

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata Bojana Jovanovića, dipl. el. inž.

Odlukom br. 5015/2009/3 od 16.4.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Bojana Jovanovića, dipl. el. inž. pod naslovom

„Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma“.

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Na sednici Komisije za treći stepen studija Elektrotehničkog fakulteta održanoj 28.6.2012. godine konstatovano je da je mr Bojan Jovanović, dipl. el. inž. prijavio doktorsku disertaciju pod naslovom „Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma“ i u skladu sa Statutom Elektrotehničkog fakulteta, Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta je predložena Komisija za ocenu uslova i prihvatanje teme u sastavu: dr Predrag Osmokrović, red. prof. (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu), dr Jovan Cvetić, red. prof. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu), dr Milorad Kuraica, vanr. prof. (Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu). Za mentora disertacije predložen je dr Predrag Osmokrović, red. prof. Na 751. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 3.7.2012. godine, prihvaćen je predlog Komisije za treći stepen studija i potvrđena je predložena Komisija za ocenu uslova i prihvatanja teme, kao i predloženi mentor. Na osnovu izveštaja Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme i prateće dokumentacije doktorske disertacije „Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma“ predložena tema je usvojena na 754. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 23.10.2012. godine, a 24.12.2012. godine potvrđena je odlukom pod brojem 06-21061/20-12 od strane Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Na sednici Komisije za treći stepen studija održanoj 9.4.2013. godine konstatovano je da je kandidat mr Bojan Jovanović, dipl. el. inž. predao urađenu doktorsku disertaciju, pa je na osnovu uvida u disertaciju i pratećih dokumenata, a u skladu sa Statutom Elektrotehničkog fakulteta, Komisija za treći stepen studija potvrdila ispunjenost potrebnih uslova za podnošenje predloga Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta za formiranje Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije. Komisija za treći stepen studija je predložila Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta Komisiju za pregled i ocenu u sastavu: dr Predrag Osmokrović, red. prof. (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu), dr Jovan Cvetić, red. prof. (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu), dr Aleksandra Vasić, red. prof. (Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu). Na 761. sednici Nastavno-

naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 16.4.2013. godine, je ovaj predlog Komisije za treći stepen studija prihvaćen s tim što su u komisiju za pregled i ocenu dodati dr Miloš Vujisić, doc. (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu) i dr Koviljka Stanković, doc. (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu).

1.2. Naučna oblast disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom „Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma“ pripada naučnoj oblasti elektrotehničkih materijala, pri čemu sadrži elemente iz oblasti fizike plazme i metrologije. Mentor disertacije je dr Predrag Osmokrović, red. prof. Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu koji se više od 30 godina aktivno bavi naučnoistraživačkim i nastavnim radom u oblastima elektrotehničkih materijala, nuklearne tehnike i metrologije. Do sada je objavio 125 radova u časopisima sa SCI liste.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Bojan Jovanović je rođen 27.12.1985. godine u Kosovskoj Mitrovici. Osnovnu školu i gimnaziju prirodno-matematičkog smera završio je u Kosovskoj Mitrovici. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Prištini 2009. godine. Doktorske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu upisao je školske 2009/2010. godine na Modulu za nuklearnu, medicinsku i ekološku tehniku i zaključno sa školskom 2011/2012. ispunio je sve obaveze predviđene planom i programom doktorskih studija.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Bojana Jovanovića, dipl. el. inž. pod naslovom „Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma“ napisana je na 168 strane latiničnim pismom, pri čemu sadrži spisak literature sa 261 referencom; podeljena je na devet poglavlja. Poglavlja doktorske disertacije su: 1. Uvod; 2. Predprobojna jonizacija u gasovima u stabilnim uslovima ($V < V_s$); 3. Elektronska lavina ($V < V_s$); 4. Eksperimentalni podaci za koeficijente primarne sekundarne jonizacije; 5. Priraštaj jonizacije u jedinici vremena pri dovedenim impulsnim naponima ($V < V_s$); 6. Električni proboj u vakuumu; 7. Eksperiment snimanja Paschen-ove krive; 8. Pokretanje i razvoj električnog proboja u oblasti levo od Paschen-ovog minimuma; 9. Zaključak.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodu rada definisan je problem iz kojeg proizilazi potreba za poznavanjem mehanizma inicijacije i razvoja proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma, definisan je cilj rada i metodologija, odnosno polazne hipoteze koje omogućavaju da se postavljeni cilj ostvari. U drugom poglavlju, Predprobojna jonizacija u gasovima u stabilnim uslovima ($V < V_s$), prikazane su osnovne karakteristike jonizacionih procesa u gasovima koje su relevantne za procese električnih pražnjenja u gasovima. Drugo poglavlje podeljeno je na sledeća potpoglavlja: (I, V) karakteristike; Prostorni priraštaj predprobojne jonizacije pri konstantnom odnosu E/n ; Tauzend-ova opšta teorija električnog proboja: Jonizacija i električni proboj u elektronegativnom gasu, Jonizacija i električni proboj u slučaju zanemarljivog broja negativnih jona, Značaj stabilnog stanja; Opšta Tauzend-ova teorija i Pašen-ov zakon; Procesi sekundarne jonizacije: Promena koeficijenta ω/α sa promenom E/n , Promena koeficijenta ω/α

sa promenom stanja površine katode, Promena koeficijenta ω/α sa promenom pritiska, Električni proboj u jakim električnim poljima ($E > 10^7 \text{ Vm}^{-1}$). U trećem poglavlju, Elektronska lavina ($V < V_s$) (V_s -vrednost probojnog napona), dat je prikaz elementarnih procesa formiranja lavinskih pražnjenja Tauzendovog tipa, kojima se stvaraju uslovi za električni proboj plazme. Treće poglavlje podeljeno je na sledeća potpoglavlja: Lavine u kojima je zanemarljiva sekundarna jonizacija; Zanemarivanje efekta primarne jonizacije, Pojava primarne jonizacije uz zanemarivanje zahvata elektrona, Prisutna primarna jonizacija sa sekundarnim efektom zahvata elektrona, uz zanemarivanje efekta gubljenja (otpuštanja) elektrona, Prisutna primarna jonizacija sa sekundarnim efektom zahvata i gubljenja elektrona; Uzastopne lavine: Sekundarna jonizacija kao posledica zahvata elektrona sa katode od strane pozitivnih jona, Sekundarna jonizacija kao posledica upada fotona; Statistika elektronskih lavina i električnog proboja: Statistika jednostrukih lavina, Statistika serija lavina i električnih proboja, Statistika elektronskih lavina u jakim električnim poljima. U četvrtom poglavlju, Eksperimentalni podaci za koeficijente primarne sekundarne jonizacije, razmatrani su eksperimentalno i matematički određeni primarni sekundarni koeficijenti jonizacionih procesa u zavisnosti od parametara izolacionog sistema. Četvrto poglavlje podeljeno je na sledeća potpoglavlja: Eksperimentalne metode: Metode u stabilnom stanju, Merenje struja jonizacije, Merenje fotonskog fluksa, Impulsne metode, Merenje struja elektronskih lavina, Merenja fotonskog fluksa iz lavina; Eksperimentalni rezultati: Koeficijenti primarne jonizacije, Jednoatomske gasovi, Molekularni gasovi koji nisu elektronegativni, Elektronegativni gasovi, Koeficijenti sekundarne jonizacije. U petom poglavlju, Priraštaj jonizacije u jedinici vremena pri dovedenim impulsnim naponima ($V < V_s$), razmatrane su vremensko-prostorne karakteristike jonizacionih procesa u gasovima a navedeni su i primeri kompjuterske simulacije. Peto poglavlje podeljeno je na sledeća potpoglavlja: Vremenski priraštaj jonizacije za $V > V_s$ kada je prostorno naelektrisanje zanemarljivo: Primarna jonizacija i emisija sekundarnog elektrona sa katode usled interakcije pozitivnih jona i nezakasnelih fotona, Egzaktno rešenje jednačine za struju jonizacije, bez početne raspodele naelektrisanja, Davidson-ovo aproksimativno rešenje jednačine za struju jonizacije, bez početne raspodele naelektrisanja, Drugi sekundarni jonizacioni procesi na katodi, zahvat i gubljenje elektrona, Eksperimentalni rezultati, Merenje vremena formativnog kašnjenjem, Merenje priraštaja struje jonizacije u jedinici vremena; Vremenski priraštaj jonizacije kada prostorno naelektrisanje postane značajno: Razvoj strimera (strujnog mlaza), Kompjuterske simulacije. U šestom poglavlju, Električni proboj u vakuumu, prikazane su teorije električnog pražnjenja i proboja u vakuumu. Šesto poglavlje podeljeno je na sledeća potpoglavlja: Mehanizmi električnog proboja u vakuumu: Elektronska emisija, Proboj uzrokovan elektronskom emisijom, Proboj usled mikrodelića, Proboj uzrokovan lavinskim efektom. U sedmom poglavlju, Eksperiment snimanja Paschen-ove krive, prikazan je eksperimentalni postupak i oprema korišćena u radu. U osmom poglavlju, Pokretanje i razvoj električnog proboja u oblasti levo od Paschen-ovog minimuma, dati su eksperimentalno dobijeni rezultati i diskutovana njihova međupovezanost a u skladu sa prethodno iznesenim teoretskim razmatranjima. Osmo poglavlje podeljeno je na sledeća potpoglavlja: Mehanizam pokretanja i razvoja električnog proboja levo od Paschen-ovog minimuma; Opis eksperimenta i obrade dobijenih rezultata merenja; Rezultati i diskusija. U devetom poglavlju, Zaključak, zaključeno je da u tačkama levo od Paschenovog minimuma dolazi do prelaza iz Tauzendovog u anomalni Paschenov efekat nakon čega gasne mehanizme proboja zamenjuju vakuumske mehanizmi proboja što uslovljava prestanak važenja Zakona sličnosti. Takođe je napomenuto da se pri nižim vrednostima pritiska nakon gasnih mehanizama prvo javlja vakuumske i lavinske mehanizme proboja a nakon njega katodni mehanizam. Takođe su date granice između oblasti pd vrednosti za gasne mehanizme i vrednosti pritiska za vakuumske mehanizme unutar kojih se proboj inicira i razvija po gore pomenutim mehanizmima. Pri tome je naglašeno da te

granice nisu strogo determinističke i da postoji mogućnost da se proboj inicira mehanizmom karakterističnim za jednu oblast a razvija mehanizmom i u susednoj oblasti ili kombinacijom mehanizama karakterističnih za razgraničene oblasti.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Pašenovom krivom se prikazuje zavisnost vrednosti probojnog napona dvoelektrodnog sistema izolovanog gasom od proizvoda pritiska (p) i međuelektrodnog rastojanja (d). Jednoznačna zavisnost vrednosti dc probojnog napona od proizvoda pd direktna je posledica važenja zakona sličnosti za električno pražnjenje u gasovima. Pašenova kriva ima oblik asimetrične U-krive sa izrazitim minimumom koji se naziva Pašenovim minimumom. Pašenov minimum je određen vrednošću pritiska gasa (tj. gustine) pri kojoj Tauzendov jonizacioni koeficijent ima maksimalnu vrednost u zavisnosti od odnosa međuelektrodnog rastojanja srednje slobodne dužine puta elektrona. U tačkama desno od Pašenovog minimuma dc probojni napon se može, uslovno, smatrati determinističkom veličinom tj. veličinom prilikom čijeg određivanja je dominantna merna nesigurnost tip B. To je posledica činjenice da se u tačkama desno od Pašenovog minimuma dc proboj odvija samoodržavajućim gasnim multiplikativnim procesom uz vremensku konstatu promene napona mnogo veću od vremena karakterističnog za odvijanje elementarnih procesa gasnog pražnjenja. U tačkama levo od Pašenovog minimuma dc proboj se odvija kombinacijom gasnih mehanizama i vakuumskih mehanizmima, a javlja se i takozvani anomalni Pašenov efekat. To uslovljava da dc probojni napon u tačkama levo od Pašenovog minimuma bude statistička veličina tj. veličina prilikom čijeg određivanja je dominantna merna nesigurnost tip A. Vrednost impulsnog probojnog napona je stohastička veličina i levo i desno od Pašenovog minimuma. To je posledica činjenice da je vremenska konstanta promene impulsnog napona istog reda veličine kao vreme karakteristično za odvijanje elementarnih proces gasnog pražnjenja.

U radu je pokazano da u podoblasti koja se nalazi neposredno uz minimum, dolazi do proboja koji se odvija gasnim multiplikativnim mehanizmom i to Tauzendovog tipa. Takođe je pokazano da u sledećoj podoblasti sa nižim vrednostima proizvoda pd dolazi do proboja kombinacijom dva vakumska mehanizma-katodnim emisionim mehanizmom i vakumskim lavinskim mehanizmom. Udeo ova dva mehanizma zavisi od pritiska i vrste naponskog opterećenja. Pokazano je da u narednoj podoblasti dolazi do odvijanja proboja isključivo katodnim emisionim mehanizmom. Lavinski mehanizmu proboja vakuuma zasnovan je na mogućnosti iniciranja reakcionog lanca u kome naelektrisane čestice preleću vakuumski međuelektrodni prostor i prilikom sudara sa molekulima iz adsorbovanih slojeva gasa na elektrodama ili sa molekulima nečistoća pokreće neku vrstu lavinskog procesa. Pokazano je da je nužan uslov za delotvornost ovoga mehanizma postojanje adsorbovanih slojeva gasa ili nečistoća na elektrodama. Do sada nije, bezrezervno, potvrđeno postojanje ovoga mehanizma. Vremenska konstanta inicijacije i razvoja proboja vakuuma lavinskim mehanizmom trebalo bi da bude ista kao i za gasni proboj, tj. oko $1 \mu s$.

Rezultati prikazani u radu predstavljaju značajan doprinos teorije električnog pražnjenja u gasovima male gustine, tj. u oblasti prelaska gasnog mehanizma proboja u vakuumski mehanizam. Postignuti rezultati pokazuju da ne postoje jasno definisane granice koje razgraničavaju različite mehanizme proboja već da postoje granične oblasti unutar kojih se proboji mogu dešavati ili jednim ili drugim mehanizmom proboja koji razgraničavaju ili njihovom kombinacijom. Doktorska disertacija pored pomenutog teoretskog doprinosa ima i praktičan značaj pošto se u oblasti Pašenovog minimuma postavlja radna tačka gasnih odvodnika prenapona za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou. Rezultati prikazani

u doktorskoj disertaciji pod naslovom „Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma“ omogućavaju stabilizaciju radne tačke gasnih odvodnika prenapona u uslovima promene topografije elektrodnih površina i pritiska plemenitog gasa kojim je odvodnik punjen. Ovo je od posebne važnosti u savremenim uslovima povećane elektromagnetne kontaminiranosti životne sredine i sve većeg trenda ka minijaturizaciji elektronskih komponenata.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Literatura korišćena u radu je pažljivo odabrana. Ona sadrži najnovije radove relevantne za problematiku disertacije, ali sadrži i klasične radove. U navedenim referencama se nalaze i naučnih radovi, čije je autor, odnosno koautor, Bojan Jovanović.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U disertaciji pod naslovom „Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma“ primenjene su teoretske, eksperimentalne, matematičke i numeričke metode što ujedno predstavlja sve metode koje se koriste u inženjerskoj i naučnoj praksi. Tokom izrade rada su korišćene sve metode karakteristične za naučno-istraživački rad u oblasti tehničkih nauka. Pored teoretskih tumačenja formiranja eksperimentalnog postupka uz definisanje budžeta merne nesigurnosti i njenog izražavanja su korišćene i odgovarajuće statističke i numeričke metode za obradu eksperimentalno dobijenih rezultata svake serije merenja slučajne promenljive probojni napon.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Kao što je već napomenuto pored naučnih doprinosa tumačenja mehanizama prelaska iz električnog pražnjenja u gasovima u mehanizme električnog pražnjenja u vakuumima rad Bojana Jovanovića pod naslovom „Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma“ je značajan za sve one koji se bave projektovanjem gasnih odvodnika prenapona za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou. Na osnovu prikazanih rezultata u doktorskoj disertaciji Bojana Jovanovića moguće je rešiti dva bitna problema povezana sa primenom gasnih preodvodnika napona tj. problem stabilizacije radne tačke u uslovima dugotrajne eksploatacije kao i problem ubrzavanja odziva gasnog odvodnika bez primene predjonizacije radnog gasa pomoću radioaktivnih izotopa.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Bojan Jovanović je u najvećoj meri samostalno uradio izloženu disertaciju. On je na osnovu praćenja stručne literature i sagledavanju, u praksi prisutne, potrebe za izradom pouzdanijih i bržih gasnih odvodnika prenapona izvršio sveobuhvatnu analizu mehanizama električnog proboja u okolini Pašenovog minimuma.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Osnovni naučni doprinosi rada su:

- Pokazano je da u tačkama desno od Pašenovog minimuma, tj. u tačkama kod kojih je odnos srednje dužine slobodnog puta elektrona i međuelektrodno rastojanje malo manje

od 1 dolazi do prelaska iz strimerskog mehanizma proboja gasa u Tauzendorf mehanizam proboja gasa čime elektrode dobijaju odlučujuću ulogu u pozitivnoj povratnoj sprezi samoodržanja multiplikativnog procesa koji vodi proboju;

- Pokazano je da u tačkama levo od Pašenovog minimuma, neposredno uz minimum, dolazi do ojave anomalnog Pašenovog proboja. Ova pojava je objašnjena činjenicom da u tim tačkama varnica koja vrši proboj bira duži, energetski povoljniji, put duž ivičnih linija polja što dovodi do usporenog rasta Pašenove krive u ovoj oblasti. Ovaj rezultat omogućava postavljane radne tačke u oblasti anomalnog Pašenovog efekta što, uz oblike elektroda tipa Rogovskog omogućava stabilizaciju radne tačke u odnosu na promene vrednosti proizvoda pd ;
- Pokazano je da se u tačkama levo od tačaka u kojima se javlja anomalni Pašenov efekat proboj odvija vakuumskim lavinskim mehanizmom. Ovo predstavlja relevantan naučni doprinos pošto se samo u par radova novijeg datuma pominju rezultati koji ukazuju na opravdanost do sada teoretske hipoteze o mogućnosti postojanja lavinskog mehanizma proboja.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Sagledavanjem postavljenih hipoteza, ciljeva istraživanja i dobijenih rezultata konstatujemo da je kandidat uspešno odgovorio na sva bitna pitanja i dileme koje suštinski proizilaze iz obrađivane problematike. Razvijeni matematički i numerički algoritmi, kao i dobijena eksperimentalna rešenja, predstavljaju značajan naučni i stručni doprinos.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Bojan Jovanović u svojstvu autora i koautora do sada je objavio sledeće radove:

Kategorija M21:

B. Jovanović, K. Stanković, M. Vujisić, P. Osmokrović, Initiation and Progress of Breakdown in the Range to the Left of the Paschen Minimum, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 18 (2011), pp. 954-963 [ISSN 1070-9878], [IF: 1.729].

Kategorija M22:

M. Vujisić, K. Stanković, E. Dolićanin, **B. Jovanović**, Radiation Effects In Polycarbonate Capacitors, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, Vol. 24, No. 3, (2009), pp. 209-211 [ISSN 1451-3994] [IF: 0.550].

Kategorija M33:

A. Vasić, M. Vujisić, K. Stanković, **B. Jovanović**, Ambiguous Influence of Radiation Effects in Solar Cells, Progress In Electromagnetics Research Symposium PIERS 2010, Proceedings, pp. 1199-1203.

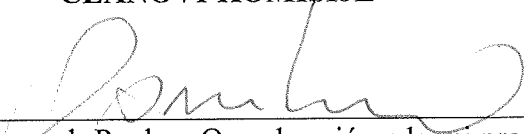
B. Lončar, S. Stanković, K. Stanković, **B. Jovanović**, Influence of Gamma Radiation on Some Commercial EPROM and EEPROM Components, Progress In Electromagnetics Research Symposium PIERS 2010, Proceedings, pp. 1193-1198.

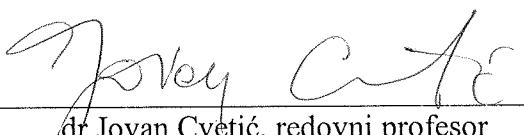
5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

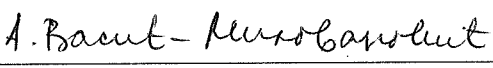
Doktorska disertacija kandidata mr Bojana Jovanovića, pod naslovom „Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma“ predstavlja savremen i originalan naučni doprinos kroz sveobuhvatno sagledavanje mehanizama električnog prežnjenja u tačkama oko Pašenovog minimuma. Ocenjujući doktorsku disertaciju, kao i činjenicu da je analizirana problematika veoma aktuelna i savremena sa aspekta naučnog i stručnog doprinosa, verifikovana objavljivanjem rezultata u časopisu sa SCI liste, a i podatak da su najvažniji rezultati dobijeni samostalnim radom, Komisija konstatuje da je kandidat Bojan Jovanović ispunio sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju i Statutom Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, te, sa zadovoljstvom, predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta da ovaj Izveštaj prihvati, i u skladu sa zakonskom procedurom i normativnim aktima Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje i davanje odobrenja kandidatu da pristupi usmenoj odbrani Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

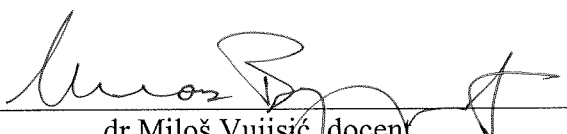
U Beogradu,
30.05.2013. godine

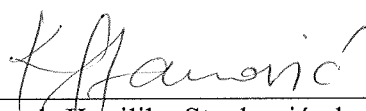
ČLANOVI KOMISIJE


dr Predrag Osmokrović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet


dr Jovan Cvetić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet


dr Aleksandra Vasić-Milovanović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet


dr Miloš Vujisić, docent
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet


dr Kovička Stanković, docent
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet