

Najčešći propusti prilikom podešavanja distantne zaštite visokonaponskih vodova prenosne mreže BiH

Miljana Todorović, Milorad Zakić

Sektor za analizu EES-a
Saturn Electric d.o.o. Beograd
Beograd, Srbija

miljana.todorovic@satumelectric-sr.com, milorad.zakic@satumelectric-sr.com

Sažetak—Distantna zaštita predstavlja glavnu zaštitu visokonaponskih vodova. Pogrešno podešenje distantne zaštite može dovesti do nepotrebnog isključenja voda sa mreže, kao i do produženog vremena trajanja kvara, što dalje može ugroziti stabilnost i pouzdanost elektroenergetskog sistema. U okviru prenosne mreže Bosne i Hercegovine distantna zaštita visokonaponskih vodova se najčešće podešava na osnovu relevantnih tehničkih uputstava. U ovom radu je ukazano na uočene nepravilnosti pri ovakvom pristupu podešavanja distantne zaštite. Kako bi se proverila adekvatnost podešenja distantne zaštite, izvršene su simulacije različitih vrsta kvarova na svim visokonaponskim vodovima prenosne mreže BiH. Simulacije su, za različita uklopna stanja vršene primenom programskog paketa PSS CAPE, specijalizovanog softvera za simulaciju rada sistema relejne zaštite.

Ključne riječi—distantna zaštita; SIR faktor; rezistivni doseg; koeficijent zemljospoja

I. UVOD

Kao glavna zaštita visokonaponskih vodova prenosne mreže Bosne i Hercegovine koristi se distantna zaštita. Stoga je adekvatno podešavanje distantne zaštite od velikog značaja za pouzdan rad elektroenergetskog sistema. Trenutno je distantna zaštita najvećeg broja dalekovoda prenosne mreže BiH podešena na osnovu opštih pravila za podešenje distantne zaštite vodova. Glavni nedostaci ovakvog pristupa podešavanja su sledeći:

- Neuvažavanje SIR faktora;
- „Iskustveno usvojene“ vrednosti podešenja rezistanskog dosega distantne zaštite, ne uvažavajući topologiju mreže i karakteristike releja;
- Podešavanje koeficijenta zemljospoja na osnovu parametara štice vodova, ne uvažavajući topologiju mreže.

Može se primetiti da je uzrok svih gorepomenutih nedostataka, izuzev neadekvatnog podešavanja koeficijenta zemljospoja, neposredovanje odgovarajućeg softvera pomoću kojeg bi se, na osnovu detaljnog modela elektroenergetske mreže BiH, izvršilo podešavanje distantne zaštite. U ovom radu je pomoću simulacija, izvršenih primenom softverskog paketa PSS CAPE, na konkretnim primerima pokazano kako

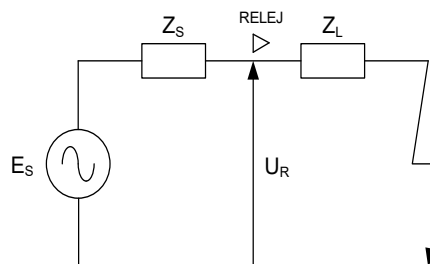
gorepomenuti nedostaci opštih preporuka utiču na adekvatnost podešenja distantne zaštite.

II. SIR FAKTOR

A. Uticaj SIR faktora na vrednost napona koju meri relej

Reaktanski doseg prvog stepena distantne zaštite se najčešće podešava na 80-90% vrednosti reaktanse direktnog redosleda štice vodova. Ova margina se uvodi kako bi se kompenzovala greške merenja i zbog činjenice da vodovi nisu idealno transponovani. Međutim, postoje izuzeci gde se ne primenjuje pomenuto pravilo, [1].

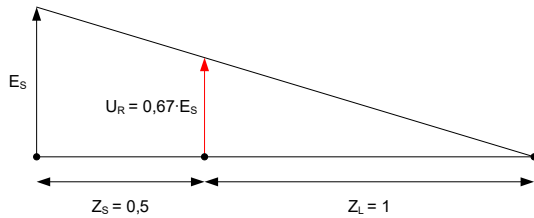
Jedan od faktora koji svakako treba uvažiti prilikom podešavanja prvog stepena distantne zaštite jeste dužina štice vodova. Razlikuju se fizička i „električna“ dužina vodova. Uslovljenost egzistencije prvog stepena distantne zaštite fizičkom dužinom vodova je definisano osetljivošću podešenja praga reagovanja distantne zaštite. Sa druge strane, „električna“ dužina vodova je definisana SIR faktorom. SIR faktor (eng. *Source Impedance Ratio*) predstavlja odnos impedanse Tevenenovog ekvivalenta mreže (izvora) iza mesta ugradnje zaštitnog uređaja i impedanse direktnog redosleda štice vodova. Da bi se objasnio uticaj SIR faktora na vrednosti napona koje meri relej, iskoristiće se sledeći primer. Na Sl. 1 je prikazano ekvivalentno električno kolo koje čine Tevenenov ekvivalent mreže iza mesta ugradnje releja (elektromotorna sila E_s i ekvivalentna impedansa izvora Z_s) i impedansa štice vodova Z_L , [2].



Slika 1. Ekvivalentno električno kolo izvora i štice vodova.

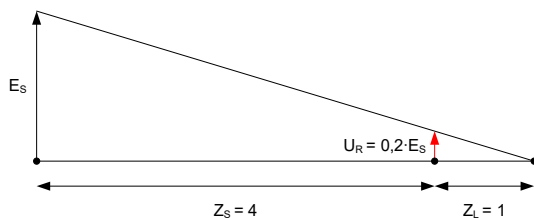
Pretpostavimo da je snaga izvora dovoljno velika, tako da se vrednost elektromotorne sile E_s ne menja pri kvaru na kraju štice vodova. Neka je vrednost SIR faktora 0,5. To znači da je

vrednost ekvivalentne impedanse izvora dva puta manja od vrednosti impedanse šticećenog voda. Na Sl. 2 je prikazana vrednost napona koju relej meri pri kvaru na kraju šticećenog voda. Sa slike se vidi da je vrednost ovog napona jednaka $U_R = 0,67 \cdot E_S$.



Slika 2. Vrednost napona koju relej meri pri kvaru na kraju šticećenog voda, kada je $SIR = 0,5$

Neka je sada vrednost SIR faktora jednaka 4. Na Sl. 3 je prikazana vrednost napona koju relej meri pri kvaru na kraju šticećenog voda, koja je u ovom slućaju jednaka $U_R = 0,2 \cdot E_S$. Osim toga, vrednost napona koju relej meri za kvar na kraju dosegaprvog stepena distantne zaštite, tj. na 85% dućine voda, je $U_R = 0,18 \cdot E_S$.



Slika 3. Vrednost napona koju relej meri pri kvaru na kraju šticećenog voda kada je $SIR = 4$.

Iz prethodnog se moće zakljućiti da pri povećanju SIR faktora vrednost napona koju relej meri pri kvaru na kraju šticećenog voda opada. Uzimajući u obzir grešku merenjanaponskih memih transformatora, jasno je da pri odrećenoj vrednosti SIR faktora relej neće biti u stanju da detektuje razliku izmeću kvara na kraju šticećenog voda i kvara na kraju dosegaprvog stepena distantne zaštite šticećenog voda. Time se ugroćava selektivnost prvog stepena distantne zaštite šticećenog i susednih vodova.

B. Primer neadekvatnog podešavanja distantne zaštite vodovaprenosne mreće BiH, kao posledica visokog SIR faktora

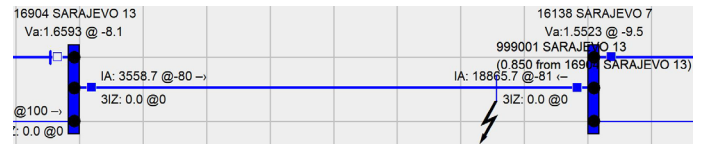
Kao primer neadekvatnog podešavanja distantne zaštite, uzeće se podešavanje distantne zaštite 110 kV dalekovoda TS Sarajevo 13 – TS Sarajevo 7, dugaćkog 3,7 km. Za zaštitu dalekovoda se koristi zaštitni urećaj REL 511*2.3, proizvoćaća ABB. Vrednost reaktansnog podešavanja prvog stepena distantne zaštite je podešavana na 85% vrednosti reaktanse dalekovoda.

Detaljan izveštaj za izraćunavanje SIR faktora ovog dalekovoda za slućaj punog uklopnog stanja i primenjen trofazan kratak spoj se moće dobiti pomoću softverskog paketa PSS CAPE, i vrednost dobijenog SIR faktora iznosi 33,43.

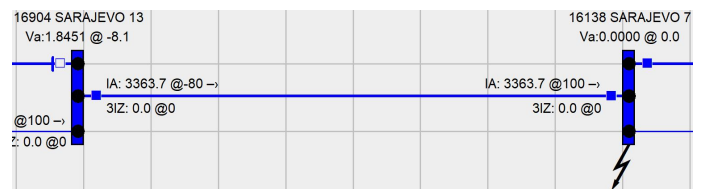
Na Sl. 4 i Sl. 5 su dati grafićki izveštaji iz softverskog paketa PSS CAPE, na kojima su prikazane vrednosti napona koje meri relej u TS Sarajevo 13 pri trofaznom kratkom spoju

na 85% dućine dalekovoda (Sl. 4) i na 110 kV sabimicama u TS Sarajevo 7 (Sl. 5). Vrednost napona koju relej meri pri trofaznom kratkom spoju na 85% dućine 110 kV dalekovoda iznosi $1,6593 \text{ kV} \cdot 0,1/110 = 1,508 \text{ V}$. Sa druge strane, vrednost napona koju relej meri pri trofaznom kratkom spoju na 110 kV sabimicama u TS Sarajevo 7 iznosi $1,8451 \text{ kV} \cdot 0,1/110 = 1,677 \text{ V}$. Apsolutna razlika ove dve vrednosti napona iznosi $\Delta U = 1,677 - 1,508 = 0,17 \text{ V}$.

Uzimajući u obzir grešku merenjanaponskih memih transformatora, verovatnoća da prvi stepen distantne zaštite šticećenog dalekovoda reaguje pri kvaru na 110 kV sabimicama u TS Sarajevo 7 je izuzetno velika. Dakle, zakljućuje se da je distantna zaštita 110 kV dalekovoda TS Sarajevo 13 – TS Sarajevo 7 podešavana neadekvatno. U ovakvim slućajevima se mora iskljućiti delovanje prvog stepena distantne zaštite, dok je za zaštitu dalekovoda potrebno uvesti podućnu diferencijalnu zaštitu.



Slika 4. Vrednosti napona koje relej meri pri trofaznom kratkom spoju na 85% dućine 110 kV dalekovoda TS Sarajevo 13 – TS Sarajevo 7.



Slika 5. Vrednosti napona koje relej meri pri trofaznom kratkom spoju na 110 kV sabimicama u TS Sarajevo 7.

C. Uticaj SIR faktora na izbor zaštitnih funkcijavisokonaponskih vodova

Prema Tehnićkom uputstvu za podešavanje zaštite visokonaponskih vodova [3], „kratki vodovi“ su oni 110 kV vodovi kod kojih je SIR faktor, za puno ukloпно stanje, veći ili jednak 4. Za zaštitu „kratkih vodova“ preporućuje se implementacija podućne diferencijalne zaštite ili korišćenje komunikacionih šema koje rade u sadejstvu sa distantnom i usmerenom zemljospojnom zaštitom, [3].

Broj pozicija u 110 kV prenosnoj mreći BiH kod kojih je SIR faktor, u punom uklopnom stanju, veći ili jednak 4 je 157, što iznosi oko 38% ukupnog broja pozicija na 110 kV vodovima prenosne mreće BiH [4]. Za svaki vod se razmatraju po dve pozicije (dva mesta za implementaciju releja), osim kod interkonektivnih dalekovoda gde se razmatra samo jedna pozicija. Iz preporuka koje daje [3], sledi da zaštita na definisanih 157 pozicija mora biti ili podućna diferencijalna ili da je u komunikaciji sa zaštitom na drugom kraju voda. U praksi je broj pozicija sa pomenutim zahtevima joć veći, jer su isti zahtevi i ako je na poziciji $SIR < 4$, a ukoliko je na drugom kraju dalekovoda $SIR > 4$. Sa tehnićkog aspekta, ovaj predlog je sasvim adekvatan. Mećutim, s obzirom na to da je podućna diferencijalna zaštita implementirana kod malog broja 110 kV

vodova prenosne mreže BiH, kao i da zaštitni uređaji na krajevima ovih vodova uglavnom ne rade u komunikaciji, ovakve preporuke su ekonomski nepovoljnije od smernica koje se mogu naći u savremenoj literaturi, [1]. Drugi nedostatak preporuka koje daje [3] je taj što se prilikom određivanja SIR faktora posmatra isključivo puno uklopno stanje.

Na osnovu preporuka koje daje [1], može se napraviti sledeća selekcija 110 kV vodova prenosne mreže BiH (analizirana su najkritičnija N-1 uklopna stanja ili puna uklopna stanja za one vodove kod kojih iza releja postoji samo jedan aktivan vod):

- $4 \leq SIR < 10$: Ukupan broj pozicija u prenosnoj mreži BiH iznosi 100, ili oko 24% od ukupnog broja. U ovom slučaju, najčešće nije ugrožena selektivnost prvog stepena distantne zaštite štice i susjednih vodova;
- $10 \leq SIR < 30$: Ukupan broj pozicija u prenosnoj mreži BiH iznosi 60, ili oko 15% od ukupnog broja. U ovim slučajevima postoji potencijalna ugroženost selektivnosti prvog stepena distantne zaštite štice i susjednih vodova. Ovde je potrebno razmotriti skraćivanje reaktansnog doseg prvog stepena distantne zaštite (sa 85% na npr. 70% vrednosti reaktanse voda);
- $SIR \geq 30$: Ukupan broj ovih vodova u prenosnoj mreži BiH iznosi 17, ili oko 8% ukupnog broja 110 kV vodova. Kod ovih vodova je neophodna implementacija podužne diferencijalne zaštite.

Važno je napomenuti da za $4 \leq SIR < 10$, selektivnost prvog stepena distantne zaštite štice i susjednih vodova nije ugrožena samo ako se za zaštitu štice voda koriste releji koji imaju mogućnost da izbegnu probleme vezane sa visokim SIR faktorom, [1]. U slučaju da je za vod, koji se štiti relejem novije generacije, SIR faktor u punom uklopnom stanju u opsegu između 4 i 10, a u N-1 uklopnom stanju veći od 10, treba razmotriti verovatnoću N-1 događaja i na osnovu ove verovatnoće razmotriti skraćivanje doseg prvog stepena distantne zaštite ili eventualno uvođenje diferencijalne zaštite voda. Takođe, važno je napomenuti i da je vrednost graničnog faktora $SIR = 30$ usvojena na osnovu opšte prakse. Tačna vrednost ovog graničnog SIR faktora zavisi od modela releja, [1].

