DOI: 10.2478/bhee-2014-0008

Stručni rad/Professional paper

PROVJERA ZONE DJELOVANJA ZAŠTITE NISKONAPONSKIH DISTRIBUTIVNIH IZLAZA

CHECKOF PROTECTIVE OPERATION ZONE OF LOW VOLTAGE DISTRIBUTION FEEDERS

Šeila Gruhonjić Ferhatbegović[1], Amir Softić[1]

Sažetak: Određena dešavanja na stambeno - poslovnim objektima uzrokovala su da se temeljito ispita djelovanje osigurača na konkretnim niskonaponskim izlazima. Demonstrirane su i mogućnosti programa WinDis u pogledu proračuna i usporedbe rezultata sa karakteristikama osigurača. Problemi s ograničenom zonom djelovanja osigurača evidentirani su u slučaju izlaza koji su izvedeni vodičima različitih karakteristika. Zavisno od konfiguracije izlaza predlaže se ugradnja osigurača, osim u izvornoj TS 10(20)/0,4 kV, i u određenim tačkama prelaza sa vodiča jednih, na vodič drugih karakteristika. U slučaju potrebe ugradnje više osigurača na izlazu, strujno zavisne karakteristike osigurača trebaju zadovoljavati uslove selektivnog djelovanja.

Ključne riječi: niskonaponski distributivni izlazi, struje kratkog spoja, osigurači

Abstract: Certain events in the residential - commercial buildings have caused for the effect of fuses on the actual low voltage feeders to be thoroughly examined. The possibilities of the program WinDis have been demonstrated in terms of the network calculation and a comparison of results with the characteristics of the fuses. Problems with limited operation zone of fuses are registered in the case of feeders made by conductors of different characteristics. Depending on the feeder configuration, it was proposed to install a fuse, except in the original TS 10(20)/0.4 kV, and in certain points of discontinuity, too. In case of installing more fuses on feeders, current-dependent characteristics of the fuses must satisfy the requirements of selective action.

Keywords: low voltage feeders, short circuit currents, fuses

UVOD

Za zaštitu niskonaponskih (NN) izlaza od struja preopterećenja i struja kratkog spoja upotrebljavaju se topljivi osigurači ili automatski zaštitni prekidači. Prema načinu mjerenja potrebnih veličina, osigurači su primarna zaštita i predstavljaju prvu generaciju zaštitnih uređaja. Kod niskonaponskih distributivnih izlaza osigurači se postavljaju na početku voda i štite prekidanjem strujnog kruga, tako da u slučaju kratkog spoja otvore ili isključe strujni krug i prekinu napajanje mjesta kvara električnom energijom [1]. Osigurači imaju strujno zavisnu vremensku karakteristiku djelovanja (I-t karakteristika). Vrijeme se ne podešava direktno, a brzina djelovanja zavisi od vrijednosti struje kvara ili preopterećenja. U distributivnom sistemu JP EP BiH kompletna 0,4 kV mreža nije modelirana. Prema potrebi ucrtaju se određeni 0,4 kV izlazi, najčešće radi provjere djelovanja zaštita u slučaju kvara ili provjere mogućnosti priključenja kupaca na dugim NN izlazima. U modelu mreže koji je potreban za proračune struja kratkog spoja nije potrebno ucrtavati priključna mjesta, već samo dužine dionica i vrste vodiča. Ovaj model mreže je puno lakše napraviti od modela koji bi bio potreban za proračune gubitaka električne energije. Rekonstrukcijama 0,4 kV mreže često se ne obuhvate kompletni NN izlazi. Zbog toga se susrećemo sa izlazima izvedenim vodičima različitih karakteristika, što značajno utiče na vrijednosti struja kratkog spoja. Problem koji se može susresti u praksi je slijedeći: za zaštitu NN izlaza odabere se osigurač prema nazivnoj struji vodiča, ali zbog nepoznavanja kompletne strukture izlaza često se gledaju samo prve dionice odlaza. Dešava se da su početne dionice izlaza izvedene vodičima sa većom trajno dozvoljenom strujom, tako da se odabire osigurač veće nazivne struje nego što je potrebno (prema strukturi kompletnog NN izlaza). Ako se ne poznaje struktura kompletnog izlaza, tada ne može biti napravljen proračun struje kratkog spoja. Rezultat je da će za određene kvarove na NN mreži vrijeme djelovanja osigurača biti čak i nekoliko sati. Ovakve kvarove najčešće isključuju operateri, isključenjem kompletnog transformatorskog područja. Štete su daleko veće nego što bi trebale biti da je došlo do isključenja kvara djelovanjem predviđene zaštite. Poslije isključenja transformatorskog prekidača ustanovi se da osigurač izlaza u kvaru nije reagovao. U primjeru koji je nave-

[1] JP Elektroprivreda Bosne i Hercegovine, d.d.,
Podružnica Elektrodistribucija Tuzla, Bosna i Hercegovina
s.gruhonjic@elektroprivreda.ba
a.softic@elektroprivreda.ba
Rad dostavljen: 17.03.2014.; Rad prihvaćen: 25.04.2104.

den u ovom radu, za ovakav jedan slučaj, uzete su karakteristike osigurača, napravljen je proračun struja kratkog spoja i iz dijagrama djelovanja određeno vrijeme isključenja. Za navedeni primjer predložen je mogući koncept štićenja.

1. ZAŠTITA NISKONAPONSKIH MREŽA OD PREKOMJERNIH STRUJA

Pri izboru karakteristika niskonaponskih osigurača treba voditi računa o trajno dozvoljenom strujnom opterećenju vodiča, termičkoj čvrstoći vodiča pri kratkom spoju, uslovima odvođenja toplote, kao i o uslovima primjene zaštite od previsokog napona dodira [2], [3]. Zaštitni uređaji moraju biti izabrani i podešeni tako da osiguraju isključenje struje kratkog spoja prije nego što u vodičima i spojevima dođe do oštećenja zbog toplotnog i/ili mehaničkog djelovanja struje kvara. Zbog toga, za svaki izlaz treba utvrditi očekivane struje kratkog spoja. Očekivane struje kratkog spoja ovdje su određene proračunom. Za provjeru podešenja mjerodavna je minimalna struja jednopolnog ili dvopolnog kratkog spoja. Niskonaponski izlazi štite se od preopterećenja i kratkog spoja osiguračima koji se postavljaju na početku svakog izlaza. Odabrani osigurač na početku izlaza mora zadovoljiti slijedeće kriterije:

1. Vršno opterećenje izlaza mora biti manje od nazivne proradne struje osigurača. Ovaj uslov osigurava da osigurač nepotrebno ne isključi izlaz za vrijeme normalnih opterećenja,

$$I_{\text{vršno}} < I_{\text{n(osigurač)}} \tag{1}$$

2. Nazivna struja osigurača mora biti manja od nazivne struje voda na kojem se nalazi. Ovim uslovom štiti se izlaz od preopterećenja,

$$I_{\text{n(osigurač)}} < I_{\text{n(vod)}} \tag{2}$$

3. Kriterij termičke čvrstoće. Vrijeme djelovanja osigurača na isključenje pri kratkom spoju (t_{os}) treba da je toliko da se osigura termička čvrstoća vodiča. Za svaku tačku u mreži treba biti zadovoljen uslov:

$$t_{os} = t_{dop} \leq a\left(\frac{S}{I_{k3max}}\right)^2 \tag{3}$$

gdje je:

S (mm^2) – presjek voda

I_{k3max} (kA) – struja kratkog spoja

a – konstantna koja zavisi od materijala i izvedbe voda (bakreni vod a = 0,013 ÷ 0,018; aluminijski vod a = 0,006 ÷ 0,007)

t_{os} (s) – vrijeme pregaranja osigurača ili vrijeme djelovanja (očitava se iz dijagrama djelovanja u zavisnosti od struje kratkog spoja).

t_{dop} (s) – dozvoljeno vrijeme pregaranja osigurača s obzirom na termičku čvrstoću.

Ovaj uslov osigurava da vrijeme djelovanja osigurača, kod kratkog spoja na izlazu, bude manje od vremena potrebnog za topljenje vodiča, tj. da osigurač dovoljno brzo djeluje.

4. Kriterij dosega zaštite. Osigurač mora djelovati na kratki spoj u bilo kojoj tački mreže, tj. nazivna proradna struja osigurača mora biti manja od najmanje vrijednosti struje jednopolnog kratkog spoja u mreži (struje jednopolnog kratkog spoja su uvijek manje od tropolnog na krajevima izlaza i ogranaka). Pri tome se uzima u obzir i određeni koeficijent sigurnosti,

$$I_{k1} \geq k \cdot I_{os} \tag{4}$$

gdje je:

I_{os} – nazivna proradna struja osigurača

I_{k1} – izračunata struja jednopolnog kratkog spoja

k – koeficijent sigurnosti (k = 2,5 – za rastalne osigurače; k = 1,25 za automatske prekidače).

Ovaj se uslov provjerava za sve krajnje tačke u mreži (kraj izlaza i ogranaka). U ispitivanjima konkretnih slučajeva izbora osigurača i provjere za određene kvarove najviše je ukazivano na kriterij 3 (vrijeme djelovanja i termička čvrstoća).

2. SELEKTIVNOST DJELOVANJA ZAŠTITA U ELEKTRIČNIM MREŽAMA NISKOGA NAPONA

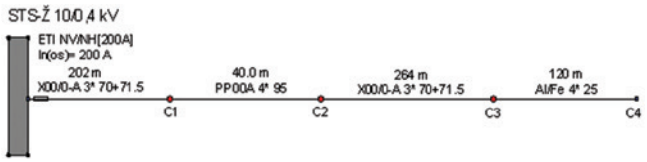
Selektivnim djelovanjem zaštita isključuje se samo ograničeni dio mreže koji je u kvaru. Ostali dijelovi mreže ostaju u radu. Selektivnost za zaštite sa strujno zavisnom vremenskom karakteristikom postiže se na način da se I-t karakteristike ne dodiruju i imaju dovoljni međusobni razmak. Postići selektivnost u djelovanju zaštita od preopterećenja i od kratkog spoja, znači izvršiti pravilan izbor osigurača po nazivnim strujama i po sposobnosti osigurača da prekine samo strujni krug u kojem je nastao kvar bez nepotrebnih uticaja na druge, ispravne strujne krugove istog sistema, a to znači da će prvo isključiti osigurač najbliži mjestu kvara [2], [3]. Ovo znači da osigurač veće nazivne struje ne smije prekinuti ako je iza tog osigurača (u smjeru toka energije) postavljen osigurač određene manje nazivne struje, koji treba da prekine strujni krug. Selektivnost se postiže primjenom pravila stepenovanja djelovanja po struji i po vremenu djelovanja. Zbog toga je potrebno razmotriti karakteristike djelovanja osigurača. Karakteristika djelovanja osigurača određuje u kojem vremenu i kod koje struje osigurač mora prekinuti strujni krug. Unaprijed očekivani odnosi selektivnosti moraju biti provjereni prije odabira i dimenzioniranja sheme zaštite, izradom odgovarajućih dijagrama sa dijagramima djelovanja zaštitnih uređaja. Karakteristike djelovanja struja/vrijeme zaštitnih uređaja preuzimaju se iz kataloga proizvođača. U praksi se u cilju postizanja potrebne selektivnosti može koristiti slijedećim pravilima:

– Kada su osigurači postavljeni u seriju, potrebno je da razlika između brzih osigurača bude dva stepena, a za trome osigurače jedan stepen,
– Smatra se da se selektivnost djelovanja između dvaju osigurača za zaštitu provodnika i kablova postiže kada je nazivna struja većeg osigurača jednaka $1{,}6 \cdot I_n$ manjeg [2].

Uopšte, ako struja kratkog spoja nije suviše velika, može se grubo uzeti da se selektivnost djelovanja sigurno postiže ako se nazivne struje serijski spojenih osigurača razlikuju za najmanje dva stepena. Tačno stepenovanje nazivnih struja osigurača kod poznate struje kratkog spoja može se izvršiti na osnovu iscrtavanja vremenskih karakteristika djelovanja osigurača na zajednički dijagram.

3. PRIMJER PROVJERE VREMENA DJELOVANJA ZAŠTITE NN IZLAZA

Ovdje je izdvojen primjer kvara na NN izlazu jednog transformatorskog područja u Elektrodistribuciji Tuzla. Struktura izlaza navedena je na Slici 1 [4]. Kvar se desio na kraju izlaza (tačka C4, na Slici 1). Osigurači na NN izlazu nisu reagirali. Za zaštitu izlaza bio je korišten osigurač nazivne struje 200 A, postavljen na početku NN izlaza. Zbog djelovanja struje kratkog spoja došlo je do topljenja izolacije kablova. Osigurači na 10 kV strani, nazivne struje 25 A nisu mogli reagirati za navedeni kvar na NN mreži (struja kvara na kraju NN izlaza, posmatrano na VN strani, nije mogla prelaziti vrijednost od oko 20 A). Zbog dodatnih komplikacija između NN strane transformatora i glavnog NN prekidača, kvar je isključio operater, na prekidaču 10 kV izlaza u izvornoj TS 35/10 kV.



C1, C2, C3 – tačke prelaza sa vodiča jednih na vodič drugih karakteristika

Slika 1: Struktura analiziranog NN izlaza

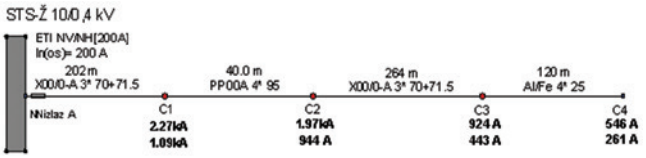
Za ovaj izlaz su izračunate struje kratkog spoja. Na Slici 2 navedene su vrijednosti struja trofaznog i jednofaznog kratkog spoja u tačkama prelaza sa vodiča jednih, na vodič drugačijih karakteristika. Prema izračunatoj struji tropolnog kratkog spoja na kraju izlaza, dozvoljeno vrijeme djelovanja osigurača je 14,68 s.

$$t_{dop} = 0{,}007 \cdot \left(\frac{25}{0{,}546}\right)^2 = 14{,}68\ s$$

Za struju jednopolnog kratkog spoja to bi iznosilo 64,22 s.

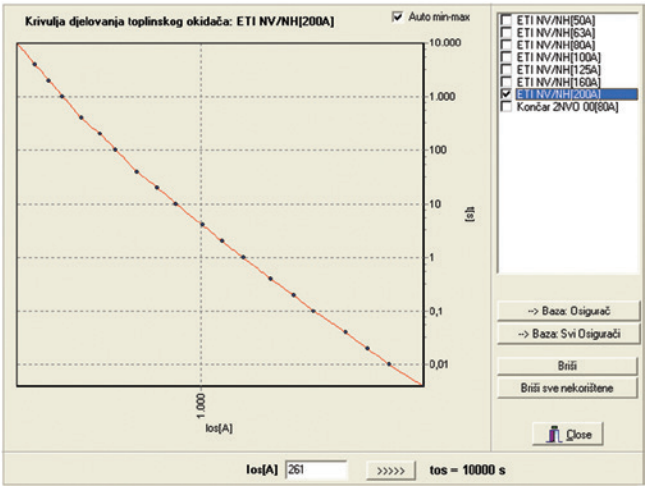
Sa terena nisu dobijene tačne informacije o kojoj vrsti kvara se radilo.

Pregledom I-t karakteristike postavljenog osigurača, prema katalogu proizvođača [5], za struju kvara od 300 A ustanovljeno je vrijeme djelovanja od oko 4000 s (više od



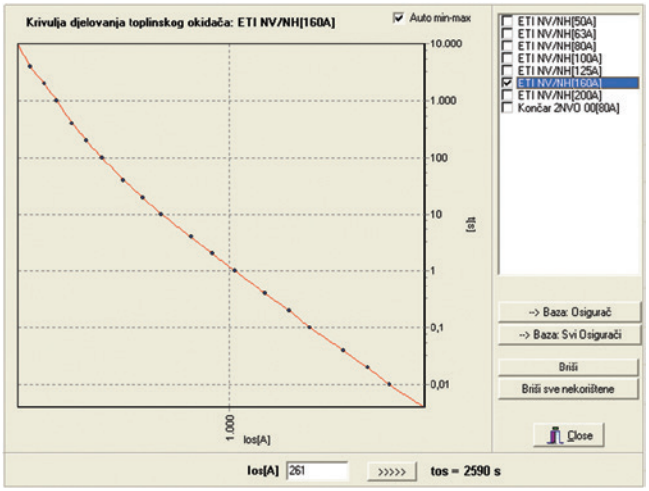
Slika 2: Struje trofaznog i jednofaznog kratkog spoja u tačkama diskontinuiteta NN izlaza

jednog sata). Ovo vrijeme se činilo predugačkim tako da postavljeni osigurač ne bi mogao zadovoljiti kriterij dozvoljenog trajanja minimalne struje kratkog spoja. Na Slici 3 izdvojen je dijagram djelovanja osigurača nazivne struje 200 A iz programa WinDis. Za struju kvara od 261 A, vrijeme djelovanja je 10000 s (više od dva sata), prema bazi programa WinDis.



Slika 3: Karakteristika djelovanja osigurača nazivne struje 200 A

Poslije saniranja ovog kvara, postavljen je osigurač nazivne struje 160 A. Program WinDiS za ovaj slučaj, pokazao je vrijeme djelovanja 2590 s (Slika 4). Osim dugog vremena isključenja struje I_{k1}, ni ovdje nije zadovoljen kriterij termičke čvrstoće. Vrijeme djelovanja osigurača za struju I_{k3} je 19,4 s što je više od t_{dop} (14,68 s).



Slika 4: Karakteristika djelovanja osigurača nazivne struje 160 A

Smanjujući nazivnu struju osigurača vidjelo se da, prema izračunatom dopuštenom vremenu djelovanja osigurača, ovdje odgovara osigurač nazivne struje 125 A. Vrijeme djelovanja osigurača za struju I_{k3} je 6,77 s i zadovoljen je kriterij termičke čvrstoće. Za struju od 261 A osigurač bi reagirao za vrijeme od 358 s. Međutim, nazivna struja prve dionice je 198 A (Tabela I), tako da postoji velika vjerovatnoća da ovaj osigurač ne bi zadovoljavao uslove normalnih pogonskih stanja. Vršno opterećenje samog izlaza nije bilo poznato, ali je moguće da osigurač nazivne struje 125 A, za kompletan izlaz, ne bi zadovoljavao kriterij vršnog opterećenja. U Tabeli I navedeni su tipovi vodiča koji se najčešće koriste u NN mrežama, trajno dozvoljena struja i parametri vodiča (aktivni otpor i reaktansa).

Tabela I: Pregled vrsta vodova u NN mreži i vrijednosti jedničnog aktivnog otpora i reaktanse

Naziv	Imax, A	Rd, Ω/km	Xd, Ω/km
Kabal PP00 16 mm^2-1 ž	110.00	1.340	0.110
Kabal PP00 25 mm^2-1 ž	140.00	0.847	0.107
Kabal PP00 35 mm^2-1 ž	170.00	0.615	0.097
Kabal PP00-A 35 mm^2-1 ž	130.00	1.032	0.097
Kabal PP00 50 mm^2-1 ž	200.00	0.454	0.096
Kabal PP00-A 50 mm^2-1 ž	155.00	0.775	0.096
Vod Al-Fe 2x16 mm^2-0,4 kV	101.00	2.108	0.366
Vod Al-Fe 2x25 mm^2-0,4 kV	135.00	1.350	0.345
Vod Al-Fe 2x35 mm^2-0,4 kV	170.00	0.937	0.322
Vod Al-Fe 4x16 mm^2-0,4 kV	101.00	2.108	0.366
Vod Al-Fe 4x25 mm^2-0,4 kV	135.00	1.350	0.345
Vod Al-Fe 4x35 mm^2-0,4 kV	170.00	0.937	0.322
SKS 2x16 mm^2	81.00	2.140	0.087
SKS 4x16 mm^2	81.00	2.140	0.087
SKS 3x35+71,5 mm^2	131.00	0.972	0.083
SKS 3x70+71,5 mm^2	198.00	0.496	0.077

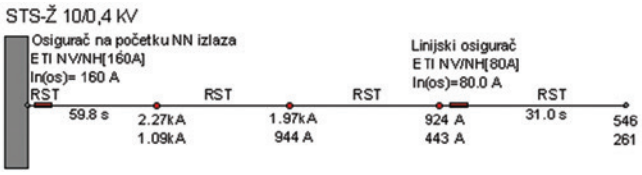
Program Windis, korišten za proračune NN mreža, ima ugrađenu bazu podataka o tipovima vodiča i osiguračima. Pogodnost koja se vidjela kod korištenja ovog programa jeste automatizirano očitanje vremena djelovanja osigurača kod određene struje. Nije bilo potrebno tražiti karakteristike djelovanja iz kataloga proizvođača, budući da se karakteristike velikog broja osigurača nalaze u bazi programa. Korištenjem programa predviđenih za NN mreže, proračun struja kratkog spoja i provjera djelovanja odabranih osigurača rade se na istom modelu mreže.

3.1. Zaštita radijalne mreže osiguračima u više tačaka

Iz prethodne analize vidi se da nije moguća zaštita predmetnog NN izlaza osiguračem postavljenim samo na početku izlaza. Osiguračem na početku NN izlaza ne može se obuhvatiti kompletan izlaz u pogledu vremena djelovanja i termičke čvrstoće, a da istovremeno osigurač zadovoljava karakteristike normalnog vršnog opterećenja. Zbog toga se predlaže ugradnja dodatnog osigurača manje nazivne struje (1,6 – 2 puta, kao što je razmatrano u prethodnom poglavlju). Ovaj se osigurač na više mjesta u literaturi i tehničkoj dokumentaciji naziva linijski osigurač. Najčešće bi se trebao postavljati u tačkama gdje se dešava prelaz sa vodiča većeg presjeka na vodiče manjeg, ili barem znatno manjeg presjeka. U ovom primjeru pretpostavljena je ugradnja linijskog osigurača u tački C3 (Slika 5). Ovdje se dešava prelaz sa vodiča X00 3x70 + 71,5 mm^2 na vodiče Al Fe 4x25 mm^2. Na početku izlaza pretpostavljen je osigurač nazivne struje 160 A, a u tački C3 osigurač nazivne struje 80 A. Za ovaj slučaj, dozvoljeno vrijeme djelovanja osigurača u TS 10/0,4 kV, prema kriteriju termičke čvrstoće, je:

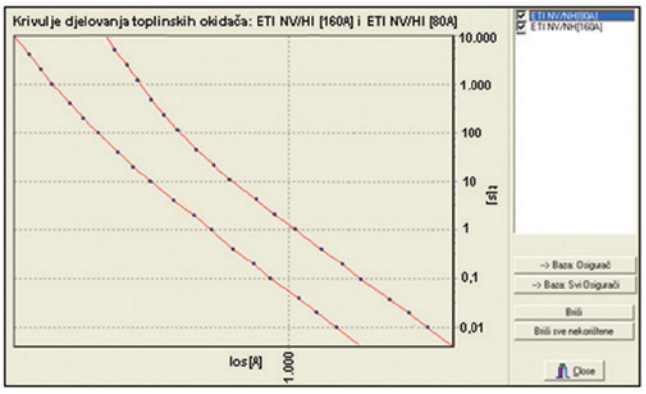
$$t_{dop} = 0{,}007 \cdot \left(\frac{70}{0{,}924}\right)^2 = 40{,}17\ s$$

Vrijeme djelovanja osigurača (nazivne struje 160 A) za struju 924 A je 1,69 s i zadovoljen je kriterij termičke čvrstoće. Za izračunatu minimalnu struju od 443 A, u tački C3, vrijeme djelovanja je 60,1 s. Dio NN izlaza izveden sa užetom Al-Fe štiti se osiguračem nazivne struje I_{nos}=80 A. Vrijeme pregaranja osigurača za struju I_{k3} je 0,87 s. Za struju od 261 A, vrijeme pregaranja osigurača je 31 s.



Slika 5: Radijalni NN izlaz štićen osiguračima u dvije tačke

Na Slici 6 navedene su karakteristike djelovanja osigurača 160 A i 80 A, na zajedničkom dijagramu. Prema uslovima selektivnosti, karakteristike se ne dodiruju i imaju dovoljan međusobni razmak. Za ovu usporedbu karakteristika korišten je poseban program za grafičku obradu. Nedostatak programa WinDis jeste nemogućnost usporedbe više karakateristika osigurača na istom dijagramu.



Slika 6: Karakteristike djelovanja osigurača 160 A i 80 A

Odabir osigurača 160 A i 80 A, predložen je pod uslovom da je zadovoljen kriterij vršnog opterećenja (ako se radi o manje opterećenom izlazu). Ako razmatrani NN izlaz ima više priključnih mjesta i veća opterećenja tada, prema

kriteriju nazivnog opterećenja, treba razmotriti druge moguće kombinacije osigurača.

3. ZAKLJUČAK

Prilikom izbora osigurača NN izlaza treba se pridržavati svih propisanih pravila. Osim nazivnih i vršnih struja opterećenja, neophodno je poznavanje struja kratkog spoja na kraju predviđene zone štićenja. Vrijeme djelovanja osigurača određuje se na osnovu I-t karakteristike, korištenjem kataloških podataka o osiguračima, ili korištenjem programa namijenjenih za proračune NN mreža. Preporuka je da se koriste programi predviđeni za NN mreže, koji znatno ubrzavaju postupak proračuna i provjere zone djelovanja zaštite. Ovi programi raspolažu sa potrebnim bazama podataka pa se na jednom mjestu može napraviti model mreže, proračun struja i izbor zaštite. Model mreže, potreban za proračune struja kratkog spoja je dosta jednostavniji od modela mreže koji bi bio potreban za proračune gubitaka električne energije i pada napona. Na ovom modelu nije potrebno ucrtavati priključna mjesta i unositi opterećenja. Dovoljno je upisati sve dionice NN izlaza, dužine i vrste vodiča. Pregledom stanja na terenu vidi se da je najčešće korišten samo osigurač na početku izlaza. Međutim, može se pretpostaviti da postojeća struktura velikog broja NN izlaza, za potrebe osnovnog štićenja, zahtijeva postavljanje i linijskih osigurača (NN izlazi izvedeni vodičima bitno različitih karakteristika). U tom slučaju potrebno je izbor osigurača, na početku izlaza i linijskih osigurača, napraviti tako da se zadovolje uslovi selektivnog djelovanja.

LITERATURA

[1] F. Božuta: Automatski zaštitni uređaji elektroenergetskih postrojenja, Svjetlost Sarajevo 1989.

[2] V. Srb: Električne instalacije i niskonaponske mreže, Tehnička knjiga Zagreb 1989.

[3] R. Goić: Obuka za korištenje programskog paketa za analize NN distributivnih mreža WinDis, Zenica 2009.

[4] Tehnička dokumentacija podružnice ED Tuzla, pregled i analiza pogonskih događaja iz 2009.

[5] Kataloška dokumentacija proizvođača osigurača ETI

BIOGRAFIJA

Šeila Gruhonjić Ferhatbegović *rođena je 1969. u Bijeljini, Bosna i Hercegovina. Diplomirala je 1994. godine na Fakultetu elektrotehnike u Tuzli. Magistarski rad na temu "Algoritmi lokatora kvara na prenosnim vodovima" odbranila je na Fakultetu elektrotehnike u Tuzli. Doktorsku disertaciju "Određivanje mjesta jednofaznog kvara u distribucijskim mrežama zasnovano na putnim valovima", odbranila je na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, 2012. godine. Od 1994. godine zaposlena je u JP EP BiH. Učestvovala je u izradi više studija, elaborata i projekata u JP EP BiH iz oblasti zaštite distributivnih sistema, energetskih analiza i kvaliteta električne energije. Kao autor i koautor do sada je objavila dvadeset i sedam radova na konferencijama i stručnim skupovima. Na međunarodnim konferencijama objavila je sedam radova.*

Amir Softić *rođen je 1964. godine u Tuzli, Bosna i Hercegovina. Diplomirao je 1996. godine na Fakultetu elektrotehnike u Tuzli. Magistarski rad na temu "Rekonfiguracija distributivnih mreža primjenom metoda stohastičke optimizacije" odbranio je na Fakultetu elektrotehmike u Tuzli, 2009. godine. Od 2005. godine je stalno zaposlen u JP EP BiH, "Elektrodistribucija Tuzla", u Službi za energetske analize i kvalitet električne energije, na poslovima vezanim za energetske analize i upravljanje distributivnim mrežama. Područja njegovih istraživanja su: distributivne mreže, optimizacija distributivnih mreža, nadzor i upravljanje, zaštita distributivnih sistema, elektromagnetna kompatibilnost, kvaliteta električne energije, obnovljivi izvori energije. Na domaćim i međunarodim naučnim i stručnim skupovima i konferencijama je objavio više radova, kao i u međunarodno priznatim naučnim časopisima. Trenutno radi na izradi doktorske disertacije na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.*