

Ag. 12. 1.

28.6.2011

UNIVERZITET U BEOGRADU

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA**

Predmet: Izveštaj Komisije o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata, mr Dušana Ilića dipl. el. ing.

Na 732. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu održanoj 24.05.2011. godine, određeni smo za članove Komisije za ocenu doktorske disertacije mr Dušana Ilića, dipl. el. ing., pod naslovom „Lavinski mehanizmi proboja vakuuma“. Nakon pregleda urađene doktorske disertacije podnosimo Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta sledeći

I Z V E Š T A J

1. UVOD

Naslov i obim disertacije

Doktorska disertacija mr Dušana Ilića, dipl. el. ing., pod naslovom „Lavinski mehanizmi proboja vakuuma“ napisana je na 143 strane latiničnim pismom, pri čemu sadrži spisak literature na 8 strana.

Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Na sednici Komisije za treći stepen studija Elektrotehničkog fakulteta održanoj 04.05.2010. godine konstatovano je da je Dušan Ilić prijavio doktorsku disertaciju pod naslovom „Lavinski mehanizmi proboja vakuuma“ i, u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama 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 u Beogradu), dr Jovan Cvetić, red. prof. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu), dr Milorad Kuraica, vanr. prof. (Fizički fakultet u Beogradu). Za mentora disertacije predložen je dr Predrag Osmokrović, red. prof. Na sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 11.05.2010. 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 „Lavinski mehanizmi proboja vakuuma“ predložena tema je usvojena na sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 25.05.2010. godine, a 04.06.2010. godine od strane Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Na sednici Komisije za treći stepen studija održanoj 14.05.2011. godine konstatovano je da je kandidat mr Dušan Ilić, dipl. el. ing. predao urađenu doktorsku disertaciju, pa je na osnovu uvida u disertaciju i pratećih dokumenata, a u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama 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 u Beogradu), dr Jovan Cvetić, red. prof. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu), dr Boris Lončar, vanr. prof. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu).

Na sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 24.05.2011. godine, prihvaćen je predlog Komisije za treći stepen studija, s tim što je Komisija za pregled i ocenu

urađene doktorske disertacije proširena sa dva člana i to sa dr Aleksandrom Vasić Milovanović, vanr. prof. (Mašinski fakultet u Beogradu) i doc. Miloš Vujisićem (Elektrotehnički fakultet u Beogradu).

Mesto doktorske disertacije u odgovarajućoj naučnoj oblasti

Doktorska disertacija pod naslovom „Lavinski mehanizmi proboja vakuuma“ pripada naučnoj oblasti Elektrotehničkih materijala pri čemu sadrži i elemente iz oblasti metrologije i fizike plazme.

Biografski podaci o kandidatu

Dušan Ilić rođen je 19.05.1970. u Zagrebu. Osnovnu i školu i matematičku gimnaziju završio je u Beogradu. Diplomirao je 1997. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu na smeru za energetske pretvarače i pogone. Na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je magistrirao 2010. godine. Po diplomiranju se zaposlio u kompaniji Phoenix Contact. Trenutno je zaposlen u preduzeću Metronik Inženjering d.o.o.

Tokom svog dosadašnjeg naučno – istraživačkog rada Dušan Ilić objavio je, u svojstvu autora i koautora, 3 rada u časopisima međunarodnog značaja (sa SCI liste), 2 rada na međunarodnim konferencijama (od kojih je 1 referisao) i 3 rada na domaćim konferencijama.

2. OPIS DISERTACIJE

Struktura i sadržaj disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom „Lavinski mehanizmi proboja vakuuma“ podeljena je na uvod, 10 poglavlja i spisak referenci. Poglavlja doktorske disertacije su: 1. Jonizacija u gasovima; 2. Emisija naelektrisanih čestica iz čvrstog tela; 3. Istraživanje izolacionih svojstava vakuuma; 4. Vakuumski luk; 5. Prekid struje u vakuumu; 6. Ispitivanje izolacionih osobina vakuuma; 7. Ispitni krugovi i oprema; 8. Eksperimentalni postupak i obrada rezultata merenja; 9. Rezultati i diskusija; 10. Zaključak.

Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodu je izložen problem, date osnovne hipoteze, definisan osnovni cilj i obrazložena primenjena metodologija. U prvom poglavlju razmatrane su jonizacija elektronima, jonizacija gasa, jonizacija brzim neutralnim atomima, jonizacija gasova i para svetlosnim kvantima, termalna jonizacija i ekscitacija, formiranje negativnih jona i pripajanje jona. U drugom poglavlju razmatrane su termojonska emisija elektrona, termojonska emisija pozitivnih jona, sekundarna elektronska emisija izazvana elektronima, sekundarna emisija elektrona izazvana pozitivnim jonima i metastabilnim atomima, fotoelektrična emisija, emisija pod dejstvom polja i sekundarna emisija pozitivnih jona. U trećem poglavlju razmatrani su mehanizmi električnog proboja u vakuumu, katodni proboj, anodni proboj, oblast važenja emisijonih mehanizama proboja i proboj usled mikrodela, proboj uzrokovan lavinskim efektom. U četvrtom poglavlju razmatrani su pojava vakuumskog luka, napon luka, vakuumski luk u magnetnom polju, pozitivni joni u vakuumskom luku, model vakuumskog luka, modelovanje katodne tačke, model za uski luk i anodu. U petom poglavlju razmatrani su prekid u difuznom vakuumskom luku, opadanje struje, struja nula, post-lučni period, post-lučna struja, prekid u limitiranom vakuumskom luku, očuvanje raspršenosti (disperzije) luka, opšta zapažanja, povećanje površine prekidača, seckanje struje, fenomen i posledice na energetske sisteme, principi pojave seckanja, prekidanje struje visoke frekvencije, značaj u kontekstu prebacivanja energije, fizički fenomeni vezani za prekidanje visokofrekventne struje, prekidanje konstantne struje i prekidači u seriji. U šestom poglavlju razmatrane su ispitivanja za vakuum, kratkotrajni prodor pražnjenja, ispitivanje

za uslov dodira nakon pretrpljenog kratkog spoja, određivanje veka trajanja prekidača, ispitivanje za X-zračenje, uporedno ispitivanje proizvoda vakuumske opreme, problemi ispitivanja, metoda ispitivanja, Weibull distribucija, test program i diskusija o rezultatima. U sedmom poglavlju razmatrani su ispitivani objekat, vakuumske diode, vakuumska ispitna komora sa promenljivim elektrodama, visokonaponski izvori, izvori impulsnog napona, izvor naizmeničnog napona, izvor istosmernog napona, uređaj za automatsko isključenje ispitnog trafoa, izvor jake struje, merni uređaji, merenje visokog napona, merenje napona i struje električnog luka, merenje emisije struje, registrovanje merenih signala, zaštita od X-zračenja i šema ispitnih krugova. U osmom poglavlju razmatran je eksperimentalni postupak i obrada rezultata merenja. U devetom poglavlju razmatrani su rezultati i data je njihova diskusija. U desetom poglavlju izneti su zaključci. Literatura se sastoji iz 172 reference.

3. OCENA DISERTACIJE

Savremenost, originalnost i značaj

Problematika disertacije je izuzetno aktuelna pošto potvrđuje postojanje lavinskog mehanizma proboja vakuuma koji je, do pojave rezultata Dušana Ilića, bio samo hipotetički pretpostavljen. Na taj način rezultati prikazani u tezi popunjavaju prazan prostor između gasnih mehanizama proboja i vakuumskog mehanizma proboja katodnog tipa koji se javljaju prilikom smanjenja pritiska gasa i/ili smanjenja međuelektrodnog rastojanja posmatranog izolacionog sistema. Tema je značajna pošto uvodi sasvim novi mehanizam izazivanja termičke nestabilnosti elektrodnog sistema sa posledicom proboja i potpuno je originalan pošto, kao što smo već rekli, postojanje ovog mehanizma predhodno nije eksperimentalno dokazano.

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.

Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost za sprovedeno istraživanje

U disertaciji pod naslovom „Lavinski mehanizmi proboja vakuuma“ primenjene su teoretske, eksperimentalne, matematičke i numeričke metode što ujedno predstavlja sve metode koje se koriste u inženjerskoj i naučnoj praksi. U radu je teoretskim putem, na osnovu poznatih efekata električnog pražnjenja u gasovima adsorbovanim na elektrodama izveden teoretski model lavinskog efekta koji je rezultiran dovođenjem takvih elektroda u stanje termičke nestabilnosti koje rezultira isparavanjem materijala od kojih su sačinjene i formiranjem gasnog oblaka u međuelektrodnom prostoru unutar kojeg dolazi do razvoja proboja. U cilju provere tako dobijenih originalnih modela inicijacije vakuumskog proboja lavinskim mehanizmom koncipirane su eksperimentalne metode koje su omogućavale da se, pod dobro kontrolisanim laboratorijskim uslovima, provere teoretski očekivani rezultati karakteristični za pretpostavljeni tip mehanizma inicijacije vakuumskog proboja. Eksperimenti su koncipirani i izvršeni po najvišim metrološkim standardima, pri čemu je dobijena stoprocentna reproduktivnost rezultata. Kombinovana merna nesigurnost eksperimentalnih postupaka ni u jednom slučaju nije bila veća od 5%. Primenom metoda statističke matematike i numeričkih metoda ispitana je adekvatnost teoretski pretpostavljenih i očekivanih ponašanja statističkog uzorka slučajne promenljive dc, ac i impulsni probojni napon što je omogućilo potvrdu teoretskog modela o postojanju lavinskog mehanizma inicijacije i razvoja vakuumskog proboja pomenutim mehanizmom. Navedeni pristup, odnosno naučni metod, primenjen u radu u potpunosti odgovara problemu i postavljenom cilju rada, a i svakako je najadekvatniji u tom smislu.

Ocena primenljivosti i verifikacije ostvarenih rezultata

Rezultati prikazani u radu i njihova eksperimentalna verifikacija, pored nesumnjive primenljivosti za konstrukciju vakuumom izolovanih sistema, posebno vakuumskih prekidača ima izrazitu teoretsku primenljivost u oblasti razvoja modela električnog pražnjenja sistema pri niskim vrednostima pritiska gasa i/ili međuelektrodnog rastojanja, odnosno u oblastima u kojima dolazi do kombinacije gasnih i vakuumskih mehanizama proboja.

Ocena sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat mr Dušan Ilić je u najvećoj meri samostalno uradio izloženu disertaciju. On je na osnovu praćenja stručne literature i sagledavanju u praksi detekcije lokalnog intenziteta jonizujućeg zračenja uočio problem koji je samostalno obradio u disertaciji i ostvario predviđeni cilj.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U disertaciji Dušana Ilića su ostvareni sledeći naučni doprinosi: 1 – teoretski je analizirana mogućnost nastupanja lavinskog mehanizma proboja u slojevima nečistoća i adsorbovanim slojevima gasa na elektrodama multiplikativnim efektima; 2 – povezani su mikroskopski efekti lavinskog mehanizma inicijacije proboja vakuuma sa makroskopskim efektima uticaja materijala elektroda, vrste rezidualnog gasa i oblika naponskog opterećenja; 3 – razvijeni su statistički i numerički algoritmi za određivanje uticaja parametara eksperimenta na ponašanje makroskopskog statističkog uzorka slučajne promenljive probojni napon vakuuma; 4 – eksperimentalnim postupkom, uz obradu eksperimentalno dobijenih rezultata prethodno razvijenim originalnim algoritmima, pokazao je da lavinski mehanizam proboja postoji i da se ponaša u potpunosti u skladu sa prethodno razvijenim teoretskim predviđanjima.

