

Podešavanje i ispitivanje distantne zaštite visokonaponskog nadzemnog voda - slučaj iz prakse 400 kV dalekovod Banja Luka 6-Stanari

Dragana Delić

“Elektroprenos-Elektroprijenos BiH” a.d. Banja Luka,
Republika Srpska, BiH
draganamotika@yahoo.com

Sadržaj— Distantna relejna zaštita je, zbog svoje pouzdanosti, u praksi najzastupljenija zaštita visokonaponskih nadzemnih vodova. U ovom radu je analizirana, u praksi primjenjena, distantna zaštita 400 kV dalekovoda (DV) Banja Luka 6 - Stanari, koji je dio prenosne mreže BiH. Objavljen je postupak i date su preporuke za pravilno podešavanje distantne zaštite. Definirane su osnovne funkcije zaštitno upravljačkog uređaja REL, proizvođača kompanije ABB. Definiran je i objašnjen pojam ubrzanja distantne zaštite. Dati su i najvažniji rezultati ispitivanja analizirane zaštite DV-a pomoću ispitnog uređaja CMC 256, proizvođača kompanije OMICRON.

Ključne riječi- distantna zaštita; proradna impedansa; REL 316; REL 531; ispitni uređaj CMC 256;

I. UVOD

Sistem zaštite DV-a obuhvata uređaje relejne zaštite i automatike, opremu za signalizaciju alarma, komunikacijsku opremu za potrebe relejne zaštite i drugo, ugrađene u sekundarni sistem postrojenja, te primarnu opremu za mjerenje pogonskih veličina (mjerni transformatori) i za izvođenje sklopnih radnji koje iniciraju uređaji relejne zaštite (prekidači). Uloga sistema relejne zaštite je na vrijeme otkriti stanja u EES-u pri kojima su prekoračene granične vrijednosti pogonskih veličina i postojanje rizika od širenja poremećaja na veće područje, te eliminisati takvo stanje uz što manje posljedice za EES u cjelini [1].

Korišćenje određenih vrsta zaštite zavisi od više parametara: vrste pogona (prstenasti, radijalni), dužine DV-a, izvedbi DV-a (nadzemni, podzemni, podmorski, složeni, itd.), raspoloživosti komunikacionih resursa (optičke niti, telekomunikacijska oprema, radio veze i sl.), blizini velikih izvora (elektrana), posebnim zahtjevima vlasnika postrojenja ili korisnika mreže i sl. Prema zakonskoj regulativi ne postoje propisane vrste zaštite, već su propisani kriterijumi koje sistem zaštite mora zadovoljiti (brzina reagovanja, sigurnost osoblja, itd.) [2].

Za zaštitu DV-a najčešće se koriste sljedeće funkcije zaštite i automatike: distantna zaštita, prekostrujna zaštita, usmjerena zemljospojna zaštita, poduzna diferencijalna zaštita, zaštita od nesklada polova prekidača, zaštita od preopterećenja i nadnaponska zaštita.

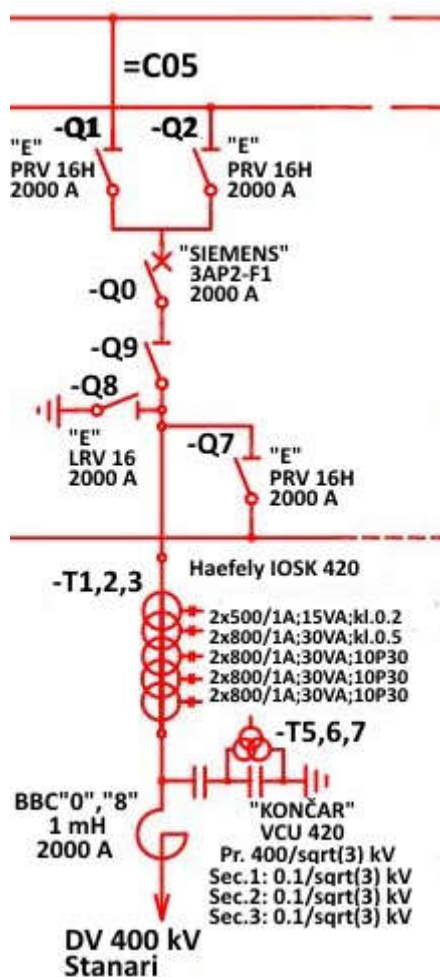
Najsloženija vrsta zaštite je distantna zaštita i to je najčešće korištena funkcija za zaštitu visokonaponskih DV-a od kratkog spoja. Princip rada bazira se na mjerenju trenutnih vrijednosti struja i napona štice objekta i određivanju (proračunu) impedanse pri nastanku kratkog spoja [1]. Uređaj koji sadrži funkciju distantne zaštite ugrađuje se na početku i kraju DV-a i priključuje na strujne i naponske mjerne transformatore radi mjerenja, te na prekidač polja radi obavljanja sklopnih operacija [3]. Na relej se dovode tri fazne struje i tri napona za potrebe distantnog mjerenja, a prema prekidaču se izvodi isključivanje svake faze prekidača posebno, te nalog uklopa. Tako se osigurava da kod nastajanja jednofaznog kvara bude isključena samo jedna faza, čime se osigurava stabilniji pogon EES za vrijeme trajanja kvara.

U drugom poglavlju ovog rada prikazana je izvedba i način implementacije relejne zaštite 400 kV DV-a Banja Luka 6 – Stanari. Predstava i analiza osnovnih funkcija zaštitno-upravljačkih uređaja REL 531 i REL 316, kompanije ABB, je data u trećem poglavlju. Četvrto poglavlje obuhvata procedure i proračun podešenja zaštitnih zona distantne relejne zaštite, kao i opis pojma ubrzanja distantne zaštite. U petom poglavlju su dati rezultati ispitivanja distantne zaštite ispitnim uređajem CMC 256, kompanije Omicron.

II. RELEJNA ZAŠTITA 400 KV DV-A BANJA LUKA 6 - STANARI

Transformatorska stanica 400/110/20 kV Banja Luka 6 je objekat opšteg društvenog značaja, u sastavu elektroprenosnog sistema Bosne i Hercegovine. Ova trafostanica je od posebne važnosti za napajanje električnom energijom šireg područja Krajine. Sa elektroprenosnim sistemom je povezana putem jednog 400 kV DV-a i osam 110 kV DV-a. Na Sl. 1 je prikazano polje 400 kV DV-a Stanari sa pripadajućim aparatima.

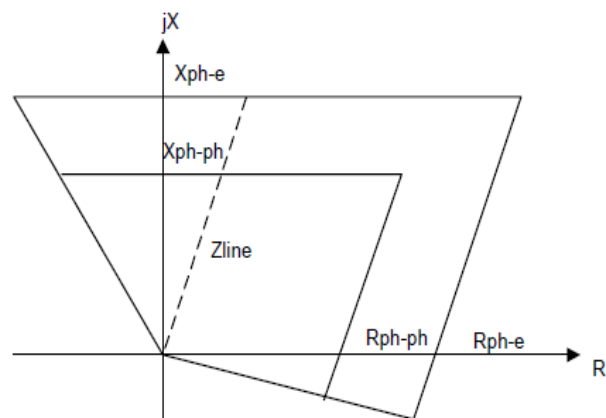
Značaj 400 kV DV-a Stanari je vrlo velik, pa zbog povećanja pouzdanosti, postoje minimalno dva sistema relejne zaštite koja rade istovremeno i djeluju na iste sklopne aparate - prekidače. Obično je praksa da uređaji budu različitih proizvođača i različitih algoritama. DV 400 kV Stanari je zaštićen sa dva zaštitno-upravljačka terminala REL 531 v 2.3 i REL 316, koja pripadaju digitalnoj generaciji opreme kompanije ABB.



Slika 1. Polje 400 kV DV-a Stanari sa pripadajućim aparatima

Kod REL-a za zaštitu DV-a glavni akcenat se stavlja na distantnu zaštitu. Generalno, distantna zaštita je podimpedansna zaštita i prepoznaje kvar ako je izmjerena impedansa manja od podešene. REL konstantno mjeri impedanse kvara za po tri petlje faza-faza i faza-zemlja. Za razliku od većine proizvedenih uređaja, kod REL-a se može nezavisno podešavati doseg po X (R - aktivna impedansa) i Y (X - reaktivna impedansa) osi, kao što je prikazano na Sl. 2, pri čemu oznake imaju sledeća značenja:

- Xph-e – doseg reaktivne impedanse za kvarove faza-zemlja,
- Xph-ph - doseg reaktivne impedanse za kvarove faza-faza,
- Rph-e - doseg aktivne impedanse za kvarove faza-zemlja,
- Rph-ph - doseg aktivne impedanse za kvarove faza-faza,
- Zline – karakteristika šticećenog elementa.



Slika 2. Nezavisno podešavanje dosega distantne zaštite uređaja REL-u 531 v 2.3 za aktivnu i reaktivnu impedansu [4]

Da bi se mogla ostvariti osnovna i rezervna zaštita distantnim relejima i da se pri tome osigura selektivno reagovanje u odnosu na druge zaštite u okolnoj mreži, neophodno je postojanje više distantnih zona.

Osim po različitim vrijednostima impedansi, zbog osiguranja selektivnosti, distantne zone se moraju razlikovati i po vremenu reagovanja. Postoji više vrsta prorađnih karakteristika distantne zaštite, ali pogonska iskustva ističu prednost zaštite sa poligonalnom karakteristikom, zbog mogućnosti nezavisnog podešavanja dosega zaštite u rezistivnom smjeru. To predstavlja značajnu prednost iz razloga što se na mjestu kvara mogu pojaviti povećani otpori (stablo, električni luk ili drugi objekti), pa je u realnim uslovima korisno povećati doseg po R osi.

Sistem zaštite na 400 kV DV-u Stanari realizovan je na način da je TS 400/110/20 kV Banja Luka 6-Stanari:

- snabdjevena sa po dva nezavisna DC izvora napajanja (dva odvojena ispravljača i dvije odvojene AKU baterije) tako da se i prva i druga zaštita (sistemi zaštite) napajaju posebno sa sopstvenih baterija,
- prekidači imaju po dva isključna kruga (dvije isključne špule), koje se napajaju sa različitih AKU baterija i na njih djeluju različite zaštite (na prvi isključni krug prva, a na drugi isključni krug druga zaštita),
- svaka zaštita vezana je na posebno jezgro SMT-a posebnim kablom,
- na DV-nim poljima prva i druga distantna zaštita vezane su svaka na posebno jezgro NMT-a posebnim kablom, gdje god su raspoloživa dva zaštitna jezgra NMT, ili na način da prva zaštita prima mjerene signale napona sa NMT-a u DV-nom polju, a druga sa NMT-a u mjernom polju. U mjerno polje se postavljaju NMT-i koji se priključuju na sabirnice. Mjernih polja u postrojenju po pravilu ima onoliko koliko ima sabirničkih sistema.

III. OSNOVNE FUNKCIJE ZAŠTITNO-UPRAVLJAČKIH UREĐAJA REL 531 I REL 316

Uređaji REL su numerički zaštitno-upravljački uređaji sa naprednim funkcijama. U uređaju REL 531 konfigurirane su distantna, usmjerena zemljospojna, nadnaponska i zaštite od preopterećenja i nesklada polova prekidača. U sklopu uređaja konfiguriran je i sistem automatskog ponovnog uključivanja (APU). Uređaj REL 316 sadrži distantnu zaštitu i zaštitu od otkaza prekidača. Poseban uređaj REC se koristi samo za signalizaciju položaja i za upravljanje aparatima, te za potrebne blokade između aparata. On nema zaštitne funkcije, nego samo realizuje izvršenje uključivanja i isključenja aparata zadatih od strane osoblja. U nekom od ormara koji se koristi za zaštitu transformatora i dalekovoda nalazi se i uređaj za zaštitu sabirnice REB.

Na Sl.3 je prikazan zaštitno upravljački relej REL 531 v 2.3. Program CAP 540 je software za konfigurisanje i podešavanje ABB-ove serije 500 zaštitno-upravljačkih uređaja. Nakon definisanja osnovnih parametara voda posebno se podešavaju blokovi za prvu, drugu i treću zonu distantne zaštite. Na Sl.4 je prikazan dio programa CAP 540, gdje su unešeni podaci o 400 kV DV-u Stanari.



Slika 3. Zaštitno upravljački relej REL 531 v 2.3 [5]

Parameter Name	Terminal Value	PST Value	Unit
Line length	136.30	59.81	
Length unit	km	km	
X1	8.696	3.980	ohms/phase
R1	0.872	0.378	ohms/phase
X0	19.791	8.940	ohms/phase
R0	4.988	2.550	ohms/phase
X1SA	12.000	12.000	ohms/phase
R1SA	2.000	2.000	ohms/phase
X1SB	12.000	12.000	ohms/phase
R1SB	2.000	2.000	ohms/phase
Xm0	0.000	0.000	ohms/phase
Rm0	0.000	0.000	ohms/phase

Slika 4. Tehnički podaci 400 kV DV-a BL6-Stanari unešeni u program CAP 540

IV. PODEŠENJE ZAŠTITNIH FUNKCIJA U REL-OVIMA

Podešenja distantnih zaštita u elektroprenosnoj 400 kV mreži diktira Nezavisni operator sistema Bosne i Hercegovine na osnovu studije podešenja uređaja relejne zaštite u elektroenergetskom sistemu Bosne i Hercegovine iz 2005. godine [2].

Za 400 kV DV Stanari poznate su sljedeće vrijednosti podužnih parametara: $X_l = 0,33 \Omega/\text{km}$, $R_l = 0,0316 \Omega/\text{km}$, $X_0 = 0,747 \Omega/\text{km}$, $R_0 = 0,213 \Omega/\text{km}$. Dužina DV-a je $l = 59,81 \text{ km}$. Na osnovu prethodnih vrijednosti, jednostavno se izračunavaju vrijednosti koncentrisanih parametara DV-a: $X_{lv} = 19,74 \Omega$, $R_{lv} = 1,89 \Omega$, $X_{0v} = 44,69 \Omega$, $R_{0v} = 12,73 \Omega$. Prema sljedećim izrazima moguće je izračunati i vrijednosti koeficijentna kompenzacije nulte komponente struje DV-a u sekundarnom kolu:

$$k_R = \frac{1}{3} \left(\frac{R_{0v} - R_{lv}}{R_{lv}} \right) = 1,91, \quad (1)$$

$$k_X = \frac{1}{3} \left(\frac{X_{0v} - X_{lv}}{X_{lv}} \right) = 0,43. \quad (2)$$

U nastavku je dat proračun podešavanja zona distantne zaštite prema impedansi direktnog redoslijeda, a za kvarove sa zemljospojem izračunate su i odgovarajuće vrijednosti prorađne impedanse nultog redoslijeda. U skladu sa funkcijama analiziranih releja (kvadrilateralna karakteristika) vršen je odvojen proračun po vrijednostima reaktivne i aktivne impedanse.

A. Podešavanje prve zone distantne zaštite

Zbog nepoznavanja tačnih parametara mreže kao i zbog neizbježnih grešaka kod mjerenja, prvi stepen distantne zaštite se podešava tako da ne doseže sabirnice susjednog postrojenja, jer bi moglo doći do neselektivnog djelovanja zaštite. Zbog toga je uobičajena praksa da se prvi stepen podešava na 80 – 85 % impedanse štice elementa bez vremenske zadržke. Prorađna vrijednost reaktanse prvog stepena zaštite se računa na osnovu sljedećeg izraza:

$$X_{prI} = k_s \cdot X_v, \quad (3)$$

gdje su: X_v - reaktansa direktnog redoslijeda nadzemnog voda, $k_s = 0,85$ – koeficijent sigurnosti zaštite.

Usmjerenje prvog stepena distantne zaštite DV-a je unaprijed, pa se prorađna vrijednost reaktanse direktnog redoslijeda mjerne impedanse sa primarne strane računa kao

$$X_{prI} = k_s \cdot X_1 = 0,85 \cdot 19,74 = 16,78 \Omega. \quad (4)$$

Pošto se zaštite u praksi podešavaju prema sekundarnim vrijednostima impedansi, potrebno je definisati koeficijent transformacije impedanse, koji predstavlja količnik prenosnog odnosa strujnog mjernog transformatora i prenosnog odnosa naponskog mjernog transformatora:

$$\frac{1}{k_z} = \frac{k_i}{k_u} = \frac{800}{4000} = 0,2. \quad (5)$$

Na osnovu koeficijenta transformacije moguće je izračunati proradnu vrijednost reaktanse prvog stepena zaštite na sekundaru kao

$$X_{prIsec} = \frac{X_{prI}}{k_z} = \frac{16,78}{5} = 3,36 \Omega. \quad (6)$$

Prilikom podešavanja prvog stepena aktivne otpornosti distantne zaštite nije praktično zanemariti otpornost na mjestu kvara zbog čestog postojanja električnog luka. Pa je iskustveno usvojena proradna vrijednost aktivnog dijela impedanse na primaru za međufazne kratke spojeve $R_{Iph-ph} = 50 \Omega$ i za kratke spojeve sa zemljospojem $R_{Iph-e} = 60 \Omega$. Odgovarajuće sekundarne vrijednosti su: $R_{Isec-ph-ph} = 10 \Omega$ i $R_{Isec-ph-e} = 12 \Omega$.

Za kvarove sa zemljospojem veoma često se računaju i vrijednosti proradne impedanse nultog redoslijeda, za šta se koristi koeficijent kompenzacije nulte komponente struje. Proradna vrijednost reaktanse nultog redoslijeda se računa prema izrazu:

$$X_{prI0sec} = X_{prIsec} \cdot (1 + k_x). \quad (7)$$

Pa vrijednost proradne reaktanse nultog redoslijeda prvog stepena zaštite iznosi $X_{prI0sec} = 4,8 \Omega$. Prvi stepen zaštite se projektuje da reaguje bez vremenske odgode.

B. Podešavanje druge zone distantne zaštite

Druga zona distantne zaštite pokriva preostali dio nadzemnog voda štićenog prvim stepenom i dio susjednog elementa (drugi nadzemni vod ili transformator). Drugi stepen mora imati doseg od minimalno 120% dužine štićenog nadzemnog voda i vrijednost njegove proradne reaktanse se računa prema izrazu:

$$X_{prI_{v2}} = 0,85 \cdot 25,7 = 21,85 \Omega \quad (X_{v2} = 25,7 \Omega), \quad (8)$$

gdje su: k_{gr} - koeficijent grananja struje kvara i $X_{prI_{v2}}$ - proradna vrijednost prvog stepena distantne zaštite susjednog nadzemnog voda (Stanari - Tuzla: 77,88 km). Na osnovu praktičnih podataka definišu se vrijednosti $k_{gr} \approx 1$ i

$$X_{prI_{v2}} = 0,85 \cdot 25,7 = 21,85 \Omega \quad (X_{v2} = 25,7 \Omega). \quad (9)$$

Vrijednost proradne reaktanse drugog stepena zaštite na primaru iznosi $X_{prII} = 35,35 \Omega$. Odgovarajuća vrijednost na sekundaru je $X_{prIIsec} = 7,07 \Omega$. Drugi stepen zaštite pokriva 179% dužine štićenog voda, što je veće od minimalno potrebne vrijednosti dužine štićenog voda $l_{min} = 1,2l_v$.

Analogno kao za prvi stepen zaštite, moguće je izračunati vrijednost proradne reaktanse nultog redoslijeda drugog stepena zaštite (prema izrazu (5)), koja iznosi $X_{prII0sec} = 10,11 \Omega$.

Proradne vrijednosti aktivnih dijelova impedanse na sekundaru, za međufazne i otočne kratke spojeve, su: $R_{IIsec-ph-ph} = 12 \Omega$ i $R_{IIsec-ph-e} = 14 \Omega$. Vrijeme reagovanja drugog stepena treba da je za vremenski interval $t = 0,3-0,5$ s veće od djelovanja dalekovodnih zaštita ili zaštita transformatora od unutrašnjih kvarova. Pošto distantne zaštite dalekovoda i

transformatorske zaštite od unutrašnjih kvarova djeluju trenutno, usvojeno vremensko zatezanje drugog stepena distantne zaštite je 0,35 s, za sve kvarove.

C. Podešavanje treće zone distantne zaštite

Treći stepen zaštite je podešen tako da dužina njegove zone ne prelazi 90% minimalno potrebne dužine drugog stepena zaštite bilo kog susjednog nadzemnog voda, ali da istovremeno štiti kompletne dužine svih susjednih vodova (uloga rezervne zaštite):

$$X_{prIII} = X_v + 0,9 \cdot k_{gr} \cdot 1,2 \cdot X_{v2}, \quad (10)$$

pa proradna vrijednost trećeg stepena zaštite iznosi $X_{prIII} = 90 \Omega$. Odgovarajuća sekundarna vrijednost iznosi $X_{prIIIsec} = 18 \Omega$.

Analogno kao za prva dva stepena zaštite, moguće je izračunati vrijednost proradne reaktanse nultog redoslijeda trećeg stepena zaštite (prema izrazu (5)), koja iznosi $X_{prIII0sec} = 25,7 \Omega$.

Proradne vrijednosti aktivnih dijelova impedanse na sekundaru, za međufazne i otočne kratke spojeve, su: $R_{IIsec-ph-ph} = 16 \Omega$ i $R_{IIsec-ph-e} = 20 \Omega$.

Podešenje treće zone zaštite treba uporediti sa minimalnom vrijednošću impedanse, koja se pojavljuje kao rezultat velikog opterećenja:

$$Z_{min} = \frac{0,9 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot 1,2 \cdot I_{max}}, \quad (11)$$

pa je minimalna vrijednost impedanse $Z_{min} = 180,6 \Omega$ (struja maksimalnog opterećenja iznosi $I_{max} = 960$ A).

Može se zaključiti da minimalna vrijednost impedanse opterećenja ne prelazi proradnu vrijednost impedanse trećeg stepena zaštite. Vremensko zatezanje trećeg stepena distantne zaštite je podešeno na vrijednost 600 ms.

D. Ubrzanje distantne zaštite

Koncepcija distantne zaštite sa komunikacijom među relejima zahtijeva pouzdane veze za prenos kriterijuma reagovanja. Relej koji detektuje kvar u prvoj zoni zaštite šalje signal za ubrzanje djelovanja na drugi kraj voda. Ukoliko je relej koji je primio signal, detektovao kvar u zoni pobude, on izdaje nalog za ubrzano isključenje, bez obzira na podešenu vremensku odgodu u višim zonama zaštite. Distantna zaštita treba da radi sa ubrzanjem po PUTT („permissive underreach“) šemi, sa prenosom signala ubrzanja na drugi kraj voda po uređaju SWT3000.

V. ISPITIVANJE DISTANTNE ZAŠTITE

A. Ispitni uređaj CMC 256

Ispitivanje digitalnih relejnih zaštita dalekovoda se obavlja generisanjem struja iz ispitnog uređaja CMC 256-6. Ispitni uređaj CMC 256 je proizvod kompanije Omicron [7]. Omicron-ovi uređaji su najtraženiji u oblasti ispitivanja zaštitno-upravljačkih uređaja, prije svega zbog velikih mogućnosti koje nudi prateći program kojim se upravlja hardverskim uređajem Test Universe. CMC 256 može generisati 6 struja i 4 napona, te svaku veličinu posebno podešiti po amplitudi, frekvenciji i faznom stavu. Na Sl.5 je prikazan uređaj CMC 256, kojim je izvršeno ispitivanje numeričkih releja. Sa analognih izlaznih kanala CMC 256 generiše struje i napone prema releju, a na binarnim ulaznim kanalima prate se odzivi releja. Ormari zaštite i upravljanja su opremljeni ispitnom utičnicom RTXP 24 preko koje prelaze struje od SMT-a do releja, kao i signali isključenja od releja ka prekidačima. Kada se priključi odgovarajući utikač, u utičnici se razdvoje signali isključenja releja ka prekidaču, kao i strujni signali od strujnih mjernih transformatora. U tom smislu, ispitna utičnica izoluje relej od ostalog postrojenja.



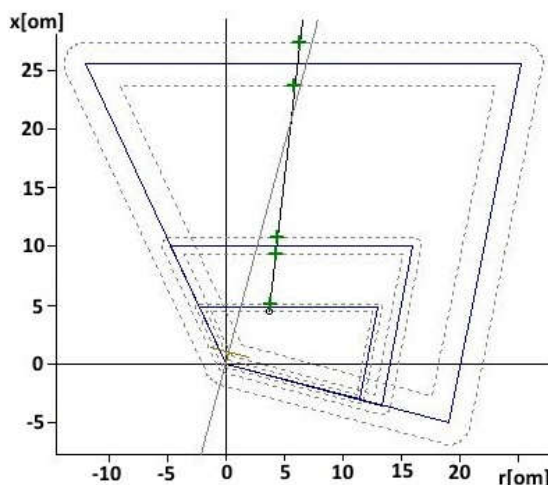
Slika 5. Ispitni uređaj CMC 256 kompanije Omicron

Na osnovu podešenja distantnih zaštitnih funkcija iz REL-a se izveze dokument sa podešenjima. Na osnovu tog dokumenta Omicron-ov Test Universe, automatski kreira Advanced Distance modul za ispitivanje distantnih zaštitnih funkcija. Taj modul provjerava vremena prorade releja zadavanjem kvarova na početku i na kraju svakog od aktiviranih stepena distantne zaštite. Kako su aktivirana tri stepena, ispituju se proradna vremena na kraju prvog, zatim na početku dugog stepena, onda na kraju drugog, pa na početku trećeg stepena i za kraj provjera da li relej reaguje na kvarove izvan trećeg stepena. Ispituju se sve moguće petlje kvara (L1-E, L2-E, L3-E, L1-L2, L2-L3, L3-L1, L1-L2-L3) u svakom od ova tri stepena, te se provjerava neregovanje za kvarove izvan trećeg stepena.

B. Rezultati ispitivanja distantne zaštite 400 kV DV-a Stanari

U nastavku su prikazani rezultati testiranja REL 531 za slučajevne petlje kvara L1-E, L1-L2 i L1-L2-L3. Prvi stepen zaštite je podešen kao trenutni, drugi stepen je podešen na vremensku odgodu 350 ms, dok je treći stepen podešen na vremensku odgodu 650 ms.

Na Sl.6 je prikazan grafik u R-X ravni ispitivane distantne zaštite za petlju kvara L1-E.



Slika 6. R-X ravan sa vrijednostima ispitne impedanse za testiranje distantne zaštite za petlju kvara L1-E

Sa prethodnog grafika se mogu uočiti zadate radne tačke (zeleni krstići na slici) koje odgovaraju ispitnim vrijednostima impedanse. Podešene granice zona reagovanja su obilježene punom linijom i odgovaraju izračunatim vrijednostima za slučaj kvara sa zemljospojem (prikazane su vrijednosti reaktansi nultog redosljeda). Zeleni krstić označava radnu tačku u kojoj je ispravno vrijeme reagovanja distantne zaštite, odnosno da relej ispravno detektuje i šalje naloge za isključenja u odgovarajućim vremenskim intervalima. Vrijeme reagovanja je ispitano u svim zonama zaštite i odgovarajući rezultati su prikazani u Tab.I.

Tab. I – Rezultati ispitivanja distantne zaštite za petlju kvara L1-E

$ Z $	Phi	t nom	t act.	Result
6,373 Ω	53,33 °	350,0 ms	385,1 ms	Passed
10,25 Ω	65,35 °	350,0 ms	389,2 ms	Passed
11,65 Ω	67,60 °	650,0 ms	685,6 ms	Passed
24,45 Ω	76,06 °	650,0 ms	684,3 ms	Passed
28,15 Ω	77,06 °	no trip	no trip	Passed

Na osnovu rezultata iz prethodne tabele može se zaključiti da je relej ispravno reagovao za sve testirane slučajevne kvara. Svaka zadata radna tačka u R-X ravni je definisana efektivnom vrijednošću (modulom) i uglom impedanse. Za testiranje slučajeva kvara zadaju se veći uglovi induktivne impedanse u odnosu na režim normalnog opterećenja, jer se radi o slučaju direktno uzemljenih mreža. U Tab. II i Tab. III su prikazani rezultati ispitivanja distantne zaštite za slučaj petlje kvara L1-L2 i L1-L2-L3, respektivno.

Tab. II – Rezultati ispitivanja distantne zaštite za petlju kvara L1-L2

$ Z $	Phi	t nom	t act.	Result
4,668 Ω	41,89 °	0,000 s	33,30 ms	Passed
5,101 Ω	44,95 °	350,0 ms	383,4 ms	Passed
7,913 Ω	55,97 °	350,0 ms	381,9 ms	Passed
8,928 Ω	58,14 °	650,0 ms	685,1 ms	Passed
18,20 Ω	66,56 °	650,0 ms	684,9 ms	Passed
20,88 Ω	67,59 °	no trip	no trip	Passed

Tab. III – Rezultati ispitivanja distantne zaštite za petlju kvara L1-L2-L3

$ Z $	Phi	t nom	t act.	Result
4,668 Ω	41,89 °	0,000 s	29,60 ms	Passed
5,101 Ω	44,95 °	350,0 ms	383,7 ms	Passed
7,913 Ω	55,97 °	350,0 ms	386,2 ms	Passed
8,928 Ω	58,14 °	650,0 ms	676,1 ms	Passed
18,20 Ω	66,56 °	650,0 ms	680,3 ms	Passed
20,88 Ω	67,59 °	no trip	no trip	Passed

Na osnovu rezultata prikazanih u prethodnim tabelama može se zaključiti da distantna zaštita ispravno reaguje i za petlje kvara L1-L2 i L1-L2-L3. Nakon kompletnog ispitivanja distantne zaštite (sve petlje kvara i radne tačke u svim zonama zaštite) utvrđeno je da su greške u dozvoljenim granicama i da je 400 kV DV Stanari adekvatno zaštićen.

ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana relejna zaštita DV-a 400 kV koji spaja transformatorsku stanicu Banja Luka 6 i Stanari. S obzirom na važnu ulogu u elektroprenosnom sistemu, DV-i napona 400 kV zahtijevaju pouzdan i redundantan sistem relejne zaštite. Osnovni doprinos ovog rada je prikaz procedure podešavanja i testiranja praktične distantne zaštite, koja je već

godinama u pogonu. Distantni releji su ispitivani zadavanjem tačaka kvara u svakom stepenu i za sve petlje kvara (jednofazni, dvofazni i trofazni kvarovi). Osnovni cilj je bio provjeriti odzive releja na krajevima zona zaštite. Pokazano je da su distantni releji ispravno prepoznavali kvarove i da su vremena reagovanja minimalno odstupala od podešenih.

LITERATURA

- [1] F. Božuta, *Relejna zaštita elektroenergetskih postrojenja*, Svjetlost, Sarajevo 1974.
- [2] H. Ferizović, *Podešenje uređaja relejne zaštite u EES-u BiH*, Zajednički Elektroenergetski Koordinacioni Centar, Sarajevo, 2005.
- [3] M. Đurić, Z. Stojanović, *Relejna zaštita*, Kiz "CENTAR", Beograd, 2014.
- [4] H. Požar, *Visokonaponska rasklopna postrojenja, ITP Tehnička knjiga, Zagreb, 1990.*
- [5] Upustvo za upotrebu: Line distance protection terminal, Technical reference manual REL531*2.3, ABB.
- [6] Upustvo za upotrebu: Line distance protection terminal, *Technical reference manual REL316*, ABB.
- [7] Upustvo za upotrebu: CMC 256, *Reference Manual*, Omicron, 2004.

ABSTRACT

Distance relay protection is the most frequently applied protection for high voltage overhead lines. This paper analyzes distance protection of 400 kV transmission line Banja Luka 6-Stanari, which represents the part of the transmission network of BiH. The procedure for correct setup of distance protection is explained and corresponding recommendations are given. Basic functions of the control-protective device REL, from the manufacturer of ABB, are defined. Accelerated operation of distance relays is also explained. The most important testing results, achieved by using test device CMC 256, manufactured by OMICRON, for protection of transmission line Banja Luka 6-Stanari are presented in the paper.

SETTING AND TESTING OF DISTANCE PROTECTION OF HIGH VOLTAGE OVERHEAD LINE - THE ACTUAL FIELD CASE OF 400 KV TRANSMISSION LINE BANJA LUKA 6-STANARI

Dragana Delić