

Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata Milana Kostića magistra elektrotehnike za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća br. 933/1 od 04.12.2013. godine imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Milan Kostića magistra elektrotehnike za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme "Efikasno elektromagnetsko modelovanje zasnovano na ortogonalizaciji funkcija bazisa i jednačina metode momenata".

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata Komisija podnosi sledeći izveštaj

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Milan Kostić je rođen 01.06.1979. godine u Pirotu. Osnovnu školu i prirodno-matematički smer gimnazije je završio u Pirotu. Nosilac je diplome "Vuk Stefanović Karadžić". Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu je upisao 1998. godine. Diplomirao je 06.09.2004. godine na Smeru za telekomunikacije Odseka za elektroniku, telekomunikacije i automatiku, sa ukupnom prosečnom ocenom 9.36. Diplomski rad "Prilog analizi signala impulsno-Doplerovog meteorološkog radara" odbranio je sa ocenom 10.

1.2. Stečeno naučno-istraživačko iskustvo

Postdiplomske studije je upisao 2004. godine iz oblasti Primenjena elektromagnetika i optoelektronika na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Sve predmete je položio sa ocenom 10. Magistarski rad "Dijakoptička analiza antenskih sistema", koji je radio pod rukovodstvom prof. dr Branka Kolundžije, je odbranio 01.11.2007. godine. U ovom radu kandidat je razradio opšti algoritam za računanje dijagrama zračenja proizvoljnih antenskih nizova i sistema polazeći od dijagrama zračenja pojedinih elemenata u tim nizovima i sistemima.

Od februara 2007. godine radi u firmi WIPL-D d.o.o. kao stručni saradnik za istraživanje i razvoj u oblasti softvera za elektromagnetsko modelovanje antena, rasejača, mikrotalasnih komponenti i problema elektromagnetske kompatibilnosti.

Tokom dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada kandidat je objavio jedan rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) i devet radova na međunarodnim skupovima štampanih u celini (M33). Ko-autor je softverskih paketa WIPL-D Pro i WIPL-D Pro Microwave. Glavni je autor softvera za analizu i projektovanje antenskih nizova WIPL-D Array Designer.

Spisak radova:

Radovi objavljeni u vrhunskim naučnim časopisima međunarodnog značaja **(M21)**

1. **Kostić M.M.**, Kolundzija B.M.: *Maximally Orthogonalized Higher Order Bases Over Generalized Wires, Quadrilaterals, and Hexahedra*, IEEE Trans. on Antennas and Propagat. Vol. 61, No. 6, pp. 3135 - 3148, June 2013.

Radovi saopšteni na međunarodnim naučnim skupovima **(M33)**

2. Janić B.B., **Kostić M.M.**, Kolundzija B.M.: *Evaluation of Absorber Reflectivity Using a Directive Antenna Array*, Proc. EuCAP Int. European Conf., CD ROM Edition: We2.10.9.pdf, Edinburgh, UK, Nov. 2007.
3. Janić B.B., **Kostić M.**, Kolundzija B.M.: *Diakoptic approach to simulation of large array of microstrip patch antennas with finite ground plane*, IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems, COMCAS 2008, Digital Object Identifier: 10.1109/COMCAS.2008.4562821, 2008.
4. Kolundzija B.M., Mrdaković B.L., **Kostić M.M.**, Sumić D.S.: *Efficient EM modeling based on conversion of triangular mesh into quadrilateral mesh*, International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, ICEAA '09, Digital Object Identifier: 10.1109/ICEAA.2009.5297630, pp. 47-50, Torino, 2009.
5. **Kostić M.M.**, Kolundzija B.M.: *Adaptive Refinement of Higher Order Method of Moment Applied to Surface Integral Equations*, Proceedings of EuCAP 2010, Barcelona, Spain, April 12-16, 2010.
6. **Kostić M.M.**, Kolundzija B.M., Sumić D.S., Mrdaković B.L.: *Optimized Quadrilateral Mesh for Higher Order Method of Moments Based on Triangular Mesh Decimation*, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, APS/URSI '10, Toronto, Ontario, Canada, July 11- July 27, 2010.
7. **Kostić M.M.**, Kolundzija B.M.: *Adaptive Refinement of Higher Order Method of Moment Based on Separate Testing of Patch Residuum along its Axes*, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, APS/URSI '10, Toronto, Ontario, Canada, July 11- July 27, 2010.
8. Kolundzija B., **Kostić M.**: *Efficient Evaluation of Method of Moment Matrix Elements Due to Higher Order Basis Functions Defined Over Bilinear Surfaces*, Proc. of 29th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics, ACES 2013, Monterey, USA, 24-28 March 2013, pp. 12-17.
9. Kolundzija B., **Kostić M.**: *Matrix Equilibration in Method of Moment Solutions of Surface Integral Equations*, Proc. of the URSI Commission B 2013 Int. Symp. on Electromagnetic Theory, Hiroshima, Japan, 20-24 May 2013. 21PM1B-04, pp. 147-150, ISBN 978-4-88552-276-5.
10. Mrdaković B., **Kostić M.**, Zorić D., Stevanetić M., Tasić M., Kolundzija B.: *Quadrilateral Meshing Technique Optimized for Higher Order Basis Functions*, Proc. of 2013 IEEE AP-S/URSI-USNC Symposium, Orlando, USA, 7-13 July 2013, pp. 2335-2336, ISSN 1522-3965, ISBN 978-1-4673-5315-1.

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Kandidat ispunjava sve formalne uslove za izradu doktorske disertacije sa predloženom temom. Osim ispunjenih formalnih uslova kandidat je svojim dosadašnjim radom pokazao da ima dobre predispozicije za naučno-istraživački rad na predloženoj temi. Na jednoj strani kandidat se više godina bavi problemima elektromagnetskog modelovanja u kojima se koristi metoda momenata, pa su i njegovi najznačajniji dosadašnji radovi iz te oblasti. Na drugoj strani u svom dosadašnjem istraživačkom i stručnom radu kandidat je pokazao vrednoću i upornost u rešavanju problema, sposobnost za samostalno proučavanje stručne literature, veštinu implementacije različitih metoda numeričke elektromagnetike, sposobnost kritične validacije ovih metoda na osnovu dobijenih rezultata i sposobnost koncipiranja novih algoritama radi prevazilaženja uočenih slabosti postojećih metoda. U tom smislu Komisija konstatuje da je kandidat dobar da radi na predloženoj temi.

2. Predmet i cilj istraživanja

Jedan od najčešće korišćenih metoda u primenjenoj elektromagnetici za potrebe analize i sinteze antena, analize elektromagnetske interferencije i kompatibilnosti i projektovanja mikrotalasnih kola u frekventnom domenu je metod momenata (Method of Moments - MoM) primenjen na rešavanje tzv. površinskih integralnih jednačina polja (Surface Integral Equations - SIEs). Otuda i skraćeno ime za ovaj metod u obliku MoM/SIE. U slučaju ovog metoda struje indukovane po metalnim površima i ekvivalentne električne i magnetske struje raspodeljene po graničnim površima dielektričnih i magnetskih materijala se aproksimiraju redom poznatih funkcija bazisa pomnoženih nepoznatim koeficijentima, a površinske integralne jednačine se transformišu u sistem linearnih jednačina - matricnu jednačinu, čijim se rešavanjem ti nepoznati koeficijenti određuju.

Broj nepoznatih koeficijenata N raste sa električnom veličinom i složenošću strukture koja se analizira. Sa povećanjem broja nepoznatih koeficijenata, memorijsko zauzeće i računarsko vreme potrebno za računanje elemenata matricne jednačine rastu srazmerno sa N^2 . U slučaju kada se za rešavanje matricne jednačine koriste direktne metode (npr. Gausova eliminacija ili LU dekompozicija) vreme potrebno za rešavanje matricne jednačine raste sa N^3 . Odatle sledi da je veličina elektromagnetskog problema (izražena brojem nepoznatih koeficijenata) koji se može rešiti ograničena memorijskim resursima kompjutera i vremenskim resursima koji stoje na raspolaganju za simulaciju.

