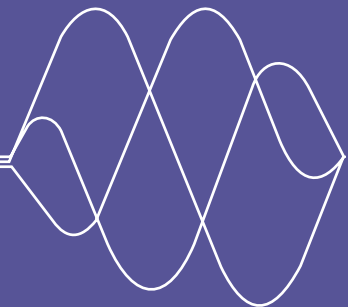


CIGRE_D

GODINA II / BROJ 4 / JUL - DECEMBAR 2016



Časopis udruženja





SADRŽAJ

Reč predsednika CIGRE Srbija i CIRED Srbija.....	4
Održano 46. savetovanje CIGRE – Paris	5-9
Dr. Rob Stephen, novi predsednik međunarodne CIGRE.....	10
Održano X Savetovanje o elektrodistributivnim mrežama CIRED	11-14
17. Simozijum CIGRE Srbija – Upravljanje i telekomunikacije u EES	15
X jubilarna Mediteranska konferencija o proizvodnji, prenosu i distribuciji električne energije – <i>MedPower 2016</i>	16-19
Prvo obaveštenje za 33. savetovanje CIGRE Srbija.....	19-20
Centar za koordinaciju sigurnosti SCC Beograd.....	21-24
Sopstvene i međusobne imedanse elektroenergetskih kablova.....	25-32
Modelovanje i proračun kratkih spojeva distributivnih mreža sa distribuiranim generatorima zasnovanim na trofaznim inverterima	33-40
In memoriam Radmilo Antić	41-42
In memoriam Nenad Mraković.....	43



Izdavač
Srpski nacionalni komitet CIGRE,
Beograd, Knez Miloša 11
Srpski nacionalni komitet CIRED,
Novi Sad, Bulevar oslobođenja 100

Glavni i odgovorni urednik
Dragutin Salamon

Zamenik glavnog i odgovornog urednika
Miladin Tanasković

Tehnički urednik
Mildan Vujičić

Kontakt
cigred@hotmail.com

Periodičnost
Dva puta godišnje

Štampa
Birograf comp d.o.o. Zemun

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

621.3

CIGRED / glavni i odgovorni urednik
Dragutin Salamon. - God. 2, br. 4 (jul/dec. 2016)-
. - Beograd : Srpski nacionalni komitet CIGRE ;
Novi Sad : Srpski nacionalni komitet CIRED, 2015-
(Zemun : Birograf comp). - 30 cm

Dva puta godišnje. - Tekst na srp. i engl. jeziku.

ISSN 2406-2650 = CIGRED (Beograd)

COBISS.SR-ID 214999308

REČ PREDSEDNIKA CIGRE Srbija & CIRED Srbija

Poštovani čitaoci, nastavljamo saradnju između dva strukovna udruženja CIGRE Srbija i CIRED Srbija na nacionalnom nivou, koja je uobličena kroz izdavanje četvrtog broja zajedničkog periodičnog časopisa pod nazivom **CI^GRE_D**. Ovaj broj sadrži izveštaje o važnijim skupovima održanim u drugoj polovini 2016. godine i najave važnijih skupova CIGRE Srbija i CIRED Srbija u prvoj polovini 2017. godine.

Saradnja između dva strukovna udruženja CIGRE Srbija i CIRED Srbija (makar u formi izdavanja zajedničkog časopisa **CI^GRE_D**) nije izolovan slučaj u svetu. Saradnja ova dva udruženja na međunarodnom planu i formalno je ustanovljena 30. novembra 2011. godine potpisivanjem Memoranduma o razumevanju (MoU) između međunarodnih organizacija CIGRE i CIRED. Rezultat su formirane zajedničke radne grupe stručnjaka CIGRE i CIRED na rešavanju mnogih zajedničkih problema ili pitanja koja su podjednako važna i za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije. S druge strane, postoje primeri da su u nekim državama ova dva strukovna udruženja integrisana ili su pod patronatom nekog još šireg udruženja (npr. saveza energetičara i sl.).

Reakcije stručne javnosti Srbije na prva tri broja časopisa **CI^GRE_D** su vrlo dobre. I ovog puta, pored niza informacija iz oblasti rada i delovanja nacionalnih komiteta CIGRE Srbija i CIRED Srbija, uvrštena su dva stručna rada sa 10. jubilarnog savetovanja CIRED Srbija (Vrnjačka Banja, 26. – 30. septembar 2016).

Na žalost, posle dve godine saradnje, Izvršni odbor CIRED Srbija je 17. novembra 2016. godine doneo odluku da od 2017. godine više ne učestvuje u izdavanju časopisa **CI^GRE_D**. Razlozi su jasni, ovo je skup "projekat", a nije ispunio očekivanja da preraste u stručni časopis. Naime, svima nam je poznato da se u stručnoj javnosti Srbije već nekoliko godina oseća nedostatak jednog stručnog časopisa iz oblasti elektroenergetike (nekad je to bio časopis *Elektroprivreda*). Uređivački odbor časopisa **CI^GRE_D** u proširenom sastavu razmatrao je navedene sugestije i zaključio da časopis **CI^GRE_D** ipak ostane u sadašnjoj formi informativnog glasila, a da strukovna udruženja CIGRE Srbija i CIRED Srbija pokrenu inicijativu kod nadležnih republičkih organa i javnih preduzeća "Elektroprivreda Srbije" i "Elektromreža Srbije" da se ponovo pokrene izdavanje posebnog stručnog časopisa. Inicijative su upućene čak do Ministarstva rudarstva i energetike, ali za sada još nema konkretnih akcija.



Predsednik CIGRE Srbija,
mr Gojko Dotlić



Predsednik CIRED Srbija,
dr Zoran Simendić

International Council on Large Electric
Systems

Conseil International des Grands Réseaux
Électriques



Održano 46. savetovanje CIGRE Paris (Pariz, 21. – 27. avgust 2016.)

Od 21. do 27. avgusta 2016. godine u kongresnom centru „Palais des Congres – Porte Maillot“ u Parizu održano je 46. savetovanje međunarodne CIGRE. Uz prisustvo više od 8000 učesnika iz 93 zemlje oboren je doskorašnji maksimum po broju učesnika savetovanja.



Kongresni centar u Parizu

Interesantni su još neki statistički podaci o održanom savetovanju i aktivnostima u toku savetovanja:

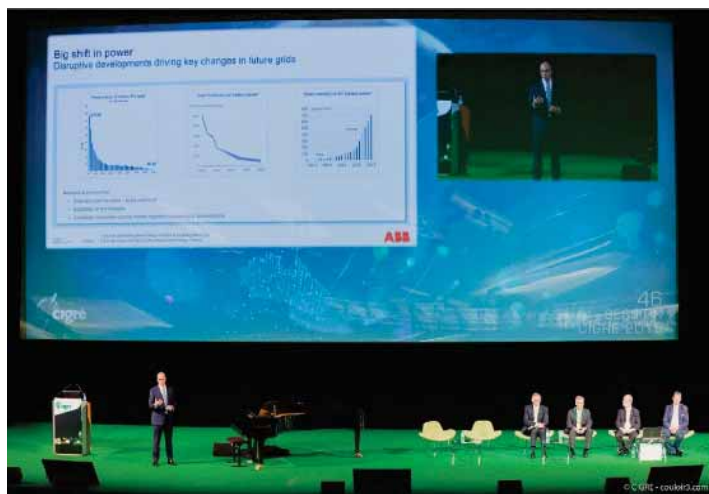
- 3.290 registrovanih učesnika savetovanja
- 36 sastanaka Studijskih komiteta (SC)
- 163 sastanaka Radnih grupa (WG)
- 7 sastanaka Nacionalnih komiteta ili Regionalnih organizacija CIGRE
- 381 registrovanih kompanija i 242 izlagača
- 4900 registrovanih propusnica za posetioce ili izlagače
- 3 sprata izložbenog prostora
- 13.680 m² površine na kojoj je održano savetovanje
- 1.050 m² površine na kojoj su održane poster prezentacije.

Izveštaj o održanom savetovanju već je objavljen na sajtu CIGRE Srbija, kao i u nekim časopisima u Srbiji, tako da je u ovom prilogu veća pažnja posvećena nekim interesantnim stručnim temama koje na određen način karakterišu ovo savetovanje.

Na ceremoniji svečanog otvaranja predavanje po pozivu održao je Claudio Facchin, President of Power Grids division ABB.



Claudio Facchin



Predavanje na svečanom otvaranju

Njegovo predavanje bilo je koncipirano vrlo široko (od prikaza velikih pomaka u energetici, preko značajnih promena na tržištu, do vizije energetske sistema u budućnosti) i obuhvatilo je sledeće teme :

- Big shift in power (Global challenges; Changing power generation balance; Disruptive developments driving key changes in future grids; Elements of the evolving grid; Technical challenges of renewable energy grid integration)
- Power systems of the future (Grid interconnection; Grid interconnection: Ultra High Voltage; Micro grids and integration of renewables; Energy storage – a key element across the power value chain; Power quality & demand management; Digitalization trend – Internet of Things, Services & People; Evolution from a conventional to a digital substation)
- Market undergoing significant change (Demand drivers remain attractive)
- Power systems of the future – an evolutionary vision (Interconnected system of regional grids with fluctuating demand and generation patterns)

Glavna panel sesija bila je posvećena globalnim perspektivama uticaja distribuiranih izvora na velike mreže (*engl.* Global Perspective of Distributed Generation Impact on the Bulk Connected Network). Moderator na sesiji bila je Britta Buchholz, predsednik Studijskog komiteta C6.



Britta Buchholz

Sesija se sastojala od 5 prezentacija:

- Roadmaps and regional differences, Konstantin Staschus SC C1
- Electricity markets and balancing energy, Andrew Ott SC C5
- Complementary technologies and grid operation, Britta Buchholz SC C6
- HVDC as enabling technology for electricity markets, Jingxuan Hu SC B4
- Micro grids as contributors to energy security and system stability, Geza Joos SC C6



Prikaz panel sesije

Interesantna je bila organizacija ove panel sesije. Naime, da bi se razbila monotonija stručnih izlaganja u dosta dugom periodu od 3 časa, sesija je bila isprepletena sa jednim interesantnim muzičkim performansom.



Muzički performans na panel sesiji

Druga panel sesija je tradicionalno bila posvećena velikim poremećajima (*engl.* Large Disturbances) u elektroenergetskim sistemima između dva savetovanja. Tu su prezentovane analize događaja:

- Large Disturbance Diemen 27th March 2015 (Maarten Abbenhuis, Netherlands)
- Coping with winter night cascade disturbance in Israel (Igor Aronovich, Israel)
- Solar Eclipse 2015 (Christoph Schneiders, Germany)

U agendi je bila predviđena i prezentacija velikog raspada i kasnije restauracije elektroenergetskog sistema Turske koji se desio 31. marta 2015, ali je ona otkazana zbog nedolaska autora prezentacije.

Ova panel sesija je, uz temu velikih poremećaja, bila proširena i temama iz eksploatacije sistema i perspektivama delovanja tržišta (*engl.* System operation and Market Performance Perspectives):

- Market Implications of high penetration of intermittent renewables in South Australia (Rainer Korte, Australia)
- Addressing Hydrological Risks in a Hydro-Based Country - the Brazilian Experience (João Carlos Mello & Luiz Barroso, Brazil)
- What is Missing from the Reliability Charge Regulation in Colombia (Cecilia Maya, Colombia)
- Gas-Electric Coordination Challenges in the California ISO Market (Adam Keech, USA)

Što se tiče stručnog dela rada po Studijskim komitetima, sve se odvijalo po već uhodanoj šemi (bez prezentacija objavljenih radova – samo odgovori na unapred postavljena pitanja stručnih izvestilaca ili učesnika). Neposredno obraćanje iz publike bilo je dozvoljeno samo unapred prijavljenim učesnicima.

Kao što je već objavljeno na Skupštini CIGRE Srbija 2016, na 46. savetovanju međunarodne CIGRE 2016 objavljena su i prezentovana dva rada u ime Nacionalnog komiteta CIGRE Srbija:

- Rad **C2-113**: *Real time synchronous generator dynamic reactive reserve monitoring by coordinated reactive power voltage controller*, autori J. Dragosavac, dr Ž. Janda, dr D. Arnautović, T. Gajić, S. Dobričić, J. V. Milanović, S. Subotić, B. Mihić
- Rad **C3-205**: *Analysis of induced Electromotive Force in Phase Conductors of 35 kV Line Caused by Ground Fault in 400 kV Overhead Power Line*, autori M. Grbić, dr D. Salamon, A. Pavlović

Ne osporavajući stručnost i originalnost ostalih radova na 46. savetovanju međunarodne CIGRE 2016, treba možda posebno izdvojiti nove ideje u održavanju elektroenergetskih objekata koje su izložene u radovima u okviru Studijskog komiteta B3. Dugo godina su usavršavani konvencionalni sistemi za signalizaciju i upravljanje elektroenergetskim postrojenjima, zatim sofisticirani sistemi za prikupljanje i obradu signala i merenih veličina i automatizaciju postrojenja (SCADA Systems), uvedeni su sistemi video nadzora, a onda se krenulo u vrlo sofisticirane metode održavanja elektroenergetskih postrojenja (*engl.* Asset Management Systems). Na savetovanju je prezentovana ideja da se za izvođenje pregleda i prikupljanje podataka u postrojenjima koriste roboti. U radu *An Autonomous Intelligent Robot for Electronic Equipment Inspection Used in Substation* (rad B3-114, autori iz Kine L. Li, G.B. Wu, S.Y. Mu, M.C. Fu, J. L. Zhao, R. Guo & J.X. Li (zaposleni u elektrotehničkom institutu i elektroprivredi Shandonga) naveden je podatak da se u Kini već danas koristi više od 300 robota za izvođenje redovnih pregleda u postrojenjima. Naravno, ambicije su da se roboti koriste u rizičnim ili bezbednosnim tipovima intervencija.

Tehnički komitet CIGRE, po novom statutu Tehnički savet (*engl.* Technical Council), je vrlo brzo reagovao na

ideje o uvođenju robota u elektroenergetska postrojenja. Tako je već 1. novembra 2016. formirana radna grupa WG N° B3.47 koja treba da uradi brošuru na temu primene robota u transformatorskim stanicama (*engl.* Application of Robotics in Substations).

Na kraju treba napomenuti da je u okviru 46. savetovanja međunarodne CIGRE 2016 održan po prvi put Inženjerski forum žena u CIGRE (*engl.* Women in Engineering Forum). Na taj način CIGRE je napravila konkretan korak u afirmaciji ženskog članstva i aktivnosti u toj organizaciji sa ciljem da u budućnosti žene budu zastupljene bar sa 1/3 članstva.



Osnivački skup inženjerskog foruma žena u CIGRE

Što se tiče učesnika iz Srbije, može se reći da smo bili prisutni na nivou prethodnih savetovanja. Preko Sekretarijata CIGRE Srbija registrovana su ukupno 22 učesnika na savetovanju. Među njima bili su prisutni svi članovi Studijskih komiteta međunarodne CIGRE: Nemanja Miložić (INT) član STK A1, Goran Jakupović (IMP) član posmatrač STK C2, Jelena Milosavljević (EPS) član STK C5 i Aleksandar Car (IMP) član STK D2, kao i članovi Radnih grupa (WG): Radivoje Crnjin (Elektroistok – Proj. biro) – STK B3, dr Ninel Čukalevski (IMP) – STK C2 i Jelena Lukić (INT) – STK A2.

Pripremio:
mr Gojko Dotlić, predsednik CIGRE
Srbija

Dr. Rob Stephen novi predsednik međunarodne CIGRE



Na sednici Administrativnog saveta međunarodne organizacije CIGRE, koja je održana za vreme 46. savetovanja CIGRE u Parizu (21.–27. avgust 2016), izabran je novi predsednik CIGRE Pariz sa dvogodišnjim mandatom. To je dr Rob Stephen iz Južne Afrike.

Dr Rob Stephen je rođen 1957. godine u Johanesburgu. Diplomirao je na Witwatersrand univerzitetu, Johanes-burg, 1979. godine. Potom je magistrirao, a onda i doktorirao na temi *Objective determination of optimal transmission line designs*. Inače, Witwatersrand univerzitet je osnovan 1922. godine i po međunarodnoj kategorizaciji univerziteta iz 2016. godine, nalazi se na 491 mestu u svetu.

Zaposlio se 1980. godine u Elektroprivredi Južne Afrike (ESCOM). ESCOM je najveća elektroprivredna kompanija u Južnoj Africi sa 42 GW instaliranih kapaciteta, 368.000 km dalekovoda i kablova i 5,3 miliona potrošača. Trenutno je vodeći specijalista u Tehnološkoj grupi u ESCOM-u i odgovoran je za tehnolo-gije prenosa i distri-

bucije energije na svim naponskim nivoima, uključujući naizmeničnu i jednosmernu struju. To je naviša moguća tehnička pozicija u ESCOM-u. Ono što je za naše uslove neobično je podela naponskih nivoa u ESCOM-u, distribucija od NN do 132 kV, a prenos od 220 kV do 765 kV.

Svoje angažovanje u međunarodnoj organizaciji CIGRE dr Stephen je započeo učlanjenjem 1988. godine. Ubrzo je postao član STK 22-12 gde se bavio termičkim opterećenjima nadzemnih vodova, da bi 1992. godine postao i predsednik STK 22-12. Za taj rad, 1996. godine dobio je Priznanje Tehničkog komiteta CIGRE. Od 1996. do 2014. godine bio je specijalni izvestilac STK 22, odnosno STK B2 po novoj nomenklaturi. Od 2000. do 2004. godine ponovo postaje predsednik STK B2 – Nadzemni vodovi. Po završetku drugog mandata, od 2005. godine ostaje aktivan u STK B2 i radi kao predsedavajući radnih grupa (vodio je dve radne grupe za izradu brošura), i kao član/predsednik Customer Advisory Group i Strategic Advisory Group. Godine 2010. je postao član Administrativnog saveta, a onda je 2 mandata biran u Izvršni odbor CIGRE Pariz (2012 i 2014). Trenutno je predsedavajući STK B2-63 koja se bavi kompaktnim vodovima naizmenične struje.

Dr Stephen je učestvovao u izradi više Tehničkih brošura koje su obrađivale termička opterećenja, spojnu opremu i opterećenja nadzemnih vodova u realnom vremenu. Autor je i koautor u 6 radova objavljenih u CIGRE časopisu ELECTRA i 7 radova objavljenih na savetovanjima CIGRE u Parizu. Autor je 2 poglavlja u nedavno izdatoj "Zelenoj knjizi" za nadzemne vodove.

Treba istaći da je dr Stephen u kandidaturi za predsednika CIGRE obezbedio podršku kompanije ESCOM i Nacionalnog komiteta CIGRE za Južnu Afriku. U toj podršci, svakako je jedan od ključnih momenata bila izjava ESCOM-a da će pokriti troškove prevoza i učešća kandidata na sastancima CIGRE i dozvoliti mu da odvoji vreme za obavljanje funkcije predsednika. Dodatno, Nacionalni komitet CIGRE za Južnu Afriku je dao izjavu da je saglasan da pokrije sve troškove njegovoga angažovanja u slučajevima kada nisu pokriveni od poslodavca.

U svom predizbornom obraćanju, dr Stephen je rekao: *I consider the National Committees to be the backbone of CIGRE and I will this engage with all National Committees to determine ways in which we can work closer together to ensure issues experienced at the National committee level are adequately addressed*. Ostaje nam da se uverimo kako će novi predsednik sarađivati sa Nacionalnim komitetima. Prilika je već na 33. savetovanju CIGRE Srbija (Zlatibor, 2. – 6. jun 2017), na koje ćemo ga obavezno pozvati.

**Congres International des Reseaux Electriques de Distribution
International Conference on Electricity Distribution**

CIREL Liaison Committee of Serbia

Secretariat

Elektrovojvodina, Bulevar Oslobođenja 100

21000 NOVI SAD, Serbia

Tel: +381-21-4821-062 /Fax: +381-21-4821-679



**Liaison Committee of
SERBIA**

ODRŽANO X SAVETOVANJE O ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA CIREL

Posle 19 godina rada Nacionalnog komiteta CIREL Srbija, od 26. do 30. septembar 2016. godine u hotelu "Zvezda" u Vrnjačkoj Banji održano je jubilarno X savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem. Savetovanje je održano uz podršku Međunarodne konferencije za elektrodistribuciju CIREL, sa podrškom i učešćem CIREL Crne Gore, CIREL Rumunije i drugih. Sledeće 2017. godine Nacionalni komitet CIREL SRBIJE slavi 20 godina uspešnog rada.



Svečano otvaranje savetovanja

Savetovanje je kao i do sada bilo veoma dobro posećeno. Prema izvedenim podacima skupu je prisustvovalo 730 registrovanih učesnika, kako autora referata i predstavnika firmi koje su učestvovala u komercijalnoj izložbi, tako i onih zainteresovanih za izlaganja autora ili posetu izložbi. Broj komercijalnih učesnika ove godine dostigao je rekordni broj od čak 61 firme. Takođe, sa 147 učesnika iz inostranstva, Savetovanje je još jednom potvrdilo svoj regionalni karakter. Najviše inostranih učesnika došlo je kao i uvek iz Bosne i Hercegovine 68, 32 iz Crne Gore, 15 iz Slovenije, 5

iz Mađarske, 4 iz Rumunije, Nemačke i Hrvatske, 3 iz Češke i Austrije, 2 iz Makedonija i Španije, po 1 iz SAD, Turske, Švajcarske, Indije i Holandije.

Za konferenciju je prijavljeno ukupno 148 radova od kojih je 107 radova prihvaćeno i prezentovano u okviru 6 komisija i Foruma SMART GRID. Zaključci komisija i Foruma dostupni su na sajtu CIRE SRBIJE. Nagrađeno je ukupno 6 radova.

Ove godine na Savetovanju su unete određene izmene, kako u programskom sadržaju skupa, tako i u prostornoj organizaciji izložbe, kako bi se omogućilo većem broju firmi da na istom učestvuje.

Što se tiče programa, prvog radnog dana Savetovanja održan je Forum Smart Grid i u okviru foruma su prezentovana 4 rada autora iz zemlje i inostranstva. Prezentaciju iskustava sa projekata su prikazale firme ELNOS GRUPA, INSTITUT MIHAJLO PUPIN, SCHNEIDER ELECTRIC, SIEMENS i AMERICAN ENERGY.

Istog, prvog radnog, dana održana je i Skupština CIRE SRBIJA. Usvojen je predlog da se pokrene inicijativa putem dopisa Ministarstvu energetike Srbije da se ponovo krene u izdavanje stručnog časopisa nacionalnog značaja kategorije 51. Ponovnim izlaženjem časopisa će se omogućiti inženjerima da mogu objavljivati radove u domaćem, srpskom časopisu.

U Srbiji su iz oblasti elektroenergetike izlazili časopisi Elektroprivreda i Elektrodistribucija. Časopis Elektroprivreda je izdavala Zajednica Jugoslovenske Elektroprivrede, a časopis Elektrodistribucija su izdavali PD Elektrodistribucija Beograd, PD Elektrovojevina Novi Sad i PD Elektrosrbija Kraljevo. Časopisi, kao i navedeni privredni subjekti, su se ugasili u predhodnom periodu.

Stručna komisija 1: KOMPONENTE MREŽA

Predsednik komisije: Prof. dr Dragan Tasić, Elektronski fakultet Niš

U okviru STK-1, Komponente mreža prezentovano je 25 radova od ukupno 28, koliko je uvršćeno u program Savetovanja. Radom komisije rukovodio je prof. dr Dragan Tasić uz pomoć stručnih izvestilaca Ljiljane Funduk, mr Miodraga Stojanovića i dr Vladimira Šiljkuta. Za najbolji rad u okviru Stručne komisije 1 je izabran rad R-1.17 "Sopstvene i međusobne impedanse elektroenergetskih kablova", autori M. Stojanović, D. Tasić i N. Cvetković.

Stručna komisija 2: KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE I ELEKTROMAGNETNA KOMPATIBILNOST

Predsednik komisije : Prof. dr Vladimir Katić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

U odsustvu predsednika plenarnoj sednici je predsedavao doc. dr Boris Dumnić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.

U okviru rada ove stručne komisije predstavljeno je 16 radova koji su obuhvatili 6 preferencijalnih tema. Stručni izvestioci su bili Lidija Korunović, Elektronski fakultet Niš, i Milanko Radić, EPS Tehnički centar Novi Sad. Za najzapaženiji rad u ovoj komisiji izabran je rad R-2.15 "Problem zaštite 35 kV postrojenja sa izolovanom neutralnom tačkom u planinskom području od prenapona", autori M. Savić, M. Žarković, R. Kovačić, M. Mijić i M. Banjanin.

Stručna komisija 3: ZAŠTITA I UPRAVLJANJE ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

Predsednik komisije: mr Dušan Vukotić, ODS "EPS Distribucija" d.o.o. Beograd.

U okviru rada ove stručne grupe prezentovano je 13 referata i informacija od ukupno 15 radova

koji su prihvaćeni za program ovogodišnjeg Savetovanja. Za najzapaženiji rad u ovoj komisiji izabran je rad Rr-3.11 "Proračun struje kvara pri pojavi nesimetričnog opterećenja u okviru SNDM grada Beograda", autori G. Živadinović i mr Dušan Vukotić.

Stručna komisija 4: DISTIBUIRANA PROIZVODNJA I EFIKASNO KORIŠĆENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Predsednik komisije: dr Željko Popović, ODS "EPS Distribucija" d.o.o. Beograd.

U okviru rada ove stručne grupe prezentovana su 23 referata i informacija. Za najzapaženiji rad u ovoj komisiji izabran je rad R-4.03 "Modelovanje i proračun kratkih spojeva u distributivnih mrežama sa distribuiranim generatorima zasnovanim na trofaznim inverterima", autori L. Strezoski, V. Katić, B. Dumnić.

Stručna komisija 5: PLANIRANJE DISTRIBUTIVNIH SISTEMA

Predsednik: dr Aleksandar Janjić, Elektronski fakultet Niš.

U okviru ove stručne komisije, predstavljeno je svih 10 prihvaćenih radova, koji su obuhvatili sve četiri postavljene preferencijalne teme. Stručni izvestioci za pojedine preferencijalne teme bili su Miroslav Dočić, dr Dragoslav Jovanović, Saša Minić i dr Saša Đekić.

Za najzapaženiji rad u ovoj komisiji izabran je rad R-5.03. "Proračun nesimetričnih tokova snaga aktivnih trofaznih distributivnih mreža", autori V. C. Strezoski, N.R. Vojnović, P.M. Vidović.

Stručna komisija 6: TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE I DEREGULACIJA

Predsednik: dr Nenad KATIĆ, Schneider Electric DMS, Novi Sad.

Stručni izvestioci su bili Dr Gordan Tanić, Mr Vladimir Janković i Dr Savo Đukić. U okviru ove stručne komisije razmatrano je šest radova u skladu sa preferencijalnim temama komisije. Za najzapaženiji rad u ovoj komisiji izabran je rad Rr-6.03 "Pokazatelji pouzdanosti i mogućnost primene podsticajnih šema na povećanje pogonske spremnosti – studija slučaja TS 110/35 kV/kV „Beograd 10 – Mislođin“, autori M. Minić, Ž. Marković, A. Marković.



Autori jednog od šest najboljih radova: M. Minić i A. Marković

Tokom Savetovanja održane su brojne poslovne prezentacije. Učesnici konferencije imali su prilike da čuju o poslovanju kompanija u prethodnom periodu i proizvodima i uslugama koje nude. Tokom Savetovanja, organizovana je i izložba opreme, usluga i novih tehnologija iz oblasti elektrodistribucije na kojoj su učestvovalе mnoge strane i domaće kompanije.



Štandovi pojedinih kompanija

U okviru konferencije održana su i četiri okrugla stola

- **RESTRUKTURIRANJE ELEKTRODISTRIBUTIVNOG SEKTORA U SRBIJI**, moderator Andrija Vukašinović (EPS Distribucija, Beograd)
- **SMANJIVANJE NETEHNIČKIH GUBITAKA**, moderator Nikola Milosavljević (EPS Distribucija, Beograd)
- **PRAĆENJE POKAZATELJA POUZDANOSTI DEES U ODS EPS DISTRIBUCIJI**, moderator dr Željko Popović (EPS Distribucija, Novi Sad)
- **PRIMENA HERMETIČKI ZAPTIVENIH TRANSFORMATORA PRENOSNOG ODNOSA 10(20)/0,4 kV/kV U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI U SRBIJI**

17. SIMPOZIJUM CIGRE SRBIJA UPRAVLJANJE I TELEKOMUNIKACIJE U EES VRŠAC 16.-18. oktobar 2016.

17. Simpozijum CIGRE Srbija upravljanje i telekomunikacije u EES održan je u Vršcu, u hotelu „Srbija“, u periodu od 16 do 18. oktobra 2016. Ukupno je na Simpozijumu prezentiran 31 rad (17 radova iz domena rada STK C2 i 14 radova (od 15 prihvaćenih) iz domena rada STK D2) pripremljen od strane skoro 80 autora i koautora. Izlaganje autora i veoma zanimljive stručne diskusije, kao i interesantne i aktuelne poslovne prezentacije sponzora, zasnovane na primeni novih tehnologija i mogućnosti pružanja novih usluga EE sektoru, pratilo je oko 90 učesnika 17. Simpozijuma.

Broj učesnika, referata i autora, kao i podrška i učešće pokrovitelja (EMS, EPS) i pet sponzora su potvrda kontinuiranog, značajnog interesa elektroprivrede, industrije, projektantskih i razvojnih organizacija za problematiku upravljanja i telekomunikacija u elektroenergetskom sistemu.

Ispred Organizacionog odbora 17. Simpozijuma na početku uvodne plenarne sesije, održane u nedelju 16.10.2016. god, skupu se obratio *dr Ninel Čukalevski* sa prikazom programa rada Simpozijuma, ispred CIGRE Srbija publici se obratio *mr Gojko Dotlić* predsednik CIGRE Srbija, ispred pokrovitelja Simpozijuma publiku je pozdravio *mr Nebojša Petrović* iz JP EMS, ispred Agencije za energetiku publici se obratio *dr Aca Marković*, a kao predstavnik sponzora publiku je pozdravio *mr Goran Jakupović* iz Instituta Mihajlo Pupin-Automatika.

Potom je *mr Gojko Dotlić* pokroviteljima uručio povelje i sponzorima zahvalnice Simpozijuma, nakon čega je skup je proglašen otvorenim. Posle toga je usledio kraći kulturno-umetnički program i koktel dobrodošlice.

U skladu sa rasporedom rada 17. Simpozijuma, 17. i 18. oktobra 2016. godine održan je radni deo Simpozijuma vezan za izlaganje i diskutovanje referata iz domena STK C2 i STK D2.

Trećeg dana rada Simpozijuma (18. oktobra 2016) u poslepodnevnim časovima je organizovana stručna poseta vetroparku „La Pikolina“ (trenutno instalisane snage 2x 3,3 MW) u mestu Zagajica kod Vršca gde su učesnici mogli da dobiju i sve tražene informacije od predstavnika kompanije vlasnika.

Opšti utisak je da su sesije sa izlaganjima referata bile dobro posećene, da je kvalitet radova bio veoma dobar kao i da su tokom sesija vođene interesantne i konstruktivne stručne diskusije. Takođe, hotel „Srbija“ je u potpunosti zadovoljio potrebe 17. Simpozijuma CIGRE Srbija i omogućio efikasan rad i udoban boravak učesnika.

U skladu sa Pravilnikom o radu simpozijuma/kolokvijuma CIGRE Srbija izabrani su najzapaženiji referati na 17. Simpozijumu, a to su:

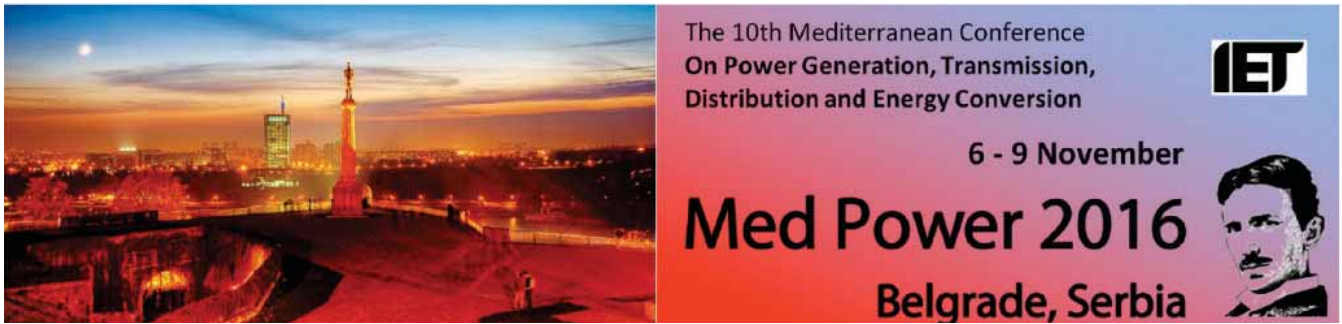
R C2 01 – „PROVERA ODZIVA PRIMARNE REGULACIJE UČESTANOSTI TOKOM DETERMINISTIČKIH ODSTUPANJA UČESTANOSTI“, autori N. Obradović, A. Latinović i N. Lukić.

R D2 15 – „AUTOMATSKI OPORAVAK INFORMACIONE INFRASTRUKTURE U SLUČAJU KATASTROFE“, autora Ž. Ivanović, A. Popović, B. Andrejić, N. Ilić i M. Kržić

Priredili:

*Predsednik OO dr. Ninel Čukalevski, dipl. ing.
Zamenik predsednika OO mr Jovanka Gajica, dipl. ing.*





X jubilarna Mediteranska konferencija o proizvodnji, prenosu i distribuciji električne energije – *MedPower 2016*

X jubilarna Mediteranska konferencija o proizvodnji, prenosu i distribuciji električne energije – MedPower 2016, održana je u Beogradu, od 7. do 9. novembra 2016. godine u organizaciji Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Konferencija je značajno doprinela inženjerima i tehničarima kroz aktuelne prezentacije proizvođača opreme, istraživača i specijalista, predavača po pozivu i kroz panel diskusije u mnogobrojnih domaćih i stranih učesnika. Tokom konferencije prezentovano je 116 autorskih radova u okviru 18 paralelnih sesija, održano je 9 predavanja po pozivu, diskusije su vođene u 9 panela, a upriličene su i bogate društvene aktivnosti. Konferencija je bila uspešna, a učesnici su poneli pozitivna iskustva i utiske.

MedPower jedna je od značajnijih konferencija u nizu onih koje su doprinele kreiranju velike energetske platforme u regionu. Ovaj značajan regionalni događaj bavio se velikim tehnološkim promenama u proizvodnji i prenosu električne energije, u sistemima konverzije i distribucije kao i savremenim metodama upravljanja. Također, kroz komercijalni sadržaj događaja obuhvaćene su i teme u vezi sa opremom i proizvodima u distributivnoj delatnosti kao i metodike poslovanja, a poseban akcenat stavljen je na zajednički akademsko - privredni pristup rešavanju specifičnih regionalnih potreba u vezi sa zaštitom životne sredine, tržištima električne energije i privatizacijom evropskih elektroprivrednih preduzeća.

Konferencija je održana u hotelu „Metropol“ i okupila je 261 učesnika iz 28 država. Za prezentaciju je prihvaćeno ukupno 126 radova, a na konferenciji je prezentovano 116 radova. Pored prezentacija radova, održano je i 9 predavanja koja su održali predavači po pozivu. Na 9 organizovanih panela učešće je uzelo preko 50 stručnih panelista.



Mesto održavanja konferencije *Med Power*

Održavanje ovakve konferencije u Srbiji je od ogromnog značaja ne samo za nauku i privredu, već i kao određeni oblik priznanja nacionalnoj energetskoj delatnosti i struci. Podršku organizaciji dalo je 8 volontera, studenata Elektrotehničkog fakulteta, 10 sponzora je finansijski podržalo organizaciju, dok je 7 kompanija svoje izložbene štandove. Osnovni statistički pokazatelji konferencije dati su u tabeli.

Broj učesnika	261 iz 28 država
Broj registrovanih autora/koautora	124 iz 24 države
Ukupan broj autora/koautora	351
Broj primljenih apstrakata radova	154
Broj odbijenih i povučenih apstrakata/radova	31
Broj radova prihvaćenih za konferenciju	123
Broj radova prezentovanih na konferenciji	116
Broj predavača po pozivu	9
Broj panela	9
Broj sponzora/donatora	10
Broj kompanija sa izložbenim štandovima	7

Statistički pokazatelji konferencije *MedPower 2016*

Prezentacije radova autora bile su priređene kroz 18 paralelnih sesija kojima je bilo obuhvaćeno 25 izabranih tema :

1. Asset aging and life management
2. Climate change and greenhouse gas emissions
3. Distributed generation and micro-grids
4. Data mining and big data management
5. Demand forecasting and demand side management
6. Distribution automation
7. Electric machines and drives
8. Electromagnetic transients
9. E-Mobility
10. Energy policy and regulatory issues
11. High voltage engineering
12. ICT in power systems
13. Illumination techniques
14. Insulation coordination
15. Multi energy systems
16. Operation and control of low inertia systems
17. Planning and operation of power systems in competitive markets
18. Power cables and insulating materials
19. Power electronics and FACTS
20. Power quality and quality of supply
21. Power system protection and safety
22. Power systems reliability assessment
23. RES and energy storage
24. Security assessment and risk analysis
25. Smart grids, smart buildings, and smart cities

Predavači po pozivu dali su upečatljiv značaj konferenciji. U širem smislu, predavači po pozivu obuhvatili su glavne probleme modernih elektroenergetskih sistema u koje su uključene najnovije tehnologije poput distribuirane proizvodnje, aspekti njihovog modeliranja i upravljanja, posebno značaj *Big Data* za tu svrhu, kao i efekte planiranja i integracije distribuirane proizvodnje u stacionarnim i dinamičkim režimima. Dodatno je prikazan način rada veleprodajnog tržišta električne energije i njegove nove funkcije uzimajući u obzir vremensku i prostornu varijabilnost proizvodnje i potrošnje, nove tehnologije, ograničenja održivo-

sti i neophodnost pouzdanog i sigurnog prenosa električne energije. Interesantno predavanje po pozivu otvorilo je diskusiju na temu energetske pretvarača na bazi prekidačkih elemenata u modernom elektroenergetskom sistemu. Naslovi predavanja po pozivu i imena predavača dati su u sledećoj tabeli.

Naslov predavanja	Predavač
EU Megagrid and Microgrids	Nikos Hatziargyriou
Photovoltaics in Modern Power Systems	Miroslav Begović
Modelling and control challenges of sustainable power systems	Jovica Milanović
Next Generation Wholesale and Local Energy Market Design Structures for Sustainable Development: Challenges and Solutions	Alex Papalexopoulos
Why the world needs smart grids?	Peter Crossley
Mitigation of Cascading Outages and Prevention of Blackouts: System-Wide Corrective Control	Lei Ding
Predictive asset and outage management	Mladen Kezunović
Paradigm shift in electric power industry and its impact on power conversion devices and controls	Slobodan Vukosavić
Integration of Smart Distribution and Transmission - Grids Using Synchronized Measurement Technology	Vladimir Terzija

Pregled naslova predavanja i predavača po pozivu

Pored prezentacija autora u okviru paralelnih sesija i predavanja po pozivu posebna pažnja konferencije usmerena je na devet panel sesija, u kojima je učešće uzelo preko 50 panelista. Teme panel sesija i predavačkih pojedinih panel sesija dat je u sledećoj tabeli.

Naziv panel sesije	Predsedavajući sesije
Nobel grid	Mihai Sanduleac
Ruling era of asset management	Vukan Polimac
Testing voltage control solutions in the lab: what are the challenges?	Jan Desmet
Distortion below and above 2 kHz related to modern equipment and networks	Saša Djokić
Future of national energy systems: models and reality	Neven Duić
Smart cities and E-mobility	Andrej F. Gubina
ENTSO	Bojana Mihić
Co-Simulation of Intelligent Power Systems	Miloš Cvetković
Women in Engineering	Lidija Korunović

Pregled panel sesija

Kao balanstehničkom delu konferencije i sesijama, organizovano je nekoliko društvenih aktivnosti. Pored koktela dobrodošlice, organizovanog uz prikaz stalne postavke Etnografskog muzeja u Beogradu, i gala večere, organizovane su posete muzejima i pešačko-tehnička tura:

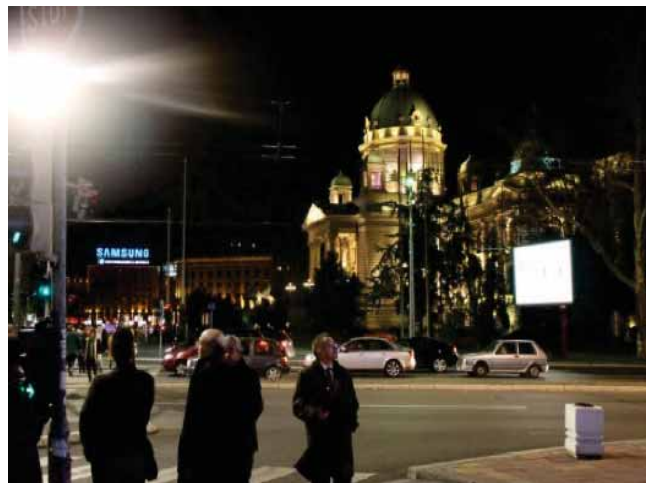
1. Poseta muzeju Nikole Tesle
2. Poseta Istorijskom muzeju Srbije sa privremenom postavkom „Pupin – Od fizičke ka duhovnoj realnosti“
3. Pešačko-tehnička tura „Gradska osvetljenje u Beogradu“.

Deo atmosfere društvenih aktivnosti prikazan je na slikama.

Zaključak je da je konferencija bila jako uspešna, na visokom nivou u tehničkom, profesionalnom i naučnom smislu, sa velikim brojem kvalitetnih autorskih radova od kojih će jedan broj biti preporučen za publikova-



Posetaa muzeju „Nikole Tesle“



Pešačko-tehnička tura

nje u međunarodnom časopisu izdavača udruženja IET. Učesnici su sa konferenciji poneli pozitivna iskustva u tehničkom smislu i pozitivne utiske o gradu Beogradu i Republici Srbiji.

Izveštaj priredili:
Prof. dr Nikola Rajaković
dr Vladimir Šiljkut
Marko Popović
dr Ilija Batas-Bjelić
dr Goran Dobrić

ПРИЈАВЉУЈЕМ

Рад са следећим насловом:

Студијски комитет:..... Преференцијална тема број:

Име и презиме свих аутора рада:

Име и презиме главног аутора рада:.....

Адреса:..... Фирма:

Тел:..... Факс:

Место и датум:..... Потпис:

Напомена: Све радове потребно је послати у Word формату. Правилна: Један аутор се може пријавити највише 4 пута (2 пута као први аутор и 2 пута као коаутор). За сваки рад поштом се пријаву и приложити крајак садржаја рада и Word-у до 400 речи.



Српски национални комитет
 Међународног савета
 за велике електричне мреже

33. саветовање

Прво
 обавештење

CIGRE СРБИЈА
 11000 Београд, Војводе Степе 412
 Тел/Факс: +381 11 397 10 56
 e-mail: office@cigresrbija.rs
 web site: www.cigresrbija.rs

Златибор
 5 – 8. јун 2017. године



CIGRE SRBIJA, jedna od 58 nacionalnih komiteta Međunarodnog saveta za velike električne mreže CIGRE PARIS koji ima članove iz više od 80 zemalja, organizuje svoje 33. savetovanje. U 2017. godini navršava se 66 godina od osnivanja Nacionalnog komiteta Međunarodnog saveta za velike električne mreže JUKO CIGRE (danas CIGRE SRBIJA).

Savetovanje će se održati od 5. juna do 8. juna 2017. godine u jednom od najlepših turističkih mesta u Srbiji, na Zlatiboru, gde su već uspešno organizovana pet savetovanja, 2015, 2013, 2011, 2009 i 2005 godine.

Generalni pokrovitelji 33. savetovanja su JP ELEKTROPRIVREDA Srbije i JP ELEKTROMREŽA Srbije.

33. savetovanje se održava u uslovima dalje liberalizacije elektroenergetskog sektora i uključena u tržište električne energije evropskih zemalja, sa izraženom potrebom za novim znanjima, razmenom mišljenja i iskustava iz domaće i svetске prakse.

Cilj 33. savetovanja je da okupi naučne i stručne radnike, organizacije iz oblasti nauke, elektroprivrede i elektroindustrije, koji će kroz pisane referate i sveobuhvatnu stručnu raspravu dati svoj doprinos rešavanju aktualnih problema vezanih za rad i razvoj elektroenergetskog sistema.

Kao osnova za stručni rad na Savetovanju treba da posluže referati napisani iz problematike obuhvaćene PREFERENCIJALNIM TEMAMA, koje su definisali STUDIJSKI KOMITETI, svrstani u 16 grupa:

A1	Обртне електричне машине
A2	Трансформатори
A3	Високонапонска опрема
B1	Каблови
B2	Надземни водови
B3	Постројења
B4	HVDC и енергетска електроника
B5	Заштита и аутоматизација
Ц1	Економија и развој ЕЕС
Ц2	Управљање и експлоатација ЕЕС
Ц3	Перформансе система заштите животне средине
Ц4	Техничке перформансе ЕЕС
Ц5	Тржиште електричне енергије и регулација
Ц6	Дистрибутивни системи и дистрибуирана производња
D1	Материјали и савремене технологије
D2	Информациони системи и телекомуникације

Организациони одбор 33. savetovanja predvideo je da se u toku Savetovanja održi OKRUGLI STO SA AKTUELNOM TEMOM.

Za vreme Savetovanja odrzha se **TEHNIČKA IZLOŽBA CIGRE SRBIJA EXPO 2017**, na kojoj će elektroindustrija i proizvođači elektro opreme iz naše zemlje i inostranstva, konsultanti, naučno – istraživačke organizacije i drugi imati mogućnosti da kroz poslovne prezentacije i promotivne aktivnosti prikažu praktičnu realizaciju onoga što je predmet diskusija na Savetovanju.

Savetovanje će biti uvršteno u program kontinuiranog (permanentnog) profesionalnog usavršavanja akreditovano od strane Inženjerske komore Srbije.

ПРИЈАВА РАДА – пријава радова се врши:

1. Електронским путем преко линка: www.miross.rs/sr/cigre-2017
2. Поштом на адресу CIGRE Србија

Рок за пријаву рада је 15. децембар 2016. године. Уз пријаву се подноси **КРАТАК САДРЖАЈ** у Word формату, чији је обим до 400 речи. Обавештење о прихватању пријаве радова аутори ће добити до 25. децембра 2016. године.

Један текст рада аутори треба да доставе до 31. марта 2017. године.

Радове ће рецензирати Студијски комитети.

33. САВЕТОВАЊЕ

ПРИЈАВА РАДА

За сваки рад попунити посебну пријаву и приложити кратак садржај рада у Word-у до 400 речи. Један аутор се може пријавити највише 4 пута (2 пута као први аутор и 2 пута као коаутор)

ПРИЈАВА РАДА СЕ ВРШИ:

1. Електронским путем преко линка: www.miross.rs/sr/cigre-2017
2. Поштом на адресу CIGRE Србија

РОКОВИ: Пријава рада: 15.12.2016. Предаја рада: 31.03.2017.

CIGRE SRBIJA
11000 Београд
Војводе Степе 412



Српски национални комитет
Међународног савета
за велике електричне мреже

33. savetovanje

Прво обавештење

Златибор
5 – 8. јун 2017. године

СТУДЕНТИ,

позивамо Вас на 33. savetovanje CIGRE Србија
У циљу промовисања стручног рада струковног удружења CIGRE Србија, позивамо Вас да нам се придружите на 33. savetovanju CIGRE Србија које се одржава 5. – 8. јуна 2017. на Златибору.

Услови:

- ❖ Студент електротехнике – енергетски одсек;
- ❖ Доказ (потврда факултета или препорука професора);
- ❖ Крајњи рок за пријаву је 31.03.2017. (рок за предају рада) преко сајта организатора;

Критеријуми:

- ❖ Максималан број студената је 30. Предност ће се одређивати по реду пријављивања;
- ❖ Апсолутну предност имају студенти аутори или коаутори радова за 33. savetovanje CIGRE Србија;

Остале напомене:

- ❖ Трошкове котизације, превоза и смештаја 30 студената сноси CIGRE Србија;
- ❖ У зависности од интересовања, на 33. savetovanju ће се за Вас одржати посебна панел презентација удружења CIGRE Србија, као и радова студената и младих инжењера (до 35 година старости).

СТУДЕНТИ,
видимо се на
savetovanju!





CENTAR ZA KOORDINACIJU SIGURNOSTI SCC BEOGRAD

1. Osnivanje regionalnih koordinatora sigurnosti

Sve veći udeo obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije, decentralizovana proizvodnja kao i rad tržišta u sve kraćim vremenskim intervalima, kao i veliki uticaj jednih na druge prenosnih sistema koji rade u istoj sinhronoj oblasti, usloveli su potrebu za povećanjem nivoa koordinacije rada operatora prenosnih sistema (TSO-a). Značajan korak u cilju uspostavljanja ovakve koordinacije rada učinjen je od strane ENTSO-E izdavanjem dokumenta Osnovna strategija koordinacije TSO-a (*Core Strategy for TSO Coordination*) septembra 2014. godine, kojim se definiše da su svi TSO-i kontinentalne Evrope obavezni da koriste usluge Regionalnih koordinatora sigurnosti (*Regional Security Coordinator - RSC*), na šta su se TSO-i i pravno obavezali potpisivanjem *Multilateralnog ugovora o učesću u Regionalnim inicijativama za koordinaciju sigurnosti (MLA)*, decembra 2015. godine. U suštini, ovakav ENTSO-E koncept je zasnovan na logici da je mnogo efikasnije da se određeni analitički poslovi operatora prenosnih sistema, koje su evropska Mrežna pravila (*Network Codes*) i Obavezujuća uputstva (*Guidelines*) propisala, rade u nekoliko RSC-ija nego u svakom pojedinačnom TSO-u.

Međutim, prva dva RSC-a osnovana su na dobrovoljnoj bazi još 2008. godine od strane TSO-a iz zapadne i centralne Evrope: Coreso, Brisel, za zapadni deo Evrope i TSC (NET), Minhen, za centralnu Evropu. Pozitivni efekti rada ova dva RSC-a, i prepoznata potreba za povećanjem nivoa koordinacije rada operatora prenosnih sistema od strane ENTSO-Ea, podstakli su osnivanje prvog regionalnog koordinatora sigurnosti u Jugoistočnoj Evropi. Centar za koordinaciju sigurnosti SCC d.o.o. Beograd (engleski naziv: *Security Coordination Centre SCC Ltd. Belgrade*, skraćeno na oba jezika SCC) osnovali su TSO-i Srbije, Crne Gore i Bosne i Hercegovine JP EMS, CGES i NOSBiH 21. aprila 2015. godine u Beogradu. Nakon priprema za početak rada i registrovanja u APR-u, SCC je počeo operativni rad 1. avgusta 2015. godine za TSO-e osnivače.

U novembru 2016. godine počeo je sa radom Nordic RSC za nordijske TSO-e. U toku je osnivanje Baltic RSC za baltičke TSO-e i SEE-Thessaloniki RSC, Solun, drugog RSC-au Jugoistočnoj Evropi.



Slika 1. TSO-i pod jurisdikcijom Coreso, TSCNET i SCC

2. Funkcije regionalnih koordinatora sigurnosti

Poslovi regionalnih koordinatora sigurnosti se odnose na period operativnog planiranja (od nekoliko meseci do sat-dva pre „realnog vremena“) i koncipirani su na sledeći način:

- TSO-i dostavljaju svoje mrežne podatke i modele regionalnim koordinatorima sigurnosti;
- Regionalni koordinatori sigurnosti sprovode analize i rezultate analiza dostavljaju TSO-ima;
- Donošenje operativnih odluka i upravljanje sistemom je potpuno u nadležnosti TSO-a.

Predviđeno je da RSC-i obavljaju sledeće funkcije:

1. Validacija individualnih mrežnih modela/ dostavljanje spojenih mrežnih modela
2. Koordinisana analiza sigurnosti (uključujući korektivne akcije)
3. Koordinisani proračun prenosnih kapaciteta
4. Koordinisano planiranje isključenja
5. Kratkoročna i srednjoročna prognoza adekvatnosti

Neophodno je da između RSC-a postoji interoperabilnost i koordinacija svih funkcija koje obezbeđuju TSO-ima.



Slika 2. Pet funkcija RSC-a

3. Poslovi Centra za koordinaciju sigurnosti SCC

Krajem 2016. godine u SCC-u je zaposleno 8 diplomiranih inženjera elektrotehnike koji rade sledeće poslove operativnog planiranja za TSO-e osnivače (CGES, NOSBiH i EMS):

- Validacija individualnih modela mreže/dostavljanje spojenih modela mreže

Navedene poslove SCC od avgusta 2015. godine radi na vremenskom horizontu dan unapred (*Day Ahead Congestion Forecast – DACF modeli*), a počev od jula 2016. godine i na unutardnevnom vremenskom horizontu (*Intraday Congestion Forecast – IDCF modeli*). Cilj validacije i spajanja intraday modela je provera sigurnosti prenosnog sistema sa uvaženim promenama koje se dešavaju u toku dana. Intraday proces je zamišljen tako da se vrši automatski, korišćenjem odgovarajućeg softvera, sat za satom. Za sada se u SCC-u vrši intraday proces za tri obavezna vremenska perioda (00:00h, 08:00h, 16:00h), koje je definisao ENTSO-E.

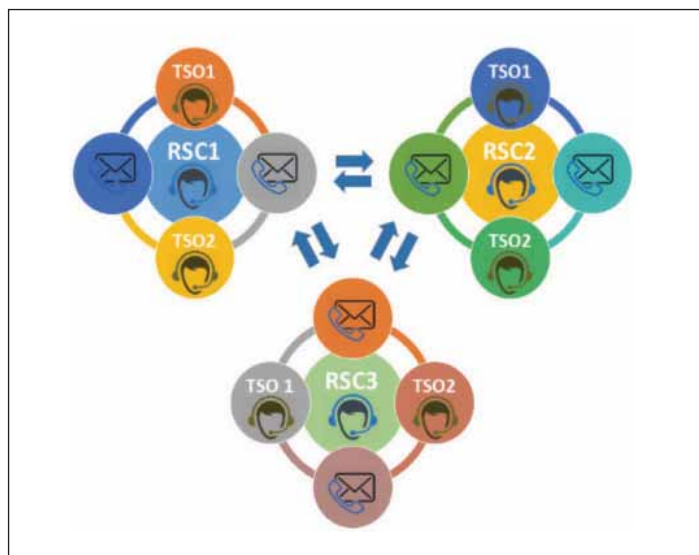
- Koordinisana analiza sigurnosti

Analize sigurnosti se rade u cilju provere zadovoljenja kriterijuma N-1 sigurnosti prenosnih sistema TSO-ova osnivača uzimajući u obzir uticaj mreža okolnih TSO-ova na vremenskim horizontima dan unapred i unutardnevnom, kao i po zahtevu TSO osnivača.

Za sada SCC vrši analize sigurnosti bez predlaganja preventivnih i korektivnih akcija za otklanjanje zagušenja u mreži (*Remedial Action – RA*). U regionu jugoistočne Evrope RA su dogovorene bilateralnim

ugovorima između TSO-a. U centralnoj Evropi dva RSC-a primenjuju različite modele sprovođenja analiza sigurnosti uz predlaganje RA. Coresodirektno predlaže RA svojim TSO-ima dok TSCNET koordiniše primenu RA koje predlažu TSO-i.

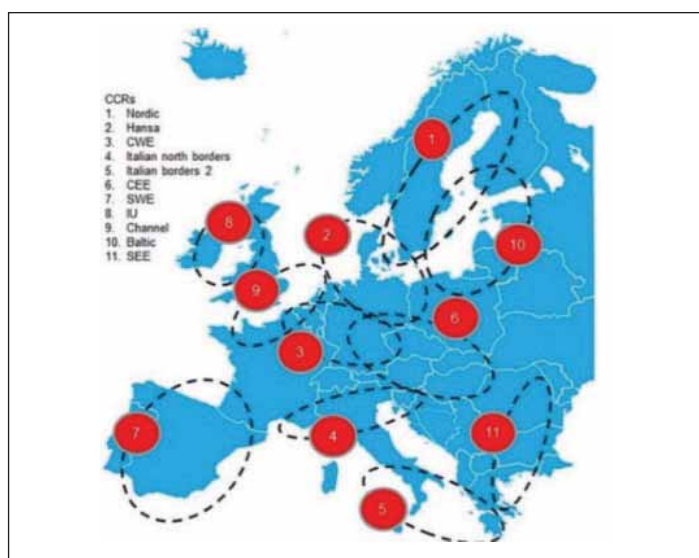
Očigledno i u pogledu koordinacije RA neophodna je tesna saradnja između TSO-ova i RSC-ijeva, pa su i aktuelne ENTSO-Eaktivnosti usmerene ka definisanju pan-evropskog procesa za koordinaciju RA. SCC se priprema sticanjem znanja i radom na unapređenju softvera za obavljanje analiza sigurnosti koje bi uzimale u obzir i RA.



Slika 3. Koordinacija RA

- Koordinisani proračuni prenosnih kapaciteta

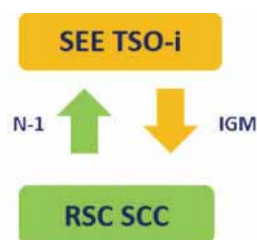
U Jugoistočnoj Evropi je aktuelna praksa da se prenosni kapaciteti računaju i dodeljuju najviše na mesečnom i godišnjem nivou. Za sad nema koordinisanih proračuna prenosnih kapaciteta za dan unapred. Dodatni izazov je što u ovom delu Evrope postoje TSO-i iz zemalja Evropske unije (za koje je obavezna primena evropske regulative koja se odnosi na prenosne kapacitete - *CACM i FCA*) i TSO-i iz zemalja koje nisu u EU, koji generalno nemaju obavezu „direktne“ primene evropske regulative. Stoga je neophodno najpre definisati koncept koordinisanog proračuna prenosnih kapaciteta za dan unapred u ovom delu Evrope, kojim bi se precizirali poslovi koje će raditi SEE-Thessaloniki RSC i SCC.



SCC radi testove NTC proračuna prekograničnih prenosnih kapaciteta za dan unapred za TSO-e osnivače. Svrha izrade ovih proračuna je pre svega sticanje prakse za poslove koji neminovno očekuju SCC u budućnosti. Cilj je steći rutinu za proračun NTCa, kao i praktično iskustvo za ocenu dobijenih rezultata.

- Koordinisano planiranje isključenja

Za potrebe koordinisanog planiranja isključenja u regionu Jugoistočne Evrope svake godine se u okviru ENTSO-E grupe za koordinaciju remonata (*SEE Maintenance group*) bira TSO koji će biti koordinator za tu godinu. U 2016. godini koordinator planiranja isključenja je bio CGES. Zadatak koordinatora je da koordinira izradu godišnjeg plana isključenja i tokom godine koordinira usaglašavanje isključenja u regionu na kraćim vremenskim horizontima (dva meseca i nedelju dana unapred).



Slika 5. N-1 analize sigurnosti u procesu planiranja isključenja

SCC je u 2016. godini asistirao CGES-u pri obavljanju ove funkcije tako što je zadvomesečna i nedeljna usaglašavanja planova isključenja najpre formirao modele a potom vršio analize sigurnosti u cilju provjere da li neko isključenje narušava N-1 kriterijum sigurnosti. Za 2017. godinu koordinator isključenja je MEPSO. Očekuje se da će RSC-ovi Jugoistočne Evrope (SCC i SEE-Thessaloniki RSC) asistirati MEPSO-u u obavljanju ove funkcije.

Što se tiče saradnje sa drugim RSC-ovima,avezano za koordinaciju isključenja, SCC je uključen u ENTSO-E projektnu grupu Koordinacija planiranja isključenja (*Outage Planning Coordination - OPC*). Cilj grupe je razvoj jedinstvene pan-evropske metodologije i softverskog alata za koordinisano planiranje isključenja, kao i zajedničkog formata u kom će ubuduće biti dostavljani planovi isključenja. Zajedničkim radom regionalnih koordinatora sigurnosti i TSO-a Kontinentalne Evrope ide se ka implementaciji procesa planiranja isključenja na način detaljno opisan u obavezujućem Uputstvu za rad sistema (*System Operation Guideline- SO GL*), čiji je tekst sredinom 2016. godine usvojen od strane Evropske komisije.

- Kratkoročna i srednjoročna prognoza adekvatnosti

Kratkoročna i srednjoročna procena adekvatnosti je način utvrđivanja da li proizvodnja električne energije, uvažujući i mogućnosti za uvoz iz sistema koji imaju viškove, zadovoljava potrebe konzuma jednog TSO-a za energijom u određenom vremenskom periodu. Vremenski horizonti procene kratkoročne i srednjoročne adekvatnosti su od nedelju dana unapred do dan unapred.

Za sada se procena adekvatnosti na vremenskom horizontu nedelju dana unapred vrši kroz „Dry Run process“ u koji je uključena većina TSO-a iz sinhronne oblasti „Kontinentalna Evropa“. Trenutno se proračuni rade na deterministički način, a u toku je razvoj metodologije za unapređenje proračuna koji bi se zasnivali na probabilističkoj metodologiji.

Inženjeri SCC-a su uključeni u radnu i projektnu grupu ENTSO-E za kratkoročnu i srednjoročnu adekvatnost (*Short and Medium Term Adequacy - SMTA*) koja radi na razvoju metodologije i softverskih alata za proračune adekvatnosti.

4. Budući poslovi i planovi SCC-a

Od početnog statusa inicijativa i dobrovoljnog učešća TSO-ova u njima, regionalni koordinatori sigurnosti su prepoznati na evropskom nivou kao kompanije u kojima je učešće obavezno i uz pomoć kojih se operativno planiranje na regionalnom nivou značajno unapređuje. RSC-i u Evropi su u različitim fazama i stepenima razvoja:

- TSCNET i Coreso iza sebe imaju dugogodišnje iskustvo (osnovani 2008. godine) i naprednu softversku i IT infrastrukturu;
- SCC, koji je osnovan 2015. godine, svakodnevno radi operativne poslove, sa softverskom i IT infrastrukturom u razvoju;
- RSC-i Baltić, Nordić i SEE-Thessaloniki su još uvek u fazi osnivanja i priprema za operativni rad.

Budući da bi obavljanje funkcija RSC-ija trebalo da bude interoperabilno potrebno je njihov rad harmonizovati. U tom cilju se razvija novo i zahtevno ATOM/OPDE okruženje. OPDE (*Operational Planning Data Environment*) predstavlja skup aplikacionih programa i opreme koji omogućavaju arhiviranje, razmenu i upravljanje podacima koji proističu iz procesa vezanih za operativno planiranje TSO-a i RSC-ija. Priključak na OPDE RSC-iji i TSO-i će ostvariti preko za tu namenu formirane ATOM mreže (*All TSO non-real-time Operational and Market-operations-related data Network - ATOM*).

Za uspešno obavljanje sadašnjih funkcija i razvoj koji očekuje RSC-ije u budućnosti neophodno je u SCC-u pojačati ljudske resurse kroz zapošljavanje novih i stručnu obuku inženjera koji već rade u SCC-u, kao i unaprediti postojeće i razviti nove softverske alate. Dinamično okruženje i konstantne promene uglavnom izazvane promenama evropske regulative i zahtevima za rad u ENTSO-E asocijaciji, kao i specifičnosti rada prenosnog sistema i nacionalnih tržišta električne energije u Jugoistočnoj Evropi, predstavljaju dodatne izazove za budući razvoj SCC-a.

Autori: Andrijana Đalović, dipl.el.inž., dr Duško Tubić, dipl.el.inž., Bojan Stamenković, dipl.el.inž.

SOPSTVENE I MEĐUSOBNE IMPEDANSE ELEKTROENERGETSKIH KABLOVA

M. STOJANOVIĆ, Elektronski fakultet, Niš, Srbija

D. TASIĆ, Elektronski fakultet, Niš, Srbija

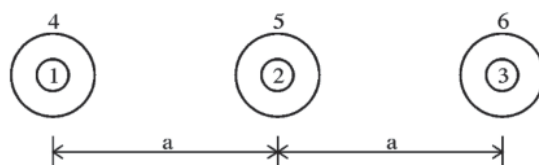
N. CVETKOVIĆ, Elektronski fakultet, Niš, Srbija

UVOD

U fazi projektovanja elektroenergetskih kablovskih vodova, kao i u fazi njihove eksploatacije od velikog značaja je poznavanje serijskih impedansi kablova (sopstvenih i međusobnih). Kao što je poznato, sopstvene redne impedanse provodnika i metalnih omotača kablova predstavljaju sumu unutrašnje i spoljašnje impedanse, a određivanje svake od njih nosi određene poteškoće. Relacije za izračunavanje unutrašnje impedanse provodnika punog poprečnog preseka poznate su jako dugo, međutim potreba za prenosom što većih količina energije uslovlila je povećanje poprečnih preseka provodnika i do 3000 mm^2 , kao i unapređenje konstruktivnih realizacija provodnika. Kod ovih provodnika ne mogu se direktno primeniti relacije izvedene za provodnike punog poprečnog preseka. Osnovna poteškoća koja se javlja kod izračunavanja spoljašnjih sopstvenih i međusobnih impedansi je uzimanje u obzir uticaja zemlje kao povratnog puta. Relacije za izračunavanje impedanse povratnog puta kroz zemlju za poznatu frekvenciju koje su poznate gotovo ceo vek, nisu međutim pogodne za inženjerske proračune čak ni u današnje vreme pošto iziskuju izračunavanje modifikovanih Bessel-ovih funkcija kompleksne promenljive i beskonačnih integrala koji nemaju rešenje u zatvorenom obliku već se moraju rešavati numerički. Da bi se izbegla numerička integracija razvijen je veći broj uprošćenih inženjerskih relacija. Ove relacije često se primenjuju bez poznavanja pretpostavki i zanemarivanja pod kojima su izvedena, odnosno njihove tačnosti. U ovom radu dat je pregled relacija za izračunavanje sopstvenih i međusobnih impedansi kablova, a na test primeru je pokazana njihova tačnost. Fokus je stavljen na jednožilne kablove položene u zemlji sa električnom zaštitom uzemljenom na jednom ili na oba kraja, sa izvršenom transpozicijom električnih zaštita ili bez transpozicije.

JEDNAČINE TROFAZNOG VODA SAČINJENOG OD TRI JEDNOŽILNA KABLA

Tri jednožilna kabla koji čine trofazni sistem najčešće se u slučaju visokonaponskih kablova polažu u istoj ravni kao na slici. Na slici su prikazana tri jednožilna kabla sa električnim zaštitama pri čemu su brojevima 1, 2 i 3 označeni provodnici kablova, a brojevima 4, 5 i 6 električne zaštite kablova.



Slika 1 Tri jednožilna kabla položena u ravni

Za sistem prikazan na slici, kada se analizira samo jedna učestanost, može se napisati sledeći sistem jednačina u matricnom obliku:

$$-\begin{bmatrix} \frac{\partial \underline{U}_1}{\partial x} \\ \frac{\partial \underline{U}_2}{\partial x} \\ \frac{\partial \underline{U}_3}{\partial x} \\ \frac{\partial \underline{U}_4}{\partial x} \\ \frac{\partial \underline{U}_5}{\partial x} \\ \frac{\partial \underline{U}_6}{\partial x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{z}_{11} & \underline{z}_{12} & \underline{z}_{13} & \underline{z}_{14} & \underline{z}_{15} & \underline{z}_{16} \\ \underline{z}_{21} & \underline{z}_{22} & \underline{z}_{23} & \underline{z}_{24} & \underline{z}_{25} & \underline{z}_{26} \\ \underline{z}_{31} & \underline{z}_{32} & \underline{z}_{33} & \underline{z}_{34} & \underline{z}_{35} & \underline{z}_{36} \\ \underline{z}_{41} & \underline{z}_{42} & \underline{z}_{43} & \underline{z}_{44} & \underline{z}_{45} & \underline{z}_{46} \\ \underline{z}_{51} & \underline{z}_{52} & \underline{z}_{53} & \underline{z}_{54} & \underline{z}_{55} & \underline{z}_{56} \\ \underline{z}_{61} & \underline{z}_{62} & \underline{z}_{63} & \underline{z}_{64} & \underline{z}_{65} & \underline{z}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_3 \\ \underline{I}_4 \\ \underline{I}_5 \\ \underline{I}_6 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Relacija (1) je napisana u najopštijem obliku i primenljiva je za proizvoljan raspored tri kabla. U ovoj relaciji sa \underline{z}_{ij} su obeležene sopstvene podužne impedanse petlje provodnik ($i=1,2,3$), odnosno ekrana ($i=4,5,6$), povratni put kroz zemlju, a sa \underline{z}_{ij} odgovarajuće međusobne podužne impedanse ($\underline{z}_{ij}=\underline{z}_{ji}$) petlji provodnik i/ili električne zaštite sa povratnim putem kroz zemlju. U slučaju identičnih kablova položenih u ravni kao na slici očigledno važi da je $\underline{z}_{11}=\underline{z}_{22}=\underline{z}_{33}$, $\underline{z}_{44}=\underline{z}_{55}=\underline{z}_{66}$. Za kablove položene u temenima jednakostraničnog trougla važe takođe i $\underline{z}_{12}=\underline{z}_{13}=\underline{z}_{15}=\underline{z}_{16}$. Na raspodelu gustine struje u električnoj zaštiti utiču struja koja protiču kroz fazni provodnik i struje koja se zatvaraju van električne zaštite. Da bi se tačno obuhvatila ova raspodela umesto relacije (1) kao polazna relacija može se iskoristiti relacija (2) koja je napisana za petlje provodnik-električna zaštita i električna zaštita-povratni put kroz zemlju [1]:

$$-\begin{bmatrix} \frac{\partial(\underline{U}_1 - \underline{U}_4)}{\partial x} \\ \frac{\partial(\underline{U}_2 - \underline{U}_5)}{\partial x} \\ \frac{\partial(\underline{U}_3 - \underline{U}_6)}{\partial x} \\ \frac{\partial \underline{U}_4}{\partial x} \\ \frac{\partial \underline{U}_5}{\partial x} \\ \frac{\partial \underline{U}_6}{\partial x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{z}_{111} & 0 & 0 & \underline{z}_{114} & 0 & 0 \\ 0 & \underline{z}_{122} & 0 & 0 & \underline{z}_{125} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{z}_{133} & 0 & 0 & \underline{z}_{136} \\ \underline{z}_{141} & 0 & 0 & \underline{z}_{144} & \underline{z}_{145} & \underline{z}_{146} \\ 0 & \underline{z}_{152} & 0 & \underline{z}_{154} & \underline{z}_{155} & \underline{z}_{156} \\ 0 & 0 & \underline{z}_{163} & \underline{z}_{164} & \underline{z}_{165} & \underline{z}_{166} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_3 \\ \underline{I}_1 + \underline{I}_4 \\ \underline{I}_2 + \underline{I}_5 \\ \underline{I}_3 + \underline{I}_6 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

gde je:

$$\underline{z}_{111} = \underline{z}_{122} = \underline{z}_{133} = \underline{z}_{ps} + \underline{z}_{iz} + \underline{z}_{eu}, \quad \underline{z}_{144} = \underline{z}_{155} = \underline{z}_{166} = \underline{z}_{es} + \underline{z}_{eiz} + \underline{z}_{zs},$$

$$\underline{z}_{114} = \underline{z}_{141} = \underline{z}_{125} = \underline{z}_{152} = \underline{z}_{136} = \underline{z}_{163} = -\underline{z}_{lm}, \quad \underline{z}_{145} = \underline{z}_{z12}, \quad \underline{z}_{146} = \underline{z}_{z13}, \quad \underline{z}_{156} = \underline{z}_{z23}.$$

Kroz prvu petlju protiče struja provodnika a kroz drugu zbir struja faznog provodnika i električne zaštite. Prethodne relacije napisane su za kablove koji imaju električnu zaštitu ali ne i armaturu. U slučaju postojanja armature dobijaju se nešto složenije relacije za izračunavanje, ali se do njih dolazi na identičan način, s tim da je matrica impedansi dimenzija 9x9. U prethodnim izrazima sa \underline{z}_{ps} je označena unutrašnja podužna impedansa provodnika, \underline{z}_{iz} podužna impedansa izolacije, \underline{z}_{eu} unutrašnja impedansa električne zaštite sa povratnim putem lociranim u unutrašnjosti, \underline{z}_{es} unutrašnja impedansa električne zaštite sa povratnim putem lociranim napolju, \underline{z}_{lm} međusobna podužna impedansa petlji provodnik-električna zaštita i električna zaštita-povratni put kroz zemlju, \underline{z}_{zs} sopstvena impedansa zemlje, a impedanse $\underline{z}_{145} = \underline{z}_{154} = \underline{z}_{z12}$, $\underline{z}_{146} = \underline{z}_{164} = \underline{z}_{z13}$ i $\underline{z}_{156} = \underline{z}_{165} = \underline{z}_{z23}$ su međusobne podužne impedanse zemlje. U slučaju kablova položenih u ravni je $\underline{z}_{145} = \underline{z}_{156}$. Sabiranjem prve vrste sa četvrtom, druge sa petom, i treće sa šestom, i razdvajanjem zbira struja u poslednje tri vrste, jednačina (2) se može napisati u obliku (1), pri čemu su:

$$\underline{z}_{11} = \underline{z}_{22} = \underline{z}_{33} = \underline{z}_{ps} + \underline{z}_{iz} + \underline{z}_{eu} - 2\underline{z}_{lm} + \underline{z}_{es} + \underline{z}_{eiz} + \underline{z}_{zs}, \quad (3)$$

$$\underline{z}_{44} = \underline{z}_{55} = \underline{z}_{66} = \underline{z}_{es} + \underline{z}_{eiz} + \underline{z}_{zs}, \quad (4)$$

$$\underline{z}_{14} = \underline{z}_{41} = \underline{z}_{25} = \underline{z}_{52} = \underline{z}_{36} = \underline{z}_{63} = \underline{z}_{es} + \underline{z}_{eiz} + \underline{z}_{zs} - \underline{z}_{lm}, \quad (5)$$

$$\underline{z}_{12} = \underline{z}_{21} = \underline{z}_{45} = \underline{z}_{54} = \underline{z}_{15} = \underline{z}_{51} = \underline{z}_{24} = \underline{z}_{42} = \underline{z}_{z12}, \quad (6)$$

$$\underline{z}_{13} = \underline{z}_{31} = \underline{z}_{46} = \underline{z}_{64} = \underline{z}_{16} = \underline{z}_{61} = \underline{z}_{34} = \underline{z}_{43} = \underline{z}_{z13}, \quad (7)$$

$$\underline{z}_{23} = \underline{z}_{32} = \underline{z}_{56} = \underline{z}_{65} = \underline{z}_{26} = \underline{z}_{62} = \underline{z}_{35} = \underline{z}_{53} = \underline{z}_{z23}. \quad (8)$$

Imajući u vidu da se relacija (2) može svesti na relaciju (1) adekvatnim izračunavanjem impedansi datim relacijama (3) do (8), relacija (1) se može smatrati opštom.

UNUTRAŠNJA IMPEDANSA PROVODNIKA I ELEKTRIČNE ZAŠTITE

Poduzna električna otpornost provodnika kabla za jednosmernu struju na radnoj temperaturi određuje se prema relaciji:

$$R' = R_0(1 + \alpha(\theta - 20)) \quad , \quad (9)$$

gde je R_0 otpornost provodnika za jednosmernu struju na 20°C čija maksimalna vrednost je definisana u IEC 60228 [2], α temperaturni koeficijent promene električne otpornosti, dok je θ radna temperatura provodnika. U slučaju naizmenične struje dolaze do izražaja pojave površinskog, (skin) efekta i efekta blizine, što uslovljava povećanje otpornosti. U IEC standardu za određivanje električne otpornosti za jednosmernu struju koristi se relacija:

$$R = R'(1 + y_s + y_p) \quad . \quad (10)$$

gde je y_s koeficijent kojim se obuhvata uticaj površinskog efekta, a y_p koeficijent koji obuhvata uticaj blizine. Polazeći od Maxwell-ovih jednačina u kompleksnom obliku može se izvesti sledeća relacija za poduznu unutrašnju impedansu provodnika punog kružnog poprečnog preseka, poluprečnika provodnika r_p :

$$\underline{z}_u = \frac{\sqrt{2} j^{3/2} \delta_c^{-1} \rho J_0(\sqrt{2} j^{3/2} \delta_c^{-1} r_p)}{2\pi r_p J_1(\sqrt{2} j^{3/2} \delta_c^{-1} r_p)} \quad . \quad (11)$$

gde je J_0 Bessel-ova funkcija prve vrste nultog reda, J_1 Bessel-ova funkcija prve vrste prvog reda, r_p poluprečnik provodnika, a δ_c dubina prodiranja:

$$\delta_c = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \quad . \quad (12)$$

U prethodnom izrazu, ω je ugaona učestanost, μ magnetna permeabilnost provodnika, a ρ specifična električna otpornost materijala provodnika. S obzirom na to da je dubina prodiranja na učestanosti od 50 Hz oko 9,35 mm, to je za poprečne preseke između 25 mm² i 2500 mm², $0,3 < r_p/\delta_c < 3$. Ako se uzmu prva tri člana Besselovih funkcija prve vrste dolazi se do uprošćene relacije:

$$\underline{z}_u = \frac{\rho}{\pi r_p^2} \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{r_p}{2\delta_c} \right)^4 \right) + j \frac{\omega\mu}{8\pi} \quad . \quad (13)$$

U opsegu od $0,3 < r_p/\delta_c < 3$ jako dobro poklapanje sa greškom manjom od 3%, postiže se relacijom:

$$y_s = \frac{x_p^4}{192 + 0,8x_p^4} \quad . \quad (14)$$

pri čemu je:

$$x_p = 15,9 \cdot 10^{-4} \sqrt{\frac{f c_p}{R'}} \quad . \quad (15)$$

Relacija (14) korišćena je do 2014. godine u IEC 60287-1-1 uz naznaku da je primenjiva za $x_p \leq 2,8$. Potreba za povećanjem prenosne snage kablovskih vodova uslovlila je pojavu kablova sa provodnicima velikog poprečnih preseka do 2500 mm², kod kojih je uticaj površinskog efekta veoma izražen. Da bi se smanjio uticaj površinskog efekta otpočelo se sa primenom različitih rešenja, npr. izrada provodnika od lakiranih žica ili izolovanje segmenata provodnika. U cilju sagledavanja električne otpornosti za naizmeničnu struju ovako izrađenih provodnika velikog poprečnog preseka, CIGRE formira radnu grupu WG B1-03 koja 2005. godine objavljuje konačni izveštaj [3]. Radna grupa je odabrala pragmatičan pristup i na osnovu merenja odredila funkcije za izračunavanje koeficijenta koji se koriste postojećim jednačinama iz standarda. Tako je za provodnike kružnog poprečnog preseka za opseg $x_p \leq 2,8$ preporučena primena relacija (14), a van ovog opsega:

$$\begin{aligned} y_s &= -0,136 - 0,0177x_p + 0,0563x_p^2; & 2,8 \leq x_p \leq 3,8 \\ y_s &= 0,354x_p - 0,733; & x_p > 3,8 \end{aligned} \quad . \quad (16)$$

Greška koja se čini na ovaj način manja je od 0,6% u celom opsegu. Za kablove sa segmentnim provodnicima preporučeno je da se vrši merenje električne otpornosti za naizmeničnu struju u toku tipskog

testa kablova. O novom izdanju IEC60287-1-1 koji je objavljen 2014. godine prihvaćene su relacije (16) i ubačena je sledeća tabela za koeficijente c_p i c_b .

TABELA 1 - Koeficijenti za obuhvatanje površinskog i efekta blizine u IEC60287-1-1

Tip provodnika	Izolacija	c_p	c_b
Bakar		1	1
Okrugli pun presek	sve	1	0,8
Okrugli žičani	ulje/papir/PPL	1	1
Okrugli žičani	sintetička/mineralna	0,435	0,37
Okrugli, Miliken sa izolovanim žicama	sintetička	0,35	0,2
Okrugli, Miliken sa golim provodnicima (istosmerno)	sintetička	0,62	0,37
Okrugli, Miliken sa golim provodnicima (dvosmerno)	sintetička	0,8	0,37
Cilindrični	sve	(17)	0,8
Sektorski	ulje/papir/PPL	1	0,8
Sektorski	sintetička/mineralna	1	1
Aluminijum			
Okrugli puni presek	sve	1	1
Okrugli žičani	sve	1	0,8
Okrugli Miliken	sve	0,25	0,15
Cilindrični	sve	(17)	0,8

$$c_p = \frac{d_{sp} - d_{up}}{d_{sp} + d_{up}} \left(\frac{d_{sp} + 2d_{up}}{d_{sp} + d_{up}} \right)^2 \quad (17)$$

Pod efektom blizine podrazumeva se neravnomerna raspodela struje u jednom provodniku zbog uticaja struje u drugom, bliskom provodniku. Efekat blizine je, izraženiji sa porastom učestanosti i smanjenjem električne otpornosti materijala. Takođe, on zavisi od oblika i uzajamnog položaja provodnika. Izvođenje izraza za uvažavanje efekta blizine veoma složeno pa se ovde daju samo krajnje relacije predložene standardom:

$$Y_b = \frac{x_b^4}{192 + 0,8x_b^4} \left(\frac{d_p}{a} \right)^2 \left[0,312 \left(\frac{d_p}{a} \right)^2 + \frac{1,18}{\frac{x_b^4}{192 + 0,8x_b^4} + 0,27} \right] \quad (18)$$

$$x_b = 15,9 \cdot 10^{-4} \sqrt{\frac{f c_b}{R}} \quad (19)$$

Unutrašnja reaktansa provodnika, odnosno unutrašnja induktivnost, određuje se iz imaginarnog dela relacije (11). Relacija (13), koja je izvedena uzimajući prva tri člana razvoja Bessel-ovih funkcija, omogućava izračunavanje unutrašnje induktivnosti sa tačnošću većom od 3% za odnose $r_p/\delta_c \leq 1,3$ (poprečni presek oko 460 mm² na 50 Hz). Za vrednosti $r_p/\delta_c \leq 2$ u [4] je predložena relacija:

$$l_u = \frac{\mu}{8\pi} \left(1 - \frac{1}{6} \left(\frac{r_p}{2\delta_c} \right)^4 \right), \quad (20)$$

a za $r_p/\delta_c > 2$ (poprečni presek veći od 1000 mm² na 50 Hz):

$$l_u = \frac{\mu}{8\pi} \left(\frac{2\delta_c}{r_p} - \frac{3}{64} \left(\frac{2\delta_c}{r_p} \right)^3 \right). \quad (21)$$

Unutrašnja impedansa cilindričnog provodnika punog preseka izračunava se kao:

$$\underline{z}_u = \frac{\rho_c u}{2\pi r_s} \frac{N_1(r_s u) J_0(r_s u) - N_0(r_s u) J_1(r_s u)}{N_1(r_s u) J_1(r_s u) - N_1(r_s u) J_1(r_s u)}. \quad (22)$$

Ova relacija može se primeniti za fazne provodnike cilindričnog poprečnog preseka ali i za impedansu električne zaštite kada je povratni put van električne zaštite (kroz armaturu ili kroz plašt) označenu sa \underline{z}_{es} u relacijama (3) do (8). U [5] je predložena aproksimacija ove funkcije u obliku:

$$z_u \approx \frac{\rho m_c}{2\pi r_s} \coth(m_c(r_s - r_u)) - \frac{\rho}{2\pi r_u(r_u + r_s)} \quad (23)$$

Unutrašnja impedansa cilindričnog provodnika sa povratnim putem u unutrašnjosti određuje se na osnovu izraza

$$z_u = \frac{\rho u}{2\pi r_u} \frac{N_1(r_s u) J_0(r_u u) - J_1(r_s u) N_0(r_u u)}{N_1(r_u u) J_1(r_s u) - N_1(r_s u) J_1(r_u u)} \quad (24)$$

Primenom ove relacije može se odrediti impedansa električne zaštite za unutrašnju površinu označena sa z_{es} u relacijama (3) do (8). S obzirom na to da je debljina električne zaštite mala, veoma često se zanemaruje neravnomerna raspodela gustine struje u električnoj zaštiti pa se kao otpornost električne zaštite koristi otpornost za jednosmernu struju. Impedanse izolacije u relacijama (3) do (5) određuju se jednostavno:

$$z_{izolacije} = j \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \ln \frac{r_{sp}}{r_{un}} \quad (25)$$

gde su r_{sp} i r_{un} spoljašnji i unutrašnji poluprečnik izolacije. Relacija (25) koristi se za izračunavanje z_{iz} u relacijama (3) do (5) pri čemu je r_{sp} unutrašnji poluprečnik električne zaštite r_{eun} a r_{un} poluprečnik provodnika r_p , i za izračunavanja z_{eiz} pri čemu je r_{sp} poluprečnik kabla a r_{un} spoljašnji poluprečnik električne zaštite r_{esp} . Međusobna impedansa petlji provodnik-električna zaštita i električna zaštita-povratni put kroz zemlju z_{lm} određuje se kao:

$$z_{im} = \frac{\rho_c}{\pi^2 r_{esp} r_{eun}} \frac{1}{N_1(r_s u) J_1(r_u u) - N_1(r_u u) J_1(r_s u)} \quad (26)$$

SPOLJAŠNJE SOPSTVENE I MEĐUSOBNE IMPEDANSE

Kod proračuna spoljašnjih impedansi potrebno je uvažiti karakteristike zemlje koja predstavlja povratni put struje. Temelje proračuna podužne impedanse provodnika postavljenih iznad zemlje ili položenih u zemlji postavili su Carson [6] i Pollaczek [7]. Relacije koje je predložio Carson nešto su jednostavnije ali su izvedene samo za slučaj provodnika postavljenog iznad zemlje, dok je Pollaczek imao opštiji pristup i njegove relacije odgovaraju i slučaju provodnika postavljenog u zemlji. Jednačine za izračunavanje podužnih impedansi izvedene su za lineičan provodnik beskonačne dužine, dok se zemlja prostire u dubini do beskonačnosti. Relacije za izračunavanje spoljašnje sopstvene i međusobne impedanse u obliku koji je dao Wedepohl [5] i koji izgleda drugačije od originalnog koji je predložio Pollaczek (ali su ipak u pitanju identični izrazi) su:

$$z_{mm} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left[K_0(mR) - K_0(m2h_m) + 2 \int_0^{+\infty} \frac{1}{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + m^2}} e^{-2h_m \sqrt{\alpha^2 + m^2}} \cos(\alpha R) d\alpha \right] \quad (27)$$

$$z_{mn} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left[K_0(md) - K_0(mD) + 2 \int_0^{+\infty} \frac{1}{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + m^2}} e^{-(h_m+h_n)\sqrt{\alpha^2 + m^2}} \cos(\alpha x) d\alpha \right] \quad (28)$$

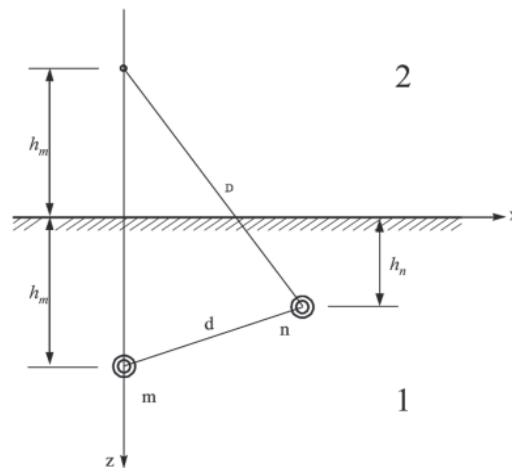
gde je:

K_0 - modifikovana Bessel-ova funkcija druge vrste nultog reda,

R - poluprečnik provodnika ili kabla u zavisnosti od pristupa,

$m = \sqrt{j\omega\mu_0\sigma_z}$ - kompleksna konstanta prostiranja elektromagnetnih talasa u zemlji.

Ukoliko se obuhvata neravnomerna raspodela struje u električnim zaštitama i primeni relacija (2), odnosno relacija (1) sa impedansama određenim prema relacijama (3) do (5), kao poluprečnik R u relaciji za izračunavanje z_{zs} koristi se poluprečnik kabla, dok se impedanse z_{z12} , z_{z13} i z_{z23} u relacijama (6) do (8) izračunavaju primenom izraza (28). Oznake dimenzija (d , D , h_m i h_n) prikazane su na slici 2 Na slici je sredina 1 zemlja, sredina 2 vazduh, a dva provodnika (m i n) položena su na dubinama h_m i h_n .



Slika 2. Dva kabla položena u zemlju

Prva dva člana u zagradi relacija (27) i (28) jednostavno se izračunavaju dok integral nema rešenje u zatvorenom obliku pa se rešava numeričkom integracijom ili razvojem u red. Problemi sa integracijom doveli su do velikog broja radova sa metodama za približno izračunavanje impedansi. Veoma čest pristup kod proračuna impedansi kablova je i primena Carson-ove formule čiji integral je nešto lakši za numeričko rešavanje i aproksimaciju od Polaczek-ovog. Naime Ammetani je pokazao da se Pollaczek-ova formula može svesti na Carson-ov oblik ako se umesto $e^{-(h_m+h_n)\sqrt{\alpha^2+m^2}}$ u relaciji (26) stavi $e^{-(h_m+h_n)|\alpha|}$, pa je Carson-ova formula prihvaćena i za izračunavanje impedanse provodnika postavljenih u zemlji. Primena Carson-ove formule dovodi i do jednostavnije aproksimacije sa kompleksnom dubinom povratnog puta. Carson je u svom radu formulu za određivanje spoljašnje impedanse napisao kao zbir impedanse za slučaj idealno provodne zemlje i korekcionih faktora i ima sledeći oblik:

$$z_{mm}^s = \Delta R_{mm} + j(\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2h_m}{r_m} + \Delta X_{mm}) , \quad (29)$$

$$z_{mn}^s = \Delta R_{mn} + j(\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_{mn}}{d_{mn}} + \Delta X_{mn}) , \quad (30)$$

gde su ΔR i ΔX korekcionni faktori koje se Carson dao kao funkcije parametra a :

$$a = 4\pi\sqrt{5} 10^{-4} D \sqrt{\frac{f}{\rho}} . \quad (31)$$

U prethodnom izrazu $D = 2h_m$ za izračunavanje sopstvenih impedansi, a $D = D_{mn}$ za izračunavanje međusobnih impedansi. D se zamenjuje u metrima, dok je ρ u Ωm . Za vrednosti $a \leq 5$ Carson je predložio razvoj beskonačnih integrala u sumu sledećeg oblika u kome se pojavljuje ugao ϕ . Ugao $\phi = 0$ u slučaju određivanja sopstvenih impedansi a $\phi = \phi_{mn}$ u slučaju međusobnih.

$$\begin{aligned} \Delta R = 4\omega 10^{-7} \{ & \pi/8 - b_1 a \cos \phi + b_2 [(c_2 - \ln a)a^2 \cos(2\phi) + \phi a^2 \sin(2\phi)] + b_3 a^3 \cos(3\phi) - \\ & - d_4 a^4 \cos(4\phi) - b_5 a^5 \cos(5\phi) + b_6 [(c_6 - \ln a)a^6 \cos(6\phi) + \phi a^6 \sin(6\phi)] + \\ & + b_7 a^7 \cos(7\phi) - d_8 a^8 \cos(8\phi) - \dots \} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \Delta X = 4\omega 10^{-7} \{ & \frac{1}{2}(0.6159315 - \ln a) + b_1 a \cos \phi - d_2 a^2 \cos(2\phi) + b_3 a^3 \cos(3\phi) - \\ & - b_4 [(c_4 - \ln a)a^4 \cos(4\phi) + \phi a^4 \sin(4\phi)] + b_5 a^5 \cos(5\phi) - d_6 a^6 \cos(6\phi) \\ & + b_7 a^7 \cos(7\phi) - b_8 [(c_8 - \ln a)a^8 \cos(8\phi) + \phi a^8 \sin(8\phi)] + \dots \} \end{aligned} \quad (33)$$

gde se konstante b , c i d određuju kao:

$$b_i = b_{i-2} \frac{\text{sign}}{i(i+2)} , \quad b_1 = \frac{\sqrt{2}}{6} , \quad b_2 = \frac{1}{16} ,$$

$\text{sign} = 1$ za $i=3,4,7,8,11,12,15,16 \dots$

$\text{sign} = -1$ za $i=5,6,9,10,13,14,17,18 \dots$

$$c_i = c_{i-2} + \frac{1}{i} + \frac{1}{i+2}, \quad c_2 = 1,3659315,$$

$$d_i = \frac{\pi}{4} b_i.$$

Uzimajući samo prve članove sume dobija se:

$$\Delta R = \frac{\omega \mu_0}{8}, \quad (34)$$

$$\Delta X = \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_e}{D}, \quad (35)$$

$$D_e = \frac{e^{0,6159315}}{4\pi\sqrt{5} \cdot 10^{-4}} \sqrt{\frac{\rho}{f}} \approx 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}}, \quad (36)$$

pri čemu se D_e obično naziva dubinom povratnog puta kroz zemlju, a konstanta u izrazu se uobičajeno zaokružuje na 658 iako je njena vrednost 658,87. Nakon zamene (34) i (35) u izrazima za spoljašnje sopstvene i međusobne impedanse dobija se:

$$\underline{z}_{mm}^s = \frac{\omega \mu_0}{8} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_e}{r_m}, \quad (37)$$

$$\underline{z}_{mn}^s = \frac{\omega \mu_0}{8} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_e}{d_{mn}}. \quad (38)$$

Za izračunavanje sopstvene impedanse primenjuje se i relacija sa kompleksnim povratnim putem:

$$\underline{z}_{mm} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2(h+p)}{R_m}. \quad (39)$$

U prethodnoj relaciji je sa $p=1/m$ označena kompleksna dubina. Relacija je najpre izvedena za provodnike iznad zemlje i originalno je predložena od strane Dubanton-a, a prvi put publikovana u [8]. Relacija je kasnije počela da se primenjuje i za slučaj kablove položenih u zemlju. Zanemarujući visinu provodnika iznad zemlje h i imaginarni deo kompleksne provodnosti zemlje relacija (39) se može svesti na oblik:

$$Z_{mm} = \frac{\omega \mu_0}{8} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_e}{R_m}, \quad (40)$$

pri čemu je $D_e = 711,762 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$ što je prvi pokazao Deri [9]. Izraz je identičan onom koji je dobijen iz Carson-

ove jednačine uz uvažavanje samo prvog člana, pri čemu se razlikuje samo koeficijent 711,762 umesto 658,872, odnosno uzima se da je dubina povratnog puta oko 8% veća, zbog čega je sopstvena induktivnost veća za $1,544 \cdot 10^{-8}$ H/m. Veoma dobru aproksimaciju za spoljašnju sopstvenu i međusobnu impedansu kablova dao je Wedepohl [5]:

$$\underline{z}_{mm} = \frac{j\omega \mu_0}{2\pi} \left[-\ln \left(\frac{\gamma m R}{2} \right) + 0,5 - \frac{4}{3} m h_m \right], \quad (41)$$

$$\underline{z}_{mn} = \frac{j\omega \mu_0}{2\pi} \left[-\ln \left(\frac{\gamma m d_{mn}}{2} \right) + 0,5 - \frac{2}{3} m (h_m + h_n) \right]. \quad (42)$$

U prethodnom izrazu sa γ je prema radu [5] označena Euler-ova konstanta, što je povremeno bio razlog pogrešne interpretacije pošto je oznaka γ korišćena za $e^{0,5772156649} = 1,781072$. Zanemarenjem poslednjih članova prethodne dve relacije, i uzimajući da je $\underline{\sigma}_z = \sigma_z + j\omega \epsilon_z \approx \sigma_z = \frac{1}{\rho_z}$ dobija se:

$$\underline{z}_{mm} = \frac{\omega \mu_0}{8} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_e}{R}, \quad (43)$$

$$\underline{z}_{mn} = \frac{\omega \mu_0}{8} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_e}{d_{mn}}, \quad (44)$$

$$D_e = \frac{\sqrt{2} \sqrt{e}}{\gamma \sqrt{\pi \mu_0}} \sqrt{\frac{\rho}{f}} = 658,87160 \sqrt{\frac{\rho}{f}}. \quad (45)$$

REZULTATI PRORAČUNA

Posmatraće se kabl naponskog nivoa 400 kV, poprečnog preseka 2500 mm². Provodnici su tipa Mileken sa izolovanim žicama od bakra. Električna zaštita ja od aluminijuma poprečnog preseka 500 mm². Tri jednožilna kabla položena su u ravni na dubini od 1m, a rastojanje centara susednih kablova iznosi 0,3 m. Za temperaturu provodnika uzeto je 90°C a temperaturu električne zaštite 70°C. Vrednosti sopstvenih i međusobnih impedansi izračunatih primenom različitih relacija za isti kabl pri učestanost 50 Hz prikazani su u tabeli 2.

TABELA 2 – Spoljašnje sopstvene i međusobne impedanse kabla 400 kV (2500 mm²) položenog u ravni

Metod izračunavanja	Sopstvena [Ω/km]	Međusobna [Ω/km]
Numeričko rešavanje Pollaczek-ovog integrala	0,049465+j0,59545	0,049465+j0,50512
Numeričko rešavanje Carson-ovog integrala	0,049233+j0,59568	0,049233+j0,50535
Sumiranje Carson-ovog reda	0,049231+j0,59572	0,049233+j0,50605
Prvi član Carson-ovog reda	0,049348+j0,59561	0,049348+j0,50593
Ekvivalent dubina prema (36)	0,049348+j0,59552	0,049348+j0,50515
Ekvivalent dubina prema (45)	0,049348+j0,60046	0,049348+j0,51009
Wedepohl	0,049466+j0,59549	0,049466+j0,50512

U tabeli 3 su prikazani rezultati dobijeni primenom (3) do (8) sa unutrašnjim impedansama električne zaštite izračunatih preko Bessel-ovih funkcija i rezultati dobijeni primenom uprošćenih relacije (43) do (45). Impedanse zemlje u relacijama (3) do (8) izračunate su numeričkom integracijom Pollaczek-ovih jednačina. U oba slučaja korišćena je ista vrednost unutrašnje impedanse provodnika.

TABELA 3 - Sopstvene i međusobne impedanse kabla 400 kV (2500 mm²) položenog u ravni

Impedansa	Kompletan model	Uprošćene relacije
Z ₁₁ [Ω/km]	0,060066+j0,661113	0,0599476+j0,661171
Z ₄₄ [Ω/km]	0,1177101+j0,600938	0,117266+j0,601210
Z ₄₁ [Ω/km]	0,0494655+j0,601135	0,0493480+j0,601210
Z ₁₂ [Ω/km]	0,0494646+j0,505118	0,0493480+j0,505152
Z ₁₃ [Ω/km]	0,0494646+j0,461566	0,0493480+j0,461601

ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled relacija za izračunavanje sopstvenih i međusobnih impedansi kablova, a zatim na test primeru pokazana njihova tačnost. Fokus je stavljen na jednožilne kablove položene u zemlji sa električnom zaštitom uzemljenom na jednom ili na oba kraja, sa izvršenom transpozicijom električnih zaštita ili bez transpozicije. Imajući u vidu rezultate prikazane u radu evidentno je da se za sve proračune koji se sprovode za kablove sopstvene i međusobne redne impedanse mogu odrediti primenom uprošćenih relacija. Najveća procentualna greška čini se kod proračuna aktivne otpornosti međusobnih impedansi i ona je manja od 0,3%.

LITERATURA

- [1] H. W. Dommel, Electromagnetic Transients Program Theory Book (EMTP Theory Book), Portland: Bonneville Power Administration, 1986.
- [2] IEC Std. 60228, "Conductors of Insulated Cables", 2004.
- [3] CIGRE Working Group B1.03, "Large cross-sections and composite screens design", June 2005.
- [4] H. Schunk, Stromverdrängung, UTB, Dr. Alfred Hüthig Verlag, 1975.
- [5] L. M. Wedepohl, D. J. Wilcox, "Transit Analysis of Underground Power-Transmission Systems", Proc. IEE, 120, pp. 253-260, 1973.
- [6] J. R. Carlson, "Wave propagation in Overhead Wires with Ground Return", Bell System Journal, vol. 5, pp. 539-554, 1926.
- [7] F. Pollaczek, "Über das Feld einer unendlichen langen wechselstromdurchflossenen Einfachleitung", E.N.T., 3, pp. 339-360, 1926.
- [8] C. Gary, "Approche Complete de la Propagation multifilaire en haute fréquence par utilisation des matrices complexes" (Complete Approach to Multiconductor Propagation at High Frequency with Complex Matrices), EdF Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, Série B, no. 3/4, 1976, pp. 5-20.
- [9] A. Deri, G. Tevan, A. Semlyen, A. Castanheira, "The Complex Ground Return Plane, a Simplified Model for Homogeneous and Multy-Layer Earth Return", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS 100, no.8, pp. 3686-3693, August 1981.

MODELOVANJE I PRORAČUN KRATKIH SPOJEVA DISTRIBUTIVNIH MREŽA SA DISTRIBUIRANIM GENERATORIMA ZASNOVANIM NA TROFAZNYM INVERTORIMA

L. STREZOSKI, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

V. KATIĆ, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

B. DUMNIĆ, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

1. UVOD

U ovom radu je predložena procedura za proračun kratkih spojeva distributivnih mreža s distribuiranim generatorima zasnovanim na trofaznim invertorima (IZDG). Tradicionalne distributivne mreže su bile pasivne u smislu da u njima nije bilo proizvodnje električne energije. Njihova jedina uloga je bila da se energija preuzeta iz napojnih transformatorskih stanica distribuira do potrošača. Modelovanje i proračuni takvih mreža utvrđeni su i koriste se u elektroprivredi više desetina godina [1].

Poslednjih godina se značajno povećava instalacija distribuiranih generatora (DG) u distributivnim mrežama. Zato su današnje distributivne mreže aktivne. To je suštinski razlog što se tradicionalno modelovanje i proračunavanje ne može primeniti na moderne aktivne distributivne mreže [2]. Najveći broj savremenih distribuiranih izvora energije zasnivaju se na korišćenju obnovljivih izvora energije kao što su energija sunca ili vetrai ovakvi izvori električne energije podrazumevavaju i upotrebu trofaznih invertora [3, 4]. Pošto su IZDG trofaznim invertorima raspregnuti od mreže, njihovi modeli su zasnovani na podešenju invertora [4]. Zato IZDG u distributivnoj mreži ne mogu biti modelovani kao tradicionalni sinhroni i asinhroni generatori [2, 3, 4].

Zavisno od specifičnih zahteva različitih zemalja, invertori IZDG mogu biti podešeni na različite načine. Najveći broj razvijenih zemalja imaju svoje sopstvene propise za priključenje i rad na elektroenergetskoj mreži (Grid Codes) sa striktno određenim pravilima o odzivu IZDG u slučaju kratkog spoja bilo gde u mreži [3, 4, 5]. U najvećem broju slučajeva se zahteva da IZDG ostanu povezani na mrežu sve vreme trajanja kratkog spoja. Ovo pravilo je poznato kao „Low Voltage Ride Through” (LVRT) [4, 5].

U ovom radu je dat pregled LVRT zahteva nekih od izabranih zemalja, a zatim su na osnovu tih zahteva predloženi modeli IZDG u uslovima mreže s kratkim spojem. Saglasno s tim, modeli su integrisani u novo razvijeni metod za proračun režima aktivnih distributivnih mreža s kratkim spojem [2]. Predloženi modeli, integrisani u metod za proračun režima aktivnih distributivnih mreža s kratkim spojem su verifikovani na standardnom IEEE 13 distributivnom test fideru [6], sa dodatim IZDG. Dobijeni rezultati pokazuju da predloženi modeli obezbeđuju adekvatne rezultate proračuna kratkih spojeva distributivnih mreža gde su LVRT zahtevi striktno definisani. Takođe, ovi modeli se mogu uspešno koristiti i u velikom broju ostalih energetske aplikacije distributivnih menadžment sistema, koje su zasnovane na proračunu kratkih spojeva, kao što su: podešavanje i koordinacija relejne zaštite, izbor zaštitne opreme (prekidača i osigurača), projektovanje opreme, restauracija napajanja, vođenje mreže u uslovima kvara itd.

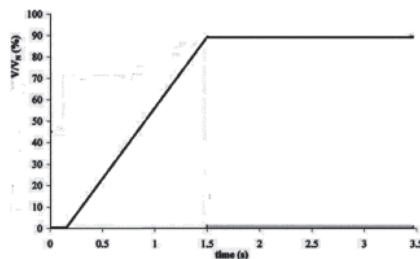
Ostatak rada je organizovan na sledeći način: u poglavlju 2 je dat pregled LVRT zahteva nekoliko izabranih zemalja i izvučene su njihove zajedničke karakteristike. U poglavlju 3 su predloženi modeli za IZDG u uslovima kratkog spoja, na osnovu LVRT zahteva. U poglavlju 4 je prikazana procedura za proračun režima mreže s kratkim spojem. U poglavlju 5 su prikazani i diskutovani rezultati proračuna režima aktivne distributivne mreže s kratkim spojem. Rad je zaključen u poglavlju 6.

2. LVRT ZAHTEVI IZABRANIH ZEMALJA

Od modernih DG se zahteva da doprinesu podršku distributivnoj mreži ne samo u normalnim uslovima, već i u uslovima s kratkim spojem [3]. Da bi ispunili taj zahtev, DG bi trebali da ostanu povezani na mrežu u uslovima s kratkim spojem i pomognu mreži da se lakše oporavi od kratkog spoja, ukoliko je to moguće [3]. S obzirom da IZDG imaju kontrolisan odziv (kontrolisanu struju) u uslovima s kratkim spojem [3, 4, 5], ova vrsta DG može da ostane povezana na mrežu. Ta sposobnost čini IZDG veoma atraktivnim u modernim distributivnim mrežama. Mogućnost ostanka na mreži za vreme trajanja kratkog spoja, koji izaziva pad napona na mestu priključenja IZDG-a, naziva se LVRT sposobnost [3, 4, 5]. Većina LVRT zahteva je definisana za prenosne mreže [5], ali sve veći broj razvijenih zemalja je počeo da uvodi ove zahteve i u svoja Pravila o radu distributivnih mreža (Distribution Codes - DC) [7, 8, 9]. Savremeni propisi o načinu rada distributivnih mreža, kao što su nemački [7, 8], irski [9] i danski [7], imaju striktno definisane LVRT zahteve. S obzirom na sve veći porast IZDG širom sveta, vrlo je verovatno da će i ostale zemlje u skorijoj budućnosti uvesti LVRT zahteve u svoja pravila o radu distributivnih mreža. U nastavku će ukratko biti objašnjeni LVRT zahtevi nemačkih, danskih i irskih Pravila o radu distributivnih mreža.

2.1. LVRT zahtevi u pravilima o radu distributivnih mreža Nemačke

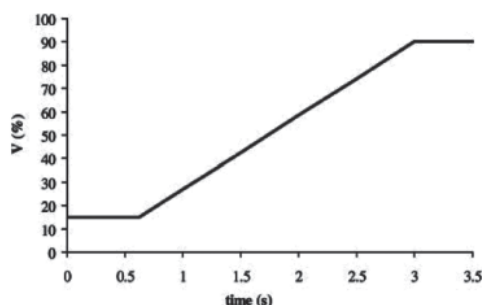
Nemački LVRT zahtevi su prikazani na Slici 1 [7, 8]. Nemačka pravila o radu distributivnih mreža zahtevaju da IZDG ostane povezan na mrežu čak i u slučaju da napon na mestu priključenja padne na nulu, prvih 150 ms. Između 150 ms i 1500 ms, granica napona raste linearno od 0% do 90% i najzad, posle 1500 ms, IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko je napon na mestu priključenja između 90% i 100% od nominalnog. Ukoliko napon na mestu priključenja IZDG-a padne ispod granične linije sa Slike 1, dozvoljeno je isključenje IZDG-a sa mreže nakon isteka predviđenog vremena.



SLIKA 1 –LVRT ZAHTEVI PRAVILA O RADU DISTRIBUTIVNIH MREŽE NEMAČKE [8]

2.2. LVRT zahtevi u pravilima o radu distributivnih mreža Republike Irske

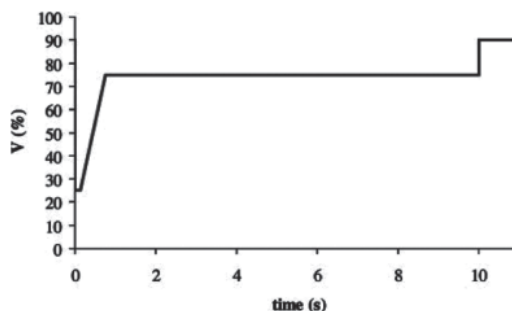
Na Slici 2 su prikazani irski LVRT zahtevi [9]. Sa slike se vidi da je zahtev da IZDG ostane povezan na mrežu ukoliko napon na mestu priključenja padne na 15% od nominalnog, prvih 625 ms. Od 625 ms do 3000 ms, granica napona raste linearno od 15% do 90%. Posle 3000 ms, IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko se napon podigne iznad 90%. Slično kao u slučaju nemačkih Pravila o radu distributivnih mreža, ukoliko napon na mestu priključenja IZDG-a padne ispod granične linije sa Slike 2, dozvoljeno je isključenje IZDG-a sa mreže.



SLIKA 2 – LVRT ZAHTEVI PRAVILA O RADU DISTRIBUTIVNIH MREŽE REPUBLIKE IRSKE [9]

2.3. LVRT zahtevi u pravilima o radu distributivnih mreža Danske

Na Slici 3 su prikazani danski LVRT zahtevi[7]. IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko napon namestu priključenjapadne na 25% od nominalnog, prvih 100 ms. Od 100 ms do 1000 ms, granica napona raste linearno od 25% do 75%. Od 1000 ms do 10.000 ms, IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko se napon podigne iznad 75%. Posle 10.000 ms, IZDG mora da ostane povezan na mrežu ukoliko se napon podigne iznad 90%. Ukoliko napon namestu priključenjalZDG-a padne ispod granične linije sa Slike 3, dozvoljeno je isključenje IZDG-a sa mreže.

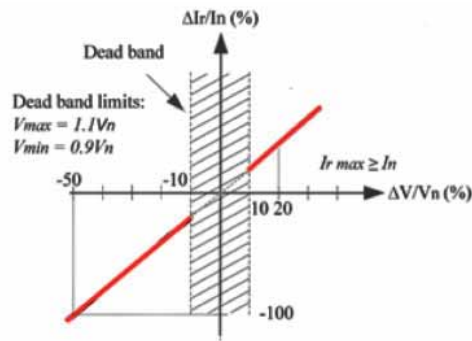


SLIKA 3 – LVRT ZAHTEVI PRAVILA O RADU DISTRIBUTIVNIH MREŽE DANSKE [7]

2.4. Zahtevi za injektiranjem reaktivne struje za vreme kratkog spoja

Pravila o radu distributivnih mreža zahtevaju od IZDG da podrže distributivnu mrežu tako što će generisati reaktivnu snagu tokom kratkog spoja, da bi pomogli bržem povratku napona u normalne granice[3, 7]. Reaktivna struja je definisana kao struja koja prednjači naponu na mestu

priključenjalZDG zaugao π , odnosno struja koja će pomnožena sa naponom dati injektiranje reaktivne snage u mrežu [3, 7]. Pravila o radu distributivnih mreža Republike Irske i Nemačke zahtevaju od IZDG-a da injektira reaktivnu struju u vrednosti od 2% nominalne struje po procentu pada napona na mestu priključenja IZDG-a [3, 7]. To znači da ukoliko napon padne na 50%, reaktivna struja koju IZDG mora da injektira je jednaka 100% nominalne struje. Ovaj zahtev je prikazan na Slici 4 [7]. Međutim, IZDG moraju da kontrolišu svoju struju kvara, sa jasno definisanim ograničenjem te struje, da bi zaštitili osetljive uređaje energetske elektronike [10]. Ograničenje struje kvara se razlikuje kod različitih proizvođača, ali ne prelazi 1.5 od nominalne struje [2, 3, 4, 5]. Zbog toga, u slučajevima ozbiljnih padova napona namestu priključenjalZDG-a (više od 75%) reaktivna struja koju će IZDG injektirati u toku kratkog spoja ne može da pređe definisano ograničenje.



SLIKA 4 –ZAHTEVI ZA INJEKTIRANJEM REAKTIVNE STRUJE [7]

2.5. Pregled LVRT zahteva pravila o radu distributivnih mreža izabranih zemalja

U ovom delu su izvučene zajedničke, bitne karakteristike različitih Pravila o radu distributivnih mreža. Saglasno sa prethodnim potpoglavljima, može se zaključiti da su osnovni LVRT zahtevi od IZDG-a:

1. Da ostane povezan na mrežu u slučaju kratkog spoja bilo gde u mreži;
2. Da injektira reaktivnu snagu u mrežu u slučaju kratkog spoja bilo gde u mreži.

Na osnovu ovih zahteva, u sledećem poglavlju su predloženi modeli za IZDG u uslovima mreže sa kratkim spojem.

3. MODELOVANJE IZDG U USLOVIMA MREŽE S KRATKIM SPOJEM

Sinhroni i asinhroni generatori se u elektroprivredi koriste već više od jednog veka. Njihovi modeli kako u normalnom režimu, tako i u režimu mreže s kratkim spojem su jasno ustanovljeni i uspešno se koriste poslednjih nekoliko decenija [1]. Za razliku od ovih generatora, IZDG su relativno novi. IZDG nemaju jasno zasnovane i opšte prihvaćene modele. Zbog toga je potrebno što pre razviti prikladne modele za ovu vrstu generatora. U ovom radu će se za modelovanje koristiti nemački LVRT zahtevi (kriva sa Slike 1), koji su i najstrože postavljani zahtevi, ali iz Poglavlja 2 je jasno da se modeli mogu lako prilagoditi da odgovaraju LVRT zahtevima drugih zemalja.

IZDG imaju kontrolisanu struju kvara, sa jasno definisanim ograničenjem te struje. U ovom radu će se pretpostaviti da je strujno ograničenje 150% od njihove nominalne struje, saglasno sa [2, 3, 4]. IZDG su podešeni tako da uvek daju simetrične struje direktnog redosleda, čak i u slučaju neuravnoteženih kratkih spojeva [2, 3, 4]. Takođe, IZDG reaguju isključivo na propad napona direktnog redosleda na mestu priključenja [3, 7]. Saglasno s tim, modeli predloženi u ovom radu će se odnositi samo na direktni redosled. U inverznom i nultom redosledu, IZDG modelisu anulirani.

3.1. IZDG Modeli

Predloženi modeli se sastoje od idealnih strujnih izvora, sa simetričnim strujama direktnog redosleda. Vrednosti ovih struja određuju se na osnovu vrednosti napona direktnog redosleda na mestu priključenja IZDG-a, u trenutku kratkog spoja (\hat{V}_T^d). U prvoj iteraciji proračuna, IZDG je modelovan kao idealni strujni izvor sa strujom jednakoj njegovoj struji pre kratkog spoja \hat{I}_{IZDG}^{pre} . Zatim se proračunava čitavo stanje mreže u toj iteraciji, procedurom "Improved Back-Forward Sweep" (IBFS) predloženom u [2]. Posle prve iteracije proračuna, raspolaže se sa naponom \hat{V}_T^d . S obzirom da se koriste nemački LVRT zahtevi, IZDG mora da ostane povezan na mrežu čak i u slučaju da je $\hat{V}_T^d = \mathbf{0}$.

Na osnovu faznog ugla napona \hat{V}_T^d određuje se fazni ugao reaktivne struje IZDG-a (I_{IZDG}^{reakt}), tako da prednjači naponu \hat{V}_T^d za ugao $\frac{\pi}{2}$, odnosno:

$$\delta_{I_{reakt}} = \delta_U + \frac{\pi}{2}, \quad (1)$$

Gde je $\delta_{I_{reakt}}$ ugao reaktivne struje, a δ_U ugao napona \hat{V}_T^d .

Sada se izračunava odnos između modula nominalnog napona na mestu priključenja IZDG-a (V_{Tnom}^d) i modula napona \hat{V}_T^d :

$$\Delta V_T = \frac{V_T^d}{V_{Tnom}^d}. \quad (2)$$

Odnos modula reaktivne struje IZDG-a u i nominalne struje IZDG-a (I_{IZDG}^{nom}) je jednak dvostruko vrednosti ΔV_T (saglasno sa Slikom 4):

$$\frac{I_{IZDG}^{reakt}}{I_{IZDG}^{nom}} = 2 \Delta V_T. \quad (3)$$

Sada se računa vrednost modula reaktivne struje IZDG-a:

$$I_{IZDG}^{reakt} = 2 \Delta V_T I_{IZDG}^{nom}. \quad (4)$$

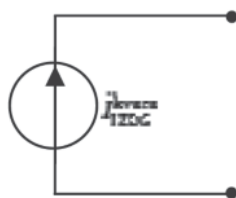
Na kraju, I_{IZDG}^{reakt} se poredi sa ograničenjem struje kratkog spoja IZDG-a (I_{IZDG}^{max}) i na osnovu njihovog odnosa se određuje ukupna struja kratkog spoja IZDG-a (I_{IZDG}^{kvaza}):

$$I_{IZDG}^{reakt} \begin{cases} > I_{IZDG}^{max} \Rightarrow I_{IZDG}^{kvaza} = I_{IZDG}^{max} e^{j\delta_{I_{reakt}}} \\ \leq I_{IZDG}^{max} \Rightarrow I_{IZDG}^{kvaza} = I_{IZDG}^{akt} e^{j\delta_U} + I_{IZDG}^{reakt} e^{j\delta_{I_{reakt}}} \end{cases}, \quad (5)$$

$$\text{gde je } I_{IZDG}^{akt} = \sqrt{(I_{IZDG}^{max})^2 - (I_{IZDG}^{reakt})^2}. \quad (6)$$

Sa ovom strujom se ide u naredne iteracije proračuna.

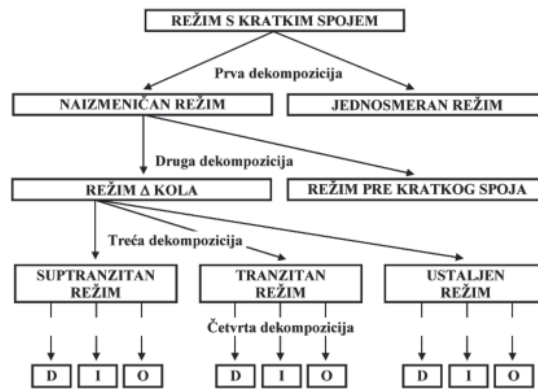
Iz relacije (5) se vidi da je modul struje IZDG-a u kratkom spoju uvek ograničen definisanim strujnim ograničenjem (I_{IZDG}^{max}). Odnos aktivne i reaktivne komponente ove struje menja se u odnosu na intenzitet propada napona na mestu priključenja IZDG-a, saglasno sa Slikom 4. Predloženi model IZDG-a u uslovima mreže sa kratkim spojem može da se predstavi kao što je prikazano na Slici 5.



SLIKA 5 – MODEL IZDG U USLOVIMA MREŽE S KRATKIM SPOJEM

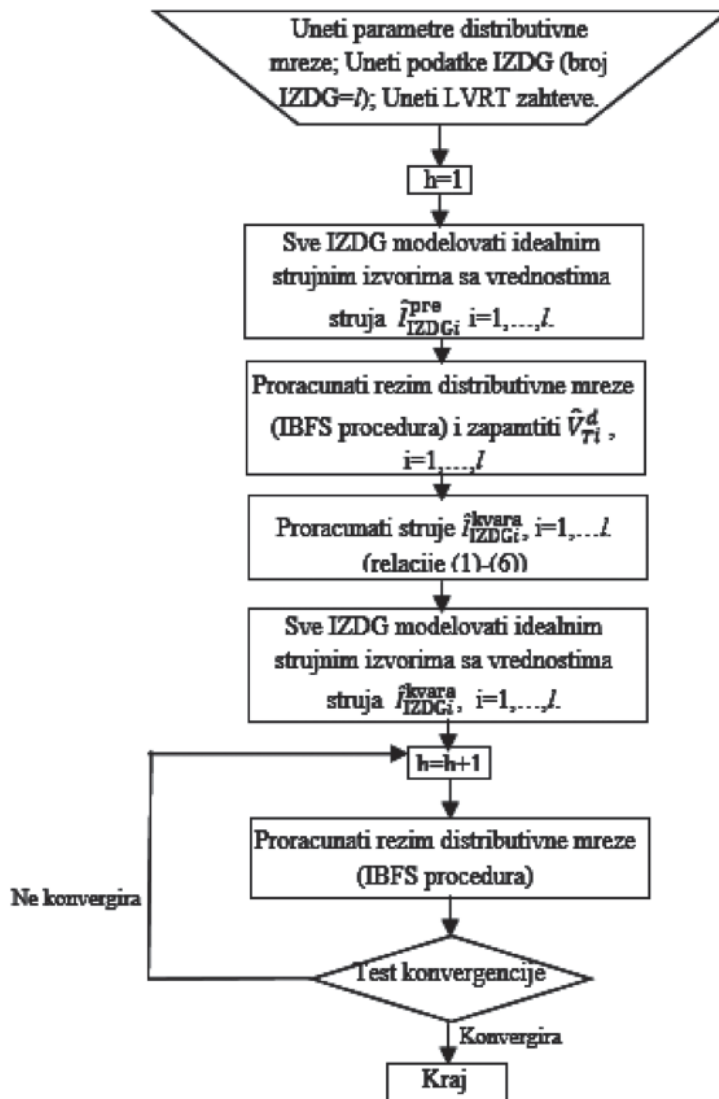
4. PROCEDURA ZA PRORAČUN REŽIMA AKTIVNE DISTRIBUTIVNE MREŽE S KRATKIM SPOJEM

Proračun režima distributivne mreže s kratkim spojem sprovodi se pomoću četiri dekompozicije sa slike 6 [1, 2].



SLIKA 6 – ČETIRI DEKOMPOZICIJE REŽIMA DISTRIBUTIVNE MREŽE S KRATKIM SPOJEM

Jednosmerni režim nije od interesa za ovaj rad. S obzirom da je režim pre kratkog spoja poznat, proračun režima s kratkim spojem se svodi na proračun Δ kola. Iterativna procedura za proračun Δ kola aktivne distributivne mreže je data u [2]. Ta procedura se zove IBFS procedura. U ovom radu su modeli iz Poglavlja 3 integrisani u IBFS proceduru. Blok dijagram procedure za proračun kratkih spojeva distributivne mreže sa integrisanim IZDG dat je na Slici 7.

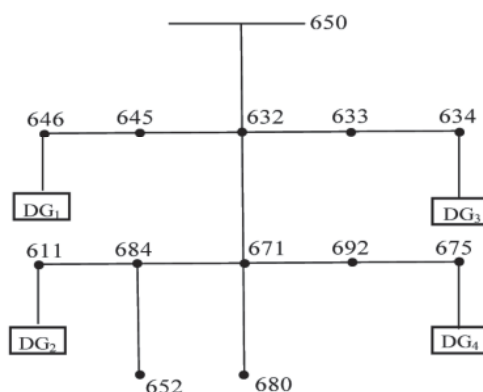


SLIKA 7 – BLOK DIJAGRAM PROCEDURE ZA PRORAČUN KRATKIH SPOJEVA MREŽE SA IZDG

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Predloženi modeli, integrirani u IBFS proceduru su verifikovani na modifikovanom IEEE 13 test fideru [6] – Slika 8.

Fider je modifikovan da bude uravnotežen, u simetričnom režimu pre kratkog spoja. Čvor 650 je koren mreže, sa specificiranim trofaznim, simetričnim naponom (fazni napon: $U_1 = (21/\sqrt{3})KV$). Takođe, četiri IZDG-a: DG_1 , DG_2 , DG_3 i DG_4 su dodata u čvorove 646, 611, 634 i 675, respektivno. IZDG su izabrani da snabdejavu skoro 50% ukupne potrošnje (svaki snabdeva 12% ukupne potrošnje). Pretpostavlja se da sva četiri IZDG rade sanominalnom snagom u trenutku pre kratkog spoja. Sve sekcije vodova su međusobno jednake, njihovi parametri su dati u Tabeli 1. Trofazni kratak spoj je simuliran u čvoru 680. U Tabeli 2 su dati rezultati za struje i napone sva četiri IZDG (\hat{I}_{DC1} , \hat{I}_{DC2} , \hat{I}_{DC3} , \hat{I}_{DC4} , \hat{U}_{DC1} , \hat{U}_{DC2} , \hat{U}_{DC3} , \hat{U}_{DC4}), pre kratkog spoja, kao i za iste te struje i napone u trenutku kratkog spoja. Takođe, prikazani su rezultati za trofazne snage sva četiri IZDG (\hat{S}_{DC1} , \hat{S}_{DC2} , \hat{S}_{DC3} , \hat{S}_{DC4}), pre i u trenutku kratkog spoja. Potrošači i otočni parametri vodova su zanemareni u ovom primeru.



SLIKA 8 – MODIFIKOVANI IEEE 13 TEST FIDER

TABELA 1 – PARAMETRI SEKCIJA

$Z^+ = Z [\Omega/km]$	$Z^0 [\Omega/km]$	$l [km]$
0.4897+j1.0032	1.2376+j3.0992	1.6

TABELA 2 – REZULTATI ZA KRATAK SPOJ U ČVORU 680

Struje	Pre kratkog spoja [kA]	Kratak spoj [kA]	Naponi	Pre kratkog spoja [kV]	Kratak spoj [kV]	Snage	Pre kratkog spoja [MVA]	Kratak spoj [MVA]
\hat{I}_{DC1}	-0.041-j0.0006	0.054-j0.027	\hat{U}_{DC1}	12.242+j0.259	8.141+j0.044	\hat{S}_{DC1}	1.5+j0	1.33+j0.67
\hat{I}_{DC2}	-0.041-j0.0013	0.029-j0.054	\hat{U}_{DC2}	12.311+j0.415	4.092+j0.037	\hat{S}_{DC1}	1.5+j0	0.35+j0.67
\hat{I}_{DC3}	-0.041-j0.0006	0.054-j0.027	\hat{U}_{DC3}	12.242+j0.259	8.141+j0.044	\hat{S}_{DC1}	1.5+j0	1.33+j0.67
\hat{I}_{DC4}	-0.041-j0.0013	0.029-j0.054	\hat{U}_{DC4}	12.311+j0.415	4.092+j0.037	\hat{S}_{DC1}	1.5+j0	0.35+j0.67

Kao što se vidi iz Tabele 2, pre kratkog spoja sva četiri IZDG su injektirala jednake snage, i to isključivo aktivnu snagu. Takođe, struje sva četiri IZDG pre kratkog spoja su gotovo identične.

U trenutku kratkog spoja u čvoru 680, naponi namestu priključenja sva četiri IZDG su značajno opali. S obzirom da se DG_1 i DG_3 nalaze na jednakoj udaljenosti od kratkog spoja, propadi napona na njihovim mestima priključenja će biti jednaki. Ovi propadi napona će, saglasno sa Slikom 4, izazvati jednake reaktivne struje kvara oba DG, a s obzirom da su im i strujna ograničenja jednaka to će,

saglasno sa relacijom (5), izazvati da im i aktivne komponente struja budu jednake. Isto važi i za DG₂ i DG₄.

Iz Tabele 2 se vidi da što je veći propad napona namestu priključenja IZDG, veća je i reaktivna struja koju IZDG injektira. Saglasno sa injektiranim reaktivnim strujama, sva četiri IZDG će injektirati reaktivne snage u trenutku kratkog spoja, što je jedan od osnovnih zahteva od IZDG. S obzirom da reaktivne struje kvara IZDG rastu linearno sa propadom napona na njihovim mestu priključenja, reaktivne snage sva četiri IZDG u trenutku kratkog spoja će biti jednake, iako su propadi napona na mestima priključenja DG₂ i DG₄ duplo veći nego na mestima priključenja DG₁ i DG₃. Ovi rezultati pokazuju da predloženi modeli obezbeđuju željene rezultate u distributivnim mrežama gde su LVRT zahtevi striktno definisani.

6. ZAKLJUČAK

Za razliku od tradicionalnih sinhronih i asinhronih generatora, IZDG su relativno nov oblik distribuiranih generatora. IZDG nemaju jasno zasnovane i opšte prihvaćene modele u uslovima mreže s kratkim spojem. Zato su u ovom radu predloženi modeli za IZDG u uslovima mreže s kratkim spojem, zasnovani na LVRT zahtevima modernih zemalja. Ovi modeli su integrisani u novo razvijenu proceduru za proračun kratkih spojeva aktivnih distributivnih mreža. Rezultati pokazuju da predloženi modeli obezbeđuju željene rezultate u distributivnim mrežama gde su LVRT zahtevi striktno definisani. Takođe, iz dobijenih rezultata se vidi da je osnovna karakteristika IZDG prilikom kratkog spoja, da pomažu distributivnu mrežu tako što će injektirati reaktivnu snagu, upotrebom predloženih modela očuvana i jasno iskazana. Na osnovu svega prethodno rečenog, može se zaključiti da se predloženi modeli mogu uspešno koristiti u proračunima kratkih spojeva aktivnih distributivnih mreža, kao i u ostalim DMS energetskim aplikacijama, koje su zasnovane naproračunu kratkih spojeva.

U nastavku istraživanja na ovoj temi jedan od pravaca će biti i eksperimentalna provera algoritama upravljanja invertorskim jedinicama u distribuiranim izvorima električne energije u skladu sa LVRT zahtevima upotrebom savremene laboratorijske postavke [11].

7. LITARATURA

- [1] Bergen R., Vittal V., 2000, "Power System Analysis"(2nd Ed.), Prentice Hall.
- [2] Strezoski L., Prica M., 2016, "Real-Time Short-Circuit Analysis of Active Distribution Systems", IEEE Power and Energy Conference in Illinois (PECI), Champagne, IL, USA, pp. 1–6.
- [3] Van Tu D., Chaitusaney S., Yokoyama A., 2014, "Maximum-Allowable Distributed Generation Considering Fault Ride-Through Requirement and Reach Reduction of Utility Relay", IEEE Trans. Power Del., Vol. 29, No. 2, pp. 534–541.
- [4] Williams J., Karlson B., 2012, "Wind Power Plant Short-Circuit Modeling Guide", Sandia Nat. Lab., Albuquerque, NM.
- [5] Teodorescu R., Liserre M., Rodriguez M., 2011, "Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems", John Wiley & Sons.
- [6] Kersting W., 2001, "Radial distribution test feeders", IEEE PES Winter Meeting, Vol. 2, pp. 908–912.
- [7] Tsili M., Papathanassiou S., 2009, "A review of grid code technical requirements for wind farms", IET Renew. Power Generation, Vol. 3, No. 3, pp. 308–332.
- [8] Bundesverband der Energie - und Wasserwirtschaft e.V., 2008, "Guideline for generating plants' connection to and parallel operation with the medium-voltage network".
- [9] Distribution System Operators, ESB Networks, 2015 "Irish Distribution Code".
- [10] Ivanovic Z., Adzic E., Vekic M., Grabic S., Celanovic N., and Katic V.A., 2012, "HIL Evaluation of Power Flow Control Strategies for Energy Storage Connected to Smart Grid Under Unbalanced Conditions", IEEE Trans. on Pow. Elect., Vol. 27, No.11, pp.4699-4710.
- [11] Dumnic B., Milicevic D., Popadic B., Katic V.A., Corba Z., 2013, „Advanced laboratory setup for control of electrical drives as an educational and developmental tool“, IEEE Eurocon 2013, 1- 4 July, Zagreb, Croatia, pp. 903-909,

Kontakt informacije autora:

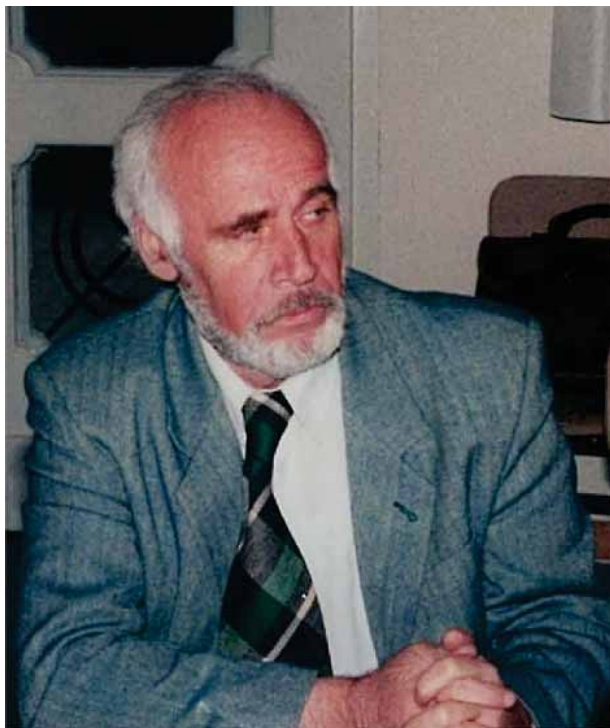
Luka Strezoski: lukastrezoski@uns.ac.rs

Vladimir Katic: katav@uns.ac.rs

Boris Dumnic: dumnic@uns.ac.rs

Radmilo Antić

(1935 – 2016)



Radmilo Antić je rođen 23. oktobra 1935. godine u selu Leskovčić kod Prištine. Srednju elektrotehničku školu je završio u Beogradu. Studirao je iz radnog odnosa i diplomirao 1967. godinena Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu -Energetski odsek.

Ceo radni vek proveo je u elektroprivredi Srbije, konkretno u preduzeću „Elektroistok“ čija je osnovna delatnost bila prenos električne energije na naponima 400 kV, 220 kV i 110 kV. Počeo je kao tehničar na poslovima rukovaoca transformatorske stanice, referenta za električna merenja i tehničara za zaštitu i lokalnu automatiku TS, TE i HE, da bi posle diplomiranja nastavio kao inženjer za zaštitu i lokalnu automatiku TS, TE i HE, inženjer za TS u Sektoru za eksploataciju prenosne mreže, šef Odeljenja za poslove prenosa električne energije, rukovodilac Radne jedinice za poslove prenosa električne energije, direktor Sektora tehnika "Elektroistoka" i konačno, pred penzionisanje, kao pomoćnik generalnog direktora za razvoj i eksploataciju prenosne mreže.

Širok je spektar poslova na kojima je Radmilo Antić radio, koje je organizovao i kojima je rukovodio. Neki od važnijih su:

- Kontrola, baždarenje, ispitivanje i montaža sistema za merenje električne energije i snage na mestima kupoprodaje u EP Srbije, kao i montažna ispitivanje i puštanje u pogon laboratorije za overu i ispitivanje električnih brojlara klase tačnosti 0,5 i 0,2.
- Ispitivanje i puštanje u pogon sistema za relejnu zaštitu i lokalnu automatiku transformatorskih stanica, hidro i termo elektrana u EP Srbije i u velikim industrijskim objektima. Od toga najvažniji objekti su: TE Kosovo A (blokovi G1, G2 i G3), TE Obrenovac A (blok 1 i 2), TE Obrenovac B (blok 2), HE Kokin Brod (generatori G1 i G2), HE ĐerdapI (generatori G1, G2, G3 i G4), TE Drmno (blok 1 i 2), TS/RP 400 kV,

220 kV i 110 kV (Kosovo A, Kosovo B, Niš 2, Leskovac 2, Prizren 2, Beograd 3, Beograd 5, Beograd 17, HE Đerdap 1, Požega, Valjevo 3, Pančevo 1, HIP Pančevo, Kraljevo 3 i dr.), kao i sinhroni kompenzatori u TS Beograd 3 i TS Srbobran.

- Servisna godišnja ispitivanja sistema za relejnu zaštitu i lokalnu automatiku u svim TS, RP, HE, TE EP Srbije, velikih industrijskih objekata u Srbiji (HIP Pančevo. "Zorka" Šabac, SARTID, toplane u TE Kosovo i u Beogradu, HIP Prahovo i postrojenja EP Crne Gore (TE Pljevlja i HE Piva).
- Rukovodio je u svojstvu predsednika Komisije za tehnički prijem, ispitivanje, puštanje u probni pogon i kontrolu probnog pogona najvećih i najvažnijih TS i RP u "Elektroistoku".
- Koordinirao je pogon prenosne mreže "Elektroistok-a" (EPS-a) u toku rata 1999. godine i učestvo-
vao u njenoj obnovi 1999. i 2000. godine.
- Na tehničkim funkcijama koje je obavljao tokom svog rada, učestvovao je u izradi projektnih zadataka za nove TS i RP, pregledu i oceni tehničke dokumentacije za izgradnju TS i RP i delova visokonapon-
skih postrojenja nekih TE i HE (investicioni programi, idejni i glavni projekti), izradi tehničkih spe-
cifikacija za nabavku svih vrsta elektroopreme za TS, RP i DV, izradi Tehničkih preporuka EPS-a i
Tehničkih uputstava Elektroistoka za pogon i održavanje elemenata i sistema prenosne mreže,
izradi i kontroli izvođenja programa za obrazovanje kadrova tehničke struke, radu komisija za
utvrđivanje uzroka velikih kvarova i havarija u EE sistemu Srbije i predlaganje programa za sanaciju i otkla-
njanje istih kao i predlaganje rešenja da se takvi događaji izbegnu, itd.

Posle penzionisanja 2001. godine, radio je u Decotra Engineering (2003 – 2009) kao konsultant za visokon-
pionska i srednjenaponska postrojenja, i španskoj kompaniji Inabensa, ogranak u Beogradu (2009 –
2011) kao zamenik šefa gradilišta na projektu izgradnje dalekovoda 400 kV Leskovac – državna gra-
nica Republike Srbije sa Makedonijom.

Već na samom početku svoje inženjerske karijere Radmilo Antić je počeo da saraduje sa CIGRE. Svoj prvi rad
Izbor prekostrujne zaštite za transformatore snage 110/35 kV i izvoda 35 kV napisao je za 9. stručno savetova-
nje JUKO CIGRE (Vrnjačka Banja, 1968). Od tada gotovo da nije bilo domaćeg savetovanja CIGRE na kojem
nije bio i neki rad Radmila Antića (kao autora ili koautora). Takođe, Radmilo Antić je bio aktivan član
Studijskih komiteta JUKO CIGRE. Prvo je bio stručni izvestilac STK 41 – Električne mreže, zatim sekretar STK
23 – Postrojenja (do 1993), a od 1991. do 1999. godine i predsednik STK 34 – Zaštita, automatika i merenja.
Dobitnik je Plakete JUKO CIGRE koja mu je uručena na 23. savetovanju JUKO CIGRE (Herceg Novi, 1997).

S velikom zahvalnošću i poštovanjem čuvaćemo uspomenu na Radmila Antića kao izuzetnog stručnjaka u
oblasti elektroenergetike, ali pre svega kao iskrenog, vrednog i dragocenog čoveka i člana CIGRE Srbija.

Nenad Mraković



Stručan, profesionalni odmeren čovek, Nenad Mraković napustio nas je u oktobru i ostavio prazninu koja ničim ne može da se nadoknadi. Najveći deo radnog veka Nenad Mraković proveo je u "Elektroprivredi Srbije" i "Elektro distribuciji Beograd", gde je počeo da radi 1978. godine. Svoje profesionalno i radno iskustvo sticao je korak po korak, od dispečera, glavnog dispečera i rukovodioca, a od 1998. godine do poslednjeg dana života obavljao je najodgovornije funkcije u EPS-u. Pored velikog znanja koje je nesebično delio sa svojim kolegama, Mraković je bio osoba koja je svojim optimizmom i stručnošću rešavala i najkomplikovanije situacije. Jednostavno, dobrota je bila ono što je krasilo našeg kolegu. Kod njega nikad nije bilo nerešivih problema, za sve je pronalazio lepu reč i odgovor na problem. U svima je budio entuzijazam da odlučno koračaju napred, gradeći svoju profesionalnu karijeru. Za sve nas imao je reči podrške, prave savete u pravo vreme.

Mraković je bio osoba koja je svojim optimizmom i stručnošću rešavala i najkomplikovanije situacije. I u najtežim vremenima ostajao je priseban i bio karika koja je povezivala delove velikog, složenog sistema „Elektroprivrede Srbije“. Posebno ga je krasila posvećenost radu samladim kolegama, onima koji su tek kročili u EPS. Uvek je imao vremena za njih, čak i onda kada je bolest uznapredovala. I tada kada mu je bilo najteže odgovornost prema poslu bila je jača od svega. Ljubav prema EPS-u nije sakrivao. „Elektroprivreda Srbije“ bila je njegova druga kuća, a to znaju i njegovi najmiliji, njegova porodica i prijatelji. Mnogi od nas su ga poznavali pod nadimkom „Mrak“, a bio je sve suprotno -svetlost, blagost i vedrina.

СИГУРНОСТ



ПОУЗДАНОСТ



ЕФИКАСНОСТ



АКЦИОНАРСКО ДРУШТВО
ЕЛЕКТРОМРЕЖА СРБИЈЕ

www.ems.rs