

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata mr Dragana Brajovića, dipl. el. inž.

Odlukom br. 873/3 od 11.06.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Dragana Brajovića, dipl. el. inž. pod naslovom

"Optimizacija dinamičkih karakteristika gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou"

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 733. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, održanoj 14. juna 2011. godine, imenovana je Komisija za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije magistra Dragana Brajovića, diplomiranog inženjera elektrotehnike, pod naslovom **"Uticaj električnog pražnjenja u gasovima na kontaminaciju naponskog oblika u niskonaponskoj električnoj mreži"**, u sastavu dr Z. Lazarević, prof., dr M. Đurić, prof., dr B. Lončar, van. prof., dr M. Kostić, prof. i dr P. Osmokrović, prof. Posle uvida u dostavljeni materijal Komisija je predložila Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da imenuje novu Komisiju za ocenu uslova i prihvatanje teme u sastavu dr P. Osmokrović, prof., dr J. Cvetić, prof., dr M. Kostić, prof. i dr M. Kurajica, van. prof. (Fizički fakultet Beograd), kao i da usvoji, novi, korigovani naslov prijavljene doktorske disertacije mr Dragana Brajovića **"Stabilizacija električnog pažnjenja u gasovima pod dejstvom spoljašnjeg zračenja"**. Na 738. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, održanoj 1. novembra 2011. godine, ovaj predlog je prihvaćen i imenovana je Komisija za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije mr Dragana Brajovića pod naslovom **"Stabilizacija električnog pažnjenja u gasovima pod dejstvom spoljašnjeg zračenja"**. Posle uvida u naknadno dostavljeni materijal Komisija je napisala Izveštaj za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije mr Dragana Brajovića koji je na sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, održanoj 27.12.2011. godine, prihvaćen, a Veće naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na sednici održanoj 27.02.2012. godine dalo saglasnost na temu doktorske disertacije mr Dragana Brajovića pod nazivom **"Stabilizacija električnog pažnjenja u gasovima pod dejstvom spoljašnjeg zračenja"**. Međutim, prilikom pisanja ovog Izveštaja Komisija određena od strane Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu je postavila preambiciozan cilj disertacije koji je zahtevao vršenje eksperimenata koje više nije moguće,

na žalost, uraditi u Srbiji ili u okruženju. Kandidat je radeći prema zahtevima pomenutog Izveštaja postigao značajne rezultate koje je publikovao u vodećim međunarodnim časopisima. Kako ovi rezultati i ako zadovoljavaju potrebne i dovoljne uslove za izradu doktorske disertacije, nisu u skladu sa ciljem, planom i programom predviđenim u Izveštaju o oceni uslova i prihvatanju teme doktorske disertacije članovi Komisije su se složili da kandidat prijavi doktorsku disertaciju pod novim naslovom koja će biti iz oblasti unutar koje kandidat radi i ima već postignute rezultate. Profesor M. Kostić koji se složio i podržao ovaj stav Komisije, izjavio je da ne želi da bude član nove Komisije pošto tema ne pripada užoj naučnoj oblasti kojom se bavi. Nakon ovog dogovora na sugestiju svih članova prethodne Komisije za prihvatanje teme, kandidat mr Dragan Brajović je predao Prijavu za izradu doktorske disertacije pod naslovom **"Optimizacija dinamičkih karakteristika gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou"**.

Na sednici Komisije za treći stepen studija Elektrotehničkog fakulteta održanoj 05.02.2013. godine konstatovano je da je mr Dragan Brajović, dipl. el. inž. prijavio doktorsku disertaciju pod naslovom "Optimizacija dinamičkih karakteristika gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou" 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 Univerziteta u Beogradu), dr Aleksandra Vasić-Milovanović, red.prof.(Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu). Za mentora disertacije predložen je dr Predrag Osmokrović, red. prof. Na 759. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 12.02.2013. godine, Odlukom br.179/2 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 "Optimizacija dinamičkih karakteristika gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou" predložena tema je usvojena na 761. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 16.04.2013. godine, a 27.05.2013. godine potvrđena je od strane Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Na sednici Komisije za treći stepen studija održanoj 04.06.2013. godine konstatovano je da je kandidat mr Dragan Brajović, 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 763. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 11.06.2013. godine, Odlukom broj 873/3, ovaj predlog Komisije za treći stepen studija je 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 „Optimizacija dinamičkih karakteristika gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou“ 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 145 radova u časopisima sa SCI liste.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Dragan Brajović je rođen 12. decembra 1963. godine u Čačku, gde živi i radi. Osnovnu školu, osnovnu muzičku školu i srednje usmereno obrazovanje matematičko – tehničke struke završio je u Čačku (1978., 1979. i 1982. godine). Na energetskom odelu Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu diplomirao je 1990. godine, odbranivši diplomski rad pod nazivom **"Testiranje živinih i natrijumovih izvora svetlosti visokog pritiska"**. Zvanje magistra tehničkih nauka stekao je 2003. godine na Tehničkom fakultetu u Čačku, a magistarski rad je nosio naziv **"Priključivanje i uticaj elektrotermičkih uređaja i postrojenja na napojnu električnu mrežu"**. Stručni ispit propisan za diplomiranog inženjera elektrotehnike, energetskog odelu, položio je 1994. godine. Posедуje licencu "Odgovorni projektant elektroenergetskih instalacija niskog i srednjeg napona" i licencu "Odgovorni izvođač radova elektroenergetskih instalacija niskog i srednjeg napona". Položio je i stručni ispit za poslove zaštite od požara, 2006. godine. Zaposlen je kao predavač na Visokoj školi tehničkih strukovnih studija u Čačku. Oženjen je i otac troje dece, dve ćerke i sina.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija mr Dragana Brajovića, dipl. el. inž. pod naslovom „Optimizacija dinamičkih karakteristika gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou“ napisana je na 244 strane latiničnim pismom, pri čemu sadrži spisak literature sa 92 reference; podeljena je na osam poglavlja i četiri priloga. Poglavlja doktorske disertacije su: 1. Uvod; 2. Prenaponi i principi zaštite; 3. Gasni odvodnici prenapona za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou; 4. Interakcija zračenja sa materijalom; 5. Električni proboj gasova; 6. Eksperiment; 7. Zaključak; 8. Literatura. Prilozi doktorske disertacije su: 1 - Program za proračun volt-sekundne karakteristike; 2- Sistem za merenje vremena kašnjenja električnog proboja; 3 – Statistička analiza rezultata merenja; 4 – Osnove korelacije i regresije.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U uvodnom delu rada ukazuje se na savremene trendove ka minijaturizaciji elektronskih komponenti i ističe njihova osetljivost na prenaponske pojave. Definisani su uzroci nastanka prenapona i njihovi negativni efekti na rad elektronskih uređaja, od mogućih prolaznih poremećaja u radu do krajnjeg uništenja. Istaknuta je potreba prenaponske zaštite naročito kod sofisticirane opreme kod koje se zahteva visoka pouzdanost u radu. Navode se elementi za prenaponsku zaštitu na niskonaponskom nivou sa posebnim osvrtom na gasne odvodnike prenapona kao elemente sa najširoom primenom. Date su njihove prednosti i nedostaci u odnosu na ostale elemente za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou. Cilj rada je u tome da se polazeći od poznatih efekata električnog pražnjenja u gasovima, jonskog izbijanja, fotoelektričnog efekta, memorijskog efekta, hladne i tople emisije i efekta jonizujućeg zračenja u gasovima, ispituju načini koji obezbeđuje pouzdan rad gasnih odvodnika prenapona za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou u uslovima opterećenja impulsnim (dinamičkim) naponima proizvoljnog oblika. U drugom poglavlju, Prenaponi i principi zaštite, detaljno su data teorijska tumačenja prenapona polazeći od Maksvelovih

jednačina elektromagnetnog polja. Opisani su impulsni generatori jakog magnetnog polja kao mogući izvori prenapona u interakciji sa žičanim strukturama. Data je klasifikacija prenapona sa posebnim osvrtom na prenapone atmosferskog porekla. Detaljno su opisani negativni efekti prenapona i dati osnovni principi prenaponske zaštite sa karakteristikama elemenata prenaponske zaštite na niskonaponskom nivou (prenaponske diode, varistori, gasni odvodnici prenapona i električni filteri). Treće poglavlje, Gasni odvodnici prenapona za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou, detaljno se bavi konstrukcijom, karakteristikama i efektima zračenja na karakteristike gasnih odvodnika prenapona. Posebna pažnja posvećena je analizi vremena reagovanja gasnih odvodnika prenapona, statičkom i dinamičkom nivou, kao jednoj od lošijih karakteristika ove zaštitne komponente, a sve u cilju povećanja brzine reagovanja uz zadržavanje reverzibilnosti procesa. U četvrtom poglavlju, Interakcija zračenja sa materijalom, objašnjeni su osnovni pojmovi zračenja, fizika elementarnih čestica, njihova priroda i podela. Glavne karakteristike osnovnih čestica date su u tabelarnom prikazu i detaljno objašnjene. Navode se tipovi interakcije između čestica i zakoni očuvanja. Objašnjene su forme prirodne radioaktivnosti (α , β i γ -raspad), efekti prolaska zračenja kroz materijal, a posebna pažnja posvećena je interakciji α zračenja sa materijalom (Bragova kriva). Peto poglavlje koje nosi naziv Električni proboj gasova, razmatra procese koji dovode do formiranja elektronske lavine i uslove proboja u gasovima. Ovo poglavlje podeljeno je na sledeća potpoglavlja: Taunzendov mehanizam proboja, Strimerski mehanizam proboja, Jonizacioni koeficijenti, Pašenov zakon, Klasifikacija tipova pražnjenja i Dinamika električnog proboja gasa. U cilju ispitivanja dinamičkog proboja gasa analiziran je karakterističan oblik impulsnog napona kojim je ostvaren proboj gasa i definisano statističko vreme, vreme formiranja lavine i formativno vreme. Memorijski efekat kao posledica formiranja naelektrisanih i neutralnih aktivnih čestica tokom proboja, pražnjenja i posle prekida pražnjenja najbolje se može zapaziti merenjem vremena kašnjenja električnog proboja za različite vrednosti vremena relaksacije, što je detaljno opisano. Navedene su i objašnjene metode određivanja impulsnih karakteristika: zakon površina, zakon porasta verovatnoće proboja i teoretsko-numerički algoritam. Šesto poglavlje, Eksperiment, čine sledeće celine: Eksperimentalne komore korišćene tokom eksperimenta, Merna oprema, Eksperimentalni postupak, Obrada mernih rezultata i Rezultati i diskusija. U cilju ispitivanja karakteristika gasnih odvodnika prenapona razvijeni su modeli gasnih komora kod kojih je bilo moguće menjati pritisak gasa, međuelektrodno rastojanje, oblik elektroda, kao i ostale relevantne parametre gasnog pražnjenja koji mogu da utiču na karakteristike gasnih odvodnika prenapona. Merenja su vršena pod dobro kontrolisanim laboratorijskim uslovima, a komore koje su korišćene tokom eksperimenta su kontrolisane. Eksperimentalni postupak, merna oprema i obrada mernih rezultata su detaljno navedeni i objašnjeni. U delu ovoga poglavlja, Rezultati i diskusija, prikazani su eksperimentalno dobijeni rezultati i diskutovana njihova međupovezanost, izvedeni odgovarajući zaključci u skladu sa prethodno iznesenim teoretskim razmatranjima. Sedmo poglavlje, Zaključak, predstavlja sistematizaciju svih teoretskih razmatranja i rezultata dobijenih tokom eksperimentalnih ispitivanja. Na osnovu dobijenih rezultata izvedeni su zaključci od bitnog značaja za optimizaciju karakteristika gasnih odvodnika prenapona. U poglavlju osam, Literatura, naveden je spisak korišćene literature.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Gasni odvodnici prenapona rade na principu električnog proboja gasova i mogu se koristiti za zaštitu od prenapona intenziteta od nekoliko desetina volti do nekoliko desetina hiljada volti.

Funkcionisanje odvodnika koji se koriste za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou vezano je za Taunzendorv mehanizam proboja. Prednost gasnih odvodnika prenapona nad ostalim elementima za zaštitu od prenapona su u mogućnosti provođenja velikih struja i niskoj sopstvenoj kapacitivnosti. Nedostaci su u sporosti reagovanja i nesigurnosti radne tačke (zavisna od promene proizvoda pritiska i međuelektrodnog rastojanja pd), kao i efekat dogotrajnog dekondicioniranja.

Rezultati prikazani u radu predstavljaju značajan doprinos teorije električnog pražnjenja u gasovima niskog pritiska. Dobijeni rezultati pokazuju da je u cilju dugovremenske stabilizacije radne tačke gasnog odvodnika prenapona (minimalni probojni napon, pritisak x međuelektrodno rastojanje) potrebno koristiti elektrode oblika Rogovskog, a proizvod pritiska i međuelektrodnog rastojanja locirati u blizini odgovarajućeg Pašenovog minimuma uz korišćenje kao izolacionog medijuma gasnu smešu $0,70\text{He}+0,30\text{Ar}$.

Najefikasnij način da se ubrza odziv gasnog odvodnika prenapona je ugrađivanje u njega radioaktivnog izvora i to tako da se Bragov maksimum tog α zračenja nalazi u centru međuelektrodnog prostora. Međutim, kako ovo rešenje nije prihvatljivo sa ekološkog aspekta u radu se pokazalo da se sličan efekat može postići efektom šuplje katode i to primenom elektroda kompozitnog tipa u kojima je šuplina u katodi izrađena od materijala sa izuzetno visokom vrednošću izolacionog rada, a telo elektrode od materijala sa visokom vrednošću temperature topljenja i dobrom toplotnom provodljivošću (da bi se sačuvao visok stepen ireverzibilnosti izolacionih karakteristika gasnog odvodnika prenapona u uslovima eksploatacije).

Ispitivanjem vrednosti prvog probojnog napona dekondicioniranog sistema dobijeni su rezultati koji ukazuju da je moguće izborom vrste gasa, pritiska gasa i načina obrade elektrodnih površina smanjiti odnos prvih vrednosti probojnih napona (DC i impulsni) dugovremenski dekondicioniranih elektrodnih sistema.

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 naučni radovi, čije je autor, odnosno koautor, mr Dragan Brajović.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

U disertaciji pod naslovom „Optimizacija dinamičkih karakteristika gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou“ primenjene su teoretske, eksperimentalne, matematičke i numeričke metode što ujedno predstavlja sve metode koje se koriste u inženjerskoj i naučnoj praksi. Tokom izrade rada korišćene su 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, korišćene su i odgovarajuće statističke i numeričke metode za obradu eksperimentalno dobijenih rezultata svake serije merenja slučajne promenljive probojni napon.

3.4. Primenljivost ostvarenih rezultata

Doktorska disertacija mr Dragana Brajovića pod naslovom „Optimizacija dinamičkih karakteristika gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou“ je značajna za sve one koji se bave projektovanjem gasnih odvodnika prenapona za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou. Naučni doprinos je sadržan u zaključcima dobijenim tokom opsežnih eksperimentalnih ispitivanja koja su pokazala da je kod gasnog odvodnika

prenapona moguće varijacijom parametara: vrste gasa, pritiska gasa, međuelektrodnog rastojanja, oblika elektroda, materijala elektroda i načina obrade elektrodnih površina kao i indukovanih jonizacionih elemenata, optimizirati njegove karakteristike. Izvedeni zaključci ukazuju da na dinamički odziv gasnog odvodnika prenapona, odnosno na njegovo ubrzanje, presudno deluju gustina i energetski spektar gasa slobodnih elektrona što se uspešno može realizovati efektom šuplje katode i to primenom elektroda kompozitnog tipa u kojima je šupljina u katodi izrađena od materijala sa izuzetno visokom vrednošću izolacionog rada, a telo elektrode od materijala sa visokom vrednošću temperature topljenja i dobrom toplotnom provodljivošću. Bitan doprinos rada je u zaključcima da je izborom vrste gasa, pritiska gasa i načina obrade elektrodnih površina moguće smanjiti odnos prvih vrednosti probojnih napona (DC i impulsni) dugovremenski dekondicioniranih elektrodnih sistema, što je sa aspekta praktične primene vrlo značajno pitanje.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat mr Dragan Brajović je u najvećoj meri samostalno uradio izloženu disertaciju. On je na osnovu praćenja stručne literature i sagledavanju, u praksi prisutne, potrebe za izradom pouzdanih gasnih odvodnika prenapona sa većom brzinom reagovanja, izvršio sveobuhvatnu analizu mehanizama električnog pražnjenja u gasovima pri niskim pritiscima. Polazeći od poznatih efekata električnog pražnjenja u gasovima, jonskog izbivanja, fotoelektričnog efekta, memorijskog efekta, hladne i tople emisije i efekta jonizujućeg zračenja u gasovima ispitivani su načini koji obezbeđuje pouzdan rad gasnih odvodnika prenapona za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou u uslovima opterećenja impulsnim (dinamičkim) naponima proizvoljnog oblika.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Osnovni naučni doprinosi rada su:

- U cilju dugovremenske stabilizacije radne tačke gasnog odvodnika prenapona (minimalni probojni napon, pritisak x međuelektrodno rastojanje) potrebno koristiti elektrode oblika Rogovskog, a proizvod pritiska i međuelektrodnog rastojanja locirati u blizini odgovarajućeg Pašenovog minimuma uz korišćenje kao izolacionog medijuma gasnu smešu $0,70\text{He}+0,30\text{Ar}$.
- Pokazano je da efekat zračenja gasnih odvodnika prenapona dovodi do sužavanja volt-sekundnih karakteristika, odnosno njihovo poboljšanje u pogledu praktičnih primena. Uža volt-sekundna karakteristika ukazuje na umanjeno rasipanje impulsnog napona proboja što je od vitalnog značaja za predviđanje ponašanja odvodnika prenapona punjenih gasom u praktičnim uslovima. Efekat zračenja takođe uvećava broj slobodnih, potencijalno inicijalnih elektrona i na taj način smanjuje vrednost impulsnog napona proboja, približavajući je nominalnim vrednostima jednosmernog napona. Isti efekat je više izražen u slučaju izloženosti X -zračenju nego γ -zračenju. Ovo je posledica činjenice da X -zračenje (zbog svojih talasnih dužina) najčešće reaguje sa celim atomom, prenoseći na njega energiju koja ga eksituje. Jedan od verovatnijih kanala deeksitacije je jonizacija. Gama zračenje (zbog svoje talasne dužine) reaguje direktno sa graničnim elektronima,

uzrokujući jonizaciju. Prvi proces je karakterističan po većem efektivnom poprečnom preseku, čime je njegov uticaj značajniji.

- Pokazano je da rezultati istraživanja stabilizacije električnog pražnjenja gasnih odvodnika prenapona u polju α -zračenja, γ -zračenja, X-zračenja i neutronske zračenja ukazuju na činjenicu da svi oblici jonizujućeg zračenja poboljšavaju aktivne karakteristike gasnog odvodnika prenapona, a degradiraju njegove statičke karakteristike. Oba efekta su više izražena u slučajevima višeg pritiska gasa i manjeg međuelektrodnog rastojanja pri istoj vrednosti proizvoda pd . Dobijeni rezultati najviše dolaze do izražaja za slučaj α -zračenja, a najmanje u slučaju γ -zračenja (izuzimajući neutrone koji pripadaju indirektnom jonizujućem zračenju). Uočeni efekti se mogu objasniti većom koncentracijom slobodnih elektrona, potencijalno inicijalnih, čije prisustvo u međuelektrodnom prostoru skraćuje vreme odziva tj. predprobojno vreme. Time se poboljšava aktivna karakteristika gasnog odvodnika prenapona. Međutim isti taj efekat (povećanje broja slobodnih elektrona u međuelektrodnom prostoru) dovodi do povećanja predprobojne struje koja bi za idealan gasni odvodnik prenapona trebala biti nula. Veća efikasnost X-zračenja od γ -zračenja se objašnjava njihovom većom jonizacionom efikasnošću koja je posledica činjenice da im je talasna dužina reda veličine dimenzija atoma, pa reaguju sa atomom u celini, a ne sa pojedinačnim elektronima, kao u slučaju γ -zračenja. Slično se objašnjava i velika efikasnost α -zračenja, pogotovo što je eksperiment bio koncipiran tako da je maksimum Bragove krive padao tačno u međuelektrodni prostor. Neutronske efekte su nešto drugačiji. Njihov efekat se odražava aktivacijom materijala gasnog odvodnika prenapona koji onda u sekundarnim deeksitacijama jonizuje radni gas i povećava broj slobodnih elektrona u njemu. Da su ovi efekti izražajni pri višim pritiscima (odnosno gustinama) gasa posledica je činjenice da su u tom slučaju veći i efektivni preseki za jonizaciju.
- Najefikasniji način da se ubrza odziv gasnog odvodnika prenapona je ugrađivanje u njega radioaktivnog izvora i to tako da se Bragov maksimum tog α zračenja nalazi u centru međuelektrodnog prostora. Ovakvo rešenje, i ako se koristilo u proizvodnji gasnih odvodnika prenapona, ima značajan nedostatak koji bi trebalo da ga u potpunosti izbaci iz prakse. Taj nedostatak se odnosi na nekontrolisanu upotrebu α radioaktivnih izvora u izuzetno velikoj količini (teško da postoji neki elektronski sklop koji nema prenaponsku zaštitu) koji je nemoguće kontrolisati u smislu Zakonskih odredbi o odlaganju radioaktivnog i njim kontaminiranog materijala. Međutim, u radu se pokazalo da se sličan efekat može postići efektom šuplje katode i to primenom elektroda kompozitnog tipa u kojima je šupljina u katodi izrađena od materijala sa izuzetno visokom vrednošću izolacionog rada, a telo elektrode od materijala sa visokom vrednošću temperature topljenja i dobrom toplotnom provodljivošću (da bi se sačuvao visok stepen ireverzibilnosti izolacionih karakteristika gasnog odvodnika prenapona u uslovima eksploatacije).
- Ispitivanjem vrednosti prvog probojnog napona dekonicioniranog sistema dobijeni su neki preliminarni rezultati koji ukazuju da je moguće izborom vrste gasa, pritiska gasa i načina obrade elektrodnih površina smanjiti odnos prvih vrednosti probojnih napona (DC i impulsni) dugovremenski dekonicioniranih elektrodnih sistema.

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 mr Dragan Brajović u svojstvu autora i koautora do sada je objavio sledeće radove iz oblasti u kojoj je Doktorska disertacija:

Kategorija M21:

M. Pejović, N. Tešić, M. Pejović, **D. Brajović**, I. Denić, Investigation of post-discharge processes in nitrogen at low pressure, Physics of Plasmas Vo. 19, art. no. 123512 (2012) [ISSN 1070-664X], [IF: 2.320].

Kategorija M22:

D. Brajović, M. Vujisić, M. Stojkanović, U. Kovačević, 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). [ISSN 1451-3994], [IF: 1.159].

M. Alimpijević, Z. Rajović, **D. Brajović**, M. Vujisić, K. Stanković, Influence of the Breakdown Mechanism to the Left of the Paschen Minimum on the Breakdown Temperature of the Free Electron Gas Maxwell Spectrum, Vacuum Vol. 99, pp. 89-94, 2014. [ISSN 0042-207X], [IF: 1.530].

Kategorija M23:

M. Pejović, I. Spasić, M. Pejović, N. Tešić, **D. Brajović**, Processes in afterglow responsible for initiation of electrical breakdown in xenon at low pressure, Journal of Plasma Physics, Vol. 79, pp. 641-646, 2013. [ISSN 0022-3778], [IF: 2.320].

Kategorija M63:

D. Brajović, M. Alimpijević, M. Stojkanović, B. Jovanović, M. Jurošević, "Uticaj jonizujućeg zračenja na funkcionalne karakteristike gasnih odvodnika prenapona", 31. Savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor, 26.05-30.05.2013, Zbornik radova R D1 06 [ISBN 978-86-82317-73-9].

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, Zlatibor, 26.05-30.05.2013, Zbornik radova R D1 07 [ISBN 978-86-82317-73-9].


5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Doktorska disertacija kandidata mr Dragana Brajovića, pod naslovom „Optimizacija dinamičkih karakteristika gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou“ predstavlja savremen i originalan naučni doprinos kroz sveobuhvatno sagledavanje mehanizama električnog pražnjenja u gasovima na niskom pritisku. 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 mr

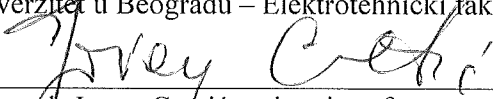
Dragan Brajović ispunio sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju i Statutom Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, pa sa zadovoljstvom predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta da ovaj Izveštaj prihvati i u skladu sa zakonskom procedurom i normativnim aktima Elektrotehničkog 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,
31.01.2013. godine

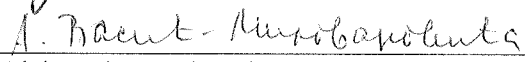
ČLANOVI KOMISIJE



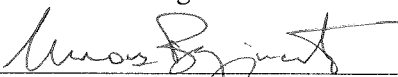
dr Predrag Osmokrović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet



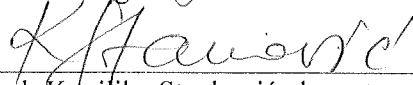
dr Jovan Cvetić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet



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



dr Miloš Vujić, docent
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet



dr Kovička Stanković, docent
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet