

Integracija prijenosne trafostanice u EES sa stajališta koordinacije zaštite

Kovač, Robert

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:815512>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni studij

**INTEGRACIJA PRIJENOSNE TRAFOSTANICE U EES
SA STAJALIŠTA KOORDINACIJE ZAŠTITE**

Diplomski rad

Robert Kovač

Osijek, 2018.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 04.09.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Robert Kovač
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D 1022, 19.09.2017.
OIB studenta:	43502766439
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Predrag Marić
Sumentor:	Dino Masle
Sumentor iz tvrtke:	Dino Masle
Predsjednik Povjerenstva:	Prof.dr.sc. Srete Nikolovski
Član Povjerenstva:	Dino Masle
Naslov diplomskog rada:	Integracija prijenosne trafostanice u EES sa stajališta koordinacije zaštite
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	Novo prijenosno postrojenje podrazumijeva izgradnju novih vodova ili interpolaciju na postojeće vodove što neizbježno mijenja topologiju te vladanje dijela EES-a. Na temelju dostavljenih podataka o mreži i njezinim elementima izraditi model primarnih zaštita (21L,50/51) za postojeće i buduće stanje mreže uvažavajući tehnička ograničenja i važeće zakonske propise te izraditi detaljan model zaštite svih energetskih elemenata. Proračune izvršiti za očekivane kvarove (prema tipu i učestalosti) unutar i izvan postrojenja koristeći programski jezik Python. (Sumentor: Dino Masle, mag. ing., Tvrtka: HOPS - Prijenosno područje Osijek)
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	04.09.2018.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 12.09.2018.

Ime i prezime studenta:

Robert Kovač

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D 1022, 19.09.2017.

Ephorus podudaranje [%]:

5

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Integracija prijenosne trafostanice u EES sa stajališta koordinacije zaštite**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Predrag Marić

i sumentora Dino Masle

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA

Ja, Robert Kovač, OIB: 43502766439, student/ica na studiju: Diplomski sveučilišni studij
Elektrotehnika, dajem suglasnost Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih
tehnologija Osijek da pohrani i javno objavi moj **diplomski rad**:

Integracija prijenosne trafostanice u EES sa stajališta koordinacije zaštite

u javno dostupnom fakultetskom, sveučilišnom i nacionalnom repozitoriju.

Osijek, 12.09.2018.

potpis

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Distantna zaštita u prijenosnoj mreži	1
1.2. DIgSILENT PowerFactory i programski jezik Python	1
2. DISTANTA ZAŠTITA	2
2.1. Princip djelovanja distantne zaštite	2
2.2. Zone distantne zaštite	3
2.2.1. Doseg u rezistivnom smjeru	7
2.2.2. Koeficijent zemljospoja k_0 i φ_0	8
2.3. Pobuda releja	9
2.3.1. Nadstrujna pobuda	9
2.3.2. Podimpedantna pobuda (U/I pobuda)	9
2.3.3. Kutno ovisna podimpedantna pobuda (U/I/ φ)	10
2.3.4. Impedancijska pobuda	11
2.4. Vremensko zatezanje zona	12
3. MODEL MREŽE U PROGRAMSKOM PAKETU <i>DIgSILENT PowerFactory</i>	13
3.1. 110 kV prijenosna mreža	13
3.2. Model mreže ustupljen od strane <i>HOPS-a</i>	13
4. PYTHON SKRIPTA	15
4.1. Programski jezik Python	15
4.2. Kreiranje Python skripte	15
4.3. Povezivanje Python skripte i programskog paketa <i>DIgSILENT PowerFactory</i>	16
5. MODEL RELEJA I MJERNIH TRANSFORMATORA	20
5.1. Model releja	20

5.2. Model mjernih transformatora.....	24
6. MODEL ZAŠTITE PRIJE INTEGRACIJE TRAFOSTANICE „TS 110/20 kV Ilok“.....	27
6.1. Postavke releja prije integracije trafostanice „TS 110/20 kV Ilok“	27
6.2. Rezultati dobiveni pomoću <i>Python</i> skripte.....	35
7. INTEGRACIJA TRAFOSTANICE „TS 110/35 KV ILOK“	47
7.1. Topologija mreže nakon integracije trafostanice „TS 110/35 kV Ilok“	47
7.2. Utjecaj nove transformatorske stanice „TS 110/20 kV Ilok“ na postavke zaštite.....	47
8. MODEL ZAŠTITE NAKON INTEGRACIJE TRAFOSTANICE „TS 110/20 kV Ilok“ ...	49
8.1. Postavke releja nakon integracije trafostanice „TS 110/20 kV Ilok“	49
8.2. Korekcija vremenskih zatezanja.....	54
8.3. Rezultati dobiveni pomoću <i>Python</i> skripte.....	55
9. ZAKLJUČAK	68
ŽIVOTOPIS	72
PRILOZI.....	73

1. UVOD

1.1. Distantna zaštita u prijenosnoj mreži

U elektroenergetskom sustavu postoji opasnost od nastanka opasnih pogonskih stanja i kvarova zbog same stohastičke prirode sustava te smanjenja izolacijskih svojstava pojedinih komponenata. Kako bi se omogućio pouzdan i siguran rad EES-a potrebno je u što kraćem vremenu otkriti element sustava koji je u kvaru ili opasnom pogonskom stanju i izolirati ga od ostatka EES-a. Jedna od najučinkovitijih zaštita koja se primjenjuje pri zaštiti elemenata EES-a, poglavito vodova, jest distantna zaštita[1]. To je zaštita, čije vrijeme djelovanja raste s udaljenošću kratkog spoja od releja. Razlog zbog kojeg distantna zaštita ima prednost u odnosu na nadstrujnu ili usmjerenu zaštitu je taj što već u nešto kompliciranijoj mreži nadstrujna i usmjerena zaštita pokazuju nemogućnost selektivnog djelovanja[2]. Integracija novog postrojenja u EES sa stajališta distantne zaštite predstavlja promjenu u impedancijama, odnosno zonama koje releji moraju pokrivati. Uz parametrisiranje distantne zaštite novog postrojenja, potrebno je provesti provjeru štite li postojeći releji sa pripadajućim karakteristikama distantnih zona novonastalu topologiju mreže.

1.2. DIGSILENT¹ PowerFactory i programski jezik Python

DIGSILENT PowerFactory programski paket je moćan inženjerski alat za analizu prijenosa, distribucije i industrijskih elektroenergetskih sustava. Osmišljen je kao napredni integrirani i interaktivni programski paket posvećen elektroenergetskom sustavu u svrhu planiranja i optimizacije. *DIGSILENT PowerFactory* dizajniran je i razvijen od strane kvalificiranih inženjera i programera s mnogo godina iskustva u analizi elektroenergetskog sustava i računalnom programiranju. Točnost i valjanost rezultata dobivenih *PowerFactory*-om potvrđena je u velikom broju implementacija, od strane organizacija uključenih u planiranje i rad energetske sustava diljem svijeta. Mogućnost povezivanja sa programskim jezikom Python jedna je od brojnih prednosti ovog programskog paketa. U ovome radu između ostalog prikazano je kako se pisanjem skripte u programskom jeziku Python može olakšati posao parametrisiranja dstante zaštite, te provjere radi li distantna zaštita na predviđen način.

¹ "DIGSILENT" je akronim za "DIGital SIMuLation of Electrical NeTworks"

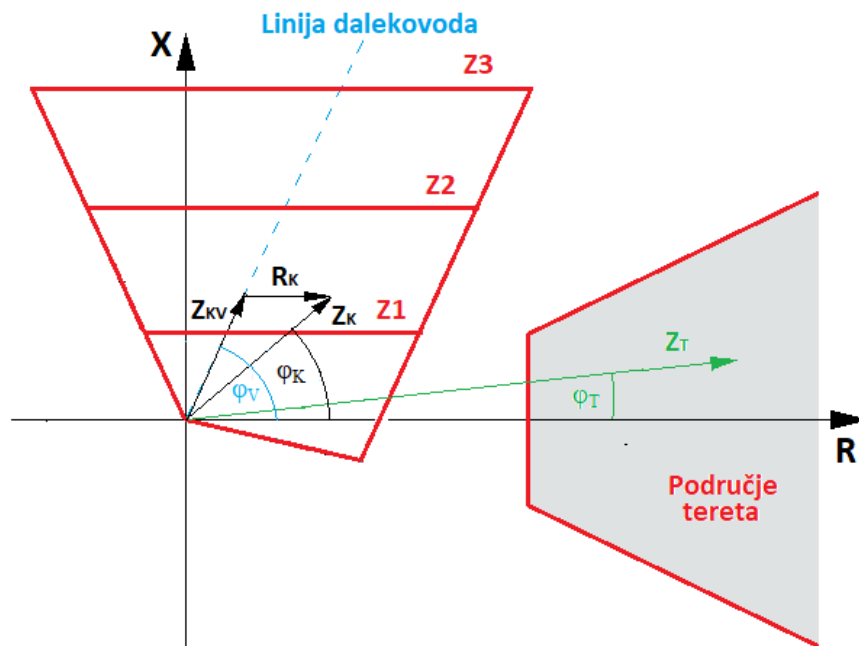
2. DISTANTA ZAŠTITA

2.1. Princip djelovanja distantne zaštite

U prijenosnim mrežama (mreže visokog i vrlo visokog napona) distantna zaštita predstavlja najzastupljeniji oblik zaštite. Distantni releji posredstvom strujnih i naponskih mjernih transformatora mjere trenutne vrijednosti napona i struje, odnosno impedanciju. Izmjerena impedancija se uspoređuju sa poznatom impedancijom voda, u slučaju kvara izmjerena impedancija je manja od podešene impedancije, detektira se kvar te se sukladno tome pošalje naredba za isklon prekidača. Jedna od prednosti distantne zaštite jest u tome što se pomoću izmjerene impedancije kvara lako može detektirati mjesto nastanka kvara pošto je izmjerena impedancija proporcionalna duljini dionice na kojoj se dogodio kvar. Za razliku od diferencijalne zaštite koja je u potpunosti selektivna, distantna zaštita ne omogućuje potpunu selektivnost[1]. Selektivnost se ostvaruje pomoću vremenskog zatezanja, odnosno releji koji su najbliži mjestu kvara djeluju u najkraćem vremenu, time je osigurana selektivnost zaštite u mreži bilo koje konfiguracije.

Distantna zaštita u svojoj osnovnoj formi ne koristi nikakvi oblik komunikacije sa zaštitom na drugom kraju dalekovoda, iako se pri složenijim konfiguracijama mreže radi ostvarivanja što boljih performansi zaštite preporuča uz višestranu uzdužnu zaštitu i korištenje neka vrsta komunikacije između dva kraja dalekovoda (DUTT, PUTT, POTT...).

Pri podešenju zaštite najznačajniji alat predstavlja impedancijski dijagram koji sadrži karakteristiku releja, impedanciju voda, impedanciju koju mjeri relej ovisno pogonskom stanju mreže, te impedanciju tereta. U normalnom stanju izmjerena impedancija odgovara impedanciji tereta, dok kut tereta odgovara kutu između napona i struje. Prilikom kvara izmjerena impedancija odgovara impedanciji voda između releja i mjesta kvara, dok izmjereni kut odgovara kutu voda. Za slučaj kada postoji prijelazni otpor na mjestu kvara, on se tada dodaje impedanciji kvara[1]. Na slici 2.1. prikazan je impedancijski dijagram sa tri distantne zone (Z_1 , Z_2 i Z_3), prijelaznim otporom (otpor luka) R_K , impedancijom dionice voda od releja do mjesta kvara Z_{KV} , ukupnom impedancijom kvara Z_K , te kutom voda φ_V , kutom kratkog spoja φ_K i kutom tereta φ_T .



Slika 2.1. Impedancijski dijagram

2.2. Zone distantne zaštite

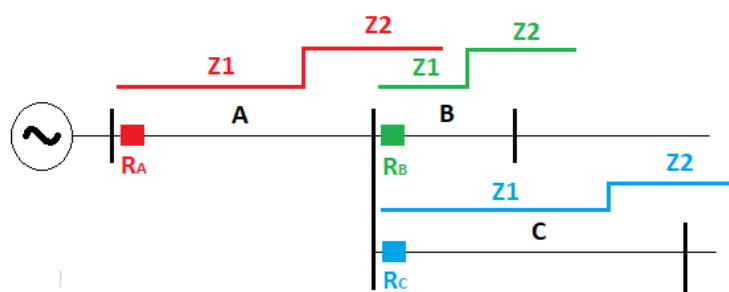
Zona distantne zaštite označava područje u R-X grafu za koje će relej reagirati sa pripadajućim vremenskim zatezanjem, ako se izmjerena impedancija nađe unutar tog područja. Za odabir izraza kojima se određuju dosezi pojedinih zona postoji veći broj izvora znanstveno-stručne literature. Prema topologiji mreže treba odabrati one izraze kojima će se udovoljiti zahtjevima postavljenima pred distantnu zaštitu. Odnosno, od pojedinog autora odabrani su izrazi koji će najbolje odgovarati zadanoj konfiguraciji mreže.

Doseg prve zone (tzv. poddohvatna zona) se zbog mogućih grešaka u mjerenju i eventualnih netočnih parametara mreže ne postavlja na 100% duljine štice vod. Podešava se, ovisno o tehnologiji mreže, na 80% do 90% duljine štice vod kako bi se osigurala selektivnost. Usmjerenje ove zone je prema naprijed[3].

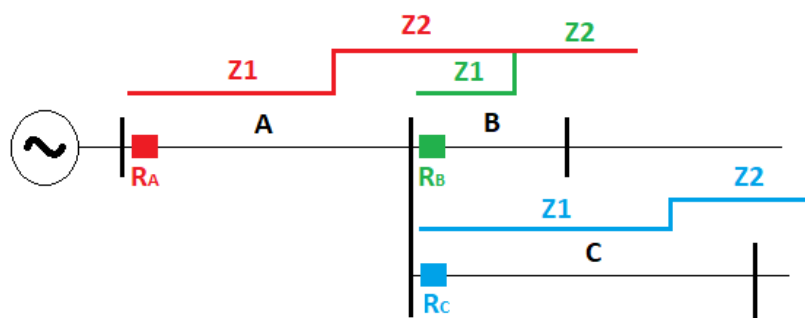
$$Z_I = 0,8 \cdot Z_1 \quad (2-1)$$

Z_1 – impedancija štice vod

Druga zona usmjerena je također prema naprijed i štiti ostatak voda, te minimalno 20% duljine susjednog voda, odnosno maksimalno 50% duljine susjednog voda. Kako su susjedni vodovi često različitih parametara, postavljanje doseg druge zone između 20% i 50% može dovesti do neselektivnog djelovanja releja. Zato je poželjno doseg druge zone postaviti tako da štiti ukupnu duljinu prvog (štićenog voda) te dodatnih 50% najkraćeg susjednog voda. Time je izbjegnuto preklapanje druge zone releja koji štiti prvi vod, te prve zone releja koji štiti drugi, susjedni vod. Ovim načinom podešavanja izbjegnuto je nepotrebno dodatno podešavanje vremenskih zatezanja drugog distantnog stupnja susjednih releja[4]. Na slici 2.2a. prikazani su pravilno parametrirani releji, dok su na slici 2.2b. prikazani pogrešno parametrirani releji.



Slika 2.2a. Pravilno parametrirani releji (nema preklapanja zona)



Slika 2.2b. Pogrešno parametrirani releji (zona 2 releja RA preklapa se sa zonom 2 releja RB)

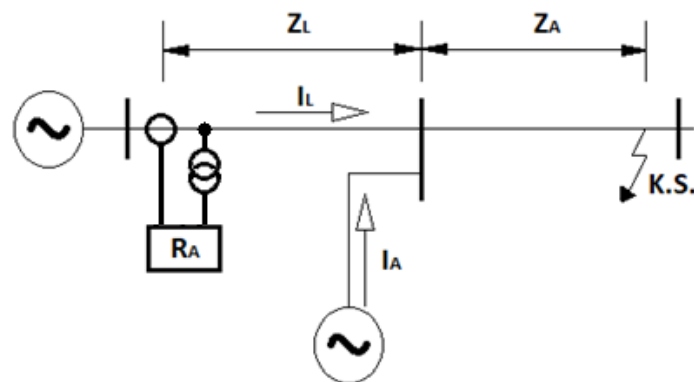
Dakle, izraz za određivanje doseg druge zone je:

$$Z_{II} = Z_1 + 0,5 \cdot Z_{2min} \quad (2-2)$$

Z_1 – impedancija šticećenog voda

Z_{2min} – impedancija najkraćeg susjednog voda

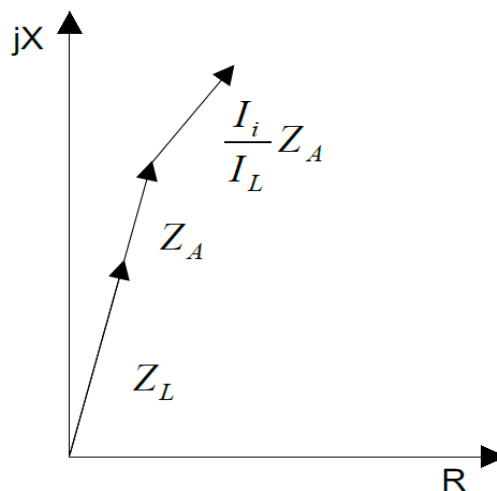
Treća zona pokriva štice vod i najduži susjedni vod, prilikom određivanja dosega treće zone impedancije tih dvaju vodova trebaju se zbrojiti i pomnožiti sa koeficijentom 1,2. Međutim, topologija prijenosnih mreža veoma je složena pa do izražaja dolazi *under-reach* efekt. *Under-reach* efekt manifestira se tako što relej prilikom kvara mjeri impedanciju veću od stvarne impedancije kvara. Glavni razlog zbog kojeg se javlja *under-reach* efekt jesu struje koje zajedno sa strujom koju mjeri relej na štice vodu ulaze u čvorište koje se nalazi između releja i mjesta kvara. Na slici 2.3. prikazana je topologija mreže pri kojoj nastupa *under-reach* efekt, dok je na slici 2.4. prikazana impedancija koju u tom slučaju mjeri relej RA [5].



Slika 2.3. Under-reach efekt

Kako bi se kompenzirala greška zbog *under-reach* efekta pri proračunu treće zone uvažava impedancija greške Z_{error} .

$$Z_{error} = \frac{\sum I_i}{I_L} \cdot Z_A \quad (2-3)$$



Slika 2.4. Impedancija mjerena od strane releja RA

Uzimajući sve ranije navedeno u obzir, izraz za određivanje dosega treće zone glasi:

$$Z_{III} = 1,4^2 \cdot \left[(Z_1 + Z_{2max}) \cdot \left(1 + \frac{\sum I_i}{I_L} \right) \right] \quad (2-4)$$

Gdje je:

Z_1 – impedancija štice vodova

Z_{2max} – impedancija najdužeg susjednog voda

$\sum I_i$ – suma struja koje ulaze u vod

I_L – struja voda na kojem se nalazi promatrani relej

Treća zona je također usmjerena prema naprijed.

Četvrta zona podešava se u suprotnom smjeru i predstavlja rezervnu zaštitu sabirničkoj zaštiti. Podešava se na 50%-60% duljine najkraćeg voda u suprotnom smjeru. Pri podešenju ove zone treba paziti da doseg ne prijeđe impedanciju dvaju transformatora spojenih u paralelu, jer bi u protivnom ovaj stupanj mogao nepotrebno reagirati na kvarove koji se javljaju na sabirnicama nižeg napona[6]. Dakle, doseg četvrte zone je:

$$Z_{IV} = 0,5 \cdot Z_{rmin} \quad (2-5)$$

Z_{rmin} – impedancija najkraćeg voda u suprotnom smjeru

Posljednja, neusmjerena peta zona ovisi o maksimalnim impedanciji tereta koja se može javiti za sve moguće konfiguracije mreže i predstavlja rezervu za sve do sada spomenute zone. Maksimalna impedancija tereta računa se za najnepovoljniji slučaj, što znači za konfiguraciju mreže pri kojoj teku najveće struje u normalnom pogonu, koje se radi sigurnosti uzimaju veće za 20%, napon se uzima snižen na 90% nazivne vrijednosti.[6].

² Na temelju iskustva inženjera koji se dugi niz godina bave zaštitom vodova koeficijent 1,2 koji se može naći u literaturi radi veće sigurnosti može se zamijeniti sa nešto većim koeficijentom, u ovom slučaju odabran je koeficijent 1,4.

$$Z_{\min \text{ tereta}} = \frac{0,9 \cdot U_n}{1,2 \cdot I_n \cdot \sqrt{3}} \quad (2-6)$$

Gdje je:

U_n – nazivna vrijednost napona

I_n – nazivna vrijednost primarne struje strujnog mjernog transformatora

Ako se uvede sigurnosni faktor 0,8 tada izraz za doseg pete zone glasi:

$$Z_V = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}} \quad (2-7)$$

Izrazi po kojima se određuju impedancije pojedinih zona su dani u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Izrazi za određivanje dosega pojedinih zona

Zona	Pravilo podešavanja	Smjer
1	$Z_I = 0,8 \cdot Z_1$	naprijed
2	$Z_{II} = Z_1 + 0,5 \cdot Z_{2\min}$	naprijed
3	$Z_{III} = 1,4 \cdot \left[(Z_1 + Z_{2\max} \cdot \left(1 + \frac{\sum I_i}{I_L} \right)) \right]$	naprijed
4	$Z_{IV} = 0,5 \cdot Z_{r\min}$	nazad
5	$Z_V = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}}$	neusmjereno

2.2.1. Doseg u rezistivnom smjeru

Suvremeni distantni releji poput onog koji će biti korišten pri modeliranju zaštite u ovome radu omogućuju unos rezistivnog dosega zasebno za međufazne kvarove te za kvarove prema zemlji. Stoga je potrebno odrediti rezistivni doseg za te dvije vrste kvarova. Kada je riječ o međufaznim kvarovima za računanje u dosega u rezistivnom smjeru mogu poslužiti izrazi dani u tablici 2.1.. Međutim, za kvarove prema zemlji koji su ujedno i najčešći, potrebno je u obzir uzeti otpor luka koji se javlja na mjestu kvara.

Otpor luka može se izračunati prema Warringtonovoj formuli:

$$R_{luka} = \frac{28710 \cdot l_{luka}}{I^{1,4}} \quad [\Omega] \quad (2-8)$$

Gdje je:

l_{luka} - duljina luka

I - struja na mjestu kvara

Proračun je potrebno izvršiti za najgori mogući scenarij što bi za 110 kV naponsku razinu bilo slijedeće:

- Duljina luka $l_{luka} = 3,5$ m
- Struja na mjestu kvara $I = 1$ kA (kako je riječ o 110 kV mreži čija su zvjezdišta transformatora većinom uzemljena, sigurna je pojava struje jednofaznog kratkog spoja koja će po iznosu biti veća od 1 kA.).

$$R_{luka} = \frac{28710 \cdot l_{luka}}{I^{1,4}} = \frac{28710 \cdot 3,5}{1000^{1,4}} = 6,3 \Omega \quad (2-9)$$

U obzir je također potrebno uzeti otpor uzemljenja stupa, za koji se u najnepovoljnijem slučaju može uzeti $R_{stupa} = 10 \Omega$

Stoga bi se doseg u rezistivnom smjeru za kvarove prema zemlji računao prema izrazu:

$$R_{(ph-e)} = R_1 + R_{luka} + R_{stupa} [\Omega] \quad (2-10)$$

Međutim, selektivnost se neće izgubiti ako kod svih pet zona doseg u rezistivnom smjeru računamo po istom izrazu. Izraz koji će se koristiti jednak je izrazu (2-7) za određivanje pete neusmjerene zone, na taj način prilikom parametriranja releja maksimalno su obuhvaćeni i uzeti u obzir otpori koji se javljaju na mjestu kvara (otpor luka, otpor stupa, otpor grane...). Stoga doseg za kvarove prema zemlji za sve zone računamo prema izrazu (2-11). Područje tereta prikazano na impedancijskom grafu (slika 2.1.) određeno je upravo minimalnom impedancijom tereta koja se računa prema izrazu (2-6), ta se vrijednost dobivena prema tom izrazu unosi u postavke releja, odnosno na realnu os impedancijskog dijagrama.

$$R_{(ph-e)} = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}} \quad (2-11)$$

2.2.2. Koeficijent zemljospoja k_0 i φ_0

Releji su predviđeni za rad sa direktnim komponentama, kako se nulte komponente redovito razlikuju od direktnih komponenata dalekovoda relej u slučaju jednofaznog kratkog spoja „vidi“

impedanciju različitu od one koja se javlja za međufazne kratke spojeve. Razlog tomu je što se u nadomjesnom strujom krugu za jednofazni kratki spoj javlja upravo ta, nulta komponenta impedancije. Stoga za svoj ispravan rad relej zahtjeva određenu kompenzaciju koja se ostvaruje pomoću faktora zemljospoja k_0 (za iznos impedancije) i φ_0 (za kut impedancije) koji se računa na slijedeći način:

$$|k_0| = \left| \frac{(Z_0 - Z_1)}{3Z_1} \right| \quad (2-12)$$

$$\varphi_0 = \angle \frac{(Z_0 - Z_1)}{3Z_1} \quad (2-13)$$

2.3. Pobuda releja

Pobudni član distantnog releja za zadaću ima otkriti i selektirati kratki spoj u mreži. Kako ne bi došlo do krive pobude u pobudni član mora biti fazno selektivan, odnosno mora ispravno prepoznati fazu u kvaru[1]. Suvremeni numerički releji poput Siemensovog 7SA6 posjeduju neovisne mjerne članove za svaki stupanj i svaku vrstu kvara, ti mjerni sustavi koji prate šest mjerenja, tri fazna L1-E, L2-E i L3-E, te tri međufazna L1-L2, L1-L3 i L2-L3 na taj način osigurana je sigurna detekcija kvara[7].

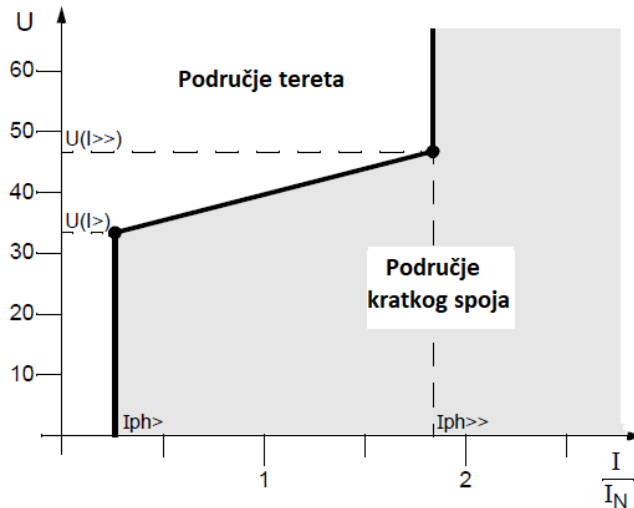
2.3.1. Nadstrujna pobuda

Jedan od najjednostavnijih i najbržih metoda za otkrivanje kvara. Kod ove vrste pobude treba pripaziti da struja kratkog spoja ne bude manja od dvostruke maksimalne struje tereta. Pobudni član releja se postavlja na vrijednost 1,3 od maksimalne struje tereta po fazi, te 0,5 za nultu komponentu struje. Za provjeru pouzdanosti otkrivanja kvara potrebno je koristiti struje dvofaznog kratkog spoja jer su one kod uzemljenih sustava, sigurno manje od trofaznih i dvofaznih struja kratkog spoja[1].

2.3.2. Podimpedantna pobuda (U/I pobuda)

U slučaju slabog izvora, ograničenja nulte komponente struje pomoću reaktancije, otpora u zvjezdištu ili dijeljenja struje u mješovitom sustavu, može se dogoditi da struja kvara bude premala kako bi ju nadstrujna pobuda detektirala. Kako bi se doskočilo ovome problemu koristi se podimpedantna pobuda koja kao dodatan uvjet koristi nadziranje napona. Napon koji mjeri

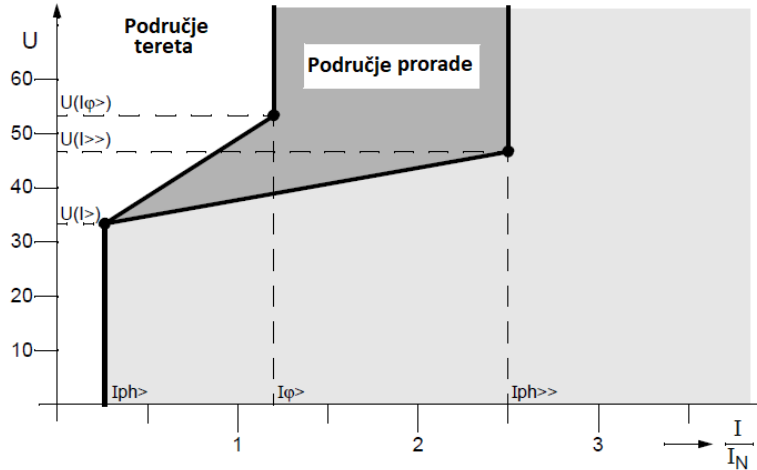
relej ovisi o impedanciji kvara te o impedanciji izvora. Za slučaja kada je vod u beznaponskom stanju, a da bi se spriječila pogrešna pobuda, podimpedantni član koristi uvjet nisko podešene struje držanja koja se postavlja na $0,2 I_N - 0,5 I_N$. Dakle kod ovakve vrste pobude postojanje napona kontrolira se strujom, stoga se osjetljivost prorade za napon smanjuje sa smanjenjem struje. Karakteristika podimpedantne pobude prikazana je slikom 2.5.



Slika 2.5. Karakteristika podimpedantne pobude

2.3.3. Kutno ovisna podimpedantna pobuda ($U/I/\varphi$)

U prijenosnim mrežama kut tereta i kut kratkog spoja bitno se razlikuju što može poslužiti kao dodatan kriterij pobude. Kut kratkog spoja veći je od 70° dok kut tereta leži u rasponu od $+30^\circ$ do -30° . Pomoću ovog dodatnog kriterija moguće je otkrivanje kvarova na krajevima dugih vodova ili detekcija kvara na susjednim vodovima[1]. Karakteristika kutno ovisne podimpedantne pobude prikazana je na slici 2.6.



Slika 2.6. Karakteristika kutno ovisne podimpedantne pobude

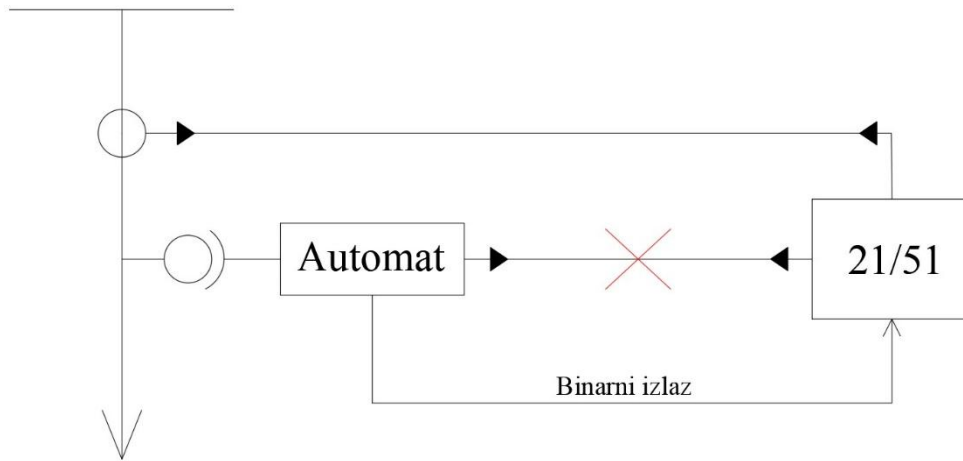
2.3.4. Impedancijska pobuda

U ovome slučaju nadzire se impedancija svih šest ranije spomenutih petlji kvarova. Kod konvencionalnih releja karakteristike pobude optimizirane su pomoću raznih kružnih karakteristika i pravaca. Što znači da se traži veliki domet u reaktivnom smjeru kako bi se mogli detektirati udaljeni kvarovi, te dovoljan domet u R smjeru kako bi se mogli kompenzirati utjecaji električnog luka na mjestu kvara. Prilikom odabira ove vrste pobude treba paziti da impedancije faza koje nisu zahvaćene kvarom ne upadnu unutar karakteristike pobude i uzrokuju detekciju kvara. Također preveliki doseg u rezistivnom smjeru može dovesti do prekoračenja sigurnosne granice i ulaska u područje tereta. Rješenje ovih problema donose suvremeni numerički releji čije se karakteristike mogu potpuno optimizirati[1].

Kod $U/I/\varphi$, U/I i impedancijske pobude u slučaju gubitka naponske grane, odnosno mjerenog napona, može doći do pogrešne reakcije releja. Kako nema naponske grane relej u tom slučaju mjeri impedanciju koja je jednaka nuli (2-14), nakon čega dolazi do slanja signala za isklon koji je u tom slučaju pogrešan.

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{0}{I} = 0[\Omega] \quad (2-14)$$

Kako bi se ove pogrešne reakcije releja izbjegle na naponsku granu, kako je to prikazano slikom 2.7., spojen je automat koji pri ispada naponske grane šalje binarni signal releju nakon čega se vod umjesto distantnom zaštitom nastavlja štiti rezervnom nadstrujnom zaštitom.



Slika 2.7. Spoj automata za detekciju ispada naponske grane

2.4. Vremensko zatezanje zona

Za prvu zonu uobičajeno je izostaviti vremensko zatezanje, odnosno parametrirati relej na način da u prvoj zoni djeluje trenutno.

Druga zona čiji doseg seže iza susjednih sabirnica i pruža se na susjedne vodove koji su također šticeeni distantnim relejima mora imati određeno vremensko zatezanje kako bi se postigla selektivnost, inače bi za kvarove na početku susjednog voda došlo do bespotrebnog djelovanja oba releja. Uobičajeno je da se vremensko zatezanje druge zone postavlja u rasponu od 200 ms do 500 ms [4].

Zona 3 se uobičajeno postavlja na 800 ms iz istog razloga kao i zona dva, time se postiže selektivnost prema relejima koji štite susjedne vodove [3].

Zona 4 predstavlja zaštitu u suprotnome smjeru i postavlja se na 300 ms, a to je vrijeme deklarirano kao najdulje vrijeme trajanja kvara na sabirnicama (ako ne postoji diferencijalna zaštita sabirnica kojoj je vrijeme reagiranja $t=0,0$ s).

Zadnja, neusmjerena zona 5 postavlja se izvan vremena djelovanja nadstrujnih zaštita energetskih transformatora čija su vremena djelovanja od 2 sekunde do 3 sekunde, dakle vremensko zatezanje zone 5 iznosi 3,5 sekundi [6]. Mrežnim pravilima HOPS-a propisano je

maksimalno vrijeme trajanja kvara za pojedinu naponsku razinu, koje u slučaju 110 kV voda iznosi 120 ms[8].

Tablica 2.2. Vremensko zatezanje pojedinih zona

Zona	1	2	3	4	5
Vremensko zatezanje [s]	0,0	0,5	0,8	0,3	3,5
Smjer	Naprijed	Naprijed	naprijed	Nazad	Neusmjereno

3. MODEL MREŽE U PROGRAMSKOM PAKETU *DIgSILENT PowerFactory*

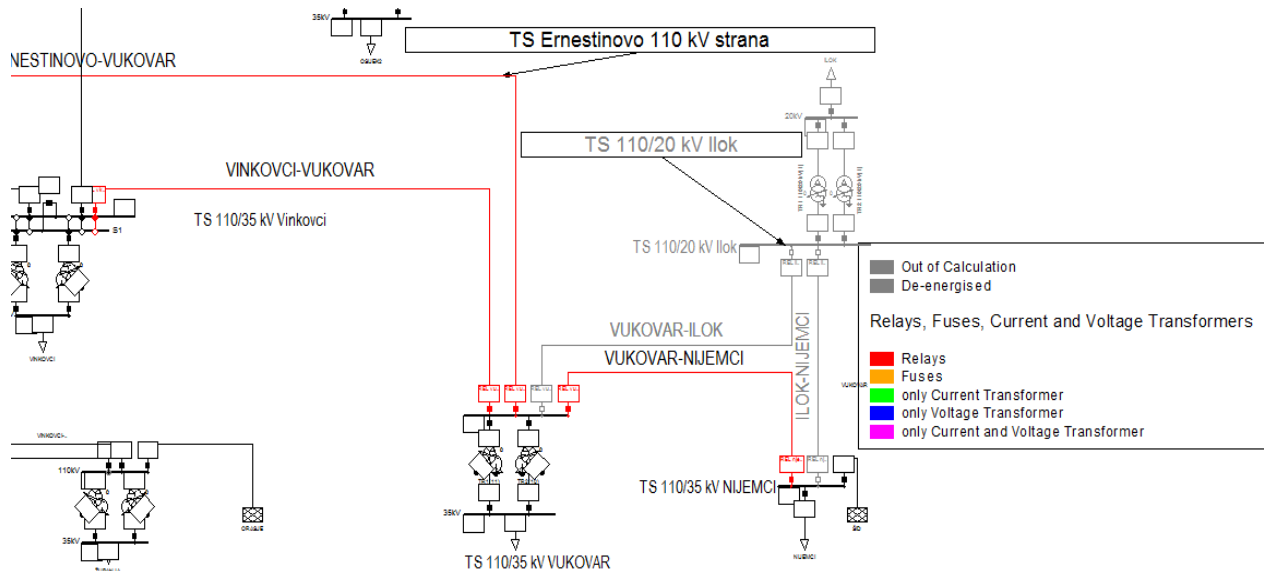
3.1. 110 kV prijenosna mreža

Sustavi pojedinih zemalja povezani su posredstvom jake, višestruko zamkaste mreže. Prijenosni vodovi i kabeli kao i transformatorske stanice, te rasklopna postrojenja dio su hrvatskog elektroenergetskog sustava. Prijenosnu mrežu naponske razine 110 kV u Republici Hrvatskoj čine visokonaponski dalekovodi ukupne duljine 5200 km [9]. Na ovoj naponskoj razini električna energija se pomoću veoma razgranate mreže dalekovoda evakuira iz značajnijih energetske čvorišta poput onoga u Ernestinovu (TS 400/110 kV Ernestinovo) prema većim potrošačkim područjima (gradovima, industrijskim središtima, cementarama i sl.). Također na ovoj naponskoj razini postoje dalekovod za prekogranično povezivanje kao što je npr. Dalekovod ŠID-NIJEMCI. U ovome slučaju razgranata prijenosna mreža pružit će sigurnost i pouzdanost kako cjelokupnom energetske sustavu Republike Hrvatske, tako i susjednim energetske sustavima, pa i europskom energetske sustavu u cjelini. Međutim takva mreža u pogledu zaštite predstavlja izazov za inženjere koji se bave ovim područjem, u pogledu toga posao parametiranja zaštite olakšavaju moćni računalni programi poput programskog paketa *DIgSILENT PowerFactory*.

3.2. Model mreže ustupljen od strane *HOPS-a*

Topologija kao i nazivi elemenata mreže ustupljeni su od strane *HOPS-a*, no parametri svih elemenata mreže se razlikuju od stvarnih i definirani su samo za izračune i simulacije u ovome radu. Dio mreže koji je promatran označen je na slici 3.1. (postojeći elementi su crvene boje, dok

su novi elementi koje je potrebno integrirati sive boje) odnosi se na transformatorske stanice „TS 110/35 kV Vukovar“ i „TS 110/35 kV Nijemci“, susjedne transformatorske stanice „TS 110/35 kV Vinkovci“ i „TS 400/110 kV Ernestinovo“, te prijenosne vodove koji povezuju prethodno navedene transformatorske stanice. Elementi koje je potrebno integrirati u EES su vodovi: VUKOVAR-ILOK, ILOK-NIJEMCI, te transformatorska stanica „TS 110/20 kV Ilok“.



Slika 3.1. Dio modela mreže prijenosnog područja Osijek korištenog pri parametriranju zaštite

Parametri prijenosnih vodova za koje će biti izvršeno parametriranje zaštite dani su u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Parametri prijenosnih vodova potrebni za parametriranje distantne zaštite

vod	I_n (kA)	Z_1 [Ω]	Kut voda	R_1 [Ω]	X_1 [Ω]	R_0 [Ω]	X_0 [Ω]
ERNEST-VUKOVAR	0,735	12,351	70°8'	4,197	11,617	14,172	46,795
ILOK - NIJEMCI	0,735	2,823	70°8'	0,959	2,655	3,239	10,696
VUKOVAR - ILOK	0,735	15,527	70°8'	5,276	14,604	17,816	58,828
VUKOVAR-NIJEMCI	0,535	10,366	70°8'	4,476	9,350	9,775	31,096
VINKOVCI-VUKOVAR	0,535	6,129	64°25'	2,647	5,528	5,780	18,387

Ako se promatra cijela mreža prijenosnog područja Osijek, odnosno energetske prilike pri kojima se vrši parametriranje releja valja naglasiti kako je prijenosno područje Osijek vezano prekograničnim vodovima sa Mađarskom (dvostruki 400 kV vod ERNESTINOVO-PEČUH), Srbijom (110 kV vodovi: B. MANASTIR-APATIN i NIJEMCI-ŠID, 400 kV vod ERNESTINOVO-S. MITORVICA), Bosnom i Hercegovinom (110 kV vod B. BROD-

S.BROD2, 220 kV vodovi TUZLA-ĐAKOVO1 i GRADAČAC-ĐAKOVO1 , 400 kV vod UGLJEVIK-ERNESTINOVO), osim velikog broja 110 kV vodova unutar prijenosnog područja Osijek i 110 kV vodova koji spajaju prijenosno područje Osijek i prijenosno područje Zagreb, valja naglasiti 400 kV vezu ŽERJAVINEC-ERNESTINOVO koja znatno utječe na tokove snaga u mreži. U danom modelu mreže transformatori su postavljeni na *Voltage Setpoint* iznad nazivnih naponskih razina kako bi ostalo dovoljno prostora za naponsku regulaciju na nižim naponskim razinama odnosno kako bi se pogonsko stanje mreže što više približilo stvarnom stanju. Proračunati parametri pomoću kojih će se modelirati zaštita vrijede za ovu opisanu topologiju, prilikom izrade elaborata o zaštiti potrebno je pronaći najgori mogući slučaj (isključivati vodove, povećavati tereta i sl.) i provjeriti vrijede li u tom slučaju postavke releja.

4. PYTHON SKRIPTA

4.1. Programski jezik Python

Programski jezik Python u uporabi je od 1990. godine, to je inepreterski, interaktivni objektno orijentirani jezik. U načelu Python svojom pojavom nije donio ništa revolucionarno već je na optimalan način ujedinio sve najbolje ideje i načela rada drugih programskih jezika, zbog toga ga već od 2000. godine prihvaćaju NASA, IBM, MIT, Google i drugi. Ovaj programski jezik nudi jednostavnost i lako korištenje, a ujedno sadrži sve potrebne programske alate koji se nalaze u sistemskim razvojnim jezicima. Zbog svoje široke rasprostranjenosti o njemu postoji značajna količina literature i dokumentacije, neke od značajki su mu: interpretacija međukoda, jezik visoke razine, interaktivnost, čista sintaksa, napredne značajke jezika, proširivost, bogate knjižice programa, te potpora[10]. Za pisanje koda potrebno je poznavati sintaksu i posjedovati jedan od editora teksta (*MS Office, notepad, Notepad++...*) datoteka koji koristi Python interpreter jednostavno se kreira dodavanjem nastavka ".py".

4.2. Kreiranje Python skripte

Koristeći se literaturom [11] kreirana je Python skripta. Pomoću Python skripte moguće je uz adekvatan odabir varijabli i naredbi provjeriti jesu li releji parametrirani optimalno gledajući s aspekta dosega zona, vremenskog zatezanja i mjere pouzdanosti zaštite. Skripta se, kako je ranije navedeno piše u nekom od editora, u ovom slučaju to je *Notepad ++*. Varijable koje su korištene

pri izradi skripte su: vremena uklanjanja kvara na krajevima promatranog voda ($m:Tfct:bus$, $m:Tfct:bus2$), struje kratkog spoja promatrane sa oba kraja voda ($m:Iks:bus1$, $m:Iks:bus2$), postotak od duljine, odnosno kvar na određenom mjestu na vodu ($ppro$), varijabla $brREL$ koja bilježi broj releja koji su reagirali na kvar, te varijabla t_sum koja sumira vrijeme reakcije svih promatranih releja, odnosno kada se podjeli sa varijablom $brREL$ predstavlja prosječno vrijeme reakcije. U skripti je moguće postaviti vrstu kratkog spoja (npr. dvofazni kratki spoj $2psc$) te metodu po kojoj se proračun kratkog spoja vrši.

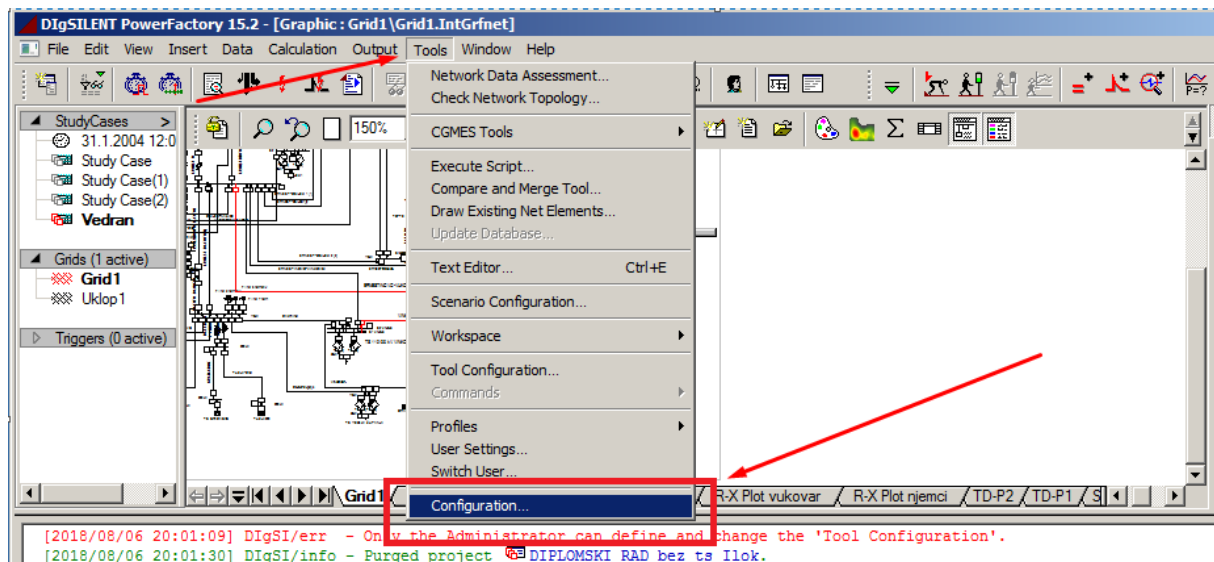
Nakon pokretanja, Python skripta radi na slijedeći način: prvo provodi niz proračuna kratkog spoja na odabranom vodu pomoću "for" petlje, unutar prve "for" petlje nalazi se dodatna "for" petlja koja pomoću "if" uvjeta provjerava sve vodove i njihove reakcije na kvar, odnosno *Fault clearing time*. U slučaju da je "if" uvjet zadovoljen prethodno definirani brojač $brREL$ povećava svoju vrijednost. Također se unutar prve for petlje nalazi brojač t_sum koji zbraja vremena reakcije svih postavljenih releja, kasnije se brojač t_sum podjeli sa brojem releja čime se dobije prosječno vrijeme reakcije releja.

"Gustoću" odnosno intervale duljine moguće je mijenjati ovisno o potrebi (u ovom slučaju na svakih narednih 1% duljine voda provodi se proračun kratkog spoja). Skripta potom u *Output Window* za svaki položaj kvara na vodu ispisuje; mjesto na kojem se dogodio kvar, za svaku promatranu trafostanicu vrijeme reakcije releja koji su u njoj postavljeni, te ukupna broj releja koji su reagirali na kvar, zajedno sa ukupnim vremenom djelovanja. *DIgSILENT* potom stvara tri virtualna instrumenta (*VI*). Na prvom se virtualnom instrumentu od gore prema dolje nalaze dva grafa; prvi graf koji prikazuju vrijeme reakcije releja postavljenih na promatrani vod, a drugi graf prikazuje struje kratkog spoja u kA gledano sa jedne i sa druge strane voda. Drugi virtualni instrument prikazuje reakcije svih releja postavljenih u mreži. Treći virtualni instrument prikazuje prosječno vrijeme reakcije releja, odnosno ukupno vrijeme reakcije svih postavljenih releja podijeljeno sa brojem releja.

4.3. Povezivanje Python skripte i programskog paketa *DIgSILENT PowerFactory*

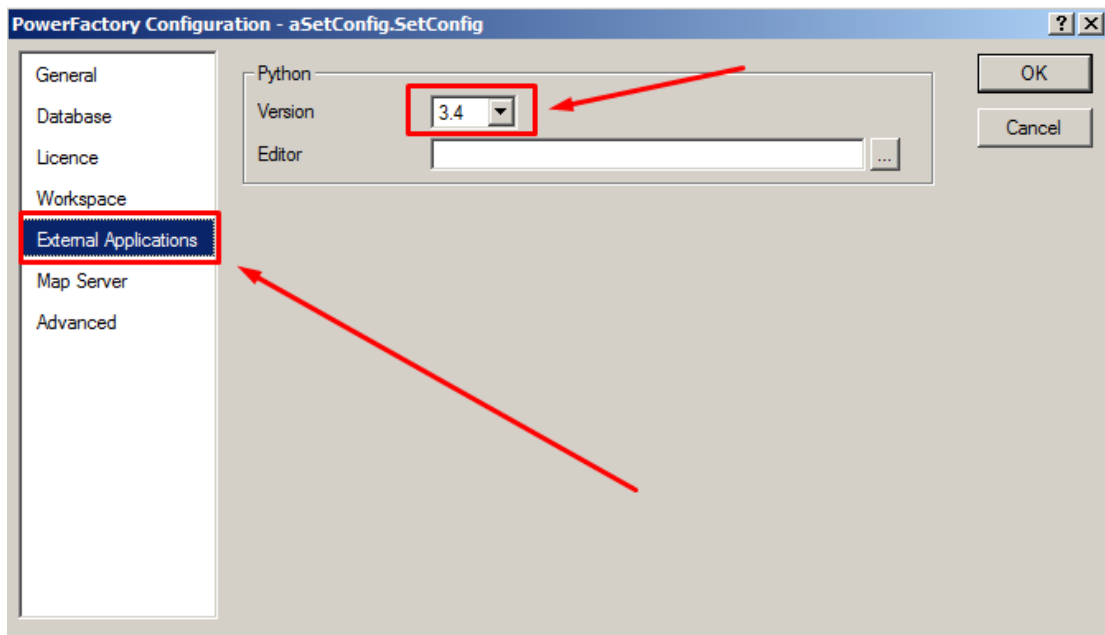
Programski paket *DIgSILENT PowerFactory* omogućuje povezivanje vanjskih aplikacija sa svojim sučeljem. Jedna od takvih aplikacija jest i programski jezik Python pomoću kojeg se pišu

skripte koje mogu biti od velike pomoći tako što će automatizirati zadatke i kreirati proračune po želji korisnika. No prije svega potrebno je povezati Python sa programskim paketom *DIgSILENT PowerFactory*. Prvo je potrebno instalirati programski jezik Python koji je u osnovi besplatan, verzija korištena pri izradi ovog rada je 3.4.1. Povezivanje se vrši na slijedeći način; U *PowerFactory*-u se odabire padajući izbornik *Tools*, zatim se odabire *Configuration* (slika 4.1.).



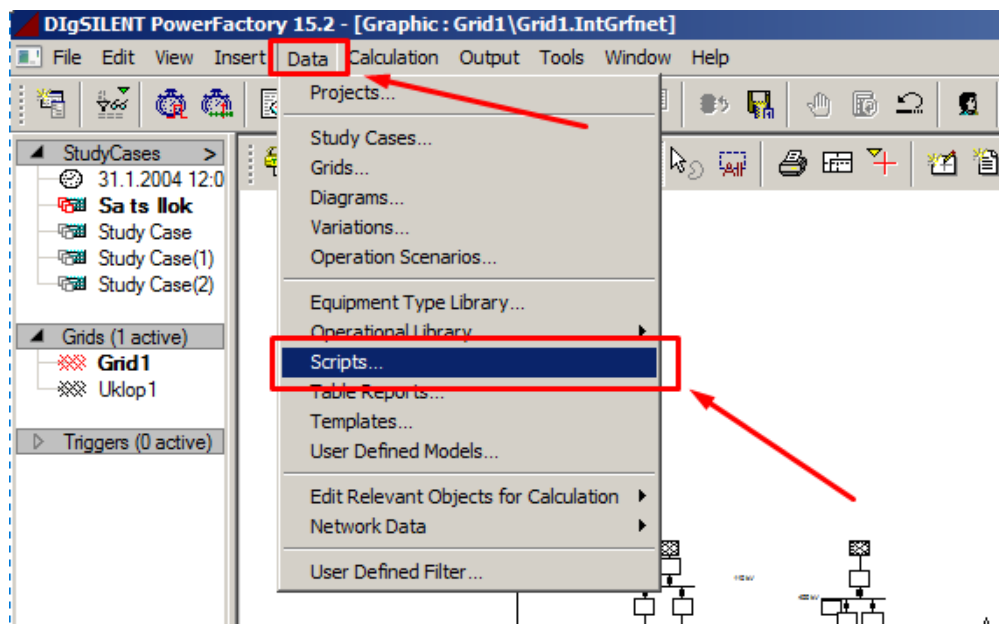
Slika 4.1. Padajući izbornik Tools

Nakon toga odabire se *External Applications*, te se odabere verzija Pythona, u ovome slučaju verzija je 3.4 (slika 4.2.).



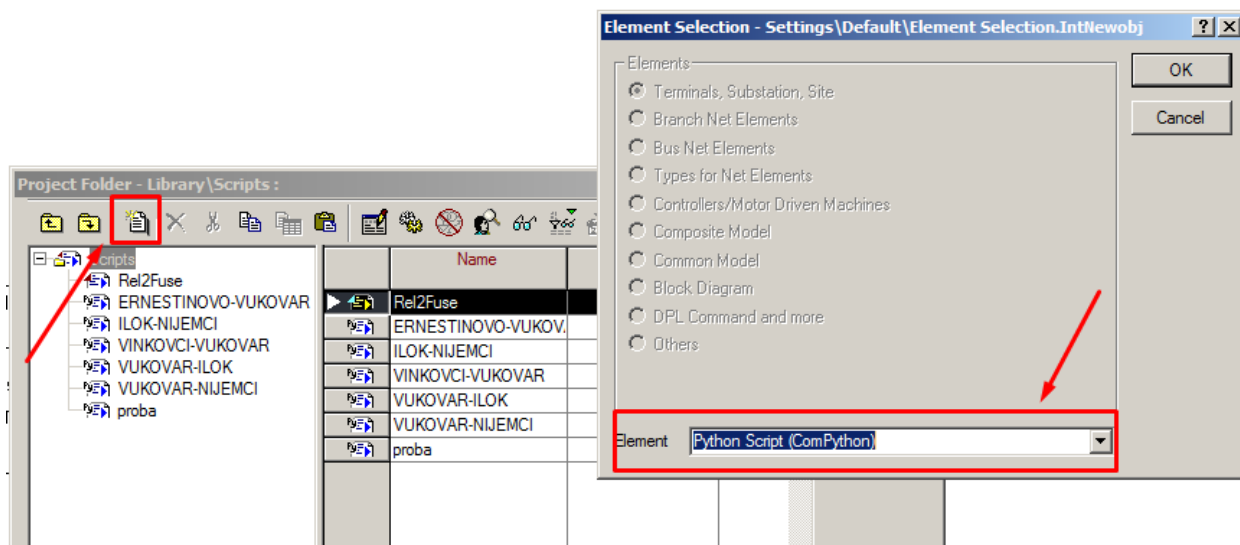
Slika 4.2. Odabir verzije Pythona

Potom se u padajućem izborniku *Data*, odabere *Scripts*, što je prikazano na slici 4.3..



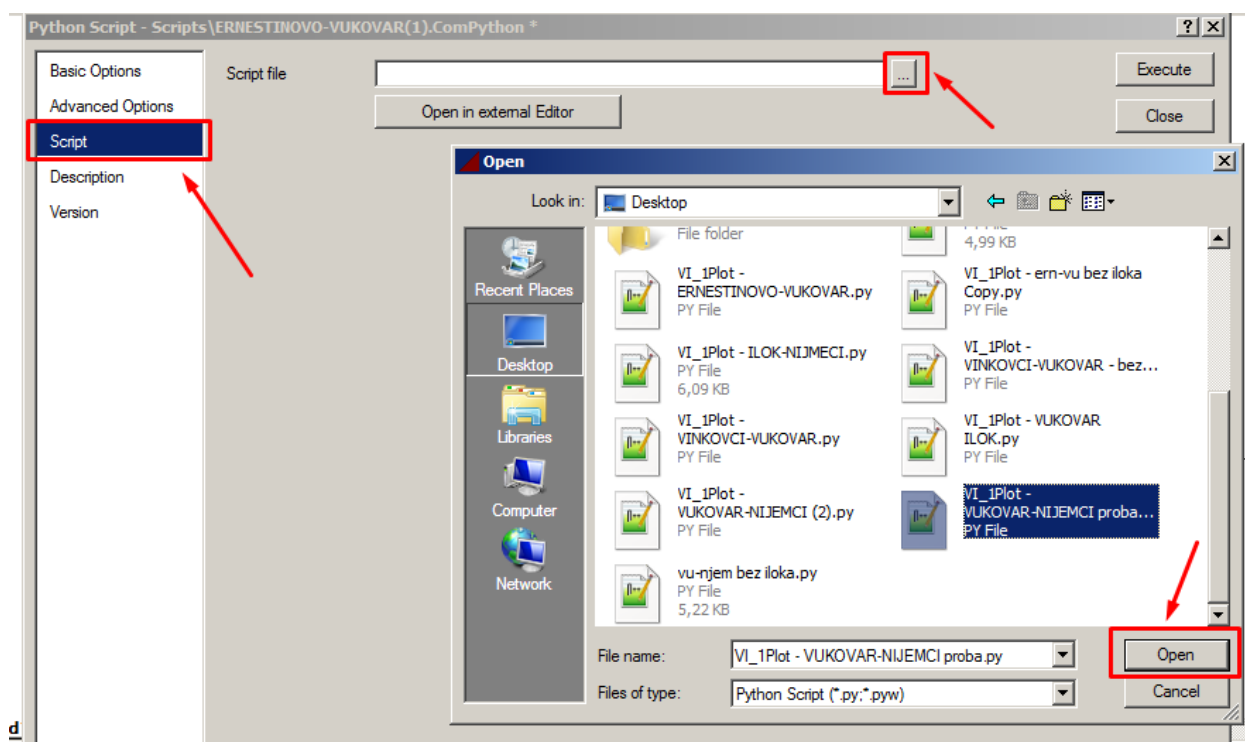
Slika 4.3. Padajući izbornik Scripts

Odabire se *NewObject*, te se pod *Element* odabere *Python Script (ComPython ko)*, kao na slici 4.4..



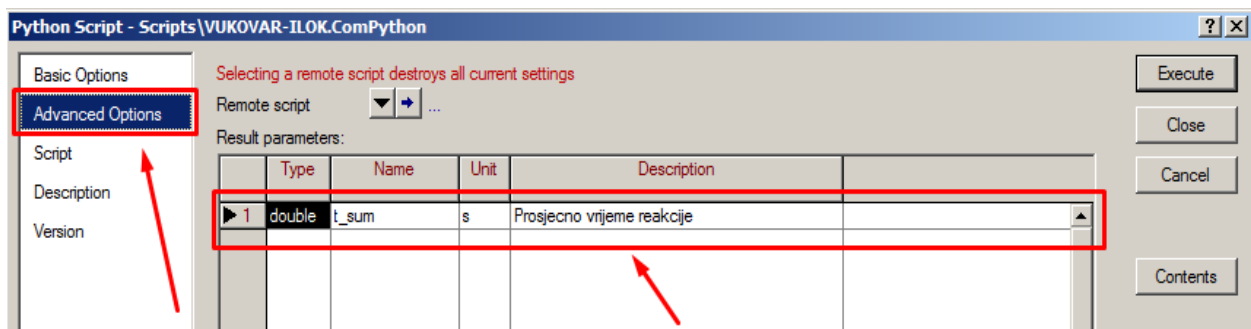
Slika 4.4. Kreiranje skripte u programskom paketu DIgSILENT PowerFactory

Skripti pod *Basic Options* možemo nadjenuti ime, te potom pod *Script* pronalazimo put (path) do mjesta gdje je ranije spremljena skripta napisana u nekom od editora.



Slika 4.5. Kreiranje staze (path) do skripte pisane u editoru

Kako bi se varijabla t_{sum} mogla ispisati potrebno ju je definirati u samom *DIgSILENT-u* na slijedeći način; Otvori se skripta u *DIgSILENT-u* te s pod *Advanced Options* definira parametar, odnosno varijabla t_{sum} kako je to prikazan ona slici 4.6..

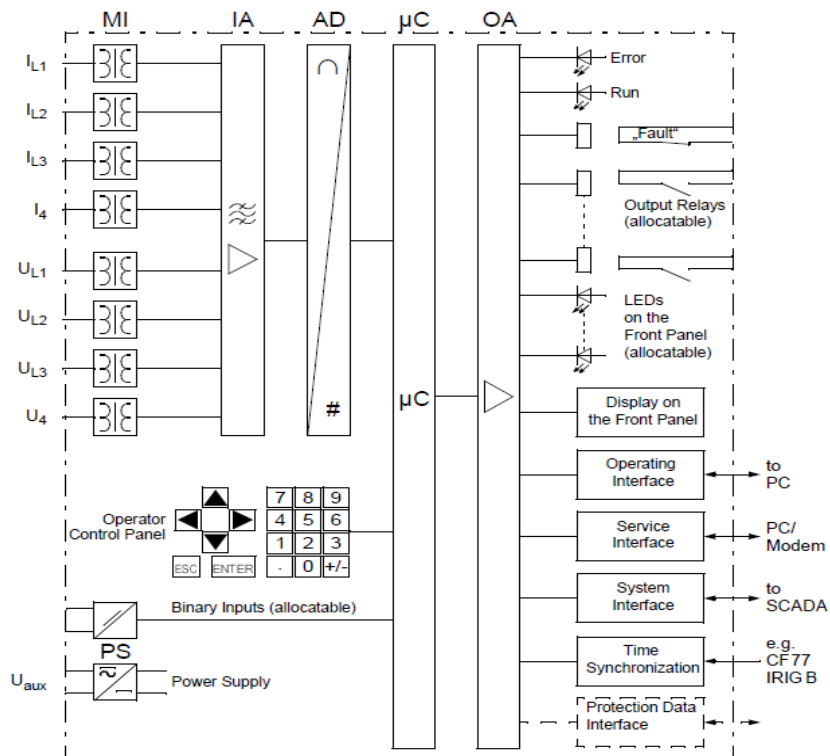


Slika 4.6. Definiranje parametra t_sum

5. MODEL RELEJA I MJERNIH TRANSFORMATORA

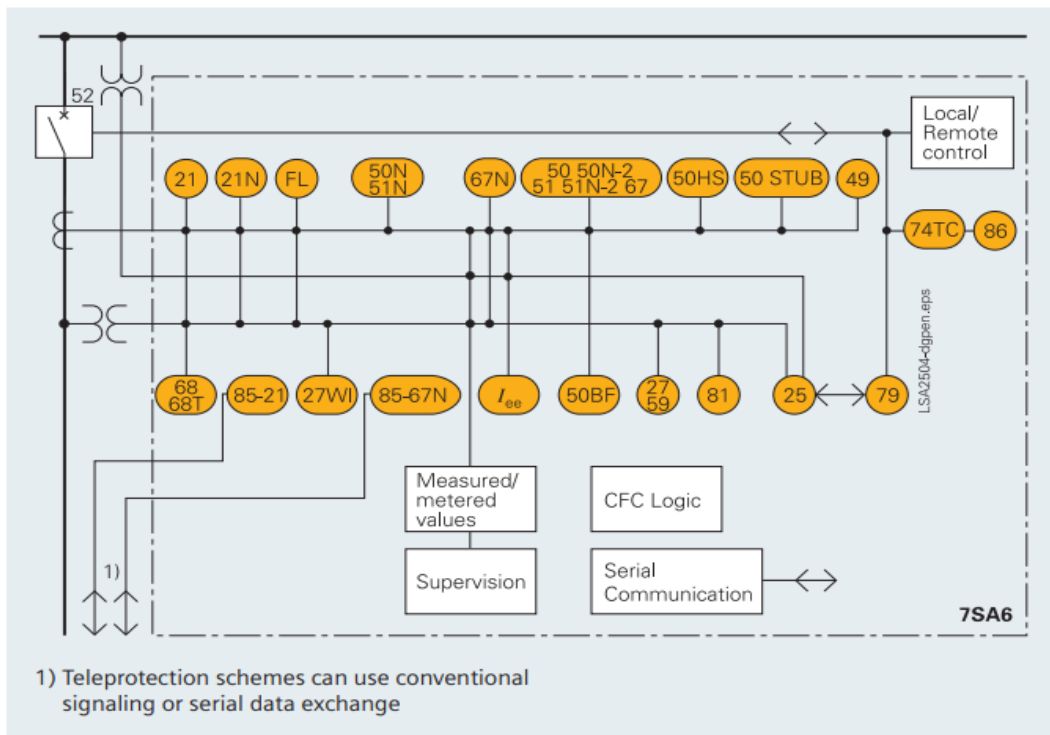
5.1. Model releja

Korišteni model releja jest *Siemens 7SA6* čija je prvenstvena namjena distantna zaštita visokonaponskih vodova. Riječ je o releju čiju jezgru čini 32 bitni mikroprocesor koji omogućuje potpuno numeričko procesuiranje od mjerenih veličina, do izlaznih naredbi prema prekidaču. Na slici 5.1. prikazana je hardverska struktura releja pojašnjena dalje u tekstu. Releji ima četiri ulazna mjesta za strujna mjerenja i četiri ulazna mjesta za naponska mjerenja MI. Tri ulaza za strujna mjerenja služe za mjerenje faznih struja, dok četvrti ulaz služi za mjerenje struje ostatka (nulte struje) iz zvjezdišta mjernih transformatora, struje izjednačavanja kod paralelnih vodova ili struje zvjezdišta kod energetskih transformatora. Tri ulaza za mjerenje napona služe za mjerenje napona sve tri faze, dok preostali ulaz može služiti za mjerenje napona zvjezdišta ili bilo kojeg drugog napona. Ulazni signali se potom pojačavaju i filtriraju u bloku IA te sprovode do AD pretvarača kako bi bili spremni za mikroprocesorsku obradu. Mikroprocesorski sustav dobiva nužne vanjske podatke (npr. naredba blokiranja) putem binarnih ulaza, blok μC šalje naredbe vanjskim elementima kao što su prekidači ili uređajima za daljinsko upravljanje. Bloka OA služi za pojačavanje izlaznih signala [7].



Slika 5.1. Hardverska struktura releja 7SA6

Funkcije releja prikazane su na slici 5.2. te opisane u tablici 5.1..

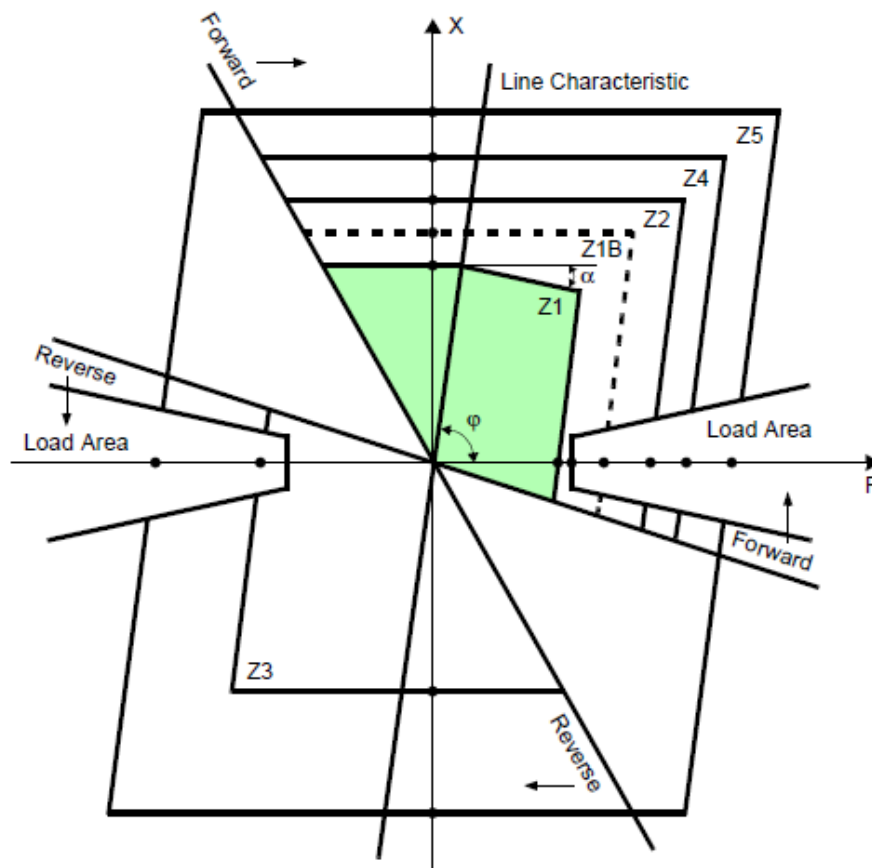


Slika 5.2. Funkcijski dijagram releja 7SA6

Tablica 5.1. Funkcije releja 7SA6

ANSI	funkcija	ANSI	funkcija
21/21N	Distantna zaštita	I_{EE}	Osjetljiva zemljospojna zaštita
FL	Lokator mjesta kara	49	Termička zaštita od preopterećenja
50N/51N/67N	Zemljospojna zaštita	86	Lockout (CLOSE command interlockng)
50/51/67	Rezervna nadstrujna zaštita	74TC	Nadzor isklonih krugova prekidača
50 STUB	Nadstrujna STUB zaštita	79	Automatsko ponovno uključenje
68/68T	Zaštita od njihanja snage	25	Synchro-check
85/21	Telekomunikacijska shema za distantnu zaštitu	81 O/U	Nadfrekventna/podfrekventna zaštita
27WI	Logika za detekciju slabo napajanog kraja	59/27	Nadnaponska/podnaponska zaštita
85/67N	Telekomunikacijska shema za usmjerenu zemljospojnu zaštitu	50BF	Zaštita od otkaza prekidača
50HS	Brza nadstrujna zaštita pri uklopu voda u kvaru		

Od svih navedenih funkcija releja pri modeliranju zaštite koriste se funkcije distante zaštite koja se sastoji od 5 distantnih zona, poligonalna karakteristika distantnog releja prikazana je na slici 5.3..



Slika 5.3. Poligonalna karakteristika distantnog releja 7SA6.

Dostupna su dva modela releja u *DIGSILENT*-u, ovisno o sekundarnoj struji strujnih mjernih transformatora: 7SA6 1A i 7SA6 5A [12]. Odabrani je model 7SA6 1A jer se radi o modeliranju zaštite prijenosnih vodova primijenjenih u postrojenjima koja su prostorno relativno velika, pa bi pri struji od 5A moglo doći do velikih padova napona na vodičima koji povezuju releje i strujne mjerne transformatore, samim time i do pojave netočnih vrijednosti ulaznih veličina na ulazu releja[2]. Popis releja modeliranih u *DIGSILENT*-u zajedno sa mjestom ugradnje dan je u tablici 5.2..

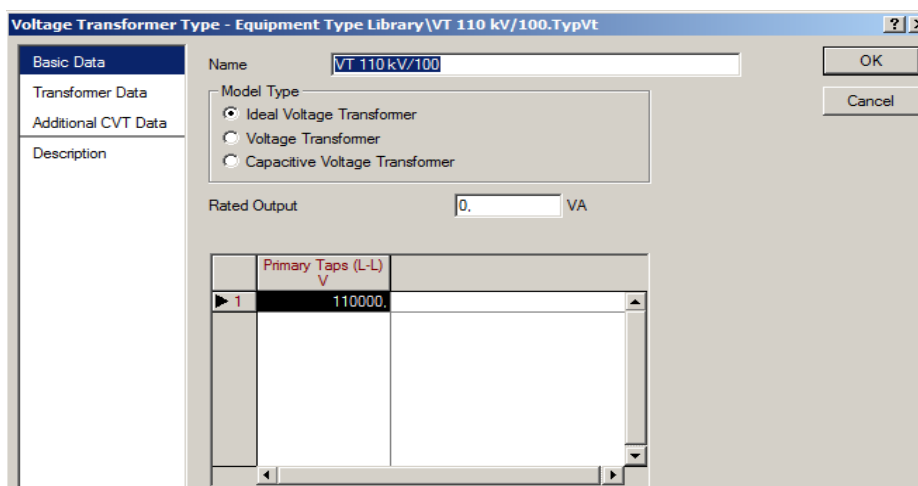
Tablica 5.2. Popis releja

Relaj	Vod	Mjesto ugradnje (trafostanica)
REL ern-vu	ERNESTINOVO-VUKOVAR	TS 400/110 kV Ernestinovo

REL vu-ern	ERNESTINOVO-VUKOVAR	TS 110/35 kV Vukovar
REL vk-vu	VINKOVCI-VUKOVAR	TS 110/35 kV Vinkovci
REL vu-vk	VINKOVCI-VUKOVAR	TS 110/35 kV Vukovar
REL vu-njem	VUKOVAR-NIJEMCI	TS 110/35 kV Vukovar
REL njem-vu	VUKOVAR-NIJEMCI	TS 110/35 kV Nijemci
REL ilok-njem	ILOK-NIJEMCI	TS 110/20 kV Ilok
REL njem-ilok	ILOK-NIJEMCI	TS 110/35 kV Nijemci
REL vu-ilok	VUKOVAR-ILOK	TS 110/35 kV Vukovar
REL ilok-vu	VUKOVAR-ILOK	TS 110/20 kV Ilok

5.2. Model mjernih transformatora

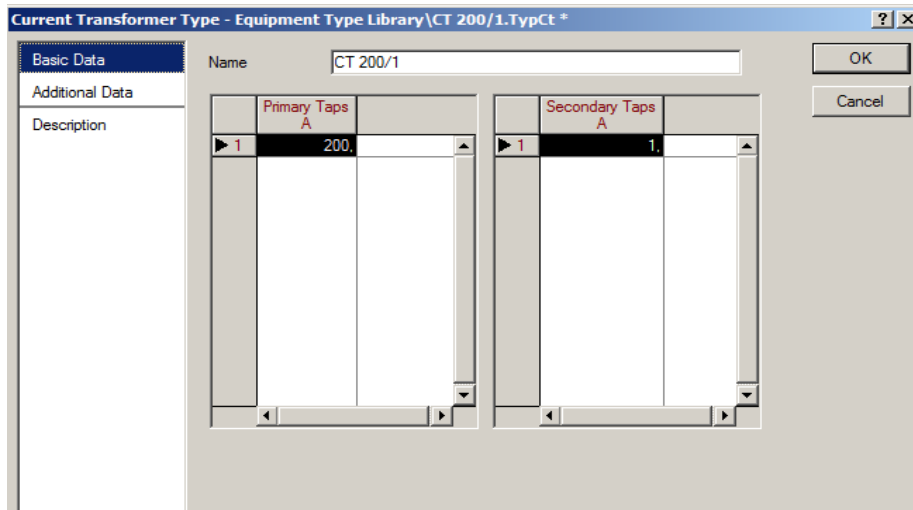
Zadatak mjernih transformatora je transformiranje pogonskih napona i struja na veličine koje omogućuju upotrebu instrumenata i releja koji su građeni za nazivne struje 5A, odnosno 1A i za nazivne napone 100V[2]. U *DIGSILENT*-u je kreiran idealni naponski mjerni transformator sa prijenosnim omjerom 110 kV/100 V kako je to prikazano na slici 5.4..



Slika 5.4. Modeliranje naponskog mjernog transformatora

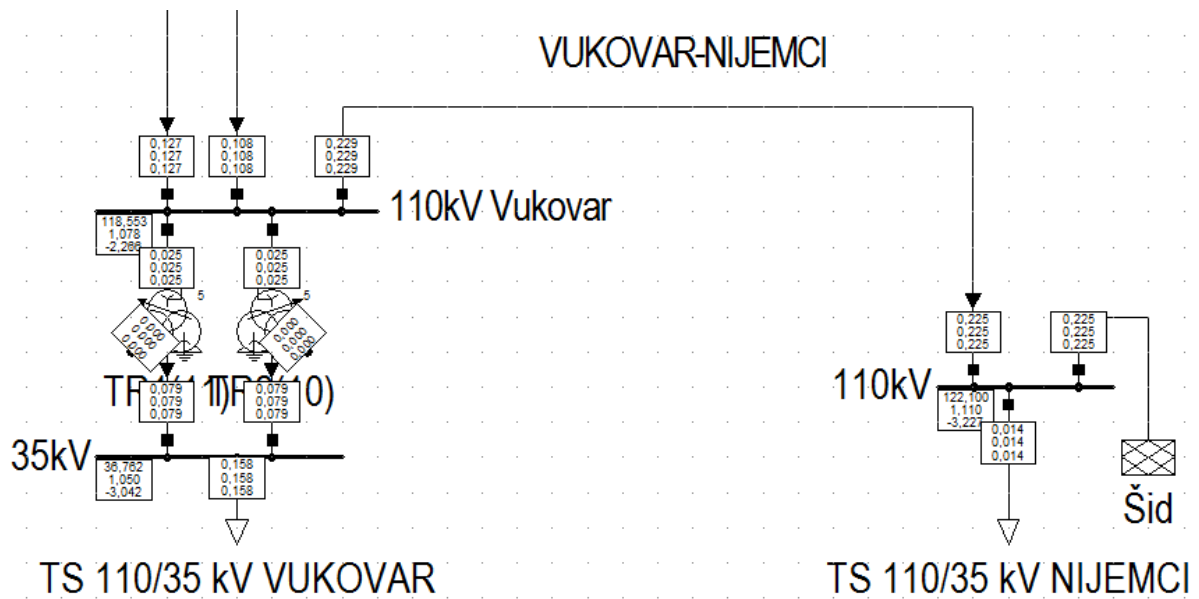
Kod strujnih mjernih transformatora pri odabiru primarnih i sekundarnih vrijednosti treba voditi računa o strujama koje se javljaju pri normalnom pogonu pri određenoj topologiji mreže. Dakle, primarna nazivna struja odabire se pri maksimalnoj struji koja teče kroz primani namot u normalnom pogonu. Osobito treba izbjegavati izbor strujnih mjernih transformatora znatno veće

nazivne struje, radi kasnijeg proširenja jer će to nepotrebno dovesti do znatnijih grešaka mjerenja. Pri izboru primarne nazivne struje valja imati na umu da strujni mjerni transformatori mogu trajno izdržati i do 20% veće struje od nazivne. Izvode se za slijedeće primarne nazivne struje: 10-12.5-15-20-25-30-40-50-60-75 te za 10 ili 100 puta veće struje[2]. Uvažavajući ranije spomenuto kreirani su strujni mjerni transformatori, model jednog od strujnih mjernih transformatora prikazan je na slici 5.5..

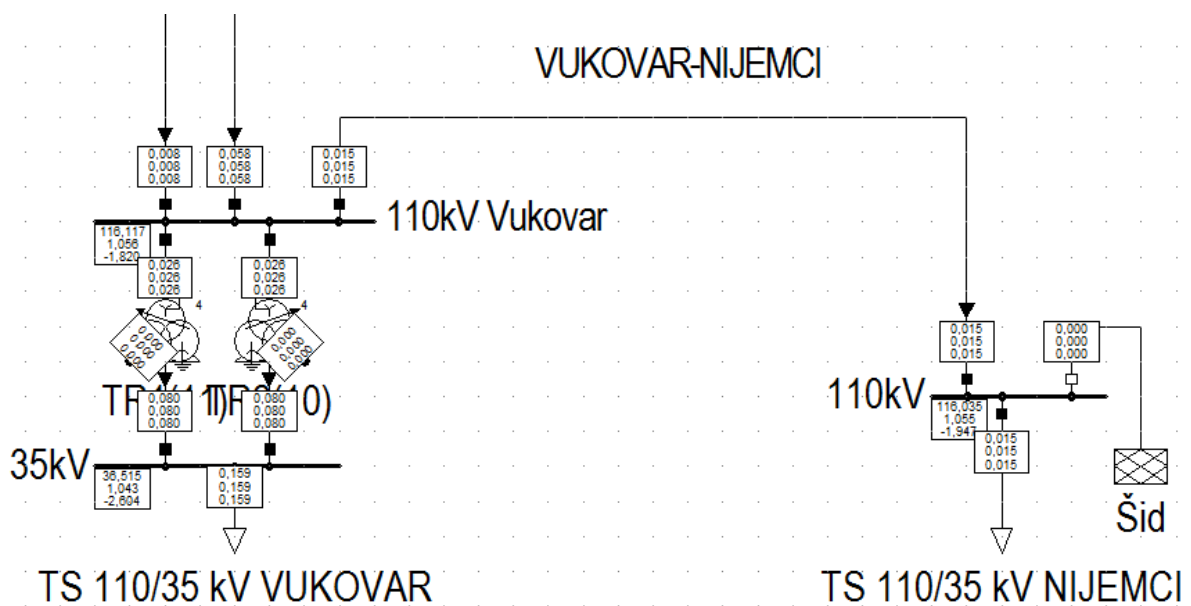


Slika 5.5. modeliranje strujnog mjernog transformatora

Ranije je napomenuto kako treba voditi brigu o promjenama topologije mreže, konkretno u ovome slučaju zatvaranjem prekidača koji spaja nadomjesnu mrežu „Šid“ dolazi do značajne promjene u vrijednostima struja koje teku u normalnom pogonu. Stoga treba za primarne vrijednosti uzeti najveće struje u normalnom pogonu, a to je slučaj kada je prekidač koji spaja nadomjesnu mrežu „Šid“ zatvoren. Slika 5.6. prikazuje tokove struja za slučaj kada je nadomjesna mreža „Šid“ spojena sa EES-om Hrvatske, dok slika 5.7. prikazuje tokove struja kada je nadomjesna mreža „Šid“ otpojena od EES-a Hrvatske.



Slika 5.6. Struje u normalnom pogonu pri spojenoj nadomjesnoj mreži "Šid"



Slika 5.7. Struje u normalnom pogonu pri otpojenoj nadomjesnoj mreži "Šid"

Dakle, u ovome slučaju za vod VUKOVAR-NIJEMCI odabiru se strujni mjerni transformatori prijenosnog omjera 300/1A.

Prilikom odabira strujnih mjernih transformatora valja napomenuti kako se oni u praksi iz ekonomskih razloga obično uzimaju svi jednaki, odnosno sa istim prijenosnim omjerom. Tako se na primjer u prijenosnom području Osijek većinom mogu naći strujni mjerni transformatori prijenosnog omjera 600/1. Ovi strujni mjerni transformator sa ovim prijenosnim omjerom,

odnosno strujom primara, zadovoljavaju normalne pogonske uvjete, te ostavljaju dovoljno dodatnog prostora za povećanje tereta.

Releji distantne zaštite napajani su sekundarnim veličinama strujnih i naponskih mjernih transformatora, stoga je potrebno primarne vrijednosti impedancija preračunati na sekundarne pomoću formule (5-1) kako bi podešenja releja bila ispravna[1].

$$Z_{sec} = \frac{\frac{I_{prim}}{I_{sec}}}{\frac{U_{prim}}{U_{sec}}} \cdot Z_{prim} \quad (5-1)$$

Model releja korišten pri modeliranju zaštite automatski preračunava primarne veličina u sekundarne i obratno, tako da nije potrebno zasebno računanje primarnih, odnosno sekundarnih veličina.

6. MODEL ZAŠTITE PRIJE INTEGRACIJE TRAFOSTANICE „TS 110/20 kV Ilok“

6.1. Postavke releja prije integracije trafostanice „TS 110/20 kV Ilok“

Koristeći ranije navedene izraze za parametriranje pojedinih zona podešavaju se releji u promatranom dijelu mreže. U nastavku je prikazan proračun dosega pojedinih zona i pripadajućih vremenskih zatezanja za relej "REL ern-vu" u TS 400/110 kV Ernestinovo (110 kV strana). Potrebni podaci dani su u tablici 3.1., proračun se vrši za primarne vrijednosti impedancije.

Zona 1

$$R(\text{ph} - \text{ph}) = 0,8 \cdot R1 = 0,8 \cdot 4,197 = 3,36 \Omega \quad (6-1)$$

$$X = 0,8 \cdot X1 = 0,8 \cdot 11,617 = 9,28 \quad (6-1)$$

$$Z_{\min \text{ tereta}} = \frac{0,9 \cdot U_n}{1,2 \cdot I_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,9 \cdot 110 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 150 \cdot \sqrt{3}} = 317,54 \Omega \quad (6-3)$$

$$R(\text{ph} - \text{e}) = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}} = 0,8 \cdot 317,54 = 254,04 \Omega \quad (6-4)$$

Vremensko zatezanje: $t=0,00$ s

Usmjerenje: naprijed

Zona 2

U ovome slučaju najkraći susjedni vod je vod VINKOVCI-VUKOVAR, stoga za parametre R_{2min} i X_{2min} uzimaju se njegove vrijednosti R1, odnosno X1.

$$R(\text{ph} - \text{ph}) = R_1 + 0,5 \cdot R_{2min} = 4,197 + 0,5 \cdot 2,647 = 5,52 \Omega \quad (6-5)$$

$$X = X_1 + 0,5 \cdot X_{2min} = 11,167 + 0,5 \cdot 5,528 = 14,38 \Omega \quad (6-6)$$

$$Z_{\min \text{ tereta}} = \frac{0,9 \cdot U_n}{1,2 \cdot I_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,9 \cdot 110 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 150 \cdot \sqrt{3}} = 317,54 \Omega \quad (6-7)$$

$$R(\text{ph} - \text{e}) = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}} = 0,8 \cdot 317,54 = 254,04 \Omega \quad (6-8)$$

Vremensko zatezanje $t=0,5$ s

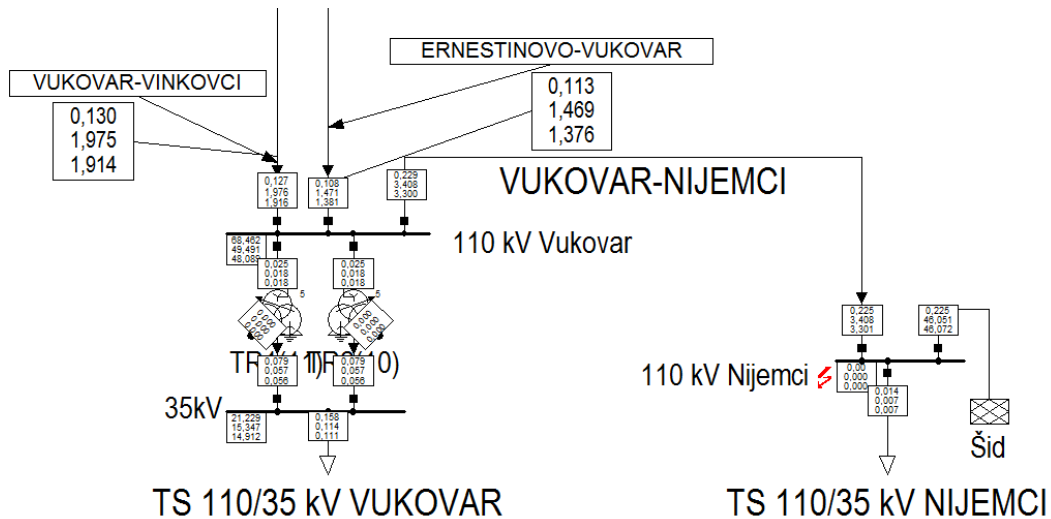
Usmjerenje: naprijed

Zona 3

U ovome slučaju najduži susjedni vod je vod VUKOVAR-NIJEMCI, stoga za parametre R_{2max} i X_{2max} uzimaju se njegove vrijednosti R1, odnosno X1.

$$R(\text{ph} - \text{ph}) = 1,4 \cdot \left[(R_1 + R_{2max}) \cdot \left(1 + \frac{\sum I_i}{I_L} \right) \right] \quad (6-9)$$

Da bi se odredile struje I_i i I_L vrši se simulacija dvopolnog kratkog spoja na kraju voda VUKOVAR-NIJEMCI, odnosno na sabirnicama TS 110/35 kV Nijemci, kako je prikazano na slici 6.1..



Slika 6.1. Simulacija kratkog spoja na TS 110/35kV Nijemci

$$\sum I_i = 1,975 \text{ kA}$$

$$I_L = 1,469 \text{ kA}$$

$$R(\text{ph} - \text{ph}) = 1,4 \cdot \left[(4,197 + 4,476 \cdot \left(1 + \frac{1,975}{1,469}\right)) \right] = 20,66 \Omega \quad (6-10)$$

$$X = 1,4 \cdot \left[(X_1 + X_{2max} \cdot \left(1 + \frac{\sum I_i}{I_L}\right)) \right] = 1,4 \cdot \left[(11,617 + 9,35 \cdot \left(1 + \frac{1,975}{1,469}\right)) \right] = 47,21 \quad (6-11)$$

$$Z_{\min \text{ tereta}} = \frac{0,9 \cdot U_n}{1,2 \cdot I_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,9 \cdot 110 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 150 \cdot \sqrt{3}} = 317,54 \Omega \quad (6-12)$$

$$R(\text{ph} - \text{e}) = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}} = 0,8 \cdot 317,54 = 254,04 \Omega \quad (6-13)$$

Vremensko zatezanje $t=0,8 \text{ s}$

Usmjerenje: naprijed

Zona 4

Najkraći vod u suprotnome smjeru je vod ERNESTINOVO-OSIJEK1 (1) sa parametrima danim u tablici 6.1. stoga kao parametar $Z_{r\min}$ koristi se njegova impedancija odnosno $R1$ i $X1$.

Tablica 6.1. Parametri vod ERNESTINOVO-OSIJEK1 (1)

vod	I_n (kA)	$Z1$ [Ω]	Kut voda	$R1$ [Ω]	$X1$ [Ω]	$R0$ [Ω]	$X0$ [Ω]
ERNESTINOVO-OSIJEK1 (1)	0,590	2,167	$72^\circ 12'$	0,662	2,064	1,738	6,598

$$R(\text{ph} - \text{ph}) = 0,5 \cdot R_{rmin} = 0,5 \cdot 0,662 = 0,33 \Omega \quad (6-14)$$

$$X = 0,5 \cdot X_{rmin} = 0,5 \cdot 2,064 = 1,03 \Omega \quad (6-15)$$

$$Z_{\min \text{ tereta}} = \frac{0,9 \cdot U_n}{1,2 \cdot I_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,9 \cdot 110 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 150 \cdot \sqrt{3}} = 317,54 \Omega \quad (6-16)$$

$$R(\text{ph} - \text{e}) = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}} = 0,8 \cdot 317,54 = 254,04 \Omega \quad (6-17)$$

Vremensko zatezanje: $t=0,3$ s

Usmjerenje: natrag

Zona 5

Ovisi isključivo o maksimalnoj impedanciji tereta.

$$Z_{\min \text{ tereta}} = \frac{0,9 \cdot U_n}{1,2 \cdot I_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,9 \cdot 110 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 150 \cdot \sqrt{3}} = 317,54 \Omega \quad (6-18)$$

$$R(\text{ph} - \text{ph}) = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}} = 0,8 \cdot 317,54 = 254,04 \Omega \quad (6-19)$$

$$X = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}} = 0,8 \cdot 317,54 = 254,04 \Omega \quad (6-20)$$

$$R(\text{ph} - \text{e}) = 0,8 \cdot Z_{\min \text{ tereta}} = 0,8 \cdot 317,54 = 254,04 \Omega \quad (6-21)$$

Vremensko zatezanje: $t=3,5$ s

Usmjerenje: neusmjeren

Koeficijent k_0

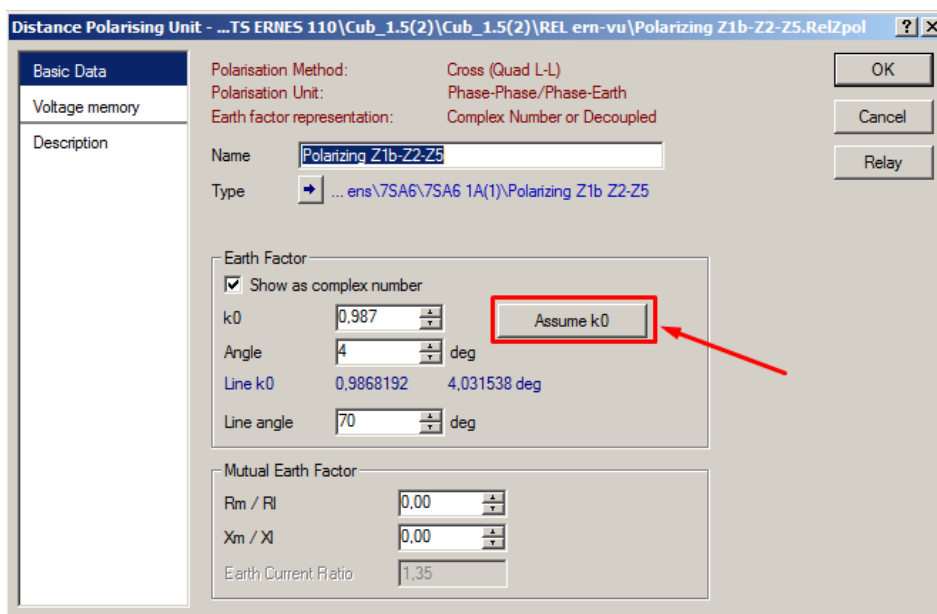
$$Z_0 = 48,893 \Omega$$

$$Z_1 = 12,351 \Omega$$

$$|k_0| = \left| \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \right| = \left| \frac{48,893 - 12,351}{3 \cdot 12,351} \right| = 0,987 \quad (6-22)$$

$$\varphi_0 = \angle \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} = \angle \frac{(48,893 \angle 73,151^\circ) - (12,351 \angle 70,133^\circ)}{3 \cdot 12,351 \angle 70,133^\circ} = 4,03^\circ \quad (6-23)$$

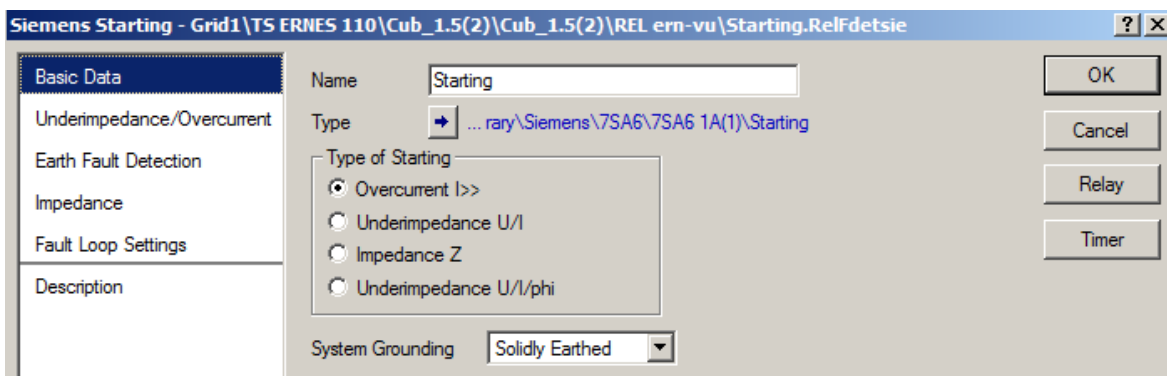
Koeficijente k_0 i φ_0 kao i preračunavanje impedancija na sekundarne veličine model releja u *DIGSILENT*-u odrađuje sam, što dodatno olakšava posao parametriranja releja. Dovoljno je pod blokom *Polarizing Z1*, te *Polarizing Z1b-Z2-Z5* pritisnuti *Assume k0* kao što je prikazano na slici 6.2..



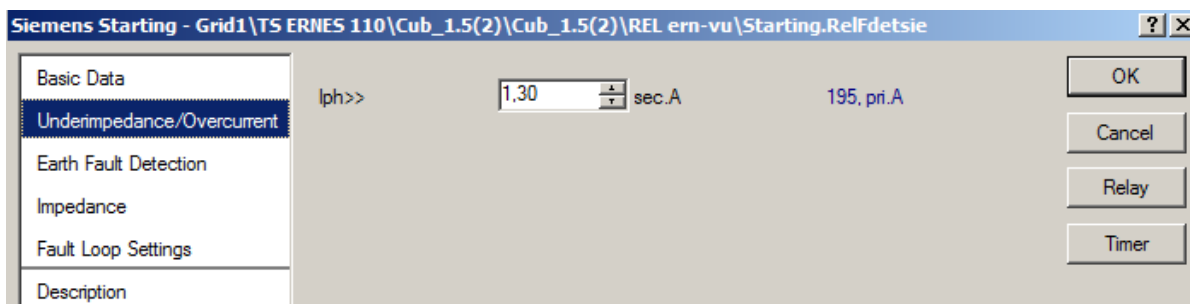
Slika 6.2. Unos koeficijenta k0 kod releja 7SA6

Kako se radi o mreži čija su zvjezdista elemenata gotovo sva uzemljena, ne treba se bojati kako neće teći dovoljno velika struja kvara. Stoga je odabran najjednostavniji tip pobude, nadstrujna pobuda. Vrijednost pobude kako je to opisano u poglavlju 2.3.1. postavlja se na $1,3 I_n$. Gdje je I_n nazivna vrijednost primarne struje strujnog mjernog transformatora. Odabir pobude u modelu releja 7SA6 prikazan je slikama 6.3. i 6.4.

$$I_{ph\gg} = 1,3 \cdot I_n = 1,3 \cdot 150 = 195 \text{ A} \quad (6-24)$$



Slika 6.3. Odabir pobude



Slika 6.4. Postavljanje vrijednosti nadstrujne pobude

Vrijednosti koje se unose u model releja "REL ern-vu" (Siemens 7SA6) dane su u tablici 6.2.

Tablica 6.2. TS 400/110 kV Ernestinovo VP 110 kV Vukovar - Podešenje distantne zaštite "REL ern- vu" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	3,56 Ω	5,52 Ω	20,66 Ω	0,33 Ω	254,04 Ω
X	9,28 Ω	14,38 Ω	47,21 Ω	1,03 Ω	254,04 Ω
R(ph-e)	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Koristeći se ranije navedenim izrazima i pravilima za parametiranje releja (prikazanima pri parametiranju releja "REL ern-vu") U tablicama 6.3., 6.4., 6.5., 6.7. i 6.8. prikazani su preostali rezultati proračuna potrebnih za parametiranje zaštite na vodovima ERENSTINOVO-VUKOVAR, VUKOVAR-VINOVC I VUKOVAR-NIJEMCI.

Tablica 6.3. TS 110/35 kV Vinkovci VP 110 kV Vukovar - Podešenje distantne zaštite

"REL vk-vu" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	2,17 Ω	4,88 Ω	14,56 Ω	1,92 Ω	254,04 Ω
X	4,42 Ω	10,2 Ω	30,41 Ω	5,31 Ω	254,04 Ω
R(ph-e)	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjereni
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 6.4. TS 110/35 kV Vukovar VP 110 kV Ernestinovo - Podešenje distantne zaštite

"REL vu-ern" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R (ph-ph)	3,56 Ω	4,51 Ω	13,13 Ω	1,32 Ω	254,04 Ω
X	9,28 Ω	12,64 Ω	36,33 Ω	2,76 Ω	254,04 Ω
R(ph-e)	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjereni
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 6.5. TS 110/35 kV Vukovar VP 110 kV Vinkovci - Podešenje distantne zaštite

"REL vu-vk" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	2,17 Ω	4,56 Ω	26,28 Ω	2,33 Ω	254,04 Ω
X	4,42 Ω	9,26 Ω	57,83 Ω	4,7 Ω	254,04 Ω
R(ph-e)	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 6.6. TS 110/35 kV Vukovar VP 110 kV Nijemci - Podešenje distantne zaštite

"REL vu-njem" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	3,58 Ω	5,37 Ω	-	1,32 Ω	127,02 Ω
X	7,48 Ω	11,22 Ω	-	4,7 Ω	127,02 Ω
R(ph-e)	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

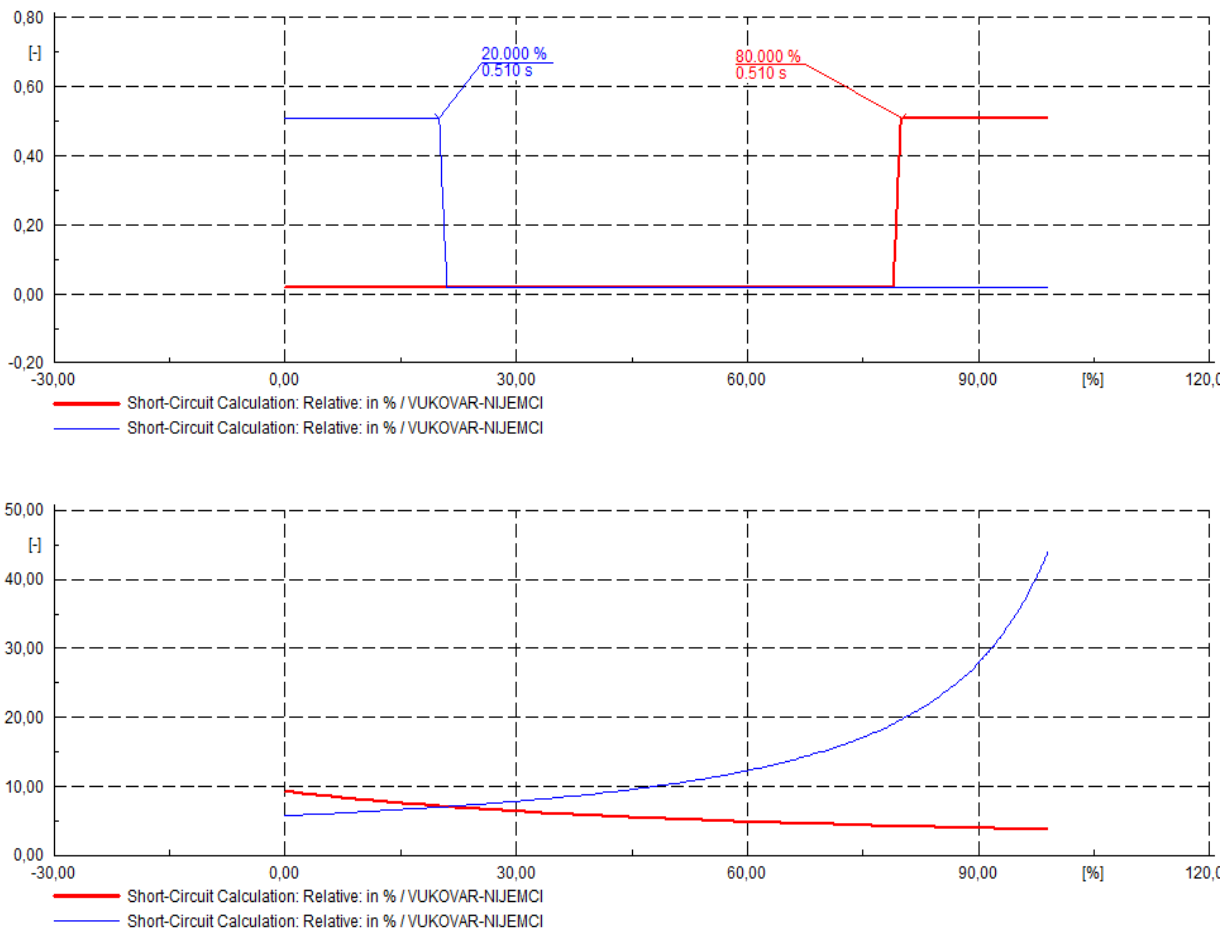
Tablica 6.7. TS 110/35 kV Nijemci VP 110 kV Vukovar - Podešenje distantne zaštite

"REL njem-vu" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	3,58 Ω	5,8 Ω	12,14	-	127,02 Ω
X	7,48 Ω	12,11 Ω	29,35	-	127,02 Ω
R(ph-e)	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

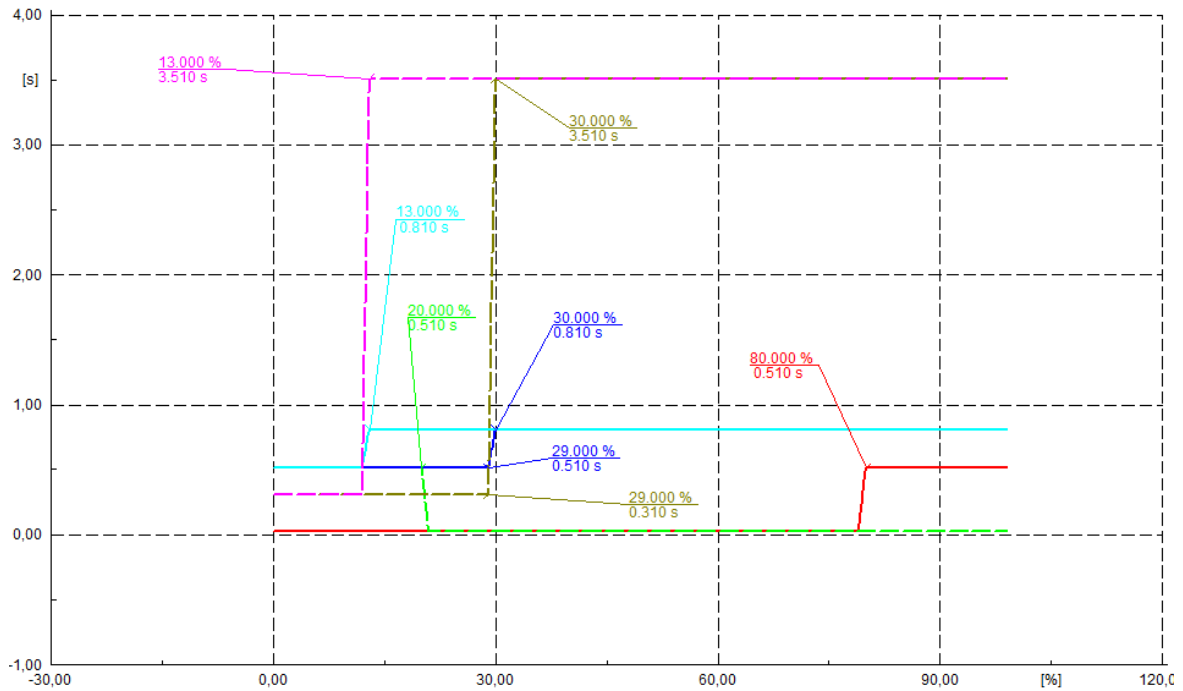
6.2. Rezultati dobiveni pomoću *Python* skripte

Vrši se pokretanje skripti pisanih za svaki vod posebno. Na slici 6.5. prikazani su grafovi prvog virtualnog instrumenta dobiveni nakon pokretanja skripte na vodu VUKOVAR-NIJEMCI. Prvi graf prikazuje vrijeme reagiranja releja "REL vu-njem" (crveno) i vrijeme reagiranja releja "REL njem-vu" (plavo), graf ispod prikazuje struje koje teku od TS 110/35 kV Vukovar (crveno) i TS 110/35 kV Nijemci (plavo) ka mjestu kvara. Na slici 6.6. prikazana su vremena reagiranja svih postavljenih releja za kvar na vodu VUKOVAR-NIJEMCI: "REL vu-njem" (crveno), "REL njem-vu" (zeleno, crtkano), "REL ern-vu" (svijetlo plavo), "REL vu-ern" (pink, crtkano), "REL vk-vu" (plavo) i "REL vu-vk" (smeđe, crtkano). Na grafovima koji prikazuju vrijeme reagiranja pojedinih releja (npr. slika 6.5. - prvi graf) može se primijetiti oštra kosina umjesto uobičajenog naglog skoka pri prelasku kvara iz prve u drugu distantnu zonu. Razlog tomu je što interval za koji se pomiče mjesto kvara na vodu iznosi 1% duljine voda. Kako se rezultati prikazuju za cijeli vod, moraju biti prikazani i za područje između dva intervala, što rezultira interpolacijom rezultata (točaka) na grafu onih mjesta na vodu za koji je proračun izvršen. Za metodu kojom se vrši proračun kratkog spoja odabrana je *complete* metoda (*DIgSILENT*).



Slika 6.5. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI (prvi VI³)

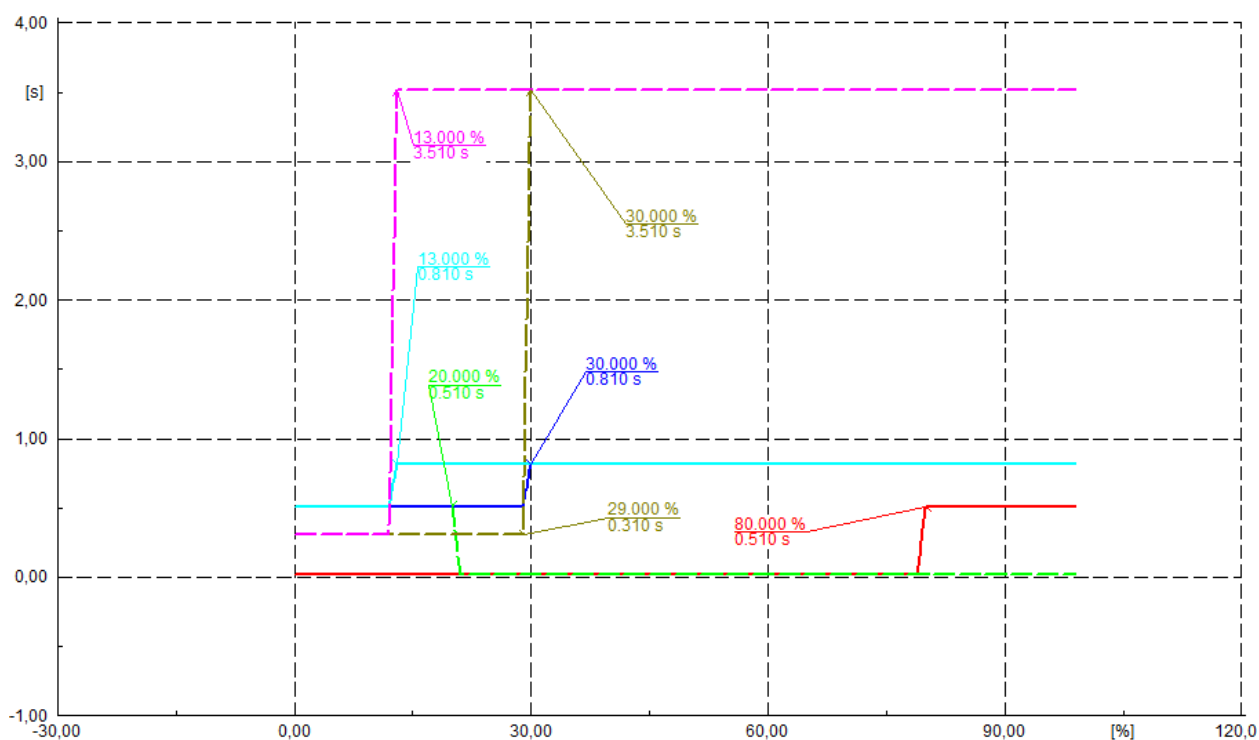
³ Prvi VI - Prvi virtualni instrument; na x osi gornjeg grafa nalazi se duljina dionice dalekovoda na kojoj se dogodio kvar (izražena u postotcima), dok na y-osi sadrži vrijeme reakcije releja postavljenih na taj isti dalekovod. Drugi (donji) graf na x osi također sadrži duljinu dionice dalekovoda pogođene kvarom izraženu u postotcima, dok se na y osi nalazi iznos struje kratkog spoja u kA.



Slika 6.6. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI (drugi VI⁴)

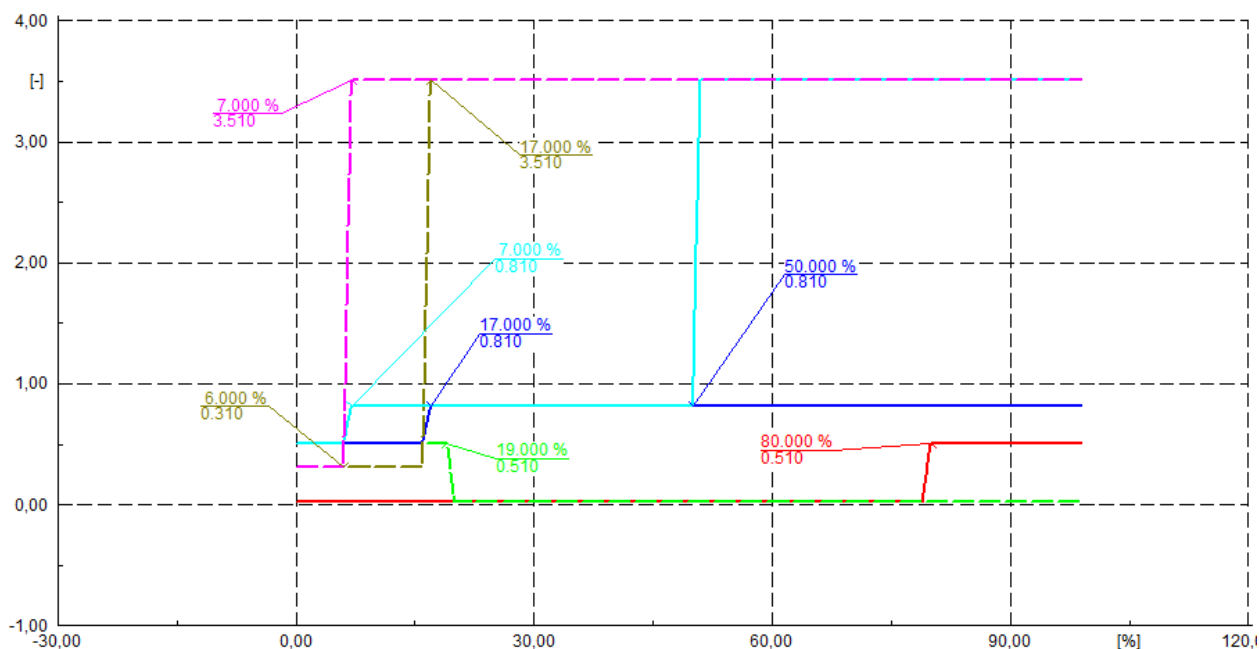
Podješnja releja trebaju vrijediti za sve vrste kvarova, dakle za jednopolni, dvopolni i trolni kratki spoj. U radu bi bilo nepraktično prikazivati rezultate dobivene pomoću skripte za svaki promatrani vod i za sve tri vrste kratkog spoja. Stoga se prikazuju rezultati za trolne kratke spojeve. Za dvopolne i jednopolne kratke spojeve vrši se provjera reagiraju li releji u zadanim zonama sa zadanim vremenskim zatezanjem. Iznimno za vod VUKOVAR-NIJEMCI na slikama 6.7. i 6.8. prikazani su rezultati drugog virtualnog instrumenta za dvopolni i jednopolni kratki spoj.

⁴ Drugi VI – Drugi virtualni instrument; na x osi nalazi se duljina dionice dalekovoda (izražena u postocima) na kojoj se dogodio kvar, dok se y osi nalazi vrijeme reakcije svih postavljenih releja.



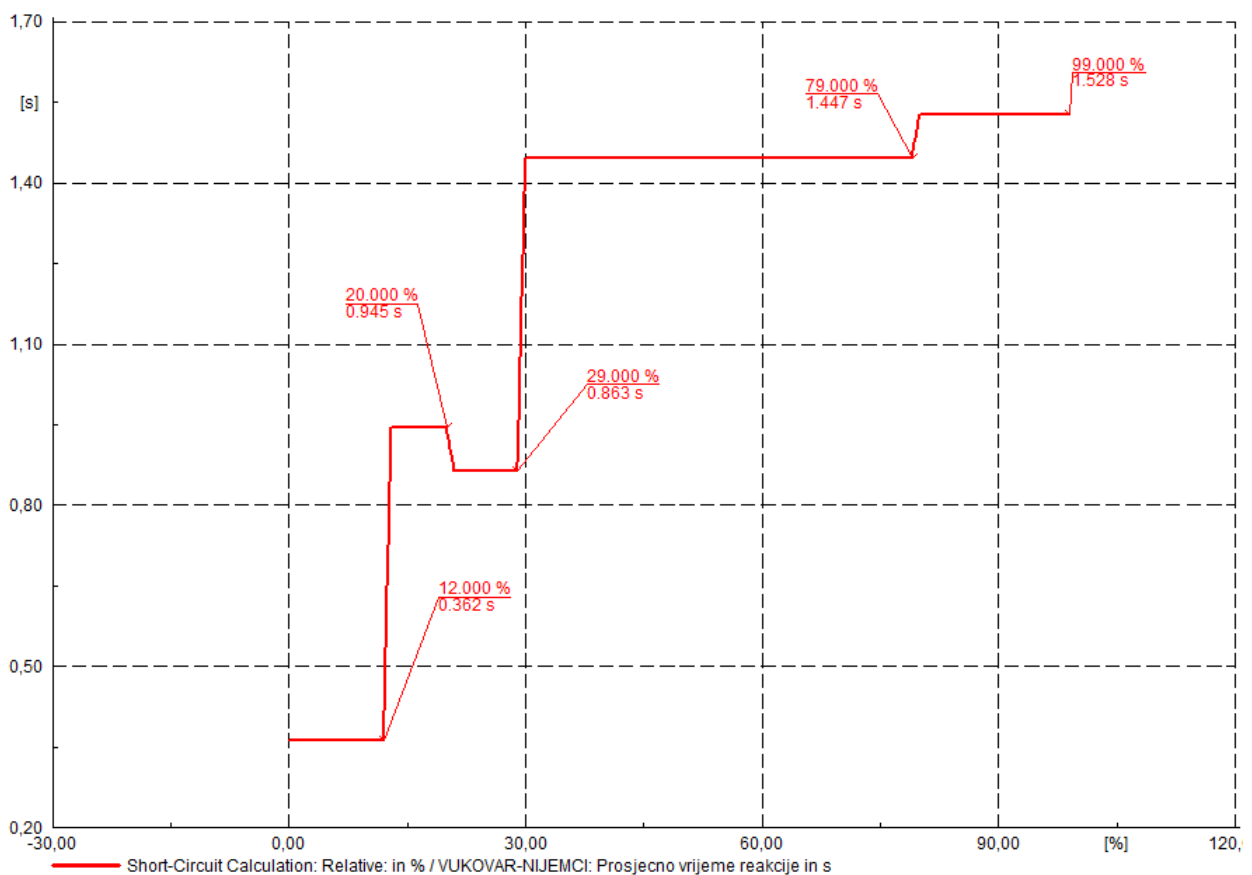
Slika 6.7. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI
(drugi VI, dvopolni kratki spoj)

Za dvofazni kratki spoj reakcije releja su jednako kao i u slučaju trofaznog kratkog spoja



Slika 6.8. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI
(drugi VI, jednopolni kratki spoj)

Za jednofazni kratki spoj može se primijetiti kako releji postavljeni na vodu VUKOVAR-NIJEMCI reagiraju identično kao i pri pojavi trofaznog kratkog spoja. Međutim ostali releji reagiraju sa drugačijim vremenskim zatezanjima u odnosu na vremenska zatezanja na istoj dionici dalekovoda pri trofaznom kratkom spoju. Tako npr. impedancija koju mjeri relej REL ern-vu u slučaju jednofaznog kratkog spoja na 50% dionice voda prelazi u 5. distantnu zonu za vremenom zatezanja od 3.5s. Može se reći da je dalekovod adekvatno štice jer bi u slučaju zakazivanja releja postavljenih na sami dalekovod reagirali preostali releji u svojim trećim ili višim zonama, u realnom pogonu reakcija treće ili više zone nije česta pojava i u načelu znači da je došlo do problematičnog zatajivanja zaštite.



Slika 6.9. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI (treći VI⁵)

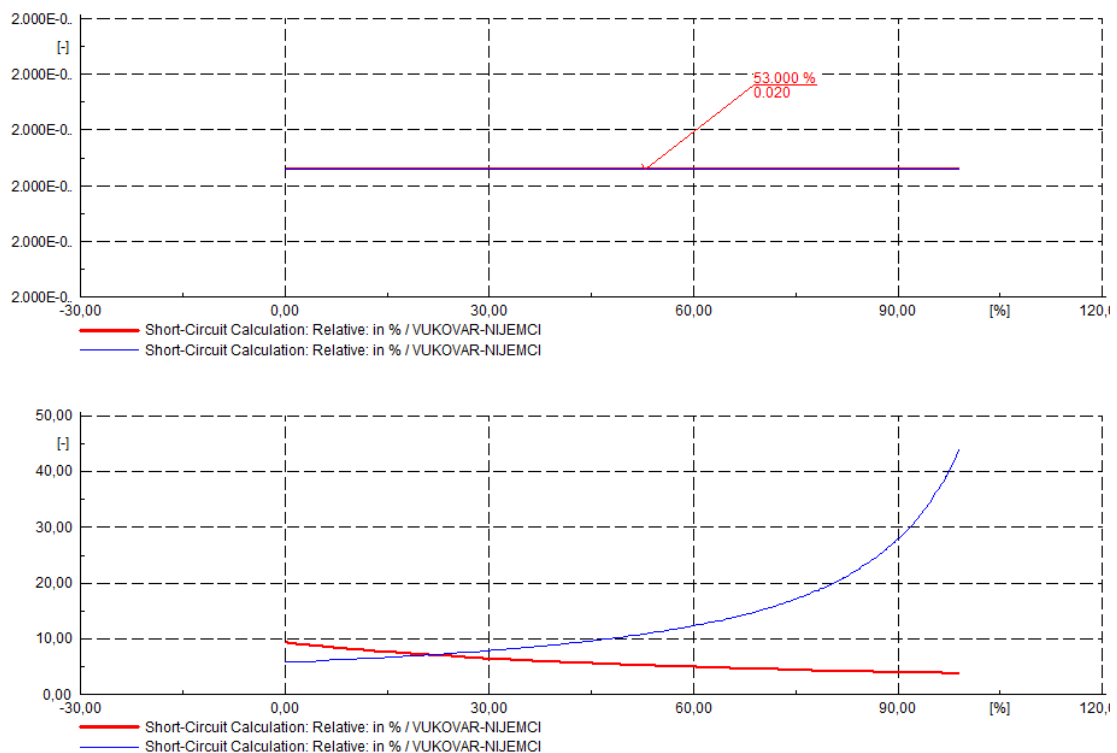
⁵ Treći VI – Treći virtualni instrument; na x osi nalazi se duljina dionice dalekovoda (izražena u postocima) na kojoj se dogodio kvar, dok se y osi nalazi prosjecno vrijeme reakcije.

Prosječno vrijeme reakcije T_{pr} može poslužiti kao svojevrsni pokazatelj pouzdanosti djelovanja zaštite.

$$T_{pr} = \frac{\text{Ukupno vrijeme reakcije svih konfiguriranih releja}}{\text{Broj releja koji su reagirali na kvar}} [s] \quad (6-25)$$

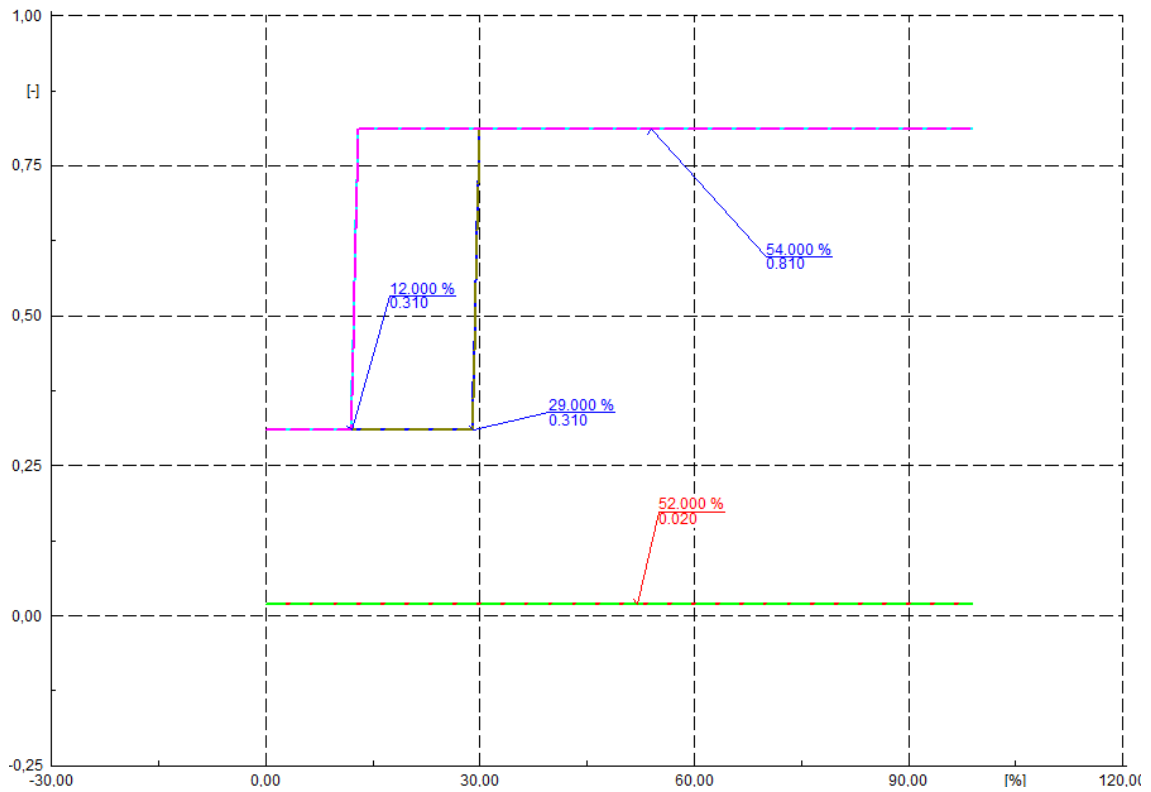
U načelu što je prosječno vrijeme reakcije T_{pr} manje to znači da je reagiralo više releja sa kraćim vremenom reakcije, odnosno ako je T_{pr} veće znači da je reagiralo manje releja sa dužim vremenom reakcije. Dakle, poželjno je da prosječno vrijeme reakcije bude što manje.

Zaštita je modelirana bez nekog oblika komunikacije između releja kako bi vrijeme reagiranja svakog releja bilo eksplicitno pokazano. U praksi se pak gotovo pa uvijek koristi neki oblik telekomunikacijske sheme, stoga su za vod VUKOVAR-NIJEMCI na slikama 6.10, 6.11. i 6.12. prikazani rezultati za slučaj kada nema telekomunikacijske sheme i kada postoji PUTT dopustiva prorada za sve parametrirane releje.

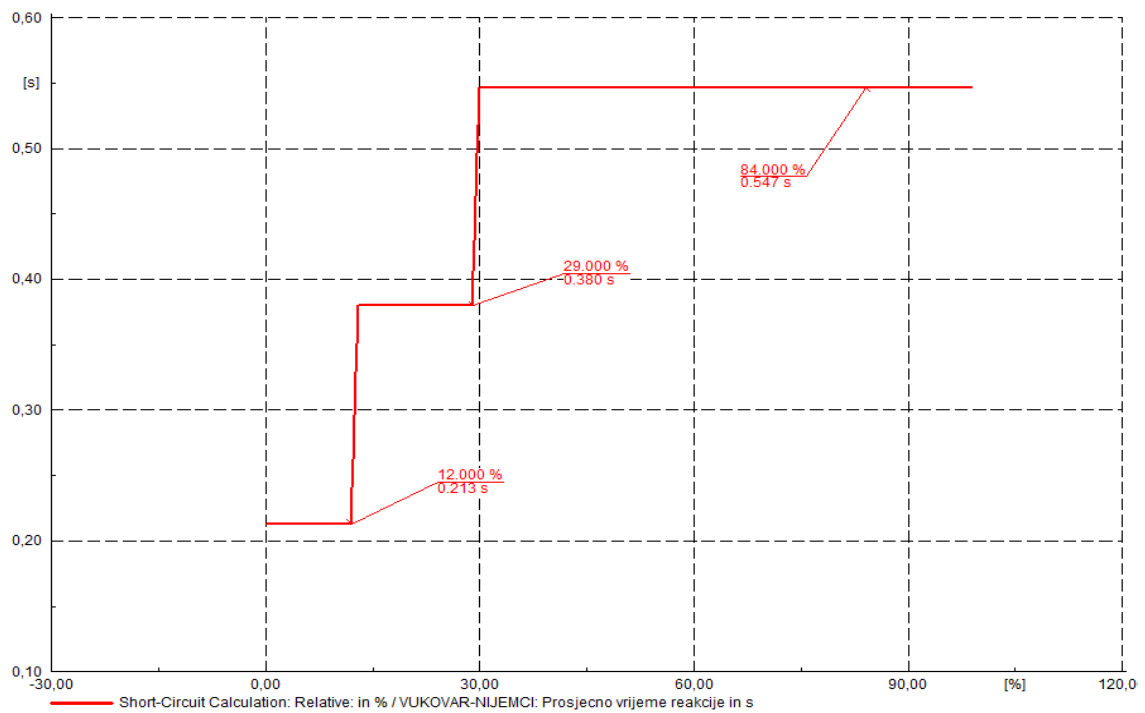


Slika 6.10. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI

(prvi VI, sa PUTT dopustivom proradom)



Slika 6.11. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI
(drugi VI, sa PUTT dopustivom proradom)



Slika 6.1 Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI
(treći VI, sa PUTT dopustivom proradom)

Uspoređujući rezultate dobivene sa i bez PUTT dopustive prorade može se zamijetiti kako se kvarovi „čiste“ znatno brže. Releji postavljeni na samom vodu VUKOVAR-NIJEMCI su za cijelu njegovu dužinu reagirali, odnosno uklonili kvar, trenutno što se može vidjeti na slici 6.10.. Ostali releji su reagirali znatno brže nego u slučaju bez PUTT dopustive prorade, tako najdulje vrijeme reakcije za koje je uklonjen kvar iznosi 810 ms i pripada relejima "REL ern-vu" i "REL vu-ern" (za slučaj da svi ostali releji zakažu). Također, na trećem VI-u, odnosno slici 6.12. se direktno vidi korist koju donosi telekomunikacijska shema, jasno se vidi da su prosječna vremena reakcije releja manja nego u slučaju bez PUTT dopustive prorade za kvar na istoj dionici dalekovoda.

Dio rezultata koje skripta ispisuje u *Output Window* prikazan je na slici 6.13..

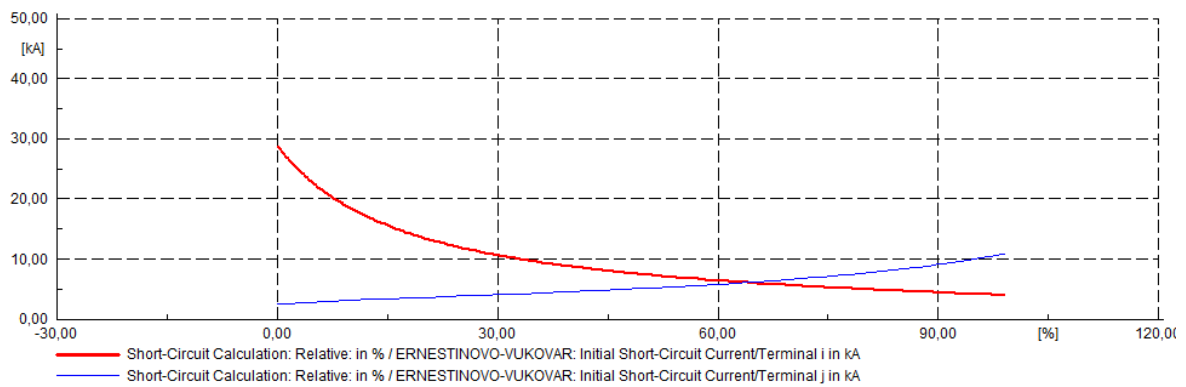
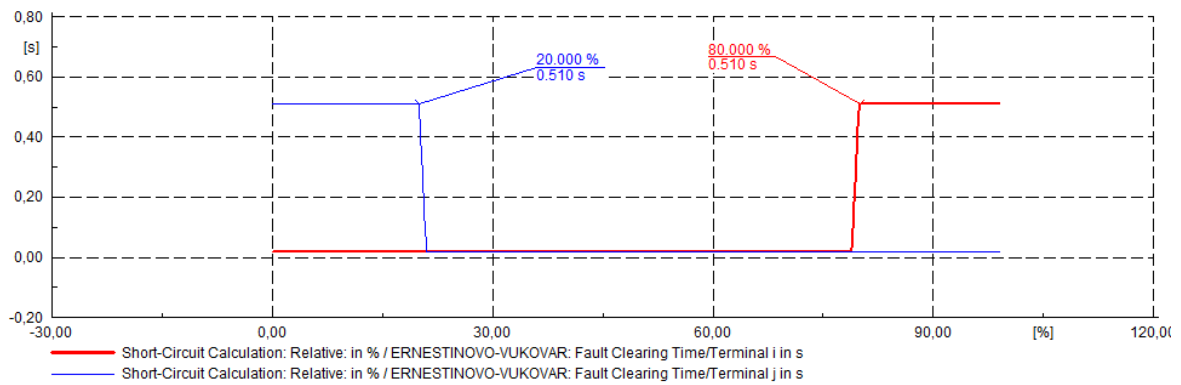
```

-----
-----
Mjesto kvara: 29 % duljine voda VUKOVAR-NIJEMCI
-----
TS 110/35 kV VUKOVAR
REL vu-njem t =0.02s
REL vu-ern t =0.81s
REL vu-vk t =0.31s
-----
TS 110/35 kV VINKOVCI
REL vk-vu t =0.31s
-----
TS 110/35 kV ERNESTINOVO-VUKOVAR
REL ern-vu t =0.81s
-----
TS 110/35 kV NIJEMCI
REL vu-njem t =0.02s
-----
Odreagiralo ukupno 6 releja, sa ukupnim vremenom djelovanja 2.28s
-----
-----
Mjesto kvara: 30 % duljine voda VUKOVAR-NIJEMCI
-----
TS 110/35 kV VUKOVAR
REL vu-njem t =0.02s
REL vu-ern t =0.81s
REL vu-vk t =0.81s
-----
TS 110/35 kV VINKOVCI
REL vk-vu t =0.81s
-----
TS 110/35 kV ERNESTINOVO-VUKOVAR
REL ern-vu t =0.81s
-----
TS 110/35 kV NIJEMCI
REL vu-njem t =0.02s
-----
Odreagiralo ukupno 6 releja, sa ukupnim vremenom djelovanja 3.28s
-----
-----

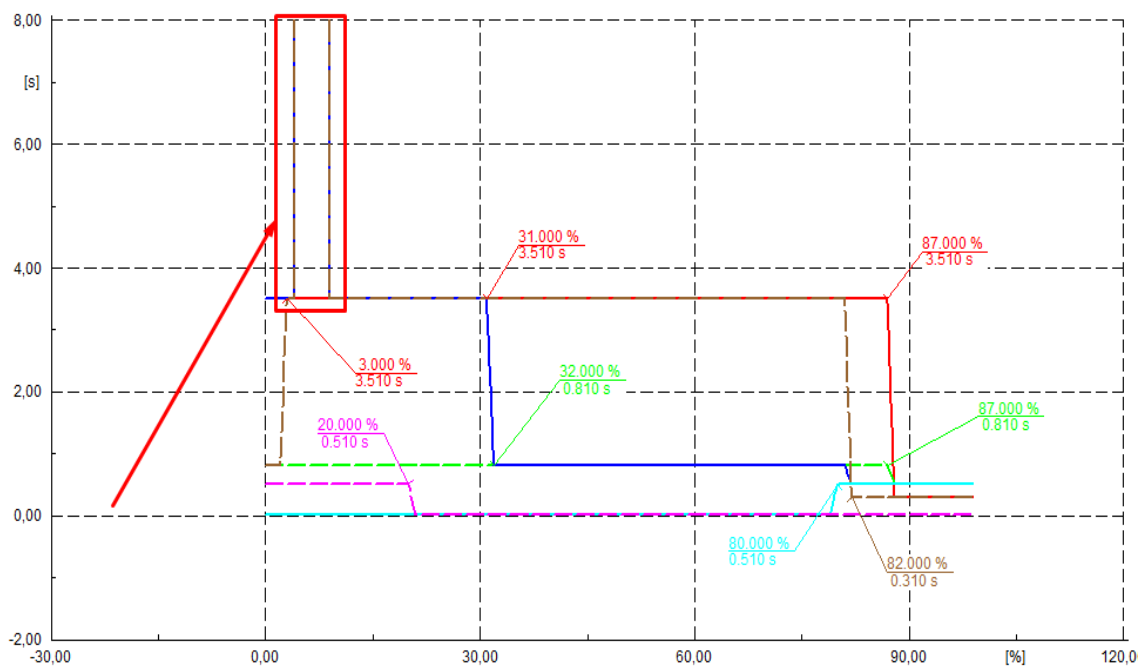
```

Slika 6.13. Rezultati ispisani u *Output Window* (sa PUTT dopustivom proradom)

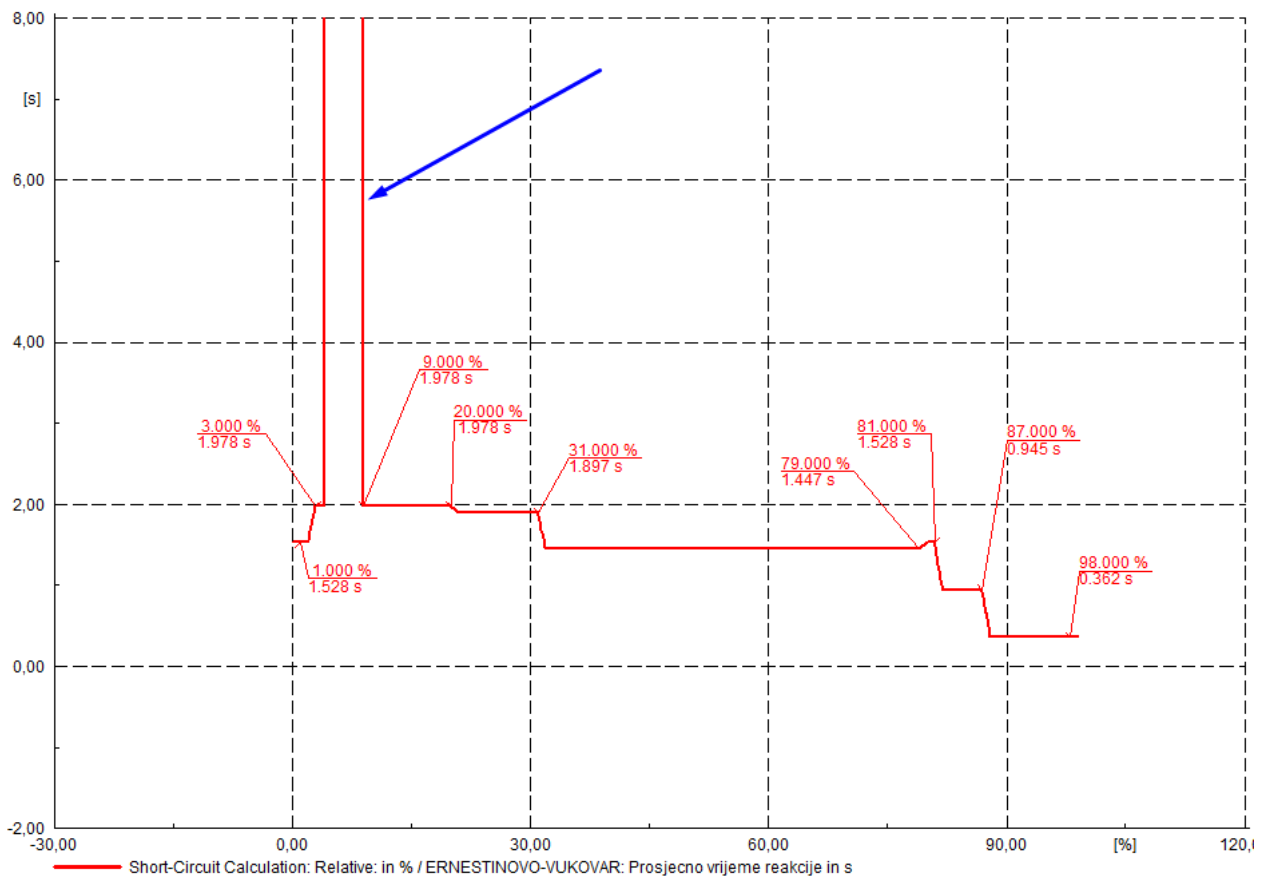
Na slikama 6.14., 6.15. i 6.16. prikazani su rezultati dobiveni nakon pokretanja skripte na vodu ERNESTINOVO-VUKOVAR.



Slika 6.14. Rezultati skripte izvedene na vodu ERNESTINOVO-VUKOVAR (prvi VI)



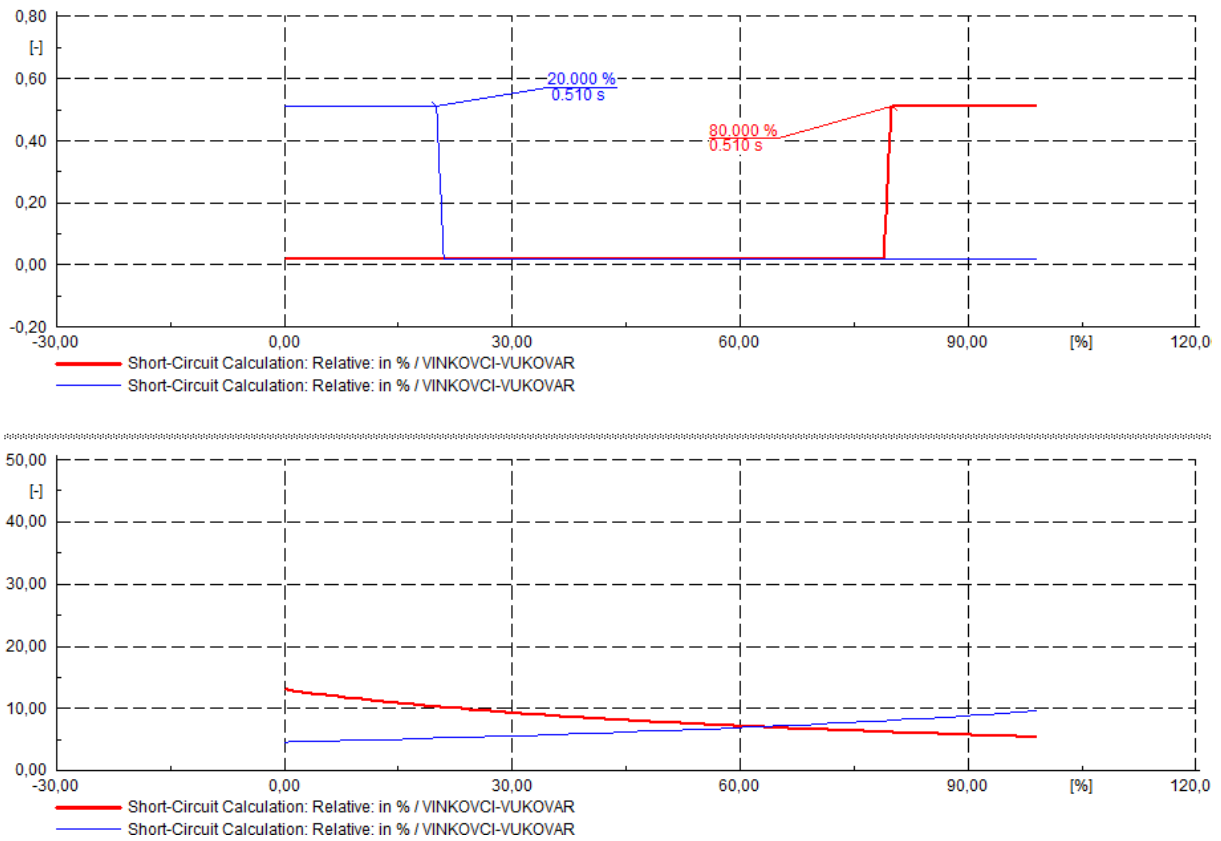
Slika 6.15. Rezultati skripte izvedene na vodu ERNESTINOVO-VUKOVAR (drugi VI)



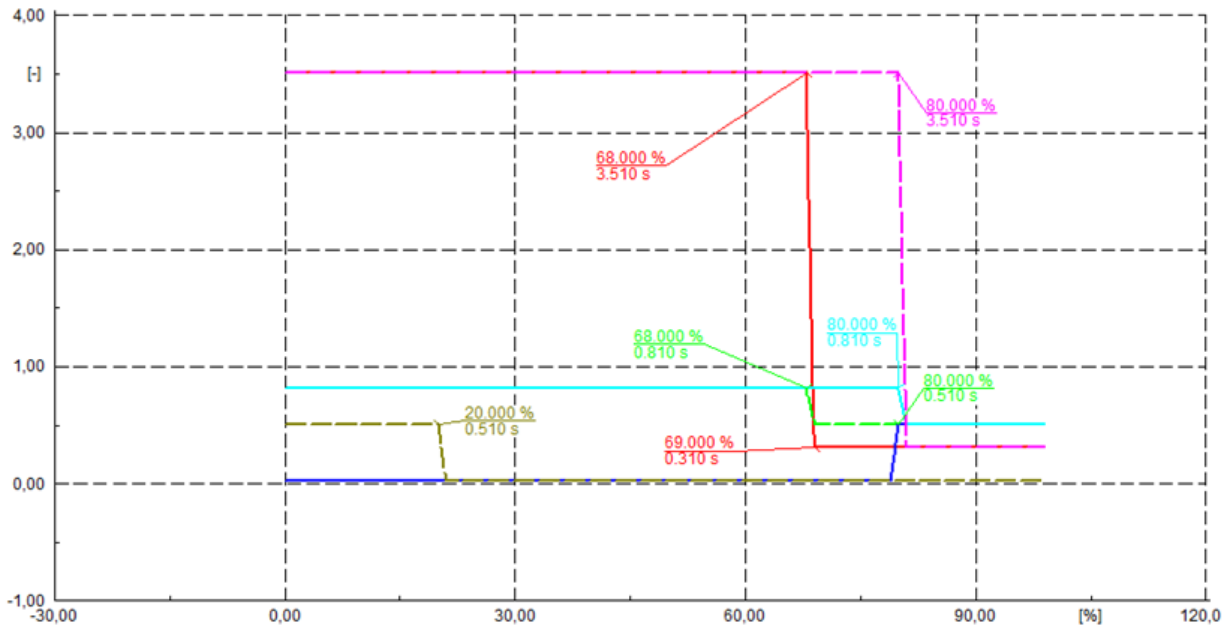
Slika 6.16. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI (treći VI)

Na slikama 6.15. i 6.16. se može uočiti kako Releji "REL vk-vu" te "REL vu-vk" ne reaguju za kvarove na prvih par postotaka duljine voda ERNESTINOVO-VUKOVAR u slučaju da svi releji zakažu. Pri kvaru na tim udaljenostima od početka voda, struja na vodu VINKOVCI-VUKOVAR je u rasponu od 120 A do 130 A što je manje čak i od struje koja teče pri normalnom pogonu. Ovakav je kvar distantnom zaštitom gotovo pa i nemoguće otkriti i ukloniti, a budući da vodom VUKOVAR-VINKOVCI ne teče relativno velika struja (nazivna termička struja voda je $I_n=535$ A), takvo stanje za vod VUKOVAR-VINKOVCI ne predstavlja problem. Kako se kvarovi približavaju TS 110/35 kV Vukovar struja se povećava, te releji detektiraju i otklanjaju kvar.

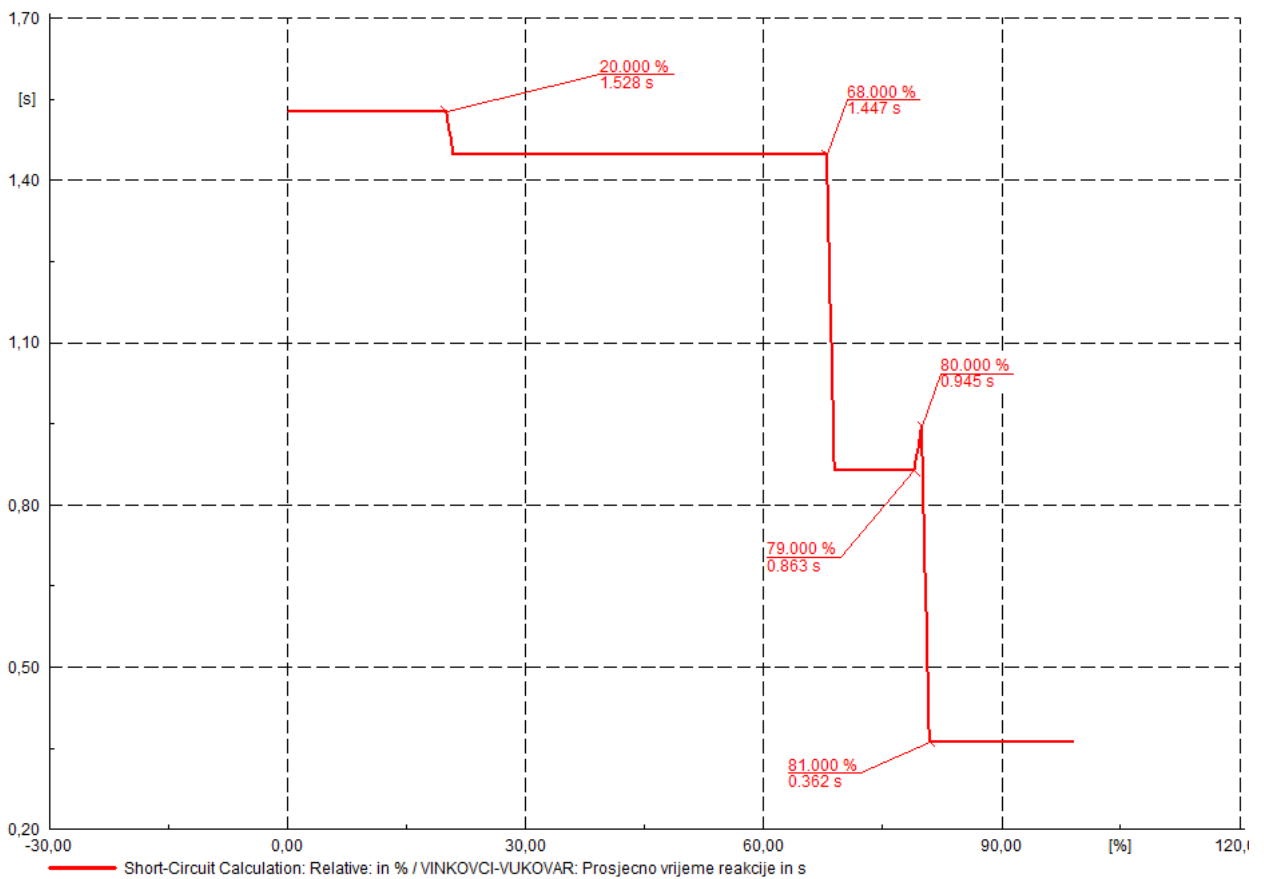
Za vod VUKOVAR-VINKOVCI rezultati skripte su prikazani na slikama 6.17., 6.18. i 6.19. svi parametrirani releji reagiraju u predviđenim zonama prorade sa pripadajućim vremenskim zatezanjima.



Slika 6.17. Rezultati skripte izvedene na vodu VINKOVCI-VUKOVAR (prvi VI)



Slika 6.18. Rezultati skripte izvedene na vodu VINKOVCI-VUKOVAR (drugi VI)



Slika 6.19. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI (treći VI)

7. INTEGRACIJA TRAFOSTANICE „TS 110/35 KV ILOK“

7.1. Topologija mreže nakon integracije trafostanice „TS 110/35 kV Ilok“

Nova transformatorska stanica "Ilok" prijenosnog omjera 110/20 kV povezuje se s postojećom prijenosnom mrežom elektroenergetskog sustava Hrvatske pomoću dva voda. Prvim vodom nova transformatorska stanica "Ilok" se spaja sa TS 110/35 kV Vukovar, dok se drugim vodom spaja sa TS 110/35 kV Nijemci. Parametri vodova su dani u tablici 6.1., dok je na slici 3.1. već prikazana nova topologija mreže.

Tablica 7.1. Parametri novih vodova

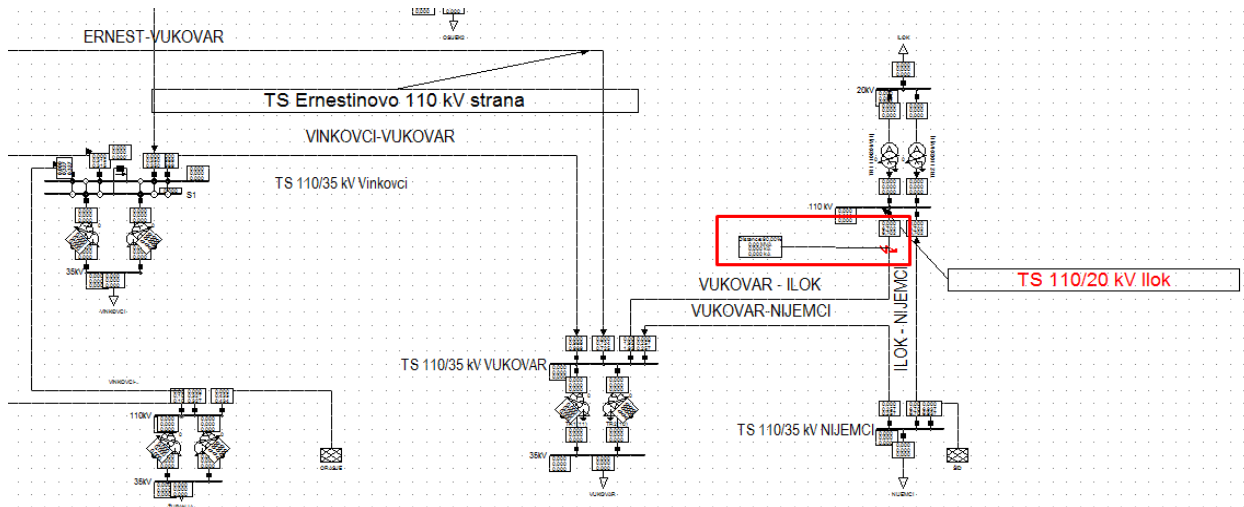
Vod	l(km)	In (kA)	kut voda	R1[Ω]	X1[Ω]	R0[Ω]	X0[Ω]
ILOK-NIJEMCI	8,00	0,74	70°8'	0,96	2,66	3,24	10,70
VUKOVAR-ILOK	44,00	0,74	70°8'	5,28	14,60	17,82	58,83

Poradi jednostavnosti, energetski transformatori su modelirani kao dvonamotni, rade u paralelnom radu od kojih je svaki snage 20 MVA u spoju YNd5. Teret priključen na 20 kV stranu iznosi 17.1 MW.

7.2. Utjecaj nove transformatorske stanice „TS 110/20 kV Ilok“ na postavke zaštite

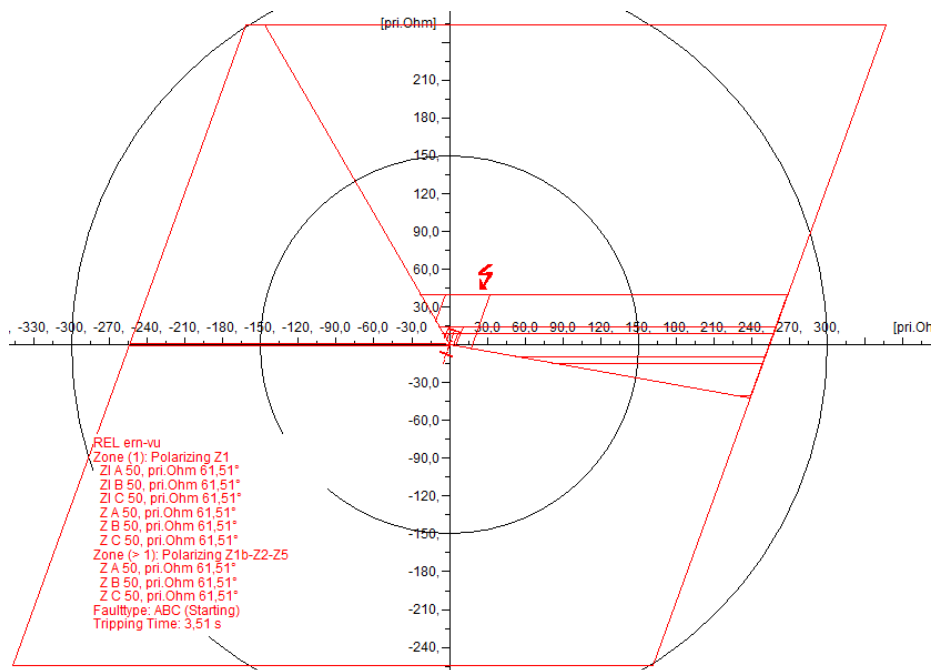
Novu transformatorsku stanicu kao i nove vodove kojima je ona spojena na postojeći EES potrebno je štiti od kvarova, kratkih spojeva i neželjenih pogonskih stanja. Novi vodovi omogućuju tokove snaga i struje kratkog spoja kroz petlje koje su različite od onih prije integracije nove transformatorske stanice. Zbog navedenog može doći do *under-reach* efekta jer se mijenja impedancija koju relej "vidi" za vrijeme kvara. Također, novi vodovi mogu biti duži, odnosno kraći od postojećih vodova spojenih na iste sabirnice određene transformatorske stanice čime se mijenjaju impedancije koje se koriste u izrazima za određivanje dosega zone 2, zone 3 i zone 4. Doseg zone 5 ovisi o primarnoj vrijednosti struje strujnih mjernih transformatora, koja opet ovisi o tokovima snaga (struja) koji su također radi promijenjene topologije različiti od onih prije integracije nove transformatorske stanice. Kao primjer će se promatrati relej "REL ern-vu" koji se nalazi u trafostanici „400/110 kV Ernestinovo“ i štiti vod ERNESTINOVO-VUKOVAR. Provedena je simulacija trofaznog kratkog spoja na 90% duljine voda VUKOVAR-ILOK, što je prikazano na slici 7.1.. Kako je to novi vod i pri tome je duži od vodova VUKOVAR-NIJEMCI i

VINKOVCI-VUKOVAR, za proračun dosega treće zone potrebno je uzimati impedanciju novog voda VUKOVAR-ILOK.



Slika 7.1. Mjesto nastanka dvopolnog kratkog spoja

Na slici 7.2. može se vidjeti kako relej "REL ern-vu" reagira u petoj zoni sa vremenom zatezanja 3,5 sekundi. Prema prije definiranim dosegima i vremenskim zatezanjima, kratki spoj na vodu VUKOVAR-ILOK trebao bi se sa pripadajućom impedancijom petlje kvara nalaziti unutar dosega treće zone, stoga je potrebno ponoviti izračun dosega pojedinih zona uzimajući u obzir novu transformatorsku stanicu i spojne vodove.



Slika 7.2. R-X dijagram sa vremenom prorade za relej "REL ern-vu"

8. MODEL ZAŠTITE NAKON INTEGRACIJE TRAFOSTANICE „TS 110/20 kV Ilok“

8.1. Postavke releja nakon integracije trafostanice „TS 110/20 kV Ilok“

Nakon integracije koristi se isti model releja *Siemens 7SA6*, na modelima strujnih mjernih transformatora, ako je to potrebno, promijenjeni su prijenosni omjeri u skladu sa promijenjenim tokovima snaga (poglavlje 5).

U tablicama 8.1. do tablice 8.10. prikazani su parametri releja nakon integracije trafostanice TS 110/20 kV Ilok.

Tablica 8.1. TS 400/110 kV Ernestinovo VP 110 kV Vukovar - Podešenje distantne zaštite za relej "REL ern- vu" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	3,56 Ω	5,19 Ω	27,57 Ω	0,33 Ω	152,42 Ω
X	9,28 Ω	18,98 Ω	76,6 Ω	0,99 Ω	152,42 Ω
R(ph-e)	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 8.2. TS 110/35 kV Vinkovci VP 110 kV Vukovar - Podešenje distantne zaštite

"REL vk-vu" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	2,17 Ω	4,87 Ω	16,5 Ω	1,34 Ω	152,42 Ω
X	4,23 Ω	10,2 Ω	43,5 Ω	3,73 Ω	152,42 Ω
R(ph-e)	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 8.3. TS 110/35 kV Vukovar VP 110 kV Ernestinovo - Podešenje distantne zaštite

"REL vu-ern" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	3,34 Ω	4,51 Ω	13,26 Ω	1,32 Ω	152,42 Ω
X	9,23 Ω	12,64 Ω	36,33 Ω	2,75 Ω	152,42 Ω
R(ph-e)	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 8.4. TS 110/35 kV Vukovar VP 110 kV Ilok - Podešenje distantne zaštite
"REL vu-ilok" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	4,22 Ω	5,74 Ω	8,72 Ω	1,32Ω	190,53Ω
X	11,6 Ω	15,93 Ω	24,16 Ω	2,75 Ω	190,53Ω
R(ph-e)	190,53Ω	190,53Ω	190,53Ω	190,53Ω	190,53Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 8.5. TS 110/35 kV Vukovar VP 110 kV Vinkovci - Podešenje distantne zaštite
"REL vu-vk" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	2,17 Ω	4 Ω	24,15 Ω	2,23Ω	152,42 Ω
X	4,42 Ω	9,26 Ω	53,11 Ω	1,06 Ω	152,42 Ω
R(ph-e)	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42 Ω	152,42Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 8.6. TS 110/35 kV Vukovar VP 110 kV Nijemci - Podešenje distantne zaštite

"REL vu-njem" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	3, 58 Ω	5 Ω	76 Ω	1,32Ω	127,02 Ω
X	7, 48 Ω	10,6 Ω	206 Ω	2,76 Ω	127,02 Ω
R(ph-e)	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω	127,01 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 8.7. TS 110/35 kV Nijemci VP 110 kV Vukovar - Podešenje distantne zaštite

"REL njem-vu" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	3, 56 Ω	5,8 Ω	15,5 Ω	0,469Ω	127,02 Ω
X	7, 48 Ω	12,11 Ω	38,76 Ω	1,33 Ω	127,02 Ω
R(ph-e)	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω	127,02 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 8.8. TS 110/35 kV Nijemci VP 110 kV Ilok - Podešenje distantne zaštite
"REL njem-ilok" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	0,762 Ω	3,6 Ω	8,72 Ω	2,23 Ω	254,04 Ω
X	2,14 Ω	10 Ω	24,17 Ω	4,7 Ω	254,04 Ω
R(ph-e)	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

Tablica 8.9. TS 110/20 kV Ilok VP 110 kV Vukovar - Podešenje distantne zaštite
"REL ilok-vu" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	4,21 Ω	6,6 Ω	23,6 Ω	0,469 Ω	190,53 Ω
X	11,69 Ω	17,4 Ω	66 Ω	1,4 Ω	190,53 Ω
R(ph-e)	190,53 Ω	190,53 Ω	190,53 Ω	190,53 Ω	190,53 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjerena
Pobuda	Nadstrujna				

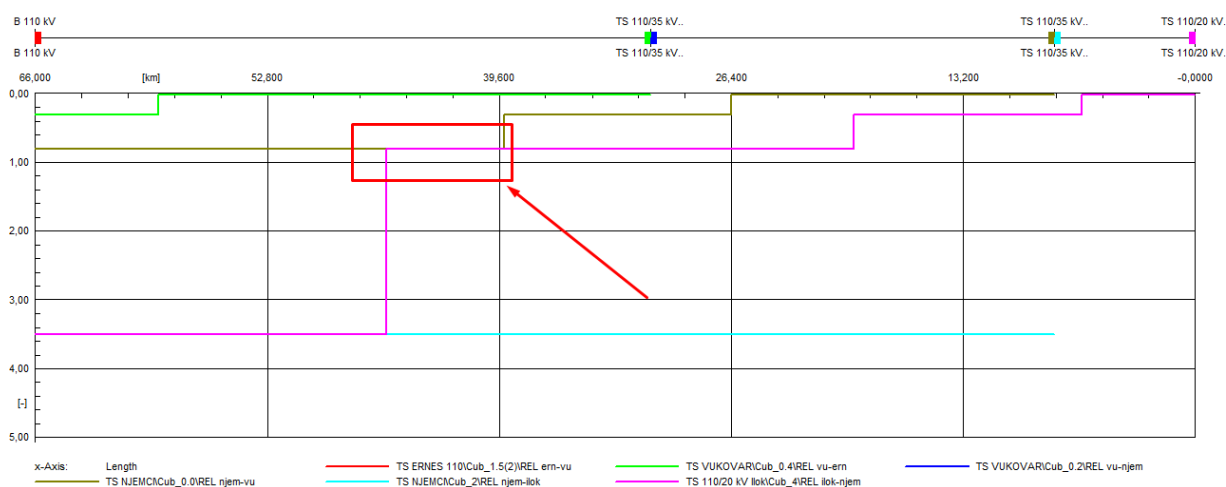
Tablica 8.10. TS 110/20 kV Ilok VP 110 kV Nijemci - Podešenje distantne zaštite

"REL ilok-njem" (7SA6)

Parametar:	Primarno:				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
R(ph-ph)	0,762 Ω	3,2 Ω	7,7 Ω	2,64 Ω	254,04 Ω
X	2,14 Ω	7,29 Ω	17 Ω	7,5 Ω	254,04 Ω
R(ph-e)	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω	254,04 Ω
t	0,0 s	0,5 s	0,8 s	0,3 s	3,5 s
Usmjerenje:	Naprijed	Naprijed	Naprijed	Natrag	Neusmjeren
Pobuda	Nadstrujna				

8.2. Korekcija vremenskih zatezanja

Promatranjem dijagrama vrijeme-duljina (impedancija) uočava se mogućnost neselektivnog djelovanja pojedinih releja poglavito pri vremenskom zatezanju treće zone gdje se pojedini dosezi trećih zona preklapaju sa dosezima istih zona susjednih releja, a to se primjerice može uočiti na slici 8.1. dijagramu vrijeme - duljina sa početkom u TS 110/20 kV Ilok, preko TS 110/35 kV Nijemci, TS 110/35 kV Vukovar pa do 110 kV strane TS Ernestinovo.



Slika 8.1. Preklapanje pojedinih zona

Kako bi se izbjeglo neselektivno djelovanje, potrebno je provesti korekciju vremenskih zatezanja. Korekcije vremenskih zatezanja su dane u tablici 8.11. (zeleno). Korekcija je provedena na način da se vrijeme reakcije treće zone spusti sa 0,8s na 0,65s, čime je osigurana selektivnost, a ostavljen je dovoljan vremenski interval $\Delta t=150$ ms kako ne bi došlo do neselektivnog djelovanja u odnosu na drugu zonu.

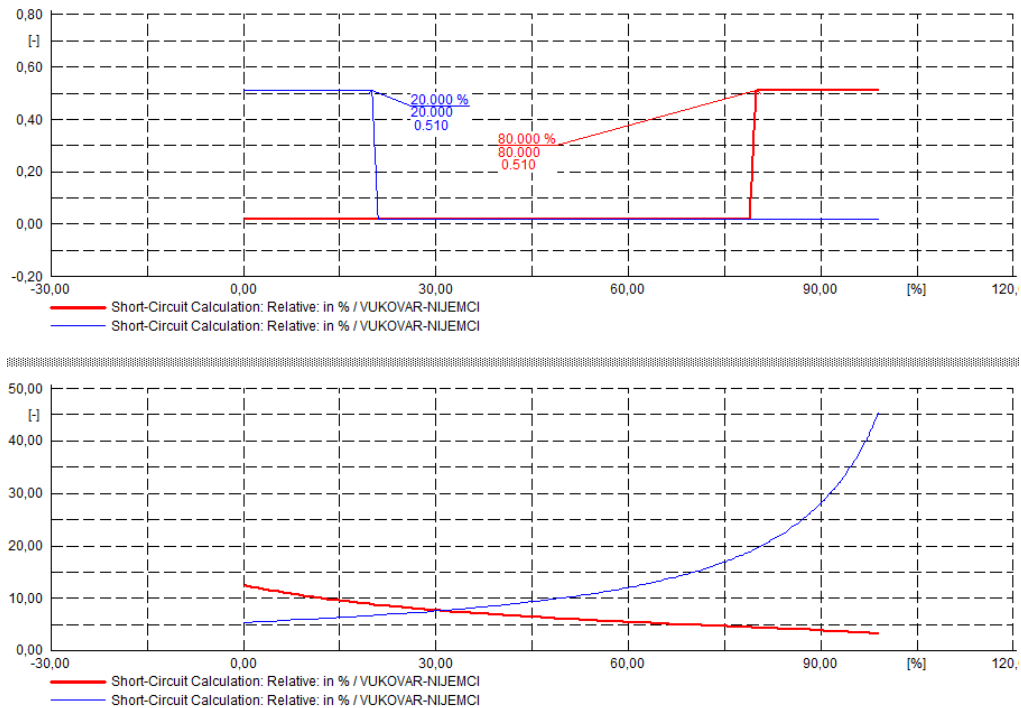
Tablica 8.11. *Korigirana vremena zatezanja pojedinih releja*

Relej	T1[s]	T2[s]	T3[s]	T4[s]	T5[s]
REL vu-ilok	0	0,5	0,65	0,3	3,5
REL vu-njem	0	0,5	0,65	0,3	3,5
REL njem-vu	0	0,5	0,65	0,3	3,5
REL ilok-vu	0	0,5	0,65	0,3	3,5

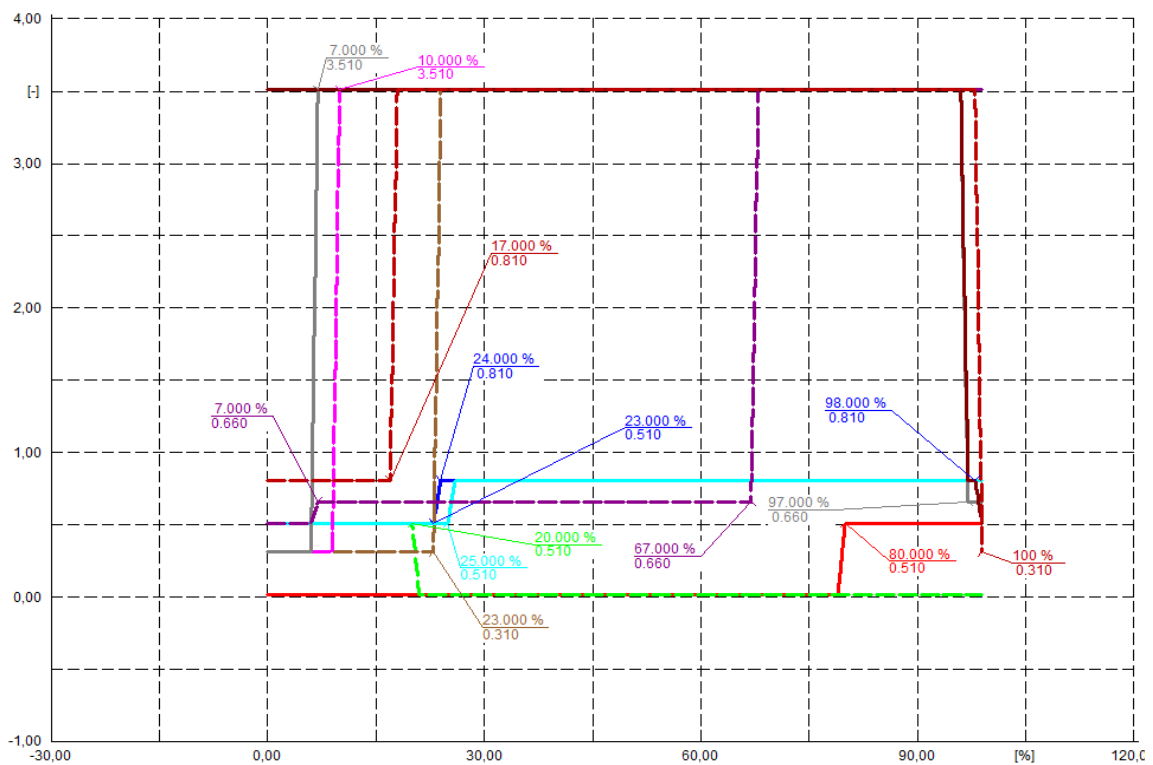
8.3. Rezultati dobiveni pomoću *Python* skripte

Radi lakšeg snalaženja rezultati, odnosno reakcije pojedinih releja, prikazane drugim VI-om označene su različitim bojama i vrstom linija. Reakcije releja prikazane su na slijedeći način: "REL vu-njem" (crveno), "REL njem-vu" (zeleno-crtkano), "REL ern-vu" (svijetloplavo), "REL vu-ern" (pink-crtkano) "REL vk-vu" (plavo) , "REL vu-vk" (smeđe, crtcano), "REL vu-ilok" (sivo), "REL ilok-vu" (ljubičasto-crtkano), "REL ilok-njem" (tamnocrveno), "REL njem-ilok" (crveno-crtkano).

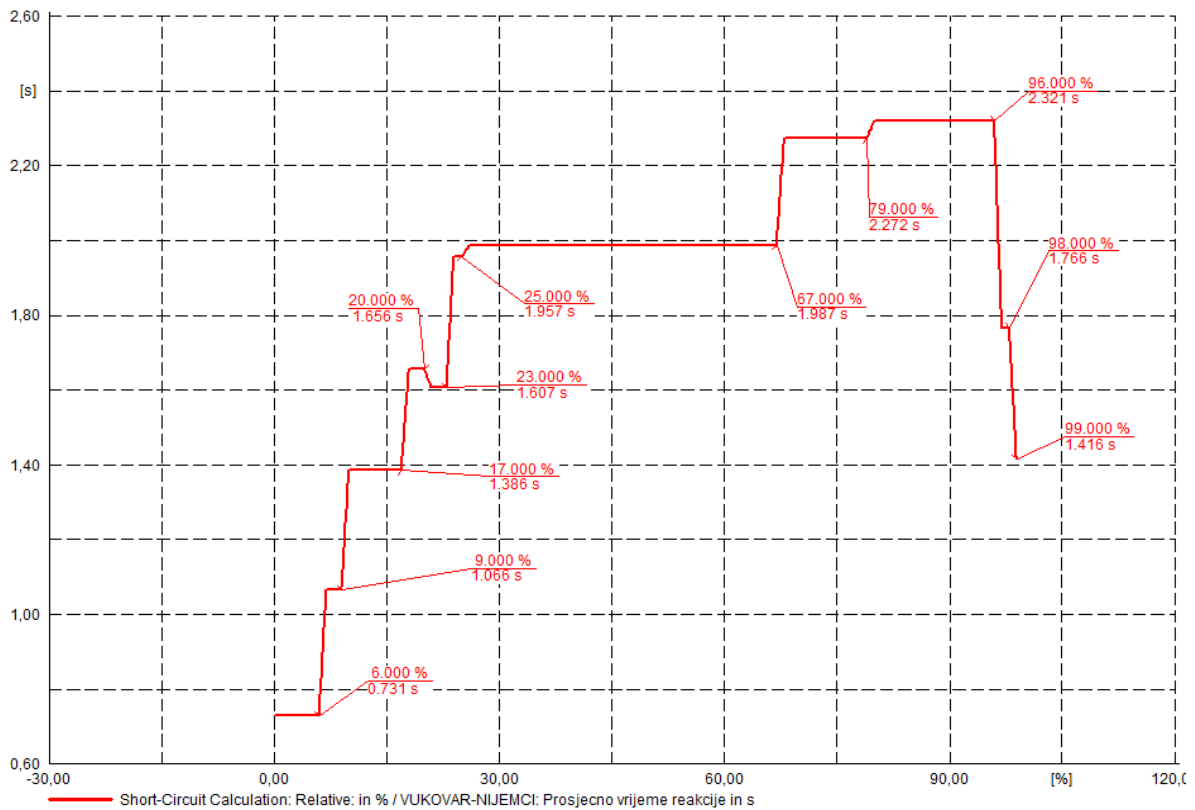
Na slikama 8.2., 8.3. i 8.4. su prikazani rezultati dobiveni pokretanjem skripte na vodu VUKOVAR-NIJEMCI.



Slika 8.2. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI (prvi VI)



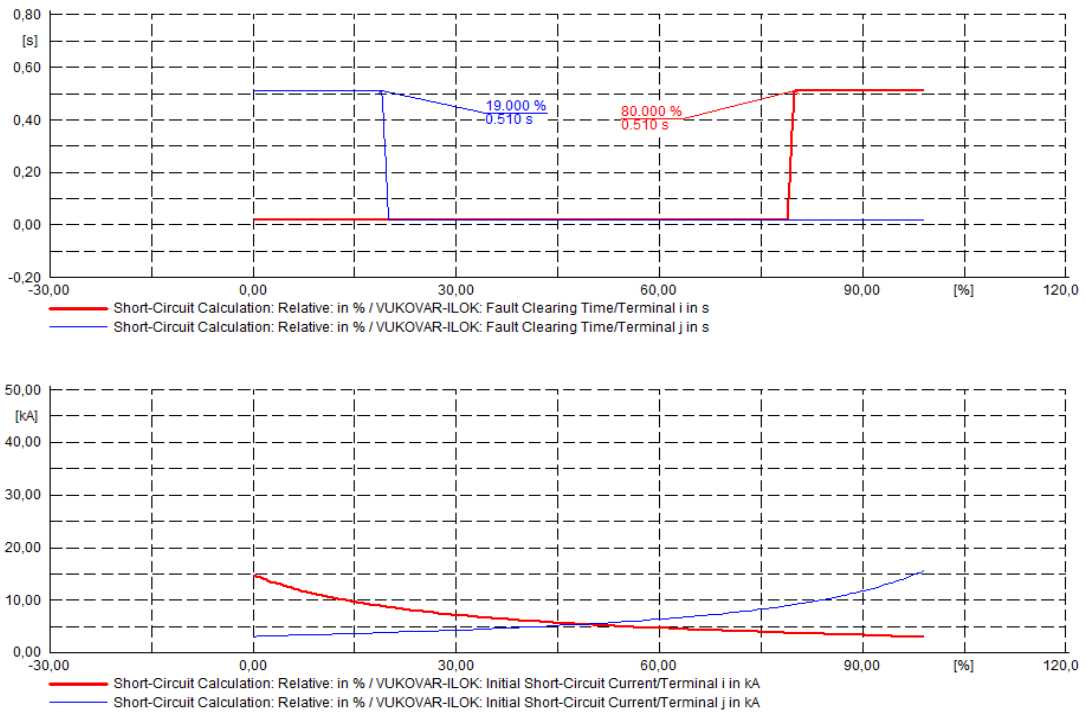
Slika 8.3. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI (drugi VI)



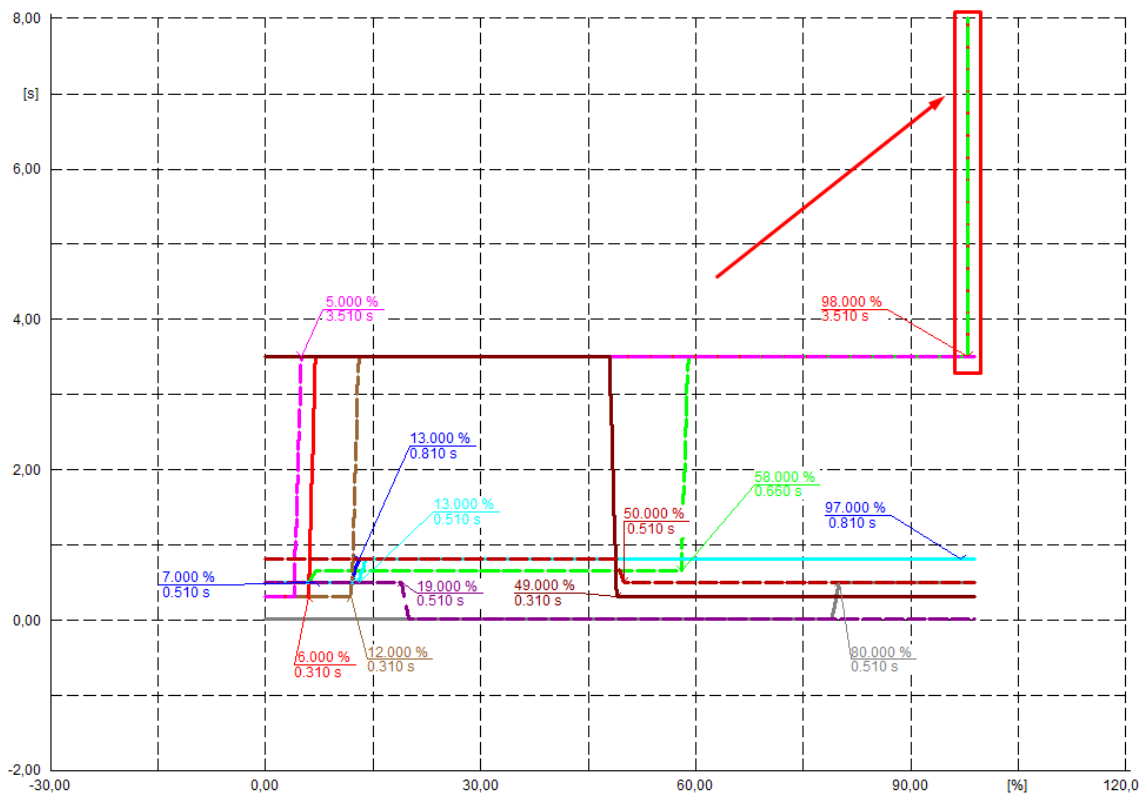
Slika 8.4. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-NIJEMCI (treći VI)

U ovome slučaju za kvar na vodu VUKOVAR-NIJEMCI, u slučaju otkaza jednog od releja postavljenih na tom vodu, svi promatrani releji će reagirati u nekoj od svojih pripadajućih zona, dakle pobude svih promatranih releja su osjetile kvar, te je impedancija kvara „ušla“ u njihove poligonalne karakteristike.

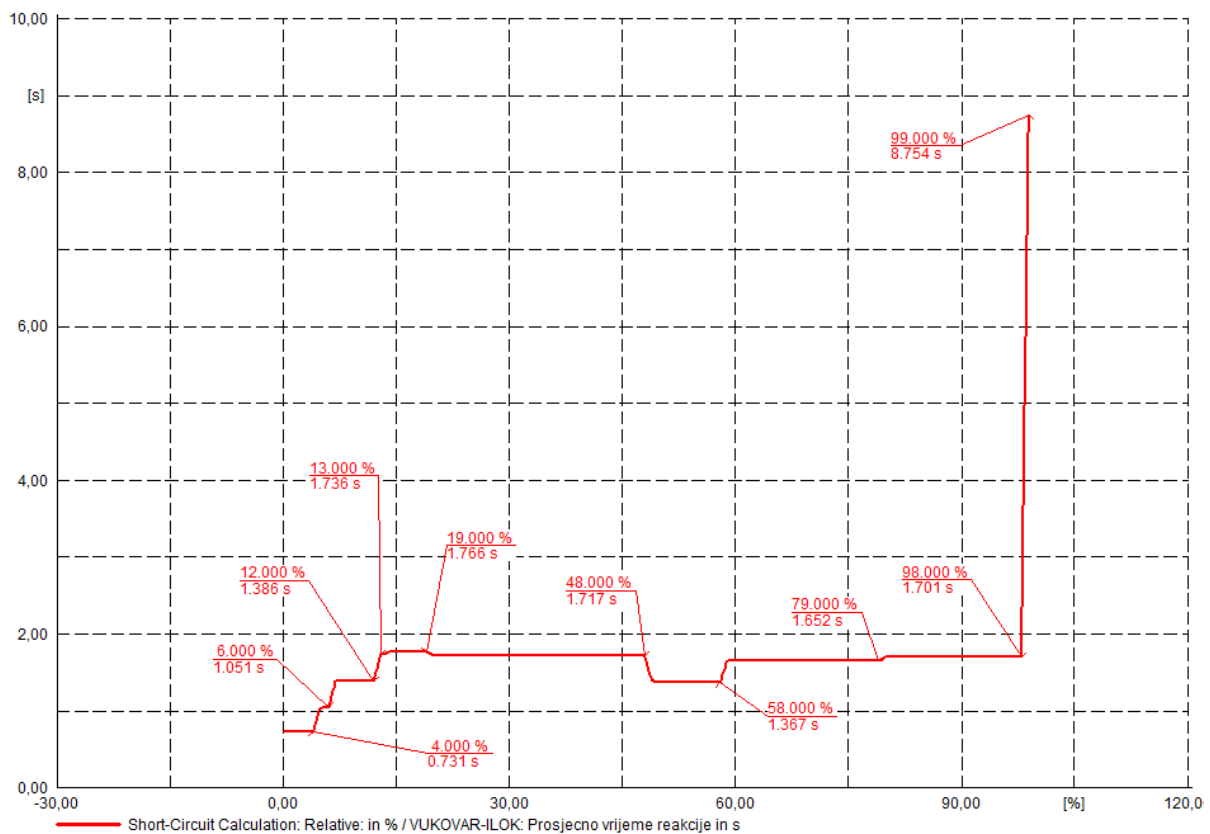
Slike 8.5., 8.6. i 8.7. prikazuju rezultate skripite pokrenute na vodu VUKOVAR-ILOK.



Slika 8.5. Rezultati skripite izvedene na vodu VUKOVAR-ILOK (prvi VI)



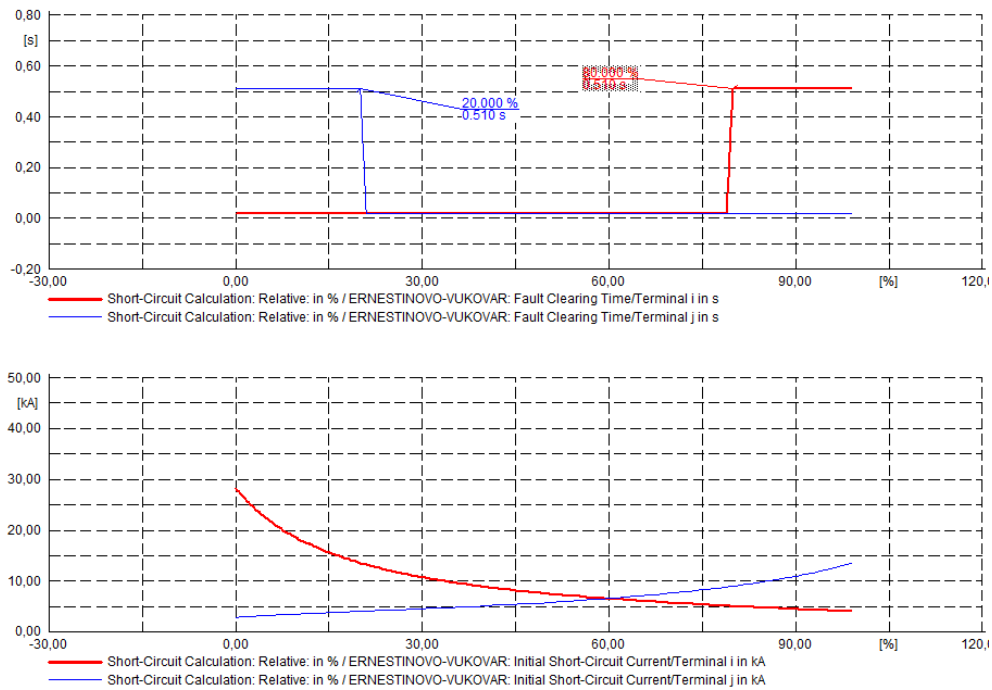
Slika 8.6. Rezultati skripite izvedene na vodu VUKOVAR-ILOK (drugi VI)



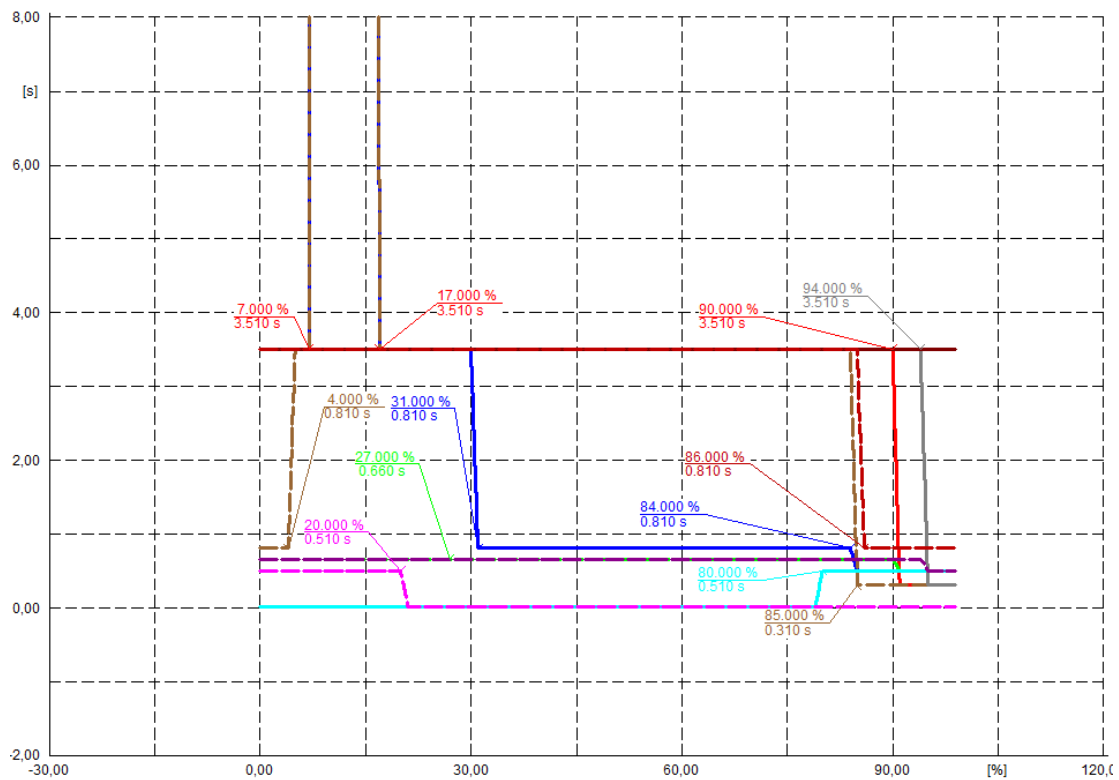
Slika 8.7. Rezultati skripte izvedene na vodu VUKOVAR-ILOK (treći VI)

Na slici 8.6. se uočava da releji "REL vu-njem" te "REL njem-vu" ne reaguju za kratke spojeve na kraju voda VUKOVAR-ILOK za koje bi ovi releji trebali reagirati u svojoj zoni 4 odnosno zoni 3, u slučaju da zakažu svi ostali releji. Dodatnom provjerom je ustanovljeno da se pri kvarovima na dijelu voda ILOK-VUKOVAR struja kroz vod VUKOVAR-NIJEMCI smanjuje i mijenja smjer, stoga dolazi do povećanja impedancije koju relej „vidi“ pa takva povećana impedancija ne pripada niti jednoj od zona oba releja. No, važno je naglasiti da struja u ovom slučaju ne prelazi 170A što za vod nazivne struje 535 A i strujni mjerni transformator primarne nazivne struje 200A ne predstavlja problem, pa se ovakvo vladanje releja može zanemariti.

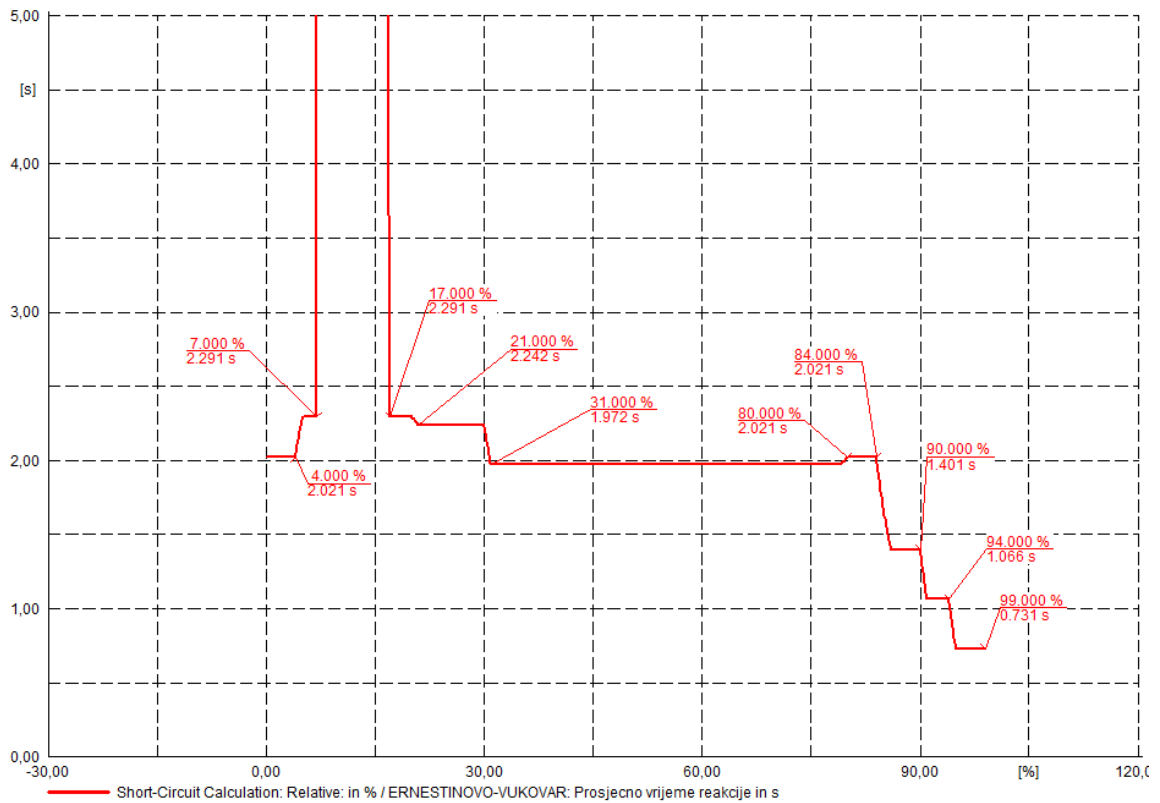
Na slikama 8.8., 8.9. i 8.10. prikazani su rezultati skripte pokrenute na vodu ERNESTINOVO-VUKOVAR.



Slika 8.8. Rezultati skripte izvedene na vodu ERNESTINOVO-VUKOVAR (prvi VI)



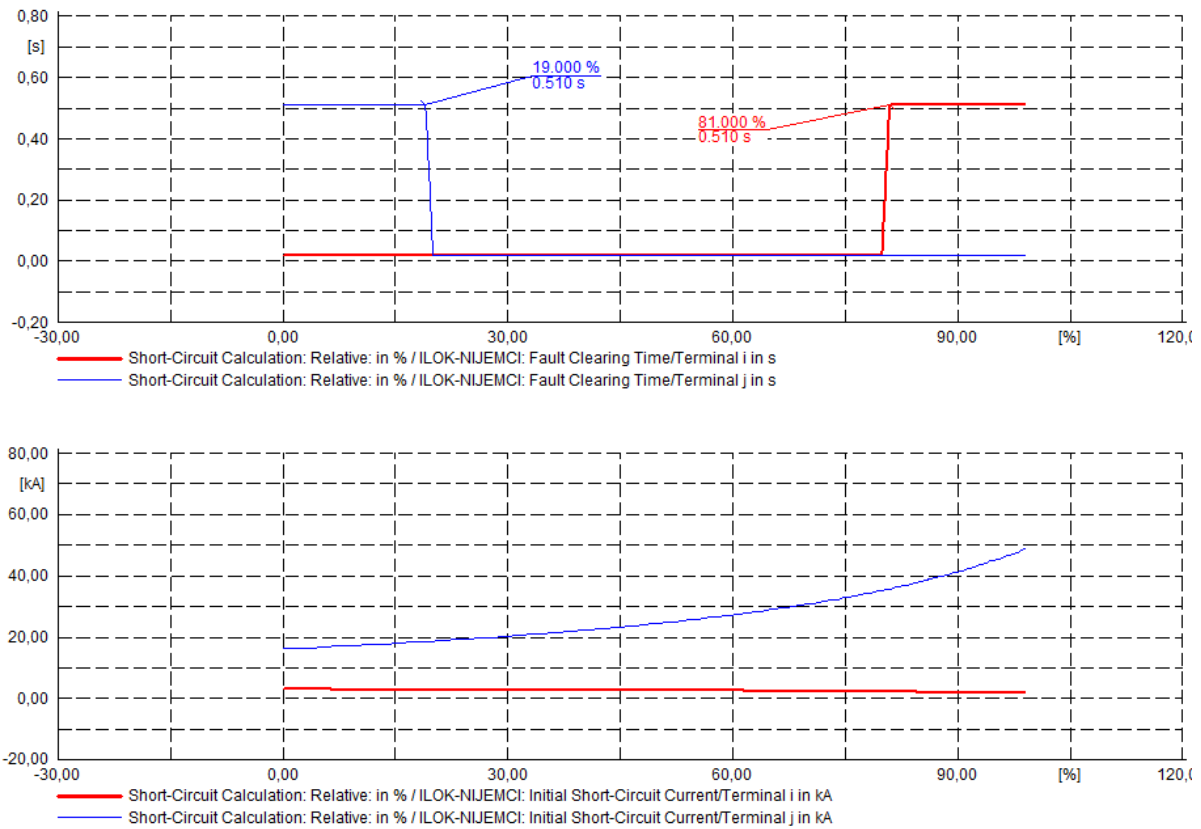
Slika 8.9. Rezultati skripte izvedene na vodu ERNESTINOVO-VUKOVAR (drugi VI)



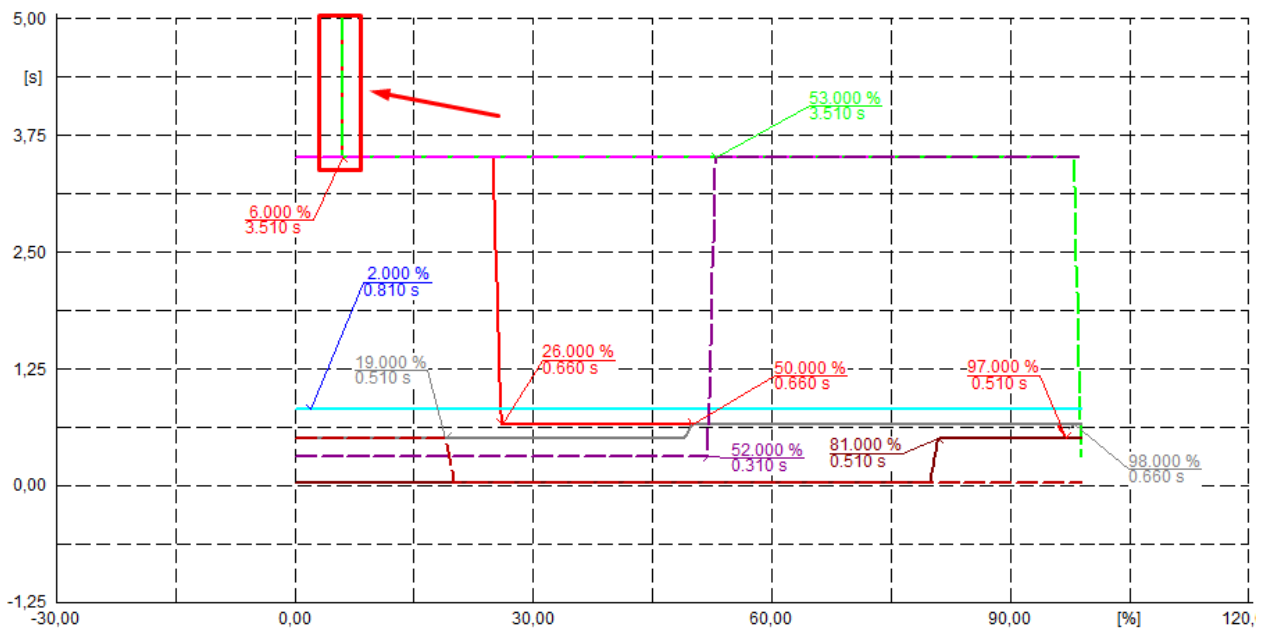
Slika 8.10. Rezultati skripte izvedene na vodu ERNESTINOVO-VUKOVAR (treći VI)

Na slici 8.9. se uočava da releji "REL vk-vu" i "REL vu-vk" ne reagiraju na kvarove pri samom početku voda ERNESTINOVO-VUKOVAR u slučaju da svi releji zakažu. Razlog tomu je isti kao i u spomenutom slučaju sa slike 6.15., odnosno pojava struja kvara koje su unutar granica nazivnih vrijednosti struja postojećih tereta.

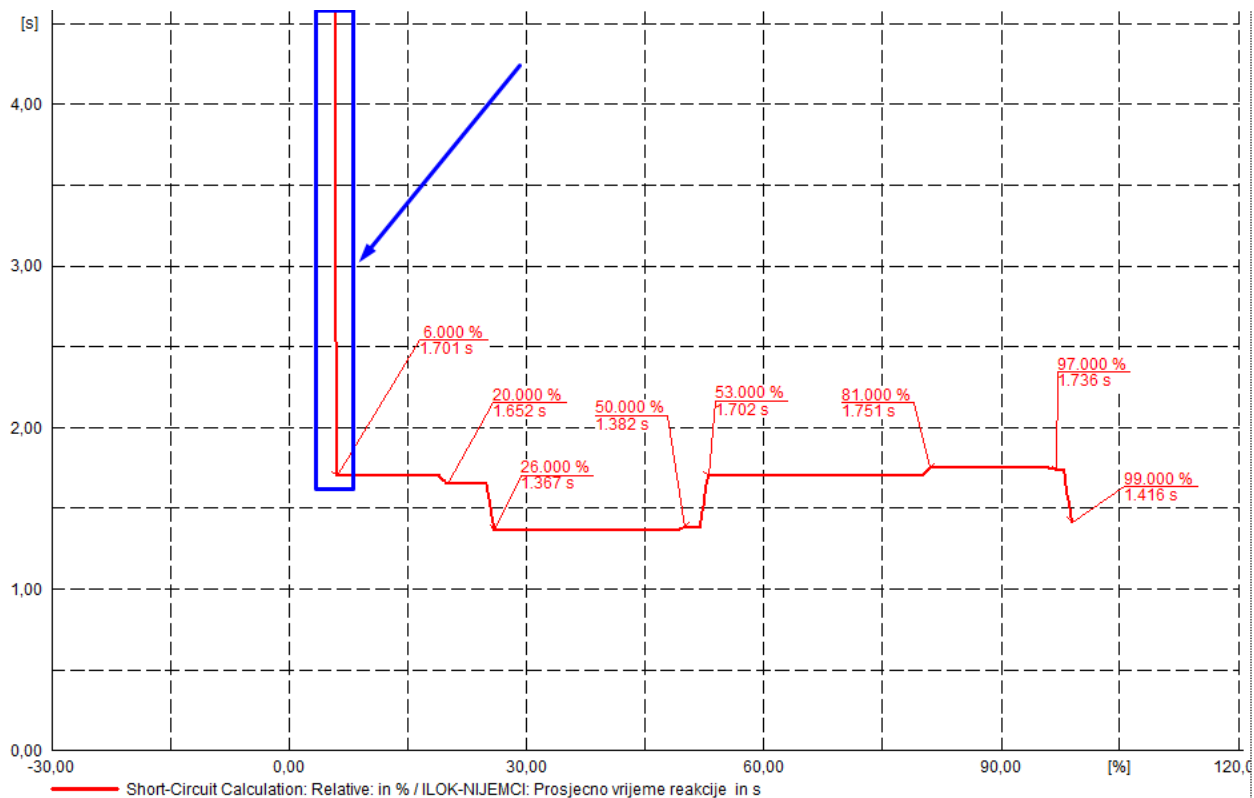
Pokretanjem skripte na vodu ILOK-NIJEMCI dobiveni su sljedeći rezultati prikazani na slikama 8.11., 8.12. i 8.13.



Slika 8.11. Rezultati skripte izvedene na vodu ILOK-NIJEMCI (prvi VI)

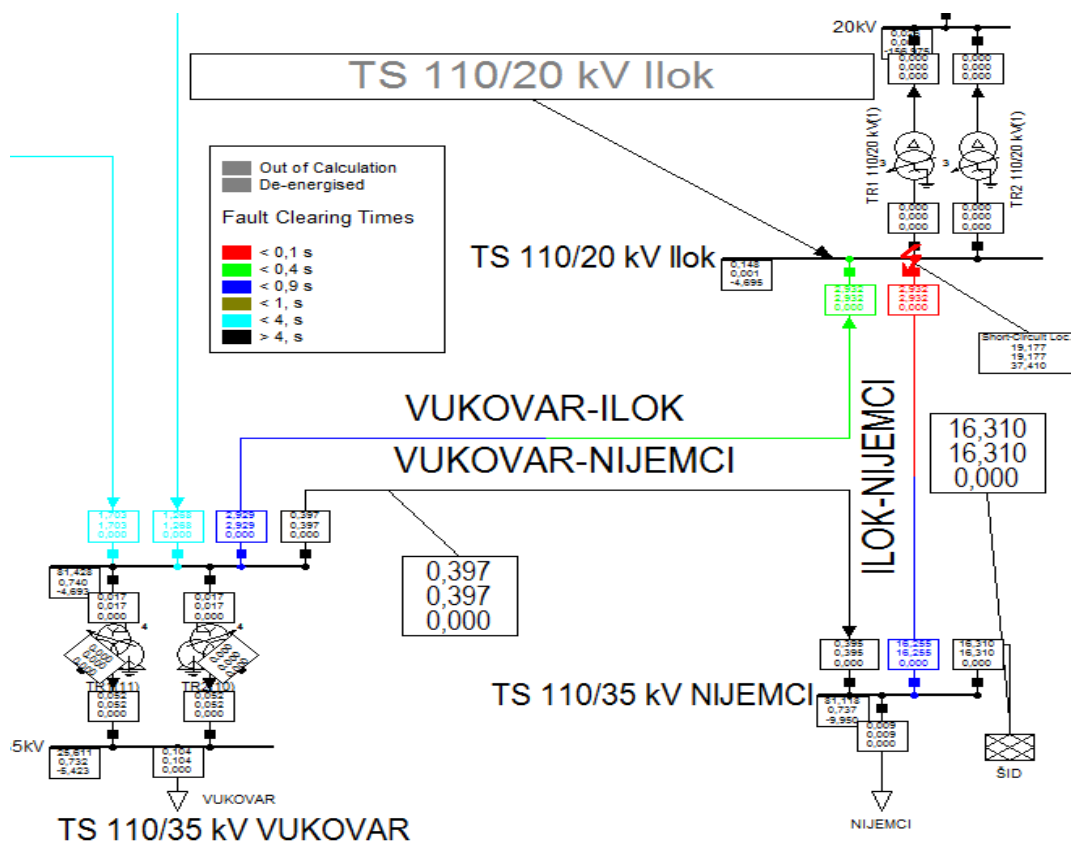


Slika 8.12. Rezultati skripte izvedene na vodu ILOK-NIJEMCI (drugi VI)



Slika 8.13. Rezultati skripte izvedene na vodu ILOK-NIJEMCI (treći VI)

Na slici 8.12. može se uočiti kako releji "REL vu-njem" (crveno), "REL njem-vu" (zeleno-crtkano), ne reagiraju na kvarove koji se nalaze na dionici od 0% do 6% duljine dalekovoda, također je to moguće uočiti na slici 8.13. gdje je za tu dionicu prosječno vrijeme reakcije jako veliko (tehnički beskonačno jer releji "REL vu-njem" i "REL njem-vu" u tom slučaju imaju beskonačno vrijeme reakcije) . Razlog tomu je „jaka“ nadomjesna mreža "Šid" koja u ovome slučaju u čvorištu TS 110/35 kV Nijemci injektira veliku struju kvara u odnosu na struju koja ulazi u čvorište putem voda VUKOVAR-NIJEMCI (slika 8.14.), stoga dolazi do značajnog utjecaja under-reach efekta.

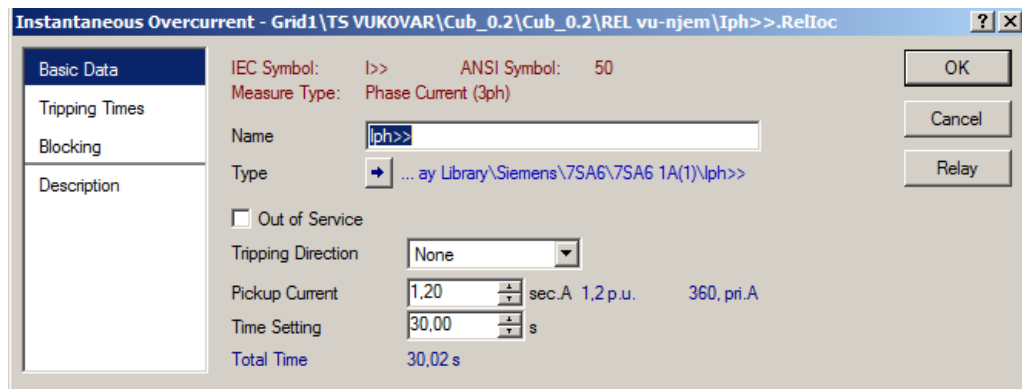


Slika 8.14. Struje kratkog spoja za kvar na sabirnicama TS 110/20 kV Ilok (dvopolni kratki spoj)

Releji "REL vu-njem" i "REL njem-vu" mjere premalu struju kvara, odnosno preveliku impedancija petlje kvara koja se ne nalazi u niti jednoj zoni kvadrilateralne karakteristike ovih releja. Kako u slučaju kvara na ovoj problematičnoj dionici teče struja od 397A ona ne predstavlja opasnost za sami vod čija je nazivna vrijednost struje $I_n=535A$, međutim vrijednost struje od 397A veća je od struje tereta koja teče vodom VUKOVAR-NIJEMCI pri normalnom stanju. Rješenje ovog problema može se pronaći u uporabi *backup* nadstrujne zaštite. Podešenje rezervne zaštite u ovom slučaju postavlja se na vrijednost 1,2 nazivne vrijednosti primarne struje mjernog transformatora kao što je prikazano na slici 8.15. Vrijednost od 120% primarne nazivne struje je vrijednost koju svaki strujni mjerni transformator može dugotrajno podnijeti [2] dakle:

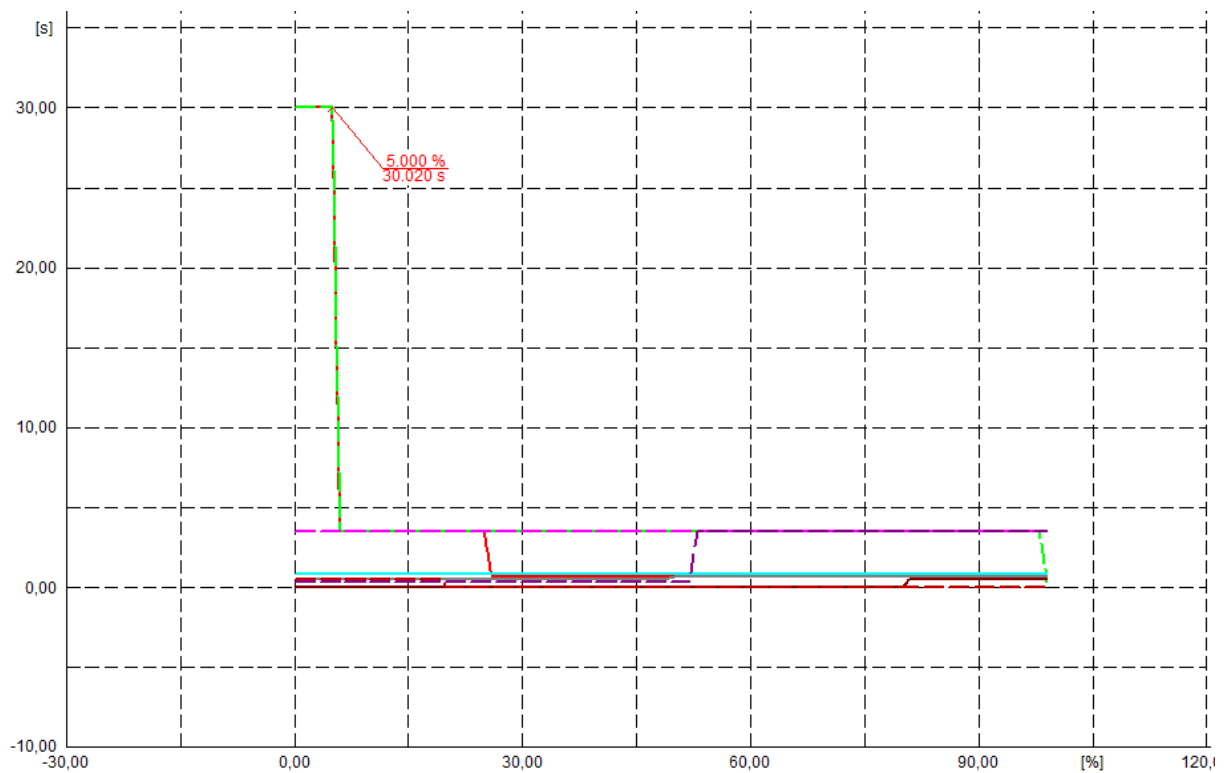
$$I_{\gg} = 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 300 = 360 A(\text{primarno}) \quad (8-1)$$

I_n - nazivna struja primara strujnog mjernog transformatora.

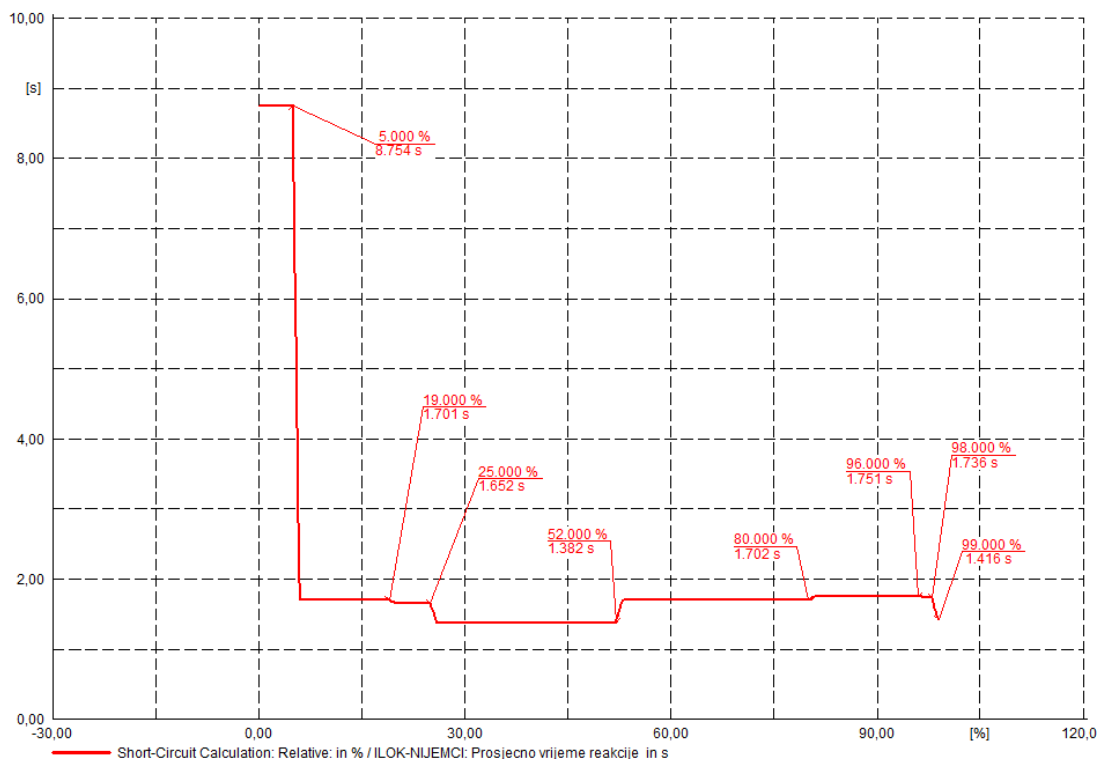


Slika 8.15. Postavke backup nadstrujne zaštite

Rezultati drugog i trećeg VI-a skripte pokrenute na vodu ILOK nijemci, nakon dodavanja rezervne zaštite prikazani su na slikama 8.16. i 8.17..

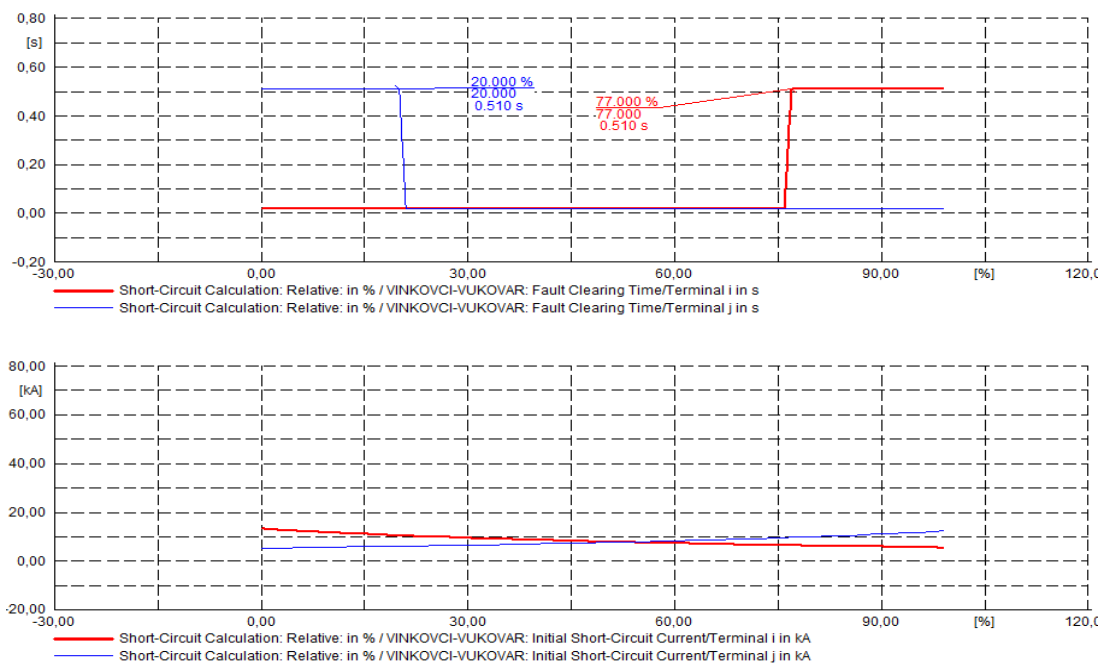


Slika 8.16. Rezultat skripte na vodu ILOK-NIJEMCI nakon dodavanja rezervne nadstrujne zaštite (drugi VI)

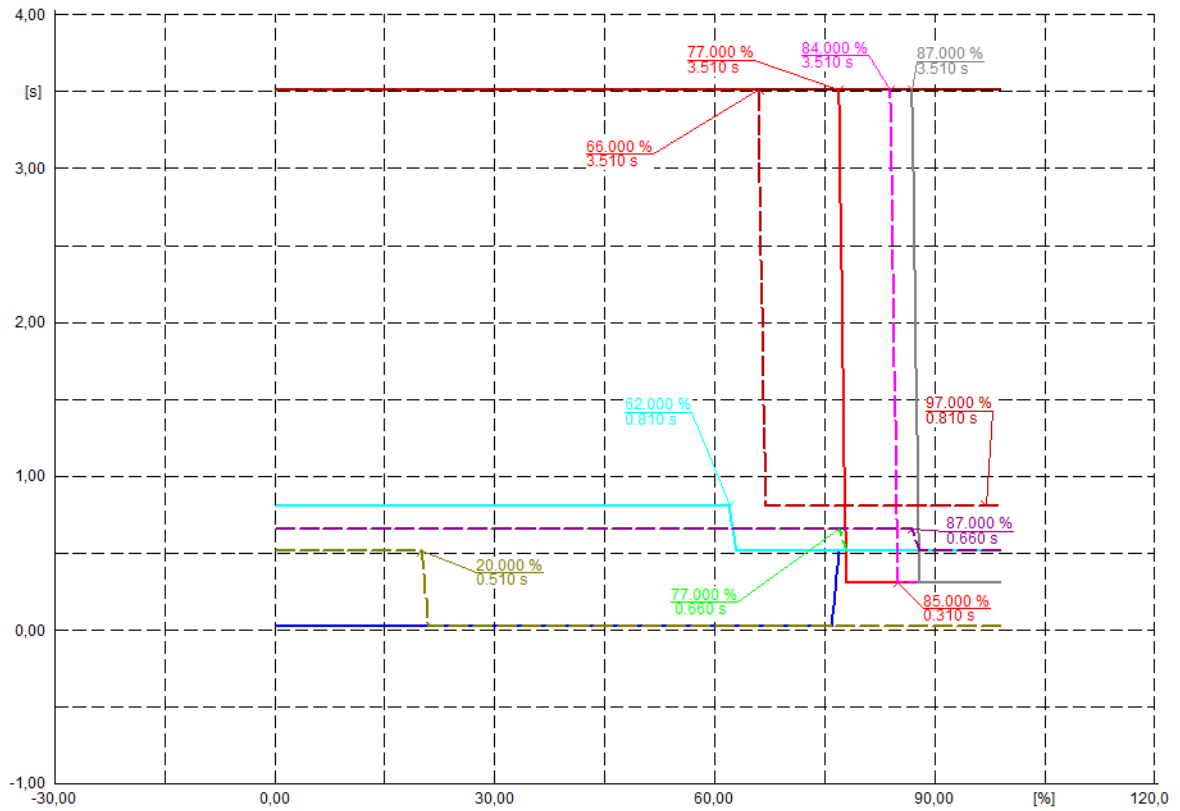


Slika 8.17. Rezultat skripte na vodu ILOK-NIJEMCI nakon dodavanja rezervne nadstrujne zaštite (drugi VI)

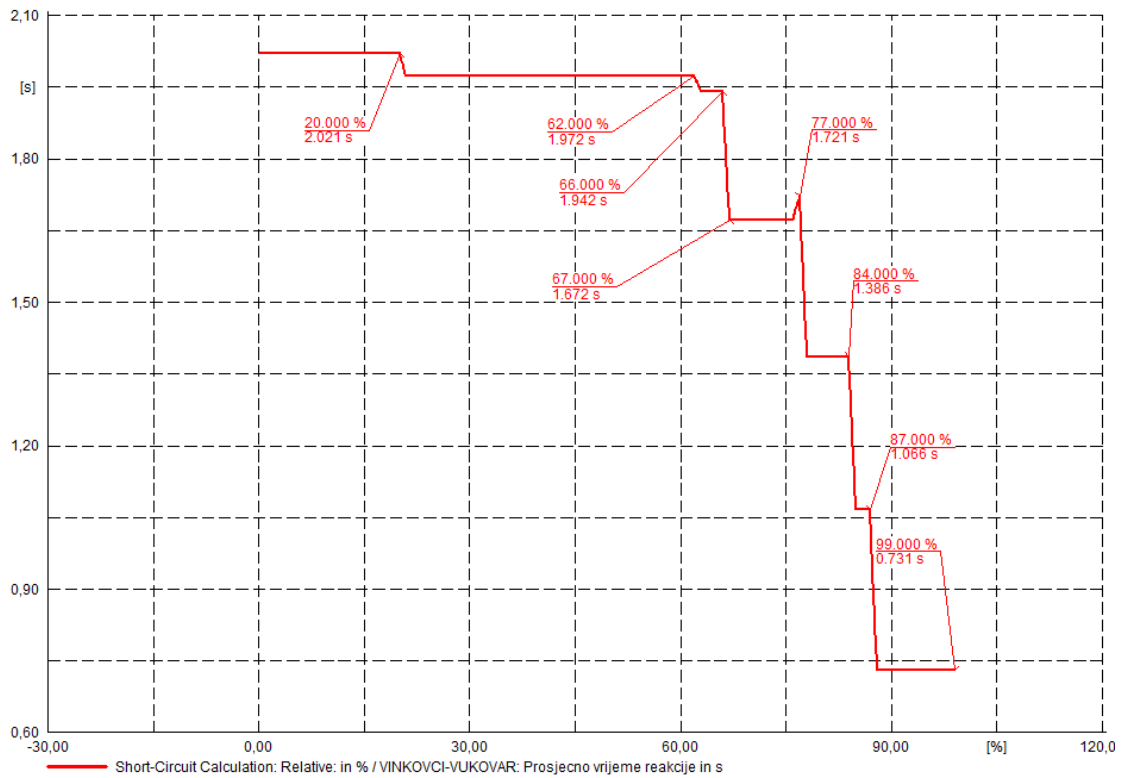
Rezultati skripte pokrenuti na vodu VINKOVCI-VUKOVAR prikazani su slikama 8.18., 8.19. i 8.20..



Slika 8.18. Rezultati skripte izvedene na vodu VINKOVCI-VUKOVAR (prvi VI)



Slika 8.19. Rezultati skripte izvedene na vodu VINKOVCI-VUKOVAR (drugi VI)



Slika 8.20. Rezultati skripte izvedene na vodu VINKOVCI-VUKOVAR (treći VI)

Kao i u slučaju kratkih spojeva na vodu VUKOVAR-NIJEMCI, za kratke spojeve na vodu VINKOVCI-VUKOVAR svi releji reagiraju na kvar, ovisno o mjestu kvara odnosno zoni u kojoj se nađe impedancija petlje kvara.

9. ZAKLJUČAK

Nova trafostanica sa svojim spojnim vodovima predstavlja značajnu promjenu u topologiji mreže. Nakon integracije zbog izmijenjene topologije i izmijenjenih tokova snaga potrebno je izvršiti korekcije ranije parametriranih releja.

Prve zone distantne zaštite ostaju nepromijenjene budući da prilikom određivanja njihovog doseg novonastala topologija mreže na njih nema utjecaja. Doseg druge zone u nekim slučajevima ostaje isti, dok se u preostalim slučajevima mijenja. Do promjene dolazi kada dosadašnji najkraći vod na susjednim sabirnicama, uslijed izmjena u topologiji mreže (u ovome slučaju priključenje novog voda) prestaje biti najkraći vod, tada se u izrazima za doseg druge zone trebaju koristiti parametri trenutnog najkraćeg voda spojenog na susjedne sabirnice.

Doseg treće zone se također mijenja uslijed promjena u topologiji mreže, do promjene dolazi kada dosadašnji najduži vod priključen na susjedne sabirnice uslijed promjene topologije mreže prestaje biti najduži. Tada, kao i u slučaju za doseg druge zone, u izrazu za određivanje doseg treće zone nakon promijenjene topologije mreže mora se koristiti najduži vod spojen na susjedne sabirnice. Zbog promjene u topologiji mreže pažnju treba obratiti i na *under-reach* efekt, struje koje ulaze u čvorište mijenjaju svoj iznos, kako se one koriste prilikom određivanja treće zone potrebno je u izraz za doseg treće zone koristiti iznose struja koje teku nakon promjene u topologiji mreže. Zona 4 se mijenja ukoliko se iza releja spoji vod kraći od najkraćeg voda koji je bio spojen prije promjene topologije mreže. Zona 5 kao i rezistivni dosezi za kvarove prema zemlji se mijenjaju ovisno o najmanjoj impedanciji tereta. Kako nakon integracije TS 110/20 kV Ilok dolazi do promjene tokova snaga, promijenjeni su i prijenosni omjeri strujnih mjernih transformatora, odnosno njihove primarne vrijednosti što za posljedicu ima promjenu nazivne struje I_n korištenu pri određivanju minimalne impedancije tereta.

Korekcija vremenskih zatezanja provodi se ako se nakon postavljanja releja po zonama i po unaprijed definiranim vremenima zatezanja za određenu zonu uoči preklapanja istih zona kao u primjeru na slici 8.1.. Kako postoji relativno veliki vremenski interval od 300 ms između zone 2

i zone 3; zona 3 prvog susjednog releja spušta se na 650 ms čime je izbjegnuto neselektivno djelovanje, a nije se povećalo ukupno vrijeme trajanja kvara.

Povezivanjem programskog paketa *DIgSILENT PowerFactory* i programskog jezika *Python* u ovomu je radu korištena skripta napisana u programskom jeziku Python koja omogućuje detaljan prikaz u kojoj zoni, sa kolikim vremenskim zatezanjem su releji reagirali na kvar za određenu udaljenost od početka voda. Grafički prikaz i prikaz u *Report Window*-u omogućavaju provjeru parametriranih releja, te ostavljaju prostora za pronalazak još boljih postavki distantne zaštite. U slučaju koji je promatran, gdje je odabrana najnepovoljnija topologija mreže (priključena nadomjesna mreža "Šid") vrijede prikazani proračuni, međutim prijenosna mreža podložna je topološkim promjenama. U takvoj (realnoj) mreži lako se da zaključiti da su jedino postavke prve i druge zone distantne zaštite konzistentne. Vezano s tim u praksi se maksimalno koristi komunikacijska shema PUTT koja ubrzava vrijeme reakcije distante zaštite i čini ju sposobnom da ukloni sve kvarove na štíćenom vodu bez vremenskog kašnjenja.

Budući da su za simulacije i izračune u ovomu radu korišteni izmijenjeni parametri elemenata mreže Prijenosnog područja Osijek, **rezultati simulacija te postavke zaštita dobivene u ovomu radu se ne mogu primijeniti na stvarnoj mreži Prijenosnog područja Osijek.**

LITERATURA

- [1]. Srete Nikolovski: Zaštita u elektroenergetskom sustavu; Elektrotehnički fakultet sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku, 2007.
- [2]. Hrvoje Požar: Visokonaponska rasklopna postrojenja; Tehnička knjiga Zagreb,1973.
- [3]. Franjo Božuta: Automatski zaštitni uređaji elektroenergetskih postrojenja; Univerzitet u Sarajevu,1980.
- [4]. AREVA Protection Basic Group, 2010.
- [5]. Working group B5.19: Protection relay coordination; Cigre, 2010.
- [6]. Krunoslav Benović: Diplomski rad: Zaštita 400 kV dalekovoda, Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2016.
- [7]. SIROTEC: Distance Protection 7SA6 V4.0 Manual
- [8]. Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o.: Mrežna pravila prijenosnog sustava.pdf, 2016.
- [9]. <https://www.hops.hr/wps/portal/hr/web/hees/podaci/mreza> (posljednji pristup stranici: 11.8.2018.)
- [10]. M.ESSERT, I. VAZLER: Python-osnove, Odjel za matematiku Sveučilišta u Osijeku, Osijek 2007.
- [11]. Scripting in PowerFactory with Python.pdf; DIgSILENT GmbH 2016.
- [12]. DIgSILENT PowerFactory Relay model description 7SA6.pdf; DIgSILENT GmbH 2012.

SAŽETAK

Rad prikazuje parametriranje distantne zaštite prijenosne mreže nakon integracije novog postrojenja (transformatorske stanice). Detaljan model prijenosne mreže i pripadajućih funkcija zaštite kao i simulacija karakterističnih veličina u stacionarnom i prijelaznom stanju prije i nakon integracije novog postrojenja izrađeni su u DIgSILENT PowerFactory softveru. Analizom simuliranih veličina, uvažavajući tehnička ograničenja i važeće zakonske propise odabrani su parametri distantne zaštite za stanja prije i nakon integracije novog postrojenja. Nadalje, izračuni karakterističnih veličina očekivanih kvarova prema tipu i učestalosti unutar i izvan postrojenja izvršeni su i s pomoću programskog jezika *Python* povezanim s PowerFactory sučeljem.

Ključne riječi: prijenosna mreža, parametriranje distantne zaštite, DIgSILENT PowerFactory, Python

SUMMARY

Paper presents the transmission network distance protection setting after the integration of the new facility (transformer station). A detailed transmission network model and associated protection functions as well as simulation of characteristic variables in the stationary and transient states before and after the integration of the new facility are made in the DIgSILENT PowerFactory software. The distance protection parameters before and after the integration of the new facility have been chosen according to simulation results analysis and considering the technical limitations and the applicable legal regulations. Furthermore, calculations of characteristic variables of expected failures by the type and the frequency of occurrence inside and outside the new facility were performed using the Python programming language linked with PowerFactory interface.

Key words: transmission network, distance protection setting, DIgSILENT PowerFactory, Python

ŽIVOTOPIS

Robert Kovač rođen je 15.12.1994. godine u Osijeku. Osnovnu školu Mate Lovraka u Vladislavcima kroz svih osam razreda prolazi sa odličnim uspjehom. Srednju Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku upisuje 2009. godine i sva četiri razreda također završava sa odličnim uspjehom. Godine 2013. redovno upisuje preddiplomski smjer elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (tada Elektrotehnički fakultet Osijek). Na drugoj godini preddiplomskog studija opredjeljuje se za smjer elektroenergetika, te ga uspješno završava 2016. godine. Iste te godine upisuje sveučilišni diplomski studij energetike; izborni blok DEA (elektroenergetski sustavi). Dobitnik je rektorove nagrade za akademsku godinu 2015./2016. za izvrstan seminarski rad pod nazivnom: “Autonomni naponski neupravljivi izmjenjivač 12/230 V, 50 Hz“. Godine 2018. dodijeljeno mu je priznanje od strane Fakulteta elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija za postignut uspjeh u studiranju.

Robert Kovač

PRILOZI

Prilog 1 Skripta napisana za vod VUKOVAR NIJEMCI (prije integracije TS 110/20 kV Ilok)

```
1 import powerfactory
2 app=powerfactory.GetApplication()
3 app.ClearOutputWindow()
4 app.EchoOff()
5 SC=app.GetFromStudyCase("ComShc")
6 SC.iopt_shc="3psc"
7 SC.iopt_mde=3
8 res1=app.GetFromStudyCase("All calculations.ElmRes")
9 lines=app.GetCalcRelevantObjects("* .ElmLne")
10 current_script = app.GetCurrentScript()
11 current_script.t_sum = 0
12 brREL=0
13
14 Line=app.GetCalcRelevantObjects("VUKOVAR-NIJEMCI.ElmLne")
15 Line1=app.GetCalcRelevantObjects("VINKOVCI-VUKOVAR.ElmLne")
16 Line2=app.GetCalcRelevantObjects("ERNESTINOVO-VUKOVAR.ElmLne")
17 SC.shcobj=Line[0]
18 oGraph=app.GetGraphicsBoard()
19
20 res1.Clear()
21
22 app.PrintPlain(res1)
23 res1.AddVars(current_script,"b:t_sum")
24 res1.AddVars(SC,"ppro")
25 res1.AddVars(Line[0],"m:Ikss:bus1","m:Ikss:bus2","m:Z:bus1","m:Z:bus2","m:Tfct:bus1","m:Tfct:bus2","m:Ikss:busshc")
26 res1.AddVars(Line1[0],"m:Ikss:bus1","m:Ikss:bus2","m:Z:bus1","m:Z:bus2","m:Ikss:busshc","m:Tfct:bus1","m:Tfct:bus2")
27 res1.AddVars(Line2[0],"m:Ikss:bus1","m:Ikss:bus2","m:Z:bus1","m:Z:bus2","m:Ikss:busshc","m:Tfct:bus1","m:Tfct:bus2")
28 res1.Init()
29
30 oViPage = oGraph.GetPage('Prvi VI',1)
31 oVi = oViPage[0].GetVI('Reakcije releja postavljnih na promatranom na vod', 'VisXyplot',1)
32 oVil = oViPage[0].GetVI('Struje kratkog spoja [kA]', 'VisXyplot',1)
33
34 oVi[0].pyObj=[Line[0],Line[0]]
35 oVi[0].ResFile=[res1,res1]
36 oVi[0].vColor=[2,4]
37 oVi[0].yVar=["m:Tfct:bus1","m:Tfct:bus2"]
38 oVi[0].pxObj=[SC,SC]
39 oVi[0].xVar=["ppro","ppro"]
40 oVi[0].vStyle=[1,1]
41 oVi[0].iObjx=1
42
43 oVil[0].pyObj=[Line[0],Line[0]]
44 oVil[0].ResFile=[res1,res1]
45 oVil[0].vColor=[2,4]
46 oVil[0].yVar=["m:Ikss:bus1","m:Ikss:bus2"]
47 oVil[0].pxObj=[SC,SC]
48 oVil[0].xVar=["ppro","ppro"]
49 oVil[0].vStyle=[1,1]
50 oVil[0].iObjx=1
51
52 oViPage2 = oGraph.GetPage('Drugi VI',1)
53 oVi3 = oViPage2[0].GetVI('Reakcije svih releja', 'VisXyplot',1)
54
55 oVi3[0].pyObj=[Line[0],Line[0],Line1[0],Line1[0],Line2[0],Line2[0]]
56 oVi3[0].ResFile=[res1,res1,res1,res1,res1,res1]
57 oVi3[0].vColor=[2,3,4,5,6,7]
58 oVi3[0].yVar=["m:Tfct:bus1","m:Tfct:bus2","m:Tfct:bus1","m:Tfct:bus2","m:Tfct:bus1","m:Tfct:bus2"]
59 oVi3[0].pxObj=[SC,SC,SC,SC,SC,SC,SC,SC,SC,SC,SC,SC]
60 oVi3[0].xVar=["ppro","ppro","ppro","ppro","ppro","ppro","ppro"]
61 oVi3[0].vStyle=[1,2,1,2,1,2]
62 oVi3[0].iObjx=1
63
```



```

63
64 oViPage3 = oGraph.GetPage('Treci VI',1)
65 oVi4 = oViPage3[0].GetVI('Prosjecno vrijeme rekacije','VisXyplot',1)
66
67 oVi4[0].pyObj=[current_script]
68 oVi4[0].ResFile=[resl]
69 oVi4[0].vColor=[2]
70 oVi4[0].yVar=["b:t_sum"]
71 oVi4[0].pxObj=[SC]
72 oVi4[0].xVar=["ppro"]
73 oVi4[0].vStyle=[1]
74 oVi4[0].iObjx=1
75
76 app.PrintPlain("-----")
77 app.PrintPlain("Kratki spoj na vodu VUKOVAR-NIJEMCI")
78 app.PrintPlain("-----")
79
80
81 for i in range(100):
82     SC.ppro=i
83     SC.Execute()
84     current_script.t_sum = Line[0].GetAttribute("m:Tfct:bus1") + Line[0].GetAttribute("m:Tfct:bus2") +
85     for line in lines:
86
87         if line.GetAttribute("m:Tfct:bus1")<4:
88             brREL+=1
89         if line.GetAttribute("m:Tfct:bus2")<4:
90             brREL+=1
91     app.PrintPlain("-----")
92     app.PrintPlain("-----")
93     app.PrintPlain("Mjesto kvara: %i %% duljine voda" %(SC.ppro) + " VUKOVAR-NIJEMCI")
94     app.PrintPlain("-----")
95     app.PrintPlain("TS 110/35 kV VUKOVAR")
96     app.PrintPlain("REL vu-njem t =%.2f" %(Line[0].GetAttribute("m:Tfct:bus1"))+"s")
97     app.PrintPlain("REL vu-ern t =%.2f" %(Line2[0].GetAttribute("m:Tfct:bus2"))+"s")
98     app.PrintPlain("REL vu-vk t =%.2f" %(Line1[0].GetAttribute("m:Tfct:bus2"))+"s")
99     app.PrintPlain("-----")
100    app.PrintPlain("TS 110/35 kV VINKOVCI")
101    app.PrintPlain("REL vk-vu t =%.2f" %(Line1[0].GetAttribute("m:Tfct:bus1"))+"s")
102    app.PrintPlain("-----")
103    app.PrintPlain("TS 110/35 kV ERNESTINOVO-VUKOVAR")
104
105    app.PrintPlain("REL ern-vu t =%.2f" %(Line2[0].GetAttribute("m:Tfct:bus1"))+"s")
106    app.PrintPlain("-----")
107    app.PrintPlain("TS 110/35 kV NIJEMCI")
108    app.PrintPlain("REL vu-njem t =%.2f" %(Line[0].GetAttribute("m:Tfct:bus2"))+"s")
109    app.PrintPlain("-----")
110    app.PrintPlain("Odreagiralo ukupno %i" %(brREL) + " releja, sa ukupnim vremenom djelovanja %.2f" %(current_script.t_sum)+"s")
111    current_script.t_sum=current_script.t_sum/brREL
112    brREL=0
113    a=resl.WriteDraw()
114
115    app.PrintPlain(".....")
116    app.PrintPlain("SKRIPTA IZVRSENA")
117    app.PrintPlain(".....")
118    resl.Flush()
119
120    oVi[0].auto_y=1;
121    oVi[0].auto_x=1;
122
123    oVi1[0].auto_y=1;
124    oVi1[0].auto_x=1;
125
126    oVi3[0].auto_y=1;
127    oVi3[0].auto_x=1;
128
129    oVi4[0].auto_y=1;
130    oVi4[0].auto_x=1;
131
132    oViPage[0].DoAutoScaleY()
133    oViPage[0].DoAutoScaleX()
134    oViPage2[0].DoAutoScaleY()
135    oViPage2[0].DoAutoScaleX()
136    oViPage3[0].DoAutoScaleY()
137    oViPage3[0].DoAutoScaleX()
138    app.EchoOn()

```

*Red 84 se nastavlja, i u nastavku se zbrajaju vremena djelovanja na kvar za preostala dva voda