

Viši asistent Mr Mirza Batalovic, dipl.el.ing.

Jarčedoli 18, Sarajevo

Kanton Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Telefon: 033/212-778

Mail: mbatalovic@etf.unsa.ba

Sarajevo, 29.09.2011.

**NASTAVNONAUKNO VIJEĆE ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U
SARAJEVU**

Predmet: Prijava doktorske disertacije

Poštovani,

Obraćam Vam se s molbom da u skladu s pravilima Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu i Univerziteta u Sarajevu razmotrite prijedlog teme doktorske disertacije koju bih želio raditi na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu.

Uz prijavu prilažem:

- 1) Kratku biografiju
- 2) Popis i primjerke objavljenih radova
- 3) Izjavu da postupak sticanja akademskog stepena doktor nisam pokrenuo niti u jednoj drugoj ustanovi
- 4) Ovjerenu kopiju diplome o sticanju zvanja diplomirani inženjer i
- 5) Ovjerenu kopiju diplome o sticanju zvanja magistar nauka

Želim napomenuti da sam ovu prijavu sačinio u konsultacijama s Prof.dr. Kemom Sokolija, te da se radi o temi koju je Prof. Sokolija predložio u okviru akta „Teme za izradu doktorskih disertacija na trećem ciklusu studija“ – Odsjek za elektroenergetiku, a koji je usvojilo Nastavnonaučno vijeće Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu 2010. godine.

Viši asistent Mr Mirza Batalović, dipl.el.ing.

Viši asistent Mr Mirza Batalovic, dipl.el.ing.

Jarčedoli 18, Sarajevo

Kanton Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Telefon: 033/212-778

Mail: mbatalovic@etf.unsa.ba

Sarajevo, 29.09.2011.

PRIJAVA DOKTORSKE DISERTACIJE

1) Prijedlog naslova disertacije

„Utjecaj nekih vrsta defekata na proces nastanka i razvoja parcijalnih pražnjenja u kablskim sistemima s polimernom izolacijom“

„Influence of some kinds of defects on process of ignition and development of partial discharges in extruded cable systems“

2) Obrazloženje teme

Prvi srednjenaponski kabele u kojima se kao izolacijski materijal koristio umreženi polietilen proizvedeni su i instalirani kasnih šezdesetih godina XX stoljeća. Vremenom je ova tehnologija postala preferencijalna kad se radi o nivou srednjeg napona, a sve se više koristi i u proizvodnji kabela visokog i ekstravisokog napona.

Razvoj tehnologije kabela s polimernom izolacijom pratili su, međutim, stanoviti problemi, budući da su prvi instalirani kabele doživljavali prerane kvarove zbog pojave vodenog treeinga. Ovi su problemi sistematski izučavani, tako da danas imamo rješenja koja omogućuju značajno povećanje pouzdanosti i očekivane životne dobi ove vrste kabela. Na raspolaganju, naime stoje materijali koji priječe nastanak i razvoj vodenog treeinga, a proizvođači kabela su u stanju načiniti kabele u čijoj izolaciji nema šupljina i čija su sučelja s poluvodičkim ekranima glatka.

Sve to, međutim, nije dovoljna garancija pouzdanog rada tek instaliranog kablskog sistema imajući u vidu činjenicu da se tokom transporta, asembliranja i instaliranja kablskog pribora (kablskih spojnika i kablskih završetaka) u njemu samom mogu pojaviti takvi defekti koji će za rezultat imati kvarove što će se u kablskom sistemu dogoditi nakon eksploatacije.

Kako bi se otkrilo prisustvo ovih defekata tek instalirani kablski sistem podvrgava se odgovarajućem testu (after – laying test) propisanom IEC standardima [1,2]. Test se sastoji u primjeni povišenog napona tokom propisanog vremena. Iskustva, međutim, pokazuju da se na ovaj način ne mogu otkriti, lokalizirati i prepoznati svi naprijed spomenuti defekti.

Budući da parcijalna pražnjenja – električni lukovi što gore unutar izolacijskog sistema premoštavajući samo mali dio električne izolacije visokonaponskog uređaja – jesu

i uzročnik i simptom slabljenja njezinog „zdravstvenog stanja“, jasno je da istraživanje impulsnih signala čije se izvorište nalazi u ovom fenomenu predstavlja put k ustvrđivanju tog stanja. Parcijalna pražnjenja mogu biti začeta u električkoj izolaciji koja je zbog „zuba vremena“ ili prethodne „burne historije“ došla u stanje istrošenosti, ali i u posve novim uređajima, kao posljedica lošeg dizajna ili nepropisnog instaliranja. Zbog toga, otkrivanje postojanja, lociranje položaja i mjerenje intenziteta parcijalnih pražnjenja ne predstavlja samo sredstvo za prediktivno, na stanju bazirano održavanje električke opreme, nego i veoma moćan alat za kontrolu i osiguranje kvalitete njezine proizvodnje i procesa njezinog instaliranja.

Parcijalna pražnjenja su se potvrdila kao učinkovita metoda za identifikaciju i lokalizaciju defekata i u visokonaponskim kabelskim sistemima s polimernom izolacijom [3].

U aktualnim standardima koji se odnose na ispitivanje kabelskih sistema s polimernom izolacijom (IEC 60840 i IEC 62067) se mjerenje parcijalnih pražnjenja uopće ne spominje, mada ih preporučuju odgovarajući dokumenti IEEE i CIGRE [4,5].

Istraživanja koja se predlažu u okviru ove disertacije imaju za cilj potvrditi opravdanost proširenja postojećih IEC standarda, tako što će se u njih uključiti procedure za mjerenje parcijalnih pražnjenja. Na taj način dobit će se učinkovit alat za identifikaciju i lociranje defekata nastalih tokom instaliranja kabelskih sistema i preduprijeti kvarovi što bi se pojavili tokom njihove eksploatacije.

3) Rezultati u oblasti kojoj tema pripada

Zbog činjenice da su veoma bitni za otkrivanje slabih mjesta u kabelskom sistemu, detekcija i lokalizacija defekata koji dovode do pojave parcijalnih pražnjenja u izolaciji energetskih kabela predstavljaju veoma važne procedure u postupku utvrđivanja stupnja njihove pouzdanosti [6 - 10]. Budući da kvarovi što se dogode na izolacijskom sistemu energetskih kabela mogu imati dalekosežne posljedice, tokom tvorničkih ispitivanja provode se opsežna naponska ispitivanja u kombinaciji s detekcijom parcijalnih pražnjenja.

Na instaliranim kabelskim sistemima se također provode naponska ispitivanja [1, 2, 11, 12], koja mogu, ali ne moraju biti kombinirana s detekcijom parcijalnih pražnjenja [4,5]. Detekcija parcijalnih pražnjenja se, u općem slučaju, provodi u off-line postupku, tako što se kabelski sistem isključi iz pogona i priključi na vanjski izvor koji izaziva pražnjenje u defektima.

Od radova koji predstavljaju prethodnicu ovdje izloženom istraživanju potrebno je izdvojiti dva rada što su objavljena na University of Technology u Delftu (Nizozemska).

U okviru svoje doktorske disertacije F.J. Wester [6] izvršio je istraživanja tipičnih defekata u različitim elementima kabelske mreže koji su doveli do proboja izolacije. U mnogim je slučajevima proboju prethodila aktivnost parcijalnih pražnjenja. Pokazano je da su parcijalna pražnjenja važan simptom za ustanovljavanje prisustva procesa deterioracije u kabelskoj izolaciji, te da predstavljaju osjetljiv detekcijski parametar za prepoznavanje i lokaliziranje prisustva velikog broja defekata u različitim komponentama kabelskog sistema. Simptomi deterioracije izolacije izazvani tipičnim defektima identificirani su pomoću aktivnosti parcijalnih pražnjenja. Na osnovi toga izveden je zaključak da

parcijalna pražnjenja predstavljaju karakteristično dijagnostičko svojstvo putom kojeg je moguće prepoznati prisustvo ovih defekata. U okviru svoje magistarske teze J. Setyawan [13] je istraživao ponašanje tri vrste vještački stvorenih defekata u spojnici prijenosnog kablenskog sistema napona 150kV: djelomično nepostojanje vanjskog poluvodičkog ekrana, postojanje suviška poluvodičkog ekrana (nepravilno pozicioniranje kablenske spojnice) i postojanje kavitacije između vanjskog poluvodičkog ekrana i izolacije kabela. Ovi vještački stvoreni defekti koji su bili predmetom analize provedene u radu [6] predstavljaju različite tipove pogrešaka u instaliranju kablenskog sistema. Defekti su modelirani pomoću kompjuterskog paketa ANSOFT, a zatim su u svrhu ustvrđivanja njihovih karakteristika glede parcijalnih pražnjenja primijenjene dvije metode za njihovo mjerenje. Rezultati ovog rada, bez obzira što ne nude konkretne zaključke, predstavljaju vrlo važnu podlogu i poticaj za dalja istraživanja u pravcu proširenja postojećeg standardnog testa kabela nakon njihovog polaganja (after – laying test standard) s mjerenjem parcijalnih pražnjenja. Upravo se na preprekama za dalja istraživanja navedenim na kraju ovog rada temelji ideja što smo se razradili u prijavi ove disertacije.

4) Osnovni ciljevi i plan istraživanja

Energetski kablei se danas sve više koriste u elektroenergetskom sistemu, budući da je porast populacije u urbanim sredinama u direktnoj posljedičnoj svezi s porastom potrošnje električne energije, jedino primjenom energetskih kabela. Jedan od dodatnih razloga za porast primjene energetskih kabela nalazi se u činjenici da je dobar dio postojeće kablenske mreže dostigao konac svoje životne dobi i da mora biti zamijenjen.

Kablei s ekstrudiranom polimernom izolacijom su zbog jednostavnog instaliranja i eksploatacije, te zbog visokog stupnja njihove pouzdanosti danas kadri zadovoljiti sva strujna opterećenja, počevši od niskog napona pa do najviših prijenosnih napona.

Zahvaljujući razvoju novih izolacijskih materijala i tehnologije njihove proizvodnje, dobro dizajnirani i uz visok stupanj kontrole kvalitete proizvedeni kablei imaju očekivanu životnu dob od preko četrdeset godina. Pravilnim izborom korisnici su danas u prilici dobiti povećanu pouzdanost i niže troškove životnog ciklusa srednjenaponskih i visokonaponskih kabela u odnosu na konvencionalne tehnologije [14-17].

Nakon što su prošli proceduru tipskih i rutinskih ispitivanja u tvornici, isporučeni kablei se smatraju „zdravim“ tj. oslobođenim od bilo kakvih defekata. Međutim, da bi se ustvrdilo postojanje eventualnih defekata u kablenskom sistemu koji su rezultat oštećenja nastalih tokom transporta, skladištenja i instaliranja, odnosno oštećenja koja su rezultat nesavršenosti procesa asembliranja kablenskog pribora na terenu, na kablenskim se sistemima nakon njihovog instaliranja provode odgovarajuća ispitivanja. S obzirom na činjenicu da je izolacija polimernih kabela veoma osjetljiva na aktivnost parcijalnih pražnjenja, mjerenje parcijalnih pražnjenja predstavlja jednu od veoma bitnih procedura u ovom ispitivanju [6, 13, 18–21].

Naime, postojanje defekat u kablenskom priboru, dovodi do porasta električnog polja u zoni defekta i do mogućnosti nastanka parcijalnih pražnjenja. Ova pražnjenja mogu prouzročiti degradaciju izolacije i dovesti do proboja izolacije kabela. Prema tome, otkrivanje postojanja parcijalnih pražnjenja može se koristiti kao indikator prisustva

defekata, a njihov intenzitet kao pokazatelj stupnja opasnosti od nastanka kvara u kabelskom sistemu izazvanog tim prisustvom.

Osnovni cilj ovog rada je istražiti odnose između tri bitna faktora koja determiniraju postupak detekcije parcijalnih pražnjenja u testu koji se provodi nakon instaliranja kabelskog sistema – nakon polaganja kabela: metoda detekcije, tip ispitnog napona i nastanak fenomena parcijalnih pražnjenja.

Da bi se dostigao ovaj cilj potrebno je provesti sljedeće korake:

- 1) istražiti karakteristike defekata tipa oštih izbočina na poluvodičkim ekranima i defekata izazvanih prisustvom vodljivih čestica na izolacijskom materijalu unutar komponenata kabelskog pribora; ova će se istraživanja provesti kompjuterskom simulacijom defekata koji su vještački izazvani na realnim kabelskim sistemima;
- 2) priprema modela vještački izazvanih defekata na realnim kabelskim sistemima;
- 3) definiranje eksperimentalne podrške: izvori napajanja i instrumentarij za konvencionalno i nekonvencionalno mjerenje parcijalnih pražnjenja;
- 4) eksperimentalna istraživanja na pripremljenim modelima.

5) Metodologija istraživanja

5.1 Kompjuterska simulacija vještački izazvanih defekata u komponentama realnih kabelskih sistema

Kompjuterska simulacija oštih izbočina na poluvodičkim ekranima i prisustva vodljivih čestica na izolacijskom materijalu unutar kabelske spojnice bit će provedena primjenom prikladnog numeričkog postupka za rješavanje matematskih modela kojim se mogu opisati ovakve situacije [22, 23]. U tu svrhu koristit će se sljedeći softverski paketi: COMSOL Multiphysics, MATLAB i FLUX CAE Software. Ova istraživanja omogućit će provedbu analize ponašanja promatranog kabelskog sistema glede pojave parcijalnih pražnjenja u zoni vještački proizvedenih defekata.

5.2 Eksperimentalna istraživanja

Eksperimentalna istraživanja su u svrhu mjerenja parcijalnih pražnjenja nastalih zbog prisustva vještački izazvanih defekata navedenih u 5.1 obaviti će se u visokonaponskoj laboratoriji na relanom kabelskom sistemu. U svrhu izazivanja parcijalnih pražnjenja u zoni proizvedenih defekata koristit će se različiti izvori napajanja, a mjerenje parcijalnih pražnjenja obaviti će se primjenom standardizirane konvencionalne procedure [24, 25], kao i primjenom neke od novijih nekonvencionalnih procedura.

6) Očekivani izvorni naučni doprinos disertacije

Istraživanja predložena u ovoj disertaciji – teorijska podloga, kompjuterska simulacija i eksperimenti na realnim modelima – treba da potvrde tezu kako su postojeći IEC standardi koji se odnose na testiranje energetske kabelske sisteme s polimernom izolacijom nepotpuni i da ih je potrebno proširiti s testovima koji se odnose na mjerenje

parcijalnih pražnjenja u zoni defekata koji mogu nastati prilikom instaliranja ovih kabelskih sistema.

Prijedlozi za ove izmjene bit će originalne i utemeljene na sveobuhvatnim istraživanjima fenomena parcijalnih pražnjenja u komponentama kabelskih sistema. Na taj način dobit će se učinkovit alat za identifikaciju i lociranje tako nastalih defekata i preduprjeđivanje kvarova što bi se zbog njihovog prisustva mogli dogoditi tokom eksploatacije razmatranih kabelskih sistema.

7) Popis korištene literature

- [1] IEC 60840; Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) Test methods and requirements.
- [2] IEC 62067; Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV ($U_m = 170$ kV) up to 500 kV ($U_m = 550$ kV) -Test methods and requirements.
- [3] Th. Heimann, Th. Aschwanden, H. Hahn, M. Laurent, L. Ritter, On-Site Partial Discharge Measurements on Premoulded Cross-Bonding Joints of 170 kV XLPE and EPR Cables, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No.2, April 1998.
- [4] IEEE Std 400.3TM-2006; Guide for Partial Discharge Testing of Shielded Power Cable Systems in a Field Environment;
- [5] CIGRÉ Technical Brochure No.182; Partial Discharge Detection in installed HV extruded cable systems; CIGRÉ WG 21.16, April 2001.
- [6] J. Wester: „Condition Assessment of Power Cable using Partial Discharge Diagnosis at Damped AC Voltages“, Ph. D. Dissertation, Delft University of Technology, 2004.
- [7] N. Ahmed and N. Srinivas, “On-line Partial Discharge Detection in Cables”, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 5, pp.181-188, 1998.
- [8] B.R. Hamerling, F.J. Wester, E. Gulski, J.J. Smit and E.R.S. Groot, “Fundamental aspects of on-line PD measurements on distribution power cables”, IEEE 7th Intern. Conf. Solid Dielectrics, pp.408-411,2001.
- [9] F.J. Wester, E. Gulski, J.J. Smit and E.R.S. Groot, “Sensitivity Aspects of On-line PD Diagnosis of MV Power Cables”, Cired, 17th Intern. Conf. Electricity Distribution, pp 1-6, Barcelona, Spain, 2003.
- [10] F.J. Wester, E. Gulski, E.R.S. Groot and M.G.A. van Vliet, “Sensitivity of on-line PD detection for distribution power cables”, 13th Intern. Sympos. High Voltage Engineering (ISH), Delft, The Netherlands, pp. 338, 2003.
- [11] IEEE 400 Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems.

- [12] IEC 60060-3 High Voltage test techniques –Part 3: Definitions and requirements for on-site testing.
- [13] J. Setyawan: „Investigation of partial Discharge Occurance and Defectability in High Voltage Power Cable Accessories“, MSc Graduation thesis, Delft University of Technology, 2009.
- [14] W.A Thue: „Electrical Power Cable Engineering“ Marcel Dekker, Inc., 1999 (book)
- [15] R. Bartnikas, K.D. Srivastava: „Power and Communication Cables – Theory and Applications“, John Wiley & Sons, 2000 (book).
- [16] K. Sokolija, M. Batalović: „Suvremeni trendovi u izboru materijala i dizajna srednjenaponskih ekstrudiranih kabela“, 20 Međunarodni simpozij elektroinženjerstva, Šibenik 2010.
- [17] E. Peschke, R. Von Olshausen: „Cable Systems for High and Extra - High Voltage“, Publics MCD Verlag, 1999.
- [18] F.H Kruger: „Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment, Butterworths & co Ltd, London, 1989.
- [19] S.Boggs, J.Densley: „Fundamentals of Partial Discharges in the context Field Cable Testing“, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.16, N₀. 5, 2000
- [20] IEC 62067, Standard Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV ($U_m = 170$ kV) up to 500 kV ($U_m = 550$ kV) - Test methods and requirements.
- [21] R.C.Ladde: „Partial Discharge Diagnosis of High Voltage Power Cable Accessories“, Msc Graduation thesis, Delft University of Technology“, Delft, 2007.
- [22] M. Batalović: Magistarski rad
- [23] K. Sokolija, M. Batalović: Hrvatska CIGRE
- [24] IEC Publication 60270, Partial Discharge Measurements, 3rd Edition, 2000
- [25] Guide for Electrical PD Measurement in Compliance to IEC 60270, CIGRE Technical Brochure.

Viši asistent Mr Mirza Batalović, dipl.el.ing
