

Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду

Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду, на својој 739. седници, одржаној 15. новембра 2011. године, именovalo нас је за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације мр инж. Миодрага Тасића, под насловом „Итеративно решавање интегралних једначина електромагнетског поља коришћењем метода физичке оптике”. Ментор докторске дисертације је др Бранко Колунџија, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Након увида у достављени материјал, извршили смо процену квалитета и научног доприноса поднете докторске дисертације, на основу које Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду подносимо следећи

Извештај

1. УВОД

1.1. Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације је „Итеративно решавање интегралних једначина електромагнетског поља коришћењем метода физичке оптике”. Дисертација је написана на 133 стране А4 формата, које укључују 116 формула, 65 слика, 5 табела и 82 референце. Текст је сложен у складу с правилником Универзитета у Београду.

1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је тему за израду докторске дисертације, под насловом „Итеративно решавање интегралних једначина електромагнетског поља коришћењем метода физичке оптике“, пријавио 23. фебруара 2006. године. Наставно-научно веће Електротехничког факултета је 7. марта 2006. на 644. седници именovalo Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације. Извештај Комисије и предложена тема за израду докторске дисертације прихваћени су на 646. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета 16. маја 2006. године. Веће области техничких наука Универзитета у Београду одобрило је рад на овој теми 5. октобра 2006. године.

Кандидат је поднео молбу за продужење рока завршетка израде дисертације и урађену дисертацију поднео на преглед и оцену. Наставно-научно веће Електротехничког факултета је 15. новембра 2011. године на 739. седници одобрило продужење рока завршетка израде дисертације и именovalo комисију за преглед и оцену докторске дисертације.

Након увида у финални текст дисертације, комисија је тражила од кандидата да допуни текст дисертације. По подношењу допуна, комисија је написала овај финални извештај.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Дисертација припада ужој научној области Електромагнетика, антене и микроталаси. За ову ужу научну област матичан је Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Кандидат је рођен 1972. године у Београду. Дипломирао је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 1998. године са темом „Решавање дводимензионалних електростатичких проблема методом коначних елемената”. Магистрирао је на истом факултету 2004. године са темом „Ефикасно електромагнетско моделовање засновано на аутоматској сегментацији полигона на четвороуглове”.

Од 2000. године ради на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, при Катедри за општу електротехнику, где је држао вежбе на табли из Основа електротехнике, Електромагнетике, Микроталасних мерења и Антена и простирања, као и лабораторијске вежбе из

Антиена и простирања, Микроталасних мерења и Основа електротехнике. Коаутор је 2 рада у међународним часописима, 11 радова на међународним конференцијама, 2 рада на домаћим конференцијама и 2 рада у домаћим часописима. Неки од ових радова су настали као резултат рада на овој дисертацији. Коаутор је и два софтверска пакета за електромагнетско моделовање.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Структура и садржај дисертације

Дисертација садржи насловну страну (на српском и енглеском језику), три потписане изјаве (у складу с правилником Универзитета у Београду), страну са информацијама о ментору и члановима комисије, резиме (на српском и енглеском језику), садржај, 7 поглавља и литературу. Наслови поглавља су: 1. Увод, 2. Решавање интегралних једначина електромагнетског поља методом момената, 3. Метода момената вођена физичком оптиком – нова метода за итеративно решавање интегралних једначина електромагнетског поља, 4. Детаљи реализације методе момената вођене физичком оптиком, 5. Примери примене методе момената вођене физичком оптиком на расејаче, 6. Примери примене методе момената вођене физичком оптиком на антене на великим платформама и 7. Закључак. По структури и садржају, поднети рад задовољава све стандарде за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље (Увод) кроз кратак историјат електромагнетике и концепт електромагнетског поља и његових извора води ка појму електромагнетске анализе и начинима за њено извођење. Сместивши решавање интегралних једначина електромагнетског поља у комплексном домену у центар свог интересовања и препознавши методу момената као најзаступљенији нумерички егзактан начин за одређивање тог решења, аутор уводи концепт стандардног решења и апроксимативног решења, дајући прецизан осврт на постојеће методе из обе категорије. Као циљ рада описаног у дисертацији истиче се изналажење нове методе за итеративно решавање површинских интегралних једначина електромагнетског поља, погодне за решавање електрично великих проблема на персоналним рачунарима. Затим је описан низ корака који су довели до дефинисања финалног облика нове методе. На крају увода је укратко дат садржај наредних поглавља дисертације.

У другом поглављу најпре је изложена теорија површинских интегралних једначина електромагнетског поља у део по део хомогеној средини, у два случаја: структуре у пољу електромагнетског таласа (расејачки проблем) и структуре са сопственим изворима електромагнетског поља (антенски проблем). Затим је изложена метода момената (енглески *Method of Moments*, скраћено *MoM*), једна од најважнијих метода у нумеричкој електромагнетици. Ова метода примењена на површинске интегралне једначине, послужила је као основа за дефинисање нове методе у наредном поглављу.

У трећем поглављу је изложена оригинална метода за електромагнетско моделовање расејања од електрички великих платформи (авиона, хеликоптера итд.) и зрачења антена постављених на те платформе, која се заснива на специфичном итеративном поступку за решавање система линеарних једначина добијених применом *MoM*-а на површинске интегралне једначине. Како се у свакој итерацији нове методе користи апроксимација физичке оптике (енглески *Physical Optics*, скраћено *PO*) за корекцију решења, прво је укратко објашњена ова апроксимација и како се она користи за брзу процену струја индукованих по металним површинама. Затим је објашњен итеративни поступак у случају металних расејача, где свака итерација обухвата неколико корака: 1) решење из претходне итерације користи се као побуда за текућу итерацију и на основу те побуде одређују се корекционе *PO* струје, 2) корекционе *PO* струје се моделују *MoM* функцијама базиса, које се групишу у тзв. макро функције базиса и 3) финалне тежине макро функција базиса се добијају минимизацијом резидуума оригиналног система *MoM* једначина. На крају је објашњено како се метода може применити на случај антена постављених на велике платформе, увођењем појма *MoM* зоне, у којој се макро функција базиса одређује *MoM*-ом. Нова метода названа је метода момената вођена физичком оптиком (на енглеском *PO Driven MoM*, скраћено *PDM*).

У четвртом поглављу дат је један конкретан пример реализације *PDM*-а, који се базира на примени *MoM*-а на интегралну једначину електричног поља и тзв. *PMCHW* интегралну једначину, а у комбинацији са функцијама базиса вишег реда полиномског типа дефинисаних на градивним елементима у облику билинеарних површи. Разматране су различите стратегије груписања *MoM* функција базиса и креирања макро функција базиса, како у *PO*, тако и у *MoM* зонама. Посебно је извршена процена потребног броја рачунских операција, релативног времена трајања анализе, као и меморијских захтева *PDM* методе, показујући знатно смањење ресурса потребних за добијање решења у односу на стандардну *MoM* процедуру.

У петом поглављу приказани су резултати *PDM* анализе електрички великих расејача. Анализирана су два канонична случаја, расејање од сфере и коцке, и два реална примера из инжењерске праксе, расејање од авиона и хеликоптера. У шестом поглављу приказани су резултати *PDM* анализе за антене монтиране на електрично велике платформе: авион и хеликоптер. Анализирани су: микрострип антена, полуталасни дипол и планарни низ микрострип антена. У оба поглавља је разматран је утицај броја група *MoM* функција базиса и начин њиховог избора на брзину конвергенције, као и потребан број итерација за задату тачност. Нумерички резултати за радарски одзив и добитак добијени *PDM* анализом упоређени су са одговарајућим резултатима добијеним *MoM* анализом.

У седмом поглављу (Закључак) су сумирани резултати рада, изложени доприноси истраживања и предложен је даљи правац истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Актуелност решавања електрично великих проблема у нумеричкој електромагнетици не јењава од њеног конституисања као дисциплине (грубо говорећи, последњих четрдесет година). Нумерички егзактне методе још увек су презахтевне за персоналне рачунаре, а апроксимативне технике заснивају се на компромисима (нпр. у погледу тачности) који нису увек прихватљиви. И зато се сваким даном јављају радови који теже да оду корак даље у овој проблематици. Међу њима је и овај рад, који комбинује тачност *MoM*-а и ефикасност *PO* апроксимације знатно успешније него до сада постојеће методе.

Оригиналност ове дисертације огледа се пре свега у предлогу концептуално потпуно нове методе, која омогућава вишеструку редукацију ресурса у решавању електрички великих проблема. На једној страни она користи почетно/текуће решење и *PO* методу за конструкцију апроксимације непознате расподеле струја коришћењем малог броја макро функција базиса. На другој страни оптималне вредности тежинских коефицијената таквог развоја се добијају минимизацијом резидуума оригиналног система *MoM* једначина, што обезбеђује максимални поправак почетног/текућег решења. У самој реализацији *PDM* методе предложено је више оригиналних решења која се односе на груписање функција базиса, пројекцију *PO* струја на *MoM* функције базиса и одређивање макро-функција базиса у *PO* и *MoM* зонама.

Значај дисертације на теоријском нивоу јесте откривање новог начина за решавање електромагнетских проблема, а на практичном нивоу стварање могућности да се коришћењем персоналних рачунара реше проблеми за ред величине већи него до сада.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Наведену литературу можемо поделити у неколико група. Прву групу чине књиге које се баве класичном електромагнетиком. Затим су ту књиге у којима је акценат на нумеричкој електромагнетици. Следе књиге које се баве математиком која је у вези са темом дисертације (пре свега линеарном алгебром). У другом делу списка литературе преовлађују радови у часописима, који се баве решавањем интегралних једначина електромагнетског поља у комплексном домену. Последњу групу чине радови који су проистекли из рада на дисертацији, и који представљају генезу нове методе приказане у дисертацији. Све ове референце адекватно покривају најважније резултате релевантне за ову дисертацију.

3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Циљ рада проистекао је из практичне потребе. Напредовање ка томе циљу одвијало се у етапама, кроз заокружен низ корака: осмишљавање начина за унапређење постојећег решења, развој математичког модела према усвојеној идеји, израда програмског кода на основу математичког модела, уклапање новог кода у постојећи, израда електромагнетских модела и коначно, нумерички експерименти на електромагнетским моделима, коришћењем израђеног кода, ради провере основаности почетне идеје. Успешно испуњење постављених циљева сведочи о адекватној употреби научних метода.

3.4. Оцена применљивости и верификације остварених резултата

Резултати дисертације могу се применити за унапређивање ефикасности било ког постојећег програмског решења заснованог на *МоМ* дискретизацији површинских интегралних једначина електромагнетског поља.

Резултати дисертације су верификовани кроз нумеричке симулације и поређење добијених резултата са нумерички егзактним резултатима, што је у овом случају и најбоља могућа провера остварених резултата.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је показао способност за самостални научни рад, почевши од систематизације и критичког осврта на постојеће методе, преко уочавања актуелних проблема, развоја оригиналних метода, њихове вишеструке провере, све до зрелог приказивања постигнутих резултата у радовима, од којих је један објављен у врхунском међународном часопису.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни научни допринос из прве фазе истраживања, који је објављен у часопису са SCI листе (за које се рачуна impact factor) је:

- нова метода за електромагнетску анализу расејача, која омогућава ефикасну анализу електрично великих расејача коришћењем само једног персоналног рачунара.

Главни научни допринос из друге фазе истраживања, који се први пут појављује у овој дисертацији, је:

- нова метода за електромагнетску анализу антена на платформама, која омогућава ефикасну анализу антена на електрично великим платформама коришћењем само једног персоналног рачунара.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Хипотеза о могућности коришћења модификованих струја физичке оптике, за одређивање правца корекције при итеративном решавању интегралних једначина електромагнетског поља, била је смела, а пут до потпуно развијене методе приказане у дисертацији дуг. Приказана нова метода се може успешно применити на решавање веома великих електромагнетских проблема, расејача и антена, коришћењем само једног персоналног рачунара. Резултати истраживања у том погледу премашују почетна очекивања, а истовремено указују на нове правце развоја који се могу предузети.

4.3. Очекивана примена rezultata у пракси

Очекује се да програмски модул намењен нумеричком решавању електромагнетских проблема коришћењем нове методе приказане у дисертацији постане део домаћег софтверског пакета за електромагнетско моделовање WIPL-D, који спада у водеће програме тог типа у свету.

Постоји могућност да и креатори других софтверских пакета искористе приказану методу за израду сопствених програмских додатака.

4.4. Верификација научних доприноса

Кандидат је објавио више радова везаних за дисертацију, чији су резултати директно ушли у дисертацију или су тесно везани са истраживањима у дисертацији.

Један од тих радова објављен је у часопису ранга M21 према категоризацији Министарства просвете и науке Републике Србије:

1. **Tasić, M.**, Kolundžija, B., "Efficient Analysis of Large Scatterers by Physical Optics Driven Method of Moments," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.59, no.8, pp.2905-2915, Aug. 2011, impact factor 1.730 za 2010. godinu, DOI 10.1109/TAP.2011.2158785.

На конференцијама су презентовани следећи радови:

1. **Tasić, M.**, Kolundžija, B., "A PO Driven Iterative Solution of MFIE for Large Scatterers", *Proceedings of papers, 7th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, 2005*, Niš, Serbia, 28-30 Sept. 2005, pp. 24-27.
2. **Tasić, M.**, Kolundžija, B., "PO Driven Iterative Least Square Solution of MFIE", 22nd Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES 2006), CD ROM Edition: S15P06.pdf, Miami, March 2006.
3. **Tasić, M.**, Kolundžija, B., "Comparison of PO Driven and Conjugate Gradient Iterative Solution of Field Integral Equations", *ETRAN 2006*, Beograd, Srbija, 6-8 jun 2006.
4. **Tasić, M.**, Kolundžija, B., "PO Driven Iterative Galerkin Solution of Field Integral Equations", *Proc. IEEE AP-S Int. Symp.*, Albuquerque, NM, 9-14 July 2006, pp. 4073 - 4076.
5. Kolundžija, B., Šumić, D., Olčan, D., and **Tasić, M.**, "Electromagnetic modeling of complex and electrically large structures", *Proc. IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems, COMCAS 2008*, Tel-Aviv, 13-14 May 2008, pp. 1-10.
6. **Tasic, M.**, Kolundžija, B., "Advances in PO driven MoM," *International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2011*, pp.1124-1127, 12-16 Sept. 2011.
7. Kolundžija, B., **Tasic, M.**, Olcan, D., Zoric, D., Stevanetic, S., "Full-wave analysis of electrically large structures on desktop PCs" *Computational Electromagnetics International Workshop (CEM 2011)*, pp.122-127, 10-13 Aug. 2011.
8. Kolundžija, B., **Tasic, M.**, "Physical Optics Driven Method of Moments using Maximally Orthogonalized Basis Functions," *2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APS/URSI)*, pp.1-7, 3-8 July 2011.

Треба напоменути да се очекује публикавање још неких доприноса ове дисертације у часописима са SCI листе (за који се рачуна impact фактор).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

5.1. Кратак осврт на дисертацију у целини

Предмет истраживања ове дисертације је итеративно решавање интегралних једначина електромагнетског поља коришћењем метода физичке оптике. Главни допринос дисертације је нова метода за ефикасну апроксимативну анализу електрично великих расејача и антена на електрично великим платформама. На основу ове методе израђен је програмски модул за електромагнетску анализу, за који се очекује да постане део домаћег софтверског пакета за електромагнетско

моделовање WIPL-D. Дисертација је написана јасно и разумљиво, у складу са стандардима Електротехничког факултета и Универзитета у Београду.

5.2. Предлог Комисије Наставно-научном већу

Комисија констатује да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Комисија сматра да докторска дисертација мр Миодрага Тасића, под насловом “Итеративно решавање интегралних једначина електромагнетског поља коришћењем метода физичке оптике”, садржи оригиналне научне доприносе.

У складу са тим, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да ову дисертацију прихвати и одобри њену усмену јавну одбрану.

У Београду, 11. јун 2012. године

Чланови Комисије:

др *Бранко Колуџија*, редовни професор (ментор)
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

др *Антоније Ђорђевић*, редовни професор
Електротехнички факултет Универзитета у Београду

др *Братислав Миловановић*, редовни професор
Електронски факултет Универзитета у Нишу

др *Братислав Иричанин*, доцент
Електротехнички факултет Универзитета у Београду