III. PODEŠENJE REZISTANSNOG DOSEGA DISTANTNE ZAŠTITE

Prilikom podešavanja rezistansnog doseg, neophodno je voditi računa o kriterijumima koji se mogu razvrstati u dve grupe – prva grupa određuje minimalnu, a druga grupa maksimalnu vrednost rezistansnog doseg.

Kriterijum koji definiše minimalnu vrednost rezistansnog doseg distantne zaštite jeste maksimalna očekivana otpornost kvara, uz uvažavanje doprinosa struji kratkog spoja preko otpora (koja efektivno povećava otpornost koju meri zaštitni uređaj).

Kriterijumi pomoću kojih se određuje maksimalna vrednost rezistansnog doseg distantne zaštite su sledeći:

- Da relej ne reaguje neselektivno pri kvarovima sa zemljom zbog greške merenja strujnih i naponskih mernih transformatora, kao i zbog greške releja;
- Da relej ne reaguje neselektivno pri kvarovima sa zemljom zbog nehomogenosti mreže;
- Da relej ne reaguje za opterećenja.

Kada se desi dvofazan kratak spoj ukupan prelazni otpor predstavlja otpornost luka. Vrednost ove otpornosti se može izračunati pomoću različitih opštepoznatih empirijskih formula. Sa druge strane, u slučaju jednofaznog kratkog spoja je jako teško proceniti maksimalnu moguću vrednost otpornosti luka. Osim toga, nepoznati parametar je i prelazni otpor uzemljenja stuba, koji zavisi od vrste tla i od toga koliko je oštećeno zaštitno uže na vodu. Uzimajući sve ovo u obzir, preporuka je da se rezistansni doseg distantne zaštite podese prema kriterijumima koji određuju maksimalnu vrednost rezistansnog doseg [4].

Trenutno je praksa da se prilikom podešavanja rezistansnih doseg distantne zaštite vodova prenosne mreže BiH ne uzimaju u obzir topologija mreže i karakteristike releja, već se najčešće rezistansni dosegi distantnih zaštita visokonaponskih vodova prenosne mreže BiH podešavaju na osnovu „iskustveno usvojenih proradnih vrednosti“, i to:

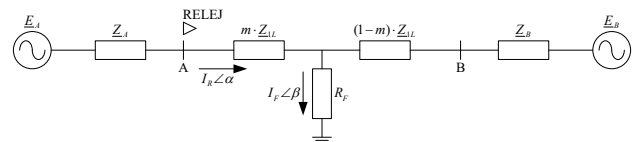
- za 1. stepen: $R_{ph-ph} = 50 \Omega'$, $R_{ph-e} = 60 \Omega'$;
- za 2. stepen: $R_{ph-ph} = 60 \Omega'$, $R_{ph-e} = 70 \Omega'$;
- za 3. stepen: $R_{ph-ph} = 80 \Omega'$, $R_{ph-e} = 100 \Omega'$;

Vrednosti rezistansnih doseg se mogu menjati od pozicije do pozicije, ali se kreću oko pomenutih vrednosti.

A. Kriterijumi koji se uzimaju u obzir prilikom podešavanja rezistansnog doseg distantne zaštite

1) Nehomogenost mreže

Mreža je nehomogena za određeni kvar ukoliko su odnosi ekvivalentnih Tevenenovih reaktansi i rezistansi ispred i iza kvara različiti. Tada u slučaju jednofaznog kratkog spoja preko otpora struja koju meri relej ($I_R \angle \alpha$) i struja koja prolazi preko otpora ($I_F \angle \beta$) nisu u fazi (Sl. 6).



Slika 6. Jedofazan kratak spoj preko otpora R_F .

Fazni napon koji meri relej kod sabirnica A se može predstaviti pomoću sume pada napona na impedansi petlje dalekovod-zemlja i pada napona na otporu kvara:

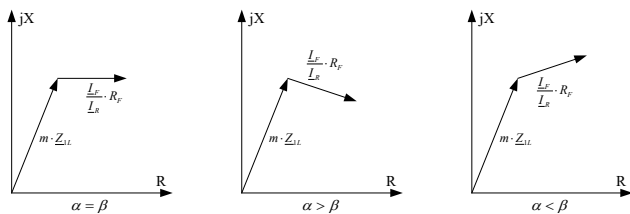
$$\underline{U}_R = \underline{I}_R \cdot m \cdot \underline{Z}_{1L} + \underline{I}_F \cdot R_F = \underline{I}_R \cdot \left(m \cdot \underline{Z}_{1L} + \frac{\underline{I}_F}{\underline{I}_R} \cdot R_F \right)$$

Impedansa koju meri relej kod sabirnica A je:

$$\underline{Z}_R = \frac{U_R}{I_R} = m \cdot \underline{Z}_{1L} + \frac{I_F}{I_R} \cdot R_F$$

Na Sl. 7 je prikazan uticaj nehomogenosti mreže na impedansu koju meri relej.

Sa slike se vidi da u slučaju kada je mreža nehomogena pad napona na otporu kvara sadrži i realan i imaginarni deo. To znači da merena impedansa kvara osim rezistansne greške (koja je posledica doprinosa struje kvara iz mreže B) sadrži i reaktansnu grešku merenja. Usled reaktansne greške merenja može da se dogodi da relej reaguje za kvarove van zone karakteristike reagovanja distantne zaštite (relej „prebacuje“) ili da ne reaguje za kvarove koji se nalaze u zoni karakteristike reagovanja distantne zaštite (relej „podbacuje“).



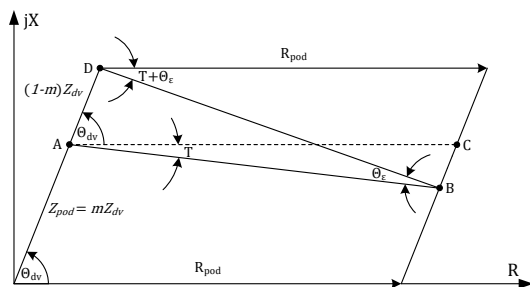
Slika 7. Uticaj nehomogenosti mreže na impedansu koju meri relej.

Da bi se izbegao neselektivan rad distantne zaštite može se, ukoliko postoji, iskoristiti opcija korekcija nagiba reaktansnog dosega distantne zaštite. Ukoliko ne postoji ova opcija, neselektivno reagovanje se može izbeći smanjenjem rezistansnog dosega.

2) Greške merenja strujnih i naponskih mernih transformatora i greška merenja releja

Efekat greške merenja strujnih i naponskih mernih transformatora i greške merenja zaštitnih uređaja se ogleda u zakošenju impedanse kvara koju meri relej. Ukoliko je rezistansni doseg distantne zaštite podešen suviše visoko, zakošenje karakteristike može dovesti do toga da prvi stepen distantne zaštite reaguje za kvar na kraju štice vodova.

Na Sl. 8 je prikazan uticaj greške merenja mernih transformatora i releja na maksimalni rezistivni doseg prvog stepena distantne zaštite.



Slika 8. Uticaj greške mernih transformatora i releja na maksimalnu vrednost rezistansnog dosega prvog stepena distantne zaštite.

Ugao θ_ϵ predstavlja ugao greške merenja za kvarove preko otpora na kraju štice vodova. Reaktansni doseg karakteristike

je u opštem slučaju zakošen za ugao nehomogenosti T . Parametar Z_{pod} označava vrednost dosega prvog stepena distantne zaštite po uglu štice vodova θ_{dv} . Vrednost maksimalnog podešenja rezistansnog dosega R_{pod} se može odrediti primenjujući sinusnu teorem na trouglove ABC i ABD:

$$R_{pod} = (1-m) \cdot Z_{dv} \cdot \frac{\sin(\theta_{dv} + T + \theta_\epsilon)}{\sin \theta_\epsilon} \cdot \frac{\sin(\theta_{dv} + T)}{\sin \theta_{dv}}$$

S obzirom da je $T \ll \theta_{dv}$ i $\theta_\epsilon \ll \theta_{dv}$ izraz koji definiše maksimalni rezistansni doseg je moguće pojednostaviti tako da se dobije izraz, [5]:

$$R_{pod} = (1 - Z_{pod}(r.j.)) \cdot Z_{dv} \cdot \frac{\sin(\theta_{dv} + \theta_\epsilon)}{\sin \theta_\epsilon}$$

$$\Rightarrow R_{pod} = (1 - X_{pod}(r.j.)) \cdot X_{dv} \cdot \frac{\sin(\theta_{dv} + \theta_\epsilon)}{\sin \theta_\epsilon \cdot \sin \theta_{dv}}$$

Ukoliko nisu poznate vrednosti ugaonih grešaka mernih transformatora i releja, može se usvojiti maksimalna vrednost ove ugaone greške $\theta_\epsilon = 3^\circ$.

3) Maksimalno opterećenje

Kod dugih a veoma opterećenih vodova se može desiti da je pogonska impedansa takva da zalazi u oblast karakteristike reagovanja distantne zaštite, što može uzrokovati neselektivan rad zaštite.

Maksimalno podešenje rezistansnog dosega bazirano na vrednosti minimalne pogonske impedanse zavisi od toga da li relej ima ili nema opciju usecanja karakteristike (eng. *load enchroachment*).

Minimalna pogonska impedansa predstavlja odnos minimalnog pogonskog faznog napona i maksimalne radne struje vodova, tj:

$$Z_{pog,min} = \frac{U_{pog,min}}{\sqrt{3} \cdot I_{r,max}} = \frac{0,85 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{r,max}}$$

Maksimalna radna struja voda je definisana na sledeći način:

$$I_{r,max} = I_{dv,max}, \text{ ako je } I_{dv,max} < 1,2 \cdot I_{n,CT}, \text{ i}$$

$$I_{r,max} = 1,2 \cdot I_{n,CT}, \text{ ako je } 1,2 \cdot I_{n,CT} < I_{dv,max},$$

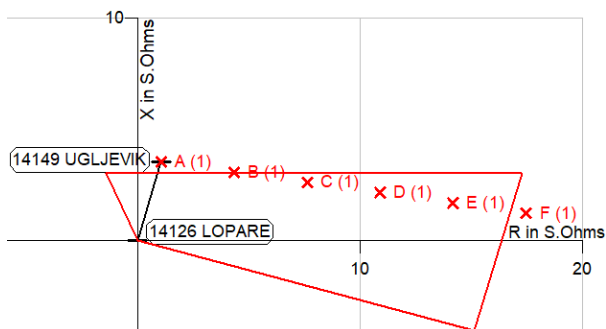
gde je $I_{dv,max}$ trajno dozvoljena struja voda, a $I_{n,CT}$ nominalna struja primarnog namotaja strujnog mernog transformatora.

Ukoliko relej nema opciju usecanja karakteristike, maksimalno podešenje rezistansnog dosega se ograničava na $R_{max} = 0,6 \cdot Z_{pog,min}$.

Funkcija „*Load enchroachment*“ se, ukoliko postoji, najčešće podešava prema vrednosti minimalne pogonske impedanse sa uvažanim koeficijentom rezerve k_R , koji se uobičajeno podešava na 0,6. Ugao „usecanja“ karakteristike se podešava na vrednosti između 30° i 45° .

B. Primer trenutnog i predlog podešenja rezistansnog dosega jednog od 110 kV vodova prenosne mreže BiH

Kao primer neadekvatnog podešenja rezistansnog dosega distantne zaštite uzeće se trenutno podešenje prvog stepena distantne zaštite 110 kV dalekovoda TS Lopare – TE Ugljevik, čija je karakteristika reagovanja prikazana na Sl. 9. Takođe, prikazane su i vrednosti impedansa koje meri relej u TS Lopare za jednofazne kratke spojeve na 110 kV sabirnicama u TE Ugljevik preko otpora sledećih vrednosti: 0 Ω (tačka „A“), 1 Ω (tačka „B“), 2 Ω (tačka „C“), 3 Ω (tačka „D“), 4 Ω (tačka „E“) i 5 Ω (tačka „F“).



Slika 9. Karakteristika reagovanja distantne zaštite 110 kV dalekovoda TS Lopare – TE Ugljevik sa trenutnim podešenjima

Simulacija jednofaznih kratkih spojeva preko prelaznih otpora je izvršena primenom programskog paketa PSS CAPE. Na osnovu ovih simulacija jasno se vidi da će, sa trenutnim podešenjima, prvi stepen distantne zaštite dalekovoda neselektivno reagovati pri jednofaznom kratkom spoju na 110 kV sabirnicama u TE Ugljevik preko prelaznog otpora većeg od 1 Ω. Stoga, trenutno podešenje rezistansnog dosega prvog stepena distantne zaštite 110 kV dalekovoda TS Lopare – TE Ugljevik nije adekvatno. U nastavku će biti dat predlog podešenja rezistansnog dosega prvog stepena distantne zaštite ovog dalekovoda. U obzir će biti uzeta sva tri kriterijuma pomenuta u poglavlju A.

S obzirom na to da nije poznat ugao greške merenja memih transformatora i releja kod 110 kV sabirnica u TS Lopare, usvojiće se vrednost $\theta_e = 3^\circ$. Ugao greške merenja, koja je posledica nehomogenosti mreže, se može očitati sa Sl. 9. Koordinate tačke A su $(X_A, R_A) = (3,54 \Omega'', 1,07 \Omega'')$, a tačke B $(X_B, R_B) = (3,08 \Omega'', 4,35 \Omega'')$. S obzirom na to da su tačke A, B, C, D, E i F kolinearne, ugao greške merenja θ_{nh} , koja je posledica nehomogenosti mreže, se može izračunati na sledeći način:

$$\theta_{nh} = \arctg \left(\frac{(X_A - X_B)}{(R_A - R_B)} \right) \approx -8^\circ$$

Ukupan ugao greške merenja se dobija sabiranjem uglova θ_e i θ_{nh} , tj. $\theta_{uk} = \theta_e + \theta_{nh} = 11^\circ$.

Dalekovod 110 kV TS Lopare – TE Ugljevik se štiti zaštitnim uređajem REL511 v2*3, proizvođača ABB. S obzirom na to da ovaj relej nema mogućnost korekcije nagiba reaktansnog dosega distantne zaštite, neselektivno reagovanje se može izbeći smanjenjem rezistansnog dosega. Pomoću izraza datog u tački 2) se može izračunati podešenje

rezistansnog dosega prvog stepena distantne zaštite dalekovoda TS Lopare – TE Ugljevik:

$$R_{pod1} [\Omega'] = (1 - X_{pod}(r.j.)) \cdot X_{dv} \cdot \frac{\sin(\theta_{dv} + \theta_{uk})}{\sin \theta_{uk} \cdot \sin \theta_{dv}}$$

$$R_{pod1} [\Omega'] = (1 - 0,85) \cdot 6,4962 \Omega \cdot \frac{\sin(73^\circ + 11^\circ)}{\sin 11^\circ \cdot \sin 73^\circ} = 5,31 \Omega'$$

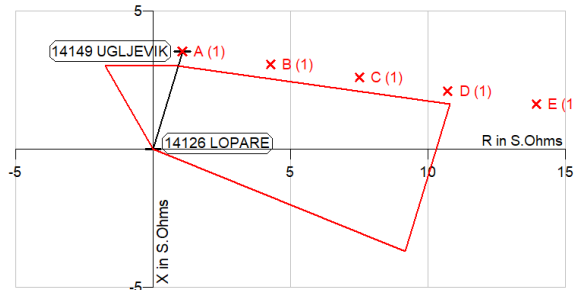
Prenosni odnosi strujnog i naponskog memnog transformatora na koje je povezan relej u TS Lopare su: CTR = 600/1 A/A i PTR = 110/0,1 kV/kV. Podešenje rezistansnog dosega u Ω" iznosi:

$$R_{pod1} [\Omega''] = R_{pod1} [\Omega'] \cdot \frac{CTR}{PTR} = 5,31 \Omega' \cdot \frac{600}{1100} = 2,9 \Omega''$$

Vrednost podešenja rezistansnog dosega bi mogla biti značajno veća kada bi se za zaštitu dalekovoda TS Lopare – TE Ugljevik koristio relej koji ima mogućnost korekcije nagiba reaktansnog dosega distantne zaštite. Ako bi se nagib reaktansnog dosega prvog stepena distantne zaštite podeseo tako da kompenzuje grešku merenja usled nehomogenosti mreže, podešenje rezistansnog dosega distantne zaštite se dobija koristeći isti postupak, i u ovom slučaju iznosi:

$$R_{pod2} [\Omega''] = R_{pod1} [\Omega''] \cdot \frac{CTR}{PTR} = 18,89 \Omega' \cdot \frac{600}{1100} = 10,3 \Omega''$$

U slučaju da se dalekovod TS Lopare – TE Ugljevik štiti sa relejem koji ima mogućnost korekcije nagiba reaktansnog dosega distantne zaštite, karakteristika reagovanja prvog stepena distantne zaštite ovog dalekovoda bi, sa predloženim podešenjima, izgledala kao na Sl. 10.



Slika 10. Karakteristika reagovanja prvog stepena distantne zaštite releja koji ima mogućnost korekcije nagiba reaktansnog dosega distantne zaštite

Podešenje rezistansnog dosega treba proveti i za maksimalna opterećenja. Maksimalno podešenje rezistansnog dosega se prema ovom kriterijumu ograničava na:

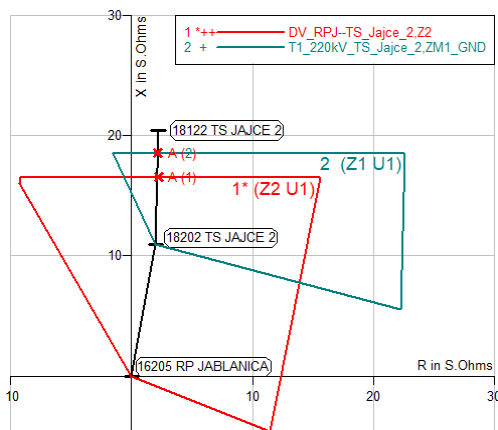
$$R_{max} = 0,6 \cdot Z_{pog,min} = 0,6 \cdot \frac{0,85 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{r,max}}$$

$$R_{max} = 0,6 \cdot \frac{0,85 \cdot 110 kV}{\sqrt{3} \cdot 645 A} = 50,22 \Omega' > R_{pod2} [\Omega']$$

IV. UTICAJ POGREŠNO PODEŠENOG KOEFICIJENTA ZEMLJOSPOJA NA GREŠKU MERENJA RELEJA

Koeficijent zemljospoja se koristi za korekciju rada distantne zaštite u slučaju kvarova sa zemljom. Ukoliko je podešena vrednost koeficijenta zemljospoja veća od stvarne (stvarnog odnosa nulte i direktne impedanse voda), distantni relej će meriti manju impedansu, odnosno „prebacivati“ podešenu daljinu štice elementa pri zemljospojima na njemu, a ukoliko je manja od stvarne, distantni relej će meriti veću impedansu, odnosno „podbacivati“ podešenu daljinu štice elementa pri zemljospojima na njemu. Pogrešno podešen koeficijent zemljospoja može biti posledica nepoznavanja tačnih vrednosti nultih parametara vodova ili nevažavanja topologije mreže. Do tačnih vrednosti nultih parametara vodova može se doći ili direktnom metodom – merenjem ovih vrednosti, ili pomoću specijalizovanih softverskih paketa. Pod nevažavanjem topologije mreže, misli se na to da se prilikom podešavanja koeficijenta zemljospoja ne uvažava priroda mreže, gde postoji kombinacija elemenata različitih odnosa nultih i direktnih impedansi (dalekovoda i transformatora).

Kao primer će se uzeti podešenje drugog stepena distantne zaštite 220 kV dalekovoda RP Jablanica – TS Jajce 2. Susjedni elementi ovom dalekovodu su 220 kV dalekovod TS Jajce 2 – TS Prijedor 2 i transformator 220/110 kV/kV u TS Jajce 2. Ovde ćemo pretpostaviti da su nulti parametri vodova tačni, odnosno posmatraćemo samo uticaj pogrešnog podešenja koeficijenta zemljospoja na neselektivni rad distantne zaštite usled nevažavanja topologije mreže. Koeficijent zemljospoja distantne zaštite dalekovoda RP Jablanica – TS Jajce 2 je podešen prema direktnim i nultim parametrima ovog dalekovoda. Razmatra se N-1 uklopno stanje, kada je 220 kV dalekovod TS Jajce 2 – TS Prijedor 2 van pogona. Pomoću softverskog paketa PSS CAPE simuliran je jednofazni kratki spoj na kraju doseg prvog stepena distantne zaštite transformatora 220/110 kV/kV u TS Jajce 2 (Sl. 11). Tačke A(1) i A(2) predstavljaju vrednosti impedansi koje mere releji u RP Jablanica i TS Jajce 2 pri pomenutom kvaru. Sa slike se vidi da za ovaj kvar, impedansa koju meri relej u RP Jablanica zalazi u zonu reagovanja drugog stepena distantne zaštite ovog releja, čime je ugrožena selektivnost istog sa drugim stepenom distantne zaštite transformatora.



Slika 11. Simulacija jednofaznog kratkog spoja na kraju doseg prvog stepena distantne zaštite transformatora 220/110 kV/kV u TS Jajce 2

V. ZAKLJUČAK

Trenutno je princip podešavanja distantne zaštite najvećeg broja vodova prenosne mreže Bosne i Hercegovine zasnovan na opštim pravilima za podešenje distantne zaštite vodova. U ovom radu je ukazano na glavne nedostatke ovakvog pristupa podešavanja. Najpre je ukazano na grešku usled nevažavanja SIR faktora prilikom podešavanja distantne zaštite vodova. Pokazano je da prvi stepen distantne zaštite, usled visoke vrednosti SIR faktora, može neselektivno reagovati za kvarove van zone delovanja istog. Zatim je ukazano na nedostatke postojećih principa podešavanja rezistansnih doseg distantne zaštite. Na kraju je pokazano kako pogrešno podešen koeficijent zemljospoja utiče na neadekvatno reagovanje distantne zaštite vodova. Provere adekvatnosti podešenja distantne zaštite vodova su vršene simulacijama različitih kvarova na vodovima prenosne mreže BiH, primenom softverskog paketa PSS CAPE.

LITERATURA

- [1] M. J. Thompson, and D. L. Heidfeld, "Transmission Line Setting Calculations – Beyond the Cookbook," proceedings of the 41st Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2014.
- [2] M. J. Thompson, and A. Somani, "A Tutorial on Calculating Source Impedance Ratios for Determining Line Length," proceedings of the 41st Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, WA, October 2014.
- [3] Tehničko uputstvo za podešavanje zaštita visokonaponskih vodova, JP EMS, Decembar 2014.
- [4] "Analiza sigurnosti i pouzdanosti rada elektroenergetskog sistema "Elektroprenos-Elektroprijenos BiH" a.d. Banja Luka i mjere za njihovo unapređenje uz implementaciju softvera za podešavanje zaštita," Satum Electric d.o.o. i Elektroenergetski koordinacioni centar d.o.o. Beograd, Decembar 2017.
- [5] F. Calero, A. Guzman, and G. Benmouyal, "Adaptive Phase and Ground Quadrilateral Distance Elements", 2009 by Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.

ABSTRACT

Distance relay is the main protection of power transmission lines. Incorrect setting of the distance relays may cause unnecessary tripping of transmission lines or extended fault clearing time, which further might jeopardize the power system stability and reliability. The setting principles of distance protection of the power transmission lines in Bosnia and Herzegovina are mainly based on common setting rules for transmission lines. The main irregularities of this setting approach are presented in this paper. Different types of fault that might occur on the transmission lines in Bosnia and Herzegovina, for the different circuit breakers position, are simulated in order to check the adequacy of the distance relay settings. The simulations are performed using PSS CAPE software, specialized in the area of relay protection system simulation.

THE MOST COMMON FAILURES WHEN SETTING UP A DISTANCE PROTECTION OF THE POWER TRANSMISSION LINES IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Miljana Todorović, Milorad Zakić