



Ring Main Unit (RMU) i njegova primjena u analizama električnih postrojenja

ELEKTRIČNA POSTROJENJA
ETF EEO EP 3670

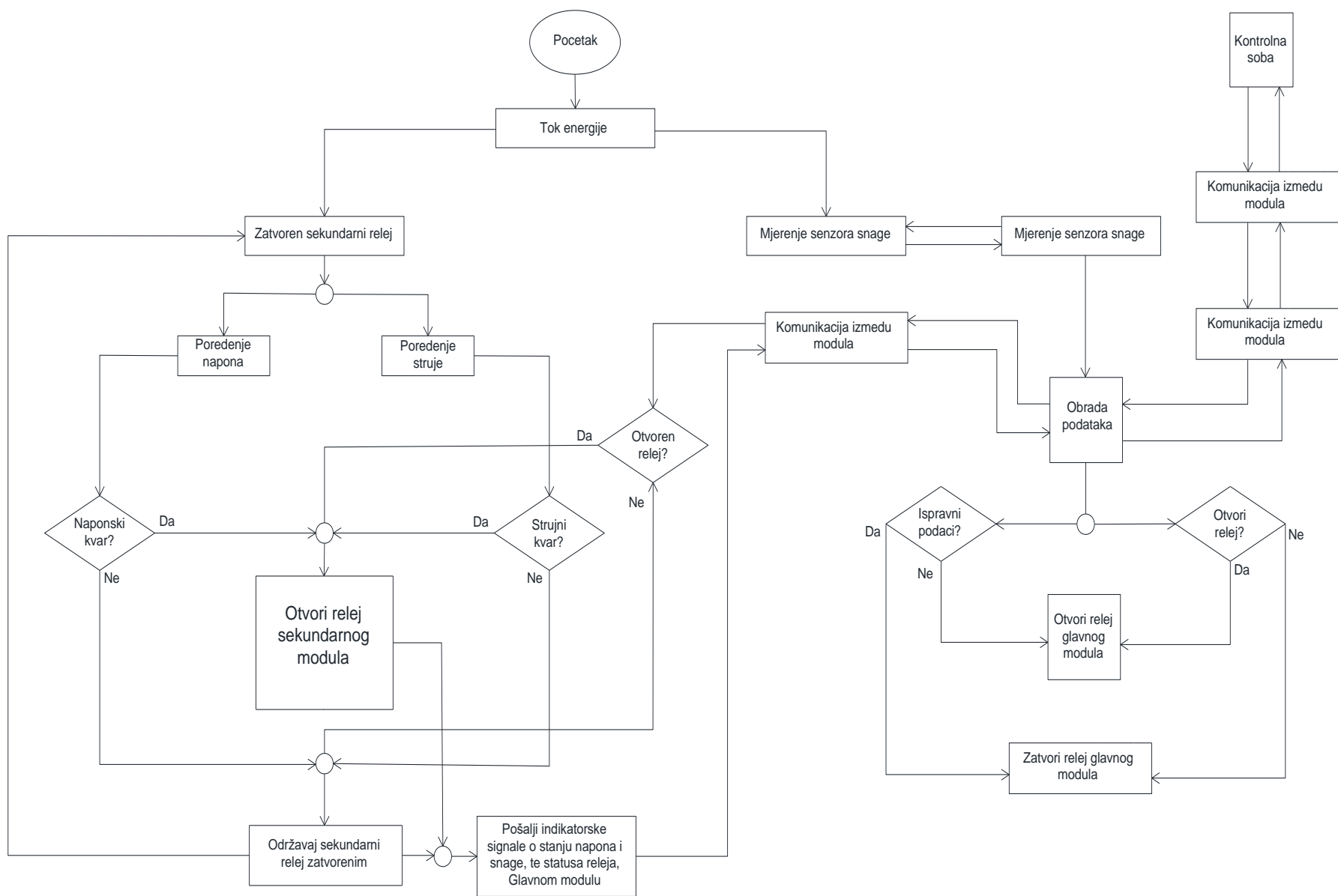
Nastavniansambl:
Doc. Dr Selma Grebović, dipl.ing.el.
MoE VahidHelać, dipl.ing.el.

Maj 2021.

Studenti:
Haris Osmić
Ermin Bošnjaković
Aldin Topalović

1. Uvod

Ring Main Unit (RMU) je uređaj koji vrši mjerenja električnih varijabli mreže i šalje informacije bežično do centralne stanice, također RMU može detektovati kvar i izvršiti kontrolu isključivanjem sa mreže. Potreba za RMU se javila s ciljem upravljanja pametnom mrežom i koristi se u mrežama srednjeg i niskog napona. Prvi RMU su bili jednostavni prekidači ili osigurači koji se isključuju u mrežama kada se kvar događa u bilo kojem kabelu. Danas RMU je sastavljena od prekidača kojim se može daljinski upravljati i koji također mjere napon, frekvenciju, struju, aktivnu i reaktivnu snagu, faktor snage, više harmonike, sadrže i opremu koja može detektovati povišenu struju, smanjenje napona i sadrže releje.



Slika 1. Blok dijagram RMU

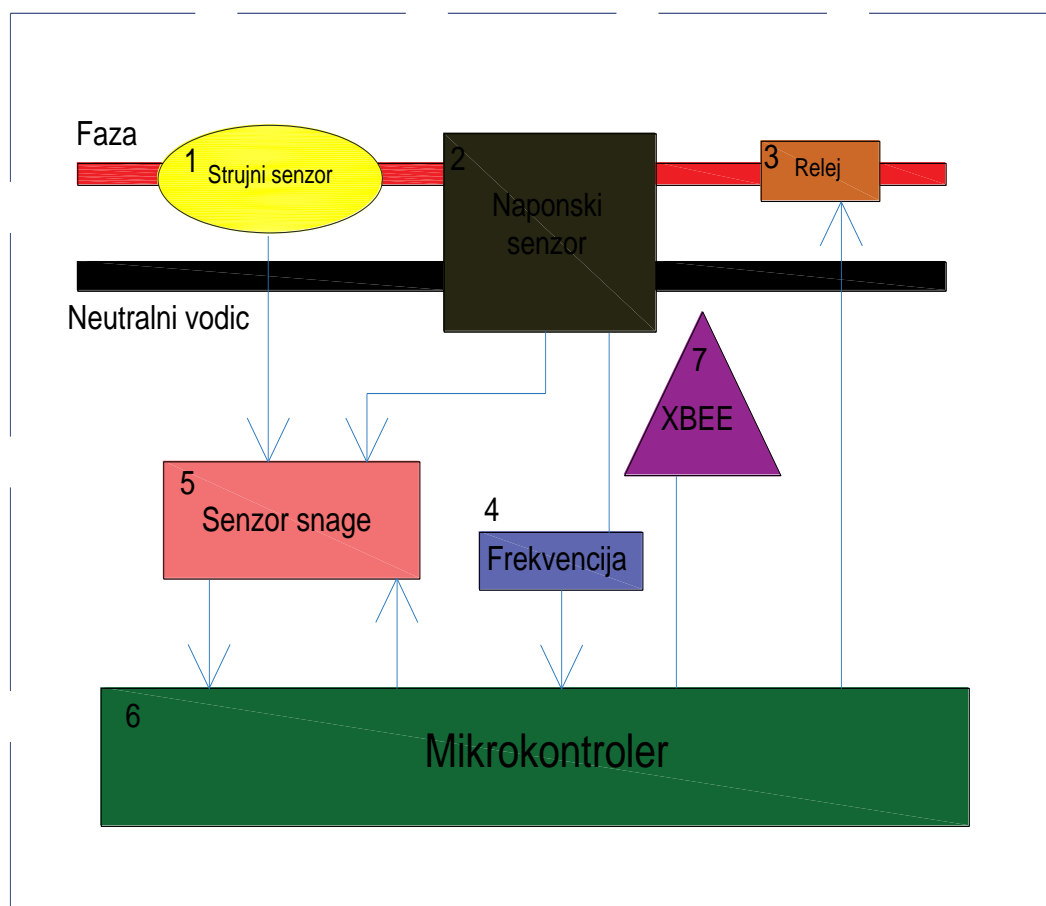
2. Princip rada

Na Sliku 1. prikazan je blok dijagram RMU uređaja.

Na blok dijagramu vidimo da se uređaj sastoji od tri modula : dva sekundara (A i B) i glavnog modula. Glavni modul može mjeriti električne varijable mreže i upravljati relejom, da spoji ili odspoji čvor koji uspostavlja komunikaciju sa centralnom stanicom MTU. Sekundarni moduli mogu detektovati značajne promjene napona i struje električne mreže i ukoliko premaše vrijednosti praga koje su unaprijed predviđene, dva releja će se aktivirati i odspojiti mrežu.

2.1 Glavni modul

Glavni modul povezuje ili isključuje čvorište i obezbjeđuje komunikaciju sa centralnom stanicom MTU. Na Sliku 2. prikazan je blok dijagram glavnog modula.



Slika 2. Blok dijagram glavnog modula

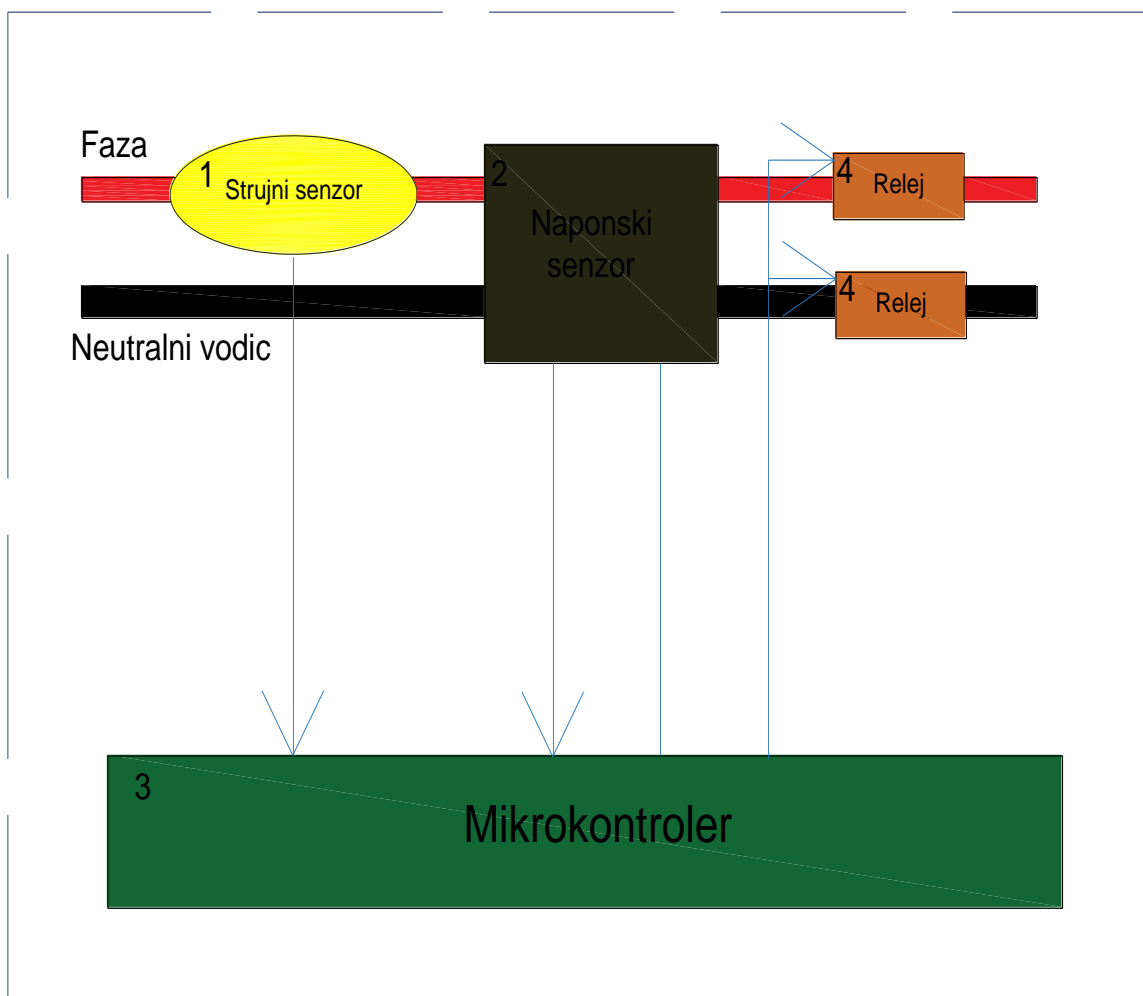
Ovaj blok sadrži :

1. Strujni senzor
2. Naponski senzor
3. Releji
4. Pretvarač frekvencije u istosmjerni napon
5. Senzor snage
6. Mikrokontroler
7. Uređaj koji omogućuje bežičnu komunikaciju

Glavni modul sadrži i četiri LED indikatora koji signaliziraju kvarove. Tako da žuta dioda označava strujni kvar, crvena dioda označava naponski kvar, bijela dioda označava da je relej zatvoren, a plava dioda označava da je relej trajno zatvoren. Dimenzije glavnog modula su 10 x 6 cm.

2.2 Sekundarni modul

Ovaj modul radi sa dva releja, jedan relej je za fazu, a drugi relej je za nulti vodič mreže i ovi releji se upravljaju istim signalom. Na Slika 3. prikazan je blok dijagram sekundarnog modula.



Slika 3. Blok dijagram sekundarnog modula

Ovaj blok se sastoji od :

1. Strujni senzor
2. Naponski senzor
3. Mikrokontroler
4. Relej

Sekundarni modul sadrži tri LED indikatora, koji su žute, crvene i bijele boje, a njihova značenja su kao i kod glavnog modula.

3. Simulacija

Za simulaciju rada jednog Ring Main Unit uređaja korišten je Matlab/Simulink paket. Kroz popratni '.m' file moguće je kontrolisati mnoge parametre simulacije, kao što su parametri blokova zamjenske sheme, tipovi kratkih spojeva, te vremena pojave i trajanja kratkih spojeva.

Također, moguće je odabrati primarnu mrežu, te onu koju će štice pogon koristiti u slučaju kvara. Radi uniformnog i intuitivnog praćenja stanja u mreži i prikaza podataka, korištene su korisnički definirane sabirnice, čija će konstrukcija biti predstavljena u pasusima koji slijede.

3.1 Podaci zamjenske sheme i upravljanje simulacijom

Prvi blok koda koji se nalazi u matlab file-u definiše parametre našeg trofaznog naponskog izvora.

```
%-----
%-----Ulazni podaci-----
%-----

Un = 110e3;           %kV
f = 50;               %Hz
L = 64.2e-3;
```

Gdje '*Un*' predstavlja nazivni linijski napon mreže, '*f*' frekvenciju mreže a '*L*' induktivnost izvora.

Podaci o vodu unešeni su u vidu parametara zamjenske π – sheme u sistemu simetričnih komponenti.

```
%-----Podaci o vodu-----
Rv0 = 0.3864;
Rvd = 0.01273;
Lv0 = 4.1264e-3;
Lvd = 0.9337e-3;
Cv0 = 7.751e-9;
Cvd = 12.74e-9;

lv = 100;
%-----
```

Gdje su '*Rv0*' i '*Rvd*' otpornosti nulte i direktne komponente u jedinici $\frac{\Omega}{km}$, '*Lv0*' i '*Lvd*' induktivnosti voda u jedinici $\frac{H}{km}$ te '*Cv0*' i '*Cvd*' kapacitivnosti nulte i direktne komponente u jedinici $\frac{F}{km}$, respektivno.

```
%-----Podaci o linearnom potrosacu-----
Unp = 10e3;
Pp = 5e6;
Ql = 1e6;
Qc = 0;
%-----
```

Kada je riječ i podacima za linearni potrošač, tu srećemo '*Unp*' koja definiše nazivni napon potrošača, '*Pp*' kao aktivnu snagu potrošača, '*Ql*' induktivnu reativnu i '*Qc*' kapacitivnu reaktivnu snagu.

```
%-----Podaci o transformatoru-----  
a = 11;  
Pn = 10e6;  
Utp = Un;  
R1pu = 0.01;  
R2pu = 0.01;  
Uts = Utp / a;  
%-----
```

Podaci o transformatoru definišu prenosni odnos transformatora '*a*', nazivnu snagu transformatora '*P_n*', kao i primarne i sekundarne napone '*U_{tp}*' i '*U_{ts}*', respektivno. '*R1_{pu}*' i '*R2_{pu}*' predstavljaju aktivne otpornosti zamjenske sheme transformatora.

```
%-----Podaci za kratke spojeve i prekidace-----  
  
ksL_poc = 0.1;  
ksL_kraj = 0.2;  
ksD_poc = 0.3;  
ksD_kraj = 0.4;  
  
izvor1 = 1; %postaviti 1 za izvor koji zelimo da bude primarno napajanje  
izvor2 = 0; %postaviti na 0 za izvor koji zelimo da bude rezerva  
  
if izvor1 == 1 && izvor2 == 0  
    otvaranje1 = ksL_poc + 0.032;  
    zatvaranje1 = ksL_poc + 0.062;  
    otvaranje2 = ksL_kraj + 0.032;  
    zatvaranje2 = ksL_kraj + 0.062;  
elseif izvor1 == 0 && izvor2 == 1  
    otvaranje1 = ksD_poc + 0.032;  
    zatvaranje1 = ksD_poc + 0.062;  
    otvaranje2 = ksD_kraj + 0.032;  
    zatvaranje2 = ksD_kraj + 0.062;  
end
```

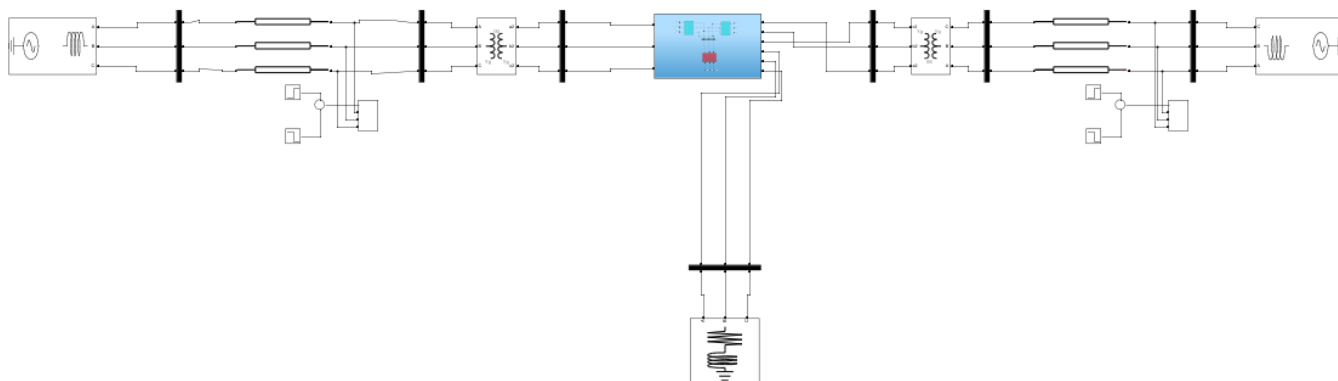
Ova sekcija kontroliše fizikalne pojave kratkih spojeva, tačnije vremena nastanka i prekida istih, te vremena reagovanja prekidača, na taj način simulirajući nesavršenost zaštitne opreme i kašnjenja koja ona ima.

'*ksL_poc*' i '*ksL_kraj*' definišu početak i kraj kratkog spoja na lijevoj strani u odnosu na RMU uređaj, a varijable '*ksD_poc*' i '*ksD_kraj*' početak i kraj kratkog spoja desno od RMU uređaja.

Također, moguće je kontrolisati i birati mrežu koju uzimamo za primarnu a koju za sekundarnu, koja će biti korištena u slučaju kvara prve. Upravo to se postavlja pomoću varijabli '*izvor1*' koja postavlja izvor lijevo od RMU uređaja za primarni, dok varijabla '*izvor2*' postavlja izvor desno od RMU uređaja za primarni.

Posljedično tome, potrebno je pravilno postaviti vremena otvaranja i zatvaranja prekidača na oba sporedna modula, kao i glavnog modula, a što se radi u gore napisanoj petlji uz pomoć varijabli '*otvaranje1*', '*otvaranje2*', '*zatvaranje1*' i '*zatvaranje2*' a koje kontrolišu vremena otvaranja i zatvaranja prekidača na glavnom modulu u skladu sa vremenima pojave kratkih spojeva i kašnjenja prekidača.

3. 2 Shema simulacije i pojedini blokovi



Slika 4. Shema simulacije rada RMU uređaja na visokonaponskoj 110kV mreži

Na shemu se nalaze sljedeći blokovi, s lijeva na desno:

1. Izvor trofaznog napona 1
2. Dalekovod (π element) 1
3. Trofazni dvonamotajni transformator 1
4. RMU uređaj
5. Trofazni dvonamotajni transformator 2
6. Dalekovod (π element) 2
7. Izvor trofaznog napona 2

Te paraleleno priključeno trofazno RLC opterećenje koje predstavlja štićeni linearni potrošač.

Block Parameters: Trofazni izvor napona

Three-Phase Source (mask) (link)

Three-phase voltage source in series with RL branch.

Parameters Load Flow

Configuration: Yg

Source

☐ Specify internal voltages for each phase

Phase-to-phase voltage (Vrms): Un

Phase angle of phase A (degrees): 0

Frequency (Hz): f

Impedance

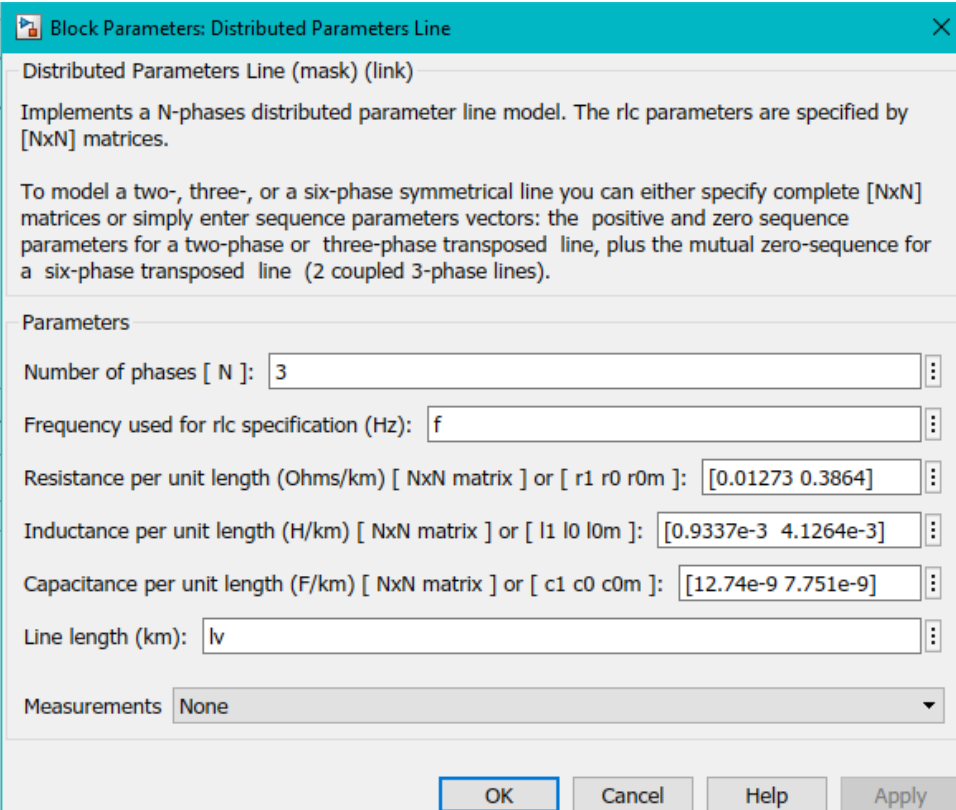
☒ Internal ☐ Specify short-circuit level parameters

Source resistance (Ohms): 0

Source inductance (H): L

Base voltage (Vrms ph-ph): Un

OK Cancel Help Apply



Block Parameters: Distributed Parameters Line

Distributed Parameters Line (mask) (link)

Implements a N-phases distributed parameter line model. The rlc parameters are specified by [NxN] matrices.

To model a two-, three-, or a six-phase symmetrical line you can either specify complete [NxN] matrices or simply enter sequence parameters vectors: the positive and zero sequence parameters for a two-phase or three-phase transposed line, plus the mutual zero-sequence for a six-phase transposed line (2 coupled 3-phase lines).

Parameters

Number of phases [N]: 3

Frequency used for rlc specification (Hz): f

Resistance per unit length (Ohms/km) [NxN matrix] or [r1 r0 r0m]: [0.01273 0.3864]

Inductance per unit length (H/km) [NxN matrix] or [l1 l0 l0m]: [0.9337e-3 4.1264e-3]

Capacitance per unit length (F/km) [NxN matrix] or [c1 c0 c0m]: [12.74e-9 7.751e-9]

Line length (km): lv

Measurements: None

OK Cancel Help Apply

Slika 5. Parametri bloka izvora trofaznog napona i dalekovoda

Block Parameters: Trofazni-dvonamotajni transformator

Three-Phase Transformer Inductance MatrixType (Two Windings) (mask) (link)

This three-phase transformer model represents inductive coupling between windings located on different phases of a three-limb or a five-limb core. It also allows modeling of a three-phase transformer built with three single-phase units (no coupling between phases). The transformer R L parameters are obtained from no-load excitation tests and short-circuit tests in positive- and zero-sequence. When "Three-limb or five-limb" core type is specified, the transformer is modeled by 6 coupled windings; otherwise, it is modeled by 3 sets of 2 coupled windings ($Z_0=Z_1$).

Configuration **Parameters**

Nominal power and frequency [$P_{nom}(VA)$, $F_{nom}(Hz)$] [Pn, f]

Nominal line-line voltages [V_1 , V_2] (Vrms) [Utp, Uts]

Winding resistances [R_1 , R_2] (pu) [0.01, 0.01]

Positive-sequence no-load excitation current (% of I_{nom}) 2

Positive-sequence no-load losses (W) 1000

Positive-sequence short-circuit reactance X_{12} (pu) 0.06

Zero-sequence no-load excitation current with Delta windings opened (% of I_{nom}) 5

Zero-sequence no-load losses with Delta windings opened (W) 1500

Zero-sequence short-circuit reactance X_{12} (pu) 0.03

OK Cancel Help Apply

Slika 6. Parametri bloka trofaznog dvonamotajnog transformatora

Block Parameters: Three-Phase Series RLC Load

Three-Phase Series RLC Load (mask) (link)

Implements a three-phase series RLC load.

Parameters **Load Flow**

Configuration Y (grounded)

Nominal phase-to-phase voltage V_n (Vrms) Unp

Nominal frequency f_n (Hz): f

☐ Specify PQ powers for each phase

Active power P (W): Pp

Inductive reactive power Q_L (positive var): Ql

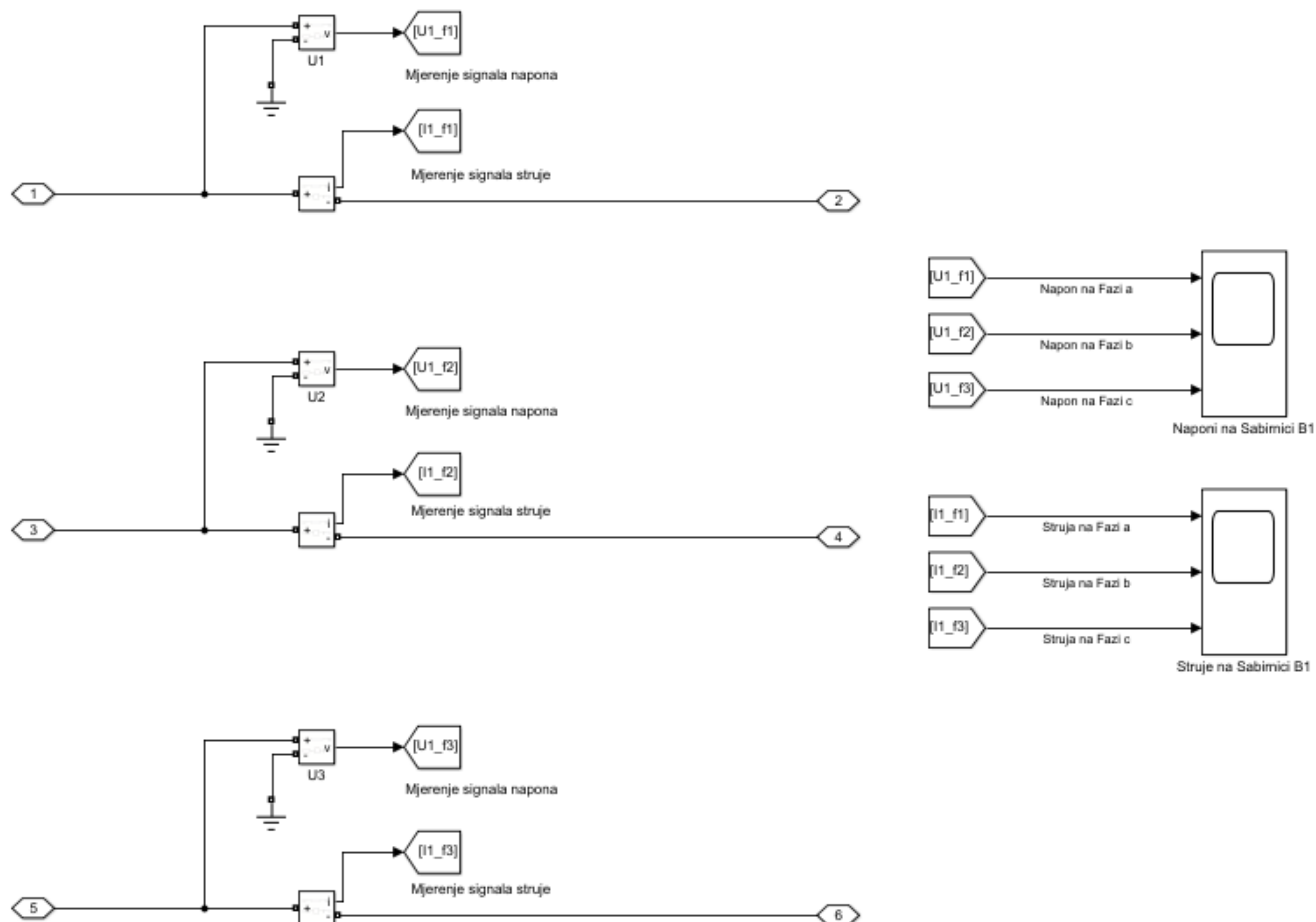
Capacitive reactive power Q_c (negative var): Qc

Measurements None

OK Cancel Help Apply

Slika 7 Parametri bloka linearnog potrošača

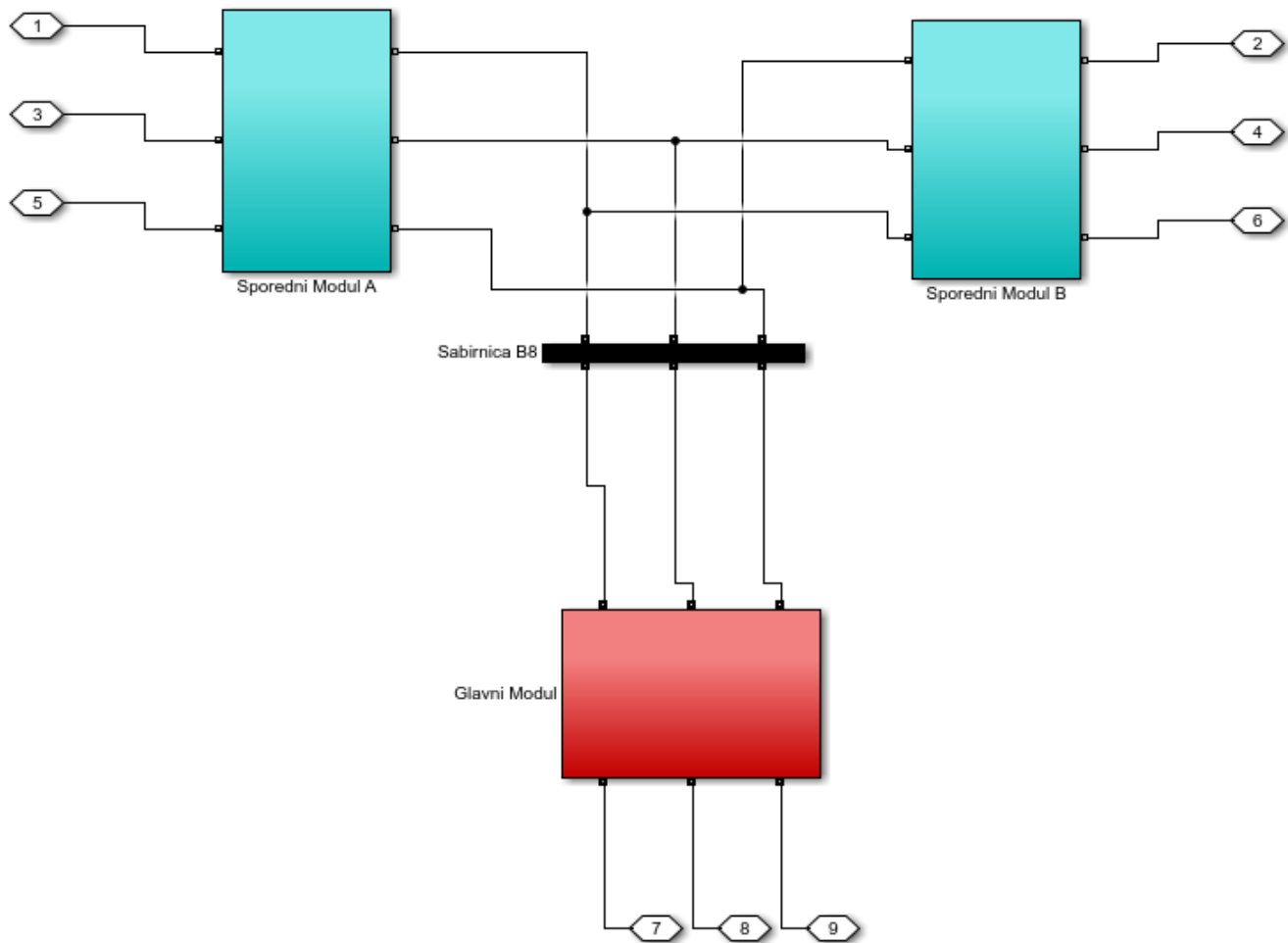
3.3 Sabirnice



Slika 8. Prikaz modela jedne sabirnice i mjerenja na toj sabirnici

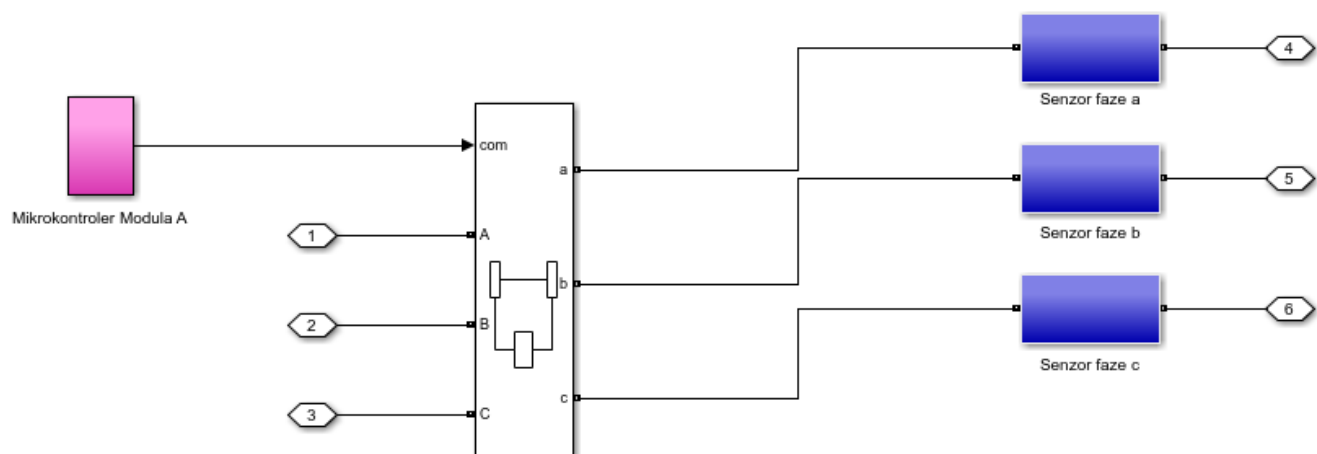
Kao što se može vidjeti sa slike, svaka sabirnica sastoji se iz po jednog voltmetra i ampermetra za svaku fazu pojedinačno. Voltmetri su spojeni između linije i faze te mjere fazne vrijednosti napona. Prikaz signala spomenutih mjernih instrumenata omogućen je preko 2 scopea, od kojih svakih prikazuje sve 3 faze struja i napona, zasebno.

3.4 RMU uređaj



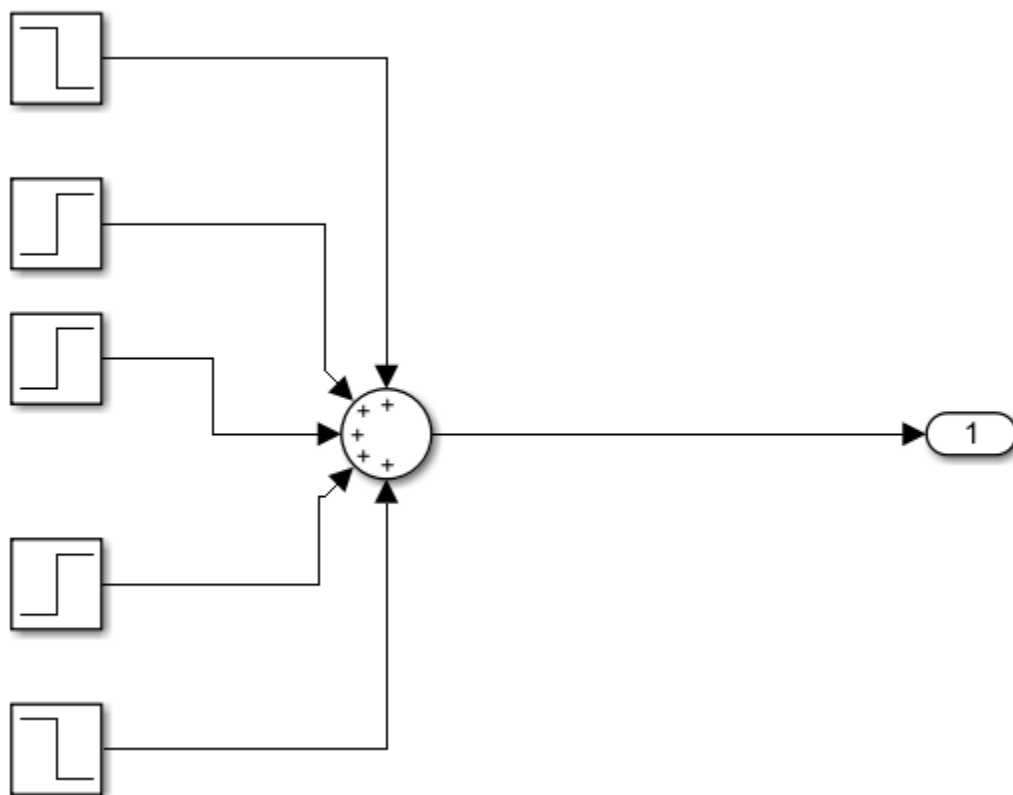
Slika 9. RMU uređaj sa svoja 3 modula

3.5 Model jednog sporednog modula



Slika 10. Model Sporednog modula A

3.6 Mikrokontroler jednog modula



Slika 11. Mikrokontroler Sporednog modula A

Block Parameters: Step

Step

Output a step.

Parameters

Step time:

Initial value:

Final value:

Sample time:

☒ Interpret vector parameters as 1-D

☒ Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply

Block Parameters: Three-Phase Breaker

Three-Phase Breaker (mask) (link)

Implements a three-phase circuit breaker. When the external switching time mode is selected, a Simulink logical signal is used to control the breaker operation.

Parameters

Initial status:

Switching of:

☒ Phase A ☒ Phase B ☒ Phase C

Switching times (s): ☒ External

Breaker resistance Ron (Ohm):

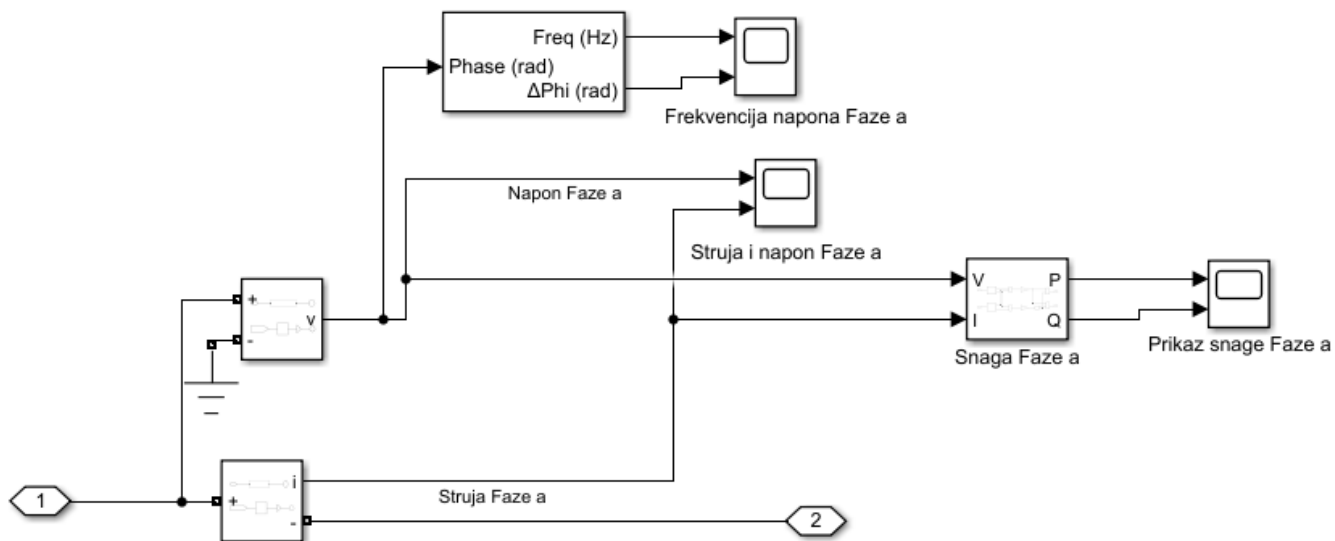
Snubber resistance Rs (Ohm):

Snubber capacitance Cs (F):

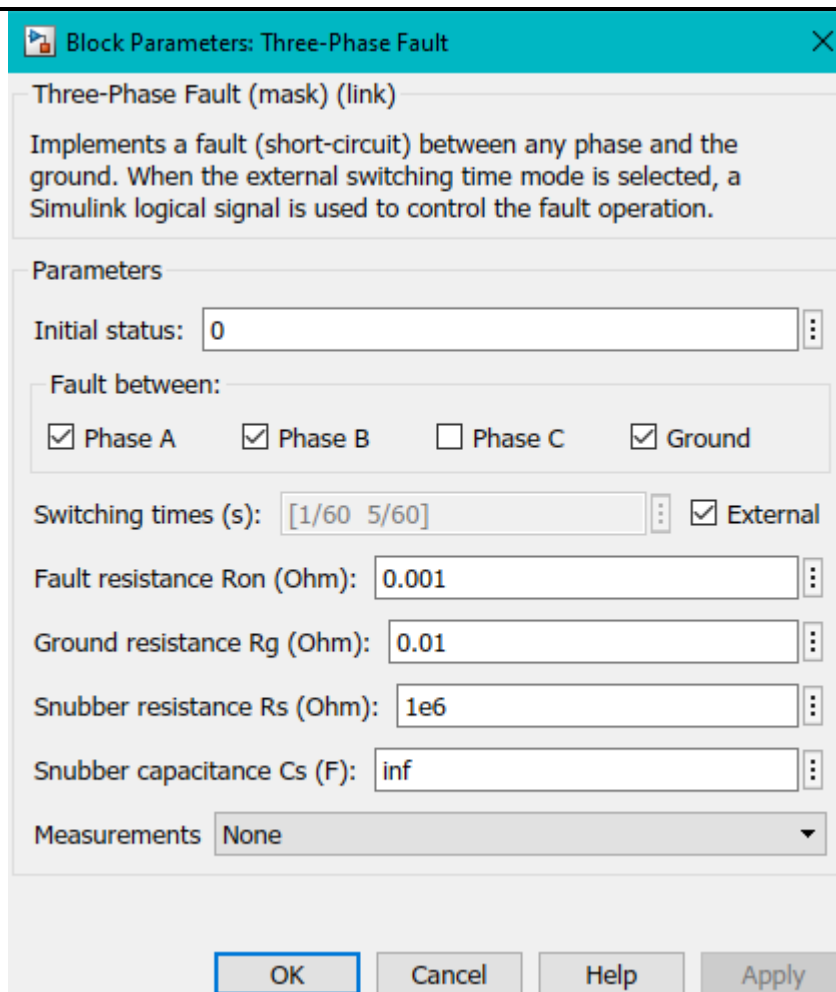
Measurements:

OK Cancel Help Apply

Slika 12. Jedan upravljački signal i blok prekidača Sporednog modula A



Slika 13. Primjer jednog senzora



Block Parameters: Three-Phase Fault [X]

Three-Phase Fault (mask) (link)

Implements a fault (short-circuit) between any phase and the ground. When the external switching time mode is selected, a Simulink logical signal is used to control the fault operation.

Parameters

Initial status: 0

Fault between:

☒ Phase A ☒ Phase B ☐ Phase C ☒ Ground

Switching times (s): [1/60 5/60] ☒ External

Fault resistance R_{on} (Ohm): 0.001

Ground resistance R_g (Ohm): 0.01

Snubber resistance R_s (Ohm): 1e6

Snubber capacitance C_s (F): inf

Measurements: None

OK Cancel Help Apply

Slika 14. Trofazni kvar

Pomoću bloka trofaznog kvara (kratkog spoja) moguće je birati i postavljati tip i vrstu kratkog spoja, te parametre istog.

4. Rad Ring Main Unit uređaja kroz simulaciju

4.1. Dvopolni kratki spoj sa zemljom

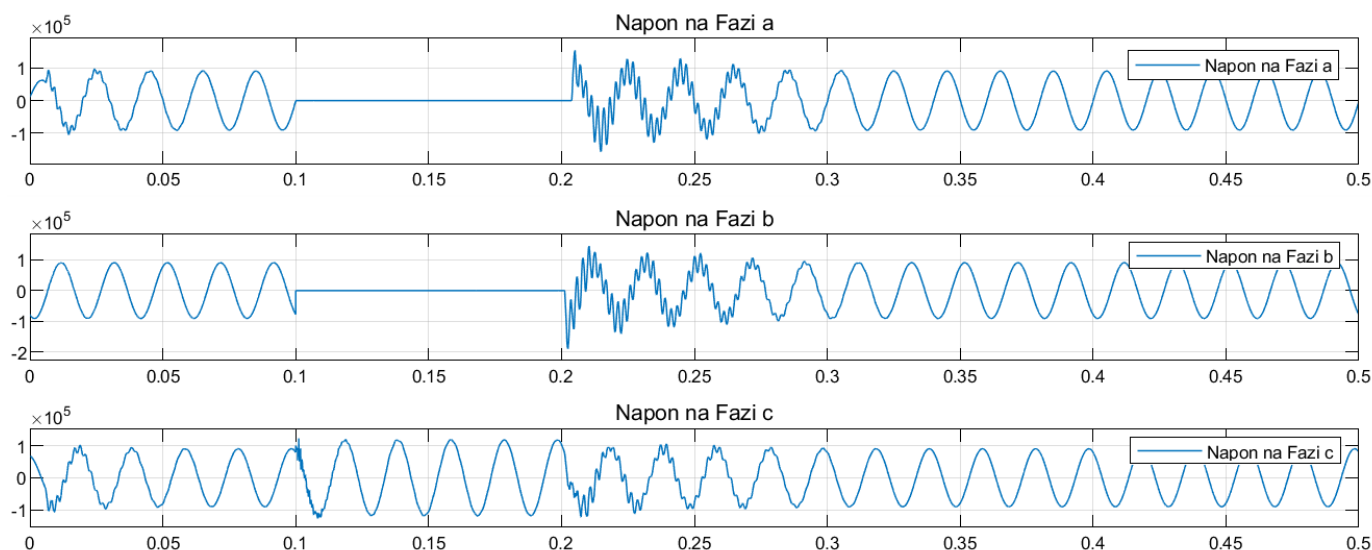
Neka su postavke simulacije sljedeće:

```
ksL_poc = 0.1;
ksL_kraj = 0.2;
ksD_poc = 0.3;
ksD_kraj = 0.4;

izvor1 = 1; %postaviti 1 za izvor koji zelimo da bude primarno napajanje
izvor2 = 0; %postaviti na 0 za izvor koji zelimo da bude rezerva

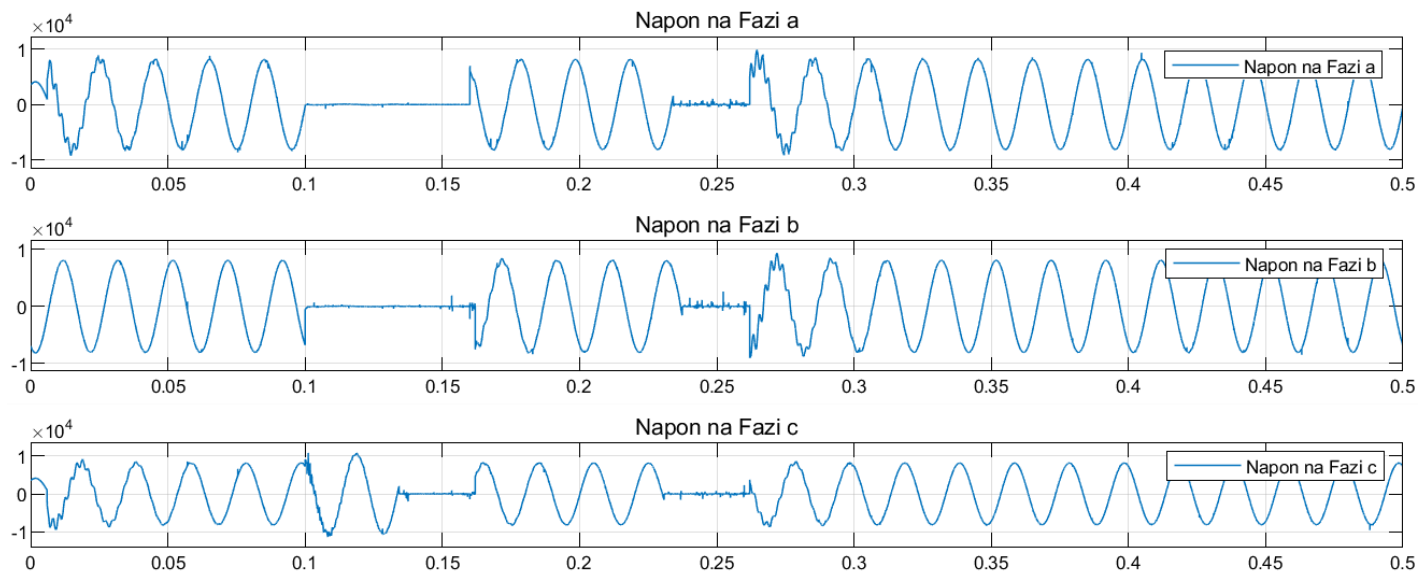
if izvor1 == 1 && izvor2 == 0
    otvaranje1 = ksL_poc + 0.032;
    zatvaranje1 = ksL_poc + 0.062;
    otvaranje2 = ksL_kraj + 0.032;
    zatvaranje2 = ksL_kraj + 0.062;
elseif izvor1 == 0 && izvor2 == 1
    otvaranje1 = ksD_poc + 0.032;
    zatvaranje1 = ksD_poc + 0.062;
    otvaranje2 = ksD_kraj + 0.032;
    zatvaranje2 = ksD_kraj + 0.062;
end
```

Gdje je riječ o dvopolnom kratkom spoju faza A i B sa zemljom na *lijevoj* strani, pri čemu je *lijevi* izvor primarni, a jednopolnim kratkim spojem na *desnoj* strani. Na slikama koje slijede prikazani su signali na sabirnicama od interesa (B2, B5, B6 i B7).



Slika 15. Signali na sabirnici B1

Kao što se to može primijetiti, u trenutku $t = 0.1$ dolazi do DKSZ faza A i B i isti traje sve do $t = 0.2$ pa samim tim i naponi na sabirnicama koje se fizički nalaze poslije mjesta kvara, padaju na nulu. Također se može primijetiti da signal napona faze C ne pada na nulu, već na njemu dolazi do kolebanja.



Slika 17. Signali na sabirnici B7

Sabirnica B7 je sabirnica na koju je povezan linearni potrošač i pokazuje trenuke reagovanja zaštite, to jeste prekidača i RMU uređaja. Kao što se može vidjeti, signal napona faze C ne pada na nulu do trenutka reagovanja prekidača, što je i sukladno očekivanjima. Prekidi u napajanju traju sve do uključenja sekundarne *desne* mreže kada se naponske prilike obnavljaju na nominalne.

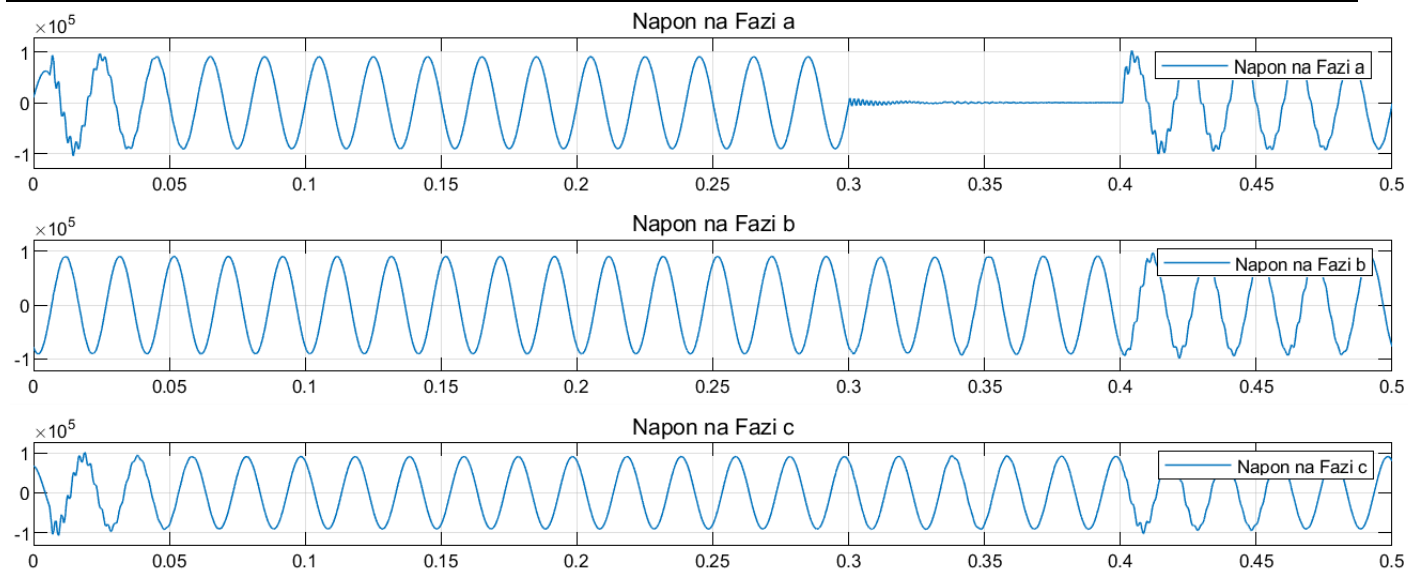
4.2. Jednopolni kratki spoj sa zemljom

Neka su postavke simulacije sljedeće:

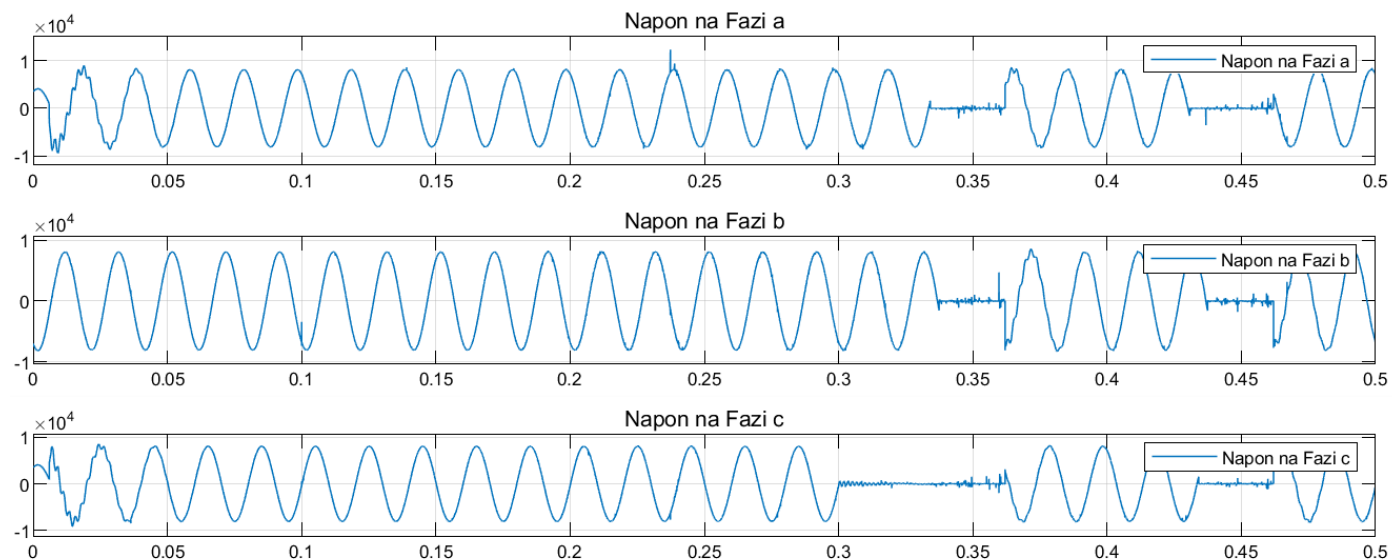
```
izvor1 = 0; %postaviti 1 za izvor koji zelimo da bude primarno napajanje
izvor2 = 1; %postaviti na 0 za izvor koji zelimo da bude rezerva

if izvor1 == 1 && izvor2 == 0
    otvaranje1 = ksL_poc + 0.032;
    zatvaranje1 = ksL_poc + 0.062;
    otvaranje2 = ksL_kraj + 0.032;
    zatvaranje2 = ksL_kraj + 0.062;
elseif izvor1 == 0 && izvor2 == 1
    otvaranje1 = ksD_poc + 0.032;
    zatvaranje1 = ksD_poc + 0.062;
    otvaranje2 = ksD_kraj + 0.032;
    zatvaranje2 = ksD_kraj + 0.062;
end
```

Gdje je riječ o jednopolnom kratkom spoju faze C sa zemljom, koji nastaje u trenutku $t = 0.3$, a završava u $t = 0.4$. Na slici 18 prikazani su signali u trenutku nastanka kratkog spoja faze C sa zemljom gdje napon faze pada na nulu.



Slika 18. Signali na sabirnici B5

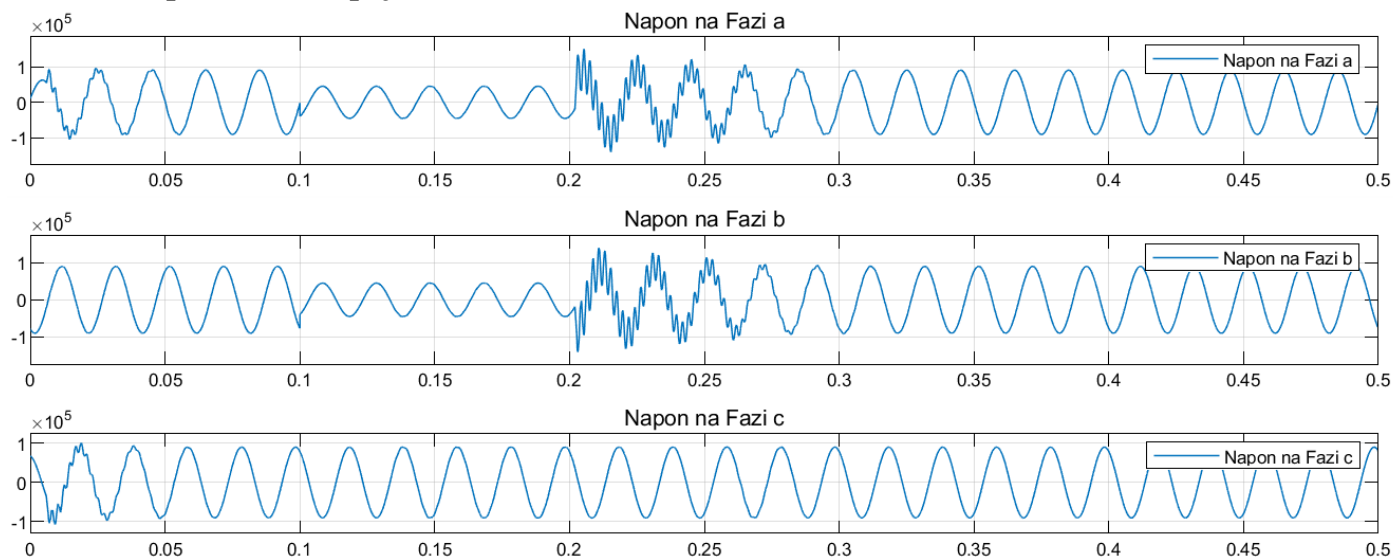


Slika 19. Signali na sabirnici B7

Kao što je to prethodno bio slučaj, i sada se mogu primijetiti pojave kvara na sabirnici kod potrošača, te trenutci reagovanja RMU uređaja i vremena potrebnog da se potrošač prebaci na alternativni izvor napajanja.

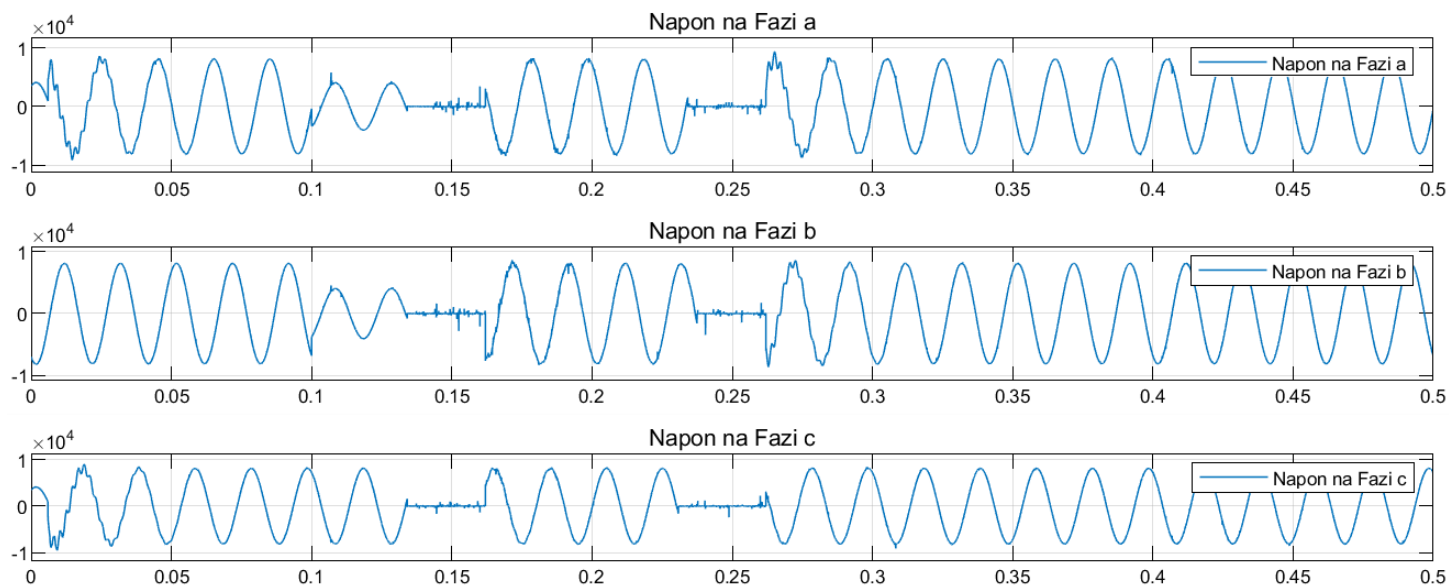
U nastavku će biti prikazana još dva opća slučaja bez detaljne diskusije, jer u principu vrijede ista pravila i zapažanja kao što je to bio slučaj u prethodne dvije situacije.

4.3. Dvopolni kratki spoj



Slika 20. Signali na sabirnici B2

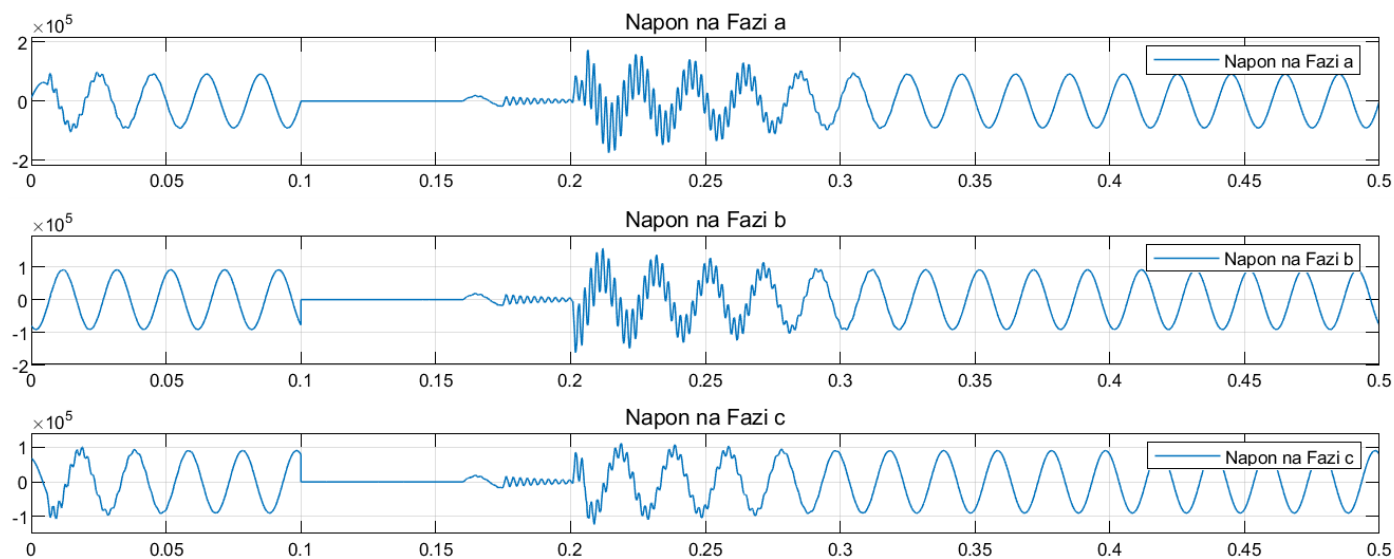
U ovom primjeru dolazi do dvopolnog kratkog spoja faza A i B u trenutku $t = 0.1$ i koji traje sve do $t = 0.2$. Kao što se da primijetiti, naponi ne padaju sve do nule, već se samo njihova vrijednost smanjuje do otprilike polovine vrijednosti, što je uzrokovano ne postojanjem veze sa zemljom.



Slika 21. Signali na sabirnici B7

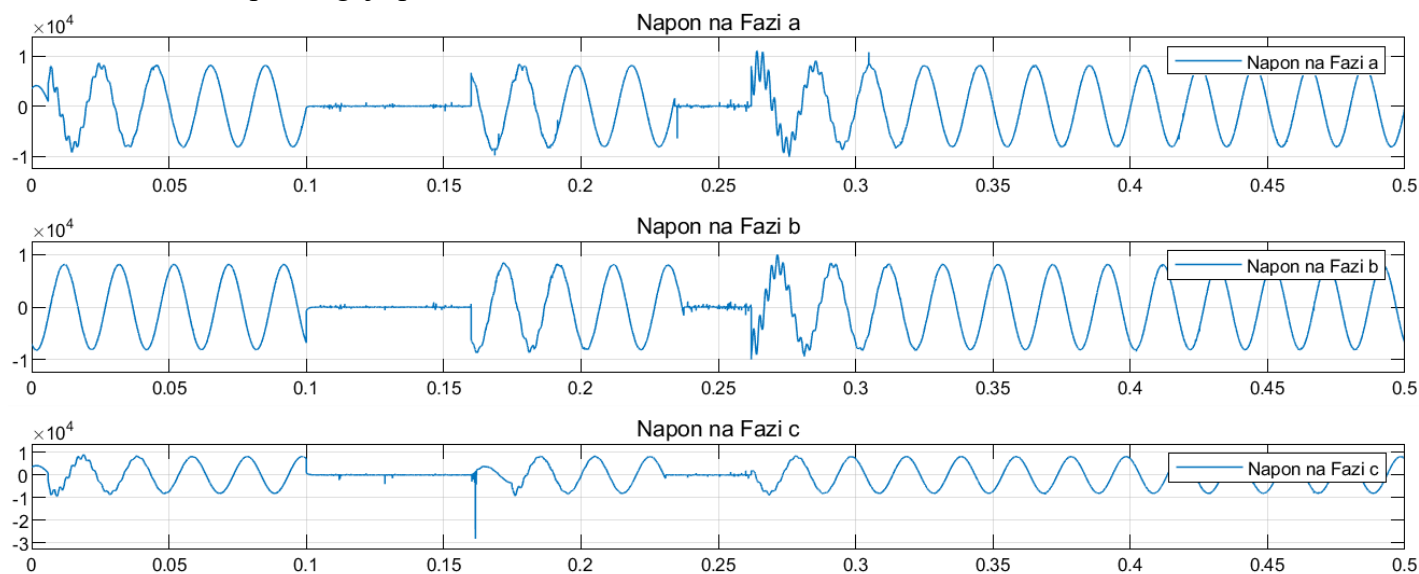
Stanje na sabirnici B7 se bitno ne mijenja u ovisnosti o kratkom spoju, jer Glavni modul svakako odspaja potrošač od mreže pri pojavi bilo kakvog kratkog spoja.

4.4. Trofazni kratki spoj



Slika 22. Signali na sabirnici B2

Kao što je to za očekivati, naponi faza pri pojavi trofaznog kratkog spoja u datom slučaju padaju na nulu. Dok zaštita opet reaguje pravilno.



Slika 23. Signali na sabirnici B7

5. Primjena RMU

Osnovne funkcije razvodnog uređaja su:

- Upravljanje krugom: Upravlja krugom za prebacivanje funkcija.
- Izolacija: Izolira neispravnu opremu od ostatka kruga
- Zaštita: Štiti krug od struje zemljospoja, kvara struje kratkog spoja i preopterećenja.

U usporedbi sa osiguračima srednjeg napon, prekidač u kombinaciji s relejima poboljšati će sposobnost selektivne zaštite; Izbjegavajte nepravilan rad prenaponske struje transformatora; Otkrivanje faznih struja kvara i malog intenziteta zemlje.

RMU električni ormarići se koriste sa mnogo različitih aplikacija u sistemu distribucije sekundarnih krugova, sa funkcijom ulaznog prebacivanja za transformatorske stanice, integrisane transformatorske stanice itd., u mnogim poljima poslovanja.

RMU se koristi u podzemnoj kablovskoj distributivnoj mreži na priključcima tereta i spojnim mjestima distributivne mreže prstenastog tipa. Ring Main Unitare takođe je pogodan za upotrebu u sledećim aplikacijama:

- Kompaktne sekundarne podstanice
- Vjetroelektrane
- Solarne elektrane
- Male industrije
- Hoteli, poslovne zgrade, stambeni kompleks, tržišni centri, poslovni centri, bolnice, aerodromi itd.

6. Prednosti RMU

RMU je inovativno rješenje koje olakšava upravljanje brojnim izazovima električne distribucije. RMU je sveobuhvatno rješenje i sigurno je, jednostavno se instalira i održava u rasklopnim uređajima, pomažući komunalnim preduzećima da poboljšaju pouzdanost i vrijeme rada mreže i smanje operativne troškove.

- Kompaktni dizajni bogati karakteristikama: Glavna jedinica prstena je kompaktna rasklopna naprava izolirana SF6 opremljena SF6 rastavljačem i vakuumskim osiguračem. Njegov kompaktni dizajn zahtijeva najmanje moguće mjesto za instalaciju i rad.
- Ušteda vremena i troškova: RMU je kompletna razvodna naprava i jednostavna je za instalaciju, štedeći vrijeme instalacije i puštanja u rad. Neovisni o klimi i otporni na uslove okoline, troškovi rada i održavanja ovih jedinica su takođe niski.
- Sigurnost i performanse: Moderni kompaktni dizajn i najnovija tehnologija RMU-a osiguravaju potpunu sigurnost, povezanost, pouzdanost i efikasnost.

- Pametne mogućnosti: Kada je opremljen inteligentnim elektronskim uređajima i komunikacijskim mogućnostima, RMU je lako integrirati sa sistemom upravljanja distribucijom i u izgradnji rješenja Smart Grid(pametne mreže).

U modernom sistemu urbane distribucije električne energije, RMU se široko koristi širom Indije i širom svijeta kako bi učinkovito zadovoljio rastuće potrebe za pouzdanom energijom. To je jedno rješenje sa sveobuhvatnim mogućnostima.

7. Tipovi RMU

Po strukturi ih dijelimo na:

- Proširiv
- Kompaktan

Na osnovu vrste lučnog utiskivanja u plinskoj komori, izolacijskim svojstvima:

- Električni izolacijski ormar u zračnom okruženju
- Električni izolacijski ormar u vakuumskom okruženju
- Električni izolacijski ormar u SF6 plinskom okruženju

RMU se mogu okarakterizirati svojom vrstom izolacije: zrakom, uljem ili plinom. Prekidač koji se koristi za izolaciju transformatora može biti topljivi prekidač ili može biti prekidač koji koristi prekidače izolirane vakuumom ili plinom. Uređaj može također sadržavati zaštitne releje za rad prekidača u slučaju kvara.

8. Literatura

1. Design and manufacturing of a scale RMU, Cesar Diaz Londono, Politecnico di Torino
2. Medium Voltage Distribution Catalogue, RM6 24kV Ring Main Unit
3. The intelligent Ring Main Unit, Sverre Torben, Tor Guldbrandsen, ABB Kraft, Norveška
4. Ring Main Unit - Applications & Advantages
5. Ring Main Unit - Zoom Power Equipments