Postoji više načina da se redukuju memorijski resursi i vreme potrebno za simulaciju. Jedan način je da se smanji broj nepoznatih koeficijenata potreban za željenu tačnost, što se postiže adekvatnim izborom polazne integralne jednačine i test procedure, a pre svega korišćenjem sofisticiranih funkcija bazisa višeg reda umesto najčešće korišćenih funkcija bazisa najnižeg reda. Drugi način je da se umesto direktnih metoda za rešavanje matricne jednačine koriste iterativne metode, tako da je vreme potrebno za ovo rešavanje srazmerno sa MN^2 , gde je M broj iteracija koji se koristi da bi se stiglo do dovoljno tačnog rešenja. Treći način je da se koriste razne metode za kompresiju matricne jednačine, sa idejom da memorijsko zauzeće matrice bude srazmerno sa N , a vreme računanja jedne iteracije iterativnog postupka sa $N \log N$.

Da bi metode, koje se baziraju na iterativnom rešavanju matricne jednačine (gore pomenuti drugi i treći način), bile doista efikasne u redukciji vremena simulacije potrebno je da broj iteracija M bude relativno mali u odnosu na broj nepoznatih koeficijenata N . Međutim, pokazuje se da broj iteracija dramatično zavisi od tipa elektromagnetskog problema koji se rešava, tako da je u mnogim slučajevima broj iteracija poredljiv sa brojem nepoznatih koeficijenata, ili čak veći od njega, a u nekim slučajevima iterativni postupak uopšte ne konvergira tačnom rešenju. Takođe se pokazuje da je u slučaju spore konvergenције uslovljenost matrice koja se rešava jako slaba, odnosno da je kondicioni broj matrice jako visok.

U zadnjih deset godina u krugovima onih koji se bave elektromagnetskim simulacijama velika pažnja se posvećuje razvoju metoda koje rezultuju smanjenim kondicionim brojem matrice koja se rešava. U najvećem broju radova ti napor su usmereni u dva glavna pravca: 1) izboru ili razvoju nove integralne jednačine i 2) primeni postojećih i razvoju novih prekondicioner-a. Međutim, kada je u pitanju analiza struktura čiji se opseg veličina kreće od jednog hiljaditog dela talasne dužine do hiljadu talasnih dužina i dalje se najtačnijim smatraju klasične jednačine: jednačina električnog polja (Electric Field Integral Equation - EFIE) za metalne granične površi i jednačina PMCHWT za dielektrične i magnetske granične površi. Kada su u pitanju prekondicioneri koji se mogu primeniti na ove jednačine najčešće se konstatuje njihova manja ili veća uspešnost u smanjenju kondicionog broja i broja iteracija za pojedine pitomije klase problema kao što su metalni rasejači, dok se njihova efikasnost u slučaju zahtevnijih problema kao što su izrazito rezonantne strukture uopšte i ne razmatra.

Posebno malo ima radova u kojima se prekondicioneri kombinuju sa funkcijama bazisa višeg reda, a upravo se od kombinacije ovih funkcija sa iterativnim metodama očekuje da pruži najefikasniju analizu. Na drugoj strani primećeno je da se kondicioni broj matrice sistema u slučaju funkcija bazisa višeg reda može dramatično smanjiti međusobnom ortogonalizacijom funkcija bazisa koje imaju zajedničku oblast definisanosti. Ovakva ortogonalizacija se može interpretirati i kao primena odgovarajućeg simetričnog

prekondicionera na originalni sistem jednačina, za razliku od standardnih prekondicionera koji su po svojoj prirodi nesimetrični i levo-strani. Oдавde se može pretpostaviti da bi se dalje smanjenje kondicionog broja moglo postići ortogonalizacijom vrsta i kolona same matrične jednačine na način koji odgovara formiranju simetričnog prekondicionera.

Glavni ciljevi ovog rada su: 1) razvoj metoda za maksimalnu ortogonalizaciju funkcija bazisa višeg reda, i 2) razvoj metoda za efikasnu ortogonalizaciju vrsta i kolona matrične jednačine, a u zajedničkom cilju minimizacije kondicionog broja matrične jednačine dobijene primenom metode momenata na površinske integralne jednačine i minimizacije broja iteracija potrebnih da se ova matrična jednačina reši iterativnim postupcima.

2.1. Osvrt na relevantne bibliografske izvore

- [1] Harrington R.F.: *Field Computation by Moment Methods*, New York: Macmillan, 1968. Reprinted by IEEE Press, New York, 1993.
- [2] Miller E.K., Medgyesi-Mitschang L., Newman E.H. (eds.): *Computational Electromagnetics: Frequency-Domain Method of Moments*, New York: IEEE Press, 1992.
- [3] Kolundzija B.M., Djordjevic A.R.: *Electromagnetic Modeling of Composite Metallic and Dielectric Structures*, Boston: Artech House, 2002.
- [4] Kolundzija B.M., Popovic B.D.: *Entire-domain Galerkin method for analysis of generalized wire antennas and scatterers*, Proc. Inst. Elect. Eng., Pt. H, Vol. 139, No. 1, pp. 17–24, February 1992.
- [5] Sarkar T.K., Yang X., Arvas E.: *A limited survey of various conjugate gradient methods for solving complex matrix equations arising in electromagnetic wave interactions*, Wave Motion, Vol. 10, pp. 527–546, 1988.
- [6] Saad Y.: *Iterative Methods for Sparse Linear Systems*, PWS Publishing Company, Boston, MA., 1996. (Second edition freely available from <http://wwwusers.cs.umn.edu/~saad/books.html>)
- [7] Henk A. van der Vorst: *Iterative Krylov Methods for Large Linear Systems*, Cambridge University Press, 2003.
- [8] Kolundzija B., Sarkar T.: *Iterative solvers in frequency analysis of complex structures based on MoM solution of surface integral equations*, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, APS/URSI, Boston, MA, USA, pp. 588–591, 2001.
- [9] Jørgensen E., Volakis J.L., Meincke P., Breinbjerg O., “Higher Order Hierarchical Legendre Basis Functions for Electromagnetic Modeling,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 52, No. 11, pp. 2985–2995, November 2004.
- [10] Sumic D.S., Kolundzija B.M., *Efficient Iterative Solution of Surface Integral Equations Based on Maximally Orthogonalized Higher Order Basis Functions*, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 4A, pp. 288–291, July 2005.
- [11] Chew W.C., Jin J.M., Michielssen E., Song J., (eds.) *Fast and Efficient Algorithms in Computational Electromagnetics*, Norwood, MA: Artech House, 2001.
- [12] Sertel K. and Volakis J. L., *Incomplete LU preconditioner for FMM implementation*, Microw. Opt. Tech. Lett., Vol. 28, pp. 265–267, 2000.
- [13] Landesa L., Araújo M.G., Taboada J.M., Bote L., Obelleiro F.: *Improving condition number and convergence of the surface integral-equation method of moments for penetrable bodies*, Optics express, Vol. 20, No. 15, pp. 17237–17249, July 2012.

Referenca [1] predstavlja jednu od glavnih referenci iz oblasti metode momenata. U referencama [2] i [3] je detaljno data teorija rešavanja površinskih integralnih jednačina. Referenca [4] daje prvu opštu teoriju funkcija bazisa višeg reda. Referenca [5] daje pregled opšte teorije iterativnih metoda konjugovanih gradijenata za rešavanje sistema linearnih jednačina. Reference [6] i [7] daju pregled različitih metoda za iterativno rešavanje sistema linearnih jednačina, kao i metoda za prekondicioniranje ovih sistema u cilju njihovog bržeg iterativnog rešavanja. Referenca [8] ukazuje na različite probleme u rešavanju površinskih integralnih jednačina iterativnim metodama. Reference [9] i [10] ukazuju na značaj ortogonalizacije funkcija bazisa za iterativno rešavanje sistema linearnih jednačina dobijenih primenom metode momenata na površinske integralne jednačine. Referenca [11] daje pregled brzih multipolnih metoda koje se baziraju na iterativnom rešavanju sistema linearnih jednačina i po pravilu zahtevaju prekondicioniranje. Referenca [12] predstavlja jednu od prvih, a referenca [13] jednu od najnovijih referenci na temu prekondicioniranja sistema linearnih jednačina dobijenih primenom metode momenata na površinske integralne jednačine.

3. Polazne hipoteze

U radu se polazi od varijante MoM/SIE u kojoj se jednačine EFIE i PMCHWT testiraju Galerkinovom metodom, jer se ova varijanta smatra tačnijom od ostalih varijanti MoM/SIE kad god se veličina strukture kreće od jednog hiljaditog dela talasne dužine do hiljadu talasnih dužina. To se između ostalog objašnjava činjenicom da jedino ove dve jednačine pojedinačno i u kombinaciji, a uz korišćenje Galerkinove test procedure, vode očuvanju bilansa snaga numeričkog rešenja. Sem toga, kao funkcije bazisa biće korišćene funkcije bazisa višeg reda, jer one omogućavaju dobijanje rešenja željene tačnosti korišćenjem manjeg broja nepoznatih koeficijenata nego funkcije bazisa nižeg reda.

Generalno se kondicioni broj ovako dobijene matrične jednačine može smanjiti primenom adekvatnog prekondicionera. Međutim, standardni prekondicioneri su nesimetrični i levo-strani. Množenje matrične jednačine ovakvim prekondicionerima je ekvivalentno testiranju originalne integralne jednačine težinskim funkcijama koje predstavljaju linearnu kombinaciju funkcija bazisa, čime se narušava priroda Galerkinove test procedure. Pretpostavka je da optimalni prekondicioneri treba da budu takvi da se posle množenja matrične jednačine ne narušava priroda Galerkinove test procedure. Takvi prekondicioneri se mogu dobiti tako što će se originalne funkcije bazisa i njima jednake test funkcije istovremeno linearno kombinovati u nove funkcije bazisa i takodje njima jednake nove test funkcije. Tako dobijeni prekondicioneri bi bili simetrični dvo-strani prekondicioneri.

Ostaje pitanje kako treba kombinovati originalne funkcije bazisa da bi tako dobijeni simetrični prekondicioner rezultirao smanjenjem kondicionog broja matrice i smanjenjem broja iteracija. Pretpostavka je da se to može uraditi delimičnom/potpunom ortogonalizacijom vrsta/kolona matrične jednačine koje odgovaraju tim funkcijama bazisa. Npr. dve vrste/kolone se smatraju potpuno ortogonalizovanim ako je njihov skalarni proizvod jednak nuli. Posebno u slučaju funkcija bazisa višeg reda, koje imaju zajedničku oblast definisanosti, to se može uraditi delimičnom/potpunom ortogonalizacijom funkcija bazisa te oblasti. Npr. dve takve funkcije bazisa se smatraju potpuno ortogonalizovanim ako je njihov unutrašnji proizvod jednak nuli.

Kako se ortogonalizacija funkcija bazisa i vrsta/kolona matrične jednačine može obaviti na različite načine potrebno je te načine ispitati i odrediti optimalnu strategiju ortogonalizacije, tako da se u minimalnom broju dodatnih operacija dobije što manji kondicioni broj sistemske matrice.

4. Naučne metode istraživanja

- Prikupljanje postojećih znanja objavljenih u otvorenoj literaturi, a pre svega u časopisima i zbornicima radova koji se bave elektromagnetskim modelovanjem.
- Korišćenje programskog paketa WIPL-D Pro za dobijanje matričnih jednačina, kondicionih brojeva i broja iteracija pre primene novorazvijenih tehnika.
- Teorijska analiza prikupljenih radova i empirijskih podataka i postavljanje hipoteza o načinu rešenja postavljenog problema.
- Razvoj i primena matematičkih metoda za ortogonalizaciju funkcija bazisa i vrsta/kolona matrične jednačine.
- Razvoj programskih modula i paketa u kojima su implementirane ortogonalizovane funkcije bazisa i algoritmi za ortogonalizaciju vrsta i kolona matrice sistema.
- Komparativna analiza kondicionih brojeva i broj iteracija potrebnih za rešavanje matrične jednačine pre i posle primene novorazvijenih tehnika.
- Poređenje efikasnosti novorazvijenih tehnika u smanjenju kondicionog broja i broja iteracija sa standardnim metodama prekondicioniranja.

5. Očekivani naučni doprinosi

- Razvoj procedure za konstrukciju maksimalno ortogonalizovanih funkcija bazisa definisanih na zakrivljenim četvorougaoim (površinskim) elementima, koje automatski zadovoljavaju jednačinu kontinuiteta struja na krajevima i spojevima elemenata, a na bazi dvostepene Gram-Šmit-ove procedure.
- Proširenje teorije maksimalno ortogonalizovanih funkcija bazisa na zakrivljene žičane (linijske) i heksaedarske (zapreminske) elemente.
- Tabeliranje ortogonalizovanih funkcija bazisa za različite redove aproksimacije izražene preko (1) stepenih funkcija i (2) Ležandrovih polinoma.
- Razvoj tehnika za optimalno skaliranje ortogonalizovanih funkcija bazisa, tj. određivanje optimalnih težinskih koeficijenata funkcija bazisa posle ortogonalizacije, a pre određivanje nepoznatih koeficijenata rešavanjem matrične jednačine.
- Izvođenje relacije između maksimalno ortogonalizovanih funkcija bazisa višeg reda i drugih tipova funkcija bazisa višeg reda, sa akcentom na primenu kod već postojećih algoritama post-procesiranja;
- Razvoj tehnike za simetrično prekondicioniranje koja se bazira na efikasnoj ortogonalizaciji vrsta i kolona originalne matrične jednačine.

Generalno, ovi doprinosi bi ne samo omogućili efikasnije i pouzdanije elektromagnetsko modelovanje u frekventnom domenu korišćenjem metode momenata, već bi se i značajno proširila oblast problema koji se mogu rešiti metodom momenata korišćenjem datih resursa.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Istraživanje pri izradi predložene disertacije trebalo bi da se izvrši u skladu sa sledećim planom istraživanja:

- Pregled postojećih metoda sinteze funkcija bazisa višeg reda u dostupnoj literaturi, uz uporednu analizu njihovih karakteristika i prilagođenosti za efikasno rešavanje složenih EM problema kako direktnim tako i iterativnim metodama.
- Razvoj teorije maksimalno ortogonalizovanih funkcija bazisa i implementacija te teorije u odgovarajuće programske module, a radi njenog testiranja kroz numeričke eksperimente koji obuhvataju simulacije tipičnih problema elektromagnetskog modelovanja.
- Prilagođavanje izvedenih izraza za maksimalno ortogonalizovane funkcije bazisa višeg reda postojećim šemama post-procesiranja rezultata koje se originalno zasnivaju na drugim tipovima funkcija bazisa višeg reda.
- Testiranje maksimalno ortogonalizovanih funkcija bazisa u kombinaciji sa različitim tehnikama skaliranja tih funkcija bazisa, a radi određivanja optimalne tehnike skaliranja.
- Pregled postojećih tehnika za prekondicioniranje matrica u dostupnoj literaturi i analiza njihovih dobrih i loših osobina.
- Razvoj simetričnog prekondicionera koji se bazira na istovremenoj ortogonalizaciji vrsta i kolona originalne matrične jednačine i njegova implementacija u odgovarajuće programske module radi testiranja.
- Poređenje performansi novorazvijenog simetričnog prekondicioniranja sa performansama standardnih tehnika za prekondicioniranje.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu svega izloženog Komisija konstatuje da kandidat Milan Kostić ispunjava potrebne uslove da može pristupiti izradi doktorske disertacije pod radnim naslovom **"Efikasno elektromagnetsko modelovanje zasnovano na ortogonalizaciji funkcija bazisa i jednačina metode momenata"**, koja pripada užoj naučnoj oblasti Elektromagnetika, antene i mikrotalasi.

Stoga Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu da odobri Milanu Kostiću izradu doktorske disertacije pod gore navedenim naslovom, pod rukovodstvom mentora prof. dr Branka Kolundžije.

U Beogradu, 20. maja 2014. godine

Članovi Komisije



dr Branko Kolundžija, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet



dr Miodrag Tasić, docent
Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet



dr Bratislav Milovanović, redovni profesor
Univerzitet u Nišu - Elektronski fakultet