

DOI: [10.46793/CIGRE37.B5.03](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B5.03)**B5.03****ODREĐIVANJE ISPITNIH TAČAKA I PARAMETARA DISTANTNE ZAŠTITE ZA
JEDNOFAZNE KVAROVE 110 KV MREŽE U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU
BIH****DETERMINATION OF TEST POINTS AND SETTINGS OF DISTANCE PROTECTION
FOR SINGLE-PHASE FAULTS OF THE 110 KV NETWORK IN POWER SYSTEM OF BIH****Vladanko Tomaš***

Kratak sadržaj: Osnovna zaštita većine visokonaponskih dalekovoda u elektroenergetskom sistemu je distantna zaštita. Za pouzdan rad i djelovanje distance zaštite neophodno je dobro izračunati i podesiti odgovarajuće parametre distance zaštite, kao i ispitivanje navedene zaštite. Osnovni cilj rada ogleda se u kreiranju softverskog alata koji će automatizovati izračunavanje. Osim toga, zavisno od unešene tolerancije, odstupanja impedanase od podešene vrijednosti, softverski alat kao izlaz vraća ispitne tačke po zonama. Za ulaze softverski alat koristi parametre željenog dalekovoda, prenosni odnos naponskih i strujnih mjernih transformatora, kao i parametre za najkraći i najduži dalekovod u susjednoj transformatorskoj stanici. Izlaz iz softverskog alata su podešenja distance zaštite, te kreiranje grafika kvadrilateralne karakteristike distance zaštite po zonama. Softver će na osnovu impedansi kreirati vrijednosti napona i struja koje je neophodno injektirati da bi distantni relej mjerio tražene impedanse. Svrha kreiranja softverskog alata ogleda se u ispitivanju distance zaštite u situacijama kada nije dostupna ispitna kutija koja na osnovu rio fajla automatski generiše granice distance zaštite ili kada je dostupna obična monofazna kutija. Vrijednosti koje generiše softverski alat će biti ispitane na nekom od digitalnih distantnih releja.

Ključne reči: dalekovod, distantna zaštita, naponski i strujni mjerni transformatori, elektroenergetski sistem, kvadrilateralna karakteristika

Abstract: The basic protection of most high-voltage transmission lines in the power system is distance protection. For reliable operation and work of distance protection, it is necessary to properly calculate and set the appropriate parameters of distance protection, as well as testing of the specified protection. The main goal of the publication is reflected in the creation of a software tool that will automate the calculation. In addition, depending on the entered tolerance, the deviation of the impedance from the set value, the software tool will return test points by zone as an output. For inputs, the software tool uses the parameters of the desired transmission line, the ratio of the voltage and current measuring transformers, as well as the parameters for the shortest and longest transmission line in the neighboring substation.

* Vladanko Tomaš, Elektroprenos BiH a.d. Banja Luka, vladanko.tomas@elprenos.ba

The outputs from the software tool are the settings of distance protection, and the creation of graphs of the quadrilateral characteristics of distance protection by zones. Based on the impedances, the software will create voltage and current values that must be injected in order for the distance relay to measure the required impedances. The purpose of creating the software tool is to test distance protection in situations where there is no available test box that automatically generates test points based on the rio file, or when there is an ordinary single-phase box is available. The values generated by the software tool will be tested on one of the digital distance relays.

Key words: transmission line, voltage and current measuring transformers, power system, quadrilateral characteristic

1 UVOD

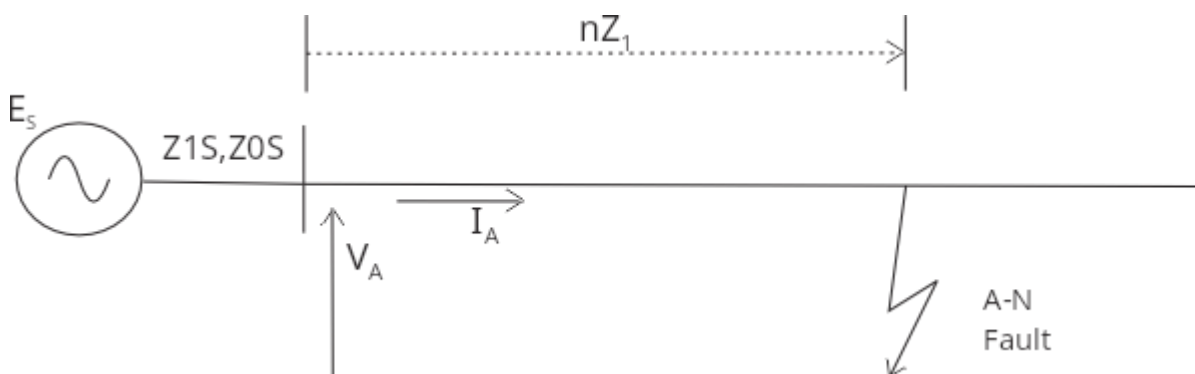
Za rad distantne zaštite neophodno je mjeriti fazne struje i napone. Na osnovu tih parametara relej estimira impedansu od mjesta ugradnje releja do mjesta kvara, na osnovu čega određuje u kojoj zoni se desio kvar i kad treba da reaguje. Rad obrađuje samo jednofazne kvarove, kojih je preko 70% od ukupnog broja kvarova na visokonaponskim dalekovodima. Karakteristike releja mogu biti raznih oblika od kojih se najčeće bira kvadrilateralna karakteristika. U radu će biti opisan i korišćen relej REL 670, proizvođača *Hitachi*.

2 DISTANTNA ZAŠTITA

Jedan od najvažnijih faktora pri izboru zaštite je pouzdanost koja definiše stepen izvjesnosti da će relej raditi. Drugi važan faktor je selektivnost. Selektivnost predstavlja sposobnost međusobne "saradnje" releja kako bi broj isključenih elemenata u mreži bio minimalan. Ekonomski faktor je takođe bitan, ali ne treba da bude presudan, s obzirom da je cijena releja zanemarljiva u odnosu na elemente koje štiti.

2.1 Mjerena impedansa pri jednofaznim kvarovima

Relej ne mjeri impedansu, već je estimira na osnovu faznih napona i struja. Razmatraće se sistem prikazan na slici 1, gdje Z_1 predstavlja fazor pozitivne komponente impedanse dalekovoda, I_A fazor struje u fazi A, V_A fazor napona u fazi A na mjestu ugradnje releja.



Slika 1: Sistem

Formule (1) i (2) se dobijaju primjenom *Fortescue*-ove transformacije [1].

$$\underline{V}_A = \underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_0 \quad (1)$$

$$\underline{I}_A = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0 \quad (2)$$

Razvijanjem formule (1) se dobija jednačina (3).

$$\underline{V}_A = n \cdot \underline{Z}_1 \cdot \underline{I}_1 + n \cdot \underline{Z}_2 \cdot \underline{I}_2 + n \cdot \underline{Z}_0 \cdot \underline{I}_0 \quad (3)$$

Za dalekovode se smatra da je pozitivna komponenta impedanse jednaka inverznoj. Daljim razvojem jednačine (3) i upotrebom formule (2) se dobija sljedeća jednačina:

$$\underline{V}_A = n \cdot \underline{Z}_1 \cdot \left(\underline{I}_A + \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{\underline{Z}_1} \cdot \underline{I}_0 \right) \quad (4)$$

Fazor $\underline{I}_0$ predstavlja nultu komponentu struje $\underline{I}_A$. Ako trostruku nultu struju (*residual current*) označimo sa $\underline{I}_N$ važi jednačina (5).

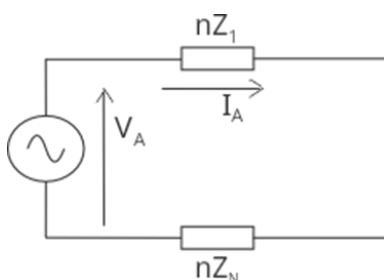
$$\underline{V}_A = n \cdot \underline{Z}_1 \cdot \left(\underline{I}_A + \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{3\underline{Z}_1} \cdot \underline{I}_N \right) \quad (5)$$

Koeficijent kompenzacije nulte komponente k_0 se računa kao:

$$k_0 = \frac{\underline{Z}_0 - \underline{Z}_1}{3\underline{Z}_1} \quad (6)$$

Impedansa koju estimira relej, slika 2, se računa pomoću obrasca u jednačini (7).

$$\underline{Z}_{relay} = n \cdot \underline{Z}_1 = \frac{\underline{V}_A}{\underline{I}_A + k_0 \cdot \underline{I}_N} \quad (7)$$



Slika 2: Kvar sa zemljom bez prelazne otpornosti

Bitno je napomenuti da impedansa koju estimira relej, predstavlja impedansu po fazi, konkretno u fazi A. Impedansa $\underline{Z}_N$ predstavlja impedansu povratnog puta (*ground return impedance*). Struja kvara se prema izvoru vraća kroz zemlju, te kroz zemljovodnu užad.

$$\underline{Z}_N = R_N + jX_N = \frac{R_0 - R_1}{3} + j \frac{X_0 - X_1}{3} = \underline{k}_0 \cdot \underline{Z}_1 \quad (8)$$

Impedansa petlje kvara $\underline{Z}_{Loop}$ predstavlja zbir fazora direktne komponente impedanse dalekovoda i impedanse povratnog puta. Relej REL 670 estimira impedansu petlje kvara, a ne impedansu po fazi. Impedansa petlje kvara se računa po formuli (9).

$$\underline{Z}_{Loop} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_N = (1 + \underline{k}_0) \cdot \underline{Z}_1 \quad (9)$$

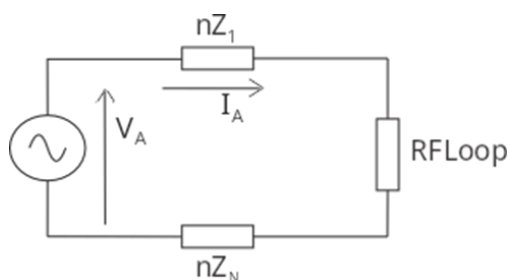
2.1.1 Impedansa pri uvažavanju otpornosti na mjestu kvara

Uvažavanjem otpornosti na mjestu kvara, slika 3, se usložnjava proračun impedanse. Impedansa petlje kvara poprima sljedeći izgled:

$$\frac{\underline{V}_A}{\underline{I}_A} = \underline{Z}_{Loop} + R_{F_{Loop}} \quad (10)$$

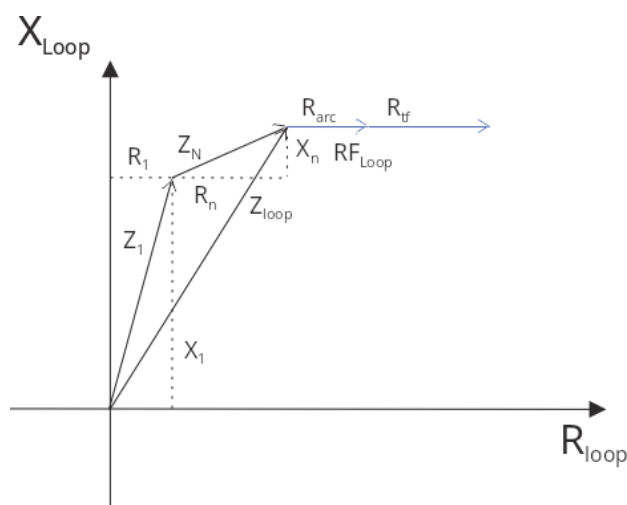
$R_{F_{Loop}}$ predstavlja otpornost petlje kvara, koja se sastoji iz otpornosti luka R_{arc} i otpornosti stuba R_{tf} .

$$R_{F_{Loop}} = R_{arc} + R_{tf} \quad (11)$$



Slika 3: Kvar sa zemljom sa prelaznom otpornošću

Fazorski dijagram impedansi prikazan je na slici 4.



Slika 4: Fazorski dijagram

2.2 Podešavanje distantne zaštite visokonaponskih dalekovoda

2.2.1 Podešavanje reaktansnog dosega prvog stepena

Kriterijum za podešavanje prvog stepena je da relej ne reaguje na kvarove na susjednim sabirnicama, pa samim tim proizilazi da prvi stepen ne može da štiti kompletan štićeni dalekovod. Shodno tome se usvaja koeficijent sigurnosti k_s čija vrijednost zavisi od dužine dalekovoda. Za kratke dalekovode koeficijent sigurnosti se uzima u opsegu 0,65-0,75, dok se za srednje i dugačke dalekovode uzima od 0,8-0,9. U radu je izabrana vrijednost 0,85. Prva zona se podešava prema obrascu (12).

$$\underline{Z_{ZONE1}} = k_s \cdot \underline{Z_1} \quad (12)$$

2.2.2 Podešavanje reaktansnog dosega drugog stepena

Drugi stepen distantne zaštite treba da štiti kompletan dalekovod, kao i sabirnice u susjednom postrojenju. To znači da drugi stepen zavisi od konfiguracije mreže u susjednom postrojenju. Ono što je bitno da se druga zona distantne zaštite ne preklapa sa drugim stepenom distantne zaštite u susjednom postrojenju u smjeru štićenja dalekovoda. Shodno tome se uzima dodatni koeficijent sigurnosti, čija vrijednost iznosi 0,85. Za podešenje druge zone distantne zaštite se koristi formula (13), gdje $\underline{Z_{1_najkraći_susjedni}}$ predstavlja impedansu direktnog redoslijeda susjednog dalekovoda. Ukoliko u susjednoj trafostanici ima više dalekovoda onda se uzima impedansa najkraćeg.

$$\underline{Z_{ZONE2}} = 0,85 \cdot (\underline{Z_1} + k_s \cdot \underline{Z_{1_najkraći_susjedni}}) \quad (13)$$

Da bi bili sigurni da će relej da zaštiti kompletan dalekovod uzima se odgovarajući koeficijent sigurnosti $k_{2,min}$. Vrijednost koja se najčešće uzima u elektroprenosnom sistemu Bosne i Hercegovine iznosi 1,2. Ukoliko je računsko podešenje druge zone manje od 120% impedanse štićenog dalekovoda onda se usvaja da je podešenje druge zone 120% impedanse štićenog dalekovoda, ali se produžava vrijeme reagovanja, da se ne preklope drugi stepeni distantnih zaštita.

$$\underline{Z_{ZONE2}} \geq k_{2,min} \cdot \underline{Z_1} \quad (14)$$

2.2.3 Podešavanje reaktansnog dosega trećeg stepena

Treći stepen distantne zaštite takođe zavisi od konfiguracije mreže. Praksa je da se trećim stepenom štiti kompletan susjedni dalekovod. Ako u susjednoj trafostanici ima više dalekovoda potrebno je za proračun uzeti najduži dalekovod. Takođe, da bi treći stepen zaštitio kompletan susjedni dalekovod uzima se odgovarajući koeficijent sigurnosti $k_{3,min}$ čija vrijednost iznosi 1,2. Za podešenje treće zone distantne zaštite se koristi formula (15), gdje $\underline{Z_{1_najduži_susjedni}}$ predstavlja impedansu direktnog redoslijeda najdužeg susjednog dalekovoda.

$$\underline{Z_{ZONE3}} = k_{3,min} \cdot (\underline{Z_1} + \underline{Z_{1_najduži_susjedni}}) \quad (15)$$

2.2.4 Podešavanje dosega u rezistivnom smjeru

Već je objašnjeno kako se računaju dosezi po zonama za realni dio impedanse dalekovoda. Međutim da bi distantna zaštita adekvatno pokrila sve kvarove, potrebno je proširiti dosege u rezistivnom smjeru.

Prva stavka predstavlja otpornost stuba R_{tf} čija vrijednost po standardnim preporukama treba biti manja od 10Ω .

Druga stavka predstavlja otpornost luka R_{arc} , otpornost nečega preko čega se desio jednofazni kratak spoj ili kombinacija tih faktora. Otpornost luka se može računati empirijskim formulama, pri čemu ta vrijednost zavisi od dužine luka i struje kvara.

Shodno otpornosti luka i stuba, za otpornost petlje kvara treba podesiti vrijednost iz jednačine (16).

$$RF_{Loop} = (1.1 \div 1.2) \cdot (R_{arc} + R_{tf}) \quad (16)$$

Ako se dodatno uvaži uticaj struje sa drugog kraja I_{remote} onda se kao posljedica ima da relej mjeri veću impedansu nego što je zapravo. Stoga je poželjno da se rezistivni doseg podesi tako da mjerena otpornost bude u granicama čak i pri najvećim doprinosima struje sa drugog kraja dalekovoda. Važi sljedeći obrazac:

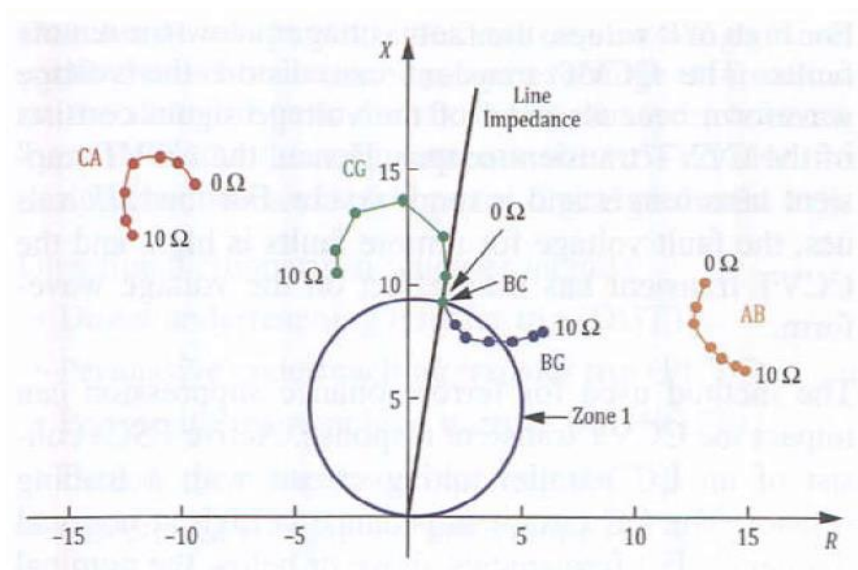
$$RF_{Loop} = (1.1 \div 1.2) \cdot (1 + I_{remote} / I_A) (R_{arc} + R_{tf}) \quad (17)$$

Za relej REL 670 korištena podešenja u elektroenergetskom sistemu Bosne i Hercegovine su 27,5, 36,77 i 50Ω , respektivno po zonama. Proizvođači releja imaju ograničenja u pogledu maksimalnih rezistivnih dosega u odnosu na podešenu vrijednost reaktanse X_1 te zone. Konkretno za relej REL 670 ograničenje iznosi:

$$RF_{Loop} \leq 3 \cdot X_1 \quad (18)$$

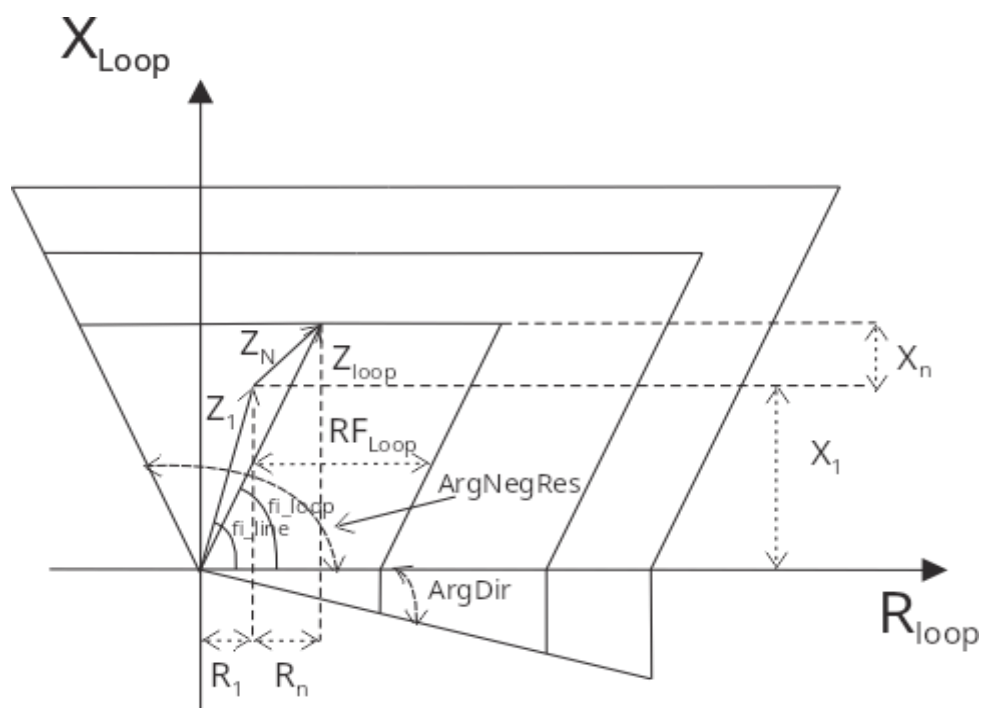
2.3 Kvadrilateralna karakterisitka dalekovoda

Distantni releji imaju mogućnost izbora karakterisitka od kojih se najčešće primjenjuju kvadrilateralna karakterisitka i karakteristika kružnog tipa (mho). Zbog boljih mogućnosti rezistivnih dosega kvadrilateralna karakterisitka se nameće kao očigledan izbor. REL 670 dozvoljava modifikovanje kvadrilateralne karakterisitke. Granice u prvom kvadrantu su određene podešenjima, koja su već spomenuta. Interesantno je da se sama karakteristika proteže takođe u drugom, te četvrtom kvadrantu. Karakteristika je takva jer za prave kvarove mjerene impedanse mogu biti čudne. Posebno dvofazni kvarovi sa zemljom, npr. B-C-Gnd, pri čemu jednofazne petlje u dvije faze u kvaru (B-Gnd i C-Gnd) mogu da mjere impedanse dalekovoda prikazane na sljedećoj slici.



Četvrti kvadrant se upotrebljava zbog mjerne greške. Zbog nehomogenosti sistema, struja kvara i struja koju mjeri relej nisu u fazi, pa mjerena impedansa sadrži imaginarni dio, što za posljedicu ima reaktansnu grešku. Ovo se često zove podbacivanje ili prebacivanje distantnog člana za jednofazne kvarove.

U podešenjima releja ugao koji karakteristika u drugom kvadrantu gradi sa pozitivnim smjerom x ose se označava kao ArgNegRes, čija vrijednost se može podesiti od 90 do 175 stepeni. Default vrijednost iznosi 115 stepeni. Podešenje karakterisitke za četvrti kvadrant se postiže uglom ArgDir, čija vrijednost se može podesiti od 5 do 45 stepeni. Default vrijednost iznosi 15 stepeni. U radu su korištene default vrijednost prilikom crtanja karakterisitike. Kvadrilateralna karakteristika sa tri zone prikazana je na slici ispod.



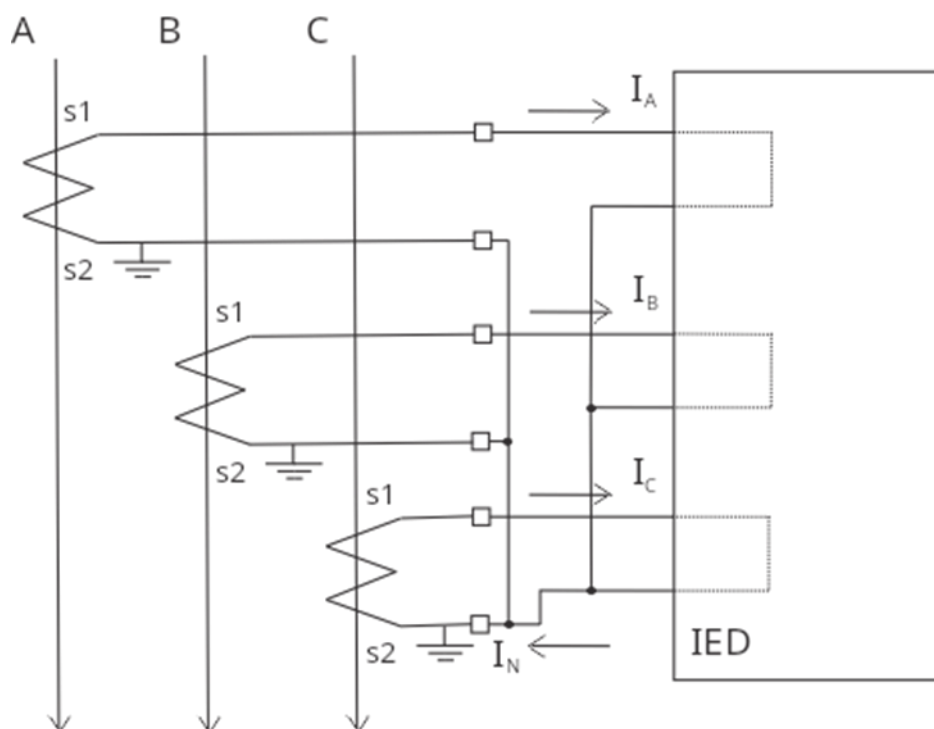
Slika 6: Kvadrilateralna karakteristika

2.4 Uzemljenje strujnog mjernog transformatora

Uputstvo releja pod nazivom *Application manual* preporučuje četverožično vođenje struja. Shodno tome nije svejedno koji kraj sekundara strujnog mjernog transformatora se uzemljava. Ova informacija je bitna releju, te opcija gdje se to bira ima naziv *CTStarPoint* [2]. Mogući izbori su *ToObject* i *FromObject* [2]. Pravilan izbor je neophodan za ispravan rad distantne zaštite [2]. Pogrešan izbor bi doveo do pogrešnog usmjerenja, te neselektivnog reagovanja.

2.4.1 Uzemljenje strujnog mjernog transformatora ka šticeu objektu

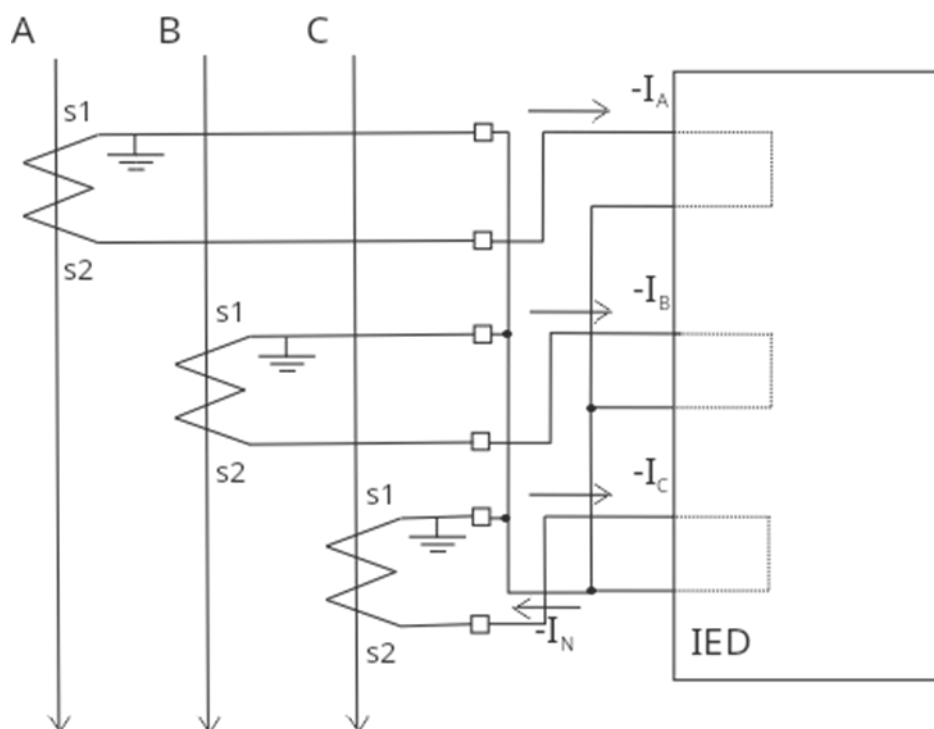
Ako je strujni mjerni transformator uzemljen ka šticeu objektu onda se bira opcija *ToObject* [3]. Tada su fazne struje koje mjeri relej I_A , I_B , I_C . Ovo utiče i na fazor trostruke nulte struje koja je neophodna za algoritam releja.



Slika 7: Raspored struja kad je uzemljenje ToObject

2.4.2 Uzemljenje strujnog mjernog transformatora ka sabirnicama

Ako je strujni mjerni transformator uzemljen ka sabirnicama onda se bira opcija *FromObject* [3]. Tada su fazne struje koje mjeri relej $-I_A$, $-I_B$, $-I_C$. Ovo utiče i na fazor trostruke nulte struje koja je neophodna za algoritam releja.



Slika 8: Raspored struja kada je uzemljenje FromObject

3 M-FAJL I REZULTATI

Za rad je korišćen program *Matlab*, tj. skripta *m-fajl*. Cilj *m-fajla* je da na osnovu unešenih podataka, skripta kao rezultat vraća dvije slike. Jedna slika predstavlja kvadrilateralnu karakteristiku, dok druga predstavlja raspored ispitnih tačaka. U radu su kreirane 24 ispitne tačke i to 6 tačaka koje se nalaze na pravoj petlje kvara, 6 tačaka za provjeru maksimalnih rezistivnih doseg, te po 6 tačaka za drugi i četvrti kvadrant. Osim toga, pokretanjem skripte se formiraju dvije txt datoteke pod nazivima *PODEŠENJA DISTANTNE ZAŠTITE.txt* i *ISPITNE TAČKE ZONA 1,2,3.txt*. Fajl za podešenja vraća vrijednosti parametara koje treba unijeti u softver *PCM600 3.1* za uređaj REL 670. Fajl *ISPITNE TAČKE ZONA 1,2,3.txt* generiše vrijednosti napona i struja koje trebati injektirati ispitnom kutijom da bi se dobile tražene vrijednosti impedansi.

3.1 Dalekovod 110 kV Čelinac – Kotor Varoš

Za ogledni primjer se koristi dalekovod u TS 110/20 kV Čelinac. Dalekovod se zove DV 110 kV Čelinac – Kotor Varoš. Dužina dalekovoda iznosi 15,4 km. Parametri dalekovoda dati su u tabeli 1. Najkraći i najduži dalekovod u susjednoj trafostanici je DV 110 kV Kotor Varoš - Ukrina, čija je dužina 26,22 km.

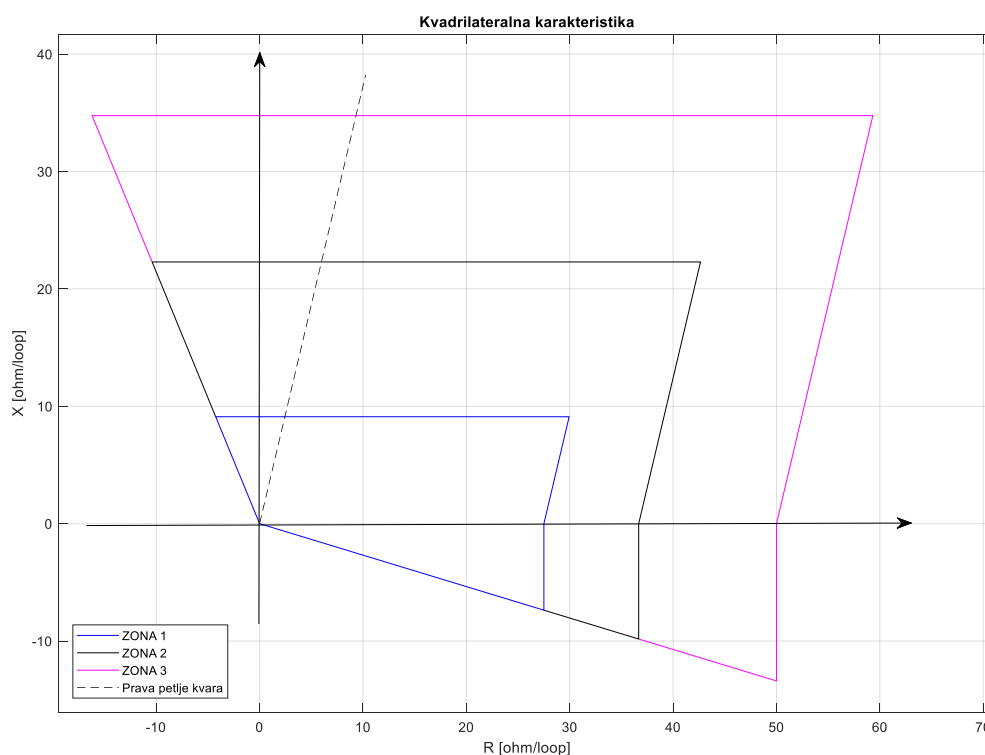
Smjer uzemljenja strujnog transformatora: ToObject

Tabela 1: Parametri dalekovoda DV 110 kV Čelinac – Kotor Varoš

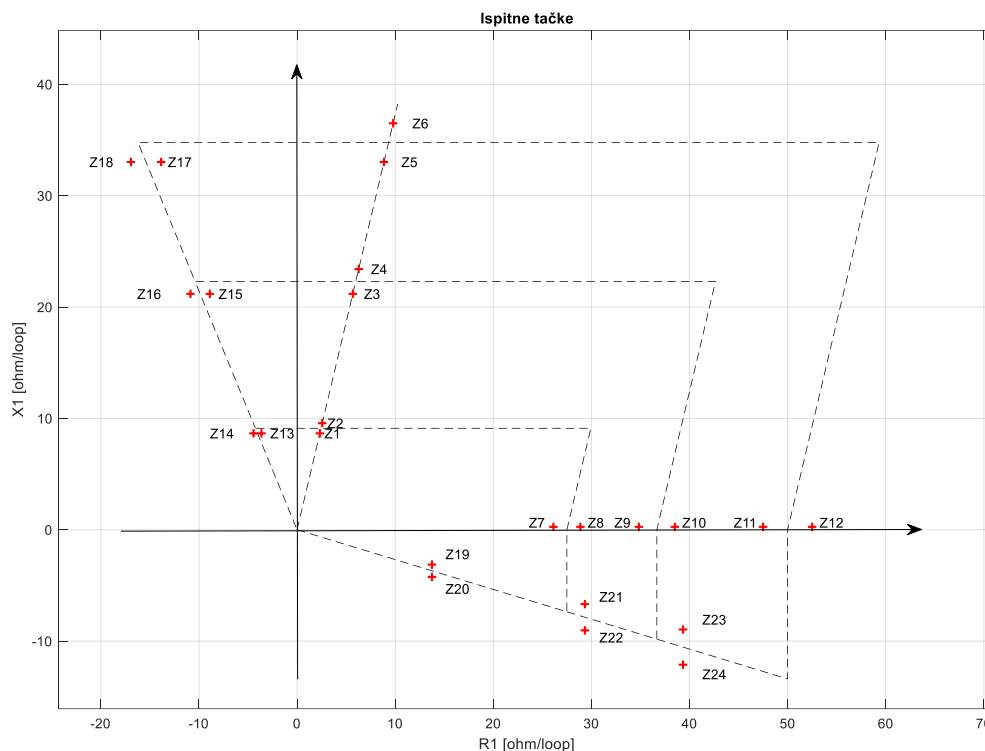
Opis	Oznaka	Vrijednost [Ω/km]
Podužna primarna vrijednost direktne komponente otpornosti	r_1	0,12
Podužna primarna vrijednost direktne komponente reaktanse	x_1	0,394
Podužna primarna vrijednost nulte komponente otpornosti	r_0	0,32
Podužna primarna vrijednost nulte komponente reaktanse	x_0	1,3

3.2 Startovanje fajla i kreiranje slike

Prva slika koja se kreira pokretanjem *Matlaba* iscrtava kvadrilateralnu karakteristiku za DV 110 kV Čelinac – Kotor Varoš, slika 9. Kvadrilateralna karakteristika dalekovoda ne predstavlja impedansu od releja do mjesta kvara, već impedansu kompletne petlje kvara. Impedanse su u primarnim vrijednostima. Sljedeća slika, slika 10, prikazuje ispitne tačke.



Slika 9. Kvadrilateralna karakteristika



Slika 10: Ispitne tačke

3.3 Startovanje fajla i kreiranje txt datoteka

Pokretanjem skripte se kreiraju dva txt fajla koja su već spomenuta.

Dio fajla *PODEŠENJA DISTANTNE ZAŠTITE.txt* dat je na slici 11. Svi neophodni parametri za podešenje zone 1 distantne zaštite su prikazani na slici. Isto je urađeno za zonu 2 i zonu 3.

ZONA 1

Za zonu 1 se preporučuje da distantna zaštita stiti 85% dalekovoda
Ako se radi o kratkom dalekovodu preporučuje se 70%

Direktna komponenta rezistivnog dosega zone 1: $R1PEZ1 = 1.57$ [Ohm]

Direktna komponenta reaktanskog dosega zone 1: $X1PEZ1 = 5.16$ [Ohm]

Nulta komponenta rezistivnog dosega zone 1: $R0Z1 = 4.19$ [Ohm]

Nulta komponenta reaktanskog dosega zone 1: $X0Z1 = 17.02$ [Ohm]

Doseg otpornosti kvara zone 1: $RFPEZ1 = 27.50$ [Ohm]

Vrijeme reagovanja zone 1: $tPEZ1 = 0$ [ms]

Slika 11: Podešenja zone 1

Dio fajla *ISPITNE TAČKE ZONA 1,2,3.txt* dat je na slici 12. Vrednosti fazora struja i napona za ispitivanje tačaka koje se nalaze na pravoj petlje kvara su prikazani na slici.

Slično se nalazi u fajlu za tačke sa maksimalnim rezistivnim dosegom, tačke za drugi kvadrant i tačke za četvrti kvadrant.

```
-----  
  
STRUJA KVARA IA JE ISTA ZA SVE KVAROVE  
EFEKTIVNA VRIJEDNOST STRUJE KVARA IA=2.00 [A]  
FAZNI STAV STRUJE KVARA IA IZNOSI 0.00 [°]  
  
-----  
  
ISPITNE TACKE KOJE SE NALAZE NA PRAVOJ PETLJE KVARA  
  
Z1  
VA_Z1=9.78*exp(i*74.99) [V]  
  
Z2  
VA_Z2=10.80*exp(i*74.99) [V]  
  
Z3  
VA_Z3=23.92*exp(i*74.99) [V]  
  
Z4  
VA_Z4=26.44*exp(i*74.99) [V]  
  
Z5  
VA_Z5=37.30*exp(i*74.99) [V]  
  
Z6  
VA_Z6=41.22*exp(i*74.99) [V]  
  
-----
```

Slika 12. Struje i naponi za ispitivanje tačaka koje sa nalaze na pravoj petlje kvara

3.4 Injektiranje električnih veličina

Nakon unošenja parametara u relej, spremno je sve za ispitivanje. Struja je ista za sve tačke i iznosi efektivno 2 A, sa uglom 0 °. U tabelama su dati parametri napona i željenih impedansi po zonama koji se iščitaju iz txt fajla *ISPITNE TAČKE ZONA 1,2,3.txt*. Željene impedanse izračunate u *Matlabu* su date u tabeli. Generisanjem struja i napona releju, relej estimira impedanse koje su takođe date u tabeli. Korišćenjem funkcije *Signal Monitoring* u *PCM600 3.1* se iščitaju vrijednosti impedansi. Napon i struja se naravno generišu sekundarno, ali je prikaz impedansi u primarnim vrijednostima. Releji ne mjeri impedansu, već je estimira na osnovu faznih napona i struja.

Takođe treba napomenuti da su uzimane tolerancije reda 5% od granica zona, tj. ispitne tačke su udaljene od granica zona za vrijednost tolerancije pomnoženu sa granicom zone.

Tabela 2: Rezultati ispitivanja za tačke koje se nalaze na pravoj petlje kvara

		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
	Struja I_A [A]	2	2	2	2	2	2
Matlab	V_A [V]	9,78	10,80	23,92	26,99	37,3	41,22
	V_A angle [°]	74,99	74,99	74,99	74,99	74,99	74,99
	R_{Loop} [Ω]	2,32	2,57	5,68	6,28	8,86	9,79
	X_{Loop} [Ω]	8,66	9,57	21,18	23,41	33,02	36,5
	Z_{Loop} [Ω]	8,96	9,90	21,92	24,24	34,19	37,79
	Z_{Loop} angle [°]	74,99	74,99	74,99	74,99	74,99	74,99
Hitachi REL 670	R_{Loop} [Ω]	2,33	2,57	5,7	6,31	8,89	9,8
	X_{Loop} [Ω]	8,66	9,57	21,19	23,42	33,06	36,51
	Z_{Loop} [Ω]	8,97	9,91	21,95	24,26	34,23	37,8
	Z_{Loop} angle [°]	74,99	74,99	74,99	74,99	74,99	74,99
	Trip [ms]	78,8	373	373,7	678,3	675,2	no trip

Tabela 3: Rezultati ispitivanja za maksimalne rezistivne dosege

		Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12
	Struja I_A [A]	2	2	2	2	2	2
Matlab	V_A [V]	28,5	31,5	38	42	51,82	57,27
	V_A angle [°]	0,57	0,51	0,42	0,38	0,31	0,28
	R_{Loop} [Ω]	26,13	28,86	34,84	38,5	47,5	52,5
	X_{Loop} [Ω]	0,2579	0,2579	0,2579	0,2579	0,2579	0,2579
	Z_{Loop} [Ω]	26,13	28,88	34,84	38,5	47,5	52,5
	Z_{Loop} angle [°]	0,57	0,51	0,42	0,38	0,31	0,28
Hitachi REL 670	R_{Loop} [Ω]	26,15	28,91	34,88	38,55	47,57	52,56
	X_{Loop} [Ω]	0,24	0,256	0,261	0,253	2,251	0,21
	Z_{Loop} [Ω]	26,15	28,91	34,92	38,55	47,57	52,56
	Z_{Loop} angle [°]	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
	Trip [ms]	74,4	372,5	359,3	677,5	673	no trip

Tabela 4: Rezultati za drugi kvadrant

		Z13	Z14	Z15	Z16	Z17	Z18
	Struja I_A [A]	2	2	2	2	2	2
Matlab	V_A [V]	10,24	10,61	25,06	25,97	39,07	40,49
	V_A angle [°]	112,77	117,16	112,77	117,16	112,77	117,16
	R_{Loop} [Ω]	-3,63	-4,44	-8,89	-10,86	-13,86	-16,94
	X_{Loop} [Ω]	8,66	8,66	21,18	21,18	33,02	33,02
	Z_{Loop} [Ω]	9,39	9,73	22,97	23,8	35,81	37,11
	Z_{Loop} angle [°]	112,77	117,16	112,77	117,16	112,77	117,16
Hitachi REL 670	R_{Loop} [Ω]	-3,63	-4,44	-8,9	-10,85	-13,84	-16,94
	X_{Loop} [Ω]	8,67	8,68	21,21	21,22	33,06	33,06
	Z_{Loop} [Ω]	9,39	9,75	23	23,83	35,84	37,15
	Z_{Loop} angle [°]	112,7	117,1	112,7	117	112,7	117,1
	Trip [ms]	78,4	no trip	378,3	no trip	676,3	no trip

Tabela 5: Rezultati za četvrti kvadrant

		Z19	Z20	Z21	Z22	Z23	Z24
	Struja I_A [A]	2	2	2	2	2	2
Matlab	V_A [V]	15,38	15,7	32,82	33,49	44,01	44,9
	V_A angle [°]	-12,83	-17,13	-12,83	-17,13	-12,83	-17,13
	R_{Loop} [Ω]	13,75	13,75	29,33	29,33	39,34	39,34
	X_{Loop} [Ω]	-3,13	-4,24	-6,68	-9,04	-8,96	-12,12
	Z_{Loop} [Ω]	14,1	14,39	30,09	30,7	40,34	41,16
	Z_{Loop} angle [°]	-12,83	-17,13	-12,83	-17,13	-12,83	-17,13
Hitachi REL 670	R_{Loop} [Ω]	13,77	13,75	29,37	29,35	39,38	39,36
	X_{Loop} [Ω]	-3,14	-4,24	-6,71	-9,08	-8,97	-12,15
	Z_{Loop} [Ω]	14,12	14,39	30,13	30,72	40,39	41,19
	Z_{Loop} angle [°]	-12,8	-17,1	-12,8	-17,1	-12,8	-17,1
	Trip [ms]	86,7	no trip	387,5	no trip	686,2	no trip

Iz tabela je jasno da su impedanse koje se računaju u *Matlabu* skoro identične sa impedansama iščitanim sa releja REL 670, što potvrđuje tačnost algoritma u skripti. Vremena reagovanja su u skladu sa podešenjima.

4 ZAKLJUČAK

Algoritam iz skripte se pokazao kao tačan, te predstavlja jedan od načina za ispitivanje distantne zaštite. Distantna zaštita se najčešće ispituje upotrebom *Omicrona*, tako što se podešenja u obliku *rio* fajla importuju u biblioteke *Omicrona*, ALI ...

Možete da budete u situaciji da imate jeftiniju verziju *Omicrona* koja ne podržava napredno ispitivanje distantne zaštite, tj. verziju koja nema modul *Advanced Distance*.

Takođe, moguće je da imate više polja u različitim trafostanicama, koja treba da se ispituju istovremeno. U nedostatku ispitnih kutija, npr. *Omicrona*, moguće je uz ovaj algoritam koristiti najjednostavnije monofazne kutije.

Primjenom ovog algoritma, te upotrebom najobičnije monofazne kutije, npr. *Sverker 670*, moguće je generisati napon i struju, te zadati ugao između napona i struje. Ovo je dovoljno da se mogu ispitati distantne zaštite pri jednofaznim kvarovima.

Neki releji ne podržavaju eksport parametara u *rio* formatu, te se onda nailazi na problem da bez obzira što imate *Advanced Distance* modul, ne možete tako da ispitete distantnu zaštitu. Ti proizvođači imaju dodatne programe, gdje se podešenja iz releja izvoze u nekom drugom formatu, koji se importuje u taj program, te kao izlaz iz tog programa možete imati *rio* format. Zbog dosta konverzija se može često imati problem kada se taj *rio* fajl importuje u datoteke *Omicrona*. Pri dosta konverzija se mogu kao rezultat imati pogrešna podešenja.

Razlog za ovaj rad je da se temeljno izučiti pozadina rada distantne zaštite. Često se prilikom ispitivanja generišu automatski ispitni protokoli, zbog mogućnosti upotrebe *rio* fajla i *Advanced Distance* modula, te se ispitivanje svede na čisto mehaničko generisanje protokola, bez nekog razmišljanja šta zapravo radimo.

Takođe, unošenjem parametara dalekovoda, računaju se automatski podešenja po zonama, te se ne mora pribjegavati ručnom računanju, upotrebi Excel-a i ostalo.

5 LITERATURA

[1] Dr Željko V Despotović, 2018, “Simetrični i nesimetrično trofzni sistemi“

[2] Hitachi Energy, 2025, “Technical manual, Revision T“

[3] Hitachi Energy, 2024, “Application manual, Revision P“