Vođenje EES-a uz usklađenje zaštite na sučelju prijenosne i distribucijske mreže uz integraciju obnovljivih izvora u SN mreži

Mijatović, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:337855

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA (Title stil)

Sveučilišni studij

VOĐENJE EES-A UZ USKLAĐENJE ZAŠTITE NA SUČELJU PRIJENOSNE I DISTRIBUCIJSKE MREŽE UZ INTEGRACIJU OBNOVLJIVIH IZVORA U SN MREŽI

Diplomski rad

Ivan Mijatović

Osijek, 2021. godina.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. NADLEŽNOSTI I ZAHTJEVI NA ELEKTRIČNU ZAŠTITU HOPS-a I ODS-a („Narodne novine“ broj 67/2017 i 74/18). 2

2.1. Mrežna pravila prijenosnog sustava HOPS-a 2

2.2. Princip djelovanja zaštite 4

2.3. ZAŠTITA IZVODA/DALEKOVODA 10

2.4. ZAŠTITA TRANSFORMATORA/SABIRNICA 12

3. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE 14

4. KRATKI SPOJ 16

4.1. Trofazni kratki spoj 17

4.2. Dvofazni kratki spoj 19

4.3. Jednofazni kratki spoj 21

4.4. Subtranzijentna struja KS-a 23

5. SIGNALNA ZAŠTITA MREŽE 24

6. MODEL MREŽE U DIGSILENT PROGRAMSKOM PAKETU 27

6.1. Modeliranje obnovljivih izvora u mreži 30

6.2. Raspored zaštite na mreži 32

6.3. Podešenja zaštite 35

ZAKLJUČAK 47

LITERATURA 48

SAŽETAK 50

ABSTRACT 51

ŽIVOTOPIS 52

1. UVOD

Ovim radom se analizira vođenje elektroenergetskog sustava te usklađenje zaštite između prijenosne i distributivne mreže uz integraciju obnovljivih izvora u srednjenaponskoj mreži. Sustav zaštite operatora distribucijskog sustava počinje na sučelju sa prijenosnom mrežom koji kroz suglasnost na dogovorene funkcije i parametre postavki osiguravaju siguran i selektivan prijelaz nadležnosti te na isti način i hijerarhijski prema korisnicima distribucijske mreže. Glavni zadatak ovog diplomskog rada je analiziranje nadležnosti i zahtjeva na električnu zaštitu sukladno mrežnim pravilima HOPS-a i ODS-a te principi rada i postavke relejne zaštite za usklađenje, modeliranje zaštitne opreme, te izvršenje simulacija trofaznih kratkih spojeva. Dizajniranje i dimenzioniranje zaštite kao i ostale nužne simulacije, napravljeno je u DIgSILENT PowerFactory računalnom programu. DIgSILENT PowerFactory je koristan za izradu analize prijenosnih te distribucijskih i raznih industrijskih sustava pa je zbog toga uključen u ovom diplomskom radu. U diplomskom radu su prikazane distribucijske i prijenosne mreže sa obnovljivim izvorom, te tehnički podaci ugrađivanih elemenata. Simulacijom analize tokova snaga prije i poslije ugradnje obnovljivog izvora, prikazane su razlike u tokovima snaga i selektivnost prorade zaštite na simuliranim mjestima kvara. Prije simulacija opisani su utjecaji i korisnosti služenja zaštitnih uređaja u EES-u, pa su zaštitni uređaji postavljeni u simulaciji iz baze podataka koju ima program. Potom su napravljene simulacije trofaznih kratkih spojeva na više mjesta da bi osigurali selektivnost mrežne zaštite. U simulaciji su odrađeni trofazni i jednofazni kratki spoj. Simuliran je doprinos struja kratkih spojeva i prorada zaštite. Temeljna zadaća zaštite teži brzom i pouzdanom prepoznavanju abnormalnog djelovanja i kvara te isključenju jedinica mreže ili dijela zahvaćene mreže s kvarom.

2. NADLEŽNOSTI I ZAHTJEVI NA ELEKTRIČNU ZAŠTITU HOPS-a I ODS-a („Narodne novine“ broj 67/2017 i 74/18).

2.1. Mrežna pravila prijenosnog sustava Hrvatskog operatora prijenosnog sustava.

Zadatak mrežnih pravila HOPS-A i ODS-a da provodi tehničke uvjete za priključenje korisnika na prijenosnu odnosno distribucijsku mrežu, također vode računa za sigurno preuzimanje električne energije od proizvođača i drugih elektroenergetskih sustava za siguran i dugotrajan pogon prijenosne i distribucijske mreže radi pouzdane opskrbe konačnih kupaca električnom energijom na određenom standardu kvalitete. Nužno je osigurati tehničke i druge uvjete za međusobno povezivanje i rad prijenosnih mreža sa distribucijskom mrežom te njihovo međusobno usklađenje zaštite po standardima mrežnih pravila.

Prema Članku 66. Mrežnih pravila HOPS-a govori da prilikom planiranja pogona i vođenja pogona prijenosne mreže, da zaštita na sučeljima prijenosne i distribucijske mreže mora biti podešena na određeni način tako da zadovoljava uvjete iz članka 97. i 173. Mrežnih pravila HOPS-a i nekim dodatnim uvjetima prilikom određenih pogonskih stanja EES-a

Prema Članku 97. Mrežnih pravila HOPS-a definirana su vremena isključenja kvara djelovanjem zaštite u prvoj zoni prorade gledajući od nastanka kvara pa sve do potpunog prekida toka struje.

Vremena dana za isključenje su:

1.) 80 ms kod 400 kV

2.) 100 ms kod 220 kV

3.) 120 ms kod 110 kV

Vrijeme koje je potrebno za isključenje kvara odobrava operator prijenosnog sustava, a za sve konkretne slučajeve operator prijenosnog susta i korisnik prijenosne mreže moraju ugovoriti određena vremena na temelju analize mreže.

U hrvatskom EES-u primjenjuje se tehnika automatskog ponovnog uklopa (APU) i to sa vremenima:

1.) 1500 ms jednopolni sa beznaponskom stankom i tropolni sa 700 ms u 400 kV mreži

2.) 1000 ms jednopolni sa beznaponskom stankom i tropolni sa 300 ms u 220 kV mreži

3.) 700 ms jednopolni sa beznaponskom stankom i tropolni sa 300 ms u 110 kV mreži

Ako dođe do odstupanja tih vremena APU-u kod postrojenja korisnika ili operatora prijenosnog sustava, operator prijenosog sustava može promjeniti vremena rada APU-a kako bi uskladio postrojenje i prijenosnu mrežu te osigurao selektivnost.

Prema Članku 173. Mrežnih pravila HOPS-a sustav postavljene zaštite u prostoru sučelja korisničkog postrojenja ili distribucijske mreže te prijenosne mreže mora biti podešen tako da se u trenutku kvara u postrojenju korisnika ili distribucijske mreže minimizira povratno djelovanje postrojenja od korisnika ili distribucijske mreže da ne dođe do većih problema.

U svakom postrojenju prijenosne i distribucijske mreže zahtijevana je ugradnja zaštitne opreme prema standardu :

1.) Topologije i pogonskim uvjetima korisnika prijenosne mreže

2.) Uvjetima na strani prijenosne mreže

Da bi se izbjegla havarija u EES-u zaštitni uređaji koji su postavljeni u postrojenju korisnika prijenosne mreže ili na distribucijskoj mreži ne smiju slučajno prorađivati tijekom prijelaznih pojava koje se mogu dogoditi u mreži kao što su prijelazne pojave napona, frekvencije i struja te moraju biti dimenzionirani da ispravno rade i na prekoračenjima dopuštenih odstupanja radnih granica.

Da bi osigurali selektivnost i koordinaciju zaštite u prijenosnoj i distribucijskoj mreži, zaštitni uređaji trebaju biti usklađeni između operatora prijenosnog sustava i korisnika prijenosne i distribucijske mreže koji zahtjeva izradu elaborata o selektivnosti i koordinaciji zaštite.

Kod usklađenja zaštita na strani korisnika prijenosne i distribucijske mreže treba se uzeti u razmatranje:

1.) Mjere u slučaju otkazivanja zaštitnih prekidača

2.) Rezervna zaštita

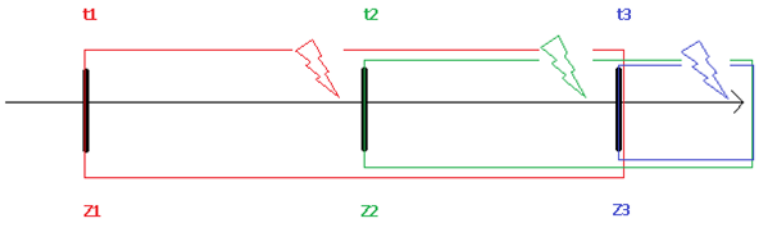
3.) Vremenski slijed okidanja zaštite i osigurana selektivnost

Prema Članku 104 Mrežnih pravila ODS-a operator distribucijskog sustava i operator prijenosnog sustava dužni su ugovoriti i uskladiti sustave i djelovanje zaštitnih uređaja na njihovim sučeljima kako bi osigurali selektivnost svih strana sustava.

Dodatnu zadaću koju ima operator distribucijskog sustava je da mora osigurati štićenje pogona i jedinica mreže od raznih poremećaja i kvarova te mora osigurati selektivnost između svojih korisnika i operatora prijenosne mreže.

2.2. Princip djelovanja zaštite

Zaštita od prevelike struje bila je najraniji sustav zaštite koji se razvio u elektroenergetskom sustavu. Kada se dođe u kontakt sa uređajem pod naponom sa neispravnom izolacijom, događa se trenutna opasnost po život čovjeka te zbog toga imamo zaštitni element koji proradit i uređaj odspoji sa napona. Kad bi na vodovima došlo do kvarova i kratkih spojeva, a ne bi imali zaštitne uređaje, došlo bi do isključenja vodova i dijelova mreža. Zaštitni uređaji su zbog toga vrlo bitni elementi za sigurnost ljudi i EES-a. Koncept kod primjene selektivnog sustava zaštite u mreži temelji se na zaštiti s hijerarhijskim djelovanjem baziranim isključivo na jedinicu mreže koja je pod kvarom bez utjecaja-isključenja ostatka zdrave mreže.



Slika 2.1. Djelovanje zone štićenja [1]

Iz ovog osnovnog principa razvio se stupnjevani sustav nadstrujne zaštite koji djeluje selektivno. To ne treba zamijeniti sa zaštitom od preopterećenja, koja obično koristi releje koji djeluju u vremenu koje je povezano s termičkim karakteristikama elementa koji se štiti.

Nadstrujna zaštita pak služi za potpuno uklanjanje kvara iz sustava iako obično u sebi sadrži i zaštitu od preopterećenja (obično prvi stupanj nadstrujne zaštite). Među raznim mogućim metodama koje se koriste za postizanje ispravne koordinacija nadstrujnih releja imamo koordinaciju po struji, po vremenu ili oboje istovremeno. Zajednički cilj svih metoda je ispravna

koordinacija zaštite. Svaki relej treba isključiti samo onaj dio mreže koji je u kvaru (za čije otkrivanje je upravo zadužen taj relej) dok ostatak mreže treba raditi nesmetano.

Ispravna primjena releja za nadstrujnu zaštitu zahtijeva poznavanje struja kvara koje mogu teći u svakom dijelu mreže. S obzirom da su primarna ispitivanja često nepraktična potrebno je napraviti matematički model mreže i provesti proračune kratkog spoja.

Podaci koji su potrebni za postavke nadstrujnih releja su:

- Jednopolna shema promatranog sustava i postavke zaštitnih releja kao i prijenosni omjeri mjernih strujnih transformatora na koje su spojeni releji
- Impedancije svih energetskih transformatora, rotacionih strojeva i vodova.
- Maksimalne i minimalne vrijednosti struja kratkog spoja koje teku u promatranom djelu mreže i koje relej mjeri
- Maksimalne struje u normalnom pogonu koje teku u promatranom djelu mreže i samim time kroz zaštitne releje.
- Potezne struje indukcionih motora.
- Struje magnetiziranja transformatora, termičko opterećenje i karakteristike oštećenja istih.
- Krivulje koje prikazuju brzinu pada struje kvara koju daju generatori.
- Karakteristike strujnih mjernih transformatora.

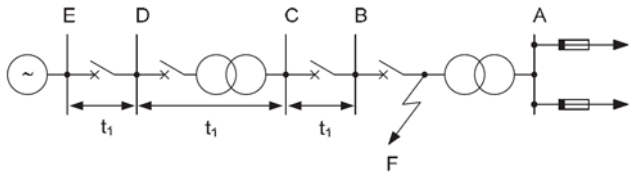
Postavke releja prvo se postavljaju da prorade vremenski najbrže za maksimalne struje kvara, a zatim se provjerava da li će vrijeme prorade biti zadovoljavajuće i za minimalne struje kvara. Predlaže se i crtanje strujno vremenskih karakteristika nadstrujnih releja i osigurača kako bi se vidjela koordinacija istih.

Osnovno pravilo koordinacije nadstrujne zaštite je:

- Kad su releji u seriji jedan s drugim treba koristiti releje istih radnih karakteristika ako je to moguće.
- Treba paziti da relej koji je najdalje od izvora struje imaju strujne postavke koje su jednake ili manje od releja koji se nalaze iza njih (koji su bliži izvoru struje), odnosno

struja kod koje relej djeluje je uvijek jednaka ili manja od struje koja je potrebna da relej koji je iza njega (bliže izvoru struje) djeluje.

Koristeći ovu metodu, svakom releju se zada neki vremenski stupanj nakon kojeg on djeluje na najbliži prekidač. Svaki relej u sustavu ima neovisnu vremensku karakteristiku (isto vrijeme prorade bez obzira na veličinu struje kvara) s vremenskim zatezanjem koju pobuđuje strujni član kad je struja koja teče jednaka ili veća proradnoj struji releja. Strujni član je postavljen na manju vrijednost od minimalne struje kvara i ne igra nikakvu ulogu u vremenskom stupnjevanju osim već prije spomenute aktivacije vremenskog člana releja. Dakle koordinacija više releja u seriji se postiže vremenskim stupnjevanjem. Na slici 2.2 je prikazan princip rada.

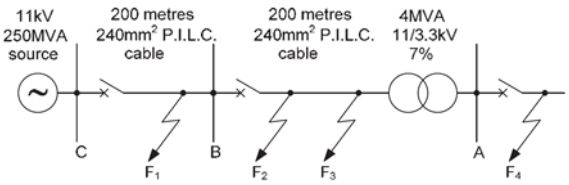


Slika 2.2. Radijalni sustav s vremenskim stupnjevanjem [1]

Nadstrujni releji se nalaze u točkama E, D, C i B. Najmanja struja kvara je u točci A dok je najveća u točci E. Kako bi se postigla koordinacija svih releja, relej u točki A mora djelovati najbrže dok relej u točki E mora bit najsporiji. Svaki relej koji se nalazi iza releja u točki B mora imati vrijeme prorade koje je veće od releja u točki B za vrijeme koje je potrebno releju da izračuna struju kvara (20 ms do 50 ms) plus vrijeme koje je potrebno prekidaču da odradi nakon što mu je dat nalog (70 ms do 200 ms, ovisno o prekidaču.

Dakle ovisno o relejima i prekidačima u sustavu, razlika u vremenu zatezanja između dva susjedna releja iznosi od oko 100 ms pa do 300 ms.

Stupnjevanje po struji oslanja se na činjenicu da struja kvara varira s položajem kvara zbog razlika u vrijednostima impedancije između izvora i mjesta kvara. Dakle, tipično su releji koji djeluju na pojedine prekidače postavljeni tako da djeluju samo na vrijednosti struja kvara koje se javljaju u zoni njihovog štićenja.

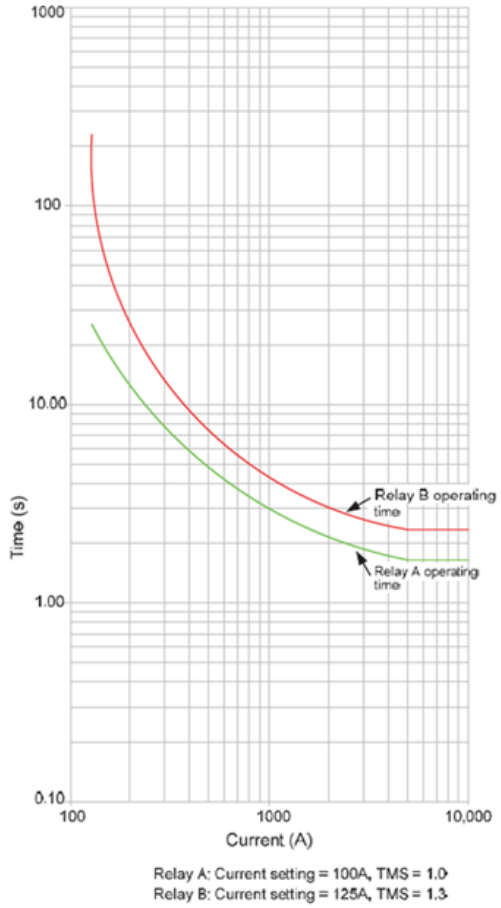


Slika 2.2. Radijalni sustav s vremenskim stupnjevanjem [1]

Koordinacija releja strujnim stupnjevanjem nije uvijek praktična. No ukoliko između dvije točke sustava u kojima su prekidači postoji velika impedancija onda se situacija mijenja. Promotrimo prekidače na lokaciji C i A na slici 3-2. Pretpostavi se da je nastao kvar F4 i da struja kvara iznosi 2200 A. Ako relej koji upravlja prekidačem postavimo tako da proradi za struju koja je veća od 2200 A plus sigurnosna granica, onda on neće proraditi za struju kvara F4 iako ima isto vrijeme prorade kao i relej u točki A, jer je proradna struja veća od struje kvara u točki F4. Ovo vrijedi samo kad se između pojedinih točaka nalaze velike impedancije.

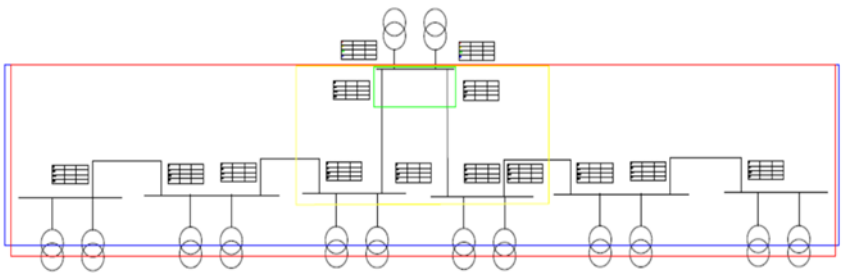
Svaka od dosad opisane dvije metode ima nedostataka. Kod stupnjevanja samo po vremenu, nedostatak nastaje zbog toga što za otklanjanje najvećih struja kvara treba najduže vremena. S druge strane strujno stupnjevanje može se primijeniti samo tamo gdje imamo veliku impedanciju između dva promatrana prekidača.

Zbog takvih ograničenja razvila se inverzna vremenska karakteristika s kojom se postiže vrijeme prorade obrnuto proporcionalno razini struje kvara, a samostalna karakteristika je funkcija vremenskih i strujnih postavki releja.



Slika 2.3. Vremensko strujne karakteristike releja sa različitim postavkama [1]

Na slici 2.6 je prikazan princip prikazivanja koordinacije pojedinih stupnjeva zaštita numeričkim prikazom parametara postavki. Pojedina boja oslikava zonu štićenja pojedinog stupnja zaštite.



Slika 2.6. Princip prikazivanja koordinacije zaštite. [3]

I> Zaštita u Trafo polju predstavlja zonu štićenja,

I>> Zaštita u Trafo polju predstavlja zonu štićenja,

I>>> Zaštita u Trafo polju predstavlja zonu štićenja

I_0> Zaštita u Trafo polju predstavlja zonu štićenja.

Stupanj zaštite;	**Struja prorade [A];**	**Vremensko zatezanje i karakteristika djelovanja [s];**	**Usmjerenje;**
I>			
I>>			
I>>>			
I0>			

Tablica 2.1. Tablica za stupnjevanje zaštite

Predloženi način potrebno je, u svrhu dokazivanja svojstva rezerve, načelno iscrtati zone djelovanja svkih od stupnjeva zaštita prikazanih pojednostavljenom jednopolnom shemom ispod samonosive konstrukcije ove sunčane elektrane.

I>,I>>,I>>> Nadstrujna/kratkospojna zaštita - Mjeri se struja u svakoj fazi preko strujnih mjernih transformatora. Porast struje iznad postavljenih iznosa rezultira isključenjem prekidača nakon vremenskog zatezanja koje osigurava selektivnost. Kod dvostranih napajanja pri različitim pogonskim stanjima u svrhu postizanja selektivnosti pojedini stupnjevi se diskriminiraju usmjerenjem.

Io>,I0>>,I0>>> Zemljospojna zaštita - Mjeri se zbroj struja u sve tri faze koji je u normalnom pogonu približno jednak nuli. Porast struje iznad postavljenih iznosa rezultira isključenjem prekidača nakon vremenskog zatezanja koje osigurava selektivnost.

Idif Diferencijalna zaštita - Mjeri se razlika struja s obje strane štićenog elementa mreže. Djeluje kada vektorska razlika mjerenih struja na oba kraja pređe postavljenu vrijednost.

2.3. ZAŠTITA IZVODA/DALEKOVODA

I> 1. Stupanj nadstrujne ili zaštita od preopterećenja

Postavlja se na najmanju nazivnu struju najslabijeg štićenog dijela ili na najveću očekivanu pogonsku struju. Njegova zona štićenja mora obuhvatiti cijeli izvod/element mreže.

Prorada ovog člana upućuje na preopterećenje izvoda/mreže.

I>> 2. Stupanj nadstrujne/kratkospojna

Predstavlja osnovnu kratkospojnu zaštitu, njegova zona mora obuhvatiti cijeli izvod/element.

I>>> 3. Stupanj nadstrujne kratkospojne

Predstavlja trenutnu kratkospojnu zaštitu/zonu štićenja od bliskih kratkih spojeva na izvodu. Djelovanje pomaže u sekcioniranju dijela mreže pod kvarom.

Io> 1. Stupanj zemljospojne zaštite

Obavezno se usmjeren član koristi zbog prepoznavanja izvoda pod kvarom bez utjecaja doprinosnih kapacitivnih i nesimetričnih struja. Parametri usmjerenog člana definirani sa načinom tretiranja pogonskog uzemljenja SN sustava (poglavlje 3.16.). Zona štićenja cijeli izvod/element mreže.

Io>> 2. Stupanj zemljospojne zaštite brzi stupanj kao i zaštita od premoštenja otpornika ili petersenove prigušnice.

Neusmjerena zemljospojna zaštita koja se koristi u mreži sa uzemljenim zvjezdištem u slučaju premoštenja otpornika/petersenove prigušnice postavlja se iznad kapacitivne struje doprinosa tićenog voda. Zona štićenja je definirana strujnom postavkom koja je veća od granične struje zemljospoja..

Io>>> 3. Stupanj zemljospojne zaštite

Neusmjerena zemljospojna zaštita koja se koristi kao rezervna zaštita I0> stupnju zaštite u slučaju gubitka drugih načaina detekcije usmjerenja. Strujni parametar joj je oko 20% viši od očekivane/mjerene ili pak izračunate struje doprinosa tog izvoda čime se diskriminira krivi

isklop od samog doprinosa, vremenski se zateže duže od preostala dva stupnja zemljospojnih zaštita. Zona štićenja je cijeli izvod.

Idif Uzdužna diferencijalna zaštita.

Djeluje kada vektorska razlika mjerenih struja na oba kraja pređe postavljenu vrijednost. Isključuje prekidače na oba kraja elementa/voda. Izuzima se iz koordinacije selektivnosti jer se radi čisto o zaštiti samog elementa i tako ima diskriminiranu zonu štićenja.

2.4. ZAŠTITA TRANSFORMATORA/SABIRNICA

I> 1. Stupanj nadstrujne/ zaštite od preopterećenja

Postavlja se na 10-20 % od nazivne struju transformatora. Zbog povećanja struje kod uklopa koristi se dulje vremensko zatezanje ili inverzna krivulja uz prilagodbu selektivnosti u odnosu na SN pojne vodove. Zona štićenja od preopterećenja obuhvaća transformator, sabirnice i sama vodna polja izvoda. Ovo načelo vrijedi za zaštitu na primarnoj i sekundarnoj strani transformatora.

I>> 2. Stupanj kratkospojne zaštite

Predstavlja rezervnu kratko spojnu zaštitu izvoda, zona štićenja joj obuhvaća sabirnice i određeni segment izvoda. Strujna postavka je relativno mala dok joj je vremenska veća od svih kratkospojnih stupnjeva izvoda/elemenata. Ovo načelo vrijedi za zaštitu na primarnoj i sekundarnoj strani transformatora.

Io> 1. Stupanj zemljospojne zaštite

Neusmjerena zemljospojna zaštita čija joj je zona štićenja od zemljospoja sabirnica. Vremenska postavka je veća od postavke istog stupnja po izvodima dok strujna postavka mora biti manje vrijednosti od ukupne struje doprinosa izvoda napajanih štićenim transformatorom. Ovo načelo vrijedi za sekundarnu stranu transformatora, dok na primarnoj strani štiti od jednopolnih kvarova na samom transformatoru.

Io>> 2. Stupanj zemljospojne zaštite

Neusmjerena zemljospojna zaštita čija joj je zona štićenja od zemljospoja sabirnica za slučaj premoštenja otpornika/petersenove prigušnice. Strujan postavka je veća od normalno ograničene struje zemljospoja.

Idif Diferencijalna zaštita

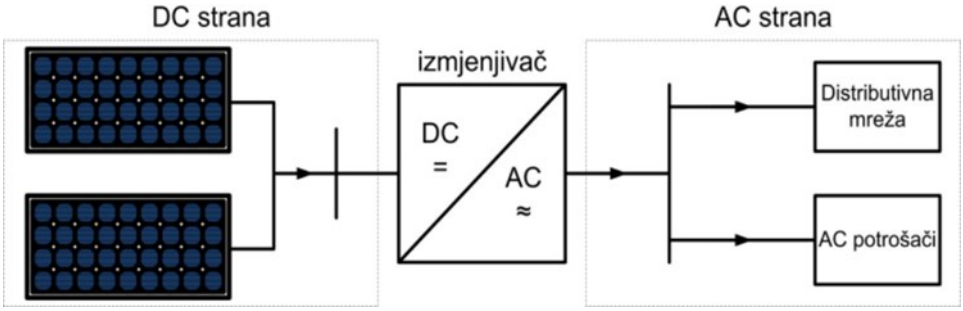
Glavna zaštita transformatora čija prorada redovito upućuje na kvar na samom transformatoru.

3. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

U ovom dijelu će se prikazati određeni načini obnovljivih izvora koji će se kasnije koristiti za simulaciju modela distribucijske i prijenosne mreže, a to su fotonaponski sustavi.

Fotonaponski sustavi ili razne drug elektrane koje su spojene na elektroenergetsku mrežu a električnu dobivaju iz sunčeve energije fotonaponskom pretvorbom u solarnim ćelijama.

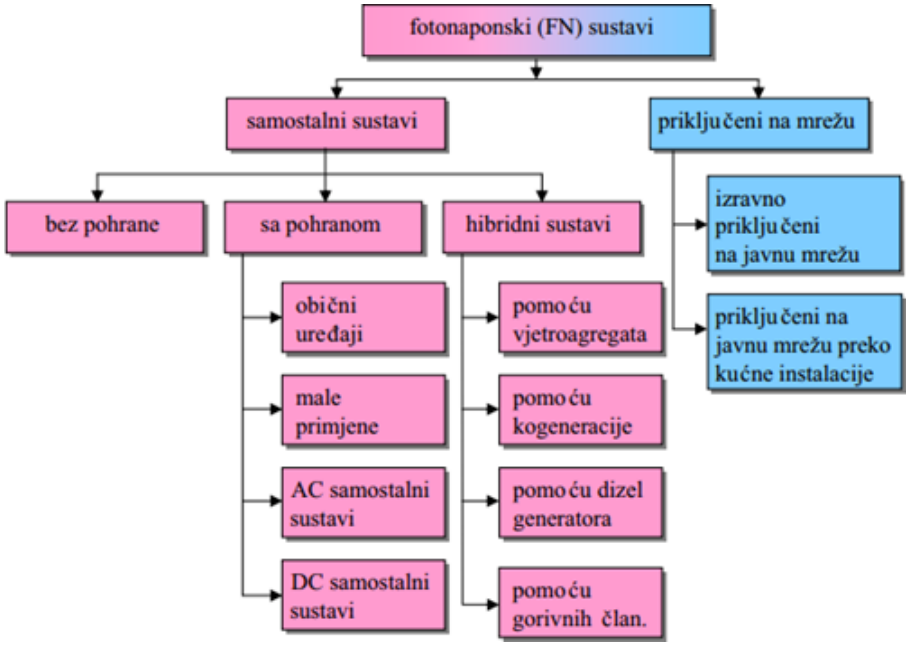
Ogledni primjer takvog tipa elektrane prikazan je slikom Slika 3.1.



Slika 2.1. Prikaz načina priključenja fotonaponske elektrane na distibucijsku mrežu [6]

Primarne skupine FN sustava su: FN sustavi koji nisu priključeni na mrežu (engl. off-grid), i fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (engl. on-grid).

Podjela fotonaponskih sustava prikazana je na slici 3.2.



Slika 3.2. Podjela fotonaponskih sustava [5]

U ovom radu biti će simuliran i prikazan samo priključak FN obnovljivog izvora na javnu mrežu. FN elektrana koja se priključuje na distribucijsku mrežu mora minimalne zadovoljiti tehničke uvjete koje zahtjeva, utvrđuje i kontrolira Operator distribucijskih sustava.

Zbog toga imamo dokumente u kojima su tehnički uvjeti priključenja elektrane:

Iz dokumenta mrežna pravila EES-a (Članak 5.3. Priključenje na distribucijsku mrežu)

Dokument tehničkih uvjeta za priključak manjih elektrana na EES Hrvatske elektroprivrede, iz 1995. Godine

Ti dokumenti zahtijevaju neke tehničke uvjete koje proizvodno postrojenje treba zadovoljiti ukoliko želi raditi u suradnji sa distribucijskom mrežom.

Cilj takvih zakona i pravilnika je pravovremeno sprječavanje nedopuštenog povratnog djelovanja na trenutnu mrežu i ostale krajnje kupce mreže kao što su: valni oblik i nesimetrija napona, odstupanje od propisanog napona i frekvencije, intenzitet KS-a, pogonsko i zaštitno uzemljenje, zaštita od kvara i smetnje, te na kraju i faktor snage.

4. KRATKI SPOJ

Kratki spojevi su najteži kvarovi koji se mogu pojaviti u mrežama. Općenito kratki spojevi vremenski se dijele na trajne i prolazne kratke spojeve. Trajni kratki spojevi se otklanjaju tako što se dio mreže isključi te nakon ponovnog uključenja kratki spoj je otklonjen. Kod posljedica kratkog spoja dolazi do pojava velikih struja, dinamičkih opterećenja te termičkih naprezanja vodiča i ostale opreme.

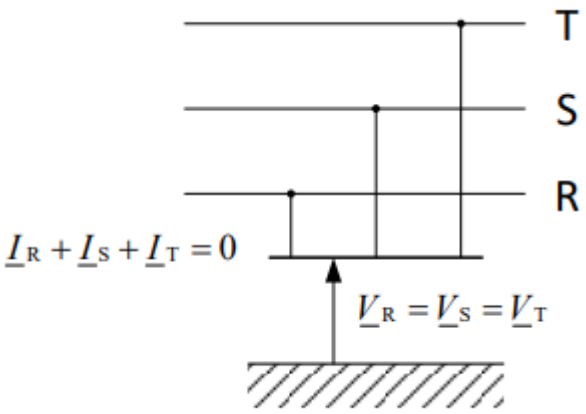
Vrste kratkih spojeva su:

1.) Trofazni kratki spoj (spoj sve tri faze međusobno i sa zemljom)
2.) Dvofazni kratki spoj (spoj dvaju faza sa zemljom od izoliranog zvjezdište)
3.) Dvofazni zemljospoj (spoj dvaju faza sa zemljom pojedinačno)
4.) Jednofazni kratki spoj
5.) Zemljospoj

Kod određivanja struja kratkog spoja dobivaju se vrijednosti struja koje nam služe za pravilan odabir i dimenzioniranje elemenata EES-a kako bi sustav mogao raditi bez problema. Kako bi smanjili struje kratkih spojeva imamo više rješenja kao što je povećanje prirodne reaktancije u mrežama, ugrađivanje dodatnih reaktancija, izmjena konfiguracije mreže, sustavi istosmjernih prijenosa.

4.1. Trofazni kratki spoj

Do trofaznog kratkog spoja dolazi zbog kontakta sve tri faze na mreži. Kod trofaznog kratkog zbog svojih simetričnih osobina struje kratkog spoja se najlakše proračunavaju. Na lokaciji krakog spoja fazni naponi se smanjuju sve do nule te struje kratkog spoja stvaraju opterećenje faznih vodova na simetričan način. Trofazni kratki spojevi daju najveće struje kratkog spoja.



Slika 4.1. Shema kratkog spoja. [10]

Relacije za napon i struju kod trofaznog KS-a:

$$V_a = V_b = V_c \tag{4-1}$$

$$I_a + I_b + I_c \tag{4-2}$$

Direktna, inverzna i nulta komponenta:

$$V_d = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) = \frac{1}{3}V_a(1 + a + a^2) = 0 \tag{4-3}$$

$$V_i = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) = \frac{1}{3}V_a(1 + a + a^2) = 0 \tag{4-4}$$

$$V_0 = 0 \tag{4-5}$$

Komponente struje:

$$I_d = \frac{E_d}{Z_d} \tag{4-6}$$

$$I_i = 0 \tag{4-7}$$

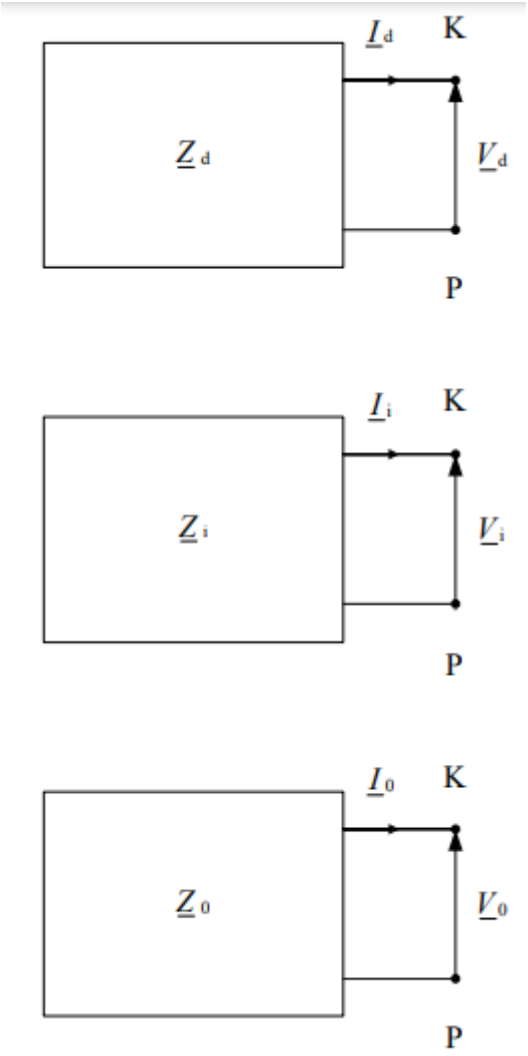
$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = 0 \qquad (4\text{-}8)$$

Struje po pojedinačnim fazama:

$$I_a = I_d + I_i + I_0 = I_d \qquad (4\text{-}9)$$

$$I_b = a^2 I_d + a I_i + I_0 = a^2 I_d \qquad (4\text{-}10)$$

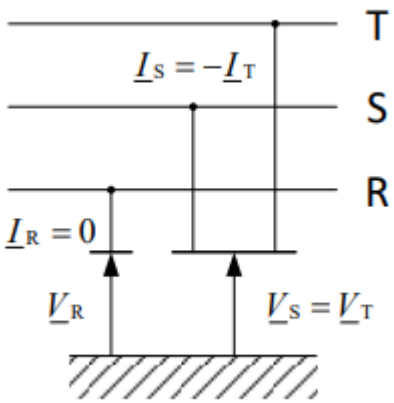
$$I_c = a I_d + a^2 I_i + I_0 = a I_d \qquad (4\text{-}11)$$



Slika 4.2. Direktni, inverzni i nulti sustav. [10]

4.2. Dvofazni kratki spoj

Kod dvofaznog kratkog spoja dobiva se nesimetrično opterećenje kod kojeg može doći zbog spoja dviju faza.



Slika 4.3. Shema dvofaznog kratkog spoja. [10]

Jednadžbe dvofaznog kratkog spoja:

$$I_b + I_c = 0 \qquad (4\text{-}12)$$

$$I_a = 0 \qquad (4\text{-}13)$$

$$V_b = V_c \qquad (4\text{-}14)$$

Direktna, inverzna i nulta komponenta:

$$I_d = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2 I_c) = \frac{1}{3} I_b (a - a^2) \qquad (4\text{-}15)$$

$$I_d = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + aI_c) = \frac{1}{3} I_b (a^2 - a) \qquad (4\text{-}16)$$

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = 0 \qquad (4\text{-}17)$$

$$I_d = -I_i \qquad (4\text{-}18)$$

Komponente napona:

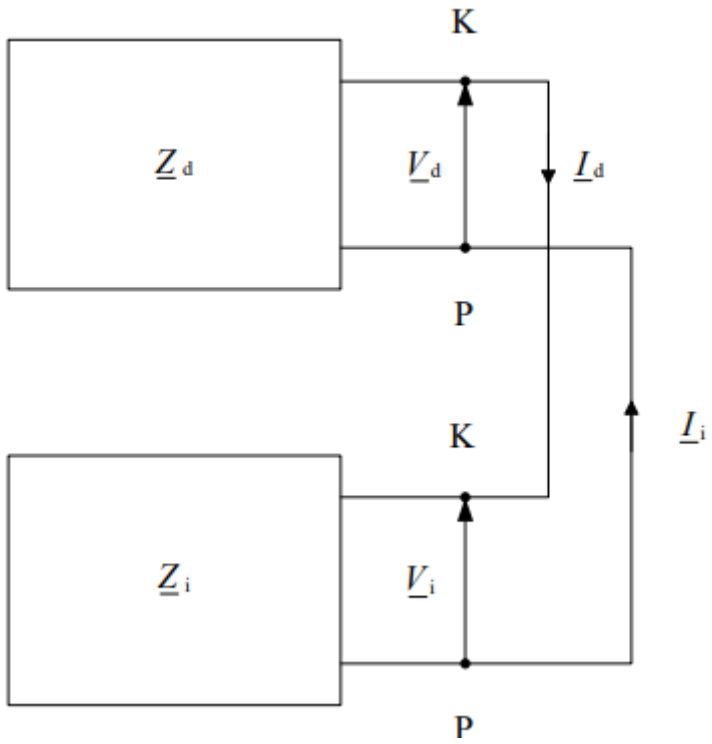
$$V_d = \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c) = \frac{1}{3}[\![V_a + V_b(a + a^2)]\!] \quad (4\text{-}19)$$

$$V_i = \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) = \frac{1}{3}[\![V_a + V_b(a^2 + a)]\!] \quad (4\text{-}20)$$

$$V_0 = 0 \quad (4\text{-}21)$$

$$V_d = V_i \quad (4\text{-}22)$$

Kod izračuna dvofaznog kratkog spoja uzima se direktni i inverzni sustav.



Slika 4.4 Direktni, inverzni i nulti sustav dvofaznog kratkog spoja. [10]

Struje po fazama:

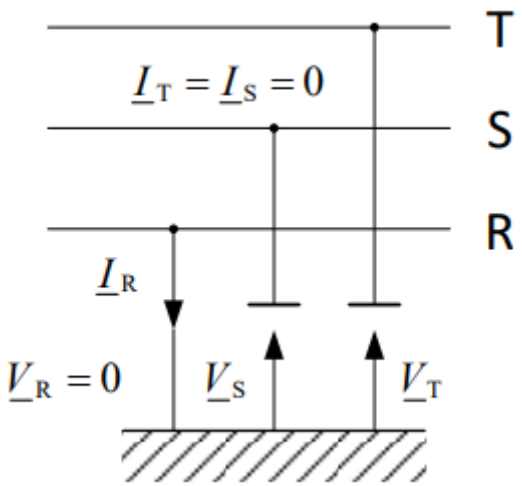
$$I_a = 0 \quad (4\text{-}23)$$

$$I_b = I_d(a^2 - a) = \frac{E_d(a^2 - a)}{Z_d + Z_i} \quad (4\text{-}24)$$

$$I_c = I_d(a - a^2) = \frac{E_d(a - a^2)}{Z_d + Z_i} \quad (4\text{-}25)$$

4.3. Jednofazni kratki spoj

Kod jednofaznog kratkog spoja dobiva se situacija kada se uzme jednofazni kratki spoj sa zemljom. Pri jednofaznom kratkom spoju ne smanjuju se svi naponi koji su na mjestu kvara na nulu, a kao posljedica tog događaja dolazi do ulančavanja između faznih vodova.



Slika 4.5. Shema jednofaznog kratkog spoja. [10]

Odnosi kratkih spojeva:

$$V_a = 0 \qquad (4\text{-}26)$$

$$I_b = I_c = 0 \qquad (4\text{-}27)$$

Direktne, inverzne i nulte komponente:

$$I_d = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2 I_c) = \frac{1}{3} I_A \qquad (4\text{-}28)$$

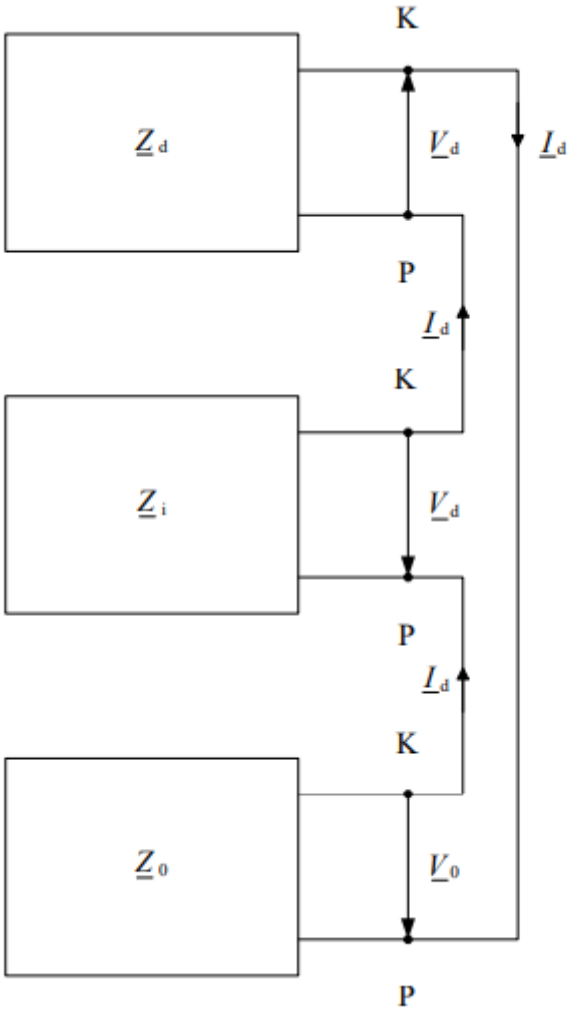
$$I_i = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + aI_c) = \frac{1}{3} I_A \qquad (4\text{-}29)$$

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3} I_A \qquad (4\text{-}29)$$

$$V_d + V_i + V_0 = 0 \qquad (4\text{-}30)$$

$$I_d = \frac{E_d}{Z_d + Z_i + Z_0} \qquad (4\text{-}31)$$

$$I_a = \frac{3E_d}{Z_d+Z_i+Z_0} \qquad (4\text{-}32)$$



Slika 4.6. Direktni inverzni i nulti sustav jednofaznog kratkog spoja. [10]

4.4. Subtranzijentna struja KS-a

Kod računanja subtranzijentne struje treba pridodati stvarni napon koji djeluje za vrijeme kratkog spoja:

$$E'' = \frac{c*U}{\sqrt{3}} \qquad (4\text{-}33)$$

Za (c) je : c= 1.1 kod U_N > 1000 V

c= 1.0 kod U_N < 1000 V

Subtranzijentna struja trofaznog kratkog spoja računa se:

$$I''_{k3} = E''/Z''_{k,d} = \frac{1.1*U}{\sqrt{3}*Z''_{k,d}} \qquad (4\text{-}34)$$

Subtranzijentna struja jednofaznog kratkog spoja:

$$I''_{k1} = 3 * \frac{E''}{Z''_{k,d}+Z''_{k,i}+Z''_{k,0}} = \frac{\sqrt{3}*1.1*U}{Z''_{k,d}+Z''_{k,i}+Z''_{k,0}} \qquad (4\text{-}35)$$

Subtranzijentna snaga:

$$S''_k = \sqrt{3} * I''_k * U_n \qquad (4\text{-}36)$$

5. SIGNALNA ZAŠTITA MREŽE

Ovaj dio rada će se bazirati na nomenklaturi električnih zaštita koje zaštitni elementi u mreži šalju ako dođe do kvara na štićenom dijelu mreže.

Signale prorade zaštite dijele se na dvije skupine:

- OSNOVNI SIGNALI PRORADE ZAŠTITE

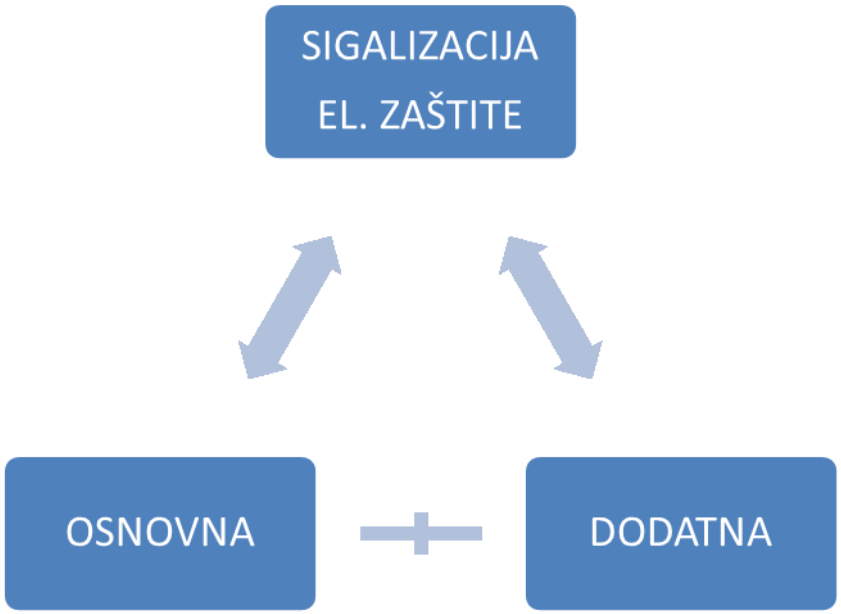
1.) Osiguravaju diskriminaciju vrste kvarnog stanja

2.) Osiguravaju pravilan početak postupanja pri otklanjanju kvara ili poremećaja

- DODATNI SIGNALI PRORADE ZAŠTITE

1.) Ostali signali izvedene zaštite koja nije u zoni osnovne zaštite i njoj pripadnih signala

2.) Definirani prema posebnim kriterijima i zahtjevima



Slika 5.1. Dijeljenje signala prorade zaštitnih uređaj

Primjer digitalnih signala zaštite koje operater može dobiti od zaštitnih uređaja prikazan je tablici 5.1 i 5.2.

Tablica 5.1 Osnovna zaštita primara / VN strane transformatora

Oznaka polja- naponski nivo-element	**Stupanj zaštite**	**ANSI/IEC funkcija**	**Opis**
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I>	50,51	Zaštita od preopterećenja transformatora
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I>>	50	Zaštita od kratkih spojeva u zoni štićenja-> ovisno o parametrima ima svojstvo rezervne zaštite
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I>>>	50	Zaštita od kratkih spojeva u zoni štićenja-> ovisno o parametrima ima svojstvo rezervne zaštite
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I0>	50N,51N	Zaštita od jednopolnih kvarova
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I0>>	50N,51N	Zaštita od jednopolnih kvarova
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I0>>>	50N,51N	Zaštita od jednopolnih kvarova
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	Idiff>	87, 87T	Diferencijalna zaštita transformatora 1. stupanj
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	Idiff>>	87, 87T	Diferencijalna zaštita transformatora 2. stupanj
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	ZZP	50BF/CBFP	Zaštita kod zatajenja prekidača
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	ZELK	AFD/SAFD	Zaštita od pojave električnog luka
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	Bu Alarm	Buchholz Relay	1. Stupanj/kontakt buchholz releja
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	Bu Isklop	Buchholz Relay	2. Stupanj/kontakt buchholz releja->Isklop trafa
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	KT Alarm	26,Thermomter	1. Stupanj/kontakt termometra
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	KT Isklop	26,Thermomter	2. Stupanj/kontakt termometra->Isklop trafa

Tablica 5.2. Osnovna zaštita sekundara/VN strane transformatora

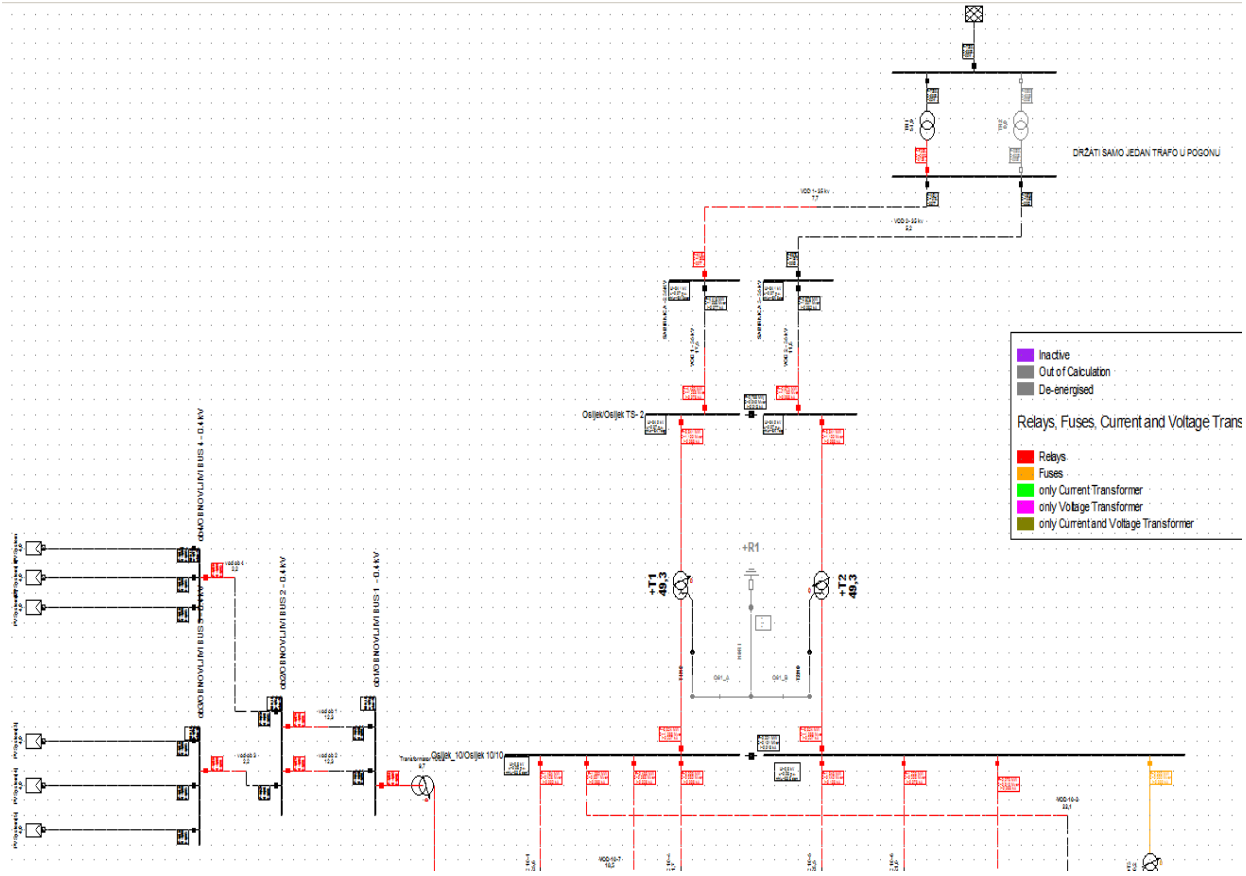
Oznaka polja- naponski nivo-element	**Stupanj zaštite**	**ANSI/IEC funkcija**	**Opis**
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I>	50,51	Zaštita od preopterećenja transformatora
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I>>	50,67	Zaštita od kratkih spojeva u zoni štićenja-> ovisno o parametrima ima svojstvo rezervne zaštite
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I>>>	50	Zaštita od kratkih spojeva u zoni štićenja-> ovisno o parametrima ima svojstvo rezervne zaštite
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I0>	50N,51N,67N	Zaštita od jednopolnih kvarova
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I0>>	50N,51N	Zaštita od jednopolnih kvarova rezervna
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I0>>>	50N	Zaštita od jednopolnih kvarova/premoštenja otpornika ili dvostrukog zemljospoja
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	ZZP	50BF/CBFP	Zaštita kod zatajenja prekidača
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	ZELK	AFD/SAFD	Zaštita od pojave električnog luka
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I> Pog.Uzem.	50,51(50N,51N)	Zaštita elemenata pogonskog uzemljenja
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	I>>Pog.Uzem.	50,51(50N,51N)	Zaštita elemenata pogonskog uzemljenja
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	U>	59	Nadnaponska 1. stupanj
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	U>>	59	Nadnaponska 2. stupanj
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	U<	27	Nadnaponska 1. stupanj
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	U<<	27	Nadnaponska 2. stupanj
=[A XX]-[YY] kV-TRAFO [Z]	U0>	59N	Zaštita od pojave nultog napona/ Zaštita sabirnica od zemljospoja-neuzemljena neutralna točka

Zaštitne funkcije u numeričkoj zaštiti definirane su posebnim ANSI/IEC oznakama koje točno definiraju algoritme prorade/djelovanja s obzirom na parametre postavljenih pragova mjerenih i izračunatih električkih veličina. Kod sustavu daljinskog vođenja dosta je nepraktično prikazivati djelovanje zaštitnih funkcija po standardiziranim oznakama (npr. ANSI 50), običajna je praksa koristiti vlastitu nomenklaturu označavanja prorada/alarma zaštite kao što su : U>>, I>>>, I>

6. MODEL MREŽE U DIgSILENT PROGRAMSKOM PAKETU

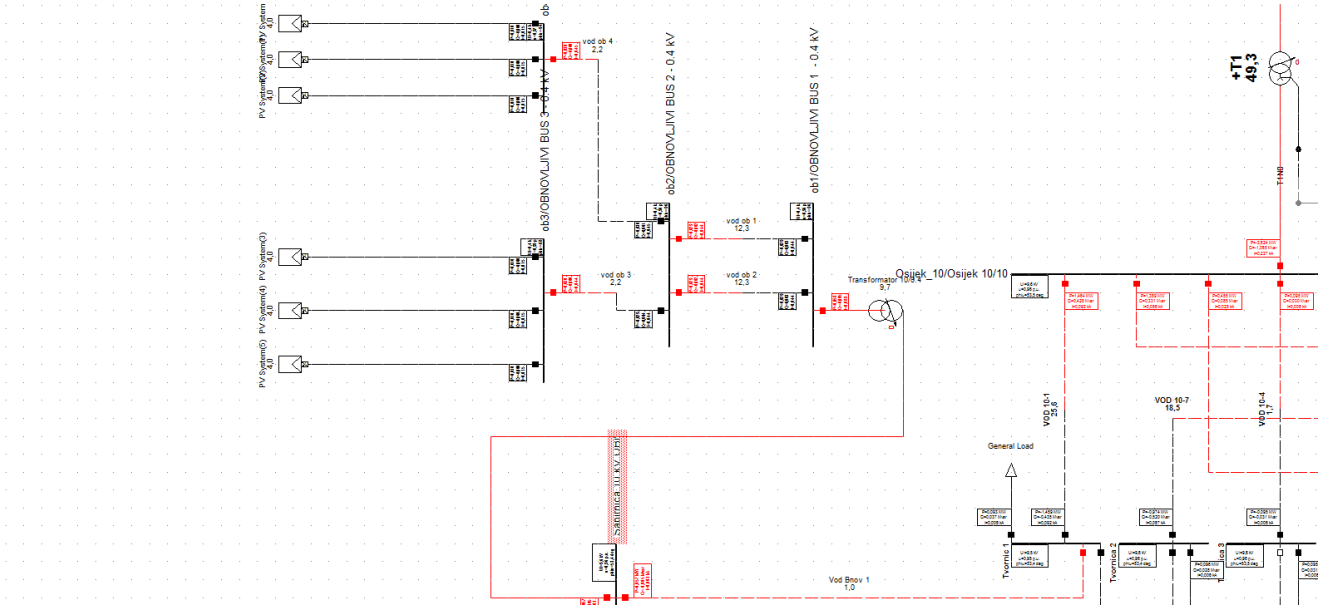
U ovom dijelu će se prikazati modelirana mreža na koju je ugrađen obnoviljivi izvor. Podatci o modelu prijenosne i distribucijske elektroenergetske mreže uzeti su od HOPS-a Osijek. Kroz Prijenosno područje Osijek prolazi 110 kV vod. Ovdje se nalazi trafostanice 110/35 kV pod nazivom TR1-110. U ovoj trafostanici se za pretvorbu sa 110 kV naponske razine na 35 kV naponsku razinu koriste dva dvonamotna transformatora.

Oba su nazivne prividne snage 15 MVA.Vod 110 kV dalje povezuje trafostanice u Osijeku, TS 110/35/10 kV. U trafostanici Osijek 1 se odmah vrši pretvorba 35/10 kV.



Slika 6.1. Model (110/35/10 kV) mreže prijenosnog i distribucijskog područja.

Za zaštitu na mreži 110/35/10 kV promatrano područje distribucijske mreže 10/0.4 kV kod Vodnog polja Tvornica 1. Taj dio distribucijske mreže je simuliran koristeći DIgSILENT PowerFactory program s kojim je simulirano usklađenje i koordinacija mreže Slika 6.2.



Slika 6.2. Prikaz distribucijske elektroenergetske mreže s ugrađenim PV-sustavom

Tvornica 1 je dio mreže koji je pod naponom od 10 kV. U trafostanici Tvornica 1 su transformatori koji rade pretvorbu energije sa 10 kV na 0.4 kV. Za ovaj rad važan dio distribucijske mreže spojen na trafostanicu TS 10/0.4 kV, korištenjem DIgSILENT PowerFactory programa je crtana trafostanica i dimenzionirana sva potrebna oprema za zaštitu i koordinaciju mreže.

Korišteni energetski transformatori sa 35 kV na 10 kV u tablici 6.1.

Tablica 6.1. Energetski transformatori +T1 i +T2

Nazivni napon primara	35	kV
Nazivni napon sekundara	10,5(21)	kV
Nazivna snaga	8	MVA
Grupa spoja	Dyn5	/
Uk%	6,9	%
Regulacija napona	Primarno +-2x2,5	%
Način hlađenja	ONAN	/
Gubitci u željezu PFe	7	kW
Gubitci u bakru PCu	47	kW

Podaci o trafostanici kod Tvornice 1 10/0.4 kV

Podaci o trafostanici:

Naziv trafostanice: Tvornica 1 (10/0.4 kV)

Snaga: S= 630 kVA

Napon kratkog spoja: uk= 4%

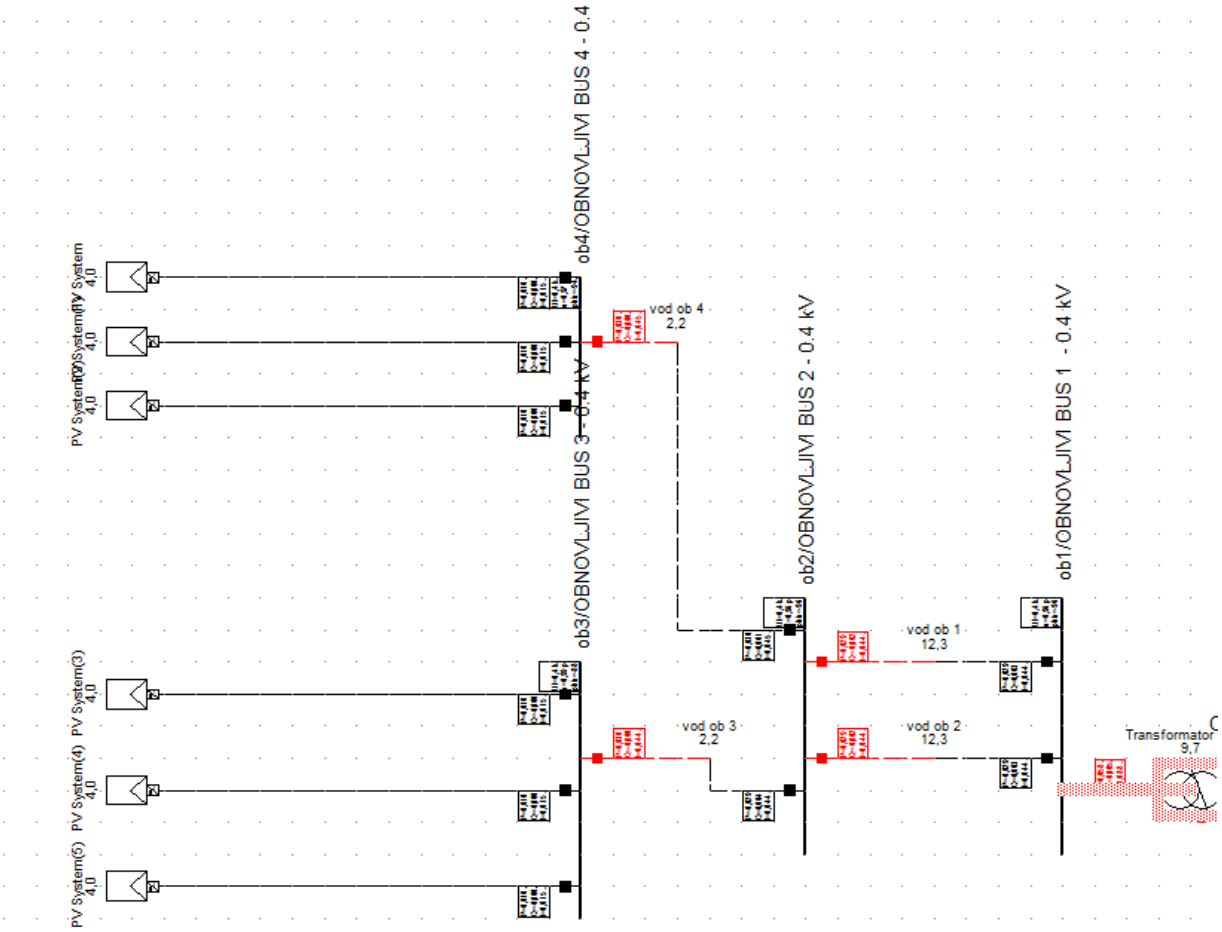
Grupa spoja: Dyn5

Kod lokaciji sabirnice Osijek 10/10 kV mreža se prostire na ostale 10 kV sabirnice. Bitno promatranje sabirnice Tvornica 1 - 10 kV, te je ona dizajnirana i simulirana u DIgSILENT programu, kod ostalih sabirnica su postavljena potrošačka područja.

Sa sabirnice Osijek 10/10 se mreža prostire na ostale deset kilovoltne sabirnice. Kod trafostanice naponske razine 10 kV koja prelazi na naponsku razinu 0,4 kV Sabirnica 10 kV je bitna za promatranje jer je upravo to područje gdje je implementiran obnovljivi izvor analiziran u diplomskom radu. Za transformaciju sa 10 kV naponske razine na 0,4 kV naponsku razinu koristi se transformator nazivne prividne snage 0,63 MVA.

6.1. Modeliranje obnovljivih izvora u mreži

Obnovljivi izvor modelira se na sabirnicu OBNOVLJIVI BUS 2 - 0,4 kV razine. Na slici 6.3. je prikazana razmatrana distribucijska elektroenergetska mreža sa ugrađenom fotonaponskom elektranom napravljena u programu DIgSILENT PowerFactory.



Slika 6.3. Prikaz razmatrane distribucijske mreže sa ugrađenom elektranom

Obnovljivi izvor ima nazivnu snagu elektrane koja iznosi 60 kW.

Kod distribucijskih mreža imamo mogućnost napajanja mjesta kvara iz distrubuiranih izvora. Kad iznos struje kratkog spoja postane manji od pogonske struje za to mjesto kvara, onda je to mjesto kvara nemoguće zaštititi samo nadstrujnim relejima. Zbog toga se mora koristiti kombinacija usmjerenog i nadstrujnog releja.

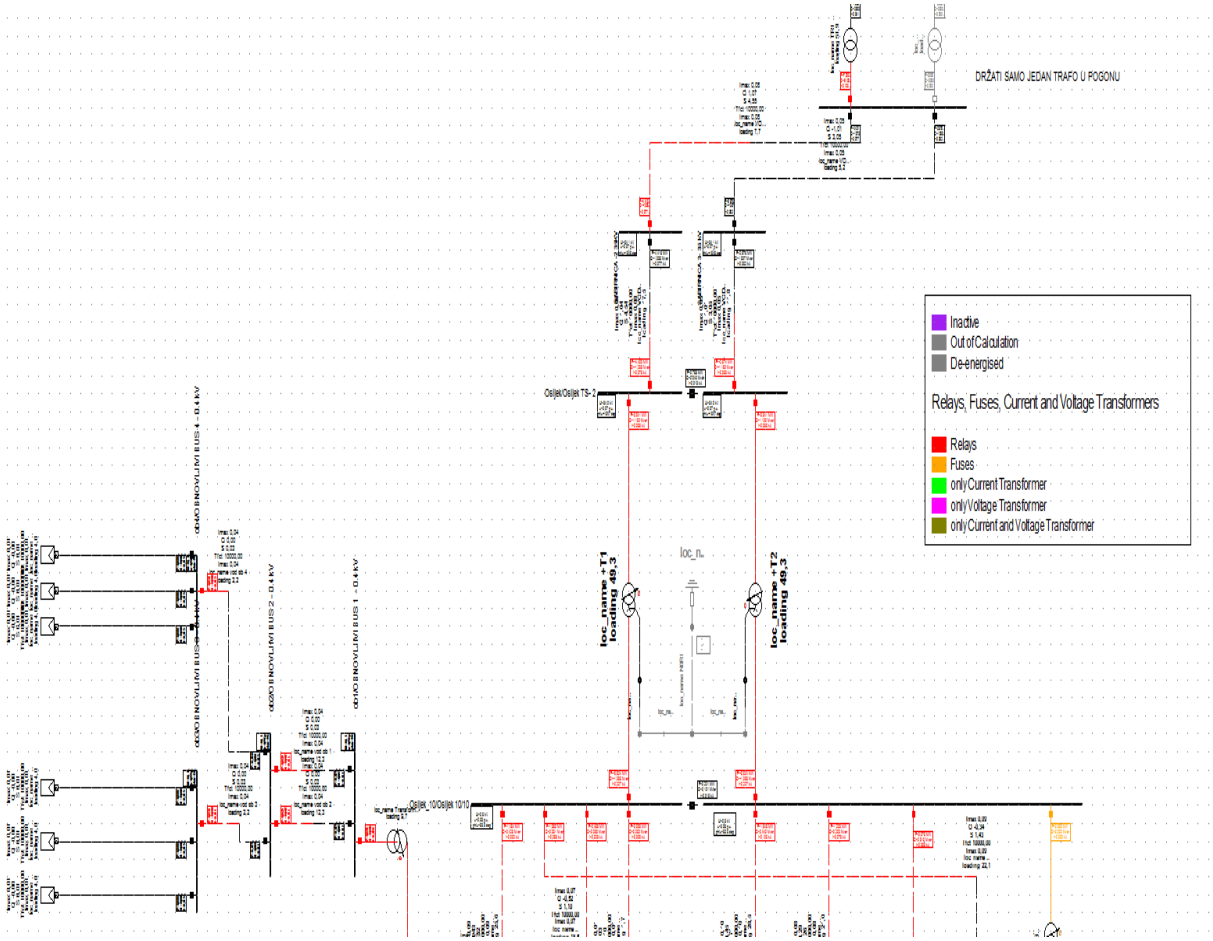
Obnovljivi izvori PV 1-3 su spojeni na jednu sabirnicu OBN BUS 4. Sustav fotonapona PV 1-3 je na sabirnicu spojen kabelom NN 1x50mm^2 duljine 200m, a sustav PV 4-6 je sa sabirnicom povezan također istim kabelom NN 1x50mm^2 duljine 200m. Obje sabirnice su spojene na zajedničku sabirnicu OBN BUS 2. OBN BUS 2 sa niskonaponskom sabirnicom je spojen sa dva paralelna kabela XHE 49A 3X 1X 150/25 duljine 100m.

Podatci o kablovima u tablici 6.2.

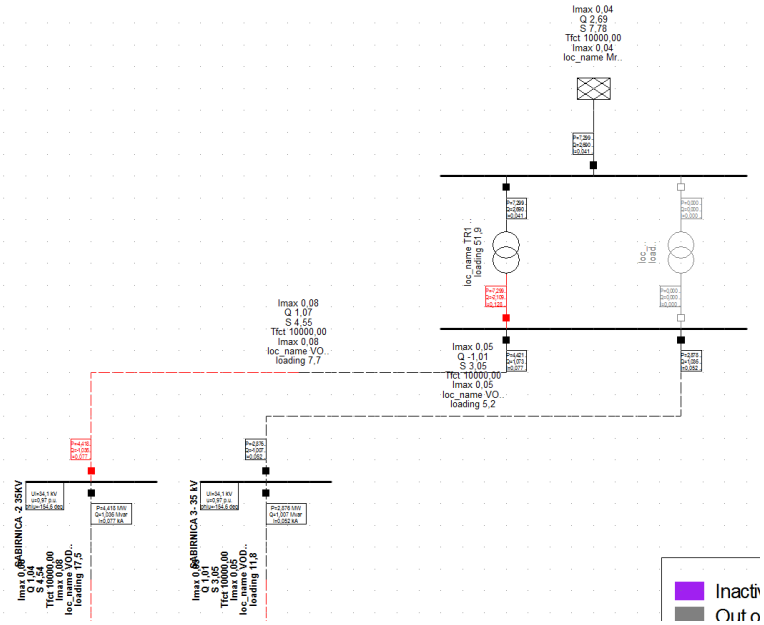
Oznaka	Naziv elementa	Tip	Jedinica mjere	Količina
OB1	OBN BUS 1 – OBN BUS 1	XHP 49 3x1x150/25	m	100
OB2	OBN BUS 1 – OBN BUS 1	XHE 49-A 3x1x150/25	m	100

6.2. Raspored zaštite na mreži

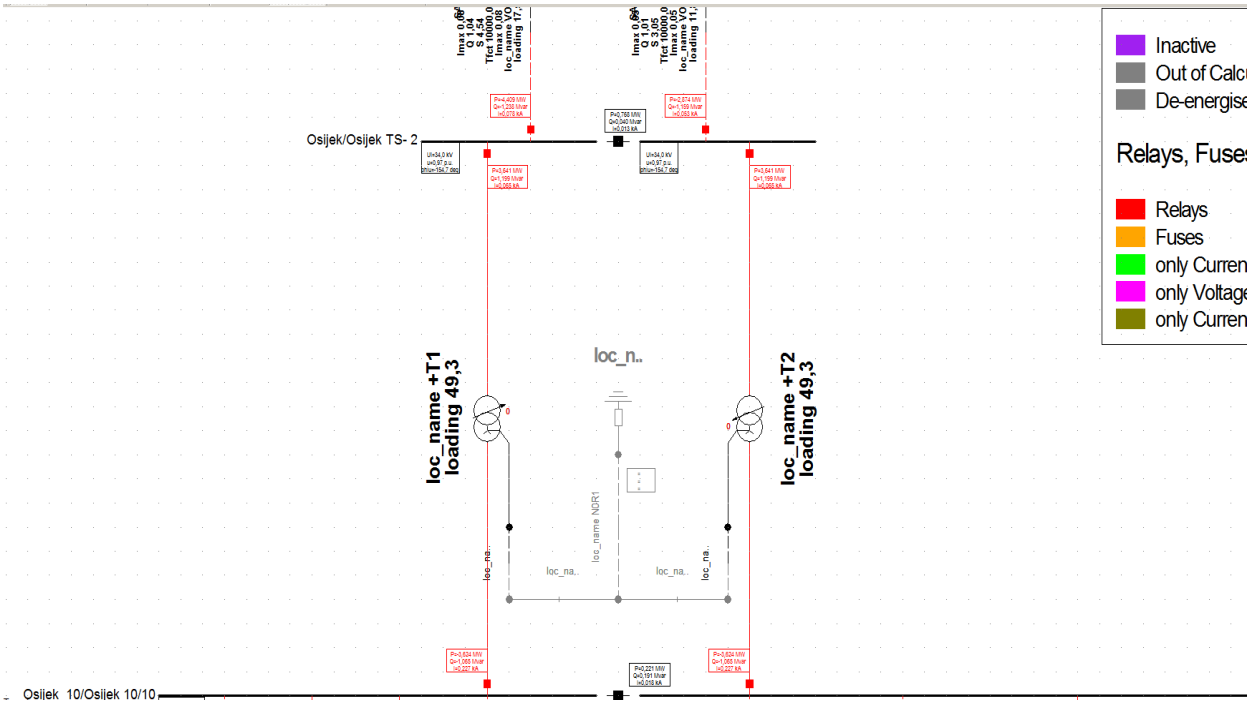
Na slici 6.4., 6.5., 6.6. i 6.7. je moguće vidjeti raspored zaštite tijekom simulacije tokova snaga.



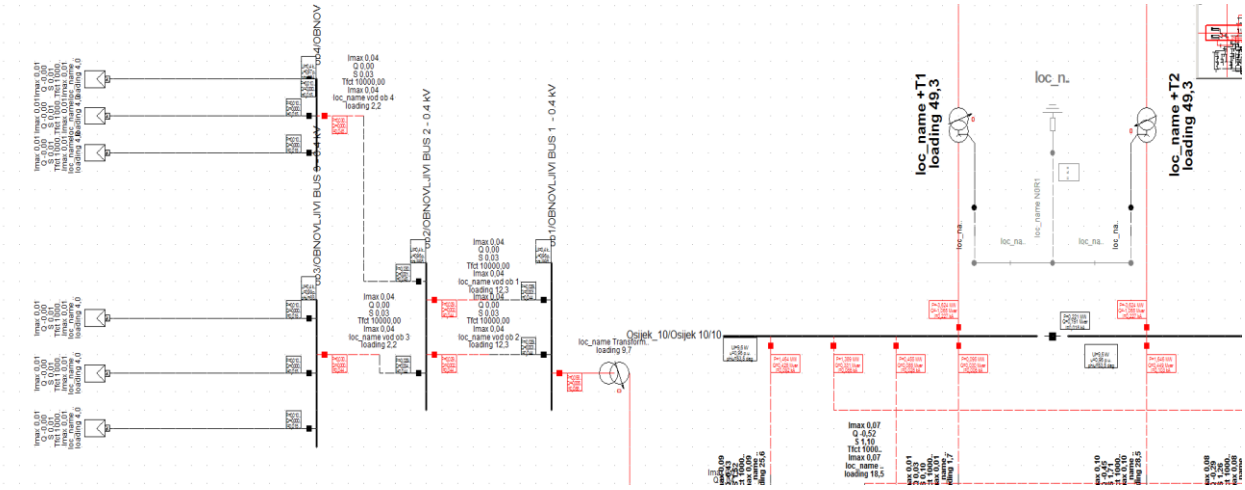
Slika 6.4. Lokacije i tipovi zaštite na mreži kod simulacije tokova snaga.



Slika 6.5. Lokacije i tipovi zaštite na mreži kod simulacije tokova snaga.



Slika 6.6. Lokacije i tipovi zaštite na mreži kod simulacije tokova snaga



Slika 6.7. Lokacije i tipovi zaštite na mreži kod simulacije tokova snaga

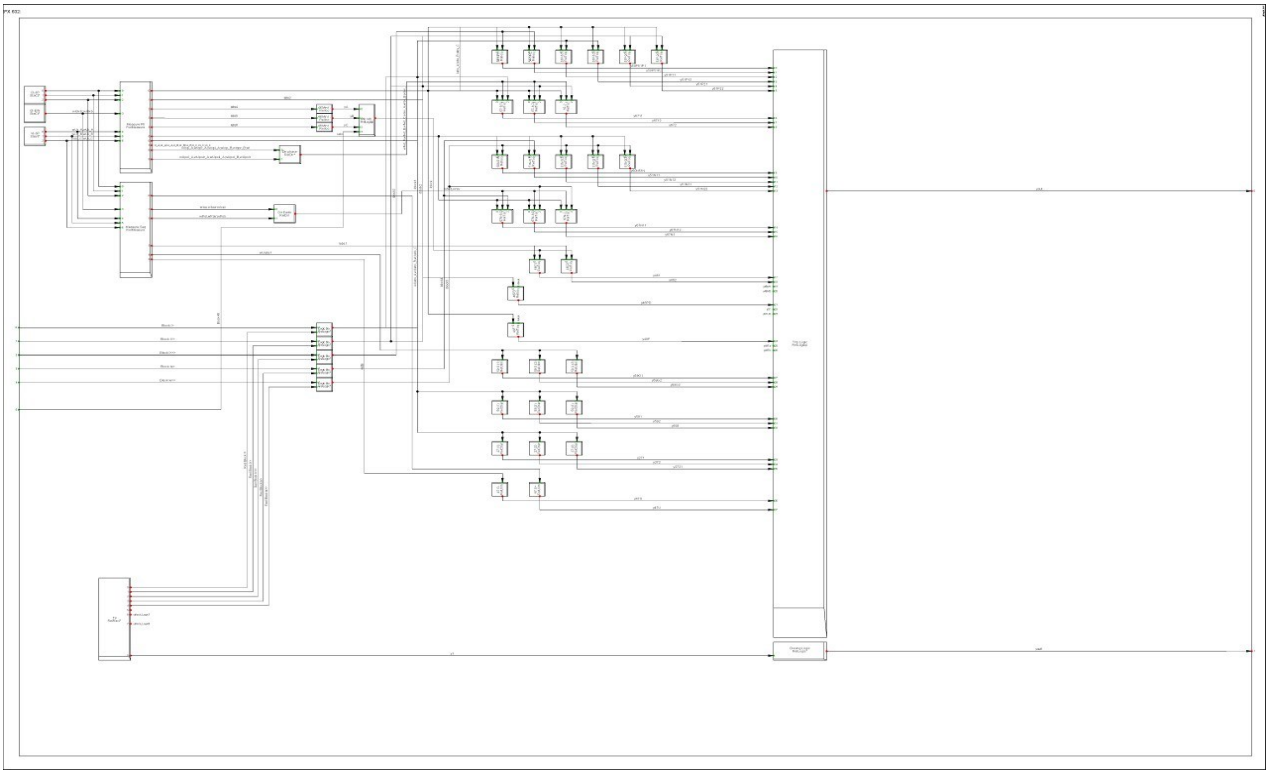
Radi verifikacije modela pokreću se tokovi snaga s transformatorom +T1 uključenim i uzemljenim preko otpornika za uzemljenje, a +T2 isključenim i s izoliranim zvjezdištem. Sekcijski prekidači su zatvoreni. Tereti na kraju svih 10 kV vodova su proizvoljno postavljeni na iznose od 1 MW i 0,3 MVAr. Simulacija tokova snaga potvrđuje da niti jedan kabel nije blizu granice svog prijenosnog kapaciteta, što se može provjeriti po postotku nazivnog opterećenja vidljivom ispod naziva svakog od elemenata.

Naponi na 10 kV sabirnicama su na 0.97p.u. s regulacijskom preklopkom u neutralnom položaju na transformatoru +T1. TS Osijek 2 je napajana iz SAB 35 kV 3,0 MW i 1,7 MVAr. Kako bi se provjerili padovi napona i strujna opteretivost cjelokupne mreže simulira se velik teret na krajevima 10 kV kabela. Svi tereti na kraju 10 kV kabela postavljeni na 2,0 MW i 0,6 MVAr, a kućna potrošnja na 85 kW i 25 kVAr. Transformatori +T1 i +T2 su u paralelnom pogonu uzemljeni preko otpornika za uzemljenje, a stanica se napaja paralelno iz SAB 35 kV na 35 kV strani.

Rezultati tokova snaga pokazuju da su transformatori +T1 i +T2 opterećeni su s 48,9 % nazivne snage, dok su sve kabelske veze na prosječno 10 % nazivne snage. U simulaciji tokova snaga praznog hoda svi tereti su isključeni, a transformator +T1 je u samostalnom pogonu sa zvjezdištem uzemljenim preko otpornika za ograničenje struje kratkog spoja +R1. Rezultati pokazuju da nema nepoželjnog porasta napona u ostatku mreže uslijed struje nabijanja 10 kV kabela u praznom hodu.

6.3. Podešenja zaštite

Za svako od polja će se u softveru modelirati numerički zaštitni relej koji odgovar stvarnom uređaju. Koordinacija će se potvrditi kroz simulaciju kratkog spoja na štićenom elementu za različite karakteristične slučajeve. Odabrani zaštitni uređaj je ABB RFX632 i par drugih modela. Model u simulacijskog softveru je prikazan na Slika 6.8.



Slika 6.8. Simulacijski model zaštitnog uređaja

U modelu se simulira slučaj trofaznog kratkog spoja koji spada u najgoru vrstu kvara te se očekuje barem nekoliko puta veća struja od nazivne.

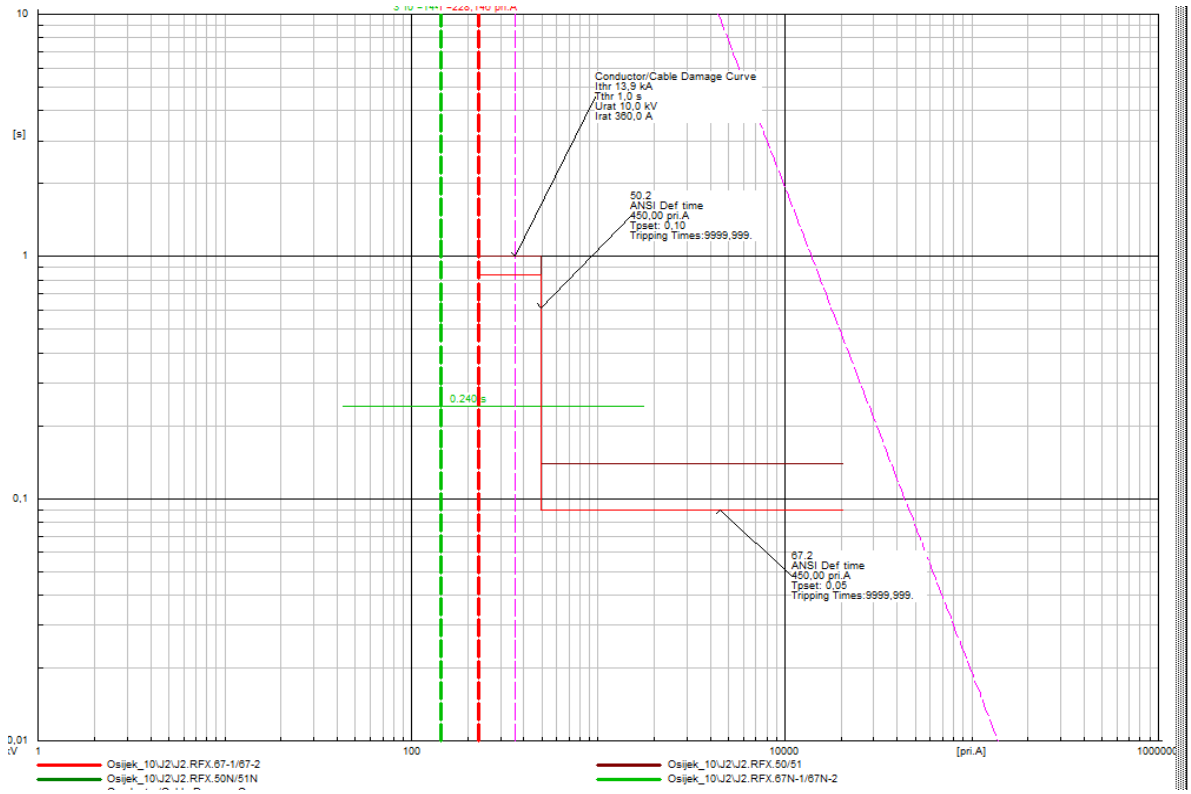
Releji najčešće djeluju na isklapanje sklopke, zbog čega je potrebno ukloniti neki zapor koji oslobađa energiju akumuliranu u nategnutom peru ili komprimiranom zraku. Zapor se uklanja okidačem. Svitak okidača se može napajati preko istosmjernog ili izmjeničnog izvora.

Releji ne mogu mjeriti velike vrijednosti struje te zbog toga ih reduciramo preko strujnih transformatora na vrijednosti od 1 A ili 5 A.

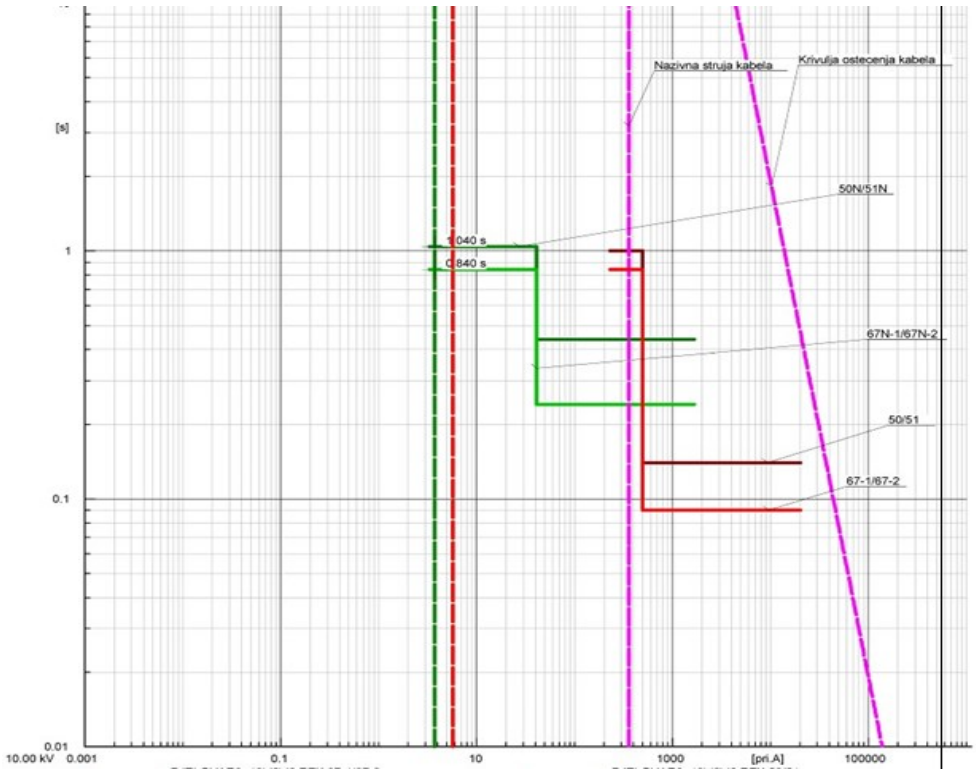
Parametri zaštite za 10 kv postrojenje Tvornica 1 dani su u tablici 6.3:

Tablica 6.3 Parametri zaštite prema ANSI Standardu kod 10 kV postrojenja:

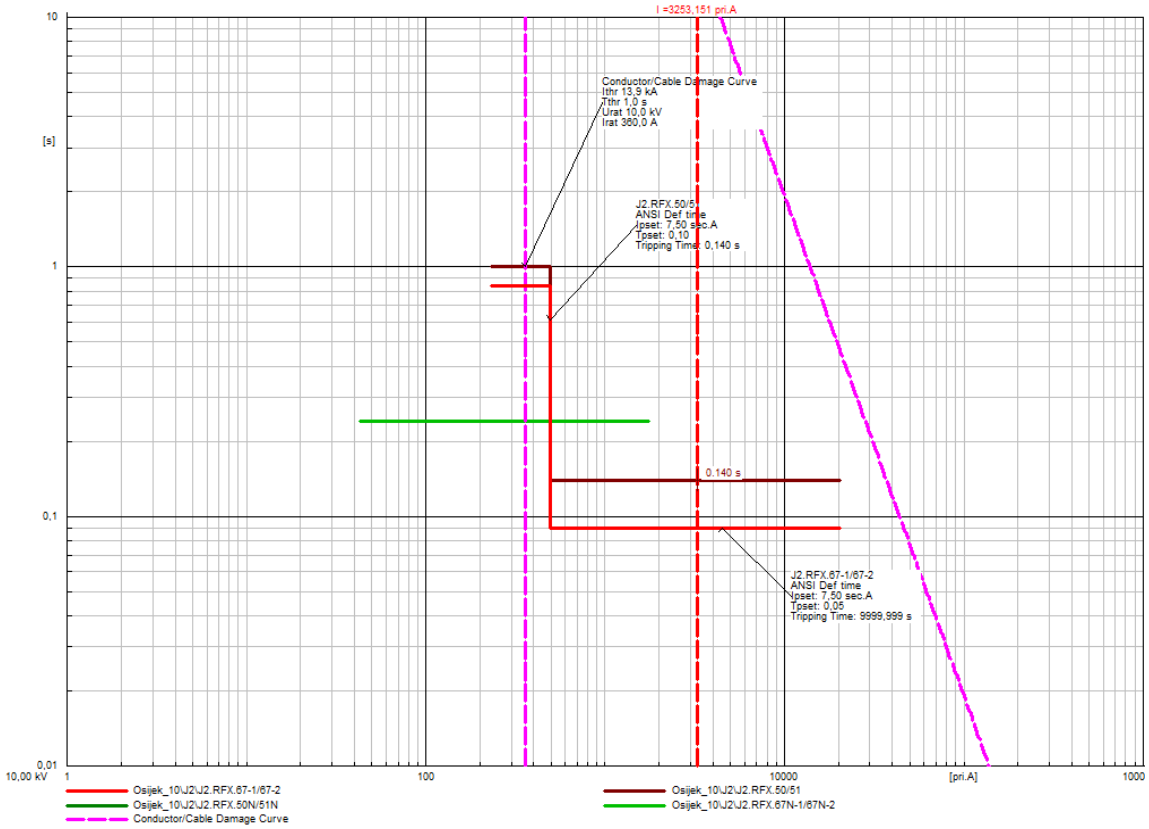
Zaštita	**Proradna vrijednost**	**Vremensko zatezanje**
ANSI 51	210 A	1 s
ANSI 50	450 A	0,10 s
ANSI 67-1	210 A	0,8 s
ANSI 67-2	450 A	0,05 s
ANSI 51N	3 A	1,0 s
ANSI 50N	37,5 A	0,4 s
ANSI 67N-1	3 A	0,8 s
ANSI 67N-2	37,5 A	0,2 s
ANSI 79	N/A	N/A



Slika 6.9. Jednopolni kratki spoj, transformator uzemljen



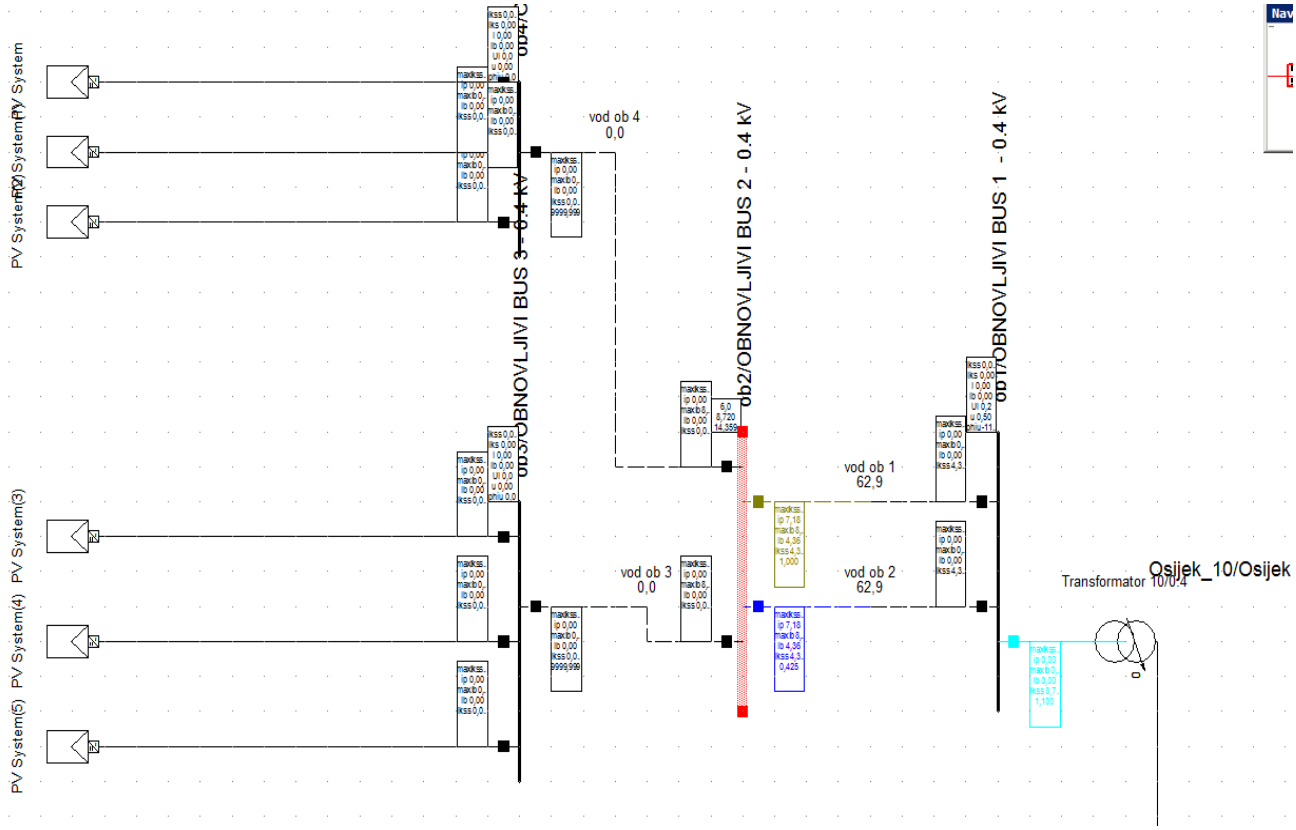
Slika 6.10. Jednopolni kratki spoj, transformator izoliran.



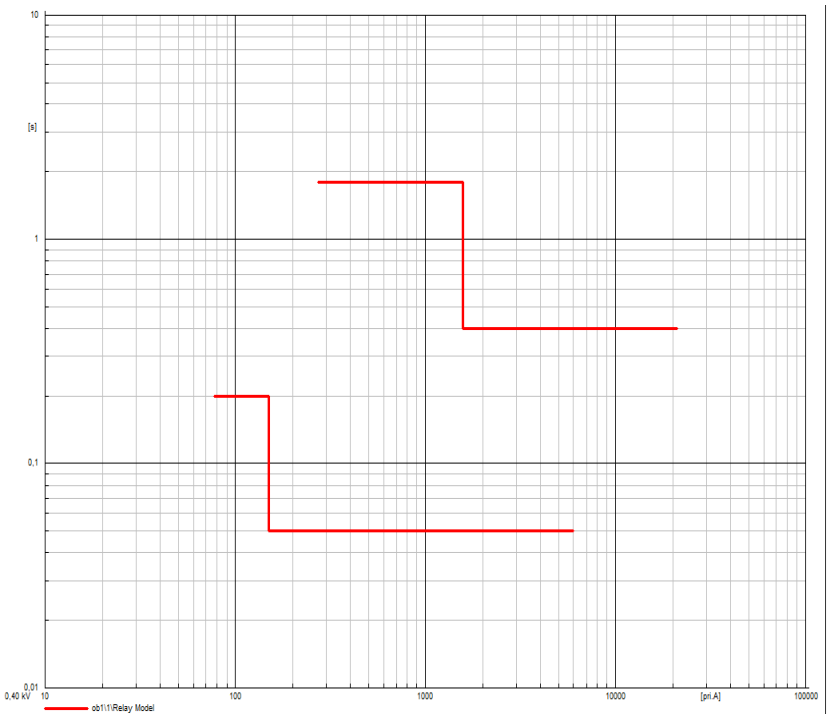
Slika 6.11 Tropolni karatki spoj transformator izoliran.

Na gornjim slikama grafovi prikazani zelenim nijansama su zemljospojni releji koji će djelovati na $3i_0>$. Grafovi crvenih nijansi su nadstrujni članovi koji djeluju na faznu nadstruju. Ljubičaste linije su ograničenja elemenata, odnosno samog kabela. Vertikalna ljubičasta linija je nazivna struja kabela, dok je kosa linija maksimalno podnosiva struja kratkog spoja. Sekcijski prekidači su zatvoreni, a svi kabeli pod maksimalnim teretom jer su simulacije pokazale da otpor nulte impedancije nije dovoljno visok da prekine napajanje potrošača kvarne faze – izvor napaja paralelno mjesto kvara i potrošače u kvarnoj fazi, zdrave dvije faze napajaju potrošače. Zbog toga je zemljospojna zaštita brža od nadstrujne. U slučaju da polje bude otvoreno struja zemljospoja se značajno smanjuje te je upitna mogućnost detekcije zemljospoja.

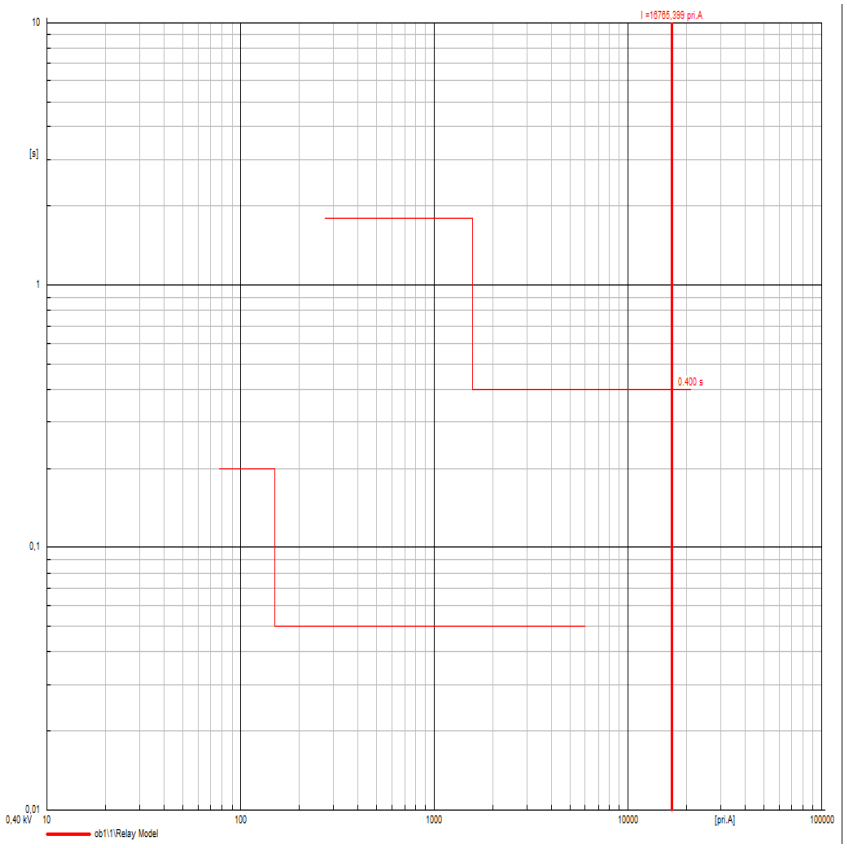
Na sekundarnoj strani transformatora vodnog polja Tvornica 1 10/0,4 kV ugrađen je relej tipa PR512/Px (50-51 50N-51N). Ovaj relej je prikazan slikom 6.12:



Slika 6.12. Lokacija releja PR512/Px (50-51 50N-51N) (plavi desno)



Slika 6.13. I-t karakteristika releja



Slika 6.14. I-t karakteristika releja kod trofaznog kratkog spoja

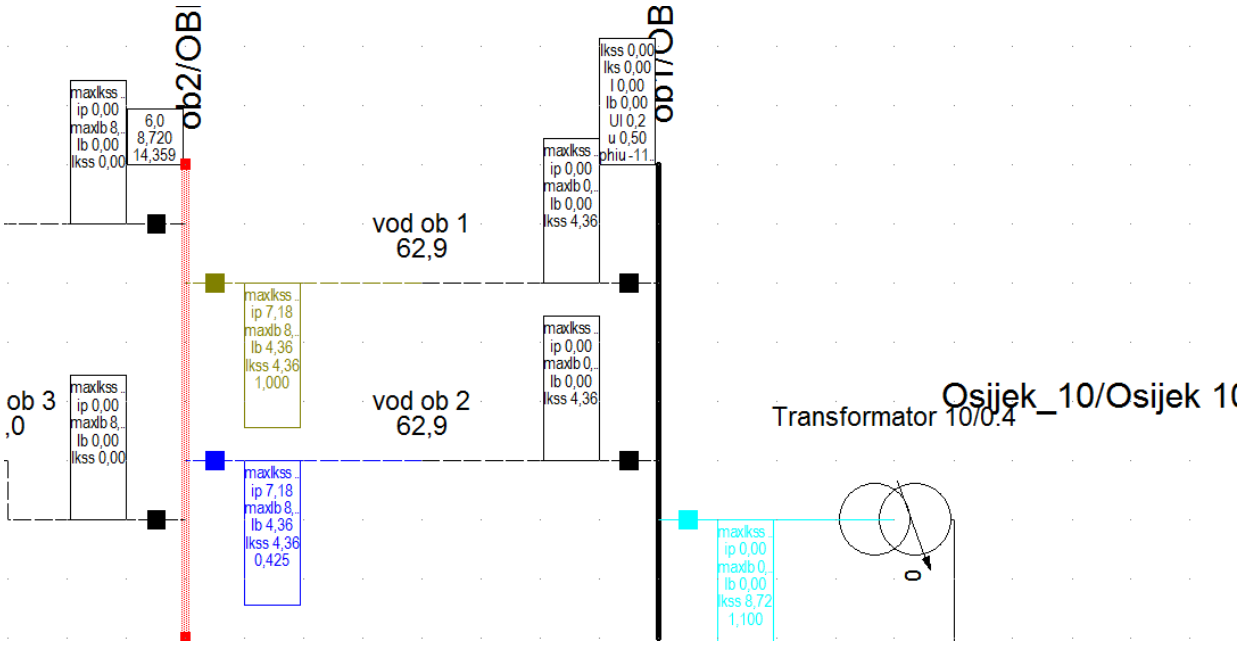
U tablici 6.4. su navedena mjesta kvarova i iznosi struja kratkih spojeva za trofazni, dvofazni i jednofazni kratki spoj.

Tablica 6.4. Prikaz mjesta kvarova i struja kratkog spoja.

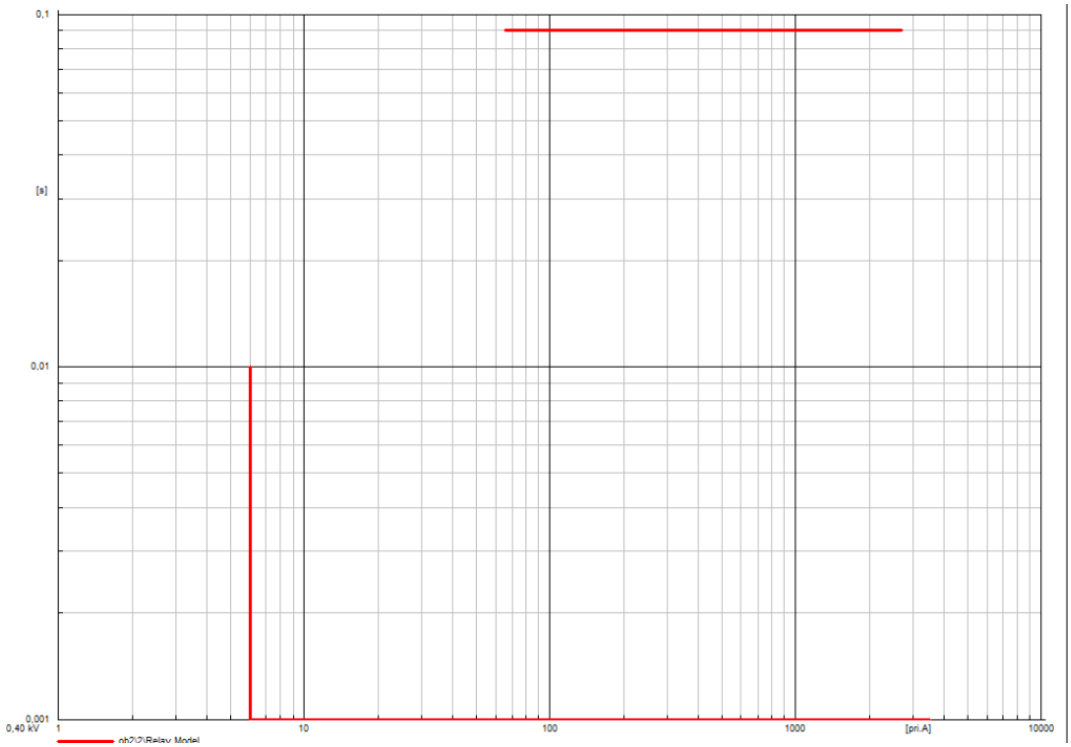
Mjesto kvara	I3KS [kA]	I2KS [kA]	I1KS [kA]
OBN BUS 4 – 0.4 kV	1,325	1,188	1.465
OBN BUS 3 – 0.4 kV	0.291	0.275	0.326
OBN BUS 2 – 0.4 kV	8.795	7.658	6.754
OBN BUS 1 – 0.4 kV	16.725	14.53	16,492
Sabirnica OBN 10 kv	2.926	2.546	0.149
Tvornica 1	3.252	2.818	0.150

Osijek 10/10	3.798	3.228	0.155
Osijek TS - 2	1.467	1.271	0.019
Sabirnica 2 - 35 kV	1.0485	1.287	0.019
Sabirnica 1 – 35 kV	1.652	1.44	0
Sabirnica 110 kV	16.258	16.19	16.532

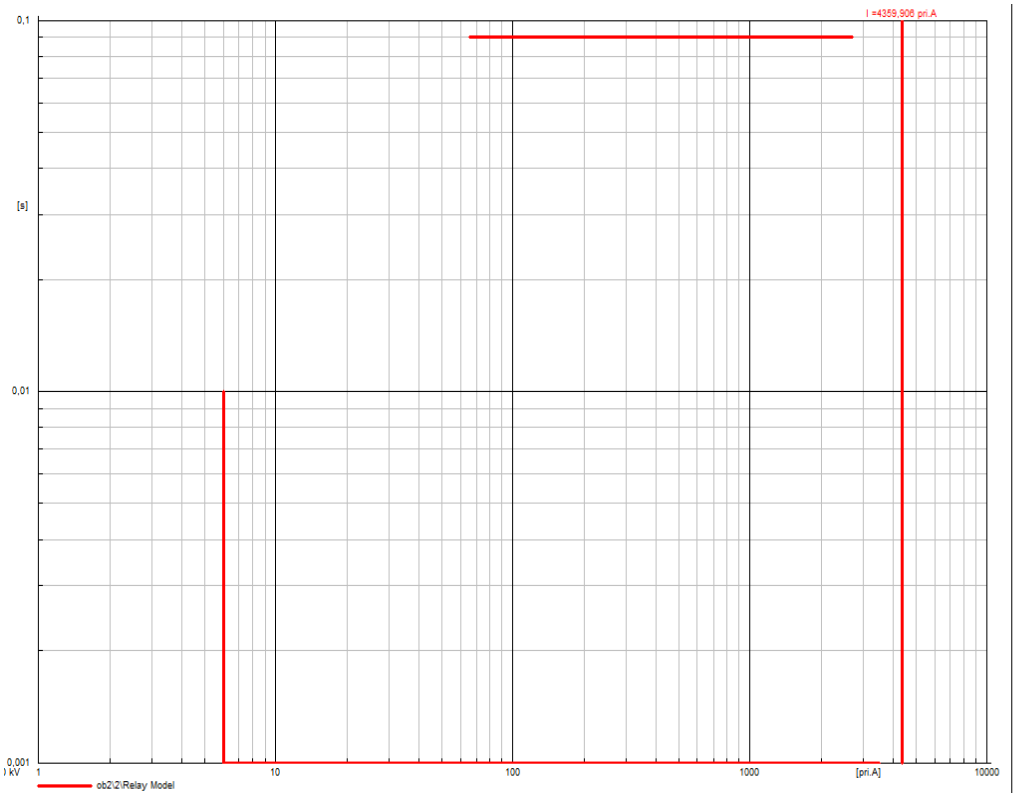
Na strani vodnog polja obnovljivog izvora prije transformatorske stanice ugrađen je zaštitni relej ABB RFX632 i njegov tip mjerenja je ANSI 67.1, 67.2 što znači da je usmjereni prekostrujni relej.



Slika 6.15. Lokacija AAB RFX632 (tamno plavi)

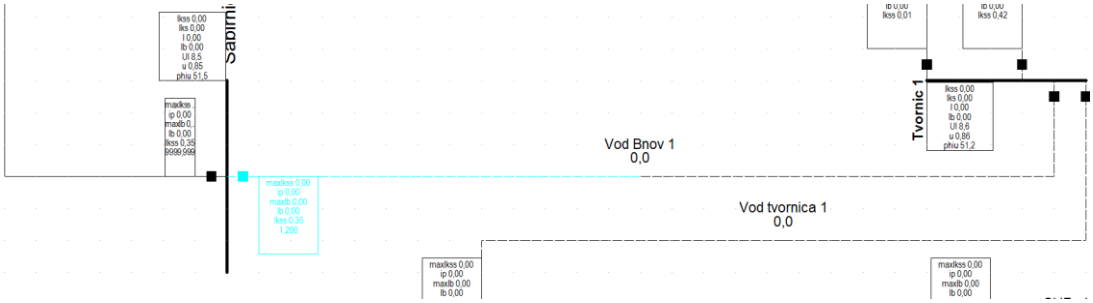


Slika 6.16. I-t karakteristika ABB RFX632



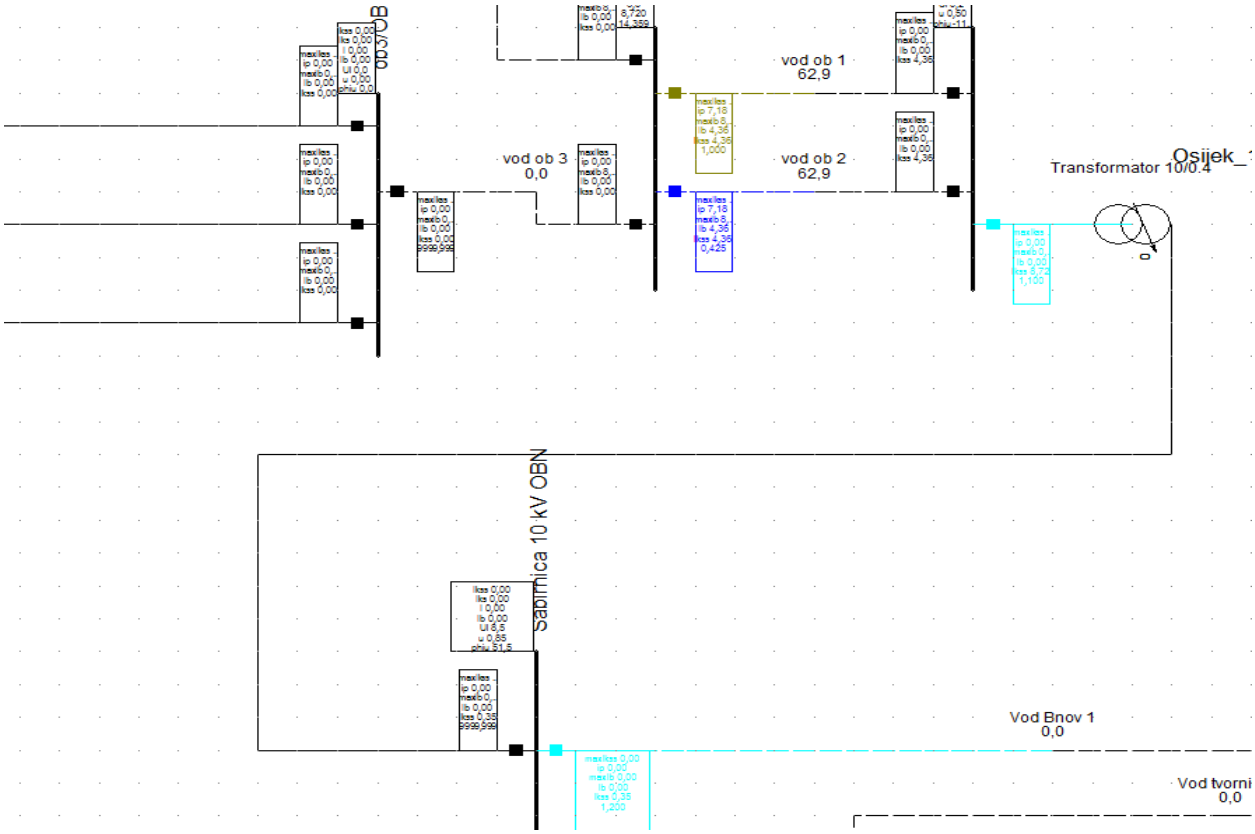
Slika 6.17. Trofazni kratki spoj

Na strani vodnog polja prije transformatorske stanice Slika 6.18. Prikaz ABB/SACE releja i njegovog vremena okidanja koje iznosi 2,4 sekunde pri trofaznom kratkom spoju $I_{KS,3S}$= 0.01 Ka Te na taj način omogućuje selektivnost prorade releja.

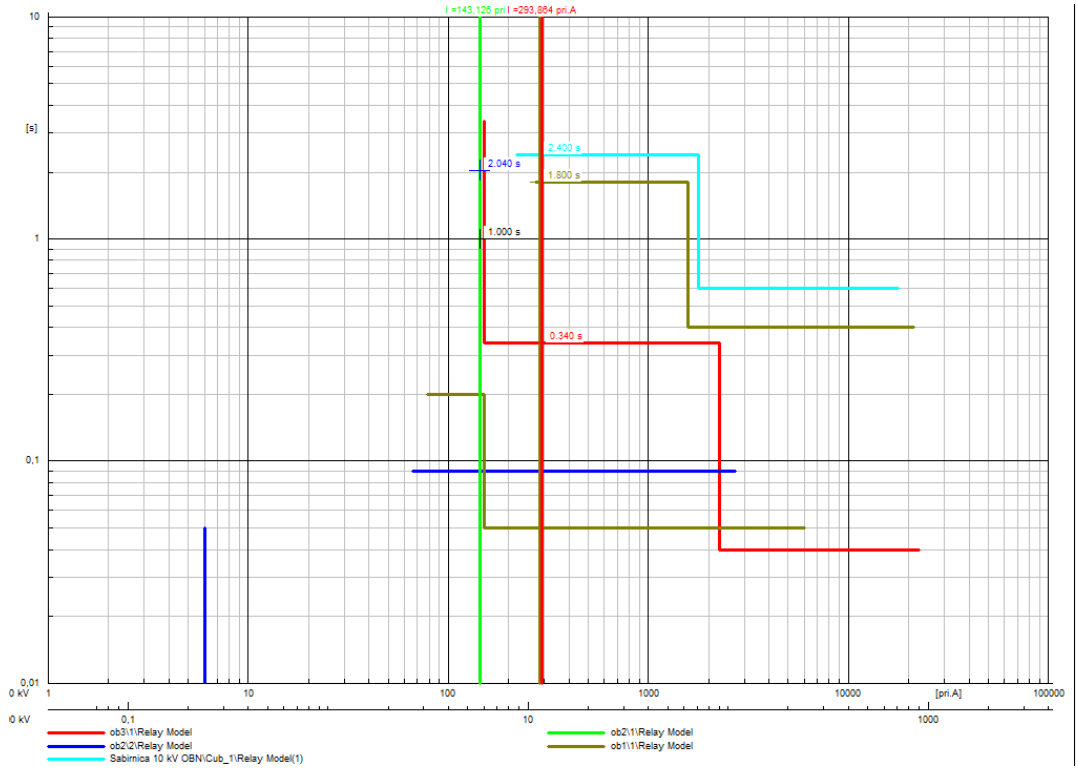


Slika 6.18. Lokacija ABB/SACE releja

Pojavom kratkog spoja na sabirnici OBN BUS 3 – 0.4 kV odrađena je koordinaciju i stupnjevanje relejne zaštite s početkom reagiranja releja od 0.340 s odmah poslije kratkog spoja pa sve do zadnjeg releja koji ima vrijeme okidanja od 2,4 sekunde.



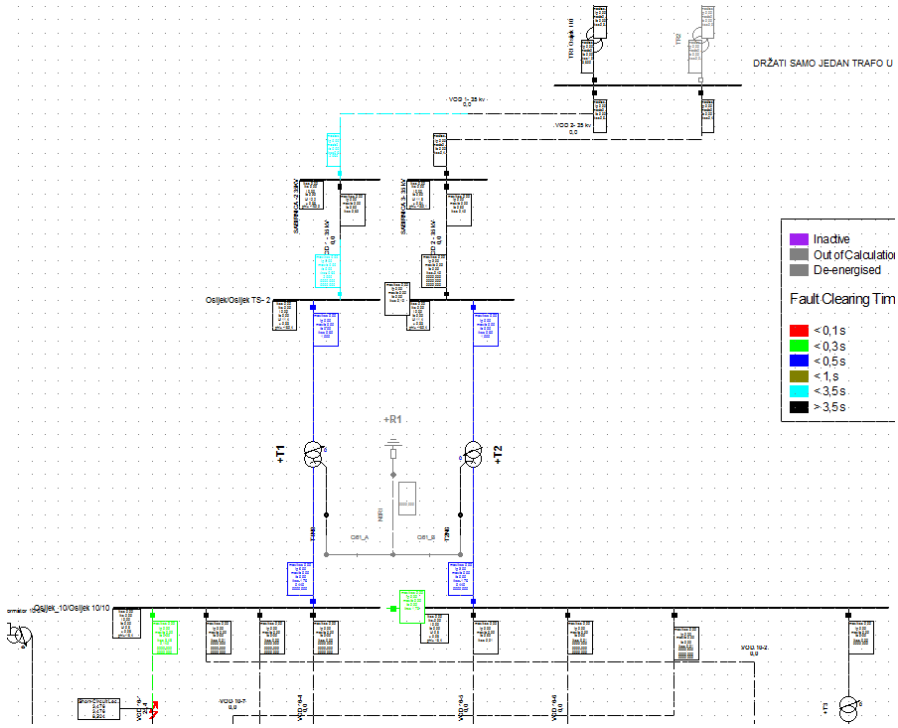
Slika 6.19. Prikaz selektivnosti zaštite kod sabirničkog kratkog spoja



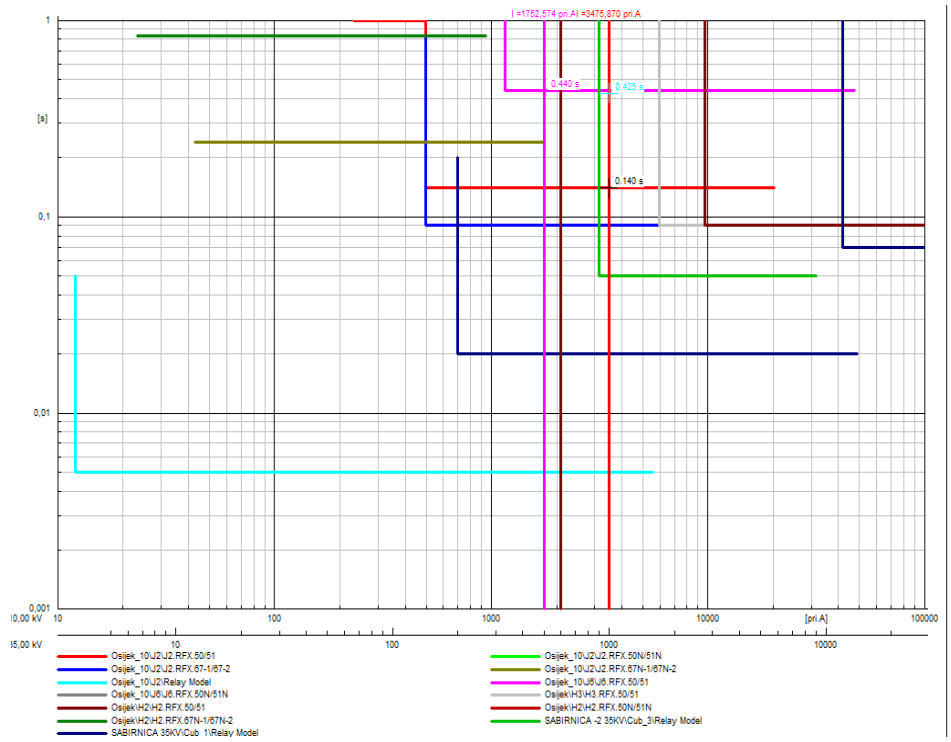
Slika 6.20.Stupnjevanje zaštite za sabirnicu OBN BUS 3 – 0.4 Kv

Stupnjevanjem zaštite se osigurala selektivnost i pravilan način rada sustava i detekcije kvara.

Na primjeru Slike 6.21.



Slika 6.21. Princip stupnjevanja zašite



Slika 6.22. Koordinacija mreže za tropolni kratki spoj

Zaštita je koordinirana tako da pravilno prepozna kvarove u vodnom polje Tvornice 1. Redoslijed operacija gašenja je VP, TP i na posljetku MP. Ukoliko struja kvara ne prolazi kroz sekcijski prekidač vrijeme prorade zaštite TP ostaje nepromijenjeno. U TP ne postoji zemljospojna zaštita namijenjena detekciji struje zemljospoja u izoliranom načinu rada pošto samo susjedni kabeli napajaju kvar. Izolirano zvjezdište predstavlja prekid za nultu struju.

U slučaju kvara na 10 kV sabirnicama kvar se mora ukloniti što je ranije moguće, po mogućnosti selektivno ukoliko se kvar napaja preko jednog transformatora i mrežnog polja.

Prema slici koordinacije mreže prvi će proraditi Realay model(svijetlo plava) i RFX 67.1-67.2 (tamno plava), oni predstavljaju glavni stupanj zaštite. Struja koja se dobiva iz krute mreže isključuje se trenutnim nadstrujnim relejom 7SJ6015-xxAxx-0UA0 za 3.6 s. Analizirajući napajanje mjesta kvara sa strane Tvornice 1 pa do sabirnice Osijek 10/10 dolazi struja od 3471 A, pa prema već opisanom kriteriju proraduje usmjereni relej ABB

RFX 632 za 0.14 s. Na sekundarnom dijelu transformatora TR1+ poteći će struja iznosa 1758 A. Tada će reagirati vremenski ovisni nadstrujni član I> jer je kratkospojna zaštita podešena na I>>3400 A. Vrijeme isključenja krajnjeg releja na strani mreže iznosi duže od 3 sekunde a kod kratkog spoj na 0.14 sekundi time smo sigurali selektivnost zaštite svih elemanat na mreži jer svaki sljedeći relej ima duže vremensko zatezanje.

7. ZAKLJUČAK

Porastom broja distribuiranih izvora koji se priključuju na distribucijsku mrežu donosi niz problema kod dimenzioniranja zaštite. Priključenjem distribuiranih izvora dolazi do povećanja struje kratkog spoja u postrojenju i mreži te trenutnu nadstrujnu zaštitu potrebno ponovno podesiti i omogućiti selektivnost. Ako novo podešavanje nije moguće potrebno je zamijeniti opremu novom zaštitnom opremom kao što je zamjena strujnih mjernih transformatora i postavljanje i parametriranje novih releja.

Kod priključenja novoizgrađenih distribucijskih izvora na postojeće distribucijske mreže, događa se da se mreža automatski napaja sa više strana tako da je mrežu nemoguće zaštititi neusmjerenim relejnim nadstrujnim zaštitama te je potrebna ugradnja usmjerene nadstrujne relejne zaštite na svaki vod koji se štiti. Također još jedan problem nastaje kod same koordinacije nadstrujnih zaštita jer je dosta komplicirano uskladiti I-t karakteristike modeliranih releja što je viđeno u simuliranom modelu. Koordinacijama koje su se dobile se vidi da je odrađena selektivnost i brzina djelovanja kako bi svaki relej uspio sustavno reagirati – osim ako relej ima nekakav svoj interni kvar.

Za nastavak rada moguće je nadograditi i objasniti selektivnost i koordinaciju nadstrujnih zaštita u događaju kod kvara sa zemljospojem, ispitivanje ostalih zaštita i utjecaja priključenja distribuiranih izvora električne energije na trenutno dane naponske prilike, promjene tokova snaga ali i ostale promjene koje mogu nastati.

Problemi kod priključenja distribuiranih izvora je mogućnost odvajanja distribucijske mreže te prelazak u režim rada otočnog pogona. Takavi događaji se žele izbjeći u potpunosti pa je potrebno ponovno postaviti i dimenzionirati sve zaštitne uređaje.

LITERATURA

[1] J., Havelka, A., Marušić, T. Capuder, Smjernice za izradu plana električne zaštite, Studija, Zagreb, 2020.

[2] N., Boduljak, diplomski rad, Struje kratkog spoja u elektroenergetskim sustavima i postrojenjima, FERIT, Osijek 2016.
URL: https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:1073/preview

[3] E., Orešković, završni rad, Kratki spoj u distribucijskim mrežama, RITEH, Rijeka 2016.
URL:http://old.riteh.hr/nast/obrane/strucni_el/RADOVI_15092016/0069059483OreskovicEdy.pdf

[4] DIgSILNET PowerFactory User manual
URL:http://79.101.33.142/DIgSILENT%20PowerFactory%202019%20User%20Manual/UserManual_2019_en.pdf

[5] D., Šljivac, Obnovljivi izvori energije s osvrtom na gospodarenje, Hrvatska komora arhitekata i inţenjera u graditeljstvu u suradnji sa ETFOS, Osijek, 2008.

[6] D., Šljivac, Obnovljivi izvori električne energije, Predavanja 2015/2016, Poglavlje 1

[7] S., Nikolovski, Zaštita u elektroenergetskom sustavu, Grafika d.o.o., Osijek, 2007

[8] S., Krajcar, Zaštita u električnim postrojenjima, Predavanja, Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb.

[9] R., Noskov, I., Petrović, V., Valentić, Analiza nekih aspekata vođenja ees-a u novim uvjetima distribuirane proizvodnje i aktivnih distribucijskih mreža

URL: https://www.bib.irb.hr/1090147

[10] I.Ivkić, diplomski rad, Koordinacija nadstrujnih zaštita aktivnih distribucijskih mreža, FERIT , 2016
URL: https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos:1095/preview

[11] (Narodne novine broj 177/04) Mrežna pravila Elektroenergetskog sustava (NN 36/2006 – 907)
URL: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006_03_36_907.html

[12] (Narodne novine broj 22/13 i 102/15) Mrežna pravila distribucijksog sustava (NN 74/2018-1539)
URL: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_08_74_1539.html

[13] M. Kelemen, diplomoski rad, Analiza rada fotonaponske elektrane 500 kW pri radu na distribucijskoj mreži, 2021

URL: https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos:3012

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad bavi se vođenjem EES-a i usklađenja zaštite na sučelju prijenosne i distribucijske mreže uz integraciju obnovljivih izvora u SN mreži. Na početku rada naglašen je uvod u pravilnike Hrvatskog operatora prijenosnog sustava i operatora distribucijskog sustava pojava te način priključenja postrojenja kao što su distribuirani izvori koji su temeljeni na obnovljivim izvorima energije. Slijedeće je prikazana mreža koja će se koristiti za daljnje podešavanje relejne nadstrujne zaštite u distribucijskoj mreži. Završnim zadatakom se prikazuju postavke podešenja strujno – vremenskih nadstrujnih releja kako bi bi mogli simulirati selektivnost i odraditi koordinaciju mreže u zadovoljavajućim uvjetima.

ABSTRACT

ANALYSIS OF MANAGEMENT OF THE ELECTRICAL SYSTEM AND COORDINATION OF PROTECTION BETWEEN TRANSMISSION NETWORK AND DISTRIBUTION NETWORK WITH INTEGRATION OF RENEWABLE RESOURCES

This thesis deals with the coordination of overcurrent protection in active distribution networks. There is a brief introduction at the beginning of what operators obligation is on transmission and distribution systems, and the emergence of problems to connect new energy sources such as distributed sources based on renewable energy sources.

The next chapter shows adjusting the coordination model of the distribution network. In later chapters work shows the assumptions for current – time settings of overcurrent relays, in order to make coordination of all overcurrent protection used in the model, taking care of the property of selectivity.

In conclusion, we need protective devices that will quickly recognize faults and react in given time. This also confirmed the simulations in this paper, where the t-I characteristics show how modeled protection devices quickly recognize short-circuit currents and turn them off in a modeled time.

ŽIVOTOPIS

Ivan Mijatović

Email: ivan.mijatovic23@gmail.com

Ivan Mijatović rođen je 14. rujna 1993. godine u Osijeku. Završio je Osnovnu školu "Retfala" Osijek. Završetkom osnovne škole upisao je Elektrotehničku i prometnu školu Osijek, smjer tehničar za mehatroniku te 2012. Završava školu s vrlo dobrim uspjehom. Te iste godine upisuje prediplomski stručni studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika na Elektrotehničkom fakultetu Osijek. Upisani stručni studij završava 2015. te upisuje razlikovnu godinu koju završava 2018. godine. 2019 godine upisuje diplomski studij elektrotehnike na - Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek.