

ZAŠTITA VODOVA U DISTRIBUTIVNIM I PRENOSNIM MREŽAMA

PROTECTION OF POWER LINES IN DISTRIBUTION AND TRANSMISSION NETWORKS

Aleksa Ristić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu su izvršene analize za različite načine zaštite vodova u distributivnim i prenosnim mrežama. Dati su podaci koji su neophodni za adekvatno podešenje i funkcionisanje relejne zaštite. Objasnjene su prekostrujna i distantna zaštita. Izvršen je proračun podešenja prekostrujne i distantne zaštite.

Ključne reči: Releji, prekostrujna zaštita, distantna zaštita

Abstract – Analysis of different ways to protect lines in distribution and transmission networks is given in this paper. Also, this paper provides data necessary for proper setting and operation of power system protection. Overcurrent and distance protection are explained. Calculation of overcurrent and distance protection has been performed.

Keywords: Relays, overcurrent protection, distance protection

1. UVOD

Da bi elektroenergetski sistem (EES) mogao da funkcioniše potrebno je obezbediti zaštitu svakog njegovog elementa, a takođe je potrebno obezbediti i zaštitu pojedinih celina u okviru EES od kvarova. U distributivnim preduzećima evidentan je porast potrebe za što sigurnijom isporukom električne energije potrošačima, što zahteva mrežu sa malim brojem kvarova i ispada opreme. Veliku ulogu u sprovođenju ovih zahteva ima relejna zaštita.

Relejna zaštita podrazumeva skup zaštitnih uređaja i postupaka za šticeenje elemenata i EES. Koristi se sa ciljem da se uklone trajni kvarovi i minimizira šteta koja bi u suprotnom nastala pri delovanju prekidača.

Tema ovog rada odnosi se na zaštitu vodova u distributivnim i prenosnim mrežama.

U drugoj glavi objašnjena je uloga koju relejna zaštita ima u elektroenergetici i nakon toga je u nastavku opisana podela releja. Treća glava odnosi se na zaštitu mreža pomoću relejne zaštite. Navedeni su tipovi releja koji se koriste za zaštitu vodova u distributivnim i prenosnim mrežama.

Četvrta glava je posvećena faznoj prekostrujnoj zaštiti, dok je peta glava posvećena pofaznoj distantnoj zaštiti.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Duško Bekut, red. prof.

U šestoj glavi urađen je proračun podešenja distantne i prekostrujne zaštite. U sedmoj glavi dati su osnovni zaključci rada, dok je u osmoj glavi naveden spisak korišćene literature.

2. ULOGA RELEJNE ZAŠTITE

Uloga relejne zaštite jeste da reaguje prilikom nastanka kvara, da spreči nastanak sledećeg kvara i da smanji štetu koju bi taj kvar izazvao.

Kako bi EES mogao da funkcioniše potrebno je obezbediti zaštitu svih njegovih elemenata i pojedinih celina od kvarova. Zaštita celokupnog EES od kvarova ostvaruje se relejnom zaštitom.

EES se štiti od sledećih nenormalnih stanja:

- stanja sa kvarom (kvarovima),
- opasnih pogonskih stanja.

Prethodno pomenuta stanja predstavljaju stanja u kojima parametri (napon, struja, frekvencija, itd) izlaze iz okvira predviđenih projektima i konstrukcijom EES.

Pred relejnu zaštitu se postavlja nekoliko opštih zahteva:

- selektivnost,
- brzina reagovanja,
- osetljivost,
- pouzdanost,
- sigurnost,
- ekonomičnost.

3. RELEJI I OSETLJIVOST RELEJNE ZAŠTITE

Za zaštitu vodova koriste se prekostrujna, diferencijalna, distantna zaštita i osigurač.

Prekostrujna zaštita – predstavlja jedan od najstarijih oblika zaštite. Deli se na brzu prekostrujnu zaštitu koja deluje bez vremenskog kašnjenja, prekostrujnu zaštitu sa definisanim vremenskim kašnjenjem i zaštitu sa inverznom karakteristikom reagovanja.

Diferencijalna zaštita – veoma brza i selektivna zaštita. Može biti podužna i poprečna.

Distantna zaštita vodova – pošto je primena podužne diferencijalne zaštite moguća samo na kratkim vodovima, selektivnu zaštitu vodova u upetljanim mrežama moguće je postići primenom distantnih releja, koji kao kriterijum koriste udaljenost kvara od releja. Da bi distantna zaštita bila selektivna, distantni releji moraju biti usmereni, moraju imati vreme reagovanja u zavisnosti od otpora (impedanse, reaktanse) koji mere i šticeenog voda. To vreme reagovanja mora zadovoljiti princip: veća impedansa – veće vreme reagovanja.

Automatsko Ponovno Uključenje (APU). Ukoliko se kvar dogodi na vodu, trenutni prekostrujni relej će otvoriti prekidač i APU će nakon pauze ponovo zatvoriti prekidač i vratiti napajanje vodu. Nakon prvog ciklusa trenutni prekostrujni relej je blokiran. Ako je kvar i dalje prisutan, strujno zavisni prekostrujni relej će delovati, i otvaranjem prekidača ukloniti kvar. Ako je strujna zavisnost takva da je vreme delovanja nešto duže, može doći do topljenja osigurača pre delovanja releja. Na taj način osigurač će otkloniti kvar [1].

Za zaštitu vodova u distributivnim i prenosnim mrežama koriste se sledeći tipovi releja (za svaki tip releja u zagradi su navedene oznake po ANSI standardu):

- trenutni prekostrujni releji (50),
- prekostrujni releji sa vremenskom zadržskom (51),
- trenutni uzemljeni prekostrujni releji (50N),
- vremenski uzemljeni prekostrujni releji (51N),
- usmereni fazni prekostrujni releji (67),
- usmereni uzemljeni prekostrujni releji (67N),
- fazni distantni releji (21),
- uzemljeni distantni releji (21N).

Trenutni prekostrujni releji su dizajnirani da reaguju bez vremenskog odlaganja, kada struja premaši struju podešenja releja. Vreme delovanja može da varira između 0.016 s i 0.1 s. Podešenje ovih releja je nekoliko puta veće od nominalne struje. Njihova uloga je da za jako kratko vreme otklone kvarove čije su struje izuzetno visoke. Odlaganje otklanjanja takvih kvarova bi značajno ugrozilo bezbednost i velika šteta nad opremom bi bila načinjena [2, 3].

4. FAZNA PREKOSTRUJNA ZAŠTITA

Ova vrsta zaštite predstavlja najjednostavniju i najčešće korišćenu zaštitu za vodove naponskog nivoa od 10 kV do 35 kV. Stepem vremenske selektivnosti se mora postići između parova zaštite (svake dve na red postavljene zaštite) i on iznosi od 0.25 s do 0.5 s kod statičkih i elektromehaničkih releja, a od 0.6 s do 0.8 s kod primene primarnih okidača. Ovaj stepen vremenske selektivnosti se uvodi da bi se sprečila neselektivnost zaštite u slučaju bržeg delovanja zaštitom koja je bliža izvoru napajanja, dok se kasni sa delovanjem zaštitom koja je dalja od izvora napajanja.

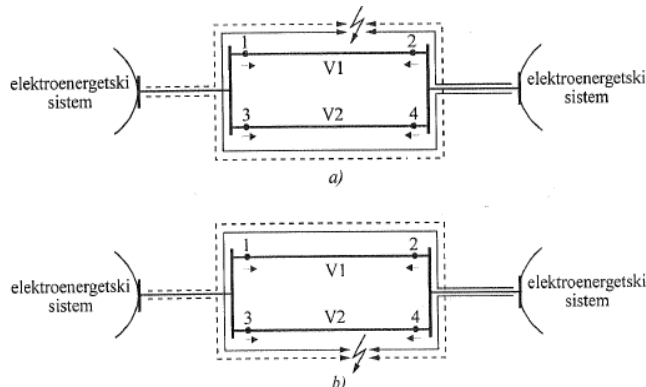
Prednosti prekostrujne zaštite su u njenoj jednostavnosti, sigurnosti i lakom ostvarenju principa rezervisanja. Osnovni nedostatak prekostrujne zaštite jeste taj da je za uklanjanje kvarova bližih izvoru vreme delovanja zaštite sve duže. Upravo zbog toga neophodno je proveriti da li je moguća primena ovog tipa zaštite [4].

5. POFAZNA DISTANTNA ZAŠTITA

Izlaganje u ovom delu počinje sa još jednim nedostatkom prekostrujne zaštite, koji je prikazan na slici 1.

Na slici 1 zapažena su dva paralelno dvostrano napajana voda. Punim i isprekidanim linijama su označeni mogući tokovi struja kod kvarova na jednom od vodova. Zaštite su na vodu V1 obeležene slovima 1 i 2, na vodu V2 slovima 3 i 4, dok su strelicama označeni smerovi delovanja zaštitama.

Pri kvaru na vodu V1 (slika 1 pod a) treba da se deluje zaštitama 1 i 2. U slučaju kvara zaštite 1 treba da se deluje zaštitom 4, iz čega sledi da je vreme delovanja zaštitom 4 veće od vremena delovanja zaštitom 1.



Slika 1. Primer kvara na paralelnim dvostrano napajanim vodovima: a) kvar na vodu V1 i b) kvar na vodu V2

Pri kvaru na vodu V2 (slika 1 pod b) treba da se deluje zaštitama 3 i 4. U slučaju kvara zaštite 4 treba da deluje zaštita 1, iz čega sledi da je vreme delovanja zaštitom 1 veće od vremena delovanja zaštitom 4.

Ova dva prethodna izraza su kontradiktorna, što znači da u ovakvim slučajevima nije moguće primeniti prekostrujnu zaštitu. Prema tome, prekostrujnu zaštitu nije moguće primeniti u složenim upetljenim mrežama. Iz tog razloga se u složenim mrežama primenjuje distantna zaštita.

5.1. Prvi stepen distantne zaštite (21P1)

Impedantno podešavanje prvog stepena distantne zaštite mora biti manje od impedanse voda koji se štiti, jer bi u suprotnom moglo da dođe do delovanja te zaštite i pri kvarovima na susednim vodovima.

Prvi stepen distantne zaštite podešava se tako da se štiti od 80 % do 90 % dužine voda (ova vrednost je viša za duže vodove). U našoj zemlji štiti se 85 % dužine voda.

Prvi stepen distantne zaštite ima kvadrilateralnu karakteristiku. Ukoliko su sledeći kriterijumi zadovoljeni smatra se da zaštita zadovoljava normalan nivo kriterijuma osetljivosti. U suprotnom, zaštita se neće smatrati prihvatljivom na nivou efikasnosti zaštite:

$$Z_{reach} \leq 0.8 \cdot Z_1, \quad (1)$$

$$Z_{RB} = 0.8 \cdot Z_{max.load}, \quad (2)$$

$$Z_{LB} \leq Z_{reach}, \quad (3)$$

gde je:

Z_{reach} – doseg prvog zaštićenog područja,

Z_1 – impedansa voda na kojem je zaštita,

Z_{RB} i Z_{LB} – leva i desna impedansa blindera, respektivno. Blinderi predstavljaju ograničenja na karakteristici zaštite po X osi.

5.2. Drugi stepen distantne zaštite (21P2)

Drugim stepenom distantne zaštite treba da se „sigurno” obuhvate kratki spojevi na suprotnom kraju voda, a da se istovremeno ne premaši ni jedan prvi stepen zaštite na susednim vodovima.

Drugi stepen distantne zaštite ima MHO karakteristiku. Zaštita je postavljena tako da se detektuju kratki spojevi na fideru, uključujući glavni vod i bočne priključke. Dakle, vrednost podešavanja se nalazi između neke minimalne i maksimalne vrednosti.

Kriterijum za normalni nivo efikasnosti jeste:

$$1,25 \cdot Z_{apparent} \leq Z_{reach} \leq 1.5 \cdot Z_{apparent}, \quad (4)$$

gde je:

$Z_{apparent}$ – impedansa vodova gde su DG povezani. Druga zona je postavljena za najnepovoljniji slučaj impedanse voda, uzimajući u obzir otpor kvara i uticaj kada su DG u službi.

5.3. Treći stepen distantne zaštite (21P3)

Treći stepen zaštite treba da predstavlja rezervnu zaštitu za susedne vodove i da se njim obuhvati zaštita sabirnica na kraju tih vodova.

Treća zona distantne zaštite ima MHO karakteristiku. Obično obezbeđuje dodatnu kontrolu za vremenske prekostrujne releje. Podesi se da obezbedi dodatnu pokrivenost zaštitom za kvarove koji imaju veliku impedansu.

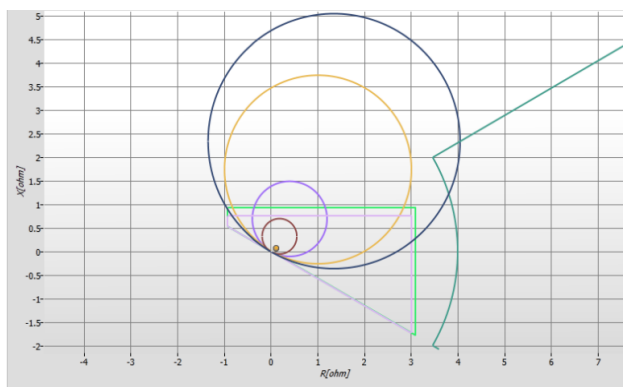
Kriterijum za normalni nivo efikasnosti jeste:

$$1,5 \cdot Z_{apparent} \leq Z_{reach} \leq 2 \cdot Z_{apparent}. \quad (5)$$

Provera distantne zaštite u softveru vrši se izborom tipa distantnog releja koji će se koristiti i odabirom kvara, tj. tipa kratkog spoja. Postoje sledeći tipovi kratkog spoja:

- LG – jednopolni kratak spoj (zemljospoj),
- LL – dvopolni kratak spoj,
- LLG – dvopolni kratak spoj sa zemljom,
- LLL – tropolni kratak spoj.

Na slici 2 prikazane su karakteristike distantnih releja.



Slika 2. Karakteristike distantnih releja

Za distantne releje koristi se R/C ravan za prezentaciju. Karakteristike za svaku zonu zaštite distantnih releja će biti predstavljene kao funkcije tačaka odgovarajuće merene impedanse posmatranih distantnih releja.

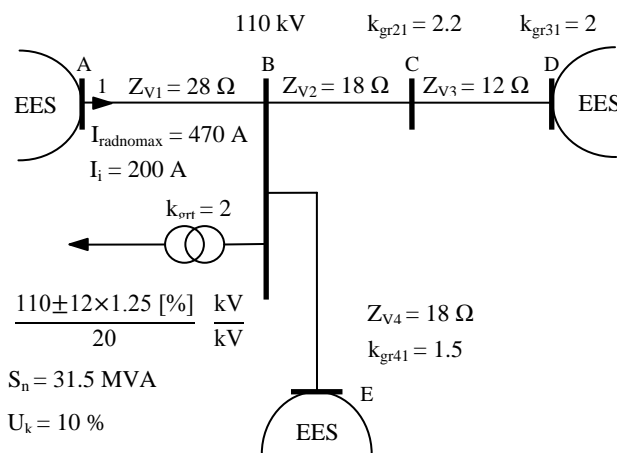
Korisnik ima mogućnost da u legendi izabere za koje od navedenih distantnih releja da se prikaže karakteristika. Svaki relej je na grafikonu prikazan različitom bojom (recimo, ljubičasta predstavlja relej 21, braon 21N, itd).

6. PRORAČUN PODEŠENJA DISTANTNE I PREKOSTRUJNE ZAŠTITE

U programskom jeziku C++ urađena su dva zadatka, od kojih se prvi odnosi na podešenje distantne zaštite, dok se drugi odnosi na podešenje prekostrujne zaštite.

6.1. Proračun podešenja distantne zaštite

Zadatak: Podesiti distantnu zaštitu na mestu označenom brojem 1, na osnovu podataka sa slike 3. Stepen selektivnosti iznosi $d_t = 0.4$ s. Svi potrebni podaci za izbor podešenja dati su na slici.



Slika 3. Deo EES od interesa

Da bi se obezbedio uslov selektivnosti rada zaštite potrebno je da bude ispunjen i sledeći uslov:

$$Z_{IV1} \leq Z_{IIV1} \leq Z_{IIIV1} \leq 0.9 \cdot Z_{pob}, \quad (6)$$

gde su:

$Z_{IV1}, Z_{IIV1}, Z_{IIIV1}$ – impedantna podešenja prva tri stepena, Z_{pob} – pobudni stepen.

Određena su impedantna podešenja i vremena delovanja prva tri stepena zaštite.

Transformator koji je vezan za sabirnicu B je distributivni. Neophodno je proveriti da li se izabranim impedantnim podešenjem prva tri stepena distantne zaštite ispunjava zahtev da se ne detektuju kratki spojevi iza distributivnog transformatora, na 20 kV sabirnicama.

Dobijeno je da impedantno podešenje trećeg stepena zaštite ima nižu vrednost od impedanse koja bi se zaštitom V1 merila pri kratkom spoju na 20 kV sabirnicama, što znači da se kratki spojevi na niženaponskoj strani distributivnog transformatora ne mogu detektovati.

Podešenje prvog stepena distantne zaštite iznosi 23.8 Ω . Vreme delovanja prvog stepena distantne zaštite iznosi 0 s.

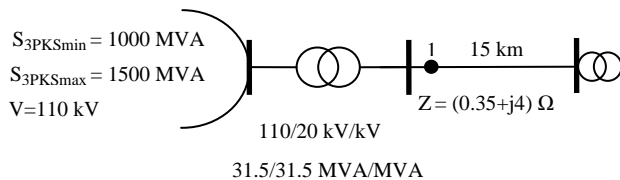
Podešenje drugog stepena distantne zaštite iznosi 43.3075 Ω . Vreme delovanja drugog stepena distantne zaštite iznosi 0.4 s.

Podešenje trećeg stepena distantne zaštite iznosi 69.183 Ω . Vreme delovanja trećeg stepena distantne zaštite iznosi 0.8 s.

Podešenje pobudnog stepena distantne zaštite iznosi 76.87Ω . Vreme delovanja pobudnog stepena distantne zaštite iznosi 3 s.

6.2. Proračun podešenja prekostrujne zaštite

Zadatak: Podesiti prekostrujnu zaštitu na mestu označenom brojem 1 i proveriti osetljivost zaštite. Svi potrebni podaci dati su na slici 5.



Slika 5. Razmatrana distributivna mreža

Struja podešenja računa se na osnovu sledećeg izraza:

$$I = \frac{k_{sigurnosti} \cdot k_{samopuštanja} \cdot I_{radno\ maksimalno}}{a}, \quad (7)$$

gde su:

$k_{sigurnosti}$ – koeficijent sigurnosti,

$k_{samopuštanja}$ – koeficijent samopuštanja,

$I_{radno\ maksimalno}$ – maksimalna radna struja,

a – koeficijent otpuštanja releja.

Za koeficijent sigurnosti usvaja se vrednost 1.2, dok se za vrednost koeficijenta samopuštanja usvaja proizvoljna vrednost od 1 do 6. Radi lakšeg proračuna uzeto je da je $k_{samopuštanja} = 1$, tj. podrazumeva se da je uticaj asinhronih motora u potrošnji zanemarljiv.

Za izbor strujnog podešenja zaštite potrebno je raspolagati vrednošću $I_{radno\ maksimalno}$. U ovom slučaju za tu vrednost se uzima 70 A.

Za koeficijent otpuštanja releja usvaja se vrednost 0.85.

Podešenje releja se proračunava na sledeći način:

$$i = \frac{k_{spoja} \cdot I}{p}, \quad (8)$$

gde su:

k_{spoja} – koeficijent spoja,

p – prenosni odnos strujnog transformatora.

Ako se primenjuje trofazna ili zaštita u dve faze, svaki od releja se napaja preko posebnog strujnog transformatora, što znači da je $k_{spoja} = 1$.

Neophodno je proveriti osetljivost zaštite, da bi dobijene vrednosti strujnih podešenja predstavljale i stvarne vrednosti podešenja zaštite. Za navedenu proveru potrebno je odrediti minimalne vrednosti struja kratkih spojeva na kraju zone šticećenja. Pošto su struje dvopolnog kratkog spoja manje od struje trolnog kratkog spoja, usvojiće se vrednost struje dvopolnog kratkog spoja. Može se proračunati vrednost struje trolnog kratkog spoja, u cilju lakšeg proračuna, i množenjem te vrednosti

sa $\frac{\sqrt{3}}{2}$ dobijaju se tražene vrednosti struja dvopolnog kratkog spoja. Kako bi dobili minimalnu vrednost struje dvopolnog kratkog spoja, neophodno je koristiti i minimalnu vrednost snage kratkog spoja.

Struja podešenja zaštite iznosi 98.8235 A.

Koeficijent osetljivosti iznosi 8.38418.

Dobijeno je da koeficijent osetljivosti ima veću vrednost od minimalne zahtevane vrednosti, koja za osnovnu zonu iznosi 1.5, što znači da je zaštita dobro podešena.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu obrađeni su tipovi releja koji se koriste u zaštiti vodova u distributivnim i prenosnim mrežama.

Objašnjen je značaj relejne zaštite i njena uloga u zaštiti elektroenergetskih mreža. Svrha relejne zaštite jeste da se uklone kvarovi i minimizira šteta koja bi u suprotnom nastala. Od nje se očekuje da bude selektivna, osetljiva, pouzdana, sigurna, ekonomična i da ima veliku brzinu reaganja.

Detaljno je objašnjeno podešenje fazne prekostrujne, kao i podešenje pofazne distantne zaštite. Nakon toga su u programskom jeziku C++ urađena dva zadatka, koja se odnose na proračun podešenja ovih zaštita.

8. LITERATURA

- [1] M. D. Nimrihter, P. N. Đapić: *Proračuni u distributivnim električnim sistemima*, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2008.
- [2] *D60 Line Distance Protection*, System Instruction Manual, General Electric Industrial Systems, Manual P/N: 160-0089-R1(GEK-113343) Ontario, Canada, 2009
- [3] J. G. Andrichak, G.E. Alexander, *Distance Relays Fundamentals*, GER-3966, General Electric Co, Malvern, PA
- [4] D. Bekut: *Relejna zaštita*, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2009.

Kratka biografija:



Aleksa Ristić rođen je u Smederevu 1993. god. Diplomirao je 2018. god. na Fakultetu tehničkih nauka, na temu „Mogućnosti skladištenja energije“. Iste godine upisuje Master akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi. Master rad odbranio je 2019. god.