

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na 735. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu održanoj 6.9.2011. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije magistra **Dušana Matijaševića**, diplomiranog inženjera elektrotehnike, pod naslovom "**Radijacioni efekti u superizolatorima**". Nakon uvida u dostavljeni materijal podnosimo Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta sledeći

I Z V E Š T A J

1. Podaci o kandidatu

Dušan Matijašević rođen je 8.3.1964. godine u Beogradu, gde je završio osnovnu školu i gimnaziju (matematičko-tehnički smer). Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu upisao je 1982. godine nakon čega je proveo godinu dana na odsluženju vojnog roka. Diplomirao je 1990. godine, na Smeru za telekomunikacije Odseka za elektroniku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu (prosečna ocena: 6,38), sa diplomskim radom iz oblasti tehnologije elektrotehničkih materijala (naslov: "Termoluminiscentni dozimetri", ocena: 10). Nakon završenog fakulteta se zaposlio i pohađao postdiplomske studije na Odseku za tehnologiju elektrotehničkih materijala Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Magistarski rad pod naslovom "Uticaj radioaktivnosti i elektrodnih efekata na povećanje verovatnoće proboja plemenitih gasova pri malim vrednostima p_d " odbranio je 1999. godine na Katedri za tehnologiju elektrotehničkih materijala (mentor: prof. dr Predrag Osmokrović). Trenutno je zaposlen u kompaniji Telenor Srbija.

Komisiji za naučni rad Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu 2.6.2003. prijavio je doktorsku disertaciju sa temom "Radiaciona otpornost binarnog brojačkog kola". Odluku o prihvatanju ove teme Nastavno-naučno veće Elektrotehničkog fakulteta donelo je na sednici od 2.12.2003. Stručno veće za elektrotehničke nauke Univerziteta u Beogradu, na sednici održanoj 29.1.2004, donelo je odluku da se daje saglasnost za navedeni predlog teme doktorske disertacije. Disertacija pod navedenim naslovom nije realizovana u predviđenom roku. Aktuelnu doktorsku disertaciju, pod naslovom "Radijacioni efekti u superizolatorima", Dušan Matijašević je avgusta 2011. prijavio Komisiji za studije III stepena Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

Tokom svog dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada Dušan Matijašević objavio je, u svojstvu autora i koautora, 2 rada u časopisima međunarodnog značaja (sa SCI liste) i 7 radova na domaćim konferencijama. Spisak publikovanih naučnih i stručnih radova Dušana Matijaševića je sledeći:

1. M. Vujisić, **D. Matijašević**, E. Dolićanin, P. Osmokrović - *Simulated Radiation Effects in the Superinsulating Phase of Titanium Nitride Films*, Nuclear Technology and Radiation Protection, Vol. 26, No. 3 (2011) (prihvaćen za štampu). (IF 2010: 0,706) (ISSN: 1451-3994)
2. P. Osmokrović, I. Krivokapić, **D. Matijašević**, N. Kartalović - *Stability of the Gas Filled Surge Arresters Characteristics Under Service Conditions*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 1 (1996), pp. 260-266. (IF 2010: 1,208) (ISSN: 0885-8977)
3. B. Lončar, N. Kartalović, **D. Matijašević**, P. Osmokrović - *Uticaj elektrodnih efekata na izolaciona svojstva elemenata za zaštitu od prenapona pri malim vrednostima pritiska i međuelektrodnog rastojanja*, 26. savetovanje YUKO CIGRE, Teslić, BiH, 2003.
4. B. Lončar, N. Kartalović, **D. Matijašević**, P. Osmokrović - *Uticaj radioaktivnog punjenja na efikasnost gasnih odvodnika prenapona pri malim vrednostima " p_d "*, XLV Konferencija ETRAN, Sokobanja, jun 2000, Zbornik radova, Sveska IV, str. 129-132.

5. **D. Matijašević**, B. Lončar, I. Krivokapić, D. Novaković - *Poboljšanje zaštitnih karakteristika gasnih odvodnika prenapona sa i bez korišćenja radioaktivnih izvora*, XLII Konferencija ETRAN, Vrnjačka Banja, jun 1998, Zbornik radova, sveska IV, str. 181-184.
6. **D. Matijašević** - *Bazne stanice pejdžing sistema Srbije*, Zbornik radova TELFOR 95, Beograd, 1995.
7. **D. Matijašević**, D. Šošić - *GSM-MoU (Memorandum of Understanding)*, Zbornik radova TELFOR 95, Beograd, 1995.
8. D. Šošić, **D. Matijašević** - *Arhitektura i organizacija GSM mreže*, Zbornik radova TELFOR 95, Beograd, 1995.
9. **D. Matijašević** - *Iskustva pri radu na optičkom kablju Beograd-Ruma-Sremska Mitrovica*, Zbornik radova TELFOR 94, Beograd, 1994.

2. Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji su efekti zračenja u superizolatorima. Superizolatorsko stanje je po prvi put eksperimentalno uočeno pre svega nekoliko godina. Iako je po nekim osobinama slična superprovodnoj, superizolatorsku fazu karakteriše čitav niz pojava koje je čine jedinstvenom, kako po fundamentalnim fizičkim osobinama, tako i u pogledu električnog i magnetnog ponašanja. Za elektrotehničke primene, najznačajnija je osobina beskonačne električne otpornosti. Superizolatorsko stanje moguće je shvatiti kao dualno superprovodnom, pri čemu oba opstaju samo do određenih kritičnih vrednosti ista tri parametra: temperature, primenjenog napona i jačine magnetnog polja.

Potencijalno veoma značajna primena superizolatora je za izolaciju kablova, pogotovo superprovodnih kablova čija konstrukcija svakako podrazumeva hlađenje do niskih temperatura, na kojima se održavaju i superprovodno i superizolatorsko stanje. Komercijalizacija ovakvih kablova zahtevala bi da se, paralelno sa razvojem visokotemperaturnih superprovodnika pogodnih mehaničkih karakteristika, nađu i visokotemperaturni superizolatorski materijali, koji mogu da se rashlađuju jeftinim tečnim azotom. Problemi dielektričnih gubitaka u komunikacionim kablovima, koji se koriste za povezivanje radio transmitera sa antenama, razvođenje signala kablovske televizije, ili u mrežama računara, mogli bi da se reše zamenom standardnih izolatora superizolatorima. Procenjuje se da bi izolovanjem galvanskih elemenata superizolatorskim materijalom gubici usled struja curenja mogli da se svedu na zanemarljiv nivo. Navedene mogućnosti primene superizolatora čine ovu klasu materijala izuzetno značajnom sa stanovišta elektroinženjerske prakse.

U tehnologiji izrade integrisanih kola izolatorski materijali imaju mnogobrojne uloge: od dielektrika gejta u MOS tehnologiji, preko vertikalne separacije susednih elemenata, izolacije poluprovodničkih i provodnih slojeva u planarnim kolima, do pasivizacije celokupnih kola. Minijaturizacija i sve veća gustina pakovanja u savremenim komponentama nalažu da se traga za alternativnim izolatorskim materijalima, koji bi zamenili tradicionalne izolatore čiji nedostaci postaju sve veći problem sa svakom novom generacijom integrisanih komponenti.

Brojne primene elektronskih kola i električnih komponenti podrazumevaju njihov rad u uslovima izloženosti jonizujućem zračenju. Pored zračenja koje prati ljudske prakse, naša životna sredina neprestano je izložena kosmičkom zračenju - primarnom, koje dospeva do naše planete sa Sunca ili iz daljih delova galaksije, i sekundarnom, koje nastaje u interakcijama primarnog zračenja sa atmosferom. Stoga je proučavanje dejstva zračenja na elektronske komponente i materijale koji ih sačinjavaju nezaobilazni aspekt analize pouzdanosti rada ovih komponenti, čak i kada se koriste u uslovima bez prisustva veštačkih izvora zračenja. Analiza uticaja zračenja na savremene materijale značajna je i zbog uvida u ponašanje ovih materijala tokom standardnih tehnoloških procesa izrade integrisanih elektronskih komponenti, koji često uključuju izlaganje jonskim snopovima u cilju implantacije primesa i profilisanja oblasti željenih električnih karakteristika.

Cilj istraživanja je da se primenom Monte Carlo simulacije transporta zračenja kroz superizolatorske filmove analizira dejstvo jonizujućeg zračenja na karakteristike superizolatorske faze, kao i da se verifikuju predviđanja teorijskog modela u pogledu degradacije osobina superizolatora izazvane ozračivanjem. Sa stanovišta sinteze i primene superizolatora, cilj je da se ispita ponašanje ovih materijala tokom tehnoloških postupaka sa izlaganjem jonskim snopovima i njihova primenljivost u mikroelektronskim, telekomunikacionim, mernim i industrijskim sistemima od kojih se zahteva pouzdan rad u poljima zračenja.

3. Polazne hipoteze

Osnovna pretpostavka, koja će biti potvrđena numeričkim simulacijama u ovom radu, jeste da se u superizolatorskim filmovima nanometarskih debljina javljaju radijacioni efekti kada se nađu u poljima zračenja koja se sreću u praksi, kao i da ovi efekti mogu značajno da utiču na karakteristike superizolatora.

Poređenjem teorijskih predviđanja sa rezultatima numeričkih eksperimenata, kojima se simuliraju efekti prolaska jonizujućeg zračenja kroz analizirane materijale, testira se hipoteza da je teorijskom analizom moguće predvideti efekte zračenja u superizolatorskim filmovima. Ovo dalje omogućava da se proceni njihova radijaciona otpornost i odrede vrednosti fizičkih parametara superizolatorskih filmova (sastav, debljina, oklopljenost drugim materijalima) koji bi ih učinili otpornijim na uticaj zračenja.

4. Naučne metode istraživanja

Metode korišćene u disertaciji uključivaće teorijsko modelovanje, pomoću kog je moguće doći do predikcija ponašanja superizolatorskih materijala u uslovima izloženosti zračenju, kao i verifikaciju teorijskih predviđanja pomoću numeričkih eksperimenata. Jedinstvene fizičke osobine superizolatorskog stanja biće obuhvaćene modelom 2D niza Džozefsonovih spojeva za opis strukture materijala. Numerički eksperimenti dozvoliće zadavanje vrednosti varijabilnih parametara superizolatorskih materijala i polja zračenja. Rezultati ovako sprovedenih numeričkih eksperimenata ukazaće na optimalne opsege vrednosti fizičkih karaktersika superprovodnih filmova koji ih čine radijaciono čvrstim. Primenom teorijsko-numeričke analize na nekoliko različitih materijala, kod kojih je do danas uočena pojava superizolatorske faze, biće moguće uporediti ove materijale sa stanovišta osetljivosti na izlaganje jonizujućem zračenju.

5. Očekivani naučni doprinos

U disertaciji će po prvi put biti analizirani efekti zračenja u novootkrivenom superizolatorskom stanju. Doći će se do podataka o radijacionoj osetljivosti superizolatorske faze na zračenja različitog kvaliteta (tipa, energije, geometrije polja), na osnovu kojih će biti izvedeni zaključci o mogućnostima praktične primene ovih materijala. Biće određeni parametri superizolatorskih filmova, na koje je moguće uticati tokom izrade, čijom optimizacijom bi bilo moguće postići radijaciono očvršćavanje superizolatorskih struktura. Poređenjem rezultata simulacija sa teorijskim predstavama superizolatorskog stanja, uz pretpostavku kontrolisane varijacije sastava, debljine i drugih parametara analiziranih materijala, utvdiće se smernice za dalja istraživanja, čiji bi cilj bila sinteza radijaciono čvrstih visokotemperaturnih superizolatora.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Na osnovu najskorijih saznanja o osobinama superizolatora biće sprovedena teorijska predikcija ponašanja filmova ovih materijala u uslovima izloženosti jonizujućem zračenju.

Teorijska predviđanja uključivaće varijaciju nekoliko parametara koji značajno utiču na osobine superizolatorskih materijala, kao što su hemijski sastav, debljina filma i temperatura. Analiza će biti

sprovedena za različita polja zračenja (čestičnog i elektromagnetnog), uz promenu energije zračenja, profila snopa, i upadnog ugla u odnosu na površinu superizolatorskog filma. Efekti zračenja biće praćeni sa stanovišta strukturnih promena unutar ispitivanih filmova, kao i promena fizičkih i električnih karakteristika, što podrazumeva visinu energetske barijere u 2D nizu Džozefsonovi spojeva, specifičnu električnu otpornost i strujno-naponsku karakteristiku.

Značaj sprovedenih predviđanja, zasnovanih na teorijskim modelima superizolatorskih filmova i interakcije zračenja sa materijalom, biće verifikovan numeričkim simulacijama prolaska zračenja kroz filmove superizolatora, baziranim na Monte Carlo metodi.

U radu će najpre biti izložene fizičke osobine i podela savremenih izolatorskih materijala. Posebna pažnja biće posvećena izolatorskom stanju sa Kuperovim parovima, koje prethodi nastajanju superizolatorske faze. Superizolatorsko stanje biće opisano sa stanovišta teorije superprovodnosti, s obzirom da ono predstavlja stanje dualno superprovodnom, pri čemu oba postoje samo do određenih kritičnih vrednosti temperature, napona i jačine magnetnog polja.

Biće izložena teorija po kojoj se superizolatorsko stanje javlja putem kvantnog faznog prelaza, uz uslov postojanja granularne strukture, bilo formirane tehnološkim postupkom ili spontano obrazovane. Ovaj kvantni fazni prelaz dovodi do nastanka energetske procepe u spektru dozvoljenih elektronsko-šupljinskih stanja, čime proticanje struje tunelovanja između superprovodnih ostrva u 2D nizu spojeva postaje nemoguće, što odgovara stanju nulte struje pri proizvoljno visokom primenjenom naponu, odnosno stanju beskonačno velike električne otpornosti.

U delu rada koji na opšti način razmatra uticaj zračenja na izolatore, biće izložene fizičke osnove prolaska zračenja kroz materijal, sa akcentom na mikroskopske promene u samom materijalu. U nastavku će biti razmotrene specifičnosti interakcije zračenja sa izolatorskim materijalima, u pogledu promena karakteristika ovih materijala koje su značajne u inženjerskoj praksi. Na osnovu prethodno izloženog, biće dat detaljan opis mogućih radijacionih oštećenja u čvrstim izolatorima. Klasifikacijom ovih oštećenja (na prolazna i trajna, površinska i zapreminska) biće razmotrena mogućnost njihovog otklanjanja primenom pogodnih tretmana.

U delu rada koji sadrži analizu efekata zračenja u superizolatorima, fizička slika superizolatorskog stanja i teorija radijacionih efekata u čvrstim izolatorima biće ujedinjene u originalan model dejstva zračenja na superizolatorsku fazu. Na osnovu ovog teorijskog modela biće izvedene predikcije radijacionih efekata u analiziranim filmovima superizolatora na nivou mikroskopske strukture, kao i predviđanja uticaja ozračivanja na električne osobine ovih materijala.

U okviru dela rada koji je posvećen numeričkoj simulaciji, biće prezentovani rezultati koji potvrđuju polaznu pretpostavku o osetljivosti superizolatora na dejstvo jonizujućeg zračenja. Vrste zračenja i energetski opsezi u simulacijama biće odabrani tako da predstavljaju polja zračenja prisutna na akceleratorskim i reaktorskim postrojenjima, odeljenjima nuklearne medicine i radioterapije, u kojima može da se očekuje primena elektronskih komponenti koje će sadržati superizolatorske materijale. Simulacijama će biti obuhvaćeno i kosmičko zračenje prisutno na različitim nadmorskim visinama, kao i snopovi jona koji se najčešće koriste u tehnološkim procesima izrade mikroelektronskih kola. Na osnovu rezultata numeričkih eksperimenata biće određene vrednosti fluensa različitih vrsta zračenja, kao i apsorbovane doze u superizolatorima, pri kojima se očekuje pojava pojedinih radijacionih efekata predviđenih teorijskim modelom.

U zaključku rada biće dat pregled najvažnijih rezultata sprovedene teorijsko-numeričke analize, što će da uključi opšte komentare o senzitivnosti superizolatorske faze na dejstvo zračenja, poređenje analiziranih superizolatorskih materijala na osnovu radijacione čvrstoće, procenu podudaranja očekivanih efekata zračenja do kojih se dolazi teorijskim razmatranjem i numeričkom simulacijom, preporuke za radijaciono očvršćavanje superizolatorskih filmova, kao i smernice za dalja istraživanja.

7. Zaključak i predlog

Mr Dušan Matijašević, dipl. inž. elekt., prijavio je doktorsku disertaciju pod naslovom "**Radijacioni efekti u superizolatorima**" u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, podnevši na uvid sva dokumenta predviđena ovim pravilnikom. Na osnovu podnetih dokumenata konstatovano je da je Dušan Matijašević diplomirao i magistrirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, te da ne postoje nikakve zakonske smetnje da prijavi doktorsku disertaciju. Predmet predložene teme je veoma aktuelan, a planirane metode istraživanja pouzdane i sistematične. Rad će biti strukturisan tako da na najpotpuniji način izloži hipoteze i rezultate istraživanja. Zaključci koji će u disertaciji biti izvedeni predstavljaju značajan naučni i stručni doprinos u oblasti uticaja zračenja na savremene materijale. Predloženi mentor dr Miloš Vujisić je docent Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, sa više radova iz naučne oblasti predložene disertacije objavljenih u časopisima sa SCI liste, 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 Dušana Matijaševića pod naslovom "**Radijacioni efekti u superizolatorima**".

U Beogradu,
30.9.2011.

Komisija

dr Miloš Vujisić, doc.

dr Predrag Osmokrović, red. prof.

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