

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata mr Zvonimira Milanovića, dipl. el. inž.

Odlukom br. 886/2 od 22.01.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Zvonimira Milanovića, dipl. el. inž. pod naslovom „**Teoretsko generisanje impulsnih karakteristika gasnog proboja**“.

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 20.12.2011. godine konstatovano je da je mr Zvonimir Milanović, dipl. el. inž. prijavio doktorsku disertaciju pod naslovom „Teoretsko generisanje impulsnih karakteristika gasnog proboja“ 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 Aleksandra Vasić-Milovanović, vanr. prof. (Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu). Za mentora disertacije predložen je dr Predrag Osmokrović, red. prof. Na 741. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 27.12.2011. 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 „Teoretsko generisanje impulsnih karakteristika gasnog proboja“ predložena tema je usvojena na 745. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 03.04.2012. godine, a 07.05.2012. godine potvrđena je odlukom pod brojem 06-18424/23-12 od strane Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Na sednici Komisije za treći stepen studija održanoj 15.01.2013. godine konstatovano je da je kandidat mr Zvonimir Milanović, 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 Milorad Kurajica, vanr. prof. (Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu). Na 758. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 22.01.2013. 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 Nenadom Cakićem, van. prof. (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu) i dr Milošom Vujisićem, doc. (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu).

Zvanje magistra tehničkih nauka kandidat, mr Zvonimir Milanović, dipl. el. inž., stekao je 2010. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

1.2. Naučna oblast disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom „Teoretsko generisanje impulsnih karakteristika gasnog proboja“ 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 119 radova u časopisima sa SCI liste.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Zvonimir Milanović je rođen 01.06.1963. god. u Novom Pazaru gde živi i radi. Osnovnu školu i gimnaziju prirodno-matematičkog smera završio je u Novom Pazaru. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na odseku za Energetiku, 1989. godine. Zvanje magistra tehničkih nauka stekao je 2010. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Od 1989. godine do danas zaposlen je u Elektro distribuciji Novi Pazar.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija mr Zvonimira Milanovića, dipl. el. inž. pod naslovom „Teoretsko generisanje impulsnih karakteristika gasnog proboja“ napisana je na 93 strane latiničnim pismom, pri čemu sadrži spisak literature sa 107 referenci; podeljena je na devet poglavlja. Poglavlja doktorske disertacije su: 1. Uvod; 2. Gasovito agregatno stanje; 3. Agregatno stanje plazme; 4. Električni proboj sumporheksafluorida; 5. Metode određivanja impulsne karakteristike; 6. Merne metode i oprema korišćena u radu; 7. Kompjuterski programi korišćeni u radu; 8. Rezultati i diskusija; 9. Zaključak.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodu rada definisan je problem iz kojeg proizilazi potreba za proračunom impulsnih karakteristika, definisan je cilj rada i metodologija, odnosno polazne hipoteze koje omogućavaju da se postavljeni cilj ostvari. U drugom poglavlju, Gasovito agregatno stanje, prikazane su osnovne karakteristike gasova koje omogućavaju njihovu primenu kao izolacionih i gasćih medija, a relevantne su za proračun impulsnih karakteristika. U trećem poglavlju, Agregatno stanje plazme, dat je prikaz elementarnih procesa

električnog pražnjenja u gasovima, kojima se stvaraju uslovi za električni proboj plazme. U četvrtom poglavlju, Električni proboj sumporheksafluorida, razmatrani su elementarni procesi pri električnom probodu sumporheksafluorida, uslov za proboj sumporheksafluorida tausendovim mehanizmom, uslov za proboj sumporheksafluorida strimerskim mehanizmom, zakoni sličnosti za gasna pražnjenja, dinamika električnog proboda sumporheksafluorida (statističko vreme, vreme izgradnje lavine i formativno vreme). U petom poglavlju, Metode određivanja impulsne karakteristike, razmatrano je su određivanje impulsnih karakteristika primenom zakona površina (zakon površina, merenje i obrada rezultata merenja, postupak određivanja impulsnih karakteristika primenom zakona površina), određivanje impulsnih karakteristika primenom zakona porasta (zakon porasta verovatnoće proboda, merenje i obrada rezultata merenja, postupak određivanja impulsnih karakteristika primenom zakona porasta) i određivanje impulsnih karakteristika teoretsko - numeričkim algoritmom (postupak određivanja impulsnih karakteristika teoretsko - numeričkim algoritmom i postupak provere teoretsko-numeričkog algoritma za određivanje impulsnih karakteristika). U šestom poglavlju, Merne metode i oprema korišćena u radu, prikazane su merne metode i oprema korišćeni u intervalu vrednosti proizvoda pd od 10^{-4} do 1 bar mm, merne metode i oprema korišćeni u intervalu vrednosti proizvoda pd od 1 bar mm do 20 bar mm, merne metode i oprema korišćeni u intervalu vrednosti proizvoda pd od 10 bar mm do 300 bar mm, kao i sam eksperiment i obrada rezultata merenja. U sedmom poglavlju, Kompjuterski programi korišćeni u radu, dat je proračun i prikaz električnog polja, proračun dc probodnog napona, obrada podataka probodni napon - pritisak - medjuelektrodno rastojanje. U osmom poglavlju, Rezultati i diskusija, prikazane su odgovarajuće impulsne karakteristike dobijene predloženim teoretskim algoritmom, Zakonom površina i Zakonom porasta, zajedno sa eksperimentalno određenim tačkama dobijenim impulsima definisanog oblika. U devetom poglavlju, Zaključak, prikazane su prednosti numeričkog algoritma prikazanog u radu u odnosu na empirijske i poluempirijske algoritme korišćene do sada u praksi.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Poznavanje impulsnih karakteristika nekog konkretnog elektrodnog sistema izolovanog gasom omogućava takvo njegovo dimenzionisanje da se, sa unapred određenom verovatnoćom, može sprečiti impulsni proboj usled prenaponskih talasa, što je za inženjersku praksu, posebno u visokonaponskoj tehnici, problem od prvorazrednog značaja. Pouzdano eksperimentalno određivanje impulsnih karakteristika bilo bi izuzetno neekonomično u vremenskom i ekonomskom smislu pošto bi podrazumevalo merenje velikog broja impulsnih probodnih napona korišćenjem impulsa različitog oblika. Ovo bi naročito došlo do izražaja u slučaju određivanja impulsnih karakteristika koje odgovaraju malim verovatnoćama događaja probod (malih kvantila). Tu treba dodati i da bi tako veliki broj merenja vrednosti impulsnog probodnog naponu nužno doveo do ireverzibilnih promena posmatranog elektrodnog sistema (promenom topografije elektrodnih površina i čistoće izolacionog gasa) te se, stoga, u praksi, pribegava polu empirijskim algoritmima za određivanje impulsnih karakteristika posmatranih sistema. Najčešće primenjivani poluempirijski algoritam se zasniva na zakonu površina, a nedavno je predložen algoritam zasnovan na zakonu porasta verovatnoće proboda, kojim su otklonjeni neki nedostaci algoritma zasnovanog na

zakonu površina. Međutim oba ova algoritma imaju zajednički nedostatak da su poluempirijska, tj. da je potrebno odrediti jedan reprezentativan statistički uzorak slučajne promenljive impulsni probojni napon dobijen precizno definisanim impulsnim naponom. Originalnost disertacije je u razvoju numerički algoritam koji omogućava proračun impulsnih karakteristika bez, često veoma komplikovanog, mernog postupka. Značaj dobijenih rezultata je u izbegavanju eksperimentalnog postupka i mogućnosti korišćenja formiranog algoritma u okviru numeričkih programa za projektovanje električnih uređaja koji sadrže komponente izolovane gasom, a izložene su prenaponskim pojavama.

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, Zvonimir Milanović.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U disertaciji pod naslovom „Teoretsko generisanje impulsnih karakteristika gasnog proboja“ primenjene su teoretske, eksperimentalne, matematičke i numeričke metode što ujedno predstavlja sve metode koje se koriste u inženjerskoj i naučnoj praksi. U radu je dat teoretski pregled elementarnih procesa gasnog proboja. Posebno je analiziran slučaj dc (jednosmernog) proboja i slučaj impulsnog proboja. Nakon toga je polazeći od od Zakona porasta verovatnoće komplementarnih pojava izveden matematički model procesa inicijacije, predprobojnih pojava i proboja koji je omogućavao numeričko određivanje statističkog vremena, formativnog vremena i vremena formiranja lavine, uz oblik imulsnog talasa kao parametar. Nakon toga je, kandidat, koristeći prethodno razvijen model i metod simulacije naelektrisanja za proračun električnog polja, odredio impulsne karakteristike dvoelektrodnih sistema homogenog električnog polja uz pritisak i međuelektroдно rastojanje kao parametrima. Nakon toga je formirao eksperimentalni postupak kojim je omogućavao eksperimentalnu proveru dobijenih rezultata, kao i određivanje odgovarajućih impulsnih karakteristika Zakonom površina i Zakonom povećanja verovatnoće proboja. Eksperimenti su koncipirani i izvršeni po najvišim standardima za datu oblast, pri čemu je dobijena stoprocentna reproduktivnost rezultata. Kombinovana merna nesigurnost eksperimentalnih postupaka ni u jednom slučaju nije bila veća od 5%. Navedeni pristup, odnosno naučni metod, primenjen u radu u potpunosti odgovara problemu i postavljenom cilju rada.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Rezultati prikazani u radu i njihova eksperimentalna verifikacija, pored direktne primenljivosti za proračun impulsnih karakteristika homogenog električnog polja su odlična polazna tačka za dalje unapređenje ovoga algoritma na nehomogena električna polja, čime bi se omogućilo da se pitanje određivanja impulsnih karakteristika prevede iz eksperimentalne u numeričku oblast.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Zvonimir Milanović je u najvećoj meri samostalno uradio izloženu disertaciju. On je na osnovu praćenja stručne literature i sagledavanju, u praksi prisutne, potrebe za mogućnošću numeričkog (neeksperimentalnog) određivanja impulsnih karakteristika razvio originalan algoritam za teoretsko određivanje impulsnih karakteristika

homogenih električnih polja, čime je dao značajan doprinos za primenu sistema izolovanih gasom u uslovima postojanja prenaponskih pojava.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Osnovni naučni doprinosi rada su:

- razvoj algoritma koji omogućava zamenu neracionalnog eksperimentalnog postupka za određivanje impulsnih karakteristika kao algoritma neuporedivo efikasnijeg i tačnijeg od semiempirijskih algoritama zasnovanih na Zakonu površina-vrema i na Zakonu porasta verovatnoće proboja;
- dobijeni rezultat omogućava generisanje statističkog uzorka slučajne promenljive Impulsni probojni napon koji ima prednost nad odgovarajućim eksperimentalno određenim uzorkom pošto prilikom teoretskog generisanja statističkog uzorka ne dolazi do ireverzibilnih promena topografije elektrodnih površina što bitno utiče na reproduktivnost i verodostojnost dobijenih eksperimentalnih rezultata;
- značaj razvijenog algoritma i dobijenog rezultata rada pogotovo dolazi do izražaja ukoliko se impulsne karakteristike, odnosno statistički uzorak, slučajne promenljive Impulsni probojni napon određuju impulsima veće energije.

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 u odnosu na postojeće semiempirijske i empirijske algoritame zasnovane na Zakonu površina-vrema i na Zakonu porasta verovatnoće proboja.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Zvonimir Milanović u svojstvu autora i koautora do sada je objavio sledeće radove:

Kategorija M21:

Z. Milanović, K. Stanković, M. Vujisić, R. Radosavljević, P. Osmokrović, Calculation of impulse characteristics for gas-insulated systems with homogenous electric field, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 19, No. 2, pp. 648-659 (2012) (IF: 1.729) (ISSN 1070-9878).

Kategorija M33:

Z. Jeremić, **Z. Milanović**, M. Jurošević, S. Đekić, Č. Dolićanin, Analiza mogućnosti mernih metoda u ispitivanju elektroizolacionih sistema u pogonu, 30. savetovanje CIGRE Srbija 29. maj – 3. jun 2011., Zbornik radova sa 30. savetovanja CIGRE Srbija R D1-04. [ISBN 978-68-8237-69-2].

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Doktorska disertacija kandidata mr Zvonimira Milanovića, pod naslovom „Teoretsko generisanje impulsnih karakteristika gasnog proboja“ predstavlja savremen i originalan naučni doprinos kroz sveobuhvatno sagledavanje mogućnosti numeričkih proračuna impulsnih karakteristika dvoelektrodnih sistema izolovanih gasom. Ocenjući 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 Zvonimir Milanović 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, uputi Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na konačno usvajanje i davanje odobrenja kandidatu da pristupi usmenoj odbrani.

U Beogradu,
01.02.2013. godine

Komisija

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

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

dr Milorad Kurajica, vanr. prof.
(Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu)

dr Nenad Cakić, vanr. prof.
(Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu)

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