

PREDNOSTI SAVREMENE MIKROPROCESORSKE ZAŠTITE U ODNOSU NA ELEKTROMEHANIČKU ZAŠTITU DALEKOVODA

Dragan Brajović¹, Vladimir Petković²

REZIME

Od početka praktične primene električne energije razvijali su se i sistemi za zaštitu elemenata elektroenergetskog sistema. Do danas, u tehnološkom smislu, razvijene su tri generacije zaštitnih releja: elektromehanički, analogni elektronski i digitalni releji. Zaštitni releji prve dve generacije su monofunkcionalni, tj. svaka zaštitna funkcija zahteva poseban uređaj. Digitalna tehnologija treće generacije omogućava da jedan hardverski uređaj obavlja više zaštitnih funkcija. U ovom radu prikazano je ispitivanje funkcionalnosti dva zaštitna releja različitih generacija, elektromehaničkog i mikroprocesorskog. Na osnovu rezultata ispitivanja i karakteristika releja, akcentat je stavljen na bitne razlike između prve i treće generacije koje proističu iz mogućnosti koje pruža nova digitalna tehnologija.

Ključne reči: Relejna zaštita, elektromehanički releji, mikroprocesorski releji, relej BBC LZ3-3, relej ABB REL650, analiza.

ADVANTAGES OF MODERN MICROPROCESSOR PROTECTION IN RELATION TO ELECTROMECHANICAL PROTECTION OF TRANSMISSION LINES

ABSTRACT

Since the beginning of the practical application of electricity, systems have been developed to protect the elements of the power system. To date, in terms of technology, three generations of protection relays have been developed: electromechanical, analog electronic and digital relays. Protective relays of the first two generations are monofunctional, namely each protective function requires a separate device. Third-generation digital technology allows one hardware device to perform multiple protective functions. This paper presents the testing of the functionality of two protective relays of different generations, electromechanical and microprocessor. Based on the results of the tests and the characteristics of the relay, the emphasis is placed on the important differences between the first and third generation that arise from the possibilities provided by the new digital technology.

Keywords: Relay protection, electromechanical relays, microprocessor relays, BBC LZ3-3 relay, ABB REL650 relay, analysis.

1. UVOD

Detekcija smetnji u realnom vremenu i automatsko sprečavanje i otklanjanje kvarova na mreži su imperativ za efektivno upravljanje elektroenergetskim sistemima u 21. veku. Sami proizvođači i distributeri električne energije, zahvaljujući novim tehnologijama, podižu lestvicu kvaliteta svojih usluga ka krajnjim korisnicima koja danas podrazumeva proizvodnju dovoljne količine kvalitetne električne energije bez prekida u napajanju. Svesne da čak i najmanja nepravilnost u radu može izazvati dugotrajne zastoje u proizvodnji električne energije, koji za sobom vuku ogromne finansijske gubitke, kompanije se oslanjaju na pametne sisteme relejne zaštite. Njihov zadatak je da preduprede havarije sistema i smanje operativne troškove i rizike u proizvodnji, prenosu i isporuci električne energije do krajnjih korisnika. Danas je ispravnost relejne zaštite moguće proveriti ispitnim uređajima raznih proizvođača. Na taj način omogućava se nesmetan rad distributivnog i prenosnog EES-a, a samim tim i snabdevanje potrošača električnom energijom.

2. POJAM RELEJNE ZAŠTITE I NJENA PRIMENA

Pod pojmom relejna zaštita podrazumeva se skup uređaja (releji, merni transformatori, prekidač) koji se koriste za zaštitu elementa ili dela elektroenergetskog sistema (sabirnice, vodovi, transformatori, generatori, motori, kondenzatori).

¹ Fakultet tehničkih nauka, Svetog Save 65, Čačak

² AD „Elektromreža Srbije“, Beograd, pogon Kruševac, Slovenska 2, Kruševac

Relejna zaštita elektroenergetskih postrojenja trajno kontroliše karakteristične električne ili druge veličine (struju, napon, temperaturu i sl.) šticeenog objekta. U slučaju pojave kvara ili opasnog pogonskog stanja, automatski uključuje zaštitne sisteme neophodne da bi se kvar eliminisao ili minimizovale njegove posledice. Element ili deo elektroenergetskog sistema koji se štiti odgovarajućim relejom, predstavlja zonu šticeenja tog releja. Drugim rečima, svaki kvar koji se javi unutar zone šticeenja releja, mora biti detektovan i eliminisan tim relejom. Ta zona se tada naziva osnovna zona šticeenja releja. Međutim, neki releji u sistemu mogu da detektuju i kvarove van osnovne zone šticeenja, obično u susednim zonama i tada predstavljaju rezervnu zaštitu elemenata u susednoj zoni.

2.1. Opšti zahtevi relejne zaštite

Da bi relejna zaštita mogla uspešno da obavi svoju veoma važnu funkciju, ona mora da zadovolji nekoliko opštih zahteva:

- **Selektivnost.** To je sposobnost relejne zaštite da izoluje samo element koji je pogođen kvarom. To znači da se prilikom kvara automatski iz pogona isključuje samo onaj element sistema koji je u kvaru, dok preostali deo sistema ostaje normalno u pogonu.
- **Brzina delovanja/reagovanja.** Da bi se izbegle mnoge štetne posledice koje se javljaju prilikom kvarova u EES-u, kvarove treba što je moguće brže otkloniti. Velika brzina rada relejne zaštite uslovljena je potrebom očuvanja stabilnosti sinhronih mašina u EES-u, kao i neophodnošću sprečavanja težih havarija na skupocenoj opremi (sinhroni generatori, energetski transformatori, prekidači...).
- **Osetljivost.** Veoma važno svojstvo relejne zaštite je njena osetljivost na sve kvarove unutar podešene zone delovanja (šticeenja). Zaštitni uređaji moraju da budu dovoljno osjetljivi da sa sigurnošću deluju prilikom pojave kvara u osnovnoj i rezervnoj zoni šticeenja, pri najnepovoljnijim uslovima.
- **Pouzdanost.** Veoma važan je i zahtev/osobina da uređaji relejne zaštite moraju biti veoma pouzdani. Iako ovi uređaji mogu dugo vremena biti u stanju mirovanja, pri nastanku kvara za čije su eliminisanje odgovorni, oni moraju pouzdano da reaguju.

3. OSNOVNE PODELE ZAŠTITNIH RELEJA

Od kraja 19.veka do danas u tehnološkom smislu razvijene su tri generacije zaštitnih releja:

- 1) Elektromehanički zaštitni releji;
- 2) Analogni elektronski (statički) zaštitni releji;
- 3) Zaštitni releji zasnovani na mikroprocesorima i računarima (mikroprocesorski releji).

Prva osmišljena zaštita je upravo elektromehanička zaštita. Ova zaštita je dobila naziv po elektromehaničkim relejima koji se koriste.

Uvođenje statičkih releja započeto je početkom 1960-ih. Njihova konstrukcija se zasniva na upotrebi analognih elektronskih uređaja umesto zavojnica i magneta za stvaranje karakteristika releja.

Mikroprocesorska zaštita je vrsta relejne zaštite koja se koristi poslednjih 20-ak godina i čija je primena, u današnje vreme, nezaobilazna. Njen nastanak se vezuje za otkiće poluprovodne tehnike. Numerički releji bazirani su na primeni mikroprocesora i računarskog programa (softvera) koji zamenjuje osnovne principe delovanja relejne zaštite. U jednoj fizički samostalnoj jedinici poseduju istovremeno više zaštitnih funkcija.

4. ZAŠTITA DUGAČKOG NADZEMNOG VODA

Ukoliko se vod deklarise kao dugačak vod, koristi se, jedan zaštitni uređaj (**glavna zaštita**) koji ima sledeće funkcije:

- distantna zaštita (21) sa kvadrilateralnom karakteristikom, na podimpedantnom principu sa najmanje pet vremensko - distantna stepena, od čega najmanje dva stepena moraju imati softverski podesivo usmerenje (PDIS);
- funkcija jednopolnog i trolnog (1p+3p) automatskog ponovnog uključanja (APU) (79);
- višestepena trofazna prekostrujna zaštita (50/51);
- višestepena zemljospojna zaštita (51N);
- usmerena zemljospojna zaštita (67N);
- zaštita od preopterećenja (49) sa mogućnošću eksterne blokade (preklopka);
- zaštita od prekida provodnika (46 BC), odnosno zaštita od trajnog nesimetričnog opterećenja;
- zaštita od uključanja na kvar (SOTF);

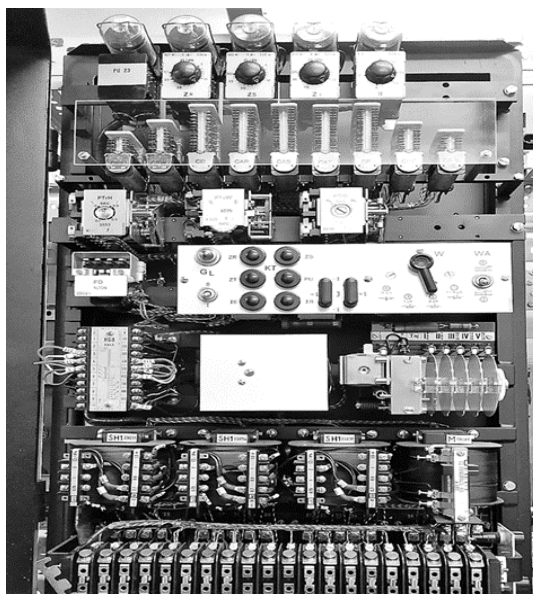
- zaštita od otkaza prekidača (50BF);
- funkcija komunikacije između zaštitnih uređaja na krajevima dalekovoda (85) za distantnu i usmerenu zemljospojnu zaštitu;
- blokade zaštite pri njihanju snage u mreži (21 PSB);
- funkcija detekcije slabog napajanja kvara (weak end infeed) povezana u telekomandna kola;
- kontrola sinhronizma pri 3p APU;
- funkcija nadzora sekundarnih kola;
- funkcija hronološke registracije događaja (event recorder);
- funkcija snimanja poremećaja u mreži (disturbance recorder);
- funkcija lokatora kvara (fault locator);
- funkcija samonadzora (self supervision);
- monitoring ulaznih mernih veličina na sopstvenom displeju;
- interna signalizacija delovanja zaštite;
- mogućnost setovanja radnih i funkcionalnih parametara preko tastature sa samog relea (HMI/MMI) i eksterno putem računara;

I jedan zaštitni uređaj (**rezervna zaštita**), sa ugrađenim sledećim funkcijama:

- višestepena trofazna prekostrujna zaštita (50/51);
- višestepena zemljospojna zaštita (50N/51N);
- usmerena zemljospojna zaštita (67N);
- funkcija hronološke registracije događaja;
- funkcija snimanja poremećaja u mreži;
- funkcija samonadzora;
- monitoring ulaznih mernih veličina na sopstvenom displeju;
- interna signalizacija delovanja zaštite;
- mogućnost setovanja radnih i funkcionalnih parametara preko tastature sa samog relea (HMI/MMI) i eksterno putem računara;

5. ELEKTROMEHANIČKI ZAŠTITNI UREĐAJ BBC LZ3-3

Distantni releji tipa LZ3-3 predviđeni su za zaštitu nadzemnih vodova u mrežama srednjeg i visokog napona kod kojih je reaktansa veća od otpornosti. U pitanju je jednosistemska distantna zaštita (jedan merni organ za sve vrste kvarova) zbog čega se koristi prevashodno za zaštitu 110kV i 220kV dalekovoda (sporija je od višesistemskih, na primer *BBC L8a* koji se koristi za 400kV vodove). Na slici 5.1. prikazan je izgled distantnog zaštitnog uređaja BBC LZ3-3.



Slika 5.1. Elektromehanički distantni relej BBC LZ3-3

Ovi releji otkrivaju međufazne dvopolne i trolpolne kratke spojeve i:

- a) kod direktno uzemljenih mreža: kratke spojeve između jedne faze ili više faza i zemlje;
- b) kod izolovanih mreža ili mreža uzemljenih preko impedanse: dvostruke zemljospojeve.

Pobuda se ostvaruje merenjem impedanse, odnosno struje neuravnoteženja. Radna impedansa ovih releja je kontinualno podešiva u širokim granicama i nezavisna je od veličine struje za vrednosti veće od $3,5I_n$. Da bi se povećao opseg zaštite za male struje, releji su tako konstruisani da podudna impedansa, za male struje, bude veća od podešenih vrednosti. Kada napon pada ka nuli, oni deluju kao strujni releji privlačeci na $0,25I_n$. U slučaju kratkog spoja između faze i zemlje delovaće zemljospojni relej IE.

Merenje daljine i određivanje smeru kvara ostvaruje se preko mernog sistema (M+PU). Na taj način se u dijagramu R-X, dobijaju karakteristike isključenja u formi kruga kod koga položaj centra i radijusa zavise od vrste kvara i impedanse napajanja. Nezavisno od vrste kvara i eventualne superpozicije radnih struja, struja opterećenja i kompezacije, uvek se meri fazna impedansa voda (direktna komponenta).

Vreme isključenja delovanjem zaštitnog uređaja podešeno je po stepenima. Radna karakteristika ima 4 stepena od kojih poslednji nije usmeren. Svaki od stepena isključenja može se nezavisno i kontinualno podešavati od 0,1 do 5s. Najkraće vreme delovanja je releja je $40 \pm 5ms$.

Glavni elementi distantnog elektromehaničkog releja LZ3-3 su:

- Podimpedantni relej, tip Z - distantni relej ima u svakoj fazi po jedan podimpedantni relej, dakle ukupno 3, koji služe kao pobudni organi. Njihove oznake po fazama su ZR, ZS i ZT, a pored njih postoji i zemljospojni relej IE. Oni su ti koji pri pojavi kvara u određenoj zaštitnoj zoni otkrivaju smanjenje impedanse faze u kvaru i tako određuju vrstu kvara.

Njihovo delovanje dovodi do stavljanja pod napon pomoćnih kontaktora CAR, CAS ili CAT sa kojima su vezani. Ovi kontaktori pripremaju kolo isključenja i vrše potrebna prespajanja u cilju da se na elemente za određivanje smeru i daljine dovedu struje i naponi koji odgovaraju vrsti kvara.

- Zemljospojni relej IE - deluje u slučaju zemljospoja, odnosno kada se pojavi struja neuravnoteženja (homopolarna) koja prelazi podešenu graničnu vrednost. Struja delovanja može se podešavati na potenciometru od 0,2 do $2I_n$, a preporuka je da zemljospojni relej IE ne treba da bude podešen ispod vrednosti $0,5I_n$, iz sledećih razloga:

- a) da bi se izbeglo nepoželjno reagovanje u slučaju kratkog spoja sa velikom strujom (međufazni dvopolni i trolni kratki spoj);
- b) da bi IE otpustio za vreme beznaponske pauze koja dolazi posle jednopolnog isključenja, tj. kratkog spoja faza–zemlja.

- Vremenski relej T za podešavanje stepenaste karakteristike - vremenski relej čine 5 segmenata koji mogu da se podešavaju nezavisno jedan od drugog. Sekundarna skala podeljena podešavanjem od 0,1s utisnuta je na svakom od ovih segmenata. U I stepenu elektromehanički relej LZ3-3 deluje u najkraćem vremenu oko $45ms$ i ono se naziva sopstveno vreme releja. Delovanje u II stepenu vremenski se podešava na $400ms$, a u III stepenu na $800ms$ za nadzemne vodove $110kV$ i $220kV$. Disk T IV vremenskog releja podešen je na vrednost 0,6 sek. Razlog tome je da kvarovi koji nisu brzo eliminisani (tokom prvih $0,5s$) nemaju izgleda da će biti ugašeni za vreme beznaponske pauze pošto je vazduh na mestu kratkog spoja još uvek jako jonizovan. Zbog toga se ovi kvarovi koji dugo traju uvek isključuju trofazno definitivno.

- Transformator za impedantno podešavanje HG8 - služi za impedantno podešavanje stepena distantne zaštite u procentima. Realizuje se pomoću 4 fleksibilna priključka za jedinačne i 4 za decimalne veze.

- Vremenski releji - PTrH (relej sa vremenskim zatezanjem za blokadu VF isključenja, normalno podešavanje $0,2s$), PTrW (relej sa vremenskim zatezanjem za definitivno isključenje, normalno podešavanje $0,3s$), PTrW (relej sa vremenskim zatezanjem za vremensku blokadu u slučaju rada sa ponovnim uključenjem, normalno podešavanje $5s$).

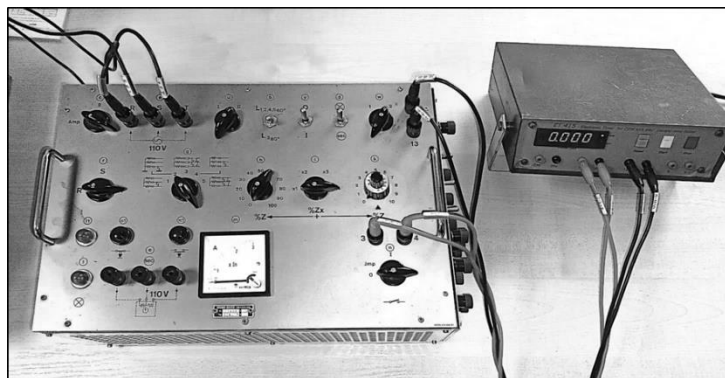
- Ispitne kleme – montirane su u unutrašnjosti releja, na lako pristupačnom mestu, omogućavaju lako odvajanje distantnog releja od mrežnih mernih transformatora i kola isključenja prekidača. Na taj način omogućeno je kompletno ispitivanje releja bez njegove demontaže, uz pomoć specijalnog ispitnog uređaja BB (*Brown-Boweri*). Uloga kontakata ispitnih kleva je sledeća:

- kontakti 1...4 - sekundarne struje (sa metalnim mostom za kratko spajanje);
- kontakti 5...8 - sekundarni naponi;
- kontakti 9...11 - napajanje ispitnog kofera (naizmenični napon $100V$ sa sekundara NMT);
- kontakt 12 - impuls isključenje prekidača;
- kontakt 13 - komandni plus potencijal (+);
- kontakti 14...20 - signalizacija .

- Automatsko ponovno uključenje APU - funkcija ponovnog automatskog uključanja (APU), ostvaruje se pomoću 2 uređaja koji su međusobno povezani : CW6A+CW6B. Režimi rada APU-a su:
 - (1+3ph) - ponovno jednopolno za monofazne i trolpolno isključenje za višefazne kvarove.
 - (3ph) - trolpolno ponovno uključenje. Svaki kvar dovodi do isključenja i ponovnog uključanja sva tri pola prekidača.
 - (1ph) - jednopolno isključenje i uključenje za kvarove između faze i zemlje, polom prekidača faze u kvaru. Za međufazne dvopolne ili trolpolne kvarove, isključenje je uvek trolpolno i definitivno.
 - (3ph) - rad bez ponovnog uključanja. Svi kvarovi dovode do trolpolnog definitivnog isključenja.

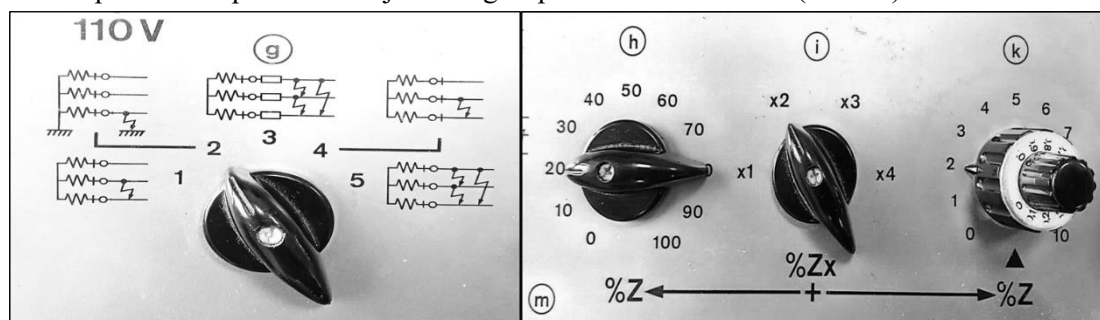
5.1. Ispitivanje distantnog releja BBC LZ3-3

Elektromehanički distantni relej LZ3-3 ispituje se pomoću specijalno predviđenog ispitnog uređaja BB (*Brown-Boweri*) koji omogućava da se pokaže numerička podudarnost radnih veličina (veličina delovanja) sa onim iz grafika regulacije, tj. koji omogućava da se izvrši kvantitativna provera releja. Ovo ispitivanje uključuje proveru svih elemenata releja: releja za deblokiranje, kontaktora za isključenje, mernog sistema i vremenskih releja. BB ispitni uređaj za ispitivanje releja dat je na slici 5.2.



Slika 5.2. BB ispitni uređaj za ispitivanje releja LZ3-3

Na ispitni uređaj se priključuje digitalna štoperica (230V, 50Hz) koja služi za precizno vremensko umeravanje svih unapred podešenih parametara. Napajanje uređaja realizuje se pomoću naizmeničnog napona vrednosti 100V, koji se dobija iz sekundarnih kola naponskog mernog transformatora. Provodnicima se ostvaruje veza između ispitne lajsne (kontakti 9,10,11) susednog polja u pogonu i naponskih ulaza na samom ispitnom uređaju. Na ispitnom uređaju BB postoje preklopke kojima se vrši izbor faze u kojoj će se simulirati kvar, vrsta kvara (slika 5.3.a), kao i preklopke za precizno umeravanje vrednosti impedanse na početku i kraju svakog stepena distantne zaštite (sl.5.3.b).



Slika 5.3. a) Izbor vrste kvara

b) Podešavanje vrednosti impedanse

Pre povezivanja ispitnog češlja sa kontaktima ispitne lajsne, moraju se prvo delovi za rastavljanje ispitnih klema dovesti u horizontalan položaj i tako se prekinuti veza između zaštitnog uređaja i ostalih elemenata u tom polju, kao i postaviti most između klema 1-4, čime se vrši kratko spajanje sekundarnih struja.

5.2. Ispitna lista

Ispitna lista, tj. izveštaj o ispitivanju zaštitnog distantnog releja BBC LZ3-3 popunjava se u 2 primerka (za objekat i za službu koja vrši ispitivanje). Ispitivani zaštitni relej ugrađen u TS 400/110kV Kragujevac 2 i služi za zaštitu davekovoda nazivnog napona 110kV br.186B pravac TS Kragujevac 8.

Na početku tipične ispitne liste popunjavaju se podaci o stićenom objektu tj. dalekovodu (njegov pravac, oznaka polja, naponski nivo kao i broj). Takođe se upisuju i osnovni podaci o zaštiti (tip zaštitnog

uređaja, fabrički broj, nominalna struja, nominalni napon, tip APU-a, podaci o strujnim i naponskim mernim transformatorima). Odmah ispod ovih podataka, ispitni list je podeljen na četiri sekcije, i to:

I. Podešeno na releju. U prvoj sekciji upisuju se podaci o podešenim vrednostima na releju, odnosno podešavanja kao što su pobuda, stepeni distantne zaštite (%), vremenska zatezanja, podešavanja pomoćnih releja, položaj preklopki i način rada APU-a.

II. Ispitivanje pobudnih vrednosti impedanse. U ovom delu nalaze se podaci o vrstama kvarova, podešenoj impedansi distantnih stepena (%), izmerene vrednosti impedanse (na početku i na kraju svakog stepena) i umereno vreme delovanja (s) za svaki stepen i svaku fazu pojedinačno.

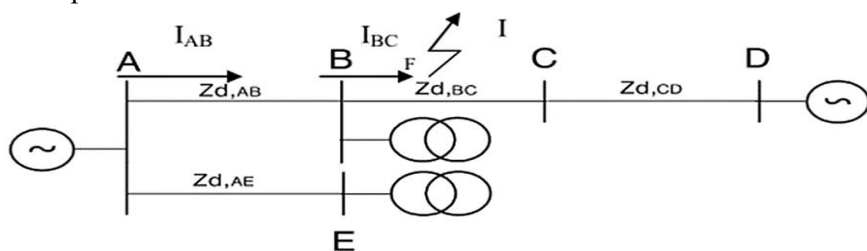
III. Kontaktna funkcija. Treći deo ispitne liste služi za upisivanje podataka o proveru unapred definisane signalizacije (naziv signala, signal tabloa, zvučni signal) i automatskom ponovnom uključenju (načinu rada za različite vrste kvarova, kao i vremenima beznaponske pauze).

IV. Zaključak o ispitivanju. Na kraju u poslednjem delu dat je zaključak o ispitivanju. Takođe, ovde se upisuju podaci o ispitnom uređaju i štoperici, datumu ispitivanja i ispitivačima koji svojim potpisima preuzimaju odgovornost za tačnost unetih podataka.

6. MIKROPROCESORSKI ZAŠTITNI RELEJ ABB REL 650

Zaštitni uređaj ABB REL650 se koristi za zaštitu nadzemnih visokonaponskih vodova. Za razliku od starijih elektromehatičkih zaštita u ovom uređaju su pored distantne zaštite implementirane i mnoge druge funkcije, a sve u cilju što bolje zaštite šticeenog elementa EES. To su:

Distantna zaštita (PDIS) je zaštitna funkcija koja na osnovu merenja impedanse od mesta ugradnje releja do mesta nastanka kvara obezbeđuje selektivno isključenje šticeenog objekta. Ona je brža i selektivnija od, npr. prekostrujne zaštite, takođe manje je osetljiva na pogonske zahteve i relativne promene impedanse izvora. Opšti principi impedantnog podešavanja stepena distantnih zaštita dati su za konfiguraciju mreže prikazanu na slici 6.1.



Slika 6.1. Primer mreže šticeene distantnom zaštitom

Prvi stepen - podešavanje prvog stepena distantnih zaštita vodova u "prstenu" ne zavisi od konfiguracije mreže u susednom postrojenju u smeru šticeenja voda.

$$Z_I = k_I Z_{d,AB} \quad (6.1)$$

Gde je:

$Z_{d,AB}$ - impedansa voda direktnog redosleda (npr. voda AB),
 k_I - koeficijent rezerve. Obično se uzima $k_I=0,85$.

Kao što je rečeno, za konvencionalni način podešavanja 1. stepena distantnih zaštita vodova koji se primenjuje u mreži našeg EES, jedini uslov koji se mora zadovoljiti je:

$$Z_I > Z_{min} \quad (6.2)$$

Gde je:

Z_{min} - minimalno podesiva vrednost impedanse na releju (primarna vrednost).

Drugi stepen - podešavanje drugog stepena zavisi pre svega od konfiguracije mreže u susednom postrojenju u smeru šticeenja voda. Za praktični proračun, po pravilu, određuje se donja i gornja granica impedantnog podešenja 2.stepena. Donja granica ($Z_{II,min}$) određena je zahtevom da relej u postrojenju (A) sa sigurnošću obuhvata sve kvarove na šticeenom vodu:

$$Z_{IImin} = k_{II,min} Z_{d,AB} \quad (6.3)$$

Gde je:

$Z_{d,AB}$ - impedansa voda direktnog redosleda voda AB,
 $k_{II,min}$ - koeficijent rezerve. Obično se uzima $k_{II,min}= 1,2$.

Gornja granica podešenja 2.stepena ($Z_{II,max}$) određena je potrebnim uslovima za selektivan rad distantnog releja u postrojenju (A).

$$Z_{II,max} = k_{II,max}(Z_{d,AB} + k_{MN,BC}k_I Z_{d,BC}) \quad (6.4)$$

Gde je:

$Z_{d,BC}$ - impedansa voda direktnog redosleda voda BC,

$k_{II,max}$ - koeficijent rezerve. Obično se uzima $k_{II,max} = 0,85$.

Treći stepen - podešavanje trećeg stepena distantnih zaštita vodova još u većoj meri zavisi od konfiguracije mreže, pa se i ovde definišu poželjne granice unutar kojih bi ono trebalo da se nađe.

Granica trećeg stepena (Z_{III}) određena je potrebom da distantni relej u postrojenju (A) bude rezervna zaštita za kvarove na svim vodovima koji polaze iz susednog postrojenja u smeru šticećenja (npr. B) i da u tom slučaju deluje selektivno. Granica delovanja izražava se jednačinama:

$$Z_{III,min} = k_{III,min}(Z_{d,AB} + k_{MN,BC}Z_{d,BC}) \quad (6.5)$$

$$Z_{III,max} = k_{III,max}(Z_{d,AB} + k_{MN,BC}Z_{II,BC}) \quad (6.6)$$

Gde je:

$Z_{d,AB}$ - impedansa direktnog redosleda voda AB;

$Z_{d,BC}$ - impedansa direktnog redosleda voda BC;

$k_{III,min}$ - koeficijent rezerve. Obično se uzima $k_{III,min} = 1,2$;

$k_{MN,BC}$ - koeficijent međunapajanja za izvod iz susedne trafostanice u smeru šticećenja;

$k_{III,max}$ - koeficijent rezerve. Obično se uzima $k_{III,max} = 0,85$;

$Z_{II,BC}$ - usvojeno podešenje 2.stepena distantne zaštite voda koji polazi iz susednog postrojenja u smeru šticećenja (npr. voda BC).

Savremene distantne funkcije imaju i više od 5 nezavisnih distantnih stepena, tako da definisanje poželjnih granica podešenja viših stepena još više zavisi od konfiguracije mreže.

Prekostrujna zaštita (PTOC) je funkcija koja radi na principu komparacije struje koja protiče kroz merni član i deluju kada struja premaši podešenu vrednost na releju. Upotrebljavaju se kao zaštita od kratkih spojeva i kao zaštita voda od preopterećenja.

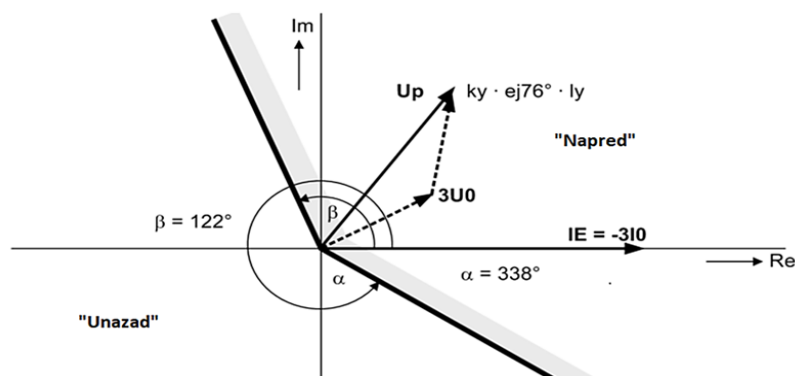
Prekostrujna funkcija u mikroprocesorskom uređaju postaje aktivna ispadom automata naponskih kola (kratak spoj u naponskim kolima) odnosno aktiviranjem funkcije nadgledanja naponskih kola, pri čemu je distantna funkcija blokirana. Strujni organ rezervne prekostrujne zaštite mikroprocesorskih uređaja nadzemnih vodova 400kV, 220kV i 110kV podešava se:

$$I = 1,8 I_n \quad (6.7)$$

Gde je :

I_n - nominalna struja strujnih transformatora na dalekovodu.

Usmerena zemljospojna zaštita (PDEF) služi za detektovanje kvarova sa zemljom preko velikog otpora koji bi mogli da se nađu izvan dosegata distantne zaštite. Ona je blokirana ako je pobuđena distantna zaštita ili je u toku beznaponska pauza - ciklus APU funkcije. Organ smera usmerene zemljospojne radi na bazi vrednosti homopolarne snage (P_0) odnosno proizvoda nulte struje (I_0) i nultog napona (U_0) koja se javlja na mestu ugradnje releja pri kvarovima u mreži. Usmerenje u smeru dalekovoda odnosno "napred" prikazano je na slici 6.2.



Slika 6.2. Podešavanje usmerenja zemljospojne zaštite

Automatsko ponovno uključanje – APU je funkcija koja se koristi samo na nadzemnim vodovima. Uređaj treba da omogući izbor jednog od sledećih režima rada:

- Jednopolno APU za jednofazne kvarove i definitivno isključenje za višefazne kvarove (1ph)
- Jednopolno APU za jednofazne kvarove i trolno APU za dvofazne i trofazne kvarove (1+3)ph
- Trolno APU za sve vrste kvarova (3ph)

Zaštita od uključenja na kvar (PSOF) je funkcija koja omogućava brzo definitivno isključenje pri pokušaju uključenja voda na kome postoji kvar (aktivna je i kod ručnog uključenja i pri APU).

Zaštita od otkaza rada prekidača (RBRF) je funkcija koja obezbeđuje trenutnu proradu bez vremenske zadrške i isključuje povezane delove postrojenja, u slučaju kada ne dođe do isključenja prekidača nakon delovanja zaštite.

Sinhroček (RSYN) je funkcija koja proverava da li je razlika amplitude, faznog stava i frekvencije napona između dve tačke u sistemu u prethodno definisanim granicama. Ako bar jedan od praćenih parametara nije u zadatim granicama ova funkcija ne dozvoljava prosleđivanje komande za uključenje prekidača.

Detekcija pojave njihanja snage (RPSB) je funkcija koja se koristi u blokadne svrhe kako bi se sprečilo nepotrebno delovanje distantne zaštite usled pojave njihanja snage, što može izazvati ulazak radne tačke dalekovoda u zonu prorade.

Lokator kvara (RFLO) je funkcija koja obezbeđuje podatak o udaljenosti mesta kvara na vodu. Prikazuje se na lokalnom HMI (u kilometrima od početka voda ili u % od ukupne dužine voda).

Funkcija snimanja poremećaja u mreži (RDRE) je funkcija koja vrši snimanje svih analognih veličina koje se koriste za funkcionisanje zaštite, u Comtrade ili nekom drugom međunarodno prihvaćenom formatu.

Kontrola isključnih krugova prekidača (KIK) (Trip circuit supervision) je funkcija koja vrši kontrolu prisutnosti komandnog napona i neprekidnosti kola za isključenje. Koristi se za svaki kalem za isključenje ponaosob. Informacija o eventualnom kvaru se signalizira.

Nadzor sekundarnih kola (Secondary circuits supervision) omogućava stalan nadzor ispravnosti sekundarnih strujnih i naponskih kola. Ova funkcija treba da omogući i stalan nadzor ispravnosti sekundarnih naponskih kola, tako da se uspešno detektuje nestanak jedne, dve ili sve tri faze (koji nije posledica kvara na vodu) i da se pri tome izvrši blokiranje rada naponski zavisnih zaštitnih funkcija.

Samonadzor (Self-supervision) je funkcija putem koje uređaj vrši samonadzor svoje ispravnosti, a informacija o eventualnom kvaru se signalizira.

6.1. Sekundarno ispitivanje mikroprocesorskog releja ABB REL 650

Ispitivanje mikroprocesorskog releja REL 650 izvršeno je pomoću ispitnog uređaja *OMICRON CMC 356*, koji je prikazan na slici 6.3.



Slika 6.3. Ispitni uređaj Omicron CMC 356

Osnovne karakteristike *OMICRONA* su: izlaz testnih veličina: 4 napona i 3 struje, mogućnost testiranja uređaja po IEC 61850 protokolu, kontrola spoljnih pojačanja (do 12 dodatnih test signala), napajanje jednosmernim naponom, binarni izlaz, snimanje binarnih signala i brojačkih impulsa.

Osnovne funkcije su: kreira test signale (struje, napone, binarne signale), meri reakciju (analognu i binarnu) od ispitnog objekta, isporučuje jednosmernu struju za ispitivanje objekta.

Na prednjem panelu ispitnog uređaja uočava se puno izlaza:

- Naponski izlazi - četiri izlazna napona imaju svoj zajednički neutralni napon, galvanski su odvojeni jedan od drugog i zaštićeni su za otvorene strujne krugove, kratke spojeve i preopterećenja.
- Strujni izlazi - ovde imamo 3 struje i jednu neutralnu, izlazi su galvanski razdvojeni i zaštićeni za otvorene krugove, kratke spojeve i preopterećenje.
- Binarni ulazi i izlazi - deset binarnih ulaza su podeljeni u pet grupa od po dva ulaza. Svaka grupa je galvanski odvojena od ostalih.

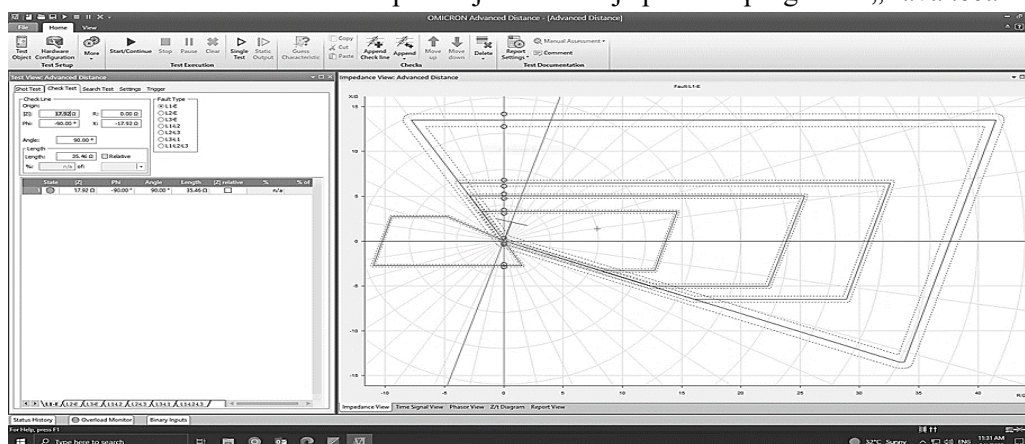
Princip rada ovog uređaja je da se poveže sa mikroprocesorskom zaštitom preko ispitne utičnice ili direktno na klemne. Injektiraju se struje i naponi na analogne input-e u zavisnosti od vrste ispitivane zaštite. Cilj ispitivanja je provera da li zaštita, koja je implementirana u zaštitni uređaj, radi na adekvatan način, da li je smer dobar i da li su zadata vremena reagovanja zaštite odgovarajuća. Mikroprocesorski uređaj REL650 koji je ispitivan nalazi se u transformatorskoj stanici 220/110/35kV Kruševac 1 i služi za zaštitu dalekovoda nazivnog napona 110kV br.108 pravac Jagodina 1.

Da bi izvršili ispitivanje prvo spajamo *OMICRON* sa računarom pomoću *ethernet* kabela. Zatim povezujemo *OMICRON* sa objektom testiranja (zaštitom). To činimo pomoću kabela koji se dobija uz ispitni uređaj i gde je potrebno samo spojiti sa odgovarajućim priključkom na releju ili preko „banana“ konektora. Za ispravno povezivanje ispitnog i zaštitnog uređaja koristi se šema vezivanja.

Nakon povezivanja, preko softverskog paketa „*Test Universe*“ sa računara ostvarujemo pristup (komunikaciju) i sa zaštitnim i sa ispitnim uređajem. Ispitane zaštitne funkcije releja ABB REL650 su:

- Distantna zaštita;
- Rezervna prekostrujna zaštita;
- Usmerena zemljospojna zaštita;
- Zemljospojna zaštita;
- Automatsko ponovno uključenje (*APU*);
- Uključenje na kvar (*SOTF*);
- Lokator kvara (*foult locator*);
- Signalizacija.

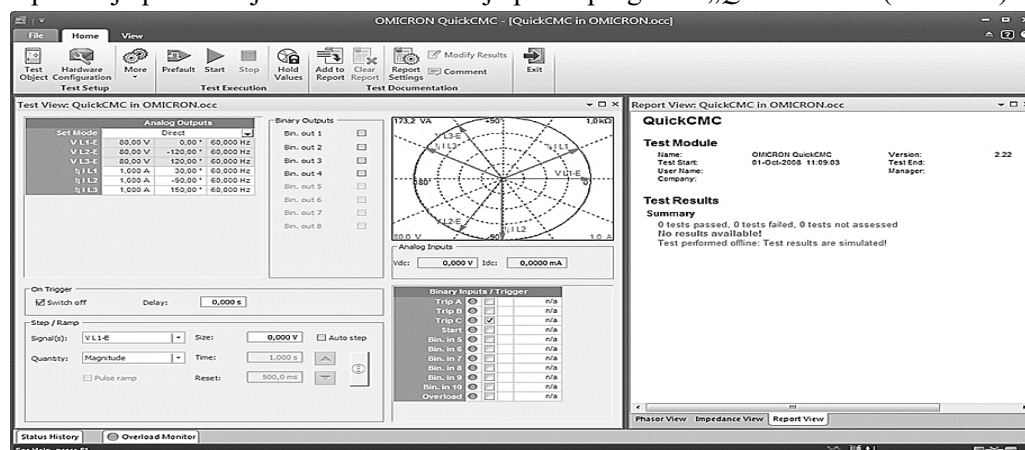
Na slici 6.4. prikazano je ispitivanje distantne zaštite kao i zone koje su predstavljene kvadrilateralom karakteristikom. Ovo ispitivanje se realizuje pomoću programa „*Advanced Distance*“.



Slika 6.4. Ispitivanje distantne zaštite - *Check Test*

Prilikom ispitivanja distantne zaštite u samom programu „*Advanced Distance*“ postoji opcija „*Check Test*“. Pomoću ove funkcije, ispitni uređaj vrši proveru delovanja distantne zaštite na simulirane kvarove, za svaku fazu pojedinačno, na početku i na kraju svakog stepena definisanog kvadrilateralom karakteristikom, kao i za sve vrste kvarova (jednofazne i višefazne).

Ispitivanje prekostrujne zaštite izvršeno je preko programa „*Quick CMC*“ (slika 6.5.).



Slika 6.5. Ispitivanje prekostrujne zaštite – *QuickCMC*

Prilikom ispitivanja prekostrujne zaštite, preko računara i ispitnog uređaja zadajemo vrednosti sekundarnih struja i pratimo rad zaštitnog uređaja. Strujno podešenje na releju je bilo $1,8 I_n$, a vremensko 0,6s. Umeravanjem smo zaključili da je minimalna vrednost sekundarne struje pri kojoj će relej poslati impuls za isključenje 1,797A, a izmereno vreme isključenja bilo je 0,615s.

7. ZAKLJUČAK

Mikroprocesorski zaštitni uređaji sa digitalnom obradom signala pripadaju poslednjoj generaciji relejne zaštite. Primenom mikroprocesora dobija se kvalitetnija zaštita, znatno širih mogućnosti u odnosu na klasičnu, jer je omogućena primena inteligentnijih funkcija i postupaka u okviru jednog zaštitnog uređaja. Omogućen je nadzor šticeenog objekta i analiza podataka čak i u slučajevima kada nema kvara. U slučaju kvara dostupan je veliki broj informacija o samom poremećaju, kao i veliki broj informacija od interesa za daljinski nadzor i upravljanje.

Neke od prednosti mikroprocesorskih releja u onosu na elektromehaničke su:

- kontinuirani samonadzor rada vlastitog hardvera, što značajno poboljšava pouzdanost i raspoloživost zaštite;

- komunikacija sa ostalom mikroprocesorskom opremom u postrojenju;
- zapis trenutnih vrednosti struja i napona pri kvaru ili neregularnom režimu rada;
- hronološki zapis svih promena uklopnog stanja aparata;
- merenje i obrada analognih mernih veličina.

Konvencionalni elektromehanički i statički releji su žičani releji. Njihovo ožičenje je fiksno, tako da se njihova podešavanja mogu samo ručno menjati. Numerički releji su programabilni releji, mogu se programirati karakteristike i ponašanje releja. Takođe, elektromehanički i statički zaštitni releji uglavnom nude jednofunkcijske, pojedinačne karakteristike, dok savremena mikroprocesorska zaštita nudi višefunkcionalne i višestruke karakteristike. Kao eventualnu prednost elektromehaničke zaštite možemo navesti da je ona zaštićena od eventualnih „cyber“ napada što je posebna problematika inteligentnih elektroenergetskih mreža.

Funkcionalnost zaštitnih releja ispituje se svake godine. Ispitivanjem mikroprocesorskog releja utvrdili smo da sve zaštitne funkcije reaguju na podešene vrednosti i deluju na isključenje prekidača snage za sve vrste kvarova. Utvrđeno je da sva predviđena signalizacija na prednjem panelu releja ispravno funkcioniše. Takođe, izvršena je provera zapisa svih promena uklopnog stanja aparata, kao i komunikacija sa udaljenim dispečerskim centrom. Sve ispitane funkcije zaštite i automatike bile su ispravne.

Proverom rada elektromehaničkog zaštitnog uređaja, takođe je utvrđena ispravnost delovanja kod svih podešenih parametara, ali za razliku od mikroprocesorskog releja kod elektromehaničkih postoji mnogo manji broj „rezervnih“ zaštitnih funkcija, broj signala i podataka je ograničen, a pored toga ovaj tip zaštite nije predviđen za povezivanje sa SCADA sistemom, već se sve funkcije realizuju na signalnom tablo-u.

Zbog svojih višestrukih prednosti, kao i dokazane pouzdanosti, mikroprocesorski tip relejnih uređaja prevladao je na tržištu. On je gotovo u potpunosti potisnuo iz upotrebe prethodne dve generacije relejne zaštite (elektromehaničku i statičku).

8. LITERATURA

- [1.] Milenko Đurić, „Relejna zaštita“, AGM knjiga 2014godina;
- [2.] Duško Bekut „Relejna zaštita“, Fakultettehničkih nauka, NoviSad 2009
- [3.] Radojle Radetić, „Priručnik za održavanje visokonaponske opreme“, Bor 2017godina;
- [4.] EMS, „Tehničko upustvo za podešavanje zaštite visokonaponskih vodova“, Beograd, jun 2014;
- [5.] J. Nahman, V. Mihajlović, *Odabrana poglavlja iz visokonaponskih postrojenja*, Akademska misao, ETF Beograd, 2002.
- [6.] J. Nahman, V. Mihajlović, *Razvodna postrojenja*, Akademska misao, ETF Beograd, 2005.
- [7.] Gojko Dotlić, *Elektroenergetika kroz standarde, zakone, pravilnike i tehničke preporuke*, šesto izdanje, SMEITS, Beograd 2013.
- [8.] Web: <https://global.abb/group/en/about/history/heritage-brands/asea-brown-boveri>
- [9.] Web: <https://electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/electrical-engineering>