

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na 751. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, održanoj 3. jula 2012. godine, imenovani smo za članove Komisija za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije Bojana Jovanovića, dipl.el.ing., pod naslovom „**Iniciranje i razvoj proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma**“. Nakon uvida u dostavljeni materijal podnosimo Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta sledeći

I Z V E Š T A J

1. 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.

U svom dosadašnjem radu Bojan Jovanović, dipl.el.ing, je objavio sledeće radove:

- [1] **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].
- [2] 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].
- [3] 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.
- [4] 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.

2. Prikaz aktivnosti Bojana Jovanovića tokom doktorskih studija

Pored položenih ispita prikazanih u tabeli 1, Bojan Jovanović je tokom doktorskih studija obavljao ispitivanja u oblasti gasnog i vakuumskog pražnjenja u tačkama levo od Pašenovog minimuma. U sklopu eksperimentalnog dela ovih ispitivanja, Bojan Jovanović je proveo dvanaest meseci u Zavodu za fiziku tehničkih fakulteta Univerziteta u Beogradu i četiri meseca u Laboratoriji za elektrotehničke materijale Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu radeći na ispitivanju mehanizama inicijacije i razvoja proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma i vršenju komparacije sa teorijski predviđenim modelima mehanizama proboja u ovoj oblasti.

Kao rezultat navedenih istraživanja, kandidat je objavio 2 pristupna rada za izradu doktorske disertacije u časopisima sa SCI liste, čime je ispunio obeveze predviđene planom i programom studija, prikazane u tabeli 2.

Tabela 1. Položeni ispiti u toku doktorskih studija

R.br.	Naziv predmeta	Ocena	ESPB
1	Engleski jezik	6	6
2	Radijaciona i elektromagnetna kompatibilnost elektrotehničkih komponenti i uređaja	10	9
3	Kompleksni fenomeni u fizici plazme	10	9
4	Matematičko modelovanje fizičko-tehničkih procesa	10	9
5	Numerička simulacija radijacionih i nuklearnih reaktora	10	9
6	Dozimetrija, zaštita od zračenja i nuklearni otpad	10	9
7	Odabrana poglavlja iz nuklearne fizike	10	9
8	Merne metode u nuklearnoj, medicinskoj i ekološkoj tehnici	10	9
9	Prostiranje optičkih talasa u kompleksnim sredinama	10	9
10	Merenje jonizujućeg i nejonizujućeg zračenja	10	9
11	Dozimetrija i zaštita od zračenja	10	6
12	Nuklearna fizika	10	6

Tabela 2. Odrađene obaveze u toku doktorskih studija

R.br.	Tip obaveze	ESPB
1	Studijski istraživački rad I	15
2	Studijski istraživački rad II	15
3	Naučno stručni rad	3

Publikovani pristupni radovi za izradu doktorske disertacije

- [1] **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].
- [2] 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].

Na osnovu pristupnog istraživačkog rada, osnovni očekivani naučni doprinos disertacije jeste da se izvrši analiza mehanizama inicijacije i razvoja proboja dvoelektrodne konfiguracije izolovane gasom zasnovane na statističkom ponašanju slučajne promenljive probojni napon.

3. Predmet i cilj istraživanja

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 Tausendov 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.

Cilj istraživanja je da se eksperimentalnim putem ispita mehanizam inicijacije i razvoja proboja u tačkama levo od Pašenovog minimuma i izvrši komparacija sa teorijski predviđenom modelima mehanizama proboja u ovoj oblasti.

4. Polazne hipoteze

U cilju ispitivanja mehanizma proboja gasova u tačkama levo od Pašenovog minimuma biće vršena merenja dc i impulsnog probojnog napona i emisije karakteristike V_{-4} (vrednosti dc napona pri kojoj je emisiona struja 10^{-4} A). Ispitivani gasovi biće elektropozitivni N_2 , elektronegativni SF_6 i plemeniti He. Tokom eksperimenta pritisci gasa će biti menjani od 1 mbar do 10^{-9} mbar, a međuelektrodna rastojanja od 1 mm do 0.1 mm. Simetrični elektrodni sistem biće formiran od cilindričnih elektroda koje će obezbediti homogeno električno polje. Elektrode će biti izrađene od elektrolitičkog bakra. Pored elektroda od bakra biće korišćene i, na isti način, izrađene elektode od elektrona (izlazni rad 1.8 eV), od aluminijuma (izlazni rad 3.74 eV) i od volframa (izlazni rad 4.5 eV). Obrada eksperimentalno dobijenih rezultata jedne serije merenja slučajne promenljive probojni napon biće vršena testiranjem rezultata merenja na pripadnost poznatim statističkim raspodelama (normalnom, dvo- i troparametarskoj, Vejbulovoj i diploeksponencijalnoj) kao i testiranjem rezultata, odnosno delova rezultata jedne serije merenja na pripadnost istoj statističkoj raspodeli primenom U-testa. Na osnovu statističkog ponašanja slučajne promenljive probojni napon dobijeni rezultati u čitavom opsegu ispitivanja će biti podeljeni u nekoliko podoblasti u kojima će se vršiti analiza inicijacije i razvoja proboja.

Rezultati doktorske disertacije biće, između ostalog, nastavak već publikovanih rezultata:

- [1] P. Osmokrović, A. Vasić and T. Živić, "The influence of the electric field shape on the gas breakdown under low pressure and small inter-electrode gap conditions", IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 33, pp. 1677-1681, 2005.
- [2] P. Osmokrović and A. Vasić, "Anomalous Paschen effect", IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 33, pp. 1672-1676, 2005.
- [3] P. Osmokrović, T. Živić, B. Lončar and A. Vasić, "The validity of the general similarity law for electrical breakdown of gases", Plasma Sources Sci. T., Vol. 15, No. 4, pp. 703-713, 2006.
- [4] P. Osmokrović, T. Živić, B. Lončar and A. Vasić, "The validity of the similarity law for the electrical breakdown of SF_6 gas", Plasma Sources Sci. T., Vol. 15, No. 4, pp. 1538-1544, 2006.
- [5] P. Osmokrović, M. Vujisić, K. Stanković, A. Vasić and B. Lončar, "Mechanism of electrical breakdown of gases for pressure from 10^{-9} to 1 bar and inter-electrode gaps from 0.1 to 0.5 mm", Plasma Sources Sci. T. Vol. 16, No. 4, pp. 643-655, 2007.
- [6] P. Osmokrović, M. Vujisić, J. Cvetić and M. Pešić, "Stochastic nature of electrical breakdown in vacuum", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 14, pp. 803-812, 2007.
- [7] K. Stankovic, M. Pešic, P. Osmokrovic and M. Vujisic, "Surface Time enlargement law for gas pulse breakdown", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol.15, pp. 994-1005, 2008.
- [8] P. Osmokrović, G. Ilić, K. Stanković, Č. Dolićanin, M. Vujisić, "Determination of pulse tolerable voltage in gas-insulated systems", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, pp. 8928-8934, 2008.

5. Naučne metode istraživanja

Tokom izrade rada biće 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 biće korišćene i odgovarajuće

statističke i numeričke metode za obradu eksperimentalno dobijenih rezultata svake serije merenja slučajne promenljive probojni napon na osnovu kojih će se vršiti testiranje rezultata merenja na pripadnost poznatim statističkim raspodelama (normalnom, dvo- i troparametarskoj, Vejbulovoj i duplo-eksponencijalnoj) kao i testiranje rezultata, odnosno delova rezultata jedne serije merenja na pripadnost istoj statističkoj raspodeli primenom U-testa.

6. Očekivani naučni doprinos

U podoblasti koja se nalazi neposredno uz minimum, očekuje se da će rezultati pokazati da se proboj odvija gasnim multiplikativnim mehanizmom i to Taunsendovog tipa. U sledećoj podoblasti sa nižim vrednostima proizvoda pd očekuje se da se proboj dešava kombinacijom dva vakumska mehanizma-katodnim emisionim mehanizmom i vakumskim lavinskim mehanizmom. Udeo ova dva mehanizma zavisi od pritiska i vrste naponskog opterećenja. U narednoj podoblasti očekuje se da se proboj odvija isključivo katodnim emisionim mehanizmom. Hipoteza o lavinskom mehanizmu proboja vakuuma zasnovana je na pretpostavci o 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. Nužan uslov za delotvornost ovoga mehanizma su dakle 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 $1 \mu s$.

7. Plan istraživanja i struktura rada

Poređenjem predviđenih teorijskih modela sa rezultatima laboratorijskih eksperimenata dobijenih u radu doći će se do zaključka o ponašanju slučajne promenljive probojni napon, na osnovu čega će biti ustanovljen mehanizam kojim se proboj odvija u tačkama levo od Pašenovog minimuma, i to u zavisnosti od proizvoda pritiska i međuelektrodnog rastojanja kao i vrste naponskog opterećenja.

Sam rad će se sastojati od uvoda, šest poglavlja i zaključka. U uvodu će biti definisani predmet rada, hipoteze kao osnov naučne diskusije koja će biti sprovedena u radu, cilj rada i metodologija koja će biti definisana u radu za postizanje definisanog cilja. U prvom poglavlju, pod naslovom Predprobojna jonizacija u gasovima u stabilnim uslovima biće razmatrane strujno-naponske karakteristike dvoelektrodne konfiguracije izolovane gasom, prostorni priraštaj predprobojne jonizacije, Townsend-ova opšta teorija električnog proboja, Paschen-ov zakon, procesi sekundarne jonizacije, kao i električni proboj u jakim električnim poljima. U drugom poglavlju, pod naslovom Elektronska lavina, biće razmatrane lavine u kojima je zanemarljiva sekundarna jonizacija, zatim uzastopne lavine, kao i statistika elektronskih lavina i električnog proboja. U trećem poglavlju biće dat prikaz eksperimentalnih metoda i rezultata na osnovu kojih se, prema referentnim publikacijama, došlo do podataka o vrednostima primarnih i sekundarnih jonizacionih koeficijenata. Priraštaj jonizacije u jedinici vremena pri primenjenim impulsnim naponskim opterećenjima u slučaju kada je prostorno naelektrisanje zanemaljivo, kao i u slučaju kada ono postane značajno, biće opisan u četvrtom poglavlju. U petom poglavlju, pod naslovom Eksperimentalni postupak snimanja Paschen-ove krive, biće opisani uslovi pod kojima su izvedena eksperimentalna merenja i biće dat prikaz koraka u kojima je vršena obrada rezultata merenja. Za sve eksperimentalne postupke biće izražena kombinovana merna nesigurnost. U šestom poglavlju, pod naslovom Rezultati i diskusija, biće prikazani eksperimentalno dobijeni rezultati zajedno sa teorijski predviđenim modelima i biće diskutovano ponašanje slučajne promenljive probojni napon dvoelektrodne konfiguracije izolovane gasom u zavisnosti od svih primenjenih parametara. U

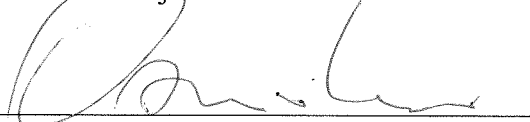
zaključku biće sažeto prikazani ključni rezultati rada i definisani mehanizmi proboga konfiguracije u svim podoblastima opsega proizvoda pritiska i međuelektrodnog rastojanja u kojima je vršen eksperiment.

8. Zaključak i predlog

Bojan Jovanović, dipl. el. ing, prijavio je svoju doktorsku disertaciju pod naslovom „**Iniciranje i razvoj proboga u tačkama levo od Pašenovog minimuma**“ u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, podnevši na uvid sva, pomenutim pravilnikom, predviđena dokumenta. Na osnovu podnesenih dokumenata konstatovano je da je Bojan Jovanović diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u Prištini, kao da je položio sve ispite predviđene planom i programom doktorskih studija na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Na osnovu toga zaključujemo da ne postoje nikakve zakonske smetnje da prijavi doktorsku disertaciju. Kandidat ima radove koji su publikovani u časopisima sa SCI liste, na domaćim i međunarodnim stručnim konferencijama. Na osnovu obrazloženja predmeta i cilja istraživanja, polaznih hipoteza istraživanja, očekivanih naučnih doprinosa i plana istraživanja, može da se zaključi da tema prijavljene doktorske disertacije pod naslovom „**Iniciranje i razvoj proboga u tačkama levo od Pašenovog minimuma**“ omogućava da se u okviru nje ostvare značajni naučni i stručni doprinosi iz oblasti električnog pražnjenja u gasovima. Predloženi mentor, prof. dr Predrag Osmokrović, ima veliki broj naučnih radova iz oblasti kojoj pripada prijavljena doktorska disertacija kandidata Bojana Jovanovića, te u tom smislu smatramo da je kompetentan da obavlja funkciju mentora ove disertacije. Stoga predlažemo Nastavno-naučnom veću da odobri izradu doktorske disertacije kandidata Bojana Jovanovića pod naslovom „**Iniciranje i razvoj proboga u tačkama levo od Pašenovog minimuma**“, pod mentorstvom prof. dr Predraga Osmokrovića.

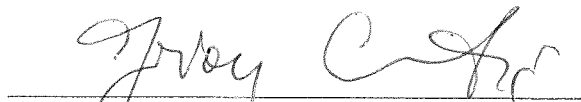
U Beogradu,
14.09.2012. godine

Komisija



dr Predrag Osmokrović, red. prof.

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu



dr Jovan Cvetic, red. prof.

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu



dr Milorad Kurajica, van. prof.

Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu