



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta *za elektrotehniko*

# ELEKTROENERGETSKA OMREŽJA IN NAPRAVE

## Poročilo 3. laboratorijske vaje: Kratek stik v omrežju z izoliranim zvezdiščem

Avtor: Jaka Ambruš

Vpisna številka: 64180037

Profesor: dr. Boštjan Blažič

Asistentka: Janja Dolenc

Datum: 24.11.2020

## Kazalo vsebine

1. Uvod .....	2
2. Podatki uporabljenih elementov in shema vezja .....	2
3. Rešitve nalog .....	3
3.1 Laboratorijski model .....	3
3.1.1 Amplitude in fazni koti: .....	3
3.1.2 Časovni poteki tokov in napetosti pred in po kratkem stiku .....	4
3.1.3 Kazalčni diagram pred in po KS .....	5
3.1.4 Izračun $I_{KS}$ .....	5
3.2 Simulacijski model .....	6
3.2.1 Izolirano zvezdišče: .....	6
3.2.2 Direktna ozemljitev .....	8
3.2.3 Resonančna ozemljitev .....	10
3.2.4 Nizka ohmska ozemljitev .....	12
4. Odgovori na vprašanja .....	14
4.1 Zakaj se resonančne ozemljitve uporabljajo predvsem v kabelskih omrežjih? .....	14
5. Zaključek .....	14

## Kazalo slik:

Slika 1: Podatki nekaterih uporabljenih elementov 2. laboratorijske vaje .....	2
Slika 2: Shema vezja 1. laboratorijske naloge .....	3
Slika 3: Časovni poteki tokov in napetosti 1. Naloge .....	<b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b>
Slika 4: Grafična predstavitev določanja simetričnih komponent tokov .....	<b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b>

## 1. Uvod

Pri 3. laboratorijski vaji smo pozornost namenili različnim načinom ozemljitev oz. ozemljitve sekundarne strani transformatorja, ter jih podrobneje primerjali. Vaja je bila daljša, saj je zavzela kar tri termine. Pred izvajanjem laboratorijske vaje smo omenjali okvare v distribucijskih omrežjih, katere hočemo minimalizirati. Zelo pogosto pride do zemeljskih stikov, ki povzročajo okvare v omrežju. Ob kratkem stiku pride do povišane napetosti zdravih faz na medfazne vrednosti (tokova zdravih pas se za malenkost zmanjšata ali pa ohranjata vrednost), medtem ko napetost okvarjene faze pade na nič (tok se močno poveča). Tok kratkega stika je sestavljen iz kapacitivne in ohmske komponente. Seznanili smo se z več načini ozemljitev. Izmerjene vrednosti toka kratkega stika smo primerjali z izračunanimi, ter se pogovorili o morebitnem odstopanju rezultatov. Prav tako smo primerjali rezultate laboratorijskega in simulacijskega modela, ki smo ga skupaj sestavili v programskem okolju Simulink.

## 2. Podatki uporabljenih elementov in shema vezja

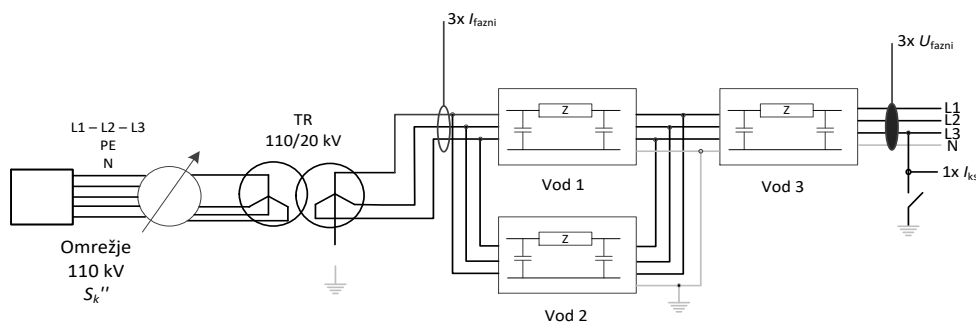
Uporabljeni elementi:

- transformator:
  - 110/20 kV
  - $u_k=10\%$
  - $S=35\text{ MVA}$
- modeli vodov:
  - $l_1=20\text{ km}$
  - $l_2=10\text{ km}$
  - $l_3=30\text{ km}$
  - $R'=0,265\ \Omega/\text{km}$
  - $X'=0,200\ \Omega/\text{km}$
  - $C'=0,270\ \mu\text{F}/\text{km}$

*Slika 1: Podatki nekaterih uporabljenih elementov 3. laboratorijske vaje*

Za izvedbo smo potrebovali tudi varijak, osciloskop, dva multimetra, piskač.

Shema vezja:



Slika 2: Shema vezja 3. laboratorijske naloge

## 3. Rešitve nalog

### 3.1 Laboratorijski model

#### 3.1.1 Amplitude in fazni koti:

Rezultati napetosti:

Tabela 1: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika napetosti pred in ob kratkem stiku relativno no  $U_{L1}$  napetosti – lab. model

Napetost	Amplituda/kV	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$U_{L1}$	17,57	-89,36	0,00
$U_{L2}$	17,33	150,00	239,36
$U_{L3}$	17,52	31,45	120,81
$U_{L1ks}$	29,75	-89,55	0,00
$U_{L2ks}$	33,42	-145,70	-55,45
$U_{L3ks}$	3,17	-170,50	-80,95

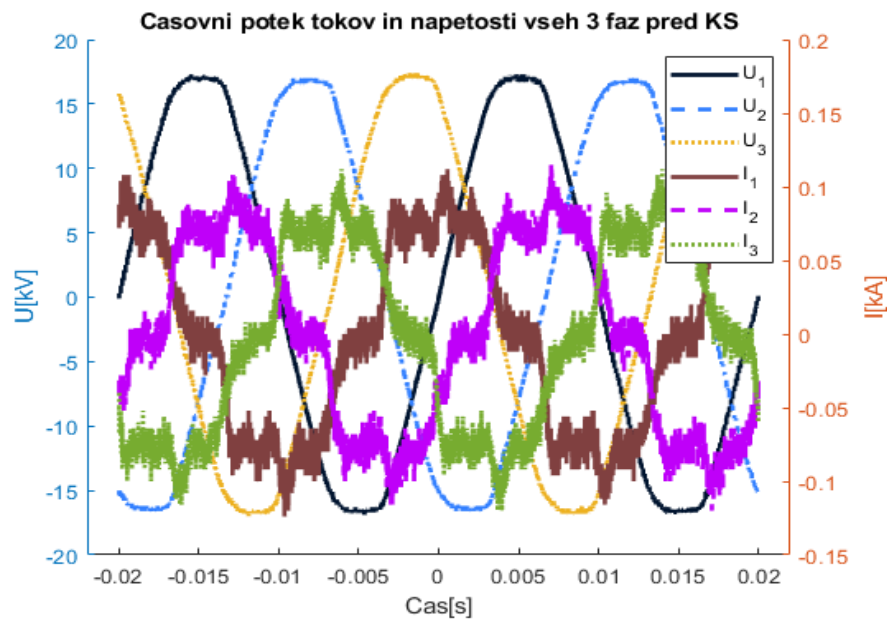
Rezultati tokov:

Tabela 2: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika tokov pred in ob kratkem stiku relativno no  $U_{L1}$  tokov – lab. model

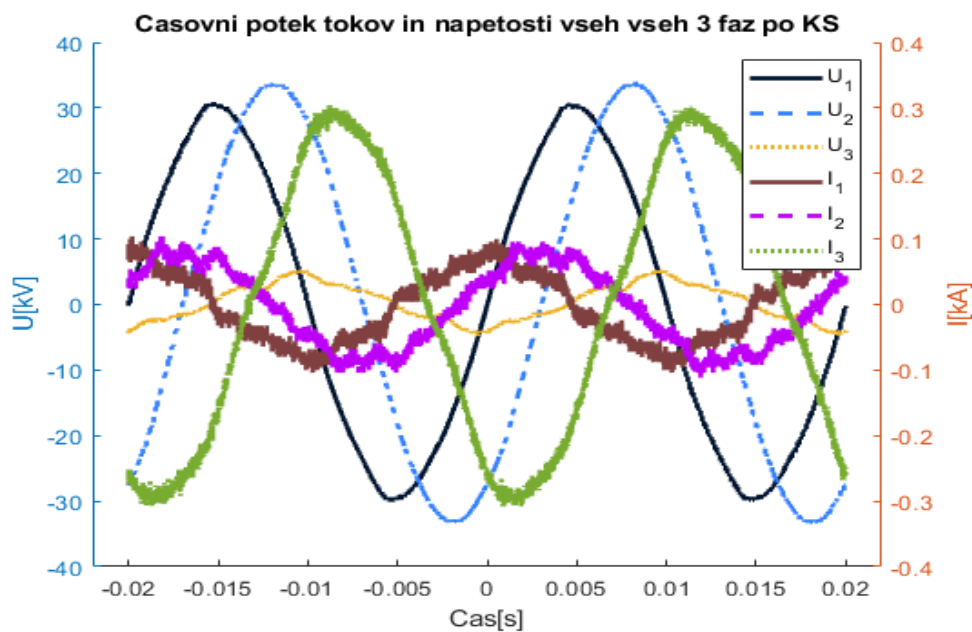
Tok	Amplituda/A	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$I_{ks}$	291,00	146,90	236,45
$I_{L1}$	86,90	-1,30	88,06
$I_{L2}$	86,28	-121,90	-32,54
$I_{L3}$	85,32	119,40	208,76
$I_{L1ks}$	73,87	-1,23	88,32
$I_{L2ks}$	83,24	-57,71	31,84
$I_{L3ks}$	287,90	147,10	236,65

### 3.1.2 Časovni poteki tokov in napetosti pred in po kratkem stiku

V okolju Matlab sem za izmerjene podatke naredil grafa napetosti in tokov pred in po kratkem stiku, nato pa primerjal dobljene rezultate.

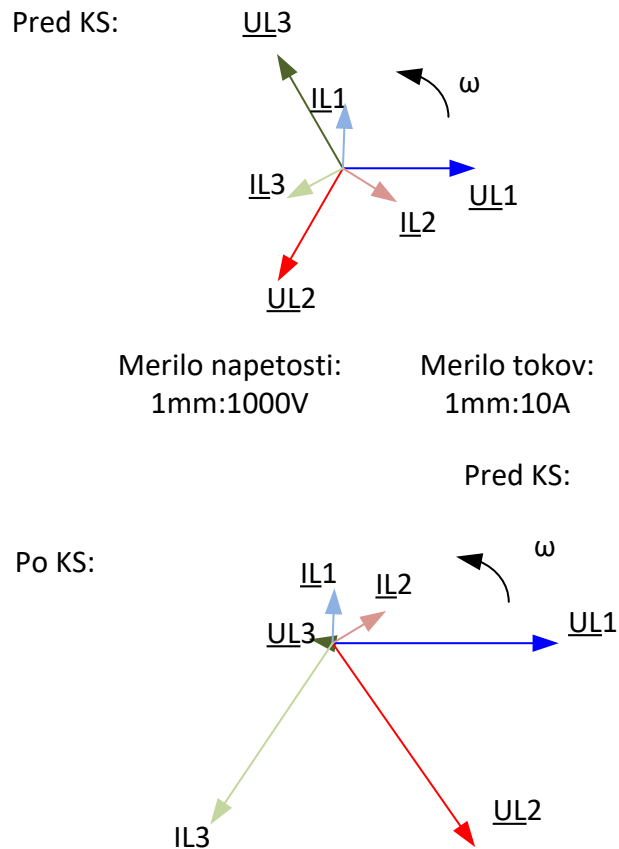


Slika 3: Časovni poteki napetosti in tokov faz pred KS



Slika 4: Časovni poteki napetosti in tokov faz po KS

Toka kratkega stika nisem narisal ampak vemo, da gre po poteku toka 3. faze po KS. Razvidno so se amplitude napetosti povečale. Po kratkem stiku pride do zamaka toka in napetosti, kot se zmanjša za manj kot  $120^\circ$ . Tok 3. faze zelo naraste.



Slika 5: Kazalčni diagram tokov in napetosti faz pred in po KS - LAB

Za izris kazalčnih diagramov sem uporabljal program Visio.

### 3.1.4 Izračun $I_{KS}$

Za željen rezultat moramo prvo izračunati vrednost skupne kapacitivnosti voda:

$$-C' = 270 \text{ nF/km}$$

$$-l_1 = 20 \text{ km}$$

$$-l_2 = 10 \text{ km}$$

$$-l_3 = 30 \text{ km}$$

$$C = C'(l_1 + l_2 + l_3) = 16.2 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

Z uporabo Kirchhoffovega zakona in upoštevanjem, da je prišlo do kratkega stika meda zemljo in 3. fazo pridemo do sledeče enačbe:

$$I_{KS} = -I_{L1} - I_{L2}$$

$$I_{KS} = (-247,25 + j139,27) \text{ A, kar nam da amplitudo } 283,7 \text{ A in fazni kot } 150,6^\circ$$

V primerjavi z izmerjeno vrednostjo razlikuje, saj pri računanju zanemarimo induktivnosti in upornosti, ki se v modelih še vedno nahajajo. K odstopanju tudi prispeva upoštevanje same frekvence 50Hz.

## 3.2 Simulacijski model

### 3.2.1 Izolirano zvezdišče:

Rezultati napetosti:

Tabela 3: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika napetosti pred in ob kratkem stiku relativno na  $U_{L1}$  napetosti – Izolirano zvezdišče

Napetost	Amplituda/kV	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$U_{L1}$	16,71	-1,18	0,00
$U_{L2}$	16,71	-121,20	-12,02
$U_{L3}$	16,71	118,80	119,98
$U_{L1ks}$	29,52	-38,77	0,00
$U_{L2ks}$	32,51	-94,13	-55,36
$U_{L3ks}$	3,15	-159,30	-120,53

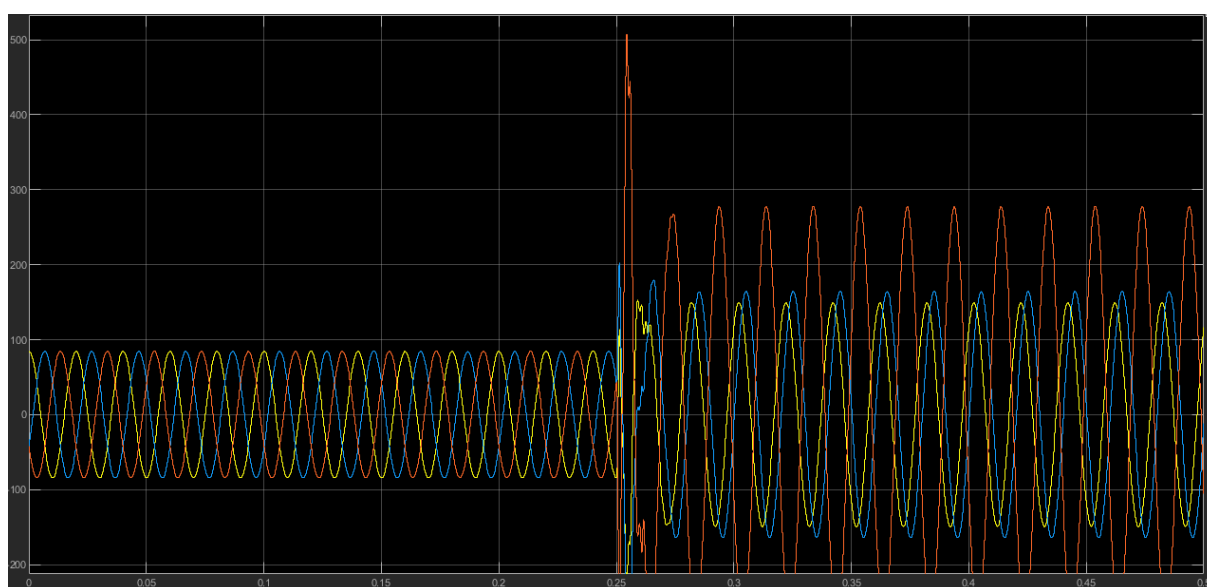
Rezultati tokov:

Tabela 4: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika tokov pred in ob kratkem stiku relativno na  $U_{L1}$  tokov – Izolirano zvezdišče

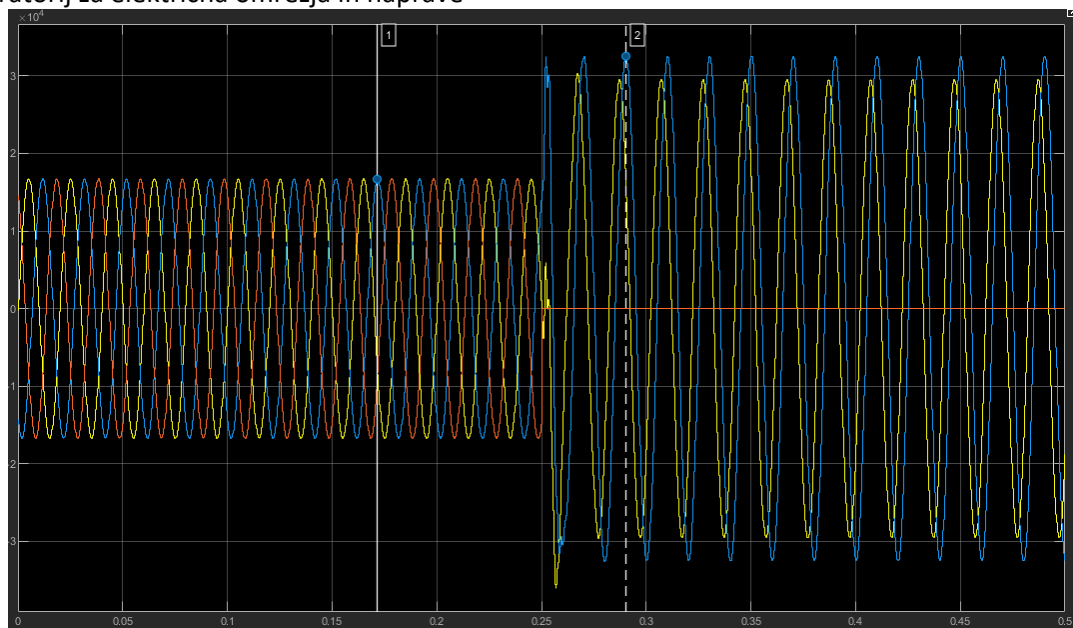
Tok	Amplituda/A	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$I_{L1}$	84,43	89,34	90,52
$I_{L2}$	84,43	-30,66	-29,48
$I_{L3}$	84,43	-150,70	149,52
$I_{L1ks}$	149,20	51,75	90,52
$I_{L2ks}$	164,30	-3,60	35,17
$I_{L3ks}$	277,70	-157,40	-118,63

Rezultati simulacije:

Ob nastavljenem času 0,25s pride do kratkega stika, kjer se konča enakomerno sinusno nihanje simetričnih faz.



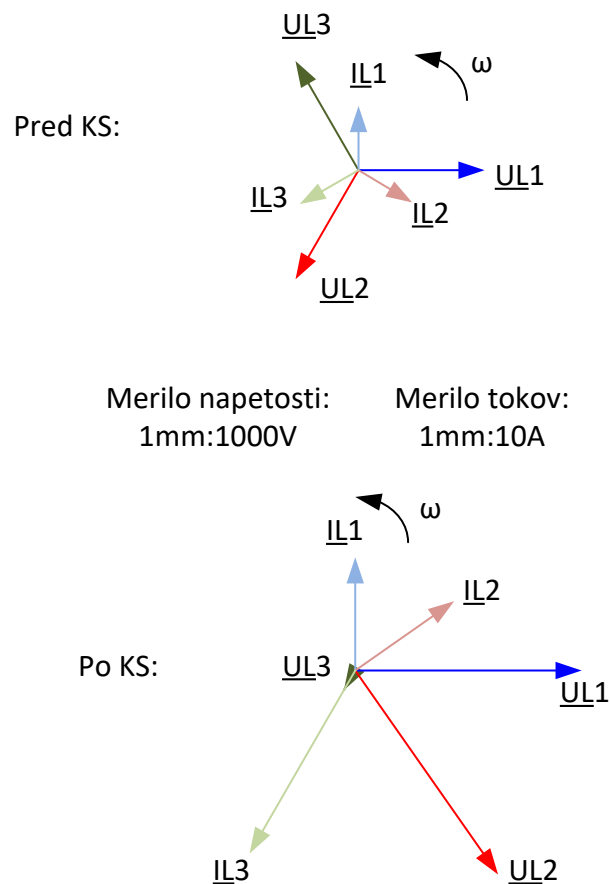
Slika 6: Časovni potek toka pri izoliranem zvezdišču



Slika 7: Časovni potek napetosti pri izoliranem zvezdišču

Čeprav izgleda kot če pade napetost 3. faze na 0 se moramo zavedati da še vedno sinusno niha z majhno amplitudo.

Kazalčni diagram napetosti in toka pred in po KS:



Slika 8: Kazalčni diagram tokov in napetosti faz pred in po KS - Izolirano zvezdišče sim.



Tabela 5: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika napetosti pred in ob kratkem stiku relativno no  $U_{L1}$  napetosti – direktno ozemljeno

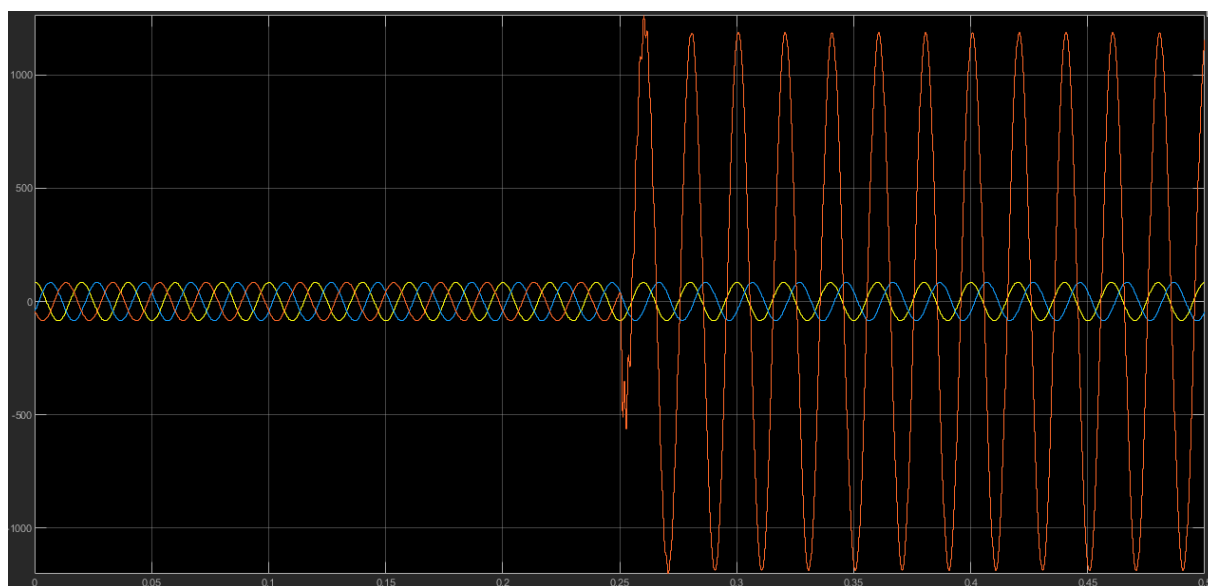
Napetost	Amplituda/kV	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$U_{L1}$	16,71	-1,18	0,00
$U_{L2}$	16,71	-121,20	-12,02
$U_{L3}$	16,71	118,80	119,98
$U_{L1ks}$	16,71	-1,18	0,00
$U_{L2ks}$	16,71	-121,2	-120,02
$U_{L3ks}$	0,013	75,96	107,26

#### Rezultati tokov:

Tabela 6: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika tokov pred in ob kratkem stiku relativno no  $U_{L1}$  tokov– direktno ozemljeno

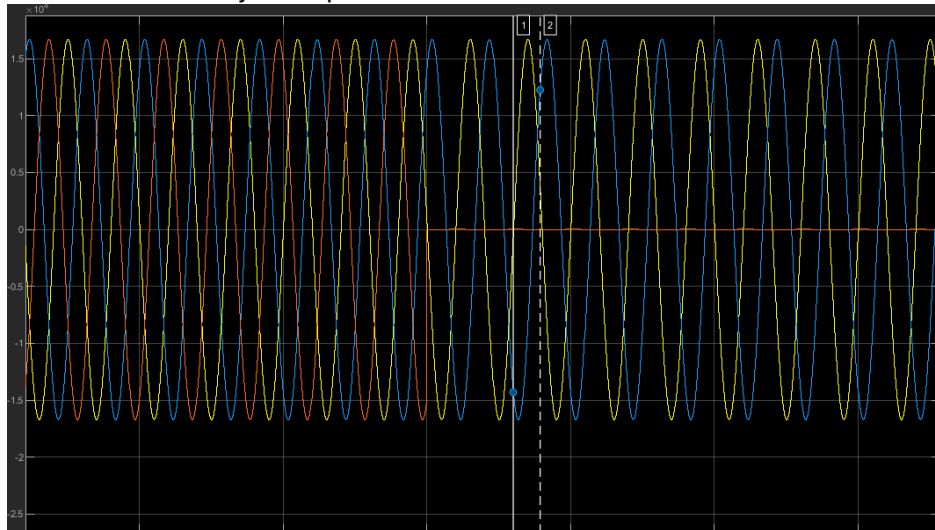
Tok	Amplituda/A	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$I_{L1}$	84,43	89,34	90,52
$I_{L2}$	84,43	-30,66	-29,48
$I_{L3}$	84,43	-150,70	149,52
$I_{L1ks}$	84,43	89,34	90,52
$I_{L2ks}$	84,43	-30,66	-29,48
$I_{L3ks}$	1187	77,87	-149,52

#### Rezultati simulacije:



