

# Koordinacija zaštite u vremenskoj domeni FN elektrane

---

Čolak, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2023

*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:200:822115>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-19**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**Koordinacija zaštite u vremenskoj  
domeni FN elektrakne**

**Diplomski rad**

**Josip Čolak**

**Osijek, godina 2023.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Zaštite distributivne mreže</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Zaštitni uređaji</b> .....	<b>3</b>
2.1.1. Osigurači.....	3
2.1.2. Releji .....	5
<b>3. FN Elektrane</b> .....	<b>12</b>
<b>4. Koordinacija zaštite FNE 390 kW</b> .....	<b>15</b>
4.1. Zaštitni uređaji.....	20
<b>5. Istraživanje kvarova u mreži bitnih za podešenje, djelovanje i izbor zaštite</b> .....	<b>28</b>
5.1. Kvar 1.....	30
5.2. Kvar 2.....	37
5.3. Kvar 3.....	43
5.4. Kvar 4.....	49
5.5. Zaštita od otočnog pogona .....	55
5.6. Tablični prikaz rezultata .....	57
<b>6. Zaključak</b> .....	<b>59</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>60</b>
<b>Sažetak</b> .....	<b>61</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>61</b>
<b>Životopis</b> .....	<b>62</b>

## 1. UVOD

Od početka korištenja električne energije smjer njezina toka bio je od izvora prema potrošačima. Velike elektrane su proizvodile el. energiju koja se potom transportirala prijenosnom i distributivnom mrežom do krajnjih potrošača, tj. kupaca el. energije. Pojavom obnovljivih izvora energije, u ovom slučaju fotonaponskih elektrana koje se spajaju na mjestu potrošnje, kod krajnjih kupaca el. energije na niskonaponskoj mreži, tok električne energije više nije jednosmjernan. Fotonaponske elektrane su izvori el. energije koja se proizvodi na mjestu potrošnje i u slučaju da se ne potroši sva na mjestu priključka vraća se dio u niskonaponsku mrežu. Također, ukoliko se ne može sva utrošiti na NN mreži, energija se prenosi dalje na srednjenaponsku razinu.

Da bi se osigurala sigurnost radnika kao i opreme elektroenergetskog sustava moramo osigurati isključenje elektrane u slučaju održavanja ili kvara mreže, da sustav ne ostane napajan u slučaju održavanja ili kvara. Ovim radom će se prikazati koordinaciju zaštite FN elektrane s ostatkom mreže. Da bi štitili elektroenergetski sustav potrebni su uređaji zaštite. U elektroenergetskom sustavu koriste se osigurači koji su najjednostavniji elementi zaštite te releji koji su složeniji elementi zaštite. Releji se koriste u svim naponskim razinama elektroenergetskog sustava. Kako se razvijala relejna tehnologija današnji releji omogućuju lokalno i daljnsko upravljanje, nadzor svih elemenata sustava što te na taj način poboljšava i olakšava upravljanje sustava.

### 1.1. Zadatak

Radom će se objasniti zaštitni uređaji, njihova uloga, zahtjevi koji se postavljaju za zaštitu elektroenergetske mreže kao i zahtjevi koji se postavljaju za fotonaponske elektrane od strane distributera el. energije HEP ODS. Koordinacija zaštite prikazat će se pomoću programskog paketa DIgSILENT PowerFactory na primjeru fotonaponske elektrane snage 390 kW. Pokazat će se kako se osigurava selektivnost zaštite od srednjenaponske mreže do niskonaponskog spoja fotonaponske elektrane.

## 2. Zaštite distributivne mreže

Fotonaponska elektrana se spaja na postojeću mrežu koja ima već svoju dimenzioniranu zaštitu, stoga, da bi se znalo kako se mora koordinirati zaštita FN elektrane mora se znati zaštita distributivne mreže.

Elektroenergetski sustav podložan je smetnjama i kvarovima od kojih je potrebno zaštititi njegove komponente. Pravilnim postavkama zaštite štite se komponente sustava i cjelokupni sustav te se osigurava isključenje samo dijelova mreže koji su pogođeni kvarom dok ostatak mreže ostaje pod naponom.

Osnovna svojstva zaštite su:

- Brzina djelovanja zaštite
- Selektivnost zaštite
- Osjetljivost zaštite
- Pouzdanost zaštite

Jedna od najvažnijih stvari je brzina djelovanja zaštite. Što bržim djelovanjem zaštite eliminirat će se kvarovi u mreži i na taj način smanjiti ili potpuno izbjeći razarajuća mehanička i termička djelovanja struje kvara. U suvremenim elektroenergetskim mrežama preporučuju se sljedeće vrijednosti isklopa kvarova:

- Mreže napona 400 000 V – vrijeme isklopa je reda  $t_k = 50 - 120$  ms
- Mreže napona 110 000 i 220 000 V – vrijeme isklopa je reda  $t_k = 150 - 300$  ms
- Mreže napona 10 000, 20 000 i 35 000 V – vrijeme isklopa je reda  $t_k = 1 - 2$  s

Selektivnost zaštite je mogućnost automatskog isključivanja i izoliranja samo onih elemenata mreže koji su pogođeni kvarom dok preostali dio sustava nastavlja s normalnim radom. Selektivnost se postiže na sljedeće načine:

- Podešenjem vremena zaštite u stupnjevima od krajnje štićenog dijela mreže do izvora napajanja
- Dodatnim kriterijima (fazni kut, smjer snage)
- Specijalnim relejima s ograničenim zonama djelovanja (diferencijalni releji)

Osjetljivost releja je svojstvo kojim se osigurava sigurnost djelovanja prema podešenoj vrijednosti. Prorada releja mora se odviti za sve kvarove unutar podešene vrijednosti djelovanja. Osjetljivost nadstrujnih releja mora biti takva da relej pouzdano djeluje na kvarove

u kojima se javljaju minimalne struje kvara, a ne smije djelovati kod maksimalnih pogonskih struja tereta.

Pouzdanost relejne zaštite također je vrlo bitan kriterij kada se govori o kvaliteti djelovanja zaštite. Dok nema kvarova releji su u stanju mirovanja, što može biti i duži vremenski period, a kod pojave kvara moraju pouzdano izvršiti isključenje. U slučaju nepotrebnog djelovanja ili zatajenja zaštite posljedice mogu biti katastrofalne.

## 2.1. Zaštitni uređaji

Uređaji koji se koriste za zaštitu elektroenergetske mreže su:

- Osigurači
- Releji (nadstrujni, distantni, nadnaponski, podnaponski)

### 2.1.1. Osigurači

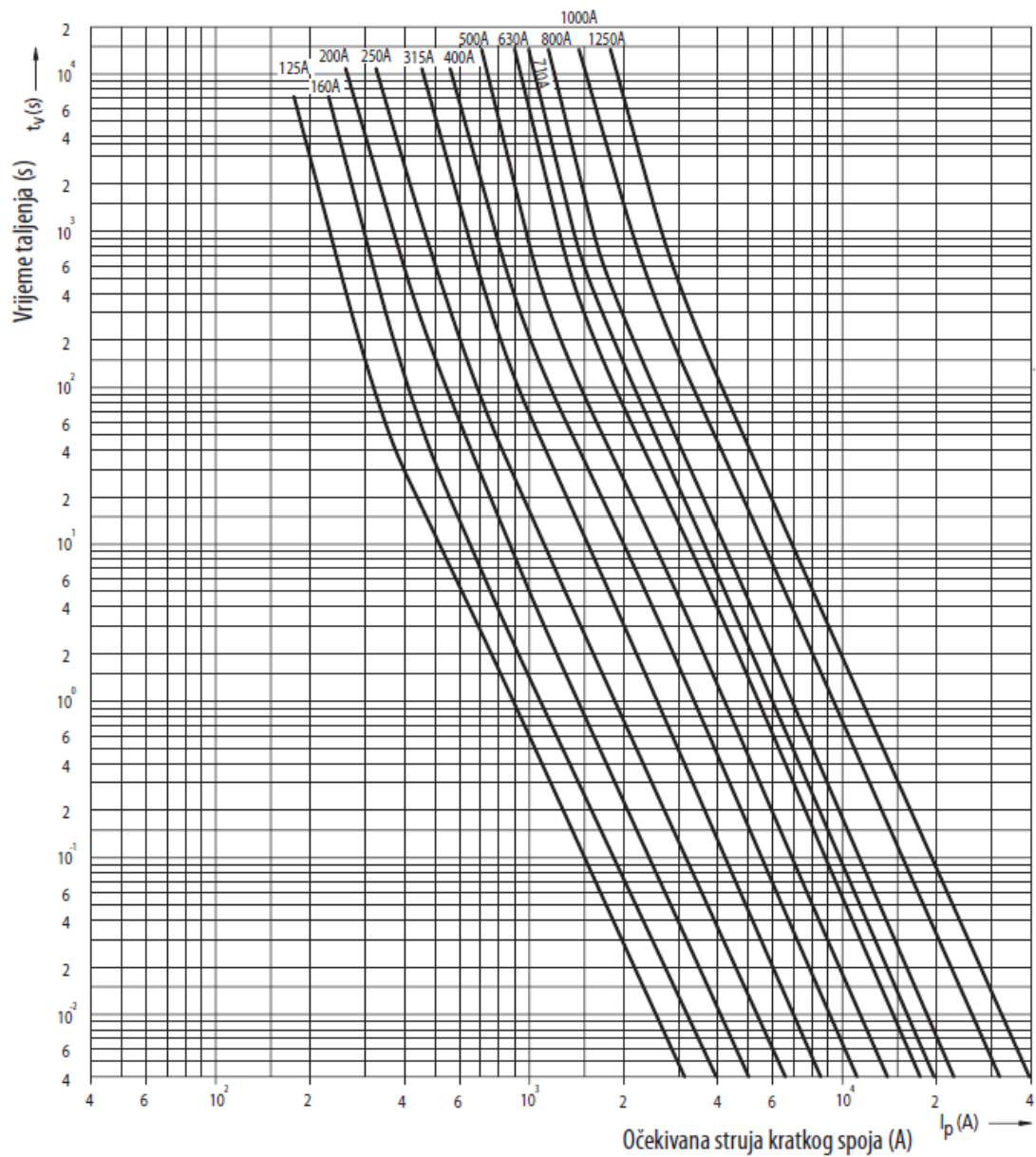
Osigurači su najstariji i najjednostavniji oblik zaštite koji se koristi u NN mrežama, a grade se i za postrojenja napona do 35 000 V. Osigurači štite vodove termički, štite ih od pregrijavanja i kratkog spoja.

Osnovni parametri osigurača:

- $U_n$  – nazivni napon
- $I_n$  – nazivna struja
- $I_{gr}$  – granična struja isključenja
- $t(I)$  – strujno-vremenska karakteristika
- Nazivni napon određuje konstrukciju, oblik i dimenziju osigurača.
- Nazivna struja se određuje iz tipskih ispitivanja maksimalne i minimalne struje pregaranja u toku jednog sata  $I_{ispmax} = (1,6 - 2,1)I_n$   $I_{ispmin} = (1,3 - 1,5)I_n$
- Granična struja isključenja je ona koju osigurač može prekinuti bez oštećenja (prskanja, eksplozije) određena je s razvijenom toplinom  $Q = I^2 R l$  u rastalnoj žici

Izbor osigurača vršimo prema idućim parametrima:

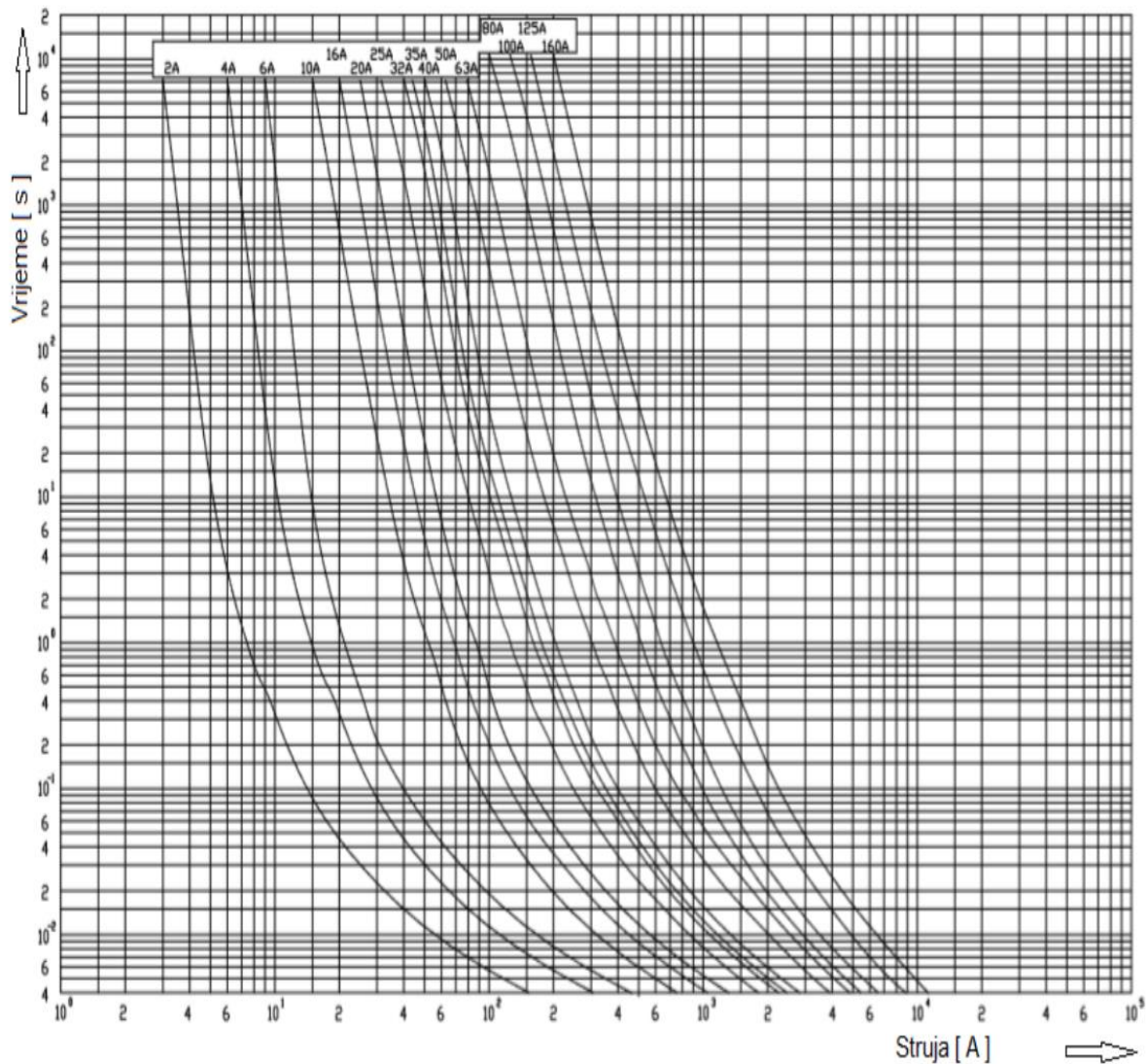
- Napon osigurača  $U_n \geq U_{mreže}$
- Granična struja  $I_{gr} \geq k_s I_{kmax}$
- Nazivna struja  $I_n \geq I_{polmax}$   $I_n \geq I_{kratkotrajno}$   $I_n \cong I_{td}$
- Trajno dopušteno strujno opterećenje voda



Slika 2.1. Porodica karakteristika niskonaponskih osigurača [12]

Nazivne vrijednosti struje za NN osigurače:

$I_n (A) = 2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 35, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 300, 400, 630, 800, 1000, 1250.$



Slika 2.2. Porodica karakteristika viskonaponskih osigurača [12]

U srednjenaponskim mrežama postoje osigurači za napone 10 000, 20 000, 35 000 V za zaštitu trafostanica i manje značajnih izvoda.

Nazivne vrijednosti struje za VN osigurače:

$I_n (A) = 2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 35, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200.$

### 2.1.2. Releji

Zadaća releja je trajno nadzirati karakteristične veličine štice mreže i spriječiti ih ili svesti na minimum posljedice nastale uslijed kvarova i drugih neželjenih pojava u elementima elektroenergetskog sustava. Zadatak releja je u što kraćem vremenskom roku detektirati i isključiti dio mreže koji je u kvaru ili opasnom pogonskom stanju da bi se zaštitio ostatak elektroenergetskog sustava te da bi sustav nastavio normalno raditi. Zaštita relejima predstavlja



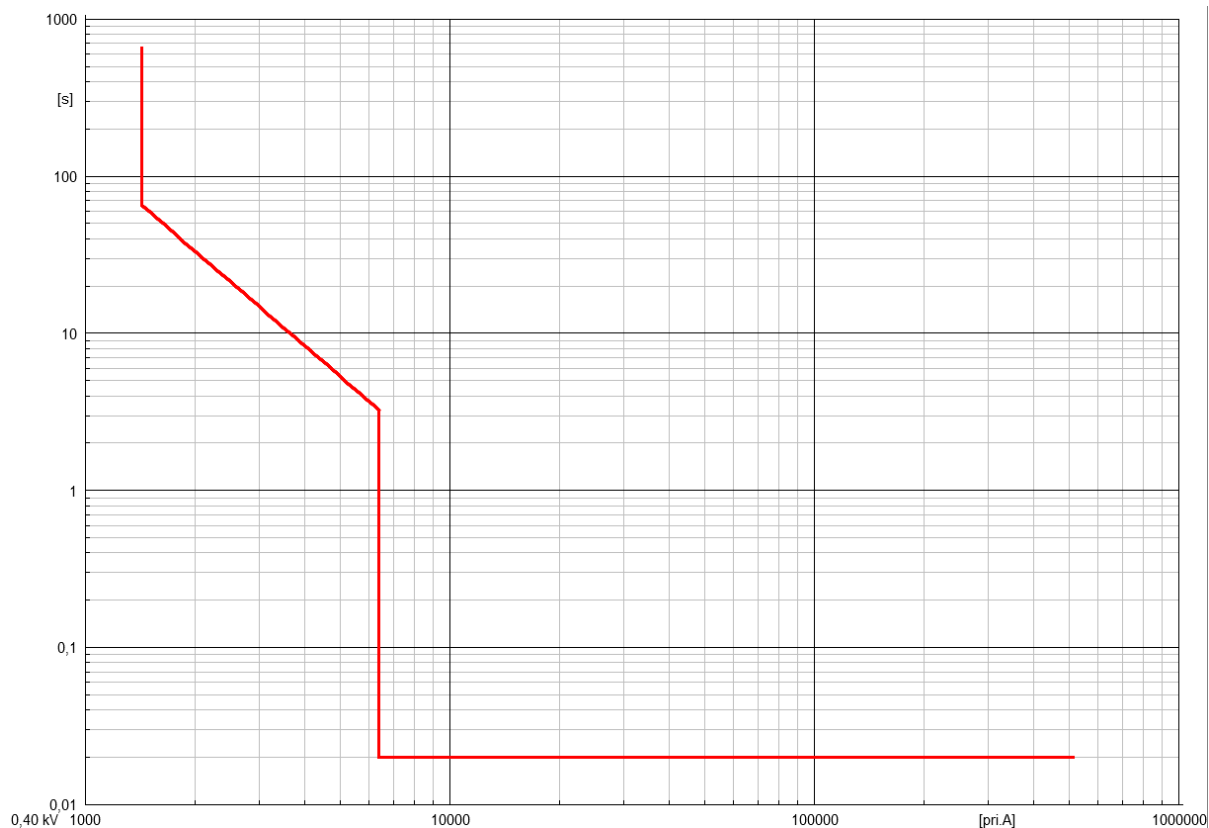
automatizirani skup uređaja za zaštitu i nadzor elemenata sustava. Relejni uređaji predstavljaju poseban podsustav elektroenergetskog sustava čiji je značaj vrlo bitan za pouzdan i siguran rad EES-a. Relejna zaštita djeluje na isklon prekidača i drugih sklopnih uređaja, a brzina relejne zaštite za isklon kvarova je iznad vremena isklopa kvara kod najbržih prekidača koje iznosi oko 40 – 60 ms.

Pomoću releja trajno se kontroliraju električne ili neelektrične veličine koje se unaprijed podešavaju na zadanu vrijednost te u slučaju njene nagle promjene relej izaziva isto tako brzu promjenu u jednom ili više signalnih ili komandnih krugova. Neke od neelektričnih veličina su: tlak, broj okretaja, brzina; neke od električnih veličina su: frekvencija, napon, otpor, snaga, struja. Podešavanje releja je takvo da djeluju na vrijednosti manje ili veće od podešene.

Releje dijelimo prema vrsti kontrolirane veličine:

- Naponski releji – djeluju kad napon padne ili prekorači zadanu vrijednost
- Strujni releji – djeluju kad struja padne ili premaši zadanu vrijednost
- Otporni releji – djeluju na vrijednost otpora
- Učinski releji – djeluju na smjer ili iznos snage
- Frekvencijski releji – djeluju na pad ili porast frekvencije
- Mehanički releji – djeluju kad mehanička veličina (pomak, brzina strujanja, broj okretaja) padne ili prekorači zadanu vrijednost
- Termički releji – djeluju kad temperatura prekorači zadanu vrijednost

U zaštiti elektroenergetskog sustava najčešće se koriste nadstrujni sekundarni releji jer su osjetljiviji, točniji i sigurniji. Njihova prednost je veća osjetljivost, točnost, brzina djelovanja, mogućnost ispitivanja i zamjene pri normalnom pogonu primarnog strujnog kruga. Uključuju se u sekundarni strujni krug preko strujnih mjernih transformatora (SMT). Nazivne sekundarne struje SMT-a su 1 A i 5 A.



Slika 2.3. LS karakteristika releja

Na slici 2.3. je karakteristika releja Siemens 36T 1600 A sa LS karakteristikom s podešenjima:

- $I_n = 1600 \text{ A}$
- $I > 1350 \text{ A}$
- $I \gg 6400 \text{ A}; t = \gg 0,02\text{s}$

U današnje vrijeme od relejne zaštite se osim njihove osnovne zaštitne uloge traži i niz drugih mogućnosti, što u konačnici dovodi do smanjenja broja potrebnih ostalih uređaja, a posljedično tome i smanjenje troškova održavanja opreme. Najvažnije mogućnosti releja su nadzor i upravljanje sklopnim aparatima, lokalni i daljinski prikaz svih trenutno mjenjenih veličina, snimanje poremećaja električnih veličina za vrijeme kvarova, mjerenje energije, mjerenje THD-a, lokator kvara te prijenos podataka prema SCADA sustavu.

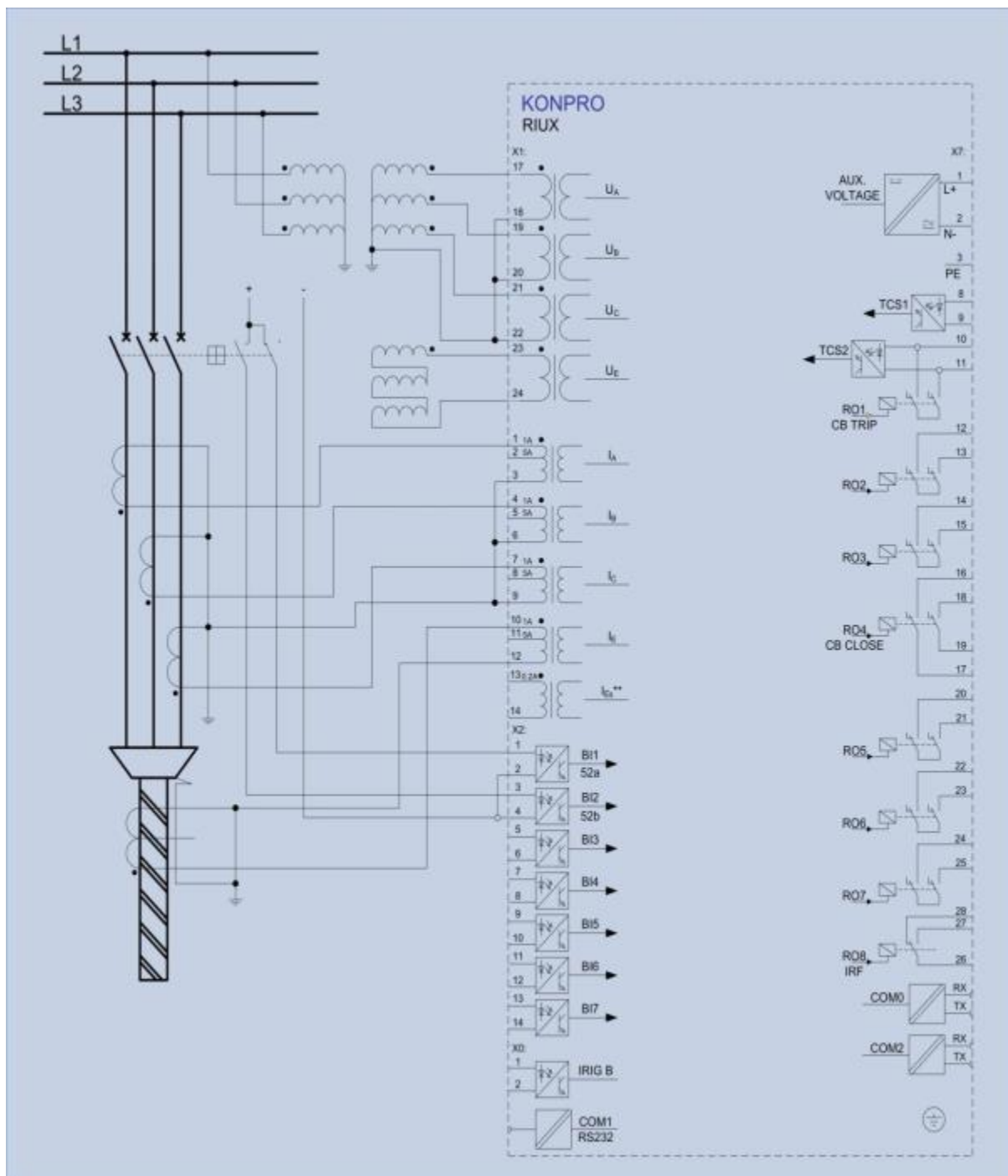
Releji mogu imati više različitih zaštitnih funkcija, primjer takvog releja je RIUX. RIUX je relej tvrtke Končar koja je dugogodišnji proizvođač releja i zaštitnih uređaja kojoj je sjedište u Zagrebu. RIUX tip releja je predvodnik KONPRO generacije zaštitnih uređaja, namijenjene zaštiti sredjenaponskih energetskih postrojenja u industriji i distribuciji.

Funkcije koje nudi RIUX relej su prikazane u tablici 2.1.

Tablica 2.1 Zaštitne funkcije RIUX relej [5]

ANSI oznaka	IEC oznaka	Funkcija
50 – Phase OC	$I_{>}/>>/>>>$	Nadstrujna zaštita s <i>definite time</i> karakteristikom
51 – Phase OC	$I_{>}$	Nadstrujna zaštita s <i>inverse time</i> karakteristikom
50N – Earth OC	$I_{E>}/>>/>>>$	Zemljospojna zaštita s <i>definite time</i> karakteristikom
51N – Earth OC	$I_{E>}$	Zemljospojna zaštita s <i>inverse time</i> karakteristikom
67DT – Dir. OC	$I_{dir>}/>>/>>>$	Usmjerena nadstrujna zaštita s <i>definite time</i> karakteristikom
67IT – Dir. OC	$I_{dir>}$	Usmjerena nadstrujna zaštita s <i>inverse time</i> karakteristikom
67NDT – Dir. OC	$I_{Edir>}/>>/>>>$	Usmjerena zemljospojna zaštita s <i>definite time</i> karakteristikom
67NIT – Dir. OC	$I_{Edir>}$	Usmjerena zemljospojna zaštita s <i>inverse time</i> karakteristikom
67Ns – Dir. OC	$I_{EE>}/>>$	Osjetljiva zemljospojna zaštita
59 – Phase OV	$U_{>}$	Prenaponska zaštita
59N – Earth OV	$U_{E>}$	Zemljospojna (naponska) zaštita
27 – Phase UV	$U_{<}$	Podnaponska zaštita
46DT – Neg. Seq.	$I_{2>}/>>$	Zaštita od inverzne komponente struje s <i>definite time</i> karakteristikom
46IT – Neg. Seq.	$I_{2>}$	Zaštita od inverzne komponente struje s <i>inverse time</i> karakteristikom
* 46DP – Unbalance	$I_{ub>}$	Zaštita od prekida faze
* 49F – Thermal Ov.	$3I_{th>}$	Zaštita od termičkog preopterećenja kabela
81 - Freq. O/U	$f_{>}, f_{<}$	Nad/Podfrekventna zaštita
50BF		Zaštita od otkaza prekidača
79 - Auto recl.		Automatski ponovni uklop

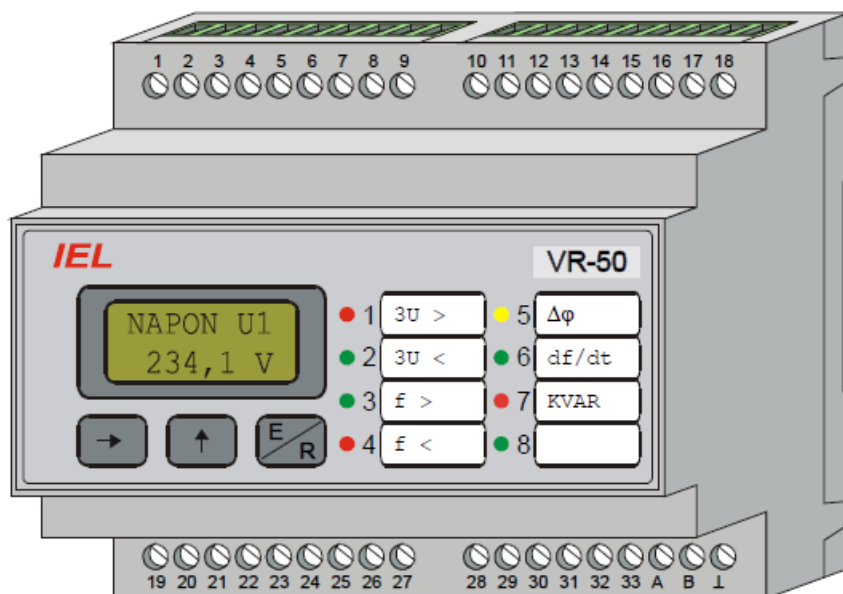
Prikaz spajanja RIUX releja na mjesto koje štiti je prikazan na slici 2.5.



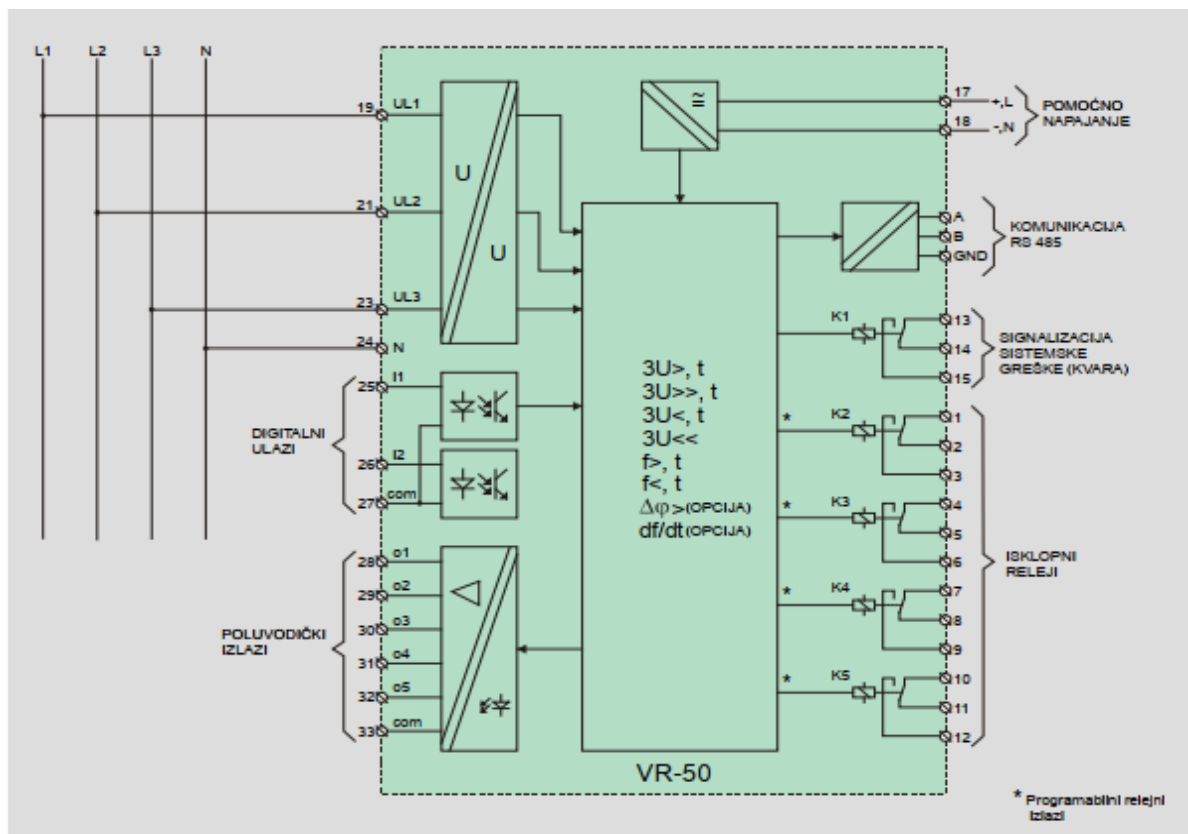
Slika 2.5. Shema spajanja osnovnog tipa RIUX releja na mjerne transformatore uz praćenje stanja prekidača [5]

U fotonaponskim elektranama postoje i  $U/f$  zaštite, a u diplomskom radu se radi s relejem VR–50 tvrtke IEL. VR–50 je naponski relej koji se koristi za nadzor sabirnica u srednjenaponskoj i niskonaponskoj mreži. Koristi se za zaštitu i nadzor generatora, transformatora i priključnih obnovljivih izvora energije na mrežu. Osnovnu zaštitu koju relej ostvaruje je podnaponska i/ili

nadnaponska te podfrekventna i/ili nadfrekventna zaštita. VR-50 koji se ugrađuju za zaštitu obnovljivih izvora energije imaju funkcije detekcije vektora pomaka i  $df/dt$  zaštitu radi sprječavanja otočnog rada elektrane.



Slika 2.6. Relej IEL VR-50 [3]



Slika 2.7. Shematski prikaz priključka releja IEL VR-50 [3]

Tehničke karakteristike podešenja i proradnih vrijednosti za:

podnaponsku i nadnaponsku zaštitu su:

$U <, U >, U >> - 20 - 170\% U_n$  u koracima 1V

Podesivost vremenskog člana 0 – 50 s u koracima 0,01 s ili  $\infty$

Vrijeme starta, reseta zaštite – <50 ms

Histereza – 0,95

Točnost podešenja prorade – 1% od podešenja ili 1 V

Točnost vremenskog člana – 2% od podešenja ili 20 ms

podfrekventnu i nadfrekventnu zaštitu su:

$f <, f > - 40 - 68$  Hz u koracima 0,02 Hz

Podesivost vremenskog člana 0 – 50 s u koracima 0,01 s ili  $\infty$

Vrijeme starta, reseta zaštite – <100 ms

Histereza – 1,05

Točnost frekvencije – 10 mHz

Točnost vremenskog člana – 2% od podešenja ili 20 ms

Zaštita od otočnog pogona:

Detekcija vektora pomaka –  $\Delta\varphi$  5 do 45°, vrijeme 40 ms

$df/dt$ , ROCOF – 0,1 – 5 Hz/s, korak 0,02 Hz

podesivost vremenskog člana – 0,1 – 50 s, korak 20ms

### 3. FN Elektrane

Fotonaponske ili sunčane elektrane su postale sve značajniji izvori obnovljive energije koji koriste izravnu Sunčevu svjetlost za pretvorbu u električnu energiju preko fotonaponskih panela. Fotonaponski paneli proizvode istosmjernu energiju te ih se veže u nizove koji se spajaju na inverter. Inverteri istosmjernu energiju pretvaraju u izmjeničnu koja se predaje u mrežu ili se koristi za vlastitu potrošnju. Fotonaponski paneli mogu biti postavljeni na krovove zgrada, ali mogu biti postavljeni i na zemlji tj. na nosačima panela iznad zemlje.

Fotonaponske elektrane se dijele na mrežne i otočne. Glavna razlika je u pohrani energije; kod otočnih fotonaponskih elektrana energija se mora skladištiti u baterije ili odmah trošiti, a višak energije se ne može iskoristiti ukoliko nema pohrane, dok kod mrežnih fotonaponskih elektrana proizvedena se energija troši, a višak energije se predaje u mrežu. Naravno, iz mreže se može povlačiti potrebna energija za potrošnju kupca ako elektrana ne radi ili proizvodi manje od potreba kupca.

Fotonaponske elektrane dijele se s obzirom na instaliranu snagu na sustave do 500 kW koji se spajaju na niskonaponsku mrežu i na > 500 kW koje se spajaju na srednjenaponsku mrežu. Dijele se na integrirane i neintegrirane. Integrirane fotonaponske elektrane su one koje su postavljene na objekte te se one grade prema konceptu kupac s vlastitom potrošnjom. Takav model omogućuje smanjenje troškova električne energije gdje se veći dio proizvodnje troši za vlastite potrebe, a ostatak se isporučuje u distribucijsku mrežu.

Primjer integriranih FNE:

- SE Osijek 200 kW na lokaciji TE-TO Osijek
- SE Plomin 370 kW na lokaciji TE Plomin
- SE Sisak 215 kW na lokaciji TE-TO Sisak
- SE Zagreb 212 kW na lokaciji TE-TO Zagreb



*Slika 3.1. Integrirana FNE Osijek[8]*

Neintegrirane solarne elektrane su one koje se uobičajeno postavljaju na zemljane površine i sva njihova proizvodnja ide u mrežu tj. nemaju vlastite potrošnje.

Primjer neintegriranih FNE:

- SE Obrovac 7,35 MW (instalirano 8,7 MW) na lokaciji Zaton Obrovački
- SE Kosore Jug (Vrlika) 2,1 MW na lokaciji Radne zone Kosore
- SE Kaštelir 2 MW na lokaciji Sabadin na području općine Kaštelir-Labinci u Istri
- SE Vis 3,5 MW smješтана je na brdu Griževa glavica u blizini naselja Žena Glava. Uz SE je instaliran baterijski spremnik koji se nalazi u probnom radu. Baterijski spremnik snage 1 MW i kapaciteta 1,44 MWh koristi se za pružanje usluga uravnoteženja elektroenergetskog sustava te u svrhu očuvanja stabilnosti na otoku.



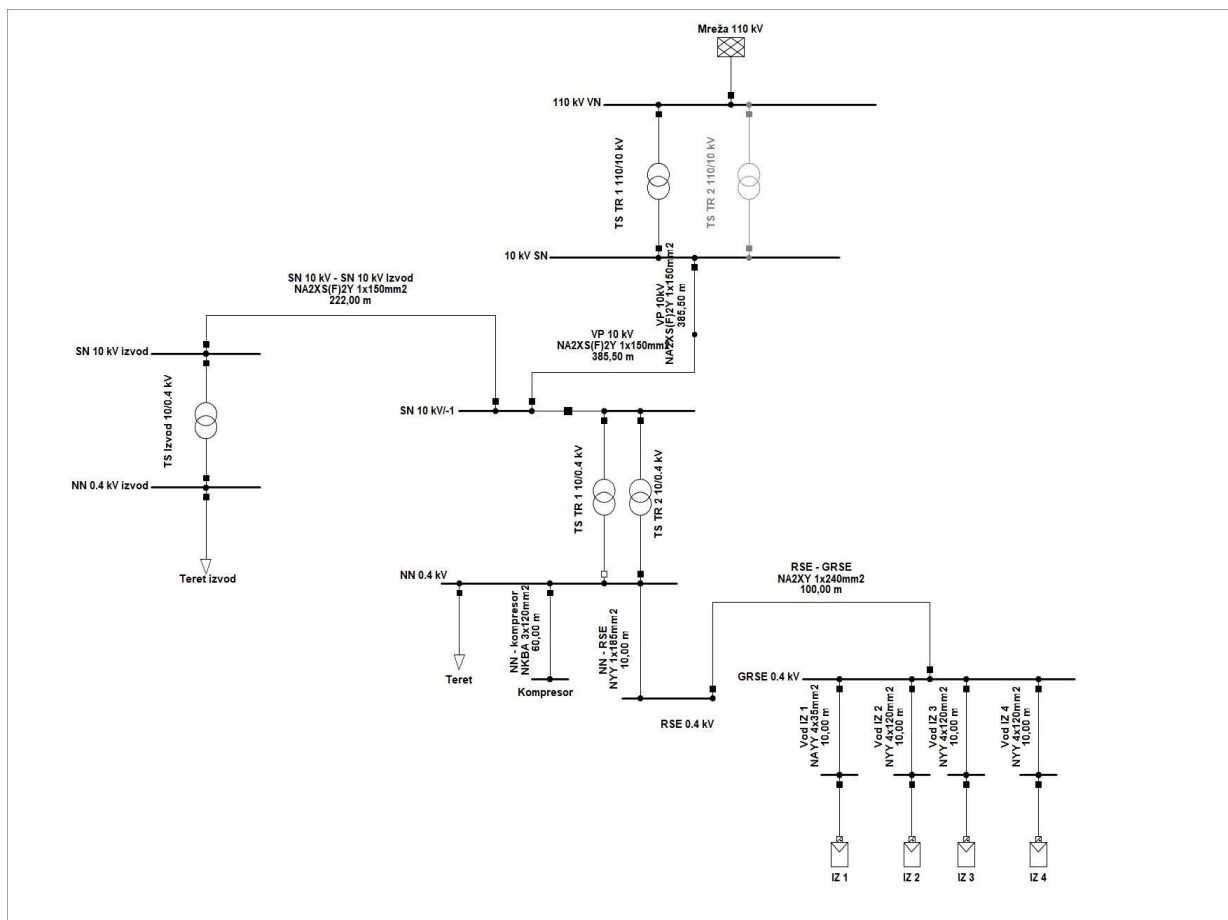


*Slika 3.2. Neintegrirana FNE Vis [9]*

## 4. Koordinacija zaštite FNE 390 kW

Koordinacija zaštite FNE odradit će se pomoću programskog paketa PowerFactory DIgSILENT. U njemu će se modelirati dio mreže na koju se priključuje FNE snage 390 kW te prikazati djelovanje zaštite na simulirane kvarove u mreži koji će se raditi po HEP-ovim smjericama za izradu Elaborata podešenja zaštite (EPZ). Računalno se simuliraju kvarovi i poremećaji primjerenih paralelnom pogonu mreže i instalacije FNE, onih stvarno mogućih u pogonu, a s ciljem prepoznavanja vrijednosti karakterističnih veličina za djelovanje zaštite i izbor postavki zaštite s kojim će se ostvariti zahtjevi selektivnosti, brzine, osjetljivosti i rezerve. Kako FNE u mreži mijenja električne veličine utjecajne na rad zaštite u mreži, istraživanja su neophodna za izbor optimalnih postavki postojećih zaštita u mreži, onih koje su na sučelju elektrane i mreže kao i u samoj elektrani. Za ispitivanje zaštitnih uređaja u mreži se simuliraju 3FKS, 2FKS, 1FKS na više mjesta u mreži uz simuliranje tih kvarova simulira se i otočni pogon kao i APU.

Model mreže na kojemu će se raditi koordinaciju zaštite prikazan je na slici 4.1.



Slika 4.1. Model mreže

Simulirati će se idući kvarovi i otočni pogon po HEP smjernicama EPZ-a i prikazati tražene dijagrame:

#### Kvar 1

- **Vrsta i mjesto kvara:** 3f, 2f i 1f kratki spoj na SN vodu koji napaja korisnika mreže
- Karakteristične veličine:**
- tijek promjena vrijednosti  $I_{ks}$  koju daje elektrana prikazano na mjestu za odvajanje elektrane od mreže,
  - tijek promjena vrijednosti  $I_{ks}$  koju prema mjestu kvara daje nadređena mreža,
  - kod svih kratkih spojeva tijek vrijednosti faznih napona  $U_{pr}$  (može na jednom dijagramu) u elektrani i na mjestu za odvajanje elektrane od mreže.
  - tijek promjena vrijednosti  $I_0$  i  $U_0$

#### Kvar 2

- **Vrsta i mjesto kvara:** 3f, 2f i 1f kratki spoj na jednom od izvoda u instalaciji korisnika mreže
- Karakteristične veličine:**
- tijek promjena vrijednosti  $I_{ks}$  koju daje elektrana prikazano na mjestu za odvajanje elektrane od mreže,
  - tijek promjena vrijednosti  $I_{ks}$  koju prema mjestu kvara daje nadređena mreža,
  - kod svih kratkih spojeva tijek vrijednosti faznih napona  $U_{pr}$  (može na jednom dijagramu) u elektrani i na mjestu za odvajanje elektrane od mreže.

#### Kvar 3

- **Vrsta i mjesto kvara:** 3f, 2f i 1f kratki spoj na NN glavnim sabirnicama korisnika mreže
- Karakteristične veličine:**
- tijek promjena vrijednosti  $I_{ks}$  koju daje elektrana prikazano na mjestu za odvajanje elektrane od mreže,
  - tijek promjena vrijednosti  $I_{ks}$  koju prema mjestu kvara daje nadređena mreža,
  - kod svih kratkih spojeva tijek vrijednosti faznih napona  $U_{pr}$  (može na jednom dijagramu) u elektrani i na mjestu za odvajanje elektrane od mreže.

#### Kvar 4

- **Vrsta i mjesto kvara:** 3f, 2f i 1f kratki spoj na stezaljkama generatora/invertera

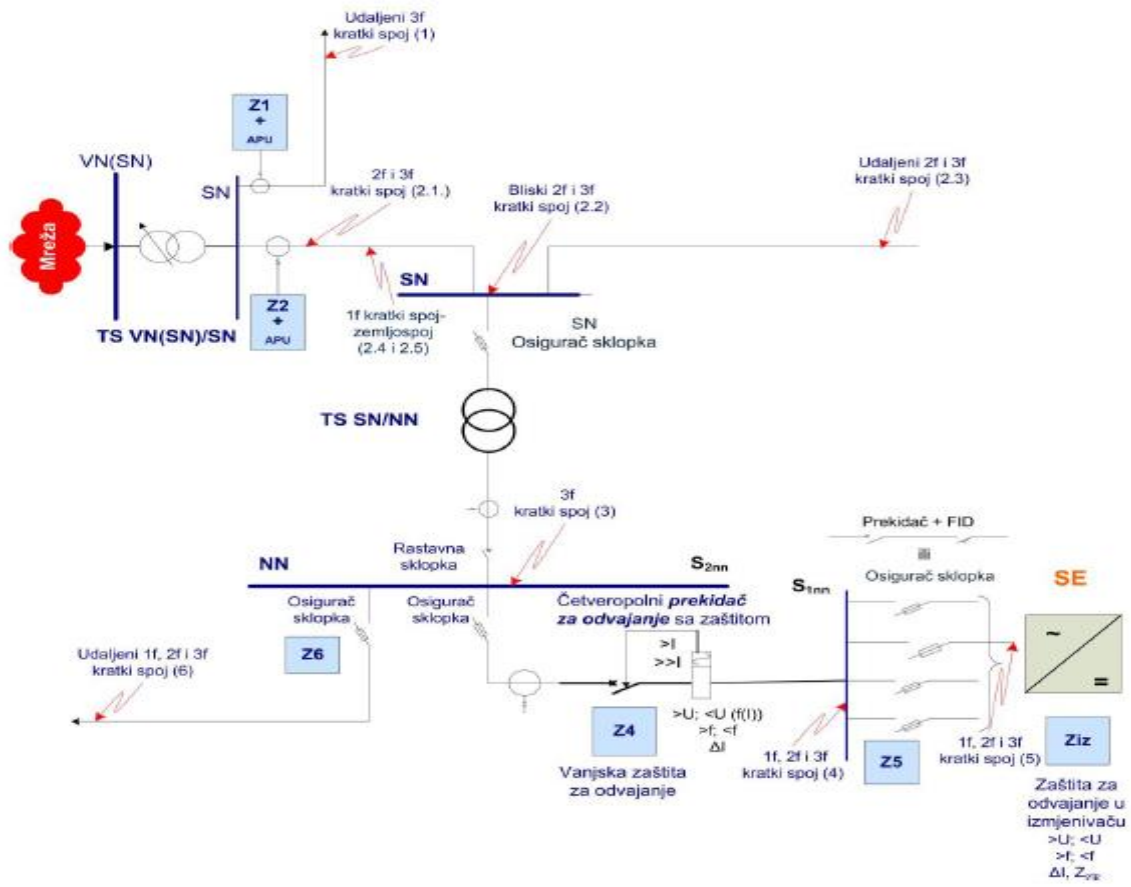
##### **Karakteristične veličine:**

- tijekom promjena vrijednosti  $I_{ks}$  koju daje elektrana prikazano na mjestu za odvajanje elektrane od mreže,
- tijekom promjena vrijednosti  $I_{ks}$  koju prema mjestu kvara daje nadređena mreža,
- kod svih kratkih spojeva tijekom vrijednosti faznih napona  $U_{pr}$  (može na jednom dijagramu) u elektrani i na mjestu za odvajanje elektrane od mreže.

#### Zaštita od otočnog pogona elektrane s dijelom mreže

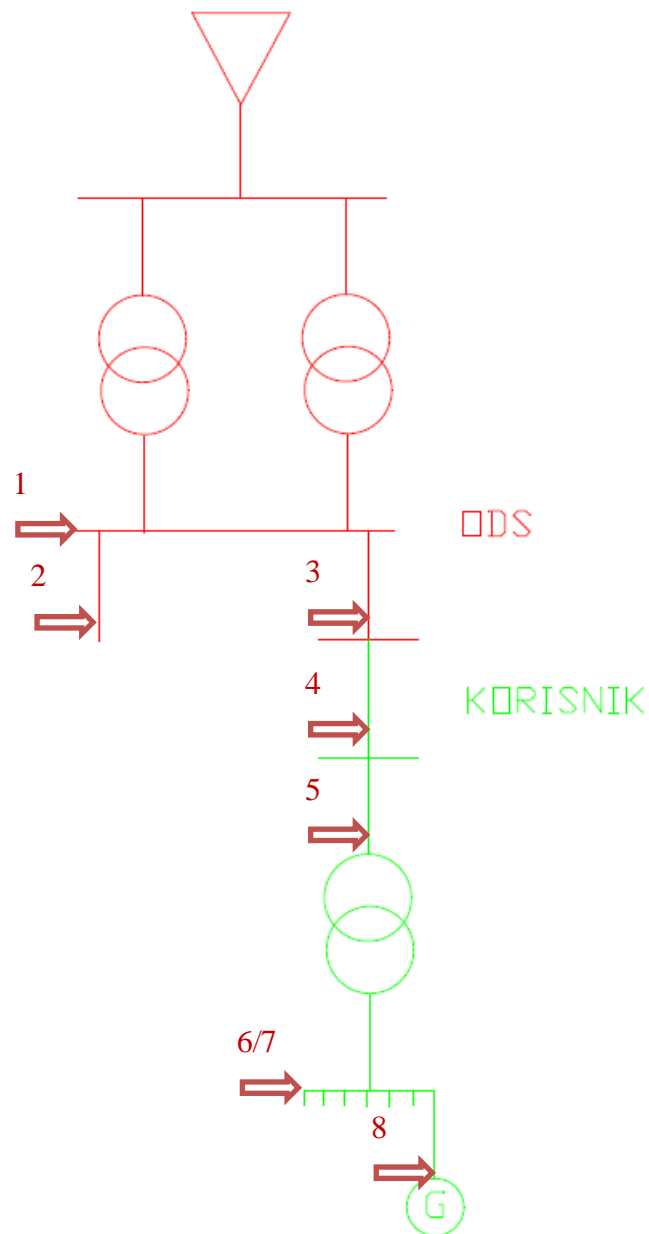
Utvrđiti sve mogućnosti nastanka otočnog pogona elektrane sa dijelom mreže obzirom na dozvoljena uklopna stanja razmatrane mreže. Ovisno od primijenjene metode za utvrđivanje otočnog pogona i od značajki primjene u elektrani, dati tumačenje ponašanja elektrane za slučaj ostanka u otočnom pogonu s dijelom mreže. Napraviti simulaciju otočnog pogona s dijelom distribucijske mreže u trenutku kad je raspoloživa električna snaga elektrane najbliža potrošnji otočne mreže te odrediti jesu li za otkrivanja otočnog pogona dovoljne pasivne metode ( $U$ ,  $f$ ,  $df/dt$ ,  $VS$ ) ili je potrebno koristiti dodatne komunikacijske ili slične metode u sustavu zaštite elektrane.

Smjernice za izradu Elaborata podešenja zaštite Sunčane elektrane snage > 100 kW priključene na niskonaponsku mrežu:



Slika 4.2. Generalni nacrt Kvarova SE > 100 kW [2]

Generalni nacrt mreže i korisnika mreže:



Slika 4.3. Generalni prikaz kvarova [2]

## 4.1. Zaštitni uređaji

Zaštita Z1 – 7SJ6226-5EB32-3HH3

$I >$	$I >>$	$I_E >$	$I_{EE} >$
300 A; DT; 0,5 s	1020 A; DT; 0 s	18 A; DT; 0,4 s	3 A; 0,2 s; $\sin \varphi$

U polju = VP 10 kV



Slika 4.4. Siemens 7SJ6226 [4]

ZAŠTITA Z2 – IKI 30

$I_n = 60$  A; EI – ekstremno inverzna karakteristika;  $v = 0,5$

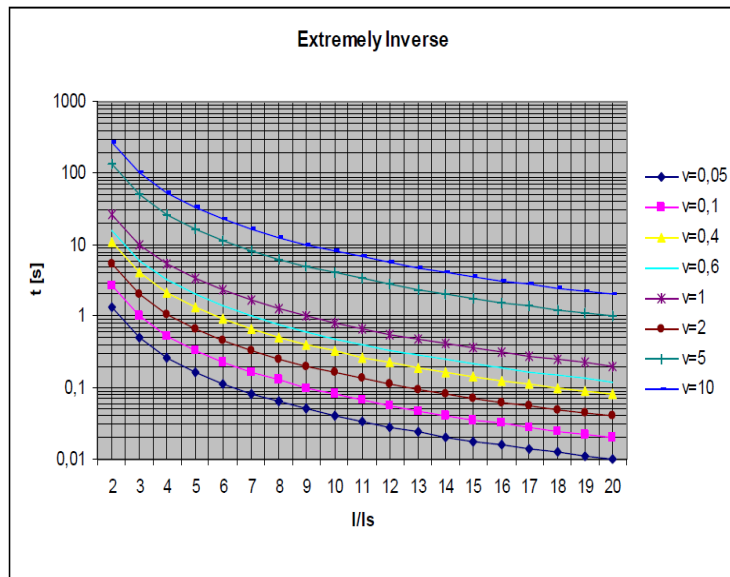
$$I > 1,1 \times I_n = 66 \text{ A}$$

$$I >> 20 \times I_n = 1200 \text{ A}$$

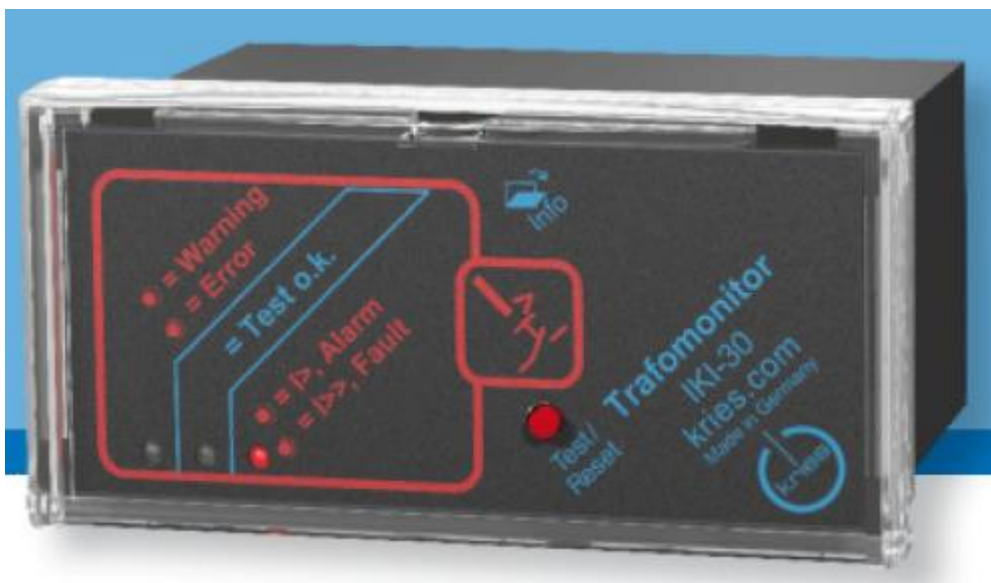
- U TS TR 1 SN 10 kV zaštita u susretnom postrojenju polja je izvedena s IKI 30 sa senzorom 30 A

Extremely Inverse:  
 $t = 80 \cdot v / ((I/I_s)^2 - 1)$

figure 3.2.2b



Slika 4.5. EI karakteristike IKI 30 [13]



Slika 4.6. IKI 30 [10]

ZAŠTITA Z3 – VN osigurač VV 125 A

- Osigurač-rastavna sklopka sa ugrađenim VV 125 A osiguračima.

ZAŠTITA Z4 – NN prekidač ABB SACE 57H 1600 AA

- $I > 0,9 \times I_n = 1440 \text{ A}; t = 6 \text{ s}$
- $I \gg 6 \times I_n = 9600 \text{ A}; t = 0,01 \text{ s}$



## ZAŠTITA Z5 – Qse osigurač NVO 4 x 200 A

- Osigurač-rastavna s prugama sa ugrađenim 4 x 200 A NVO osiguračima.

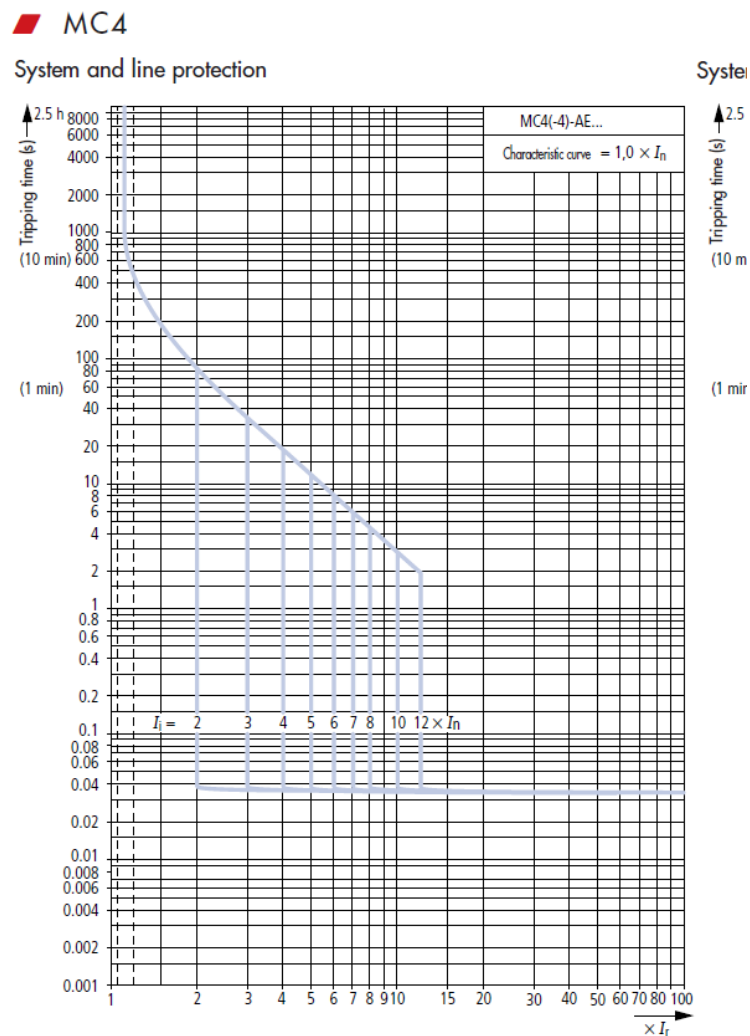
## ZAŠTITA Z11 – osigurač NVO 250 A

- Osigurač-rastavna s prugama sa ugrađenim NVO 250 A osiguračima.

## Prikaz postojeće zaštitena sunčanoj elektrani

## ZAŠTITA Z6 – NN prekidač Schrack M4 800 A s termomagnetskim relejem TM

- $I > 1 \times I_n = 800 \text{ A}$
- $I \gg 10 \times I_n = 8000 \text{ A}; t = 0,01 \text{ s}$



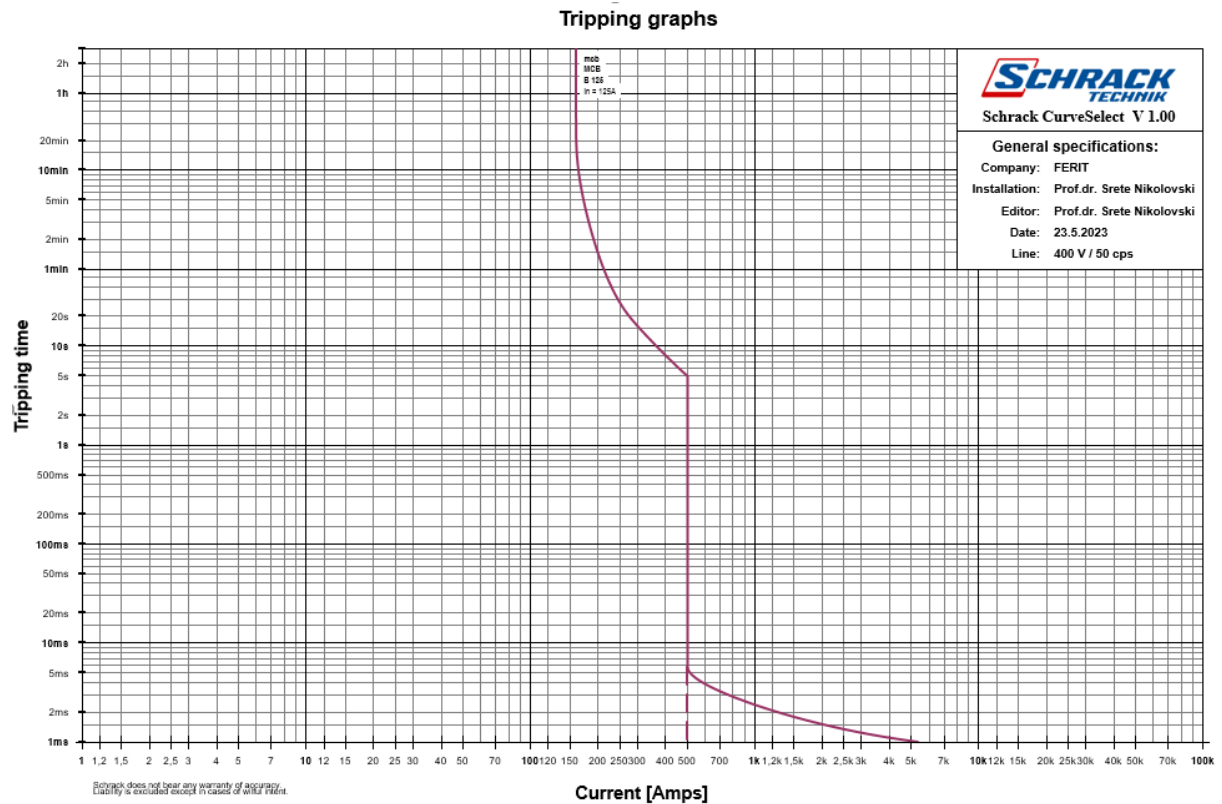
Slika 4.7. karakteristika prekidača Schrack M4 [11]

## ZAŠTITA Z7 – SCHRACK MCB B 125 A

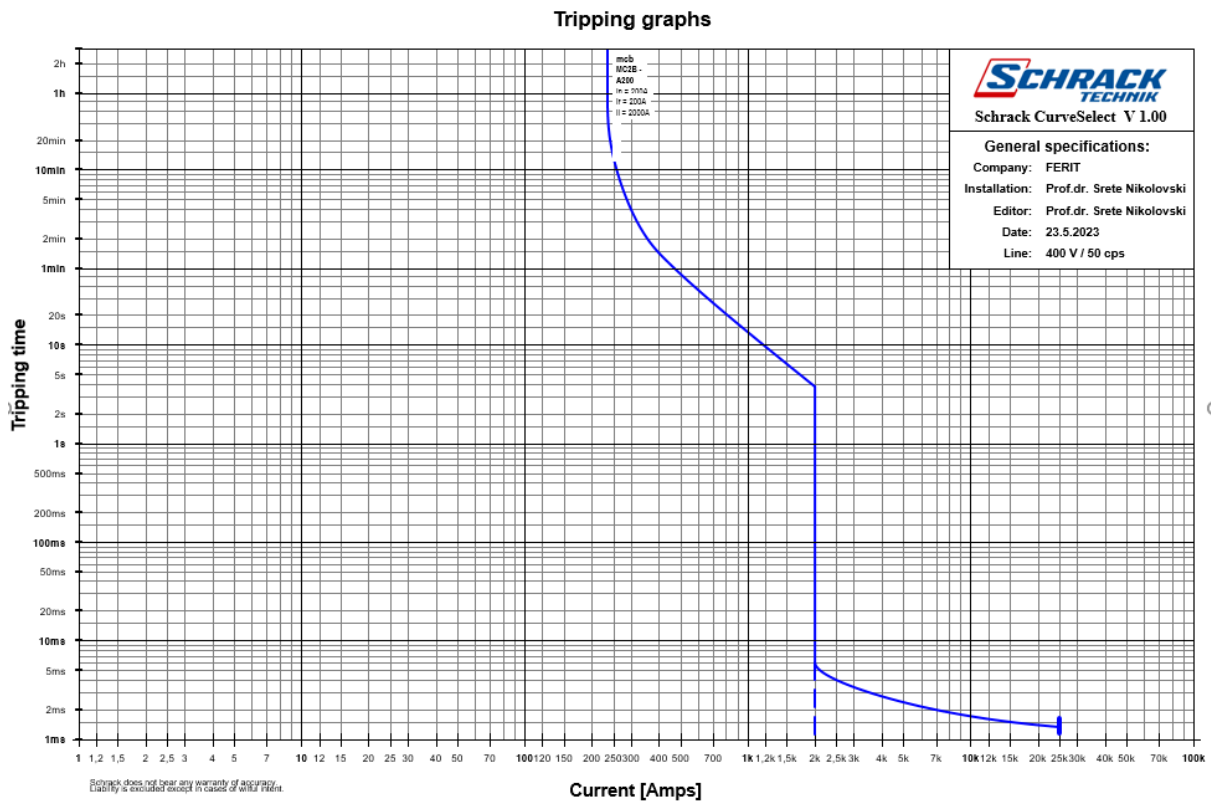
- Automatski prekidač Schrack tip MCB  $I_n = 125$  A sa RCD zaštitom 125 A/0,1 A

## ZAŠTITA Z8 – Z10 – SCHRACK MCB B 200 A

- Automatski prekidač Schrack tip MCB B  $I_n = 200$  A sa RCD zaštitom 200 A/0,1 A



Slika 4.8. karakteristike prekidača Schrack MCB 125 A

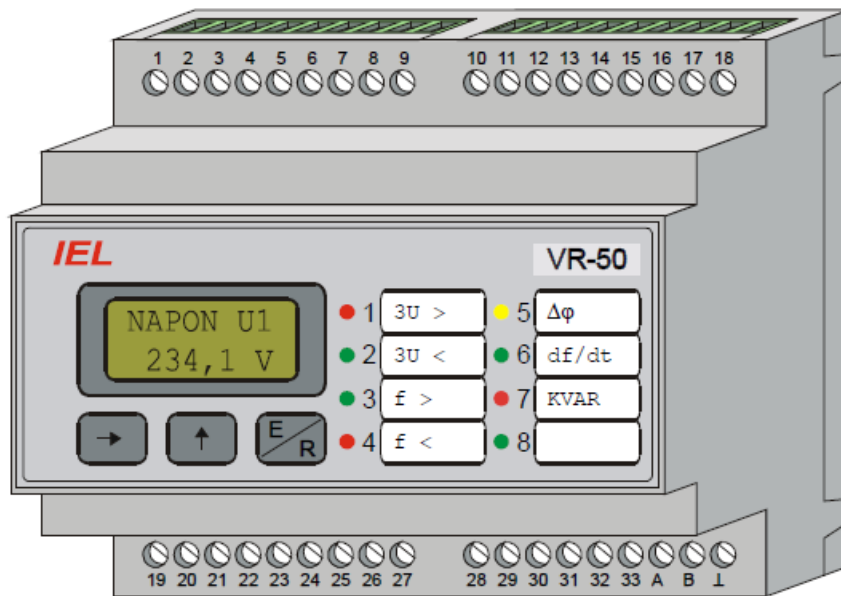


*Slika 4.9. karakteristike prekidača Schrack MCB 200 A*

Relej za odvajanje IEL NAPONSKI RELEJ VR-50  $U >$ ,  $U <$  Frekvencijski relej  $f >$ ,  $f <$

Podrešenje U/f zaštitnog releja :

- $U > 1,10$  p.u.; 60 s
- $U \gg 1,15$  p.u.; 1,5 s
- $U < 0,80$  p.u.; 1,5 s
- $f > 51,50$  Hz; 0,3 s
- $f < 47,50$  Hz; 0,3 s

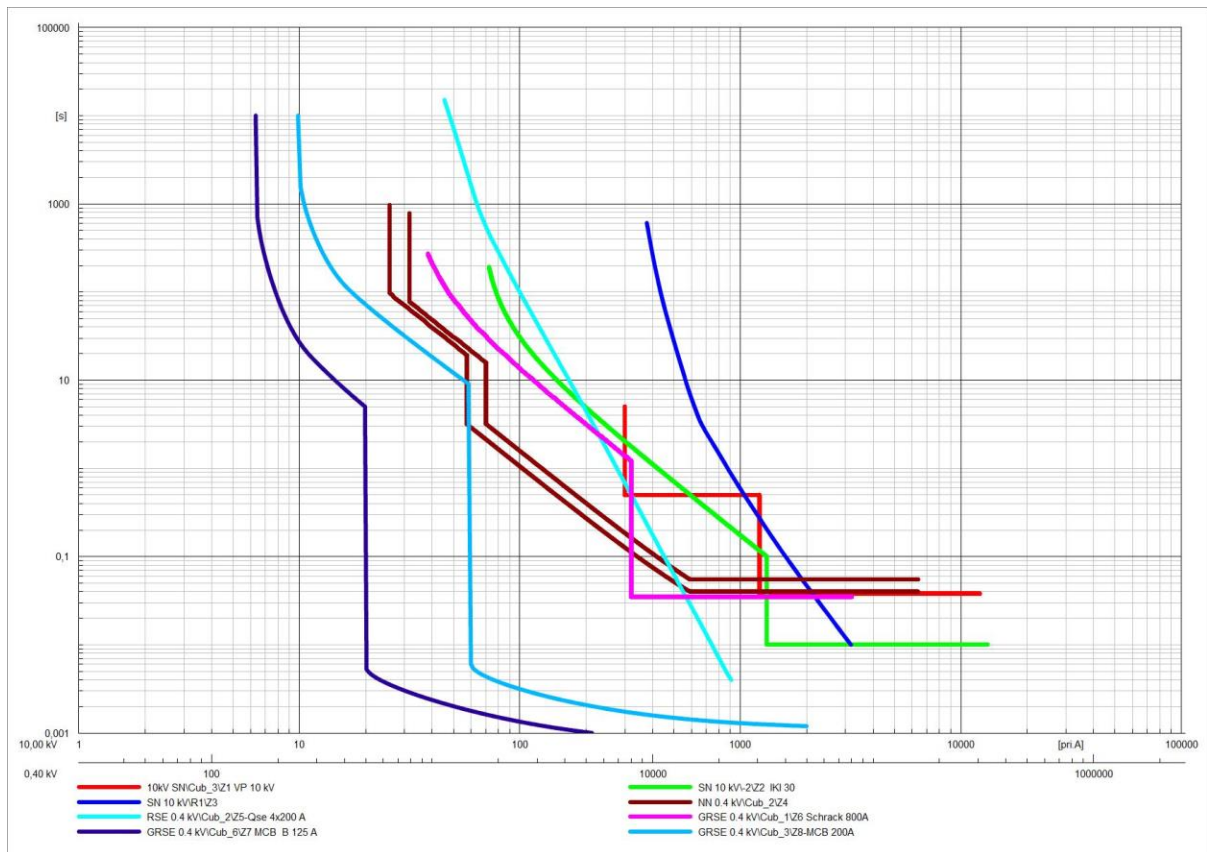


Slika 4.10. Relej IEL VR-50 [3]

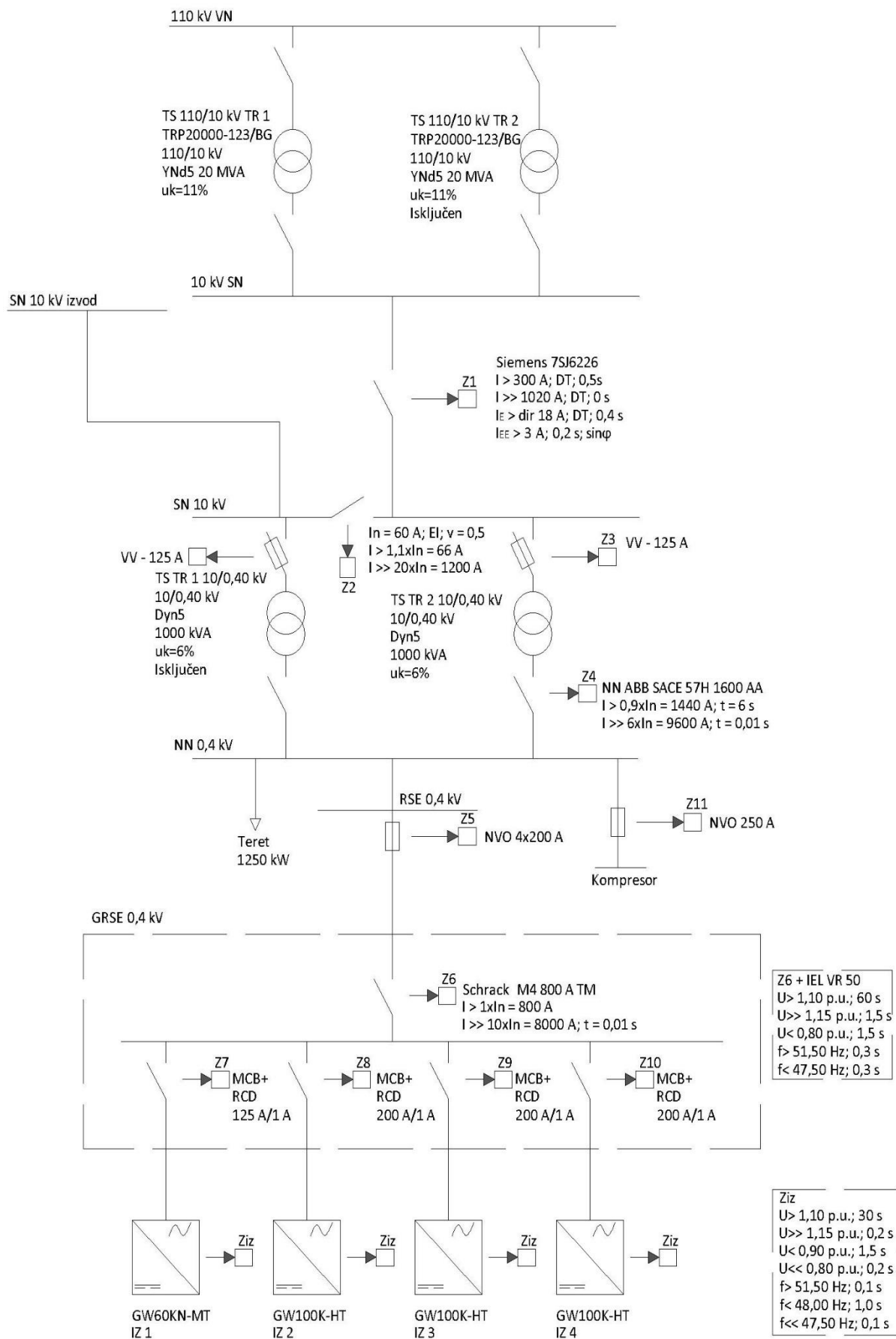
ZAŠTITA Ziz – Izmjenjivača:

- Zaštita u izmjenjivaču sa sljedećim podešenjem:
  - $U > 1,10$  p.u.; 30 s
  - $U \gg 1,15$  p.u.; 0,2 s
  - $U < 0,90$  p.u.; 1,5 s
  - $U \ll 0,80$  p.u.; 0,2 s
  - $f > 51,50$  Hz; 0,1 s
  - $f < 48,00$  Hz; 1,0 s
  - $f \ll 47,50$  Hz; 0,1 s

Na slici 4.11. su prikazane iskladne karakteristike zaštitnih elemenata, a slika 4.12. prikazuje nadomjesnu shemu s ucrtanim zaštitama koja će se koristiti za lakšu vizualnu preglednost u simulacijama.



Slika 4.11. Isklopne karakteristike



Slika 4.12. Nadomjesna shema sa ucrtanim zaštitnim elementima

## 5. Istraživanje kvarova u mreži bitnih za podešenje, djelovanje i izbor zaštite

Cilj istraživanja je utvrditi vrijednosti karakterističnih veličina različitih vrsta kvarova koji se mogu dogoditi:

- u izmjenjivačima (statički generator),
- na NN sabirnicama proizvođača,
- na NN vodu kojim se elektrana priključuje na mrežu
- na NN sabirnicama susretnog postrojenja SPMO (samostojeći priključno-mjerni ormar)
- na NN sabirnicama postrojenja TS SN/NN na koju se priključuje predmetna elektrana
- na NN stezaljkama transformatora u TS

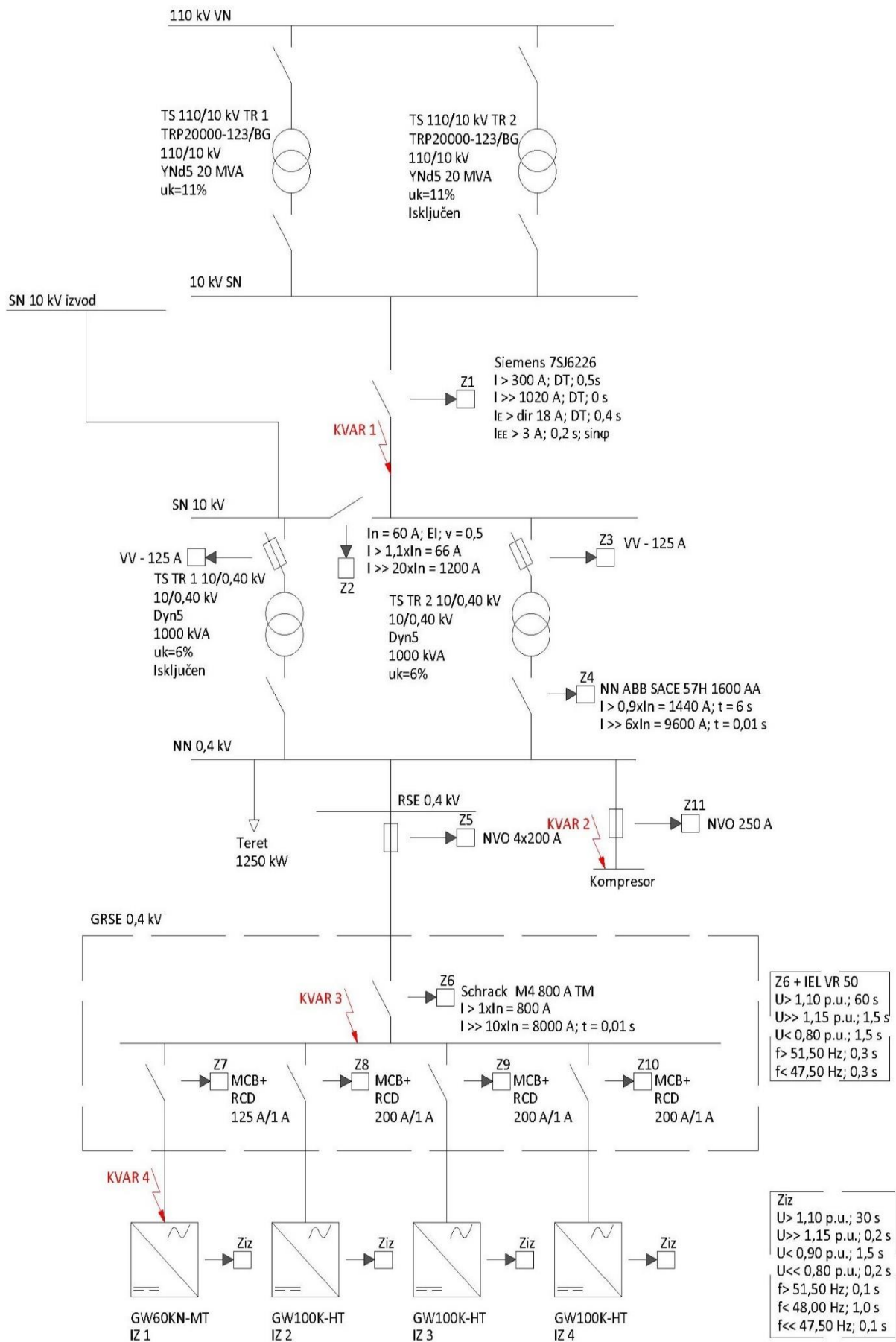
Na temelju vrijednosti karakterističnih veličina kvarova provjerava se valjanost podešenja djelovanja postojeće zaštite te na temelju istraživanja kvarova predlaže se promjena izborom drugih proradnih vrijednosti ili drugih karakteristika djelovanja zaštite kao i uvođenje mogućnosti drugih zaštita. Istraživanje obuhvaća djelovanje odgovarajućih zaštita:

- u izmjenjivačima (statički generator),
- u NN mreži elektrane,
- na sučelju elektrane i NN mreže (susretno postrojenje SPMO),
- u TS 10 000/400 V NN 0,4 kV na NN izvodu prema susretnom postrojenju i elektrani,
- u TS 10 000/400 V SN 10 kV na SN priključku transformatora (zaštita transformatora).

Izbor razine prorade i vremensko djelovanje odgovarajuće zaštite treba se izabrati tako da zadovoljava sve temeljne zahtjeve za djelovanje zaštite (brzinu, osjetljivost, rezervu, selektivnost) uz poštivanje kratkotrajno dopuštenih i nazivnih struja opreme u elektroenergetskoj mreži i elektrani.

Istraživanje tokova struja kratkog spoja (najvećih i najmanjih) kroz doprinos elektrane i mreže koristi se za podešenje nadstrujnih zaštita ( $I >$ ,  $I \gg$ ) u bilo kojoj izvedbi, a s kojim će se osigurati ostvarenje temeljnih zahtjeva koji se postavljaju pred svaku zaštitu od kratkog spoja, kao i učinkovito odvajanje kod neprimjerenih uvjeta paralelnog pogona mreže i elektrane.

Posebno treba posvetiti pozornost selektivnosti djelovanja osigurača u niskonaponskoj mreži kada njima protječe struja kvara iz mreže i izmjenjivača elektrane.



Slika 5.1. Nadomjesna shema sa označenim mjestima simulacije svih kvarova



## 5.1. Kvar 1

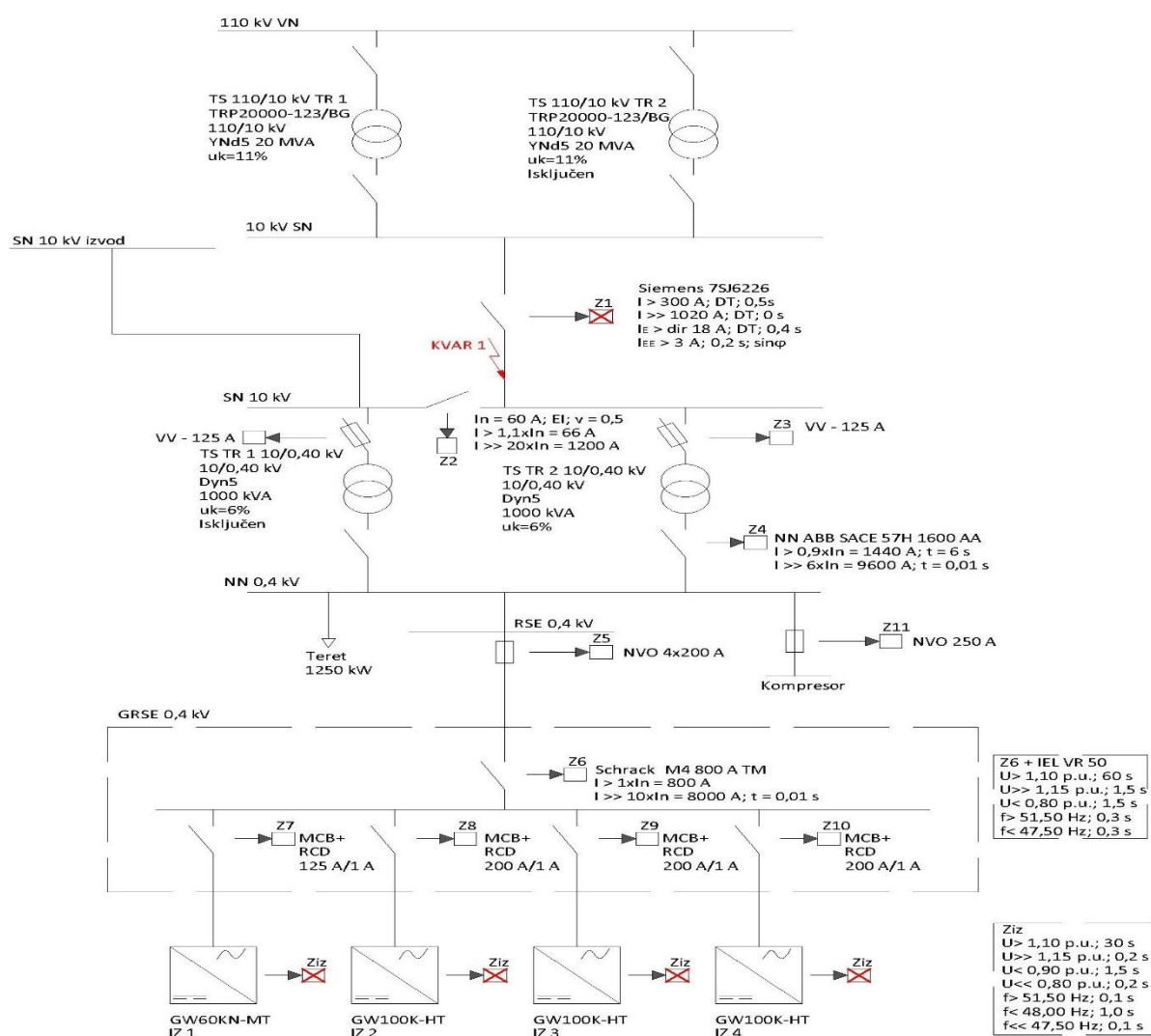
- Vrsta i mjesto kvara: 3f, 2f i 1f kratki spoj na **SN vodu VP 10 kV**

### MJESTO KVARA 1. – 3F

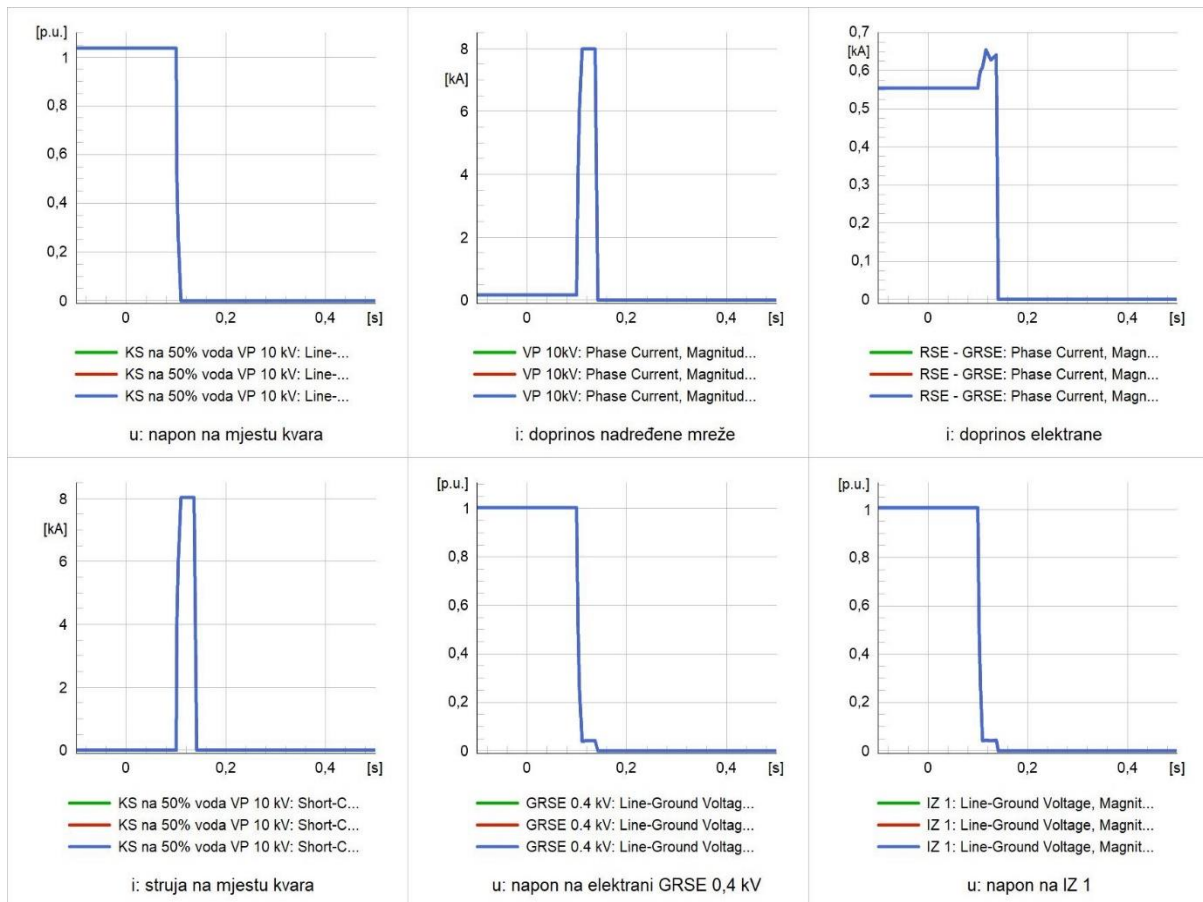
Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 3fFKS na mjestu kvara 1. obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 36,7 ms dolazi do odrade zaštite **Z1 – SIEMENS 7SJ6226** u VP 10 kV
- Izmjenjivači su vođeni mrežom i odvajaju se od mreže nakon nestanka mrežnog napajanja.
- Izmjenjivači neće startati dok se kvar ne otkloni.



Slika 5.2. Shematski prikaz simulacije



Slika 5.3. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 1 – 3f

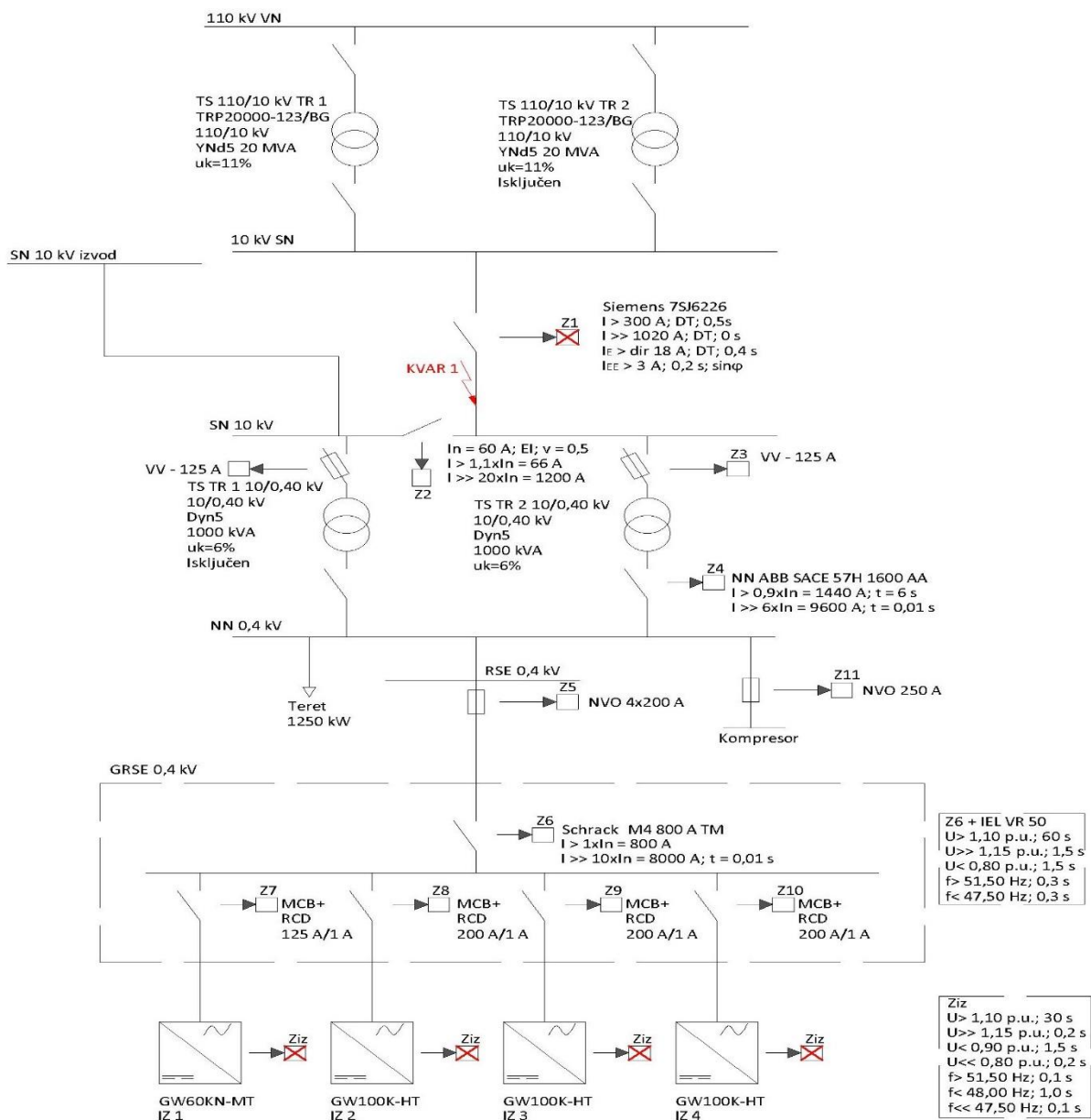
Djelovanje zaštite je selektivno.

## MJESTO KVARA 1. – 2F

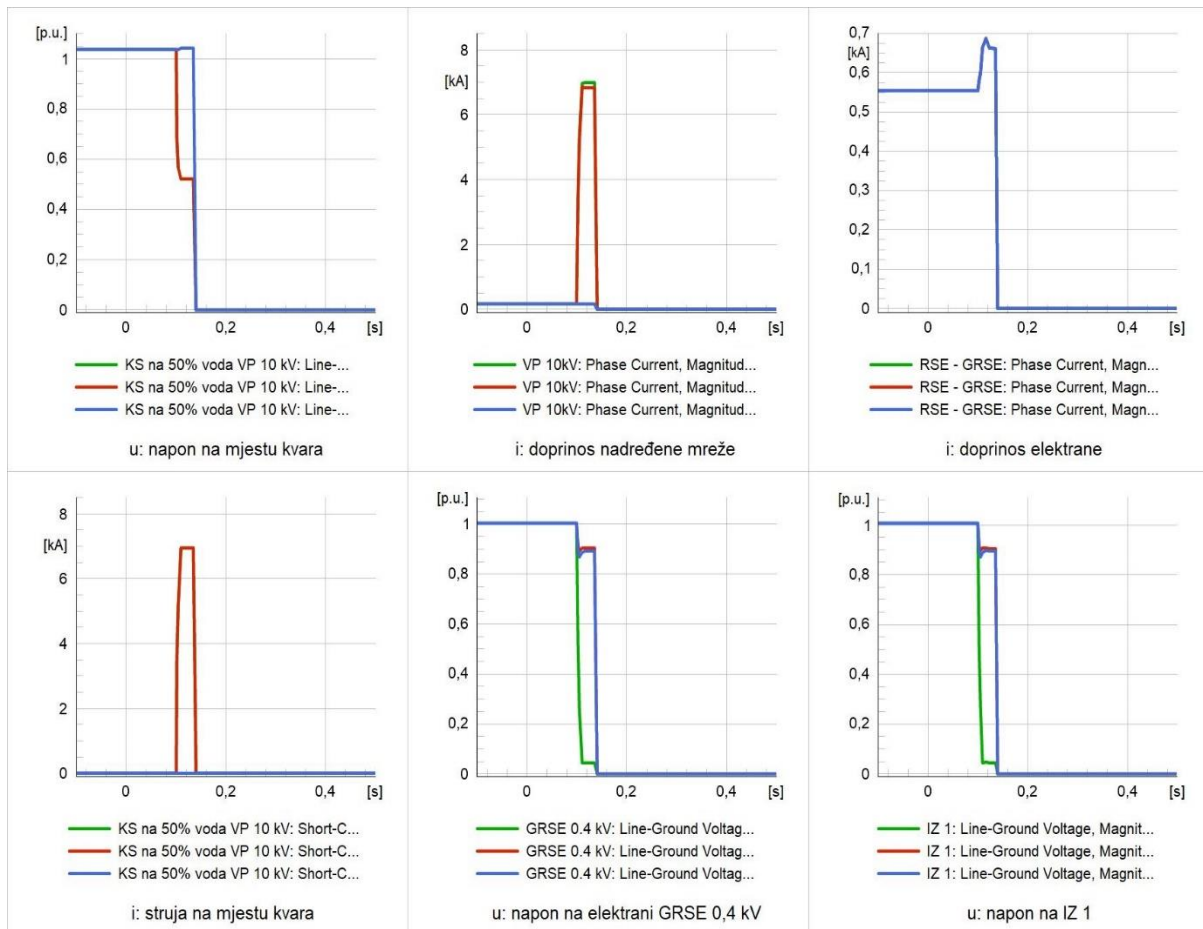
Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 2FKS na mjestu kvara 1. obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 35,4 ms dolazi do odrade zaštite **Z1 – SIEMENS 7SJ6226** u VP 10 kV
- Izmjenjivači su vođeni mrežom i odvajaju se od mreže nakon nestanka mrežnog napajanja.
- Izmjenjivači neće startati dok se kvar ne otkloni.



Slika 5.4. Shematski prikaz simulacije



Slika 5.5. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 1 – 2f

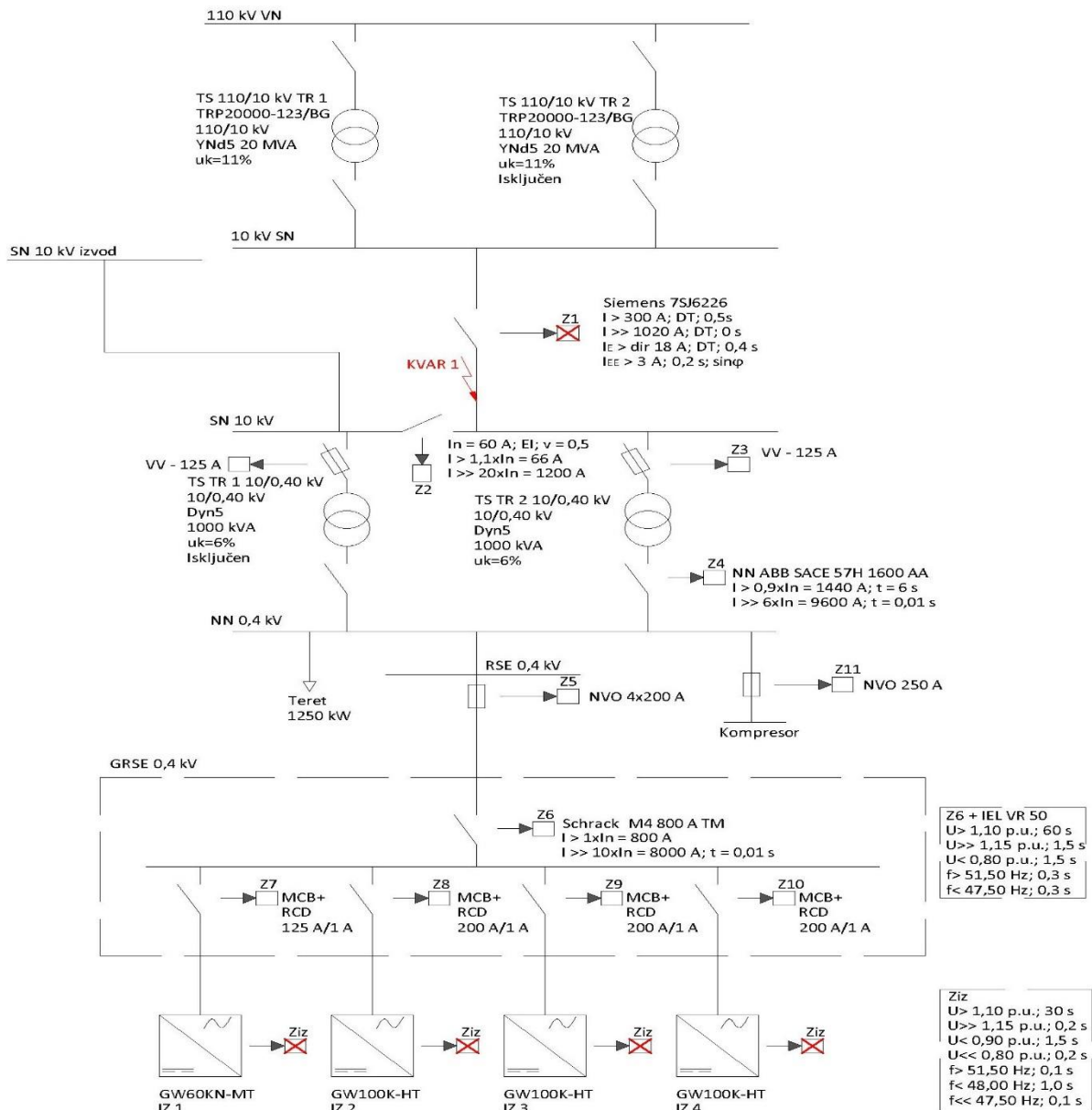
Djelovanje zaštite je selektivno.

## MJESTO KVARA 1. – 1F

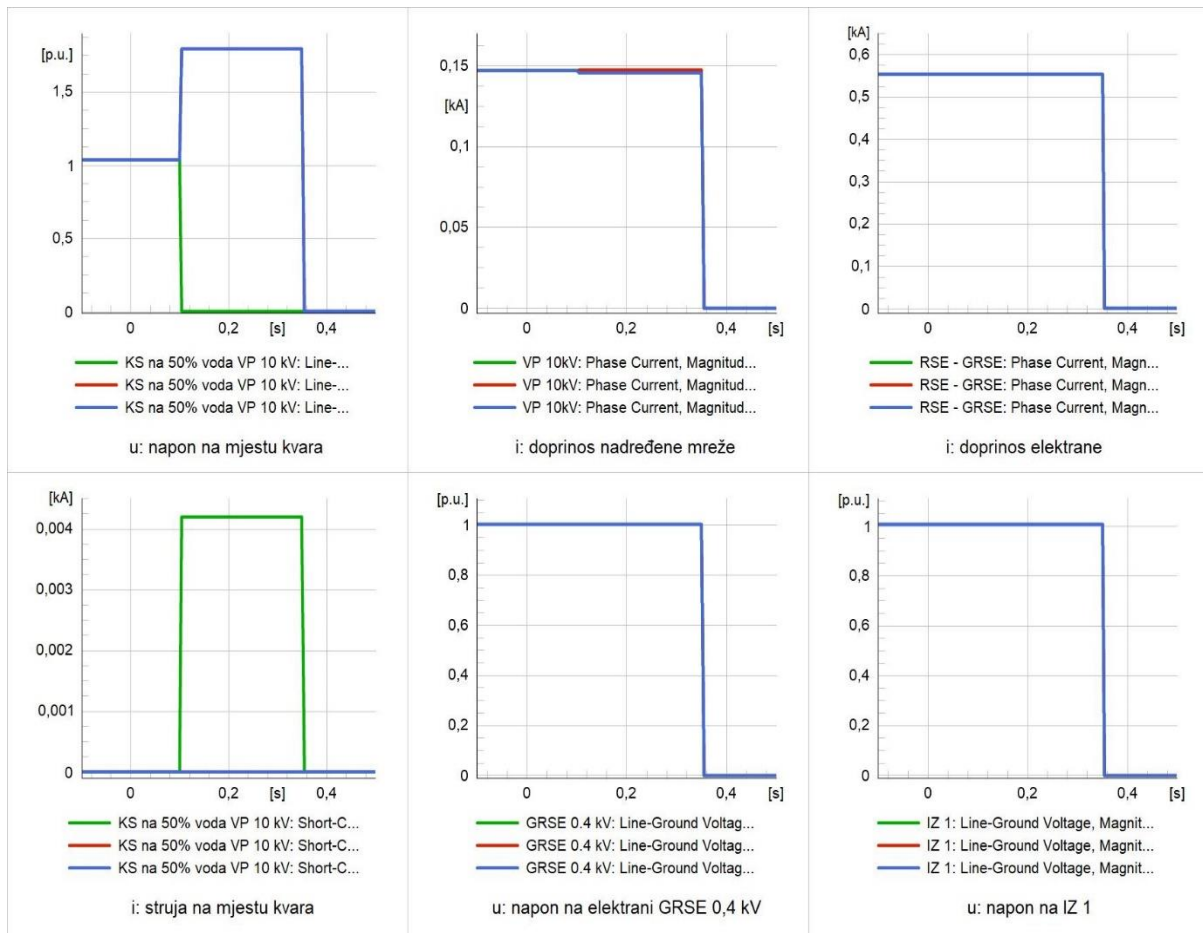
Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 1F KS na mjestu kvara 1. obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 25 ms dolazi do odrade zaštite  $I_{EE} > Z1$  – SIEMENS 7SJ6226 u VP 10 kV
- Izmjenjivači su vođeni mrežom i odvajaju se od mreže nakon nestanka mrežnog napajanja.
- Izmjenjivači neće startati dok se kvar ne otkloni.



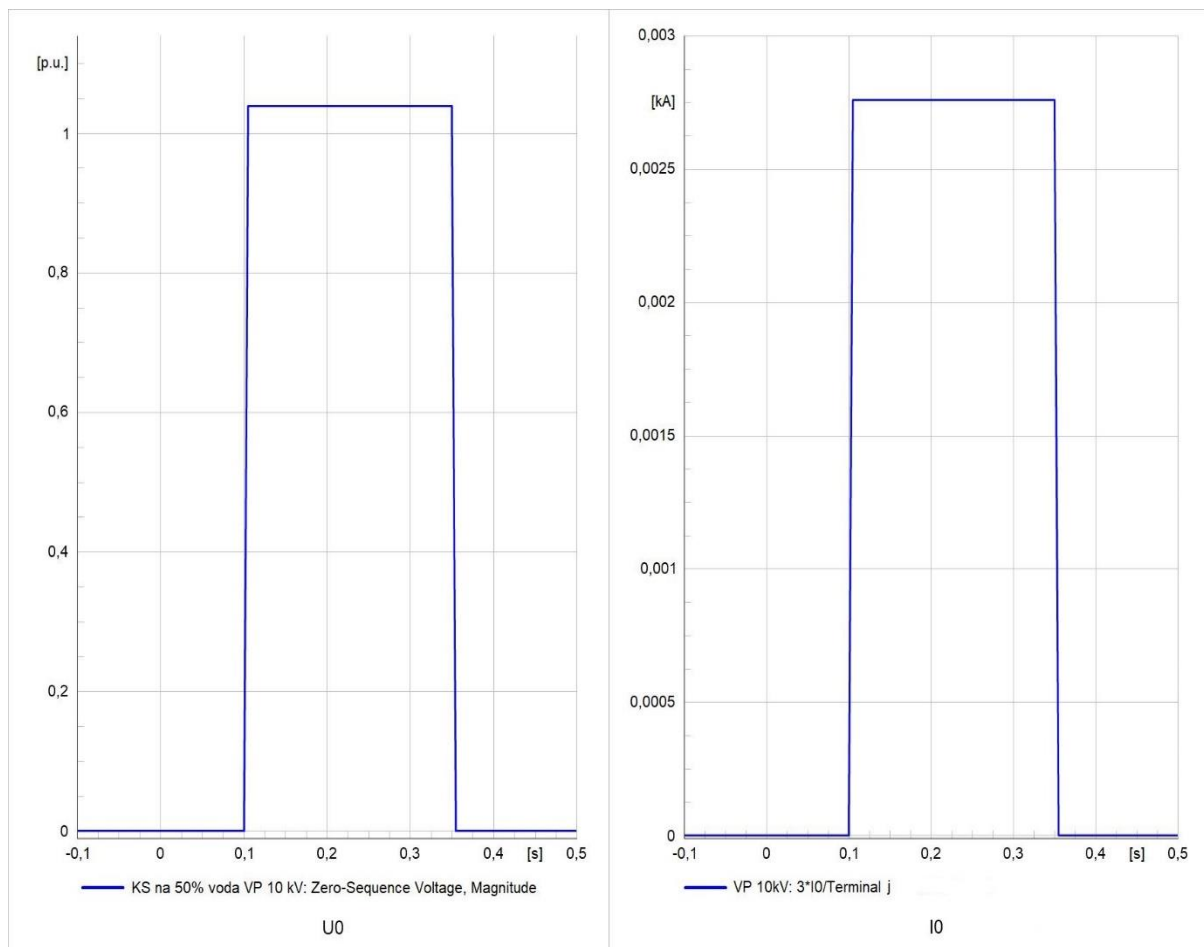
Slika 5.6. Shematski prikaz simulacije



Slika 5.7. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 1 – If

Djelovanje zaštite je selektivno.

## $U_0$ i $I_0$ na mjestu kvara



Slika 5.8. RMS vrijednosti  $U_0$  i  $I_0$

## 5.2. Kvar 2

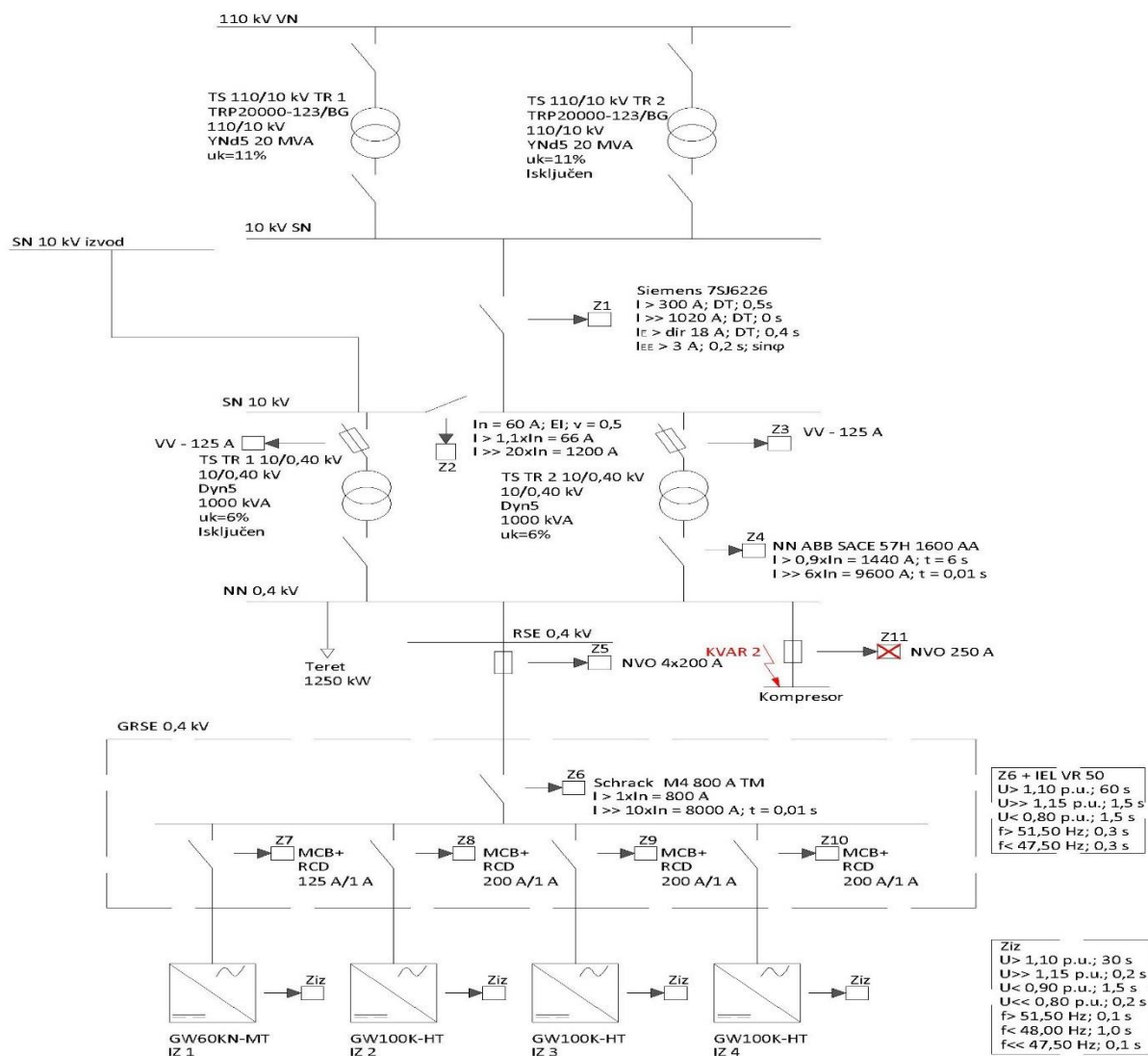
- Vrsta i mjesto kvara: 3f, 2f i 1f kratki spoj na **NN kompresor**

### MJESTO KVARA 2 – 3F

Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 3F KS na mjestu kvara 2 obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

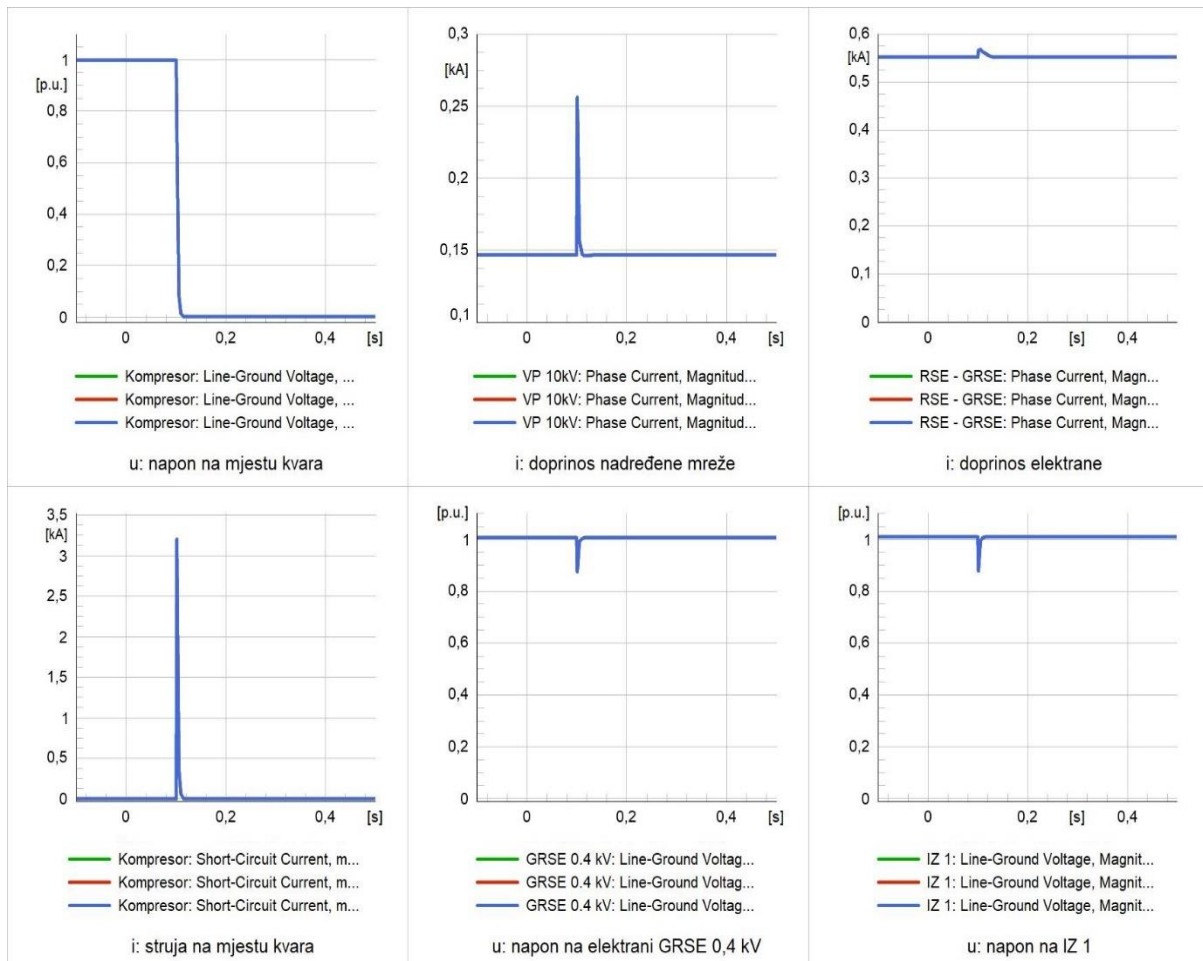
Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIGSILENT 19.1.:

- Nakon 2,8 ms dolazi do prorade zaštite **Z11 – osigurač NVO 250 A**
- Isključuje se NN izvod prema kompresoru
- Izmjenjivači nastavljaju s radom.



Slika 5.9. Shematski prikaz simulacije





Slika 5.10. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 2 – 3f

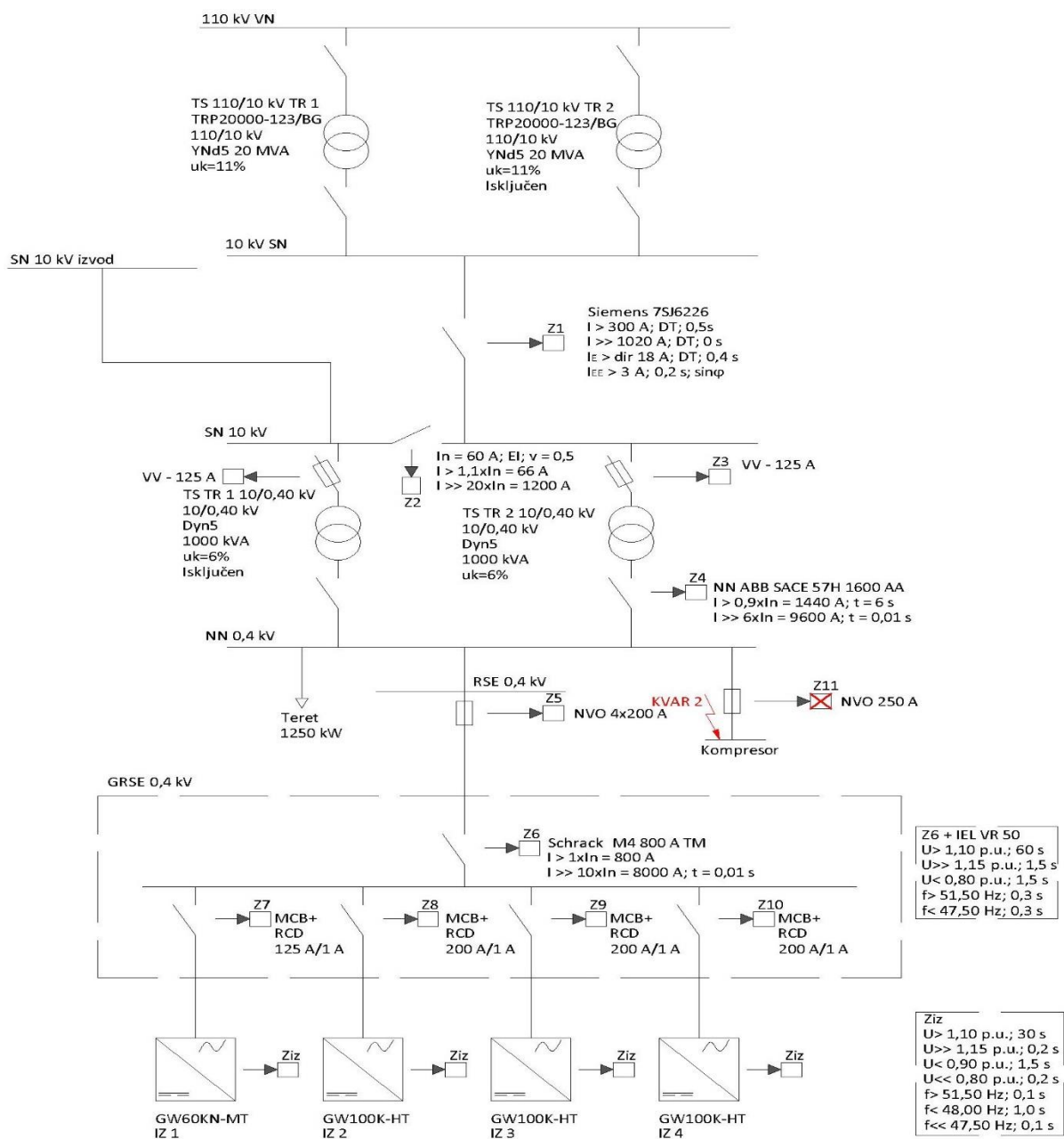
Djelovanje zaštite je selektivno.

## MJESTO KVARA 2 – 2F

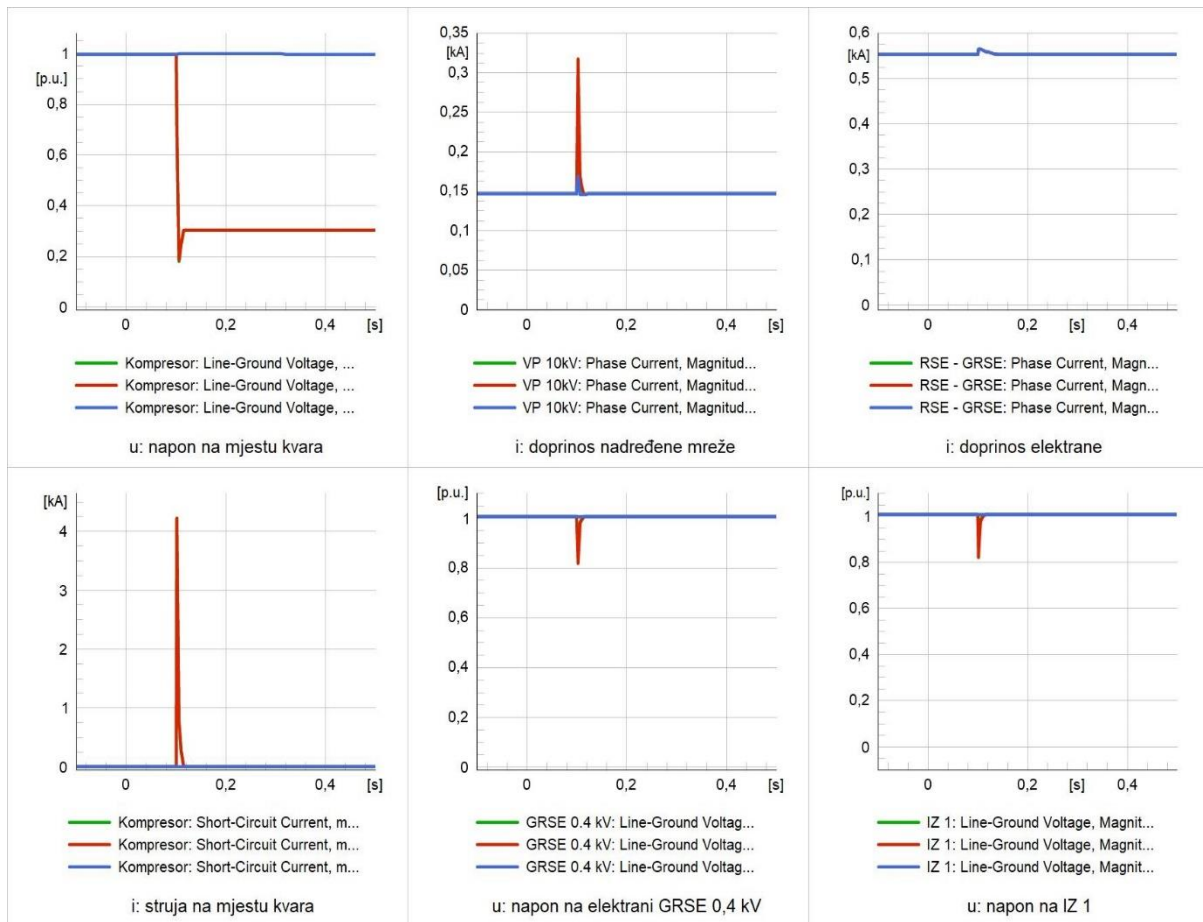
Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 2FKS na mjestu kvara 2 obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 4,02 ms dolazi do prorade zaštite **Z11 – osigurač NVO 250 A**
- Isključuje se NN izvod prema kompresoru
- Izmjenjivači nastavljaju s radom



Slika 5.11. Shematski prikaz simulacije



Slika 5.12. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 2 – 2f

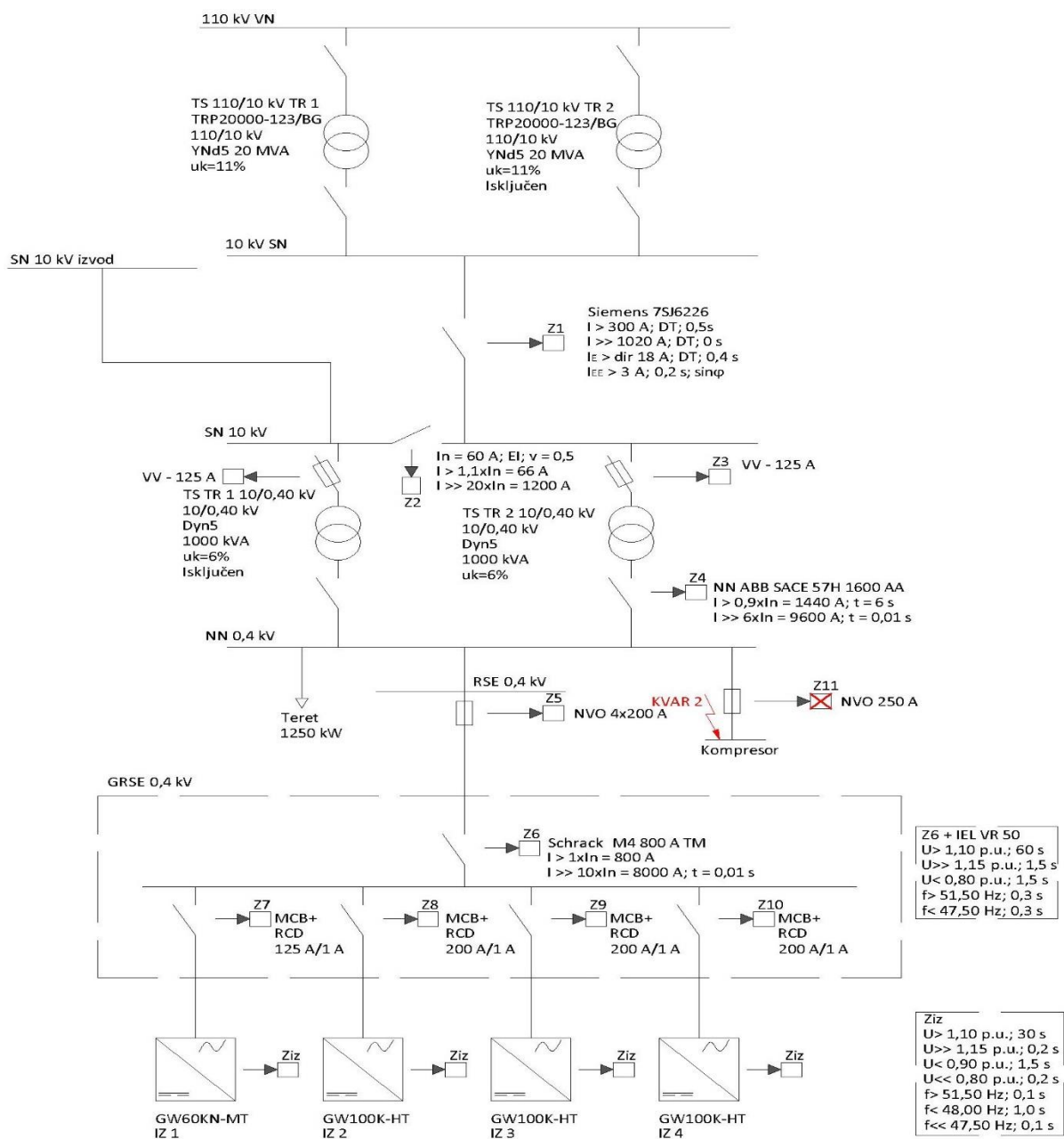
Djelovanje zaštite je selektivno.

## MJESTO KVARA 2 – 1F

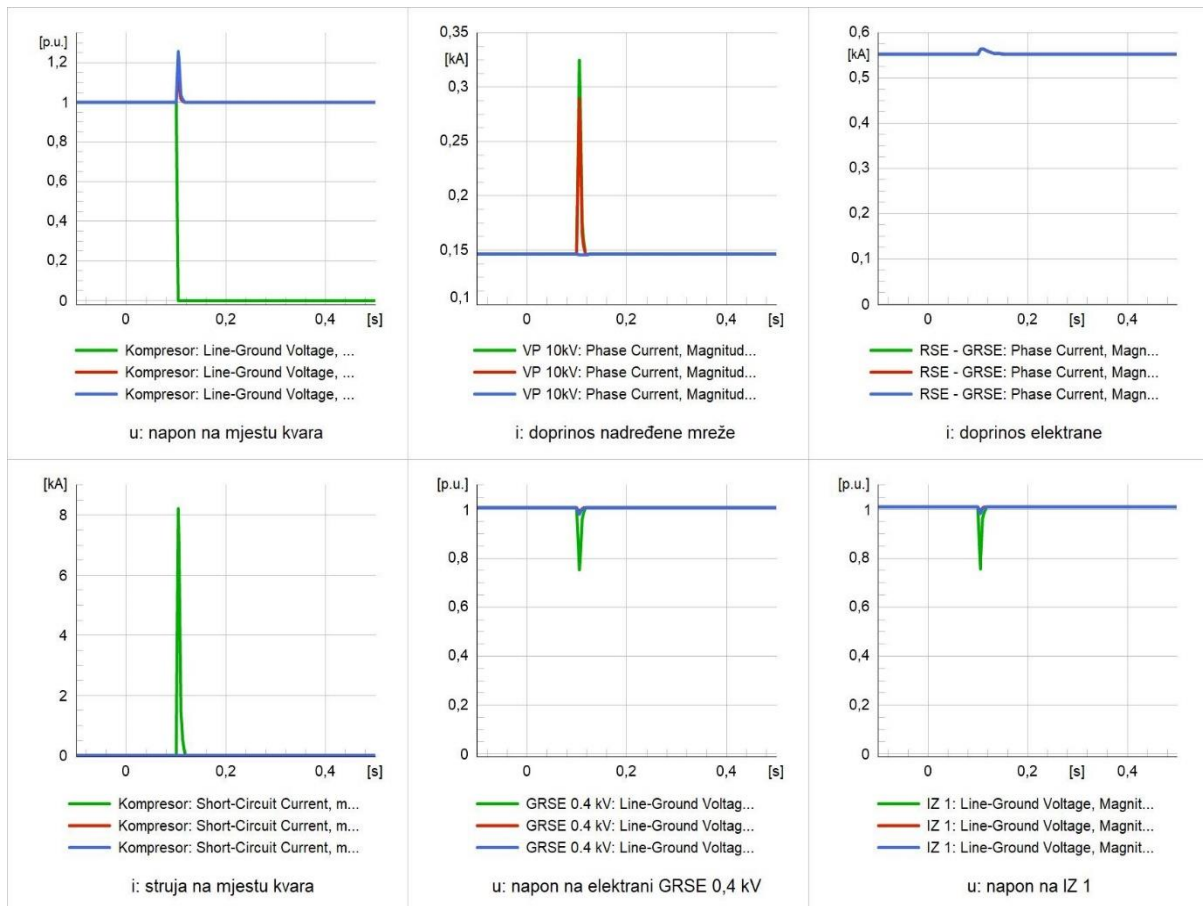
Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 1F KS na mjestu kvara 2 obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 6,7 ms dolazi do prorade zaštite **Z11 – osigurač NVO 250 A**
- Isključuje se NN izvod prema kompresoru
- Izmjenjivači nastavljaju s radom



Slika 5.13. Shematski prikaz simulacije



Slika 5.14. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 2 – 1f

Djelovanje zaštite je selektivno.

### 5.3. Kvar 3

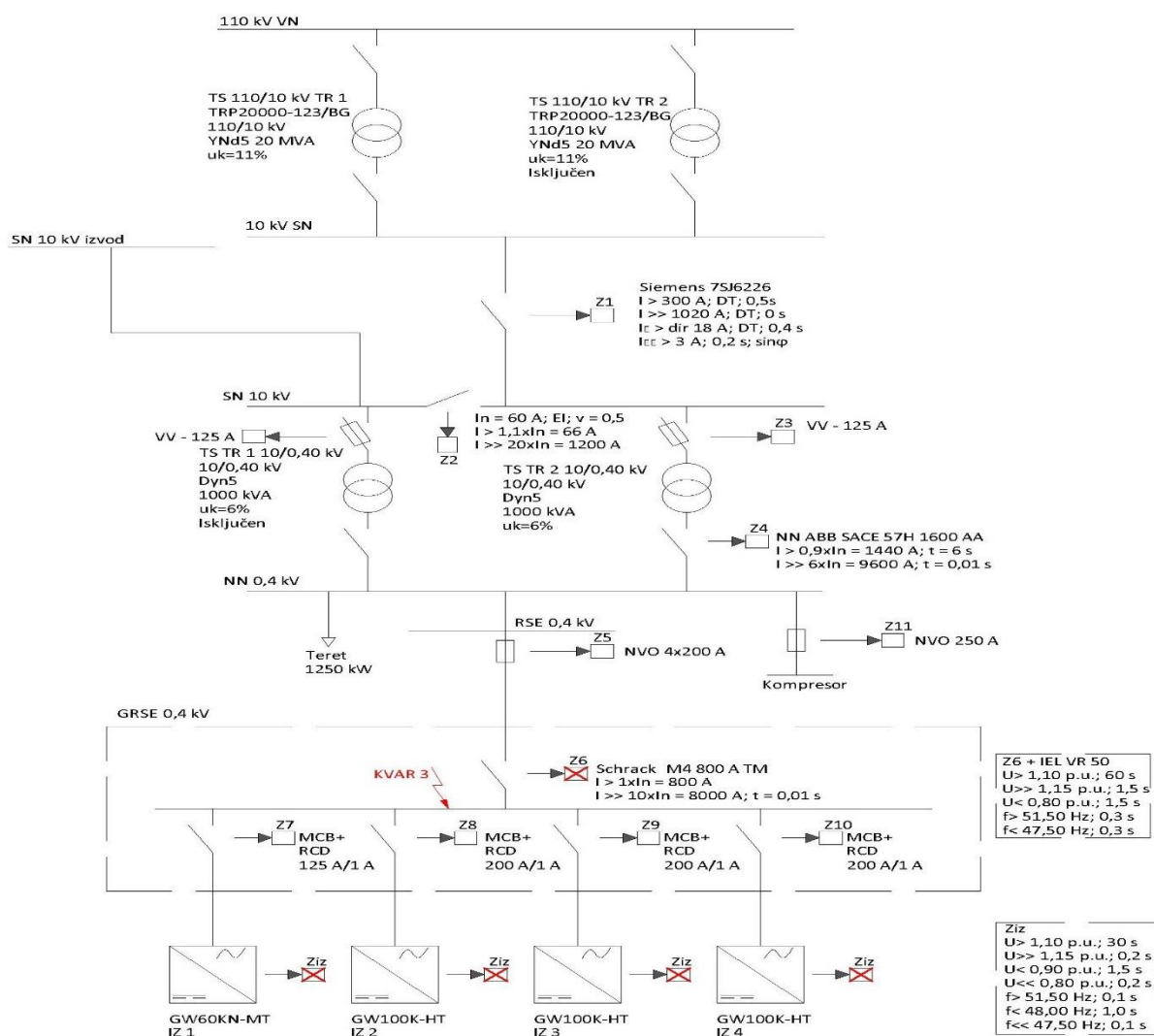
- Vrsta i mjesto kvara: 3f, 2f i 1f kratki spoj na NN GRSE 0,4 kV

#### MJESTO KVARA 3 – 3F

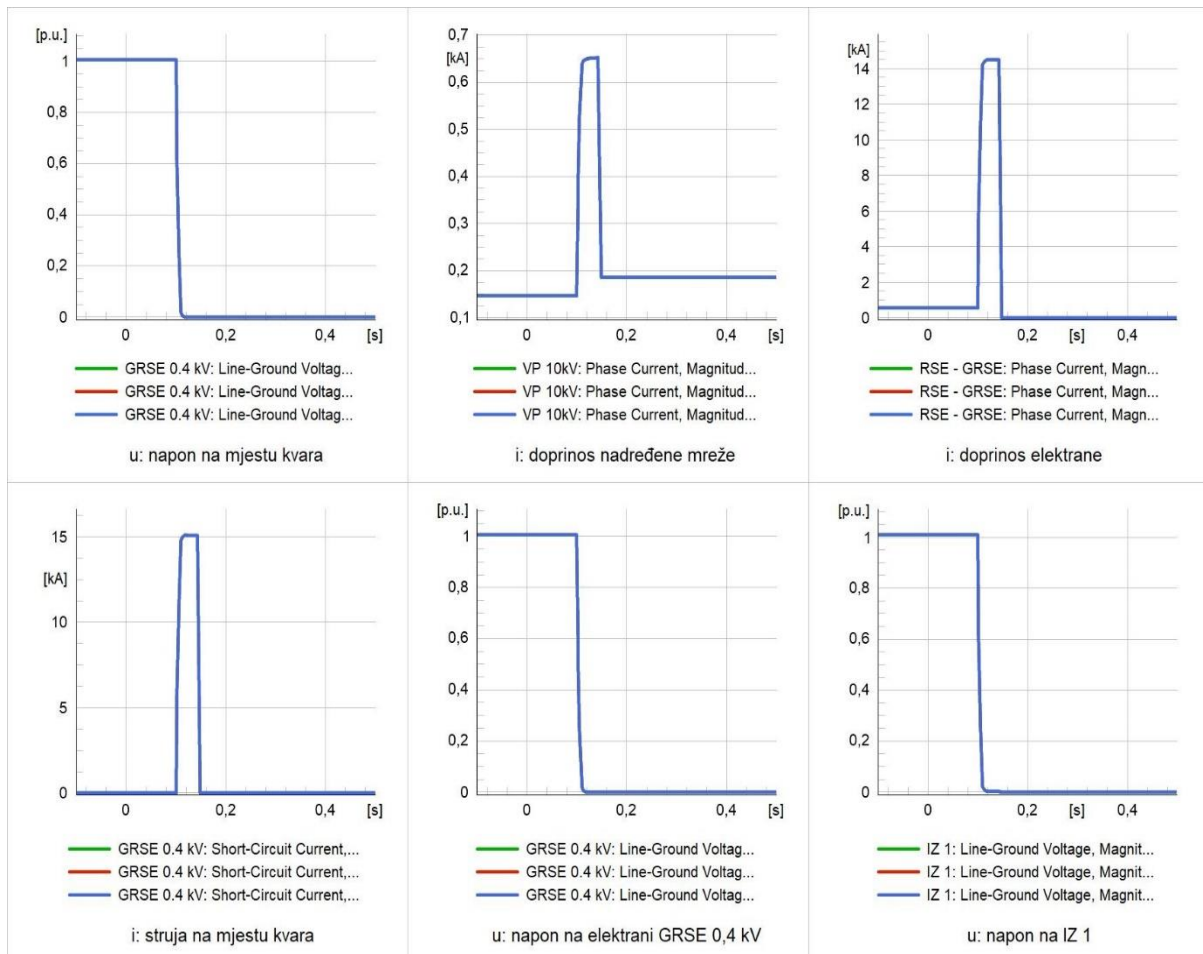
Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 3F KS na mjestu kvara 3 obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 35 ms dolazi do prorade zaštite **Z6 – Schrack M4 800 A**
- Izmjenjivači su vođeni mrežom i odvajaju se od mreže nakon nestanka mrežnog napajanja.
- Izmjenjivači neće startati dok se kvar ne otkloni.



Slika 5.15. Shematski prikaz simulacije



Slika 5.16. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 3 – 3f

Djelovanje zaštite je selektivno. Osigurač NVO 4x200 A može isključiti za 44 ms pa bi postojala djelomična neselektivnost.

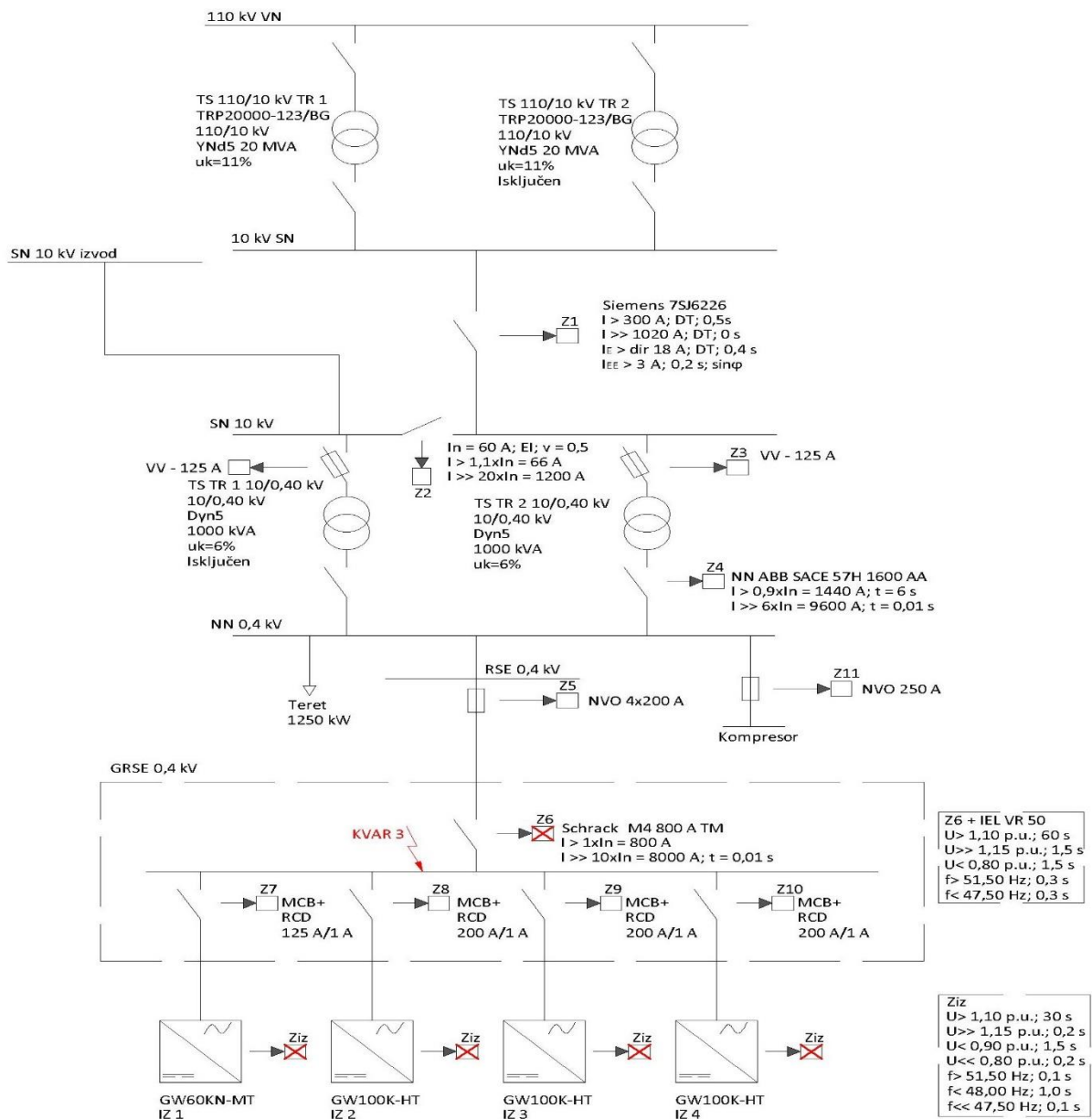


## MJESTO KVARA 3 – 2F

Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 2F KS na mjestu kvara 3 obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

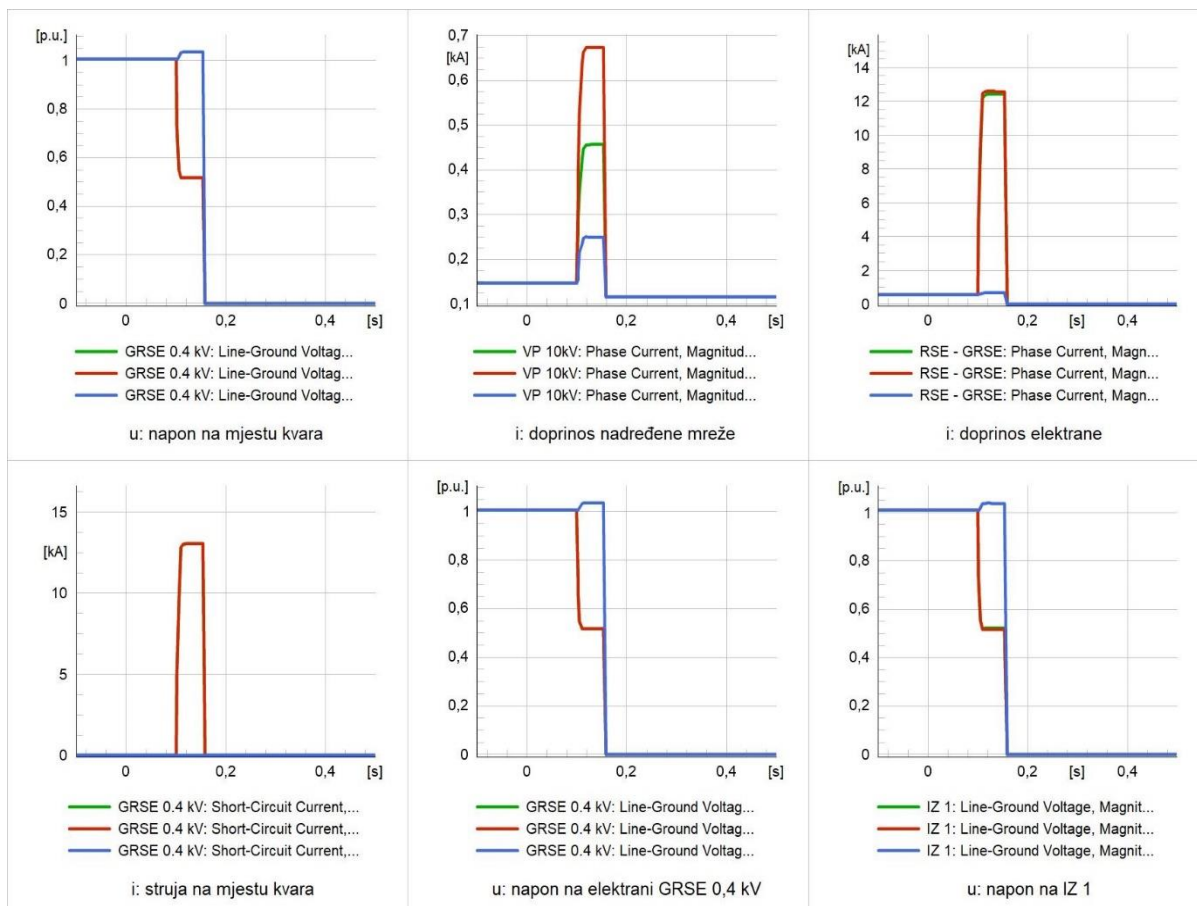
Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 35 ms dolazi do prorade zaštite **Z6 – Schrack M4 800 A**
- Izmjenjivači su vođeni mrežom i odvajaju se od mreže nakon nestanka mrežnog napajanja.
- Izmjenjivači neće startati dok se kvar ne otkloni.



Slika 5.17. Shematski prikaz simulacije





Slika 5.18. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 3 – 2f

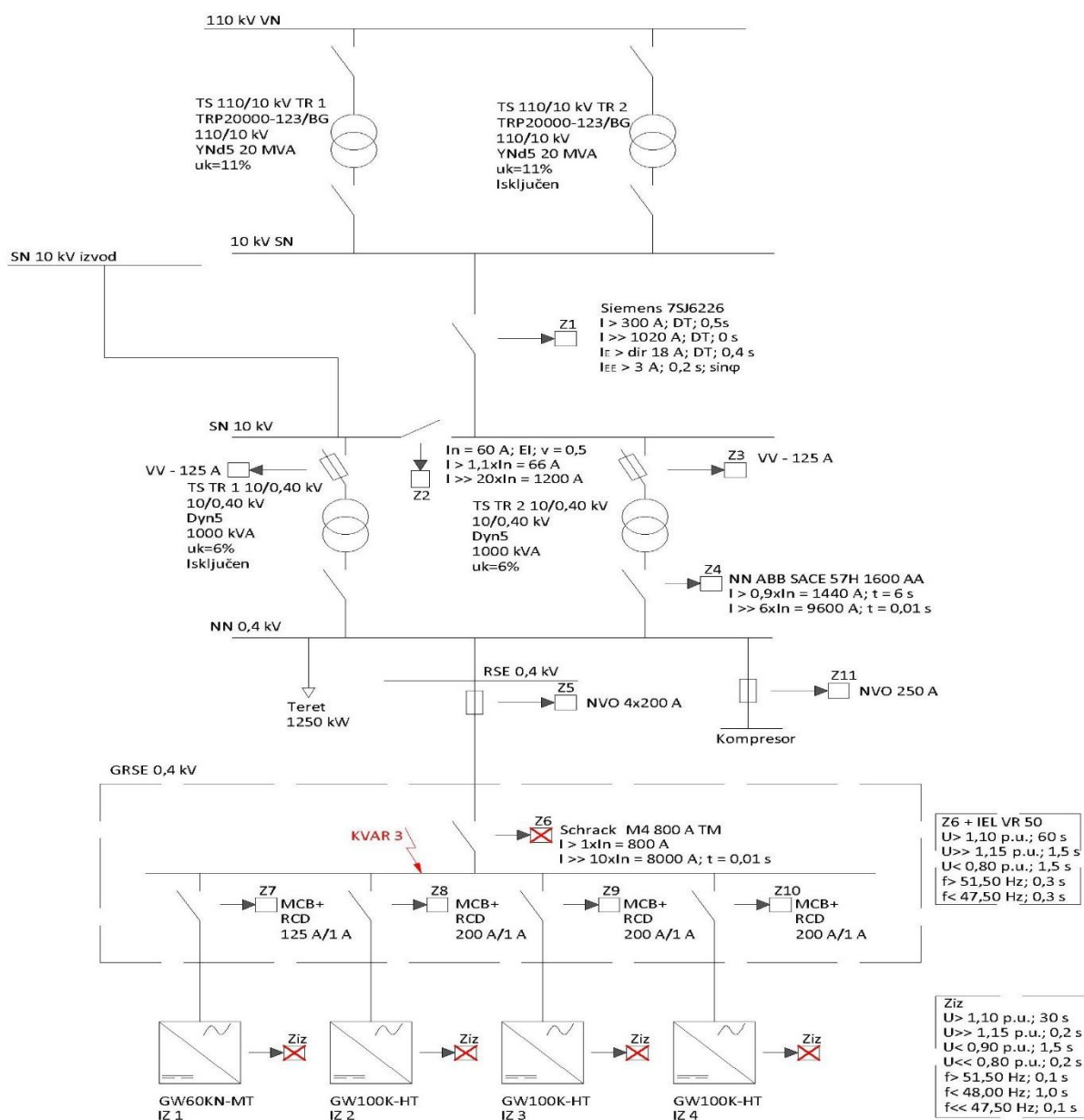
Djelovanje zaštite je selektivno. Osigurač NVO 4x200 A može isključiti za 44 ms pa bi postojala djelomična neselektivnost.

## MJESTO KVARA 3 – 1F

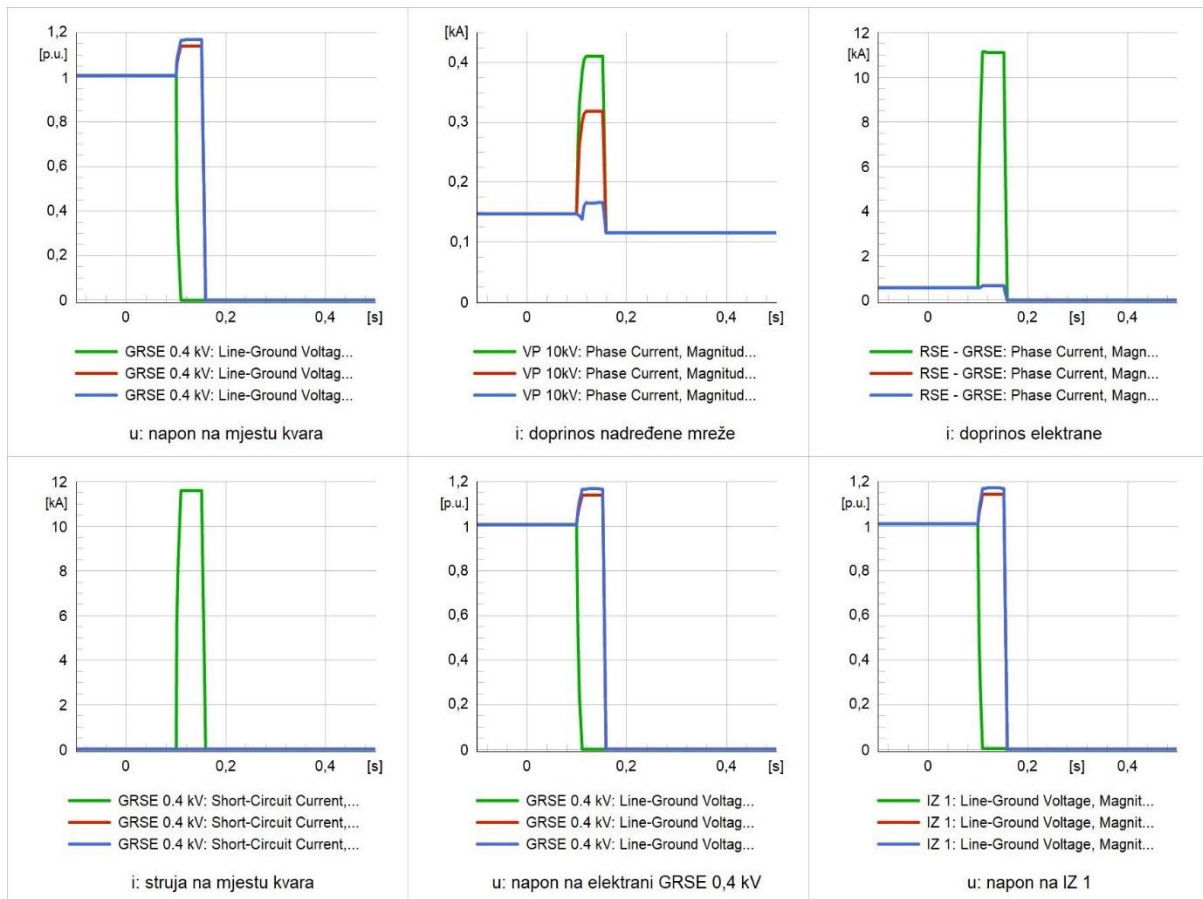
Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 1F KS na mjestu kvara 3 obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 35 ms dolazi do prorade zaštite **Z6 – Schrack M4 800A**
- Izmjenjivači su vođeni mrežom i odvajaju se od mreže nakon nestanka mrežnog napajanja.
- Izmjenjivači neće startati dok se kvar ne otkloni.



Slika 5.19. Shematski prikaz simulacije



Slika 5.20. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 3 –  $I_f$

Djelovanje zaštite je selektivno. Osigurač NVO 4x200 A može isključiti za 44 ms pa bi postojala djelomična neselektivnost.

## 5.4. Kvar 4

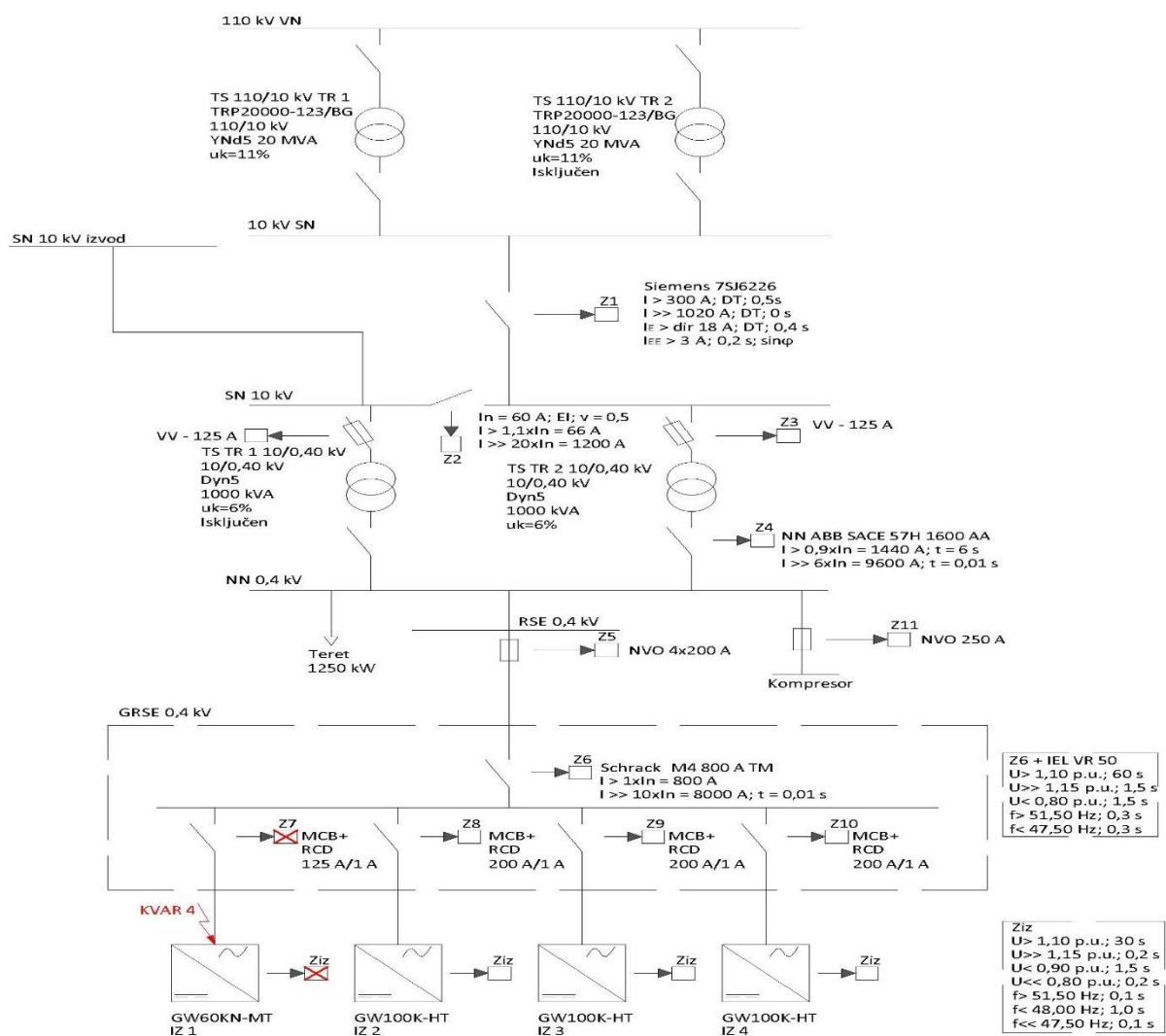
- Vrsta i mjesto kvara: 3f, 2f i 1f kratki spoj na NN izmjenjivaču IZ 1

### MJESTO KVARA 4 – 3F

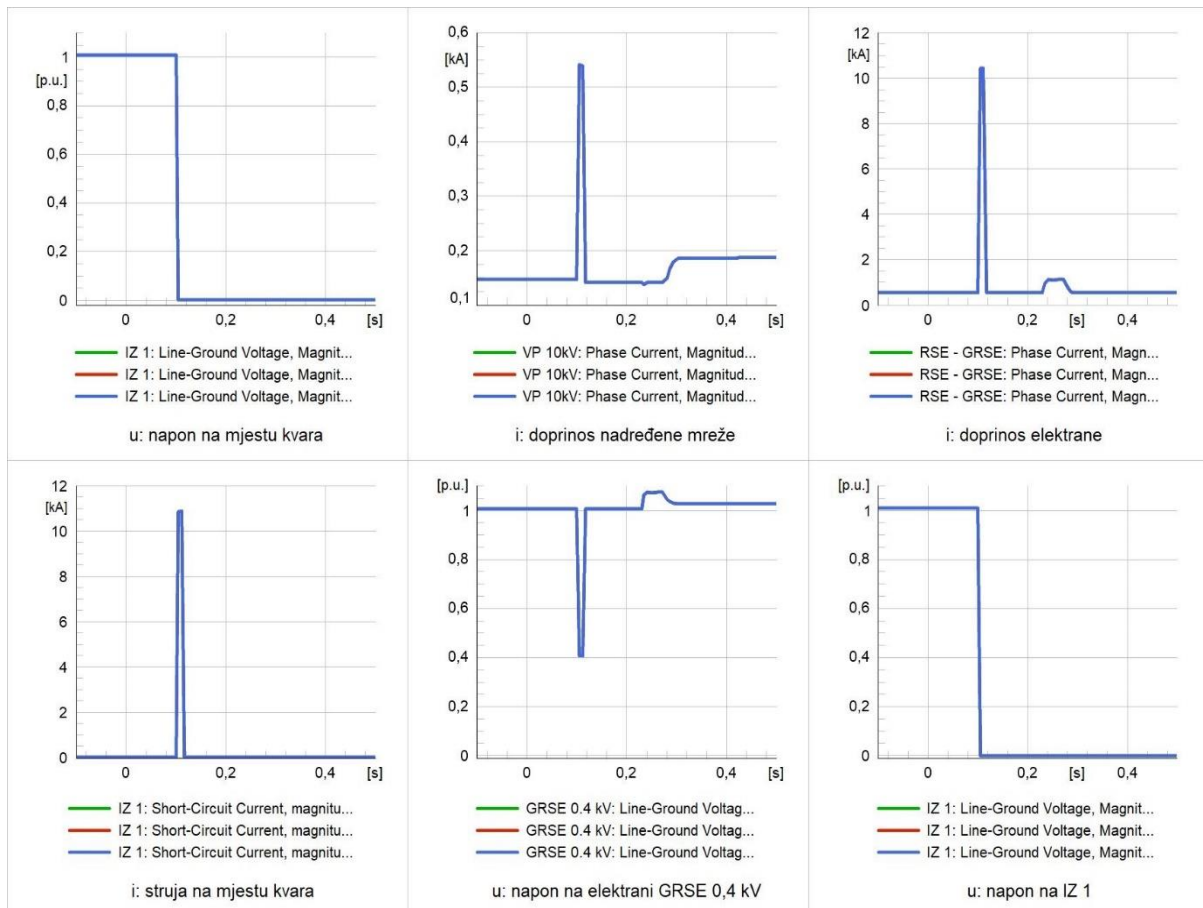
Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 3F KS na mjestu kvara 4 obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 0,15 ms dolazi do prorade zaštite Z7 – Schrack MCB 125 A
- Izmjenjivač IZ 1 se isključuje.
- Izmjenjivač neće startati dok se kvar ne otkloni.
- Ostali izmjenjivači nastavljaju s radom



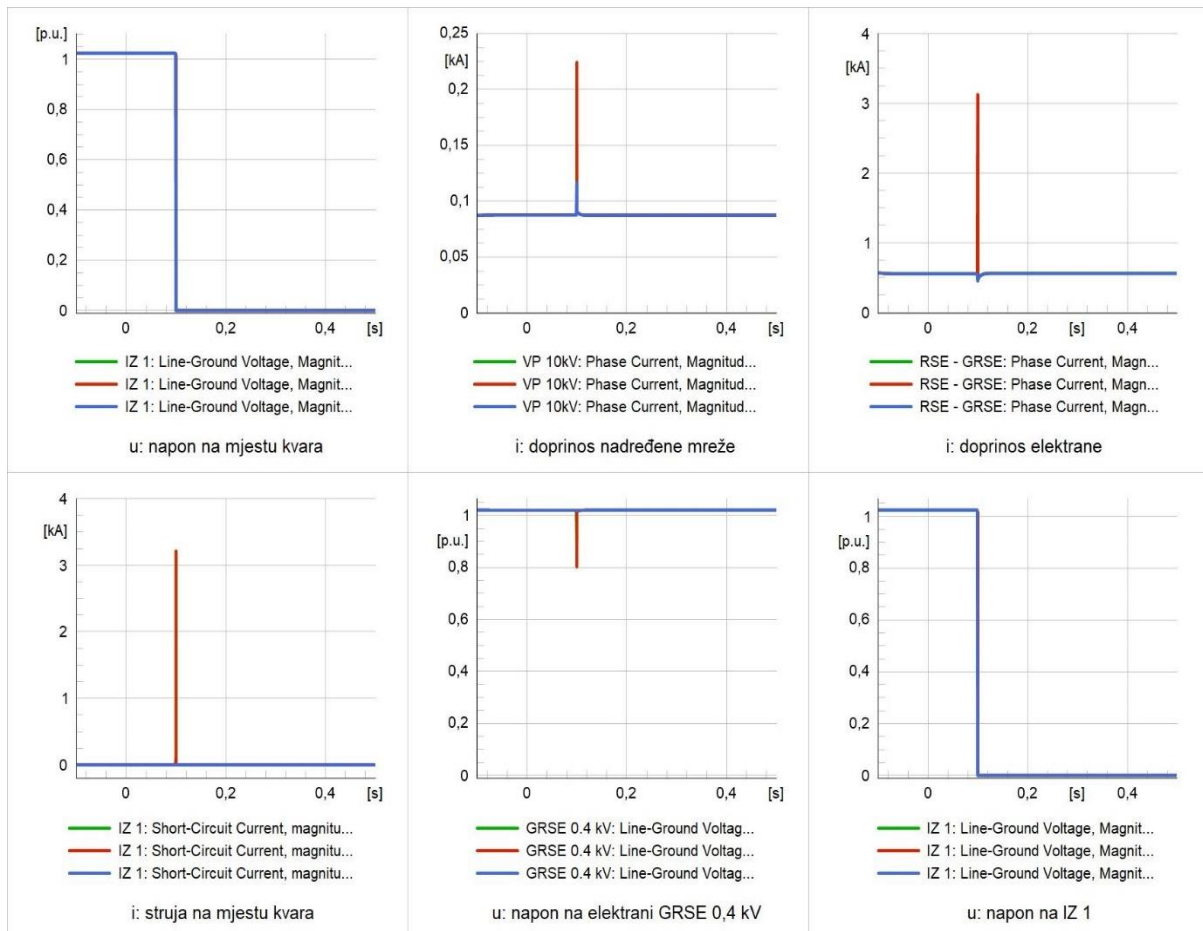
Slika 5.21. Shematski prikaz simulacije



Slika 5.22. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 4 – 3f

Djelovanje zaštite je selektivno.





Slika 5.24. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 4 – 2f

Djelovanje zaštite je selektivno.

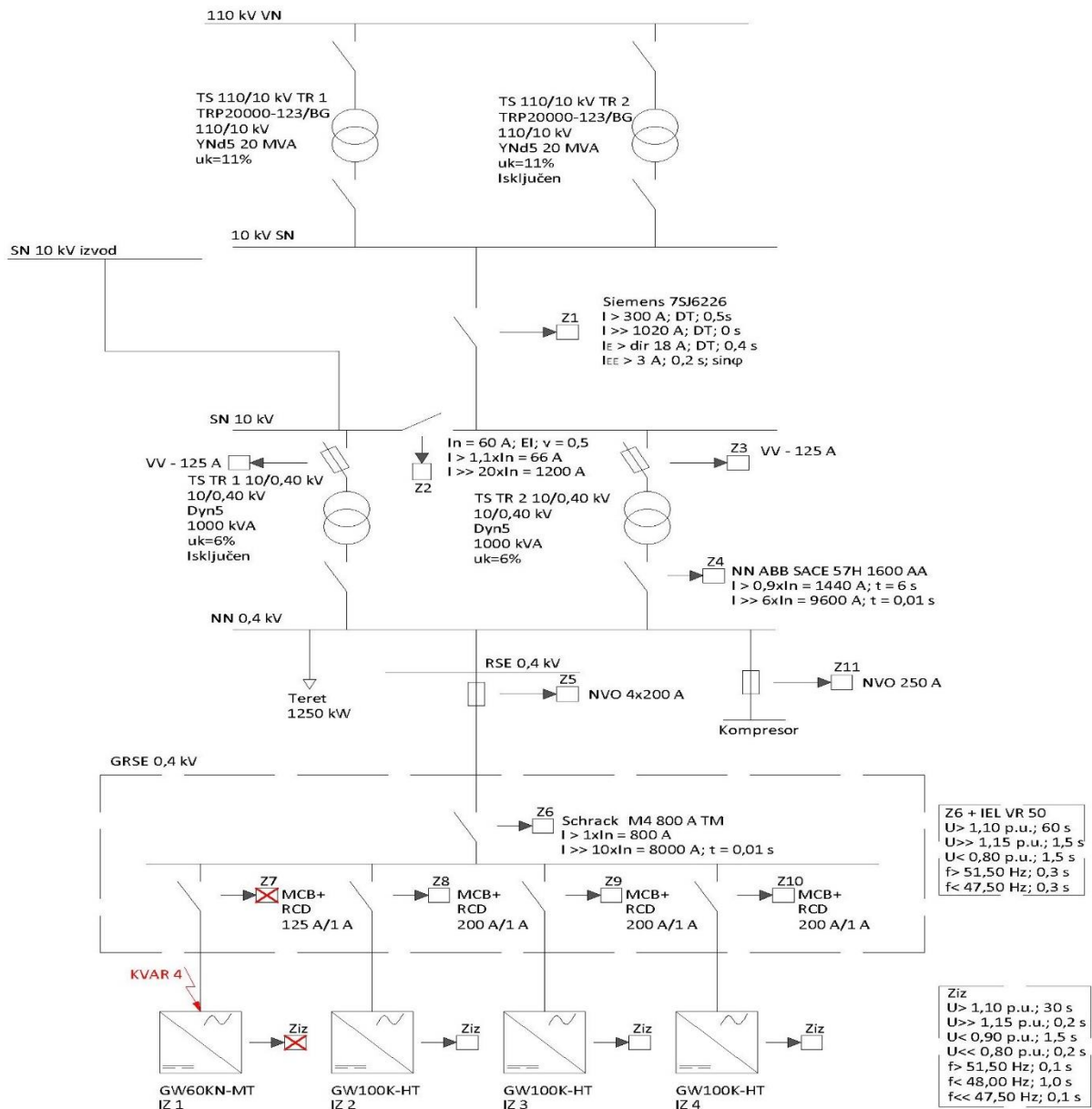


## MJESTO KVARA 4 – 1F

Analiza selektivnosti podešenja zaštite za slučaj 1FKS na mjestu kvara 4 obavljena je za slučaj KS čija je impedancija na mjestu kvara  $0 \Omega$ . Kratki spoj se događa u trenutku  $t = 0,1$  s nakon početka simulacije.

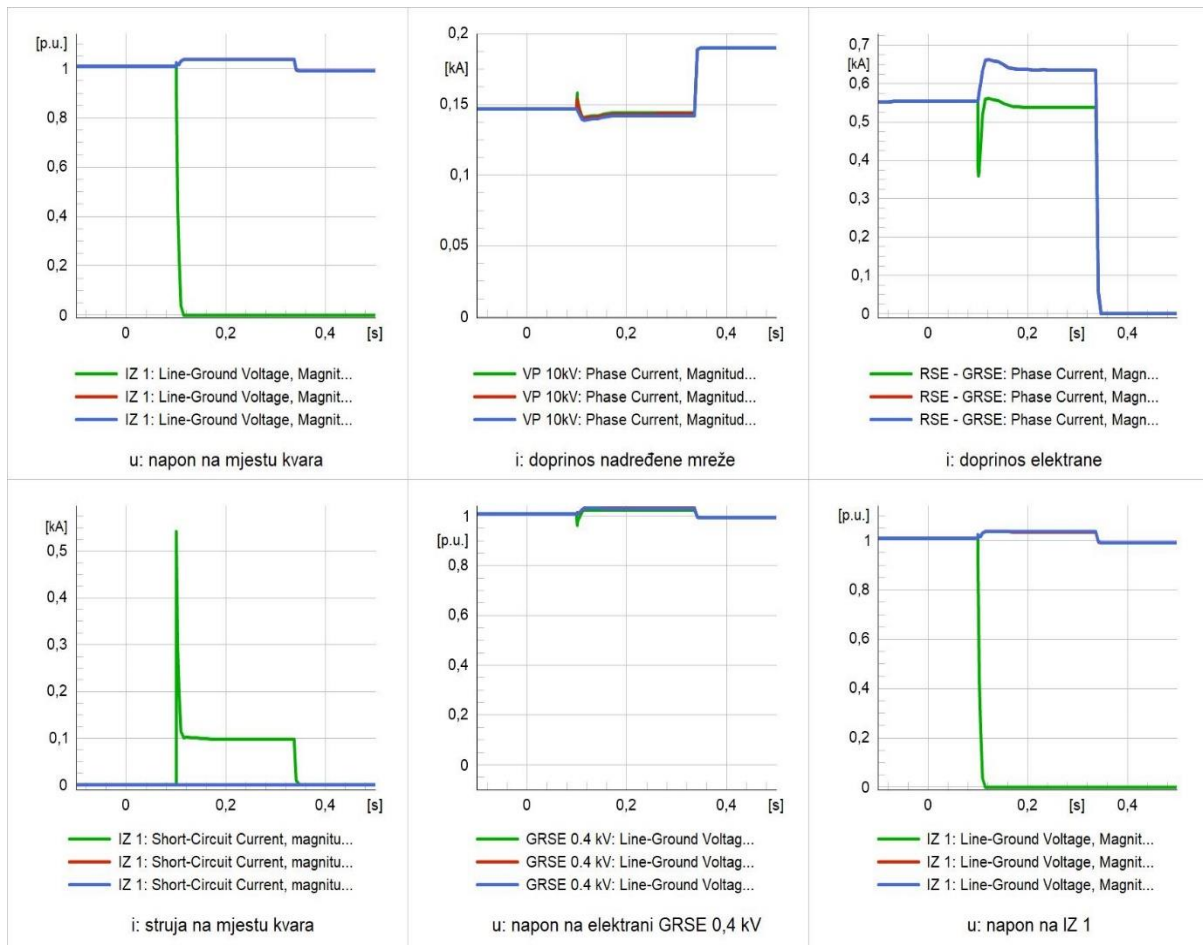
Rezultati dobiveni iz registratora događaja programskog paketa DIgSILENT 19.1.:

- Nakon 0,359 ms dolazi do prorade zaštite **Z7 – Schrack MCB 125 A**
- Izmjenjivač IZ 1 se isključuje
- Izmjenjivač neće startati dok se kvar ne otkloni
- Ostali izmjenjivači nastavljaju s radom



Slika 5.25. Shematski prikaz simulacije





Slika 5.26. RMS vrijednosti struja i napona: Kvar 4 – 1f

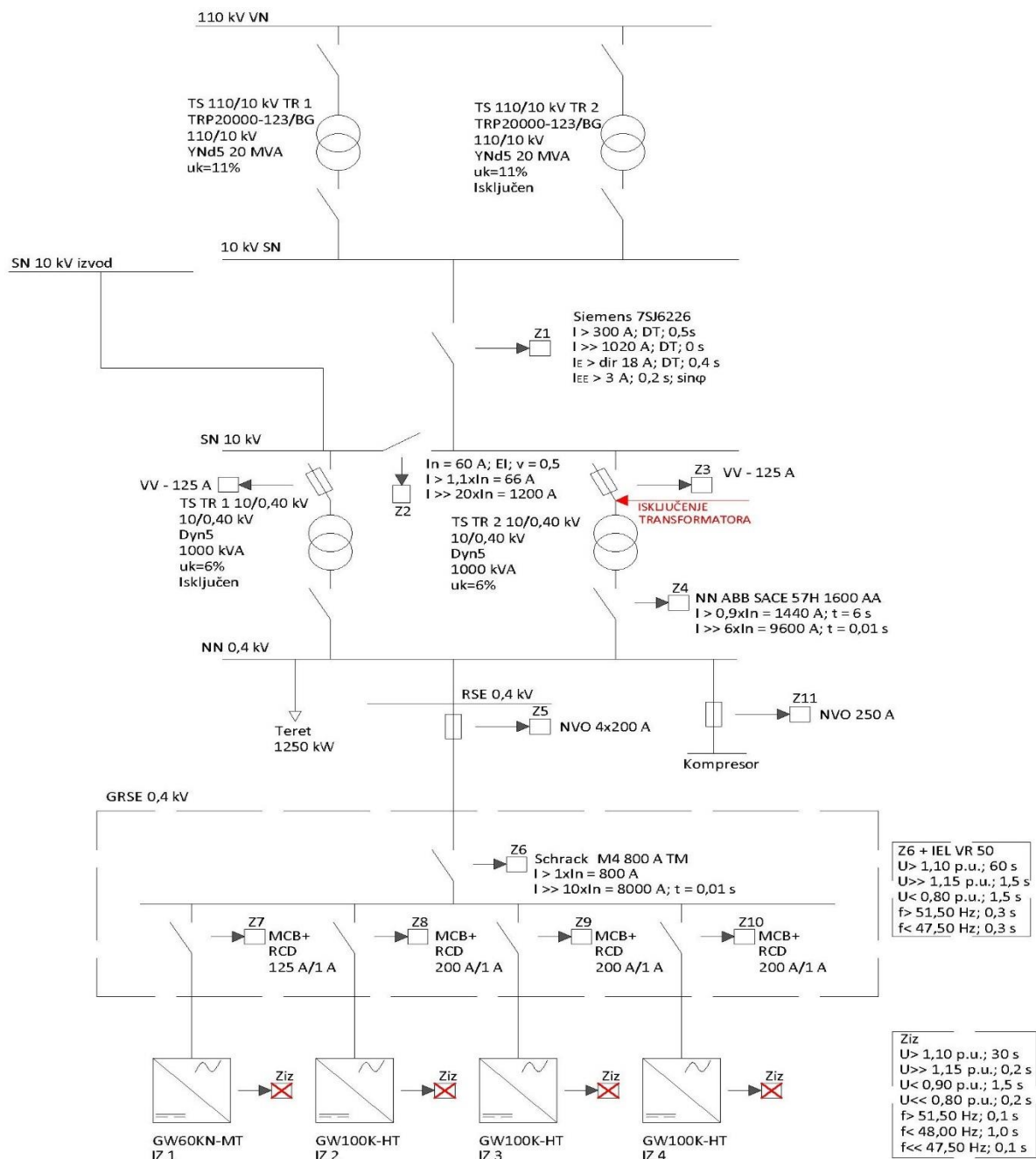
Djelovanje zaštite je selektivno.

## 5.5. Zaštita od otočnog pogona

Otočni pogon istražuje se na sljedeći način:

- ispad (isključenje) transformatora TS TR 2 10/0,40 kV i ostatak opterećenja pripadajuće NN mreže na elektrani.

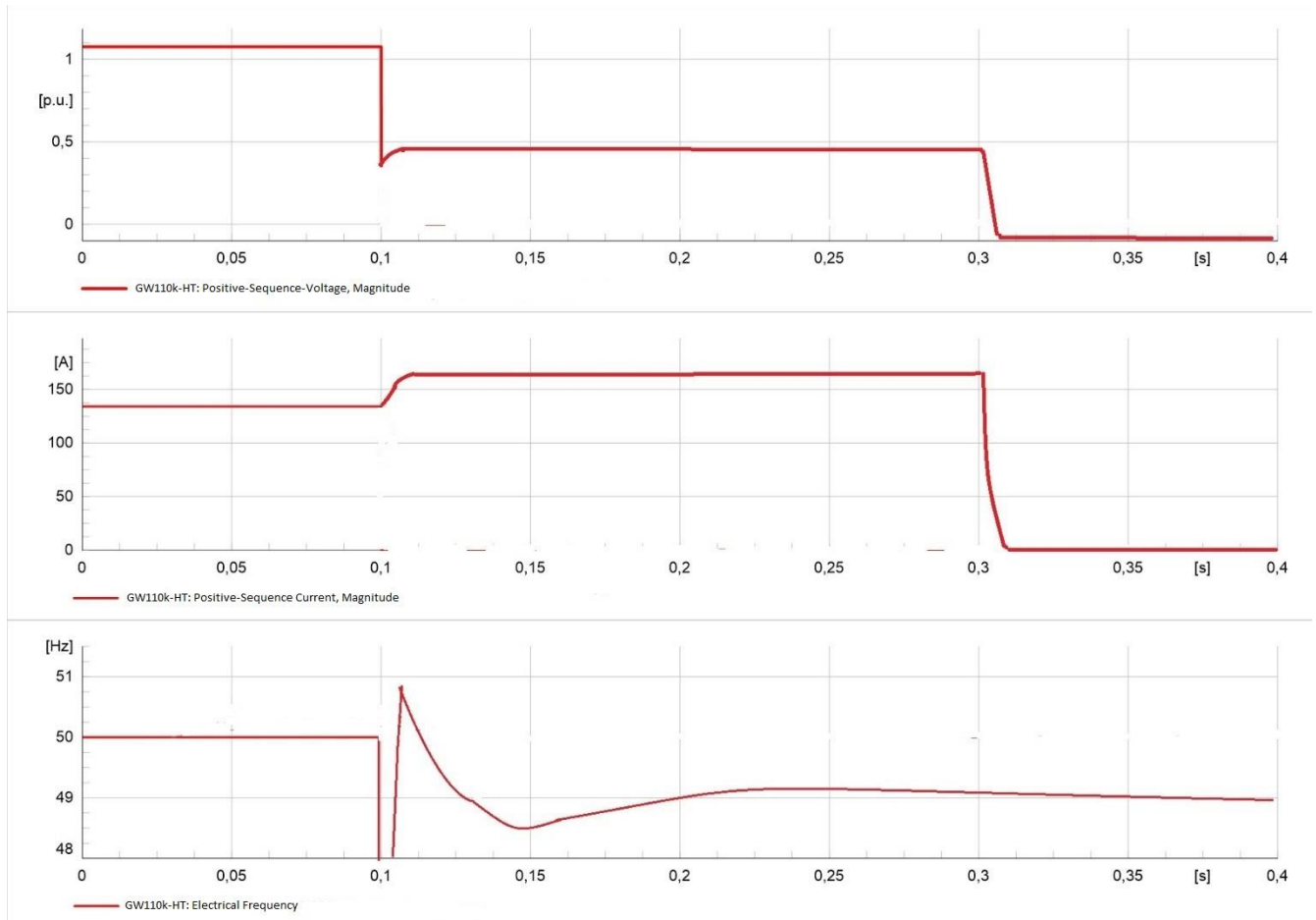
Analiza zaštite od otočnog pogona s dijelom mreže je obavljena simulacijom isključenja transformatora u TS TR 2 10/0,40 kV. Isključenje transformatora se događa u trenutku  $t=100$  ms nakon početka simulacije.



Slika 5.27. Shematski prikaz simulacije

Nakon isključenja transformatora u TS TR 2 10/0,40 kV dolazi do pada napona i frekvencije na NN strani i na izmjenjivačima dolazi do odrade člana  $U < 0.8$  p.u. na inverteru (0,2s)

Izmjenjivač neće startati sve dok se naponske i frekvencijske prilike ne vrate u normalne pogonske vrijednosti.



Slika 5.28. Vrijednosti napona, struje i frekvencije na izmjenjivaču 1

Goodwe GW60KN–MT i GW100K–HT izmjenjivači imaju ugrađenu zaštitu od otočnog pogona u skladu s VDE 0126-1-1 i IEC 62116:2014. Pasivna zaštita od otočnog pogona koja je uvijek uključena i obuhvaća praćenje parametara mreže (podnapon, nadnapon, podfrekvencija, nadfrekvencija, praćenje nesimetrije i brzine promjene frekvencije i napona) i još dodatno aktivnu metodu detekcije otočnog rada realizirane pomakom faza (aktivna zaštita). Djelotvornost zaštite od otočnog pogona će se provjeriti u pokusnom radu.

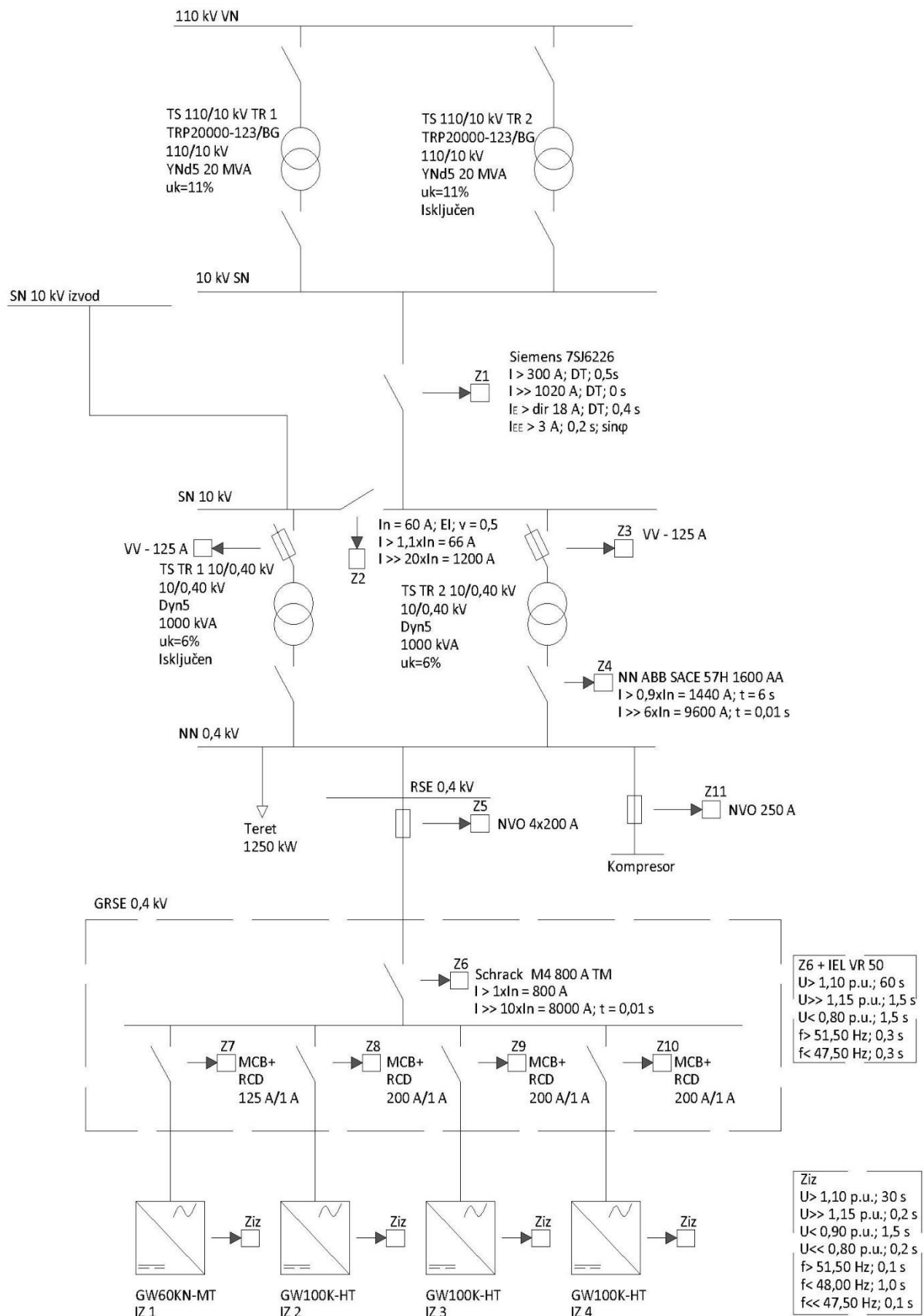
## 5.6. Tablični prikaz rezultata

Tablica 5.1. Prikaz rezultata RMS vrijednosti napona i struja.

Oznaka prema smjernicama	Vrsta kvara	Struja iz nadređene mreže VP 10 kV [A]	Struje elektrane na mjestu odvajanja NN RSE – GRSE [A]	Napon na GRSE 0,4 kV [p.u.]	Napon na IZ 1 [p.u.]	Struja na mjestu kvara [A]
KS 1	3f	7973,87	655,79	0,039	0,041	8023,42
	2f	6975,44	687,07	6951,57	0,867	7597,38
	1f	147,60	553,78	1,004	1,007	4,19
KS 2	3f	555,27	543,05	1,006	1,009	12207,43
	2f	555,67	603,22	1,006	1,009	10485,38
	1f	294,61	561,67	1,007	1,010	8242,22
KS 3	3f	651,56	14480,63	0,000	0,000	15089,98
	2f	673,23	12571,72	0,517	0,521	13058,28
	1f	410,65	11117,81	1,167	1,171	11603,90
KS 4	3f	501,25	10595,39	1,005	0,000	10969,47
	2f	224,26	3124,85	1,020	1,019	3210,15
	1f	162,21	2993,71	1,020	1,023	3386,78

Kada se odrade simulacije kvarova može se vidjeti je li potrebno mijenjati podešenja zaštite ili je dovoljno ostaviti kako su zadana. U ovom konkretnom slučaju zaštita je dobro koordinirana te se ostavlja kako je i zadana na početku.

## Konačno podešenje zaštita:



Slika 5.29. Nadomjesna shema sa ucrtanim konačnim zaštitnim elementima

## 6. Zaključak

Porastom broja fotonaponskih elektrana na niskonaponskoj mreži koje su spojene na strani potrošača koordinacija zaštite postaje sve teža jer se mora osigurati selektivnost zaštite od TS do potrošača kao i od potrošača (izvora) do TS. Priključivanjem novih FN elektrana mijenjaju se tokovi snaga te dolazi do porasta struje kratkog spoja. Struja kratkog spoja FN izvora iznosi  $I_{ks} = I_n \times (1,1 - 1,2)$  [A], a s obzirom na veliki broj FN elektrana dolazi se do velikog doprinosa struji KS-a.

Da bi osigurali selektivnost mora se osigurati isključenje odgovarajuće zaštite. Zaštita se ispituje simuliranjem kvarova; u ovome konkretnom slučaju pomoću programskog paketa DIgSILENT PowerFactory. U programu je napravljen model mreže s postojećim zaštitnim uređajima te se simulacijama 3FKS, 2FKS i 1FKS na više različitih mjesta u mreži ispituje selektivnost djelovanja zaštite kao i postavljena podešenja zaštitnih uređaja. Ako zaštitni uređaj ne isključi simulirani kvar nakon odrađenih simulacija, mora se napraviti promjena podešenja releja te ponovno simulirati isti kvar. Kada se osigura isključenje kvara s novim podešenjima zaštite tada se moraju ta podešenja primijeniti na zaštitni uređaj da bi se osigurala selektivnost.

Simulacijom kratkih spojeva dobiveni su rezultati odrade pojedinih ugrađenih zaštitnih uređaja. Može se zaključiti da ugrađena oprema za zaštitu FN elektrane osigurava potpunu zaštitu svih elemenata postrojenja i zaštitu distribucijske mreže od povratnog utjecaja elektrane tijekom kvara u postrojenju ili mreži.

## LITERATURA

- [1] S. Nikolovski, Zaštita u elektroenergetskom sustavu, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2007.
- [2] Smjernice HEP ODS za izradu Elaborata postavki zaštite
- [3] Katalog IEL VR–50
- [4] Katalog Siemens SIP4\_E8\_8.1\_en
- [5] Katalog Končar, KONPRO RIUX
- [6] Web stranica, enna energija naturalist, posjećena dana 20.4.2023. URL:  
<https://www.energianaturalis.hr/zelim-znati/solarna-elektrana-sto-je-to>
- [7] Web stranica, HEP, posjećena dana 20.4.2023. URL:  
<https://www.hep.hr/proizvodnja/obnovljivi-izvori-energije/suncane-elektrane/1726>
- [8] Web stranica, HEP, posjećena dana 20.4.2023. URL:  
<https://www.hep.hr/projekti/obnovljivi-izvori-energije/integrirane-suncane-elektrane/2981>
- [9] Web stranica, HEP, posjećena dana 20.4.2023. URL:  
<https://www.hep.hr/projekti/obnovljivi-izvori-energije/neintegrirane-suncane-elektrane/3422>
- [10] Web stranica, finnelectric.fi, posjećena dana 25.4.2023. URL:  
[https://www.finnelectric.fi/wp-content/uploads/2021/03/KRIES\\_iki-30\\_en\\_0316.pdf](https://www.finnelectric.fi/wp-content/uploads/2021/03/KRIES_iki-30_en_0316.pdf)
- [11] Web stranica, schrack, posjećena dana 25.4.2023. URL:  
<https://image.schrack.com/produktkataloge/k-mccb-e10.pdf>
- [12] Web stranica, eti, posjećena dana 25.4.2023. URL:  
<https://www.eti.hr/>
- [13] IKI-30 Transformer Monitor katalog, Kries - Energietechnik GmbH & Co KG

## **Sažetak**

Kroz diplomski rad se prikazalo kako se ispituje je li dobra koordiniranost zaštite mreže na koju se spaja fotonaponska elektrana od 390 kW. U radu su se objasnili osnovni pojmovi i zadaće zaštite koji su se koristili u mreži (NN i VN osigurači, releji). Provele su se simulacije trolnih, dvopolnih i jednopolnih kratkih spojeva na lokacijama mreže koje su dane od strane HEP ODS u smjericama za izradu Elaborata podešenja zaštite.

**Ključne riječi:** DIgSILENT PowerFactory, koordinacija, osigurači, releji, selektivnost

## **PROTECTION COORDINATION IN THE TIME DOMAIN OF A PV POWER PLANT**

### **Abstract**

Through the master thesis, it was shown how it is examined whether the protection of the network to which the photovoltaic power plant of 390 kW is connected is well coordinated. In the work, we explained the basic concepts and tasks of protection used in the network (LV and HV fuses, relays). We carried out simulations of three-pole, two-pole and one-pole short circuits at the network locations given to us by HEP ODS in the guidelines for creating the Elaborate protection settings.

**KEY WORDS:** DIgSILENT PowerFactory, coordination, fuses, relays, selectivity



## **Životopis**

Josip Čolak rođen je 27.03.1996. u Vinkovcima. Završio je osnovnu školu „Ivana Brlić–Mažuranić“ Rokovci Andrijaševci. Nakon završene osnovne škole upisuje Tehničku školu „Ruđer Bošković“ Vinkovci smjer elektrotehničar te ju završava 2015. godine sa vrlo dobrim uspjehom. Iste godine upisuje prediplomski sveučilišni studij elektrotehnike, smjer elektrotehnika na Elektrotehničkom fakultetu Osijek. Na drugoj godini se opredjeljuje za smjer Elektroenergetika. Godine 2021. završava preddiplomski studij završnim radom „Suvremena unutarnja rasvjeta“ te upisuje Diplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijski tehnologija Osijek, smjer Elektroenergetika, modul DEA – Elektroenergetski sustavi.