

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Подобност теме и кандидата дипл. инг. Милоша Давидовића за израду докторске дисертације

На 762. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду, одржаној 14.05.2013. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата дипл. инг. електротехнике Милоша Давидовића за израду докторске дисертације под насловом **“Б-сплајн хексаедарски елементи за 3Д електромагнетско моделовање”**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милош Давидовић је рођен 29.01.1984. године у Београду где је завршио основну школу и Математичку гимназију, обе као носилац Вукове дипломе. Упоредо је завршио нижу и средњу музичку школу “Мокрањац”.

Електротехнички факултет, Универзитета у Београду уписао је 2002. године, као најбољи на пријемном испиту. Дипломирао је одбранивши дипломски рад “НМЕА декодирање и приказ података” са оценом 10, и средњом оценом 9,45 током студија. Упоредо са студијама на Електротехничком факултету, студирао је на гудачком одсеку Филолошко-уметничког факултета Универзитета у Крагујевцу, где је дипломирао са оценом 10 у класи проф. Срђана Стошића.

Као стипендиста Министарства науке, 2008. године уписао је докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Микроталасна техника, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Године 2011. запослио се у Институту за нуклеарне науке „Винча“, у Лабораторији “Заштита“ на радном месту испитивач нејонизујућег зрачења и као учесник на пројекту Министарства број ОН171028.

До сада је, као аутор или коаутор, објавио 7 научних радова у међународним часописима, од чега су 3 објављена у врхунским часописима (M21).

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је докторске студије уписао у априлу 2008. године као стипендиста Министарства науке. Све испите са модула Микроталасна техника, као и изборне предмете ван модула, кандидат је положио са оценом 10. У оквиру предмета *Метод момената у електромагнетици*, кандидат се бавио проучавањем општих поставки метода момената као и његовом применом на специјалне случајеве једнодимензионалних (1Д) и дводимензионалних (2Д) електростатичких проблема. У оквиру предмета *Електромагнетика*, кандидат је за практични део испита проучио проблеме расејања поља на савршено проводној сфери, као и

расејање на сфери обложеној диелектриком и развио софтвер заснован на Мијевој теорији расејања. У оквиру предмета *Антене и простирање радио таласа* кандидат је, користећи се софтвером Wipl-D, пројектовао микрострип слот антену, уз анализу могућности за увођење њене реконфигурабилности коришћењем пин диода у фидеру. У оквиру предмета *Линеарна алгебра* (који је ван модула), кандидат се упознао са основним појмовима везаним за опште векторске просторе, линеарне операторе над векторским просторима, као и са њиховим матричним представљањем. У оквиру предмета *Одабрана поглавља из симболичке алгебре* (који је ван модула) кандидат се упознао са основним појмовима из Гребнерових база полиномских идеала. У оквиру предмета *Метод коначних елемената у електромагнетици* кандидат је за практични део испита извршио прорачун 1Д проблема расејања и тродимензионалног (3Д) проблема правоугаоне резонантне шупљине користећи софтверске алате за симболички прорачун. У оквиру предмета *Микроталасна електроника* кандидат је проучио основе резонантних метода за карактеризацију материјала који се користе у микроталасној електронике. Испите *Научни рад 3* и *Научни рад 4* кандидат је положио на основу два рада са СЦИ листе (радови 5 и 6 кандидата, у списку радова) где је првопотписани аутор. У раду 5 извршена је анализа модова у оптичком и микроталасном воду уз коришћење линија тока електромагнетске енергије. Дат је детаљан опис метода конструкције линија а илустрована је и примена метода на неколико проблема који имају аналитичко решење. Резултати овог рада се једноставно могу проширити и на примену у накнадној анализи (postprocessing-у) у нумеричким методима. У раду 6 извршена је временско фреквенцијска анализа неколико аналитички задатих сигнала (у временском домену) коришћењем Хусимијеве функције.

У раду 1, који је у директној вези са предложеном темом, дат је приказ нове варијанте метода коначних елемената, где се за геометријско моделовање користе троваријететне Б-сплајн функције уз независно моделовање поља развојем по хијерархијским полиномијалним векторским базисним функцијама.

Списак радова кандидата у међународним часописима са импакт фактором:

1. Miloš D. Davidović, Branislav M. Notaroš, and Milan M. Ilic, *B-Spline Entire-Domain Higher Order Finite Elements for 3-D Electromagnetic Modeling*, **IEEE Microwave And Wireless Components Letters**, (2012), 22.10, 497-499 (M21)
2. Laslo J. Nadjdjerdj, Milos D. Davidovic, Dragomir D. Davidovic, Miodrag J. Milosevic, Dragana J. Jordanov, Srboljub J. Stankovic, Slobodan L. Prvanovic, *A possible improvement of the determination of Ba-133 activity and detection efficiency by the sum-peak method, by inclusion of the previously neglected transitions*, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, 698 (2013), 60-65 (M21)
3. Ilija Plećaš, Laslo Nadjdjerdj, and Miloš D. Davidović, *Optimisation by Mathematical Modeling of Physicochemical Characteristics of Concrete Containers in Radioactive Waste Management*, **Nuclear Technology & Radiation Protection** (2013), 28.1, (M22)

4. Laslo J. Nadjdjerdj, Dragana J. Jordanov, Miloš D. Davidović, *A new matrix method for calculating coincidence summing effects for gamma spectroscopy*, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A** 662 (2012) 21–25 (M21)

5. Miloš Davidović and Milena Davidović, *Mode Analysis of the Optical and the Microwave Waveguides Using Electromagnetic Energy Flow Lines*, **Acta Physica Polonica A** 116.4 (2009) (M23)

6. Miloš Davidović, Milena Davidović, Vuk Vojisavljevic, *Time–Frequency Analysis of Nonstationary Optical Signals Using Husimi Type Function* **Acta Physica Polonica A** 116.4 (2009) (M23)

Радови у међународним часописима

7. Srboľjub Stankovic , Radovan Ilic, Milos Davidovic, Miloľjko Kovacevic, Dragomir Davidovic, *Influence of Packaging Configuration with Kovar Lid on Radfet Response to Proton Irradiation*, **Nuclear Technology & Radiation Protection**, (2008), 23.1, 37-40

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат испуњава све формалне услове за започињање израде докторске дисертације са предложеном темом. Осим чврсто испуњених формалних услова, кандидат је у свом целокупном досадашњем раду показао особине неопходне за научноистраживачки рад, као што су схватање и проширивање теоријских концепата, самостално проучавање стручне литературе, оригиналност, способност формулисања алгоритама као и дефинисања структура података неопходних да би се теоријски модели могли користити за прорачуне на рачунару.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања у овој дисертацији је коришћење Б-сплајн функција у методи коначних елемената (*finite element method*, FEM) са применом на 3Д електромагнетске (ЕМ) проблеме. У раду ће бити проучени и проблеми геометријског моделовања и проблеми моделовања електромагнетског поља Б-сплајн функцијама. Основне особине нових формулација ће бити проучене на проблемима резонантних шупљина, где је могуће директно применити FEM без употребе апроксимативних граничних услова или хибридних формулација, што олакшава заснивање и концепцијски развој новог метода.

У раду ће бити размотрени аспекти 3Д геометријског моделовања Б-сплајн функцијама, имајући при томе у виду да се у широко распрострањеним приступима у геометријском моделовању као последњи степен описа са експлицитно задатом геометријом обично користе површи, док се запреминска тела описују без унутрашње параметризације. Такође, биће дат осврт на специфичности дискретизације геометрије разматраног проблема, мешинга, које су потребне за геометријско моделовање вишег реда. Осим проблема геометријског моделовања, биће размотрен и проблем апроксимације електричног поља коришћењем Б-сплајн функција у развоју. У вези са тим, биће дискутован проблем формирања 3Д функција базиса, а полазећи од полиномских хијерархијских базисних функција приказаних у

литератури. Будући да Б-сплајн функције не чине хијерархијски базис, али постоји могућност формирања хијерархијских функционалних простора, биће дат осврт на могућности које из тога произилазе. Биће размотрени проблеми h -рафинирања и p -рафинирања, и размотрен ред апроксимације поља који даје задовољавајуће резултате у погледу тачности и брзине израчунавања.

Основни циљ истраживања је

- формулисање метода коначних елемената уз употребу Б-сплајн функција за геометријско моделовање и апроксимацију поља у затвореним 3Д динамичким ЕМ проблемима.

У оквиру основног циља истраживања, биће проучене и

- могућности аутоматске параметризације елемената (геометријски) вишег реда,
- специфичности накнадне анализе (*postprocessing*-а) када се користе Б-сплајн геометријски елементи,
- карактеристике нове формулације у погледу тачности и брзине израчунавања и
- примене нове формулације на прорачун резонантних шупљина.

3. Значај истраживања

Метод коначних елемената је један од најзначајнијих нумеричких метода у модерној инжењерској пракси. Методи вишег реда (било у смислу вишег реда геометријске апроксимације, било у смислу вишег реда апроксимације поља) су све више заступљени у нумеричкој електромагнетици, јер пружају веће могућности при геометријском моделовању, побољшану конвергенцију и ефикасност. Иако су метод коначних елемената и његове основне поставке већ дуго познати, а нумеричка електромагнетика развијена научна област, истраживачки рад у овој области је врло жив. То је стога што употреба различитих базисних функција у формулацији може довести до драстичних разлика у тачности прорачуна и ефикасности. Међутим, успешност инжењерског пројекта из електромагнетике је у многоне одређена вештином практичара у формулацији проблема. Та вештина лежи у избору и употреби довољног броја детаља при геометријском моделовању и мешовању, затим у задавању разумне тачности у итеративним методима, и најзад у сврсисходној интерпретацији добијених резултата. Стога је за сваки нови метод неопходно проучити ове аспекте, како би се метод могао успешно користити у пракси.

Такође, битно је истаћи да модел геометрије и модел поља треба да задовоље веома различит скуп услова, тј. геометријски модел треба да буде компатибилан са савременим алатима за дизајнирање (*computer aided design*, CAD алати) и могућностима и ограничењима процеса израде, док са друге стране, апроксимација поља треба да што боље задовољи Максвелове једначине и граничне услове. Стога је битно и значајно испитати аспекте независног моделовања геометрије и поља, што би се могло постићи употребом троваријететних Б-сплајн функција за геометријско моделовање (јер Б-сплајн модели геометрије омогућавају компатибилност са CAD алатима), уз независно моделовање поља коришћењем хијерархијских полиномијалних векторских базисних функција, или коришћењем троваријететних Б-сплајн функција.

4. Осврт на релевантне библиографске изворе

Као основа предложеног истраживања служиће следећа литература

- [1] P. P. Silvester and R. L. Ferrari, *Finite Elements for Electrical Engineers*, Cambridge university press, 3rd edition, 1996.
- [2] J. Jin, *The Finite Elements Method in Electromagnetics*, John Wiley & Sons, Inc., 1993.

- [3] J. Volakis, A. Chatterjee, and L. Kempel, *Finite Element Method for Electromagnetics* (Antennas, Microwave Circuits, and Scattering Applications), IEEE Press, New York, Oxford University Press, 1998.
- [4] B. M. Notaroš, "Higher order frequency-domain computational electromagnetics," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.56, pp. 2251–2276, 2008.
- [5] M. M. Ilic, B. M. Notaroš, "Higher Order Hierarchical Curved Hexahedral Vector Finite Elements for Electromagnetic Modeling", *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol.51, no.3, pp.1026-1033, March 2003.
- [6] M. M. Ilić, M. Djordjević, A. Ž. Ilić, and B. M. Notaroš, "Higher Order Hybrid FEM-MoM Technique for Analysis of Antennas and Scatterers", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.57, no.5, pp.1452-1460, May 2009.
- [7] T. Hughes, J. A. Cottrell, and Y. Bazilevs, "Isogeometric analysis: CAD, finite elements, NURBS, exact geometry and mesh refinement," *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, vol.194, pp.4135–4195, 2005.
- [8] R. Vazquez and A. Buffa, "Isogeometric analysis for electromagnetic problems" *IEEE Trans. Mag.*, vol.46, no.8, pp.3305–3308, 2010.
- [9] M. K. Agoston, *Computer graphics and geometric modeling: implementation and algorithms*, Springer, 2005.
- [10] L. A. Piegl and W. Tiller, *The NURBs Book*, Springer-Verlag, 1997.
- [11] B. M. Kolundžija and A. R. Djordjević, *Electromagnetic Modeling of Composite Metallic and Dielectric Structures*, Artech House, Norwood, USA, 2002.

Референце [1]-[3] спадају у основну литературу везану за примену FEM у електромагнетици. У [4] је дат преглед метода вишег реда у електромагнетици. У [5] и [6] су уведене хијерархијске полиномијалне векторске базисне функције у FEM и хибридној FEM методи. У [7] је введен концепт изогеометријске анализе, чија је најзначајнија одлика да повећање тачности апроксимације поља не утиче на промену геометрије, тј. да је меш увек тачан без обзира на степен апроксимације поља. Референца [8] илуструје примену изогеометријске анализе на електромагнетске проблеме. Треба напоменути, да су у [7] и [8] апроксимација геометрије и поља повезани. Референце [9] и [10] дају преглед основних алгоритама који се користе у геометријском моделовању уопште и моделовању помоћу Б-сплајнова. Референца [11] даје детаљан опис методе момената, са акцентом на базисне функције вишег реда, као најзначајнијег алтернативног метода (методи коначних елемената) за решавање проблема у фреквенцијском домену.

5. Полазне хипотезе

Основне полазне поставке у раду су:

- Геометријско моделовање у FEM формулацији треба да буде што усклађеније са моделовањем које се користи у софтверским алатима за унос геометрије.
- Геометријско моделовање и моделовање поља треба да у прихватљивој мери буду одвојени, уважавајући различите критеријуме које треба да испуни модел геометрије и модел поља.
- Побољшање апроксимације поља не би требало да доводи до значајних промена у геометријском опису, што није случај при коришћену геометријских елемената ниског реда.
- Постоје ефикасни алгоритми за израчунавање Б-сплајн функција, тако да њихова употреба може допринети ефикасности предложене Б-сплајн FEM формулације.

6. Методи истраживања

Најпре се треба упознати са основама геометријског описа који се користи у инжењерској пракси, као и појмовима геометријског описа и тополошког описа. Потребно је такође извршити кратак преглед мешера који тренутно постоје, и предложити какве особине треба да има меш погодан за FEM формулацију вишег реда. Потом се треба упознати са различитим FEM формулацијама које користе апроксимације вишег реда и размотрити да ли постоји могућност њиховог унапређења.

При формулацији нових базисних функција треба детаљно извести изразе за попуњавање FEM матрица, и анализирати могућности ефикасног попуњавања матрица. Пошто је попуњавање матрица најзначајнији (и најтежи) део FEM алгоритма, на овај корак треба посебно обратити пажњу при формулисању сваког новог метода. За сваку имплементирану варијанту FEM алгоритма треба извршити процену времена попуњавања матрице као и анализу попуњености матрице, уколико је то примерено. Примери који ће бити анализирани треба да омогуће критичку анализу и геометријског моделовања и апроксимације поља. У ту сврху је најбоље разматрати проблеме са нетривијалном геометријом и доступним аналитичким решењем, као што је нпр. сферична резонантна шупљина. Такође, добијене резултате треба упоредити и са алтернативним FEM формулацијама. Предности и мане нових формулација ће бити критички сагледане и биће дате смернице за даљи рад.

7. Очекивани научни доприноси

Оригинални научни допринос дисертације би био у следећем:

- Формулација нове варијанте 3Д метода коначних елемената, где се независно моделују геометрија и поље уз употребу Б-сплајн функција за моделовање геометрије.
- Проширење ове формулације на двоструко моделовање Б-сплајновима, тј. моделовање и геометрије и поља, независно, Б-сплајн функцијама.

8. План истраживања и структура рада

Најпре ће бити проучено геометријско моделовање. Осим стандардне литературе из ове области, делом ће бити коришћена и упутства доступних софтверских библиотека за геометријско моделовање. На тај начин ће бити остварен целовит увид у проблеме геометријског моделовања, као и могуће предности коришћења елемената геометријски вишег реда за геометријско моделовање. Затим ће бити формулисана варијанта FEM метода где се независно моделују геометрија и електрично поље коришћењем троваријететних Б-сплајн функција за геометријско моделовање и хијерархијске полиномске векторске базисне функције за моделовање поља. Потом ће, као логично проширење, бити формулисана варијанта FEM метода за двоструко моделовање Б-сплајновима, тј. моделовање и геометрије и поља, независно, Б-сплајн функцијама. Формулисани методи ће бити тестирани на проблемима са нетривијалном геометријом, а коначно нумеричко решење ће бити поређено са доступним аналитичким решењем или са референтним нумеричким решењима.

Оквирна структура рада ће бити следећа:

- Увод (значај метода коначних елемената, општа формулација метода коначних елемената)
- Геометријско моделовање и дискретизација у методи коначних елемената вишег реда (преглед уобичајених пракси у геометријском моделовању, преглед основних особина Б-сплајн функција, триваријететне Б-сплајн функције за елементе вишег геометријског реда)
- Једноструко моделовање Б-сплајн функцијама (дефиниција базисних функција, попуњавање FEM матрица)

- Двоструко моделовање Б-сплајн функцијама (дефиниција базисних функција, попуњавање FEM матрица)
- Нумерички резултати и дискусија
- Закључак
- Литература

9. Закључак и предлог

На основу изложеног, комисија констатује да дипл. инг. електротехнике **Милош Д. Давидовић** испуњава све потребне услове да може приступити изради докторске дисертације под насловом **“Б-сплајн хексаедарски елементи за 3Д електромагнетско моделовање”**.

Предложена тема је научно заснована, припада ужој научној области Електромагнетика, антене и микроталаси и представља заснивање новог метода у нумеричкој електромагнетици. Тема је и од практичног значаја, јер омогућава ефикасан прорачун 3Д електромагнетских проблема.

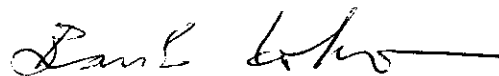
Стога комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да одобри Милошу Д. Давидовићу израду докторске дисертације под руководством др Милана Илића, ванредног професора са Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 10. 06. 2013.

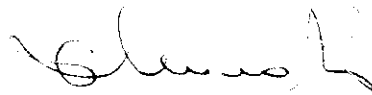
Чланови комисије



Др Милан Илић, ванредни професор
Електротехничког факултета Универзитета у Београду (ментор)



Др Бранко Колунџија, редовни професор
Електротехничког факултета Универзитета у Београду



Др Братислав Миловановић, редовни професор
Електронског факултета Универзитета у Нишу