

Vojko Sirotnjak, dipl. ing. el.
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
vojko.sirotnjak@hep.hr

Renato Čučić, dipl. ing. el.
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
renato.cucic@hep.hr

mr. sc. Aleksandar Hajdu, dipl. ing. el.
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
aleksandar.hajdu@hep.hr

Igor Volarić, dipl. ing. el.
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
igor.volaric@hep.hr

ZAŠTITA PO DUBINI SN DISTRIBUCIJSKE MREŽE

SAŽETAK

Već niz godina u distributivne kableske TS 10(20)/0,4 kV ugrađuju se SN sklopni blokovi sa prekidačima u trafo poljima, te pripadajućim zaštitnim relejem. Podešenje nadstrujne i kratkospojne zaštite nije do sada jedinstveno sagledano, kako u odnosu sa zaštitama u NN bloku, tako i zaštitama viših razina u napojnim TS 110(35)/10(20) kV.

Ovaj članak daje preporuke i stavove koji mogu poslužiti kao podloga za izradu tehničkih uputa za podešavanje relejne zaštite po dubini 10(20) kV mreže. Uzete su u obzir preporuke postojećih hrvatskih i međunarodnih normi, tako da korektno i u cijelosti zadovolje potrebe i očekivanja zaštite uzimajući u obzir broj, vrstu i tehnologiju kako ugrađenih, tako i planiranih zaštitnih uređaja.

U ovom članku su date preporuke podešenja nadstrujnih zaštita, u ovisnosti o dozvoljenim preopterećenjima energetskih transformatora, te kratkospojnih i zemljospojnih zaštita s obzirom na realne struje kratkog spoja i zemljospoja, vodeći računa o selektivnosti sa zaštitama ostalih razina.

Članak se bavi i podešenjem zaštita distributivne trafostanice sa mjerenjem na srednjem naponu, u kojoj relejna zaštita u spojnom polju SN sklopnog bloka distribucije prema SN mreži kupca štiti HEP-ovu mrežu od kratkospojnih i zemljospojnih kvarova u SN mreži kupca, a može regulirati i strujna preopterećenja u ovisnosti o zakupljenoj snazi kupca.

Ključne riječi: zaštitni relej, nadstrujna zaštita, zaštita transformatora SN/NN, distributivne mreže

PROTECTION IN DEPTH OF MV DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

For many years, the 10(20)/0.4 kV distribution substations are equipped with MV RMU switchgears with circuit breaker in transformer feeders, and electronic protection relays. The setting of overcurrent and short-circuit protection haven't been so far compared with protections in LV switchblocks, nor higher level protections in feeding substations.

This article provides recommendations that can serve as a basis for development of technical instructions on relay protection settings in depth of 10(20) kV distribution network, that has taken in account the recommendations of the existing Croatian and international norms, in order to correctly and fully meet the needs and expectations of relay protection, considering the number, type and technology of installed and planned protective devices.

The recommendations on overcurrent protection settings have been made considering permitted overloading capacity of power transformers, and on short-circuit an earth fault protection settings with

respect to the real short-circuit and earth fault currents, taking into account the selectivity with protections of higher and lower levels.

The article also deals with protection settings of the distribution switching stations, where the relay protection in the MV switchgear feeder of MV customer protects HEP-ODS' distribution network from short-circuits and earth faults in customer's MV network, and can also limit customer's current overloads depending on his rented power.

Key words: protective relay, overcurrent protection, MV/LV transformer protection, distribution networks

1. UVOD

Svrha zaštitnih uređaja u elektroenergetskom postrojenju je osiguranje zaštite elemenata postrojenja i pripadne mreže kao i propisanog stupnja kvalitete električne energije koje se očituje kroz pouzdanost elemenata i raspoloživost mreže.

Relejna zaštita u postrojenjima trajno nadzire karakteristične veličine (struju) te se automatski aktivira ukoliko se prijeđu podešene vrijednosti. Njena uloga je isključenje kvara ili otklanjanje poremećaja koji bi mogli dovesti do kvara.

Zahtjevi koji se postavljaju pred relejnu zaštitu su sljedeći:

- *pouzdanost* – mjesto kvara mora se isključiti, a ukoliko u mreži nema kvarova zaštita ne smije djelovati
- *selektivnost* – mora se osigurati isključenje minimalnog broja elemenata, odnosno samo dijela mreže koji je u kvaru
- *osjetljivost* – detektiranje svakog kvara u mreži

U ovom radu dati će se tehničke preporuke za podešavanje relejne zaštite u distributivnim transformatorskim stanicama i distributivnim rasklopnim stanicama koje su proizašle iz postojećih hrvatskih i međunarodnih normi.

2. DISTRIBUTIVNE TRANSFORMATORSKE STRANICE 10(20)/0.4 kV

Transformator je središnji i najvažniji dio svake distributivne transformatorske stanice te kao takav čini jedan od najvažnijih dijelova postrojenja i same distribucijske mreže. S obzirom na njegovu važnost i višestruko veću cijenu od ostalih dijelova postrojenja nameće se potreba za njegovom kvalitetnom zaštitom od smetnji i kvarova.

U distributivnim transformatorskim stanicama sredjenaponski blokovi s prekidačem u trafo polju opremaju se samonapajajućim relejima čija je uloga zaštita energetskog transformatora od kratkog spoja, preopterećenja i zemljospoja. Na području Elektroprimorja Rijeka ugrađuje se zaštitni relej tip WIC1-2, proizvođača ABB koji se spaja na obuhvatne strujne transformatore tipa WIC1-W2, nazivne primarne struje 16-56 A.

Osim relejne zaštite, kod uljnih transformatora postoji i primarna zaštita transformatora koja uključuje termoprotektor koji se ugrađuje u transformator u dijelu sa najtoplijim uljem te se isključuje na temperaturu 85 (95)°C. Kod suhih energetskih transformatora također se postavlja zaštitni relej koji preko PTC davača mjeri temperaturu izolacije, te se isključuje na temperaturu 145 (155)°C. Oba uređaja uslijed povećanja temperature iznad podešenih vrijednosti djeluju preko sklopnika u NN sklopnom bloku na isključivanje prekidača u trafo polju SN bloka.

2.1. Nadstrujna zaštita

Namjena nadstrujne zaštite u transformatorskom polju je da štiti transformator od pregrijavanja uslijed opterećenja iznad nazivnih vrijednosti. Svi distributivni transformatori su opremljeni primarnim zaštitama koje mjere temperaturu ulja (kod uljnih) ili izolacije namota (kod suhih transformatora). Ali kod kratkotrajnih preopterećenja koji djeluju na zagrijavanje namota, gdje se sva generirana toplina ne uspijeva prenijeti na rashladni medij (ulje ili zrak) potrebno je nadzorom vrijednosti struja kroz namote transformatora procijeniti da li je njegovo pregrijavanje iznad dozvoljenog. Pri povećanju opterećenja transformatora iznad nazivne vrijednosti ili pri porastu temperature okoline, uslijed pregrijavanja, dolazi do

moćnosti kvara i ubrzanog smanjenja životnog vijeka. Norma IEC 60076-7 daje preporuke za opterećenja uljnih transformatora iznad nazivnih vrijednosti, dok norma IEC 60076-12 daje preporuke za preopterećenja suhih transformatora.

Norma IEC 60076-7 za uljne energetske transformatore dozvoljava 150 %-tno preopterećenje u normalnom režimu rada, dok u izvanrednim pogonskim prilikama dozvoljava 200%-tno preopterećenje za transformatore manjih snaga i 180 %-tno preopterećenje za transformatore većih snaga, u trajanju do 30 min.

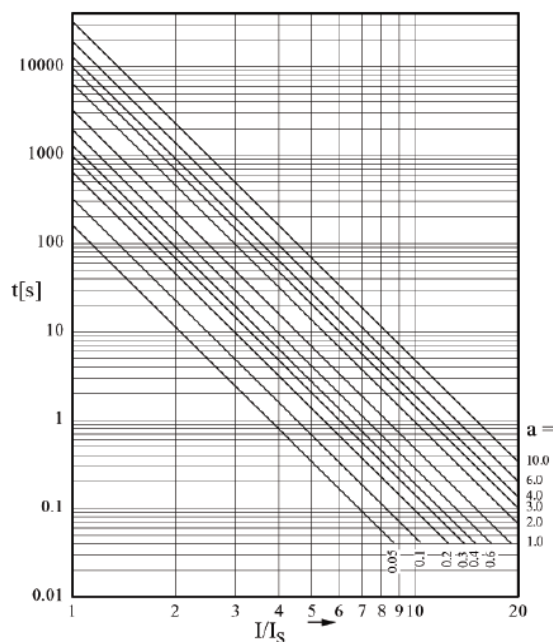
Norma IEC 60076-12 daje ovisnost preporučenog preopterećenja suhih transformatora o vremenu trajanja preopterećenja, vanjskoj temperaturi i (pod)opterećenja transformatora prije nastanka preopterećenja. Za vanjsku temperaturu od 20°C, te teretom od 90% nazivnog koji je prethodio preopterećenju, dozvoljava se preopterećenje od 135% u trajanju od pola sata, te po tome treba i izabrati adekvatnu zaštitnu krivulju.

Pri podešavanju nadstrujne zaštite kod WIC1-2 releja potrebno je odabrati referentnu struju releja (IS) u ovisnosti o nazivnoj struji transformatora (I_{nT}), faktor prorade nadstrujne zaštite koji se definira kao omjer proradne nadstruje (I_{opt}) i referentne struje releja. Također je potrebno odabrati tip isklonke krivulje te faktor „a“ koji određuje krivulju iz odabrane skupine isklonkih krivulja. Odabrana krivulja određuje vrijeme prorade nadstrujne zaštite u ovisnosti o omjeru proradne struje preopterećenja i referentne struje releja IS.

U skladu s preporukama koje daje norma IEC 60076-7, te uvažavajući dosadašnju praksu i potrebe pogona, za uljne energetske transformatore snage do 250 kVA donju granicu prorade nadstrujne zaštite treba podesiti na 150% nazivnog opterećenja ($I_{opt} = 1.5 \times I_{nT}$), a za zaštitnu krivulju potrebno je izabrati krivulju iz skupine zaštitnih krivulja HV-fuse, koja dozvoljava preopterećenje od 200% cca. 20 minuta, da bi podešenja bila unutar preporučenih vrijednosti iz norme (30 min). Od svih raspoloživih zaštitnih krivulja koje relej WIC1-2 ima, krivulje HV-fuse omogućavaju najduža trajanja manjih preopterećenja - do 5 sati, te dovoljno brz isklon većih preopterećenja (koja već mogu biti i visokoomski kratki spojevi) - ispod 1 s, te su zato najpovoljniji izbor za provedbu preporučenih podešenja. Krivulje HV-fuse omogućavaju zaštitnom releju sve prednosti osigurača kao zaštitnog elementa, uz mogućnost diskretnih podešenja što ih pruža elektronički relej u kombinaciji s prekidačem.

Za uljne energetske transformatore snage od 400 do 1000 kVA donju granicu prorade nadstrujne zaštite treba podesiti na 150% nazivnog opterećenja ($I_{opt} = 1.5 \times I_{nT}$), a za zaštitnu krivulju potrebno je izabrati krivulju iz skupine zaštitnih krivulja HV-fuse, koja dozvoljava preopterećenje od 180% cca. 6 minuta. Iako 10(20)/0,4 kV distributivni transformatori ne spadaju u normom definiranu skupinu transformatora većih snaga (iznad 1 MVA), svejedno su preuzete preporuke o preopterećenju za jedinice veće snage, te i dodatno ograničeno vrijeme trajanje preopterećenja (6 umjesto dozvoljenih 30 min), što je sve na strani sigurnosti. Naime, uslijed većih nazivnih snaga, tj. većih nazivnih struja energetskih transformatora, dolazi do znatnijeg opterećenja i priključnih kabela i druge opreme, kao i samog transformatora, te se preporuča znatnije ograničiti to preopterećenje. Smanjenjem dopuštenog vremena preopterećenja također se postiže lakše ostvarivanje selektivnosti sa zaštitom više razine u vodnom polju napojne TS. Sa stanovišta opskrbe električnom energijom, veće jedinice imaju važniju ulogu u distributivnom sustavu i višu cijenu, te podešenje nadstrujne zaštite mora biti strože u odnosu na manje jedinice.

U skladu s preporukama koje daje norma IEC 60076-12 za suhe energetske transformatore donju granicu prorade nadstrujne zaštite treba podesiti na 130% nazivnog opterećenja, a za zaštitnu krivulju potrebno je izabrati krivulju iz skupine zaštitnih krivulja HV-fuse, koja dozvoljava toliko preopterećenje 20 minuta, što je opet na strani sigurnosti s obzirom na preporuke norme (30 min).



Slika 1. Skupina HV-fuse zaštitnih krivulja WIC1-2 releja

Ako se u transformatorsko polje ugrađuje neki drugi zaštitni relej, podešenja zaštite je potrebno prilagoditi preporukama koja su u članku konkretno dana za ABB-ov relej WIC1-2. Ako nije moguće točno podesiti zaštitu prema danim uputama, preporuča se podešenja zaštite podesiti na najbliže niže podešenje, te tako biti na strani sigurnosti. Kod nekih samonapajajućih releja ponekad je nemoguće podesiti nadstrujnu zaštitu na dovoljno male vrijednosti (u slučaju ugradnje transformatora manjih snaga, 160 kVA i manje), pa se u tom slučaju nadstrujna zaštita podešava na najmanje moguće podešenje koje taj relej dopušta.

2.2. Kratkospojna zaštita

Namjena kratkospojne zaštite u transformatorskom polju je da detektira kratki spoj na transformatoru, te na SN i NN priključku transformatora, sve do slijedećeg zaštitnog elementa, a to je obično NVO topljivi osigurač u NN odvodu NN sklopnog bloka. Bez adekvatne zaštite, uslijed struja kratkog spoja može doći do oštećenja opreme, havarije, a u najtežim slučajevima i do stradanja ljudi. Energetski transformator i pripadajuća sklopna oprema projektirani su na način da mogu izdržati određena termička i dinamička naprezanja uslijed kratkog spoja ograničenog trajanja.

Mjerodavna struja za podešenje zaštite je struja trolnog kratkog spoja na NN sabirnicama preračunata na VN stranu transformatora. Proradna struja kratkospojne zaštite treba biti manja od te struje. No, također, proradna struja kratkospojne zaštite mora biti veća od maksimalne početne struje magnetiziranja pri uklopu transformatora. Udarne struje koje se javljaju prilikom uklopa energetskog transformatora mogu doseći vrlo visoke iznose koji mogu izazvati kvarove ili pogrešan rad zaštitnih releja ili drugih vrsta zaštita u elektroenergetskom sustavu.

Pri podešavanju kratkospojne zaštite potrebno je uvažavati normu IEC 60076-5 koja opisuje zahtjeve koji se postavljaju pred energetski transformator kako bi bez štetnih posljedica izdržao dinamička i termička naprezanja uslijed struja kratkog spoja.

Pri podešavanju kratkospojne zaštite na WIC1-2 relejima potrebno je odabrati faktor prorade kratkospojne zaštite koji se definira kao omjer proradne struje kratkog spoja (I_{KS-R}) i referentne struje releja (koja se odabire prilikom podešavanja nadstrujne zaštite) te faktor „a“ koji određuje vrijeme prorade kratkospojne zaštite.

Podešenje kratkospojne zaštite u 10(20) kV transformatorskim poljima distributivnih transformatorskih stanica potrebno je podesiti na proradnu struju od $I_{KS-R}=10 \times I_{INT}$, i trenutnim djelovanjem (kod WIC1-2 releja to je minimalno vrijeme od 0,04 s). Takvo podešenje će otkloniti mogućnost krive prorade zbog struja uklopa, a dovoljno je nisko da osjeti kvar i na NN strani transformatora (I_{KS}). Bez obzira na to, proračunom struja kratkog spoja, uz sva prigušenja, potrebno je potvrditi da je to podešenje niže od struje kratkog spoja na NN strani transformatora.

Ukoliko se pokaže da je struja kratkog spoja na NN strani transformatora niža od $10xI_{nT}$, tada je prorađnu struju kratkospojne zaštite potrebno podesiti tako da zadovoljava:

$$I_{KS} > I_{KS-R} > I_{inrush}$$

gdje je:

I_{nT} – nazivna struja energetskog transformatora

I_{KS} – struja kratkog spoja na NN strani transformatora prorađnata na SN stranu transformatora

I_{KS-R} – prorađna struja kratkospojne zaštite releja

I_{inrush} – struja uklopa transformatora

2.3. Zemljospojna zaštita

Zemljospojna zaštita u transformatorskom polju štiti od eventualnih unutarnjih kvarova transformatora npr. prilikom proboja SN namota na metalno kućište transformatora. U ovisnosti o načinu uzemljenja zvjezdišta u SN napojnoj stanici te prijelaznom otporu kvara, struje zemljospoja mogu biti od par do 300-tinjak ampera na mjestu zemljospoja. Budući da je zemljospojna zaštita u transformatorskim poljima distributivnih transformatorskih stanica neusmjerena, potrebno je izborom veličine prorađne struje zemljospoja onemogućiti prorađu zaštite u slučaju kad je kvar negdje u SN mreži, "prije" zemljospojnog releja. To se postiže time da se prag podesi iznad par ampera, tako da kapacitivna struja transformatora koja napaja kvar "u mreži", koja ne prelazi 2 A, ne uzrokuje prorađu releja.

Pri podešavanju zemljospojne zaštite na WIC1-2 relejima potrebno je odabrati faktor prorađe zemljospojne zaštite koji se definira kao omjer prorađne struje zemljospoja (I_{ZS}) i referentne struje releja (koja se odabire prilikom podešavanja nadstrujne zaštite), te vrijeme prorađe zemljospojne zaštite.

2.3.1. Podešenja zemljospojne zaštite u mrežama sa izoliranim ili rezonantno uzemljenim zvjezdištem

U mrežama sa izoliranim zvjezdištem ili uzemljenim preko prigušnice sa automatskom regulacijom, struje zemljospoja su u pravilu manje, sastoje se samo od kapacitivne komponente od 10-ak ampera na više, te je stoga potrebno postaviti podešenje zaštite na manje vrijednosti. Zemljospojnu zaštitu u 10(20) kV transformatorskim poljima potrebno je podesiti na prorađnu vrijednost od $I_{ZS}=5$ A, sa vremenom prorađe od 0,4 s.

2.3.2. Podešenja zemljospojne zaštite u mrežama sa zvjezdištem uzemljenim preko malog otpora

U mrežama sa zvjezdištem uzemljenim preko malog otpora, struje zemljospoja imaju vrijednosti preko 150 A, te se u tom slučaju mogu postaviti vrijednosti prorađa zaštite na višu vrijednost. Zemljospojnu zaštitu u 10(20) kV transformatorskim poljima potrebno je podesiti na prorađnu vrijednost od $I_{ZS}=20$ A, sa vremenom prorađe od 0,4 s.

2.4. Selektivnost zaštite u distributivnoj transformatorskoj stanici sa zaštitama više razine

Nadstrujna zaštita u napojnom SN vodnom polju podešena je prema prijenosnom kapacitetu priključnih SN vodova sa isključenjem do 1 s po vremenski neovisnoj krivulji (Definite Time). U distributivnoj transformatorskoj stanici nadstrujna zaštita se podešava prema 150% nazivne struje energetskog transformatora sa isključenjem do 30 min po vremenski ovisnoj krivulji. U većini slučajeva postiže se strujna i vremenska selektivnost između dviju razina zaštite. U iznimnim slučajevima kod energetskih transformatora velikih snaga (630, 1000 kVA), u ovisnosti o nadstrujnom podešenju u napojnom SN vodnom polju, može doći do preklapanja djelovanja zaštite dviju razina. U takvim slučajevima potrebno je preispitati podešenja u napojnoj TS, odnosno potrebno je razmotriti upotrebu vremenski ovisne zaštitne krivulje te podešenja odabrati na način da ne dolazi do preklapanja sa zaštitnom krivuljom u distributivnoj TS.

Kratkospojna zaštita u napojnom SN vodnom polju podešena je prema struji kratkog spoja na kraju SN voda s trenutnim isključenjem (0,0s). Kratkospojna zaštita u trafo polju distributivne transformatorske stanice podešena je prema struji kratkog spoja na NN strani transformatora, prerađnatoj na SN stranu transformatora (puno manja od struje kratkog spoja na SN strani transformatora), čime je postignuta strujna selektivnost sa kratkospojnom zaštitom u napojnoj stanici. Vrijeme djelovanja kratkospojne zaštite je praktički trenutno (0,04s). S obzirom da zaštite obiju razina djeluju praktički trenutno, nije postignuta vremenska selektivnost dviju razina. Produženje djelovanja kratkospojne zaštite u napojnoj TS nije preporučljivo jer tada dolazi do povećane mogućnosti oštećenja opreme u napojnoj TS i pripadnom SN vodnom polju.

Zemljospojna zaštita u distributivnoj transformatorskoj stanici i SN napojnom vodnom polju podešena je u ovisnosti o načinu uzemljenja zvjezdista napojne TS. U distributivnoj TS vrijeme prorade zemljospojne zaštite podešeno je na 0,4 s dok je u napojnom SN vodnom polju vrijeme prorade zemljospojne zaštite u većini slučajeva podešeno do 1 s. Uz takva podešenja postignuta je vremenska selektivnost dviju razina zaštite. Uz preporučena podešenja proradnih struja postignuta je također i strujna selektivnost dviju razina zaštite.

3. DISTRIBUTIVNE RASKLOPNE STANICE

Distributivne rasklopne stanice su postrojenja bez transformatora u kojima se upravlja uklopnim stanjima 10(20) kV mreže distribucije te kupca električne energije na srednjem naponu. SN sklopno postrojenje u rasklopnoj stanici predstavlja mjesto predaje električne energije kupcu na srednjem naponu koji ima vlastitu distributivnu mrežu. Distributivna mreža kupca može se sastojati od više distributivnih transformatorski stanica ili samo od transformatora i niskonaponskog razvoda koji su u vlasništvu kupca. Relejna zaštita u spojnom polju SN sklopnog bloka distribucije prema SN mreži kupca štiti HEP-ovu opremu od kratkospojnih i zemljospojnih kvarova u SN mreži kupca, selektivno otklanja kvar, te također regulira strujna preopterećenja u ovisnosti o zakupljenoj snazi potrošača, odnosno kupca.

3.1. Nadstrujna zaštita

Namjena nadstrujne zaštite u spojnom polju prema SN mreži kupca je da regulira strujna preopterećenja u ovisnosti o zakupljenoj snazi potrošača odnosno kupca. Podešenje nadstrujne zaštite izabire se prema zakupljenoj snazi potrošača na način da se dopušta 150% veće opterećenje u trajanju od 15 s, što je dovoljno vremena da se otkloni mogućnost krive prorade kod eventualnih kratkotrajnih preopterećenja npr. pri pokretanju većih strojeva. Struja prorade nadstrujne zaštite I_{opt} mora biti manja od nazivne struje prekidača u trafo polju SN sklopnog bloka odnosno mora zadovoljavati:

$$1.5 \times I_n \leq I_{opt} < I_{Pdoz}$$

gdje je:

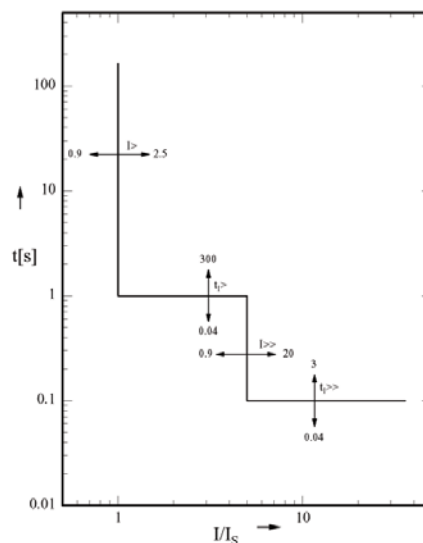
I_n – nazivna struja koja proizlazi iz zakupljene snage potrošača :

$$I_n = \frac{P_{zakupljeno} [kW]}{10(20) [kV] \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi}$$

I_{opt} – proradna struja nadstrujne zaštite

I_{Pdoz} – nazivna struja prekidača (kod ABB SafeRing $I_{Pdoz} = 200A$)

Za isklonnu krivulju potrebno je koristiti vremenski neovisne karakteristike (DEFINITE TIME) s vremenom prorade 15 s.



Slika 3. "Definite time" zaštitna krivulja WIC1-2 releja

3.2. Kratkospojna zaštita

Namjena kratkospojne zaštite u spojnopolju prema SN mreži kupca je da detektira pojavu kratkog spoja u mreži kupca te ga isključi u što kraćem roku. Ujedno, u slučaju kvara na SN mreži kupca važno je kvar isključiti prije zaštite više razine, koja se nalazi u SN vodnom polju napojne trafostanice, da ne dođe do isključenja cijele SN mreže tog područja zbog kvara u SN mreži kupca. Vremensko podešenje kratkospojne zaštite u spojnopolju distribucije mora biti takvo da korisnik (kupac) ima mogućnost vremenske selektivnosti vlastite zaštite u svom trafo polju u odnosu na zaštite više razine.

Podešenje kratkospojne zaštite u 10(20) kV spojnopoljima distributivnih rasklopnih stanica potrebno je podesiti tako da bude zadovoljeno:

$$I_{inrush} < I_{KS-R} = 5 \times I_n < I_{KS-SN}$$

gdje je: I_n – nazivna struja transformatora korisnika

I_{KS-R} – proradna struja kratkospojne zaštite releja

I_{KS-SN} – struja kratkog spoja na kraju SN mreže korisnika (kupca)

I_{inrush} – struja uklopa transformatora korisnika; struja uklopa transformatora naglo opada, te u vremenu $t=0,15$ s će sigurno biti manja od $5 \times I_n$

Vrijeme prorade kratkospojne zaštite u spojnopolju potrebno je podesiti na 0,15 s čime se omogućava korisniku da svojim podešenjem postigne vremensku selektivnost u odnosu na distributera.

3.3. Zemljospojna zaštita

Zemljospojna zaštita u spojnopolju prema SN mreži kupca služi za detekciju jednopolnih kratkih spojeva na SN mreži kupca te eventualnih unutarnjih kvarova transformatora kupca. U ovisnosti o načinu uzemljenja zvjezdišta u SN napojnoj stanici te prijelaznom otporu kvara i veličini SN mreže kupca, struje zemljospoja mogu biti od 10-ak do 300-tinjak ampera na mjestu zemljospoja.

Budući je zemljospojna zaštita u rasklopnim stanicama, kao i trafostanicama, neusmjerena, potrebno je izborom veličine proradne struje zemljospoja onemogućiti proradu zaštite u slučaju kad je kvar negdje u SN mreži distributera, "prije" zemljospojnog releja. To se postiže tako da se prag prorade zaštite podesi iznad vrijednosti kapacitivne struje SN mreže kupca koja napaja eventualni kvar u mreži HEP-a. Za tu vrijednost može se okvirno uzeti da 1 km kabela mreže daje doprinos od 3 A kapacitivnoj struji zemljospoja u 20 kV mreži.

3.3.1. Podešenja zemljospojne zaštite u mrežama sa izoliranim ili rezonantno uzemljenim zvjezdištem

U mrežama sa izoliranim zvjezdištem ili uzemljenim preko prigušnice sa automatskom regulacijom, struje zemljospoja su u pravilu manje, sastoje se samo od kapacitivne komponente od 10ak ampera na više, te je stoga potrebno staviti podešenje zaštite na manje vrijednosti. Zemljospojnu zaštitu u 10(20) kV spojnopoljima potrebno je podesiti na proradnu vrijednost od $I_{ZS}=5$ A, sa vremenom prorade od 0,4 s.

Ako je dužina SN mreže kupca veća od 1 km, onda treba procijeniti njen doprinos kapacitivnoj struji pri zemljospoju te prema tome povećati podešenje zaštite.

3.3.2. Podešenja zemljospojne zaštite u mrežama sa zvjezdištem uzemljenim preko malog otpora

U mrežama sa zvjezdištem uzemljenim preko malog otpora, struje zemljospoja imaju vrijednosti preko 150 A, te se u tom slučaju mogu postaviti vrijednosti prorada zaštite na višu vrijednost. Zemljospojnu zaštitu u 10(20) kV spojnopoljima potrebno je podesiti na proradnu vrijednost od $I_{ZS}=20$ A, sa vremenom prorade od 0,4 s.

3.4. Selektivnost zaštite u distributivnoj rasklopnj stanici s zaštitama više razine

Nadstrujna zaštita u napojnom SN vodnom polju podešena je prema prijenosnom kapacitetu priključnih SN vodova sa isključenjem do 1 s po vremenski neovisnoj krivulji (Definite Time). U distributivnoj rasklopnj stanici nadstrujna zaštita se podešava prema 150% zakupljene snage sa isključenjem nakon 15 s po vremenski neovisnoj krivulji. U većini slučajeva postiže se strujna i vremenska selektivnost između dviju razina zaštite. Kod većih zakupljenih snaga, što rezultira i većim strujama opterećenja, strujna selektivnost postaje upitna, te je potrebno prilagoditi podešenja. Vremensku selektivnost u ovom slučaju nije moguće ostvariti.

Kratkospojna zaštita u napojnom SN vodnom polju podešena je prema struji kratkog spoja na kraju SN voda s trenutnim isključenjem (0,0s). Kratkospojna zaštita u trafo polju distributivne rasklopne stanice podešena je prema peterostrukoj vrijednosti nazivne (zakupljene) struje korisnika. Vrijeme djelovanja kratkospojne zaštite je vremenski zategnuto do 0,15 s. Vremenska selektivnost dviju razina zaštite ovakvim podešenjima nije postignuta te je potrebno vremenski zategnuti podešenje kratkospojne zaštite u napojnom SN vodnom polju da se ta selektivnost postigne, pogotovo ako se radi o većem potrošaču koji ima vlastitu mrežu distributivnih transformatorskih stanica, kao npr. razne industrije.

Zemljospojna zaštita u distributivnoj rasklopnoj stanici i SN napojnom vodnom polju podešena je u ovisnosti o načinu uzemljenja zvjezdišta napojne TS. U distributivnoj rasklopnoj stanici vrijeme prorade zemljospojne zaštite podešeno je na 0,4 s dok je u napojnom SN vodnom polju vrijeme prorade zemljospojne zaštite u većini slučajeva podešeno do 1 s. Uz takva podešenja postignuta je vremenska selektivnost dviju razina zaštite, te je također omogućeno kupcu postizanje selektivnosti u odnosu na distributera. Uz preporučena podešenja proradnih struja postignuta je također i strujna selektivnost dviju razina zaštite.

4. ZAKLJUČAK

U ovom članku su dane preporuke za podešavanje relejne zaštite po dubini 10(20) kV distributivne mreže sa ciljem da se ujednači pristup podešenjima tih zaštita, te u konačnici poboljša raspoloživost i pouzdanost napajanja SN mreže. Preporuke su proizašle iz postojećih međunarodnih i hrvatskih normi te iz pogonskih iskustava službi DP Elektroprimorja Rijeku. U članku su prikazana konkretna podešenja za zaštitni relej koji se najčešće ugrađuje na području DP Elektroprimorja Rijeka, no preporuke se lako mogu primijeniti i na podešenje zaštitnih releja bilo kojeg drugog proizvođača, te na SN mreže drugih distributivnih područja u Hrvatskoj. Kod odabira zaštitnih releja potrebno je obratiti pažnju da zaštitni relej, u kombinaciji sa pripadajućim strujnim transformatorom, pokriva što veći raspon primarnih struja (tj. nazivnih snaga transformatora) tako da bude primjenljiv za sve uobičajene snage distributivnih transformatora. Također, zbog potrebe vođenja pogona i postupanja u trenutku kvara, od velike bi koristi bila indikacija prorade zaštitnog releja na samom SN sklopnom bloku, po mogućnosti i po vrsti aktivirane zaštite.

Članak je također ukazao na mogućnost da se u spojna polja prema SN mreži potrošača na srednjem naponu ugrade prekidači sa zaštitom, što do sad nije bila praksa (ugrađuju se rastavne sklopke). Određena iskustva iz pogona pokazala su potrebu za takvim rješenjem, posebno kod potrošača sa većom srednjenaponskom mrežom, te bi kod takvih potrošača prekidač u spojnopolju trebao postati tipsko rješenje. Viša cijena takvog rješenja brzo bi bila kompenzirana povećanom sigurnosti i pouzdanosti pogona pripadne SN mreže.

LITERATURA

- [1] IEC 60076-5 – Power Transformers - Part 5: Ability to withstand short circuit, International standard, Third edition 2006-02
- [2] IEC 60076-12 – Power Transformers - Part 12: Loading guide for dry-type power transformers, International standard, Third edition 2006-02
- [3] IEC 60076-7 – Power Transformers - Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers, International standard, Third edition 2006-02
- [4] MV/LV transformer substation: theory and examples of short-circuit calculation, ABB Technical Application Papers, 2005
- [5] SF6 Plinom Izolirano Kompaktno Postrojenje SafePlus, SF6 Plinom Izolirano Ring Main Unit SafeRing ABB, Trag duo, Zagreb 2006
- [6] Podešenja zaštite po dubini SN distribucijskih mreža, HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka, rujan 2009.