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 u oblasti izolacionih materijala i svih tehnoloških rešenja koja obuhvataju vakuum kao izolacioni medijum.

Očekivana primena rezultata u praksi

Dobijeni rezultati će svoju osnovnu primenu naći u konstruisanju pasivnih i aktivnih elektrotehničkih komponenata u kojima se koristi vakuum kao izolacioni medijum. Posebna mogućnost primene dobijenih rezultata je u konstrukciji gasnih odvodnika prenapona pošto pažljivom izradom istih uz eliminaciju uslova koji dovode do lavinskog mehanizma proboja vakuuma moguće je stabilizovati radnu tačku i izbeći problem ekstremno visokih vrednosti prvih proračunskih napona, znatno većih od nominalnog napona, što je i osnovni problem funkcionisanja sistema za koordinaciju izolacije u kojima se koriste gasni odvodnici prenapona.

Verifikovani naučni doprinosi

Kandidat Dušan Ilić u svojstvu autora i koautora do sada je objavio: 3 rada u časopisima međunarodnog značaja (sa *SCI* liste), 2 rada na međunarodnim konferencijama (od kojih je 1 referisao) i 3 rada na domaćim konferencijama.

Užoj oblasti naučne disertacije pripadaju sledeći radovi:

Ilic Dusan, Stankovic Koviljka Dj., Vujisic Milos Lj., Osmokrovic Predrag V., **Avalanche mechanism of vacuum breakdown**, Radiation effects and defects in solids, (2011), vol. 166, No. 2, pp. 137-149, [ISSN 1042-0150], [IF:0,550]

Osmokrovic Predrag V., Maric R., Stankovic Koviljka Dj., Ilic Dusan, Vujisic Milos LJ., **Validity of the space-time enlargement law for vacuum breakdown**, Vacuum, vol. 85, No. 2, pp. 221-230, [ISSN 0042-207X], [IF:0.975]

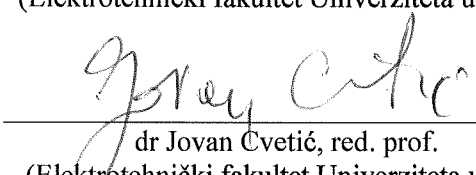
Osmokrovic Predrag V., Ilic Dusan, Stankovic Koviljka Dj., Vujisic Milos Lj., Loncar Boris B., **Electrical breakdown mechanisms in vacuum diodes**, Acta Physica Polonica A, (2010), vol. 118, No. 4, pp. 585-588, [ISSN 0587-4246], [IF:0,443]

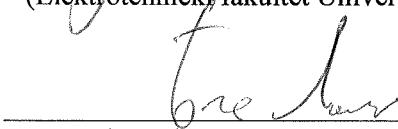
5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Doktorska disertacija kandidata Dušana Ilića, pod naslovom „Lavinski mehanizmi proboja vakuuma“ predstavlja savremen i originalan naučni doprinos kroz sveobuhvatno sagledavanje problema prelazne oblasti između gasnih i vakuumskih mehanizama proboja. Ocenjujući doktorsku disertaciju, kao i činjenicu da je analizirana problematika veoma aktuelna i savremena sa aspekta naučnog i stručnog doprinosa, verifikovana objavljivanjem u više relevantnih časopisa sa SCI liste, a i podatak da su najvažniji rezultati dobijeni samostalnim radom, Komisija konstatuje da je kandidat Dušan Ilić ispunio sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, Statutom i Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, te, sa zadovoljstvom, predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta da ovaj Izveštaj prihvati, i u skladu sa zakonskom procedurom, uputi Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na konačno usvajanje i davanje odobrenja kandidatkinji da pristupi usmenoj odbrani.

Komisija


dr Predrag Osmokrović, red. prof.
(Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu)


dr Jovan Cvetić, red. prof.
(Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu)


dr Boris Lončar, vanr. prof.
(Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu)


dr Aleksandra Vasić Milovanović, vanr. prof.
(Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu)


dr Miloš Vujisić, doc.
(Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu)