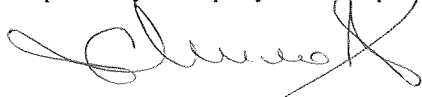
На основу изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да се докторска дисертација под насловом „Јака формулација методе коначних елемената за квазистатичку анализу водова“ кандидаткиње мр Жаклине Ј. Манчић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

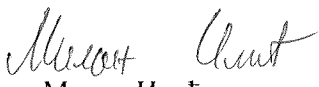
Београд, 18. март 2014. године


### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

  
др Владимир Петровић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Братислав Миловановић, редовни професор  
Универзитет у Нишу – Електронски факултет

  
др Милан Илић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

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