

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata mr Mirka Stojkanovića, dipl. el. inž.

Odlukom br. 905/2 od 16.04.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Mirka Stojkanovića, dipl. el. inž., pod naslovom

„Statička i dinamička sinergija izolacionih osobina gasne smeše SF₆/N₂“.

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 01.11.2012. godine konstatovano je da je mr Mirko Stojkanović, dipl. el. inž. prijavio doktorsku disertaciju pod naslovom „Statička i dinamička sinergija izolacionih osobina gasne smeše SF₆/N₂“ 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 Kurajica, vanr. prof. (Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu). Za mentora disertacije predložen je dr Predrag Osmokrović, red. prof. Na 755. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 06.11.2012. 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 „Statička i dinamička sinergija izolacionih osobina gasne smeše SF₆/N₂“ predložena tema je usvojena na 758. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 22.01.2013. godine, a 04.02.2013. godine potvrđena je odlukom pod brojem 06-419/34-13 od strane Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Na sednici Komisije za treći stepen studija održanoj 09.04.2013. godine konstatovano je da je kandidat mr Mirko Stojkanović, dipl. el. inž. predao urađenu doktorsku disertaciju, pa je na osnovu uvida u disertaciju i pratećih dokumenata, a u skladu sa Statutom

Elektrotehničkog fakulteta i Pravilnikom o studijama III stepena, 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) i dr Boris Lončar, vanr. prof. (Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu). Na 761. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 16.04.2013. 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 Milošem Vujisićem, doc. (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu) i dr Koviljkom Stanković, doc. (Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu).

1.2. Naučna oblast disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom „Statička i dinamička sinergija izolacionih osobina gasne smeše SF₆/N₂“ pripada naučnoj oblasti elektrotehničkih materijala, pri čemu sadrži elemente iz oblasti fizike električnog pražnjenja u gasovima. Mentor disertacije je dr Predrag Osmokrović, red. prof. Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu koji se više od 30 godina aktivno bavi naučnoistraživačkim i nastavnom radom u oblastima elektrotehničkih materijala, nuklearne tehnike i metrologije. Do sada je objavio 158 radova u časopisima sa SCI liste, od kojih je najveći deo iz oblasti kojoj pripada ova disertacija.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Mirko Stojkanović je rođen 12.10.1980. godine u Sarajevu. Po završetku gimnazije u Sremskoj Mitrovici, 1999. godine, upisao je Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, na kojem je i diplomirao septembra 2005. godine. Zvanje magistra tehničkih nauka stekao je 2009. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Od 2005. godine do danas radio je na Elektrotehničkom fakultetu kao saradnik u nastavi i istraživanju, a zatim kao zaposleni na poslovima projektovanja.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija mr Mirka Stojkanovića, dipl. el. inž. pod naslovom „Statička i dinamička sinergija izolacionih osobina gasne smeše SF₆/N₂“ napisana je na 110 strana latiničnim pismom, pri čemu sadrži spisak literature sa 107 referenci; podeljena je na sedam poglavlja. Poglavlja doktorske disertacije su: 1. Uvod; 2. Kinetička teorija gasova; 3. Proboj gasova; 4. Gasne smeše; 5. Eksperiment i obrada rezultata; 6. Rezultati i diskusija; 7. Zaključak.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodu rada definisan je problem iz kojeg proizilazi potreba za analizom sinergističkih izolacionih efekata gasne smeše SF₆/N₂, definisan je cilj rada i metodologija, odnosno polazne hipoteze koje omogućavaju da se postavljeni cilj ostvari. U drugom poglavlju, Kinetička teorija gasova, prikazane su osnove kinetičke teorije gasova, koje tumače ponašanja gasova relevantne za gasne izolacione osobine. U trećem poglavlju, Proboj gasova, dat je prikaz elementarnih procesa električnog pražnjenja u gasovima, kojima se stvaraju uslovi za električni proboj. U četvrtom poglavlju, Gasne smeše, razmatrane su

različite smeše gasova na različitim pritiscima i njihova primena u elektroindustriji kao izolacionih medijuma, sa posebnim akcentom na SF₆/N₂ smešu. U petom poglavlju, Eksperiment i obrada rezultata, prikazane su merne metode i oprema korišćena u radu, kao i sam eksperiment i način obrade eksperimentalno dobijenih rezultata. U šestom poglavlju, Rezultati i diskusija, prikazane su odgovarajuće impulsne karakteristike dobijene predloženim teoretskim algoritmom, za različite vrednosti međuelektrodnih rastojanja i pritisaka, zajedno sa eksperimentalno određenim tačkama dobijenim impulsima definisanog oblika. U sedmom poglavlju, Zaključak, prikazane su prednosti smeše SF₆/N₂ u odnosu na čist SF₆ i na ostale potencijalne smeše korišćene do sada u praksi.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Električni proboj gasova je samoodržavajući proces do kojeg dolazi kada se uspostavi pozitivna povratna sprega između primarnih i sekundarnih efekata električnog pražnjenja u gasovima. Primarni procesi električnog pražnjenja u gasovima određeni su procesima nastanka i nestanka slobodnih elektrona koji se karakterišu takozvanim Tausendovim koeficijentima, tj. koeficijentom jonizacije α i koeficijentom pripajanja η . Primarni Tausendovi koeficijenti α i η predstavljaju broj slobodnih elektrona nastalih jonizacionim procesima, odnosno nestalih procesima pripajanja elektronegativnim molekulima gasa, po jedinici puta u pravcu polja, respektivno. Proces jonizacije i pripajanja su probabilističke prirode i verovatnoća da do njih dođe izražava se tzv. efikasnim presekom. Slobodni elektroni u gasu ili smeši gasova se tretiraju kao poseban gas koji se može okarakterisati svim parametrima Maksvelove raspodele, između ostalog i ekvivalentnom temperaturom. Jonizacija elektronima, osnovni elementarni proces svih električnih fenomena u gasovima, je u slučaju SF₆ često povezan sa disocijacijom, putem koje nastali molekularni i atomski joni uzimaju učešće u daljem razvoju pražnjenja te mu komplikuju fizičko modelovanje. Od presudnog značaja za primenu SF₆ gasa je njegova osobina elektronegativnosti, tj. sklonosti ka zahvatanju slobodnih elektrona i stvaranju negativnih jona. Ovim procesom se zamenjuju laki elektroni teškim jonima koji ne učestvuju dalje u procesu jonizacije i smanjuje se ukupna gustina slobodnih elektrona. Proces elektronskog zahvata je probabilističke prirode i karakteriše se efikasnim presekom koji je mera verovatnoće da dođe do zahvata. Efikasni presek za zahvat elektrona nije konstantna veličina već zavisi od vremena koje elektron provede u blizini elektronegativnog atoma. Što je to vreme duže, odnosno odgovarajuća brzina elektrona manja, verovatnoća zahvata je veća. Pošto slobodni elektroni u gasovima nemaju konstantnu brzinu, odnosno energiju, već poseduju spektar Maksvelovskog tipa, celishodno ga je, u cilju povećanja efekta elektronskog zahvata, moderacionim postupkom pomeriti u levo ka nižim energijama odnosno svesti ga na nižu efektivnu temperaturu. Moderaciju elektronskog spektra je moguće postići dodavanjem elektronegativnom gasu nekog molekularnog gasa kojem elektronski spektar, u sudarnoj interakciji, pobuđuje rotaciona i vibraciona stanja, ili ga disocira, čime gubi energiju i pomera se ka nižim efektivnim temperaturama. U tom smislu dodavanje N₂ gasa SF₆ gasu izaziva pozitivan sinergistički efekat pošto tim putem formirana mešavina ima bolje izolacione karakteristike od čistog SF₆ gasa. Naravno, to važi u slučaju da se ne doda suviše veliki procenat N₂ molekula, pošto se radi o elektro-pozitivnim molekulima čijom jonizacijom se povećava koncentracija slobodnih elektrona što može anulirati pozitivan sinergistički efekat moderacije elektronskog spektra. Originalnost disertacije je u pristupu električnom probou gasa kao

termodinamičkoj pojavi okarakterisanoj ekvivalentnom temperaturom Maksvelovog spektra gasa slobodnih elektrona. Takođe, kao za inženjersku praksu važan i originalan rezultat treba pomenuti tretiranje sinergističkog efekta smeše SF_6/N_2 kao vremenski determinisanog procesa i određivanje odgovarajuće vremenske konstante. Ovo određivanje vremenske konstante sinergije posmatrane smeše bilo je moguće zahvaljujući originalno konstruisanoj kompenzovanoj kapacitivnoj sondi koja je omogućila da se više sofisticirana merenja prelaznih režima u nanosekundnoj oblasti.

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, Mirko Stojkanović.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U disertaciji pod naslovom „Statička i dinamička sinergija izolacionih osobina gasne smeše SF_6/N_2 “ 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. Zatim su razmatrani rezultati merenja, izvedeni pod dobro kontrolisanim laboratorijskim uslovima, koji se odnose na zavisnost impulsnog probojnog napona od brzine porasta primenjenog impulsa uz procentualni sastav smeše kao parametar. Nakon toga, kandidat je odredio vremensku konstantu moderacionog procesa, koristeći se specijalno konstruisanim mernim sistemom koji omogućava da se odziv nanosekundnih brzih impulsa meri sa kombinovanom nesigurnošću manjom od 3%. Nakon toga su izvedene eksperimentalne krive zavisnosti dc probojnog napona i proizvoda pd (pritisak \times međuelektrodno rastojanje) sa procentualnim sastavom smeše kao parametrom. Takođe je određen i faktor forme (form factor) Maksvelovog spektra slobodnih elektrona što je omogućilo poređenje dobijene zavisnosti dc probojnog napona od vrednosti proizvoda pd sa prethodno izvedenim izrazom za zavisnost vrednosti dc probojnog napona od ekvivalentne probojne temperature Maksvelovog spektra slobodnih elektrona u smeši. Tokom ovih razmatranja procentualni sastav smeše je parametar. Nakon toga je bila određena moderaciona vremenska konstanta gasne smeše SF_6/N_2 i zavisnost ekvivalentne temperature Maksvelovog spektra gasa slobodnih elektrona od svih parametara eksperimenta pod uslovima strimerskog mehanizma proboja. Eksperimenti su koncipirani i izvršeni po najvišim standardima za datu oblast, pri čemu je dobijen vrlo visok stepen reproduktivnosti rezultata. 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 na uređaje koji koriste izolacione medijume u elektroenergetskoj industriji su odlična polazna tačka za dalje unapređenje ovih uslova za sugerisanje optimalne oblasti sinergističkog efekta, a kao i za izbegavanje ograničenja ovih uslova, čime bi se postigli bolji efekti u inženjerskoj praksi sa aspekta toksičnosti, ekonomičnosti i primenljivosti SF_6 gasa.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Mirko Stojkanović je u najvećoj meri samostalno uradio izloženu disertaciju. On je na osnovu praćenja stručne literature i sagledavanja, u inženjerskoj praksi

prisutne, potrebe za zaštitom od prenapona, odredio uslove za identifikovanje optimalne oblasti u kojoj se može očekivati optimum sinergističkog efekta u zavisnosti od parametara: procentualni sastav smeše, pritisak i međuelektrodno rastojanje, čime je dao značajan doprinos za primenu sistema izolovanih gasnim smešama u inženjerskoj praksi.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Osnovni naučni doprinosi rada su:

- uvođenje novog pristupa mikroskopskom fenomenu električnog pražnjenja u gasovima koji su izvedeni parametri zamenjeni fundamentalnim parametrom tj. ekvivalentnom temperaturom Maksvelovog spektra gasa slobodnih elektrona;
- konstruisanje kompenzovane kapacitivne sonde, sa pratećom opremom, spregnute direktno na visokonaponsku elektrodu sa prilagodnom (karakterističnom) impedansom talasovodnog tipa što je omogućilo pouzdano merenje prelaznih procesa u nanosekundnoj oblasti;
- posmatranje procesa moderacije elektronskog spektra i elektronskog zahvata elektrona od elektronegativnog molekula SF₆ gasa kao procesa u realnom vremenu i određivanje odgovarajuće vremenske konstante ovog procesa.

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 teoretski model pridruživanjem Maksvelove raspodele spektru gasa slobodnih elektrona, tretiranje moderacionog procesa spektra slobodnih elektrona i elektronskog zahvata u realnom vremenu kao i konstrukcija visokosofisticirane merne opreme predstavlja značajan naučni i stručni doprinos.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat Mirko Stojkanović u svojstvu autora i koautora do sada je objavio sledeće radove:

Kategorija M21:

P. Osmokrović, **M. Stojkanović**, K. Stanković, M. Vujisić, D. Kovačević, Synergistic Effect of SF₆ and N₂ Gas Mixtures on the Dynamics of Electrical Breakdown, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 19, No. 2, pp. 677-688, (2012) (IF: 1.729) (ISSN 1070-9878).

M. Stojkanovic, G. Djukic, K. Stankovic, M. Vujisic, P. Osmokrovic, Design, deployment and verification of the capacitive voltage divider for measuring fast transient occurrences in the nanosecond range, *International journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 43, pp. 1479–1486 (2012) (IF: 2.247), (ISSN 0142-0615).

Kategorija M22:

D. Brajović, M. Vujisić, **M. Stojkanović**, A. Vasić, Stabilization of gas-filled surge arrester's characteristics by use of ionizing radiation, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, Vol. 27, No. 3, pp. 274–283 (2012) (IF: 1.156) (ISSN 1451-3994).

Kategorija M33:

D. Brajović, **M. Stojkanović**, U. Kovačević, K. Stanković, P. Osmokrović, Degradacija karakteristika zaštitnih elemenata pod dejstvom tranzijentnih pojava, *11. savetovanje BiH CIGRE 2013*, prihvaćen.

D. Brajović, M. Alimpijević, **M. Stojkanović**, M. Jurošević, K. Stanković, Primena spoljašnjih izvora zračenja za stabilizaciju karakteristika gasnog odvodnika prenapona, *11. savetovanje BiH CIGRE 2013*, prihvaćen.

Kategorija M52:

M. Stojkanović, K. Stanković, P. Osmokrović, Dijagnostika parcijalnog pražnjenja kod asinhronih mašina, *Elektrodistribucija*, Vol. 38, No. 1, pp. 58-66.

Kategorija M63:

M. Stojkanović, M. Vujisić, I. Fetahović, I. Milovanović, D. Petković, Projektovanje, razvoj, ispitivanje i verifikacija odziva kapacitivnog razdelnika za merenje brzih prelaznih pojava u nanosekundnoj oblasti, *30. savetovanje CIGRE Srbija 2011*, Zbornik radova R D1-07.

M. Alimpijević, Z. Rajović, **M. Stojkanović**, G. Ilić, R. Marić, Uticaj moderacionog efekta smeše gasova SF₆/N₂ na impulsne karakteristike probojnog napona, *31. savetovanje CIGRE Srbija 2013*, R D1-05.

D. Brajović, **M. Stojkanović**, U. Kovačević, K. Stanković, P. Osmokrović, Promena karakteristika elemenata za prenaponsku zaštitu u toku eksploatacije pod dejstvom prenapona, *31. savetovanje CIGRE Srbija 2013*, R D1-07.

D. Brajović, M. Alimpijević, **M. Stojkanović**, B. Jovanović, M. Jurošević, Uticaj jonizujućeg zračenja na funkcionalne karakteristike gasnih odvodnika prenapona, *31. savetovanje CIGRE Srbija 2013*, R D1-06.

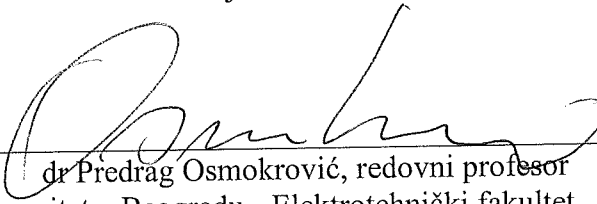
5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

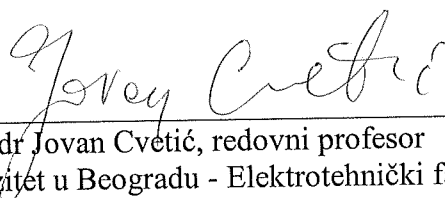
Doktorska disertacija kandidata mr Mirka Stojkanovića, pod naslovom „Statička i dinamička sinergija izolacionih osobina gasne smeše SF₆/N₂“ predstavlja savremen i originalan naučni doprinos kroz sveobuhvatno sagledavanje mogućnosti primene gasnih


smeša na sisteme izolovane 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 ispunio sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju i Statutom Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu i predlaže nastavno-naučnom veću da se doktorska disertacija pod nazivom „Statička i dinamička sinergija izolacionih osobina gasne smeše SF₆/N₂“ kandidata Mirka Stojkanovića prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.


U Beogradu,
03.06.2013. godine

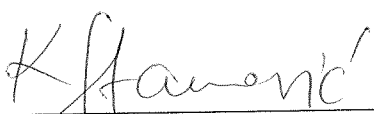
Komisija


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


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


dr Boris Lončar, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu – Tehnološko-metalurški fakultet


dr Miloš Vujisić, docent
Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet


dr Kovička Stanković, docent
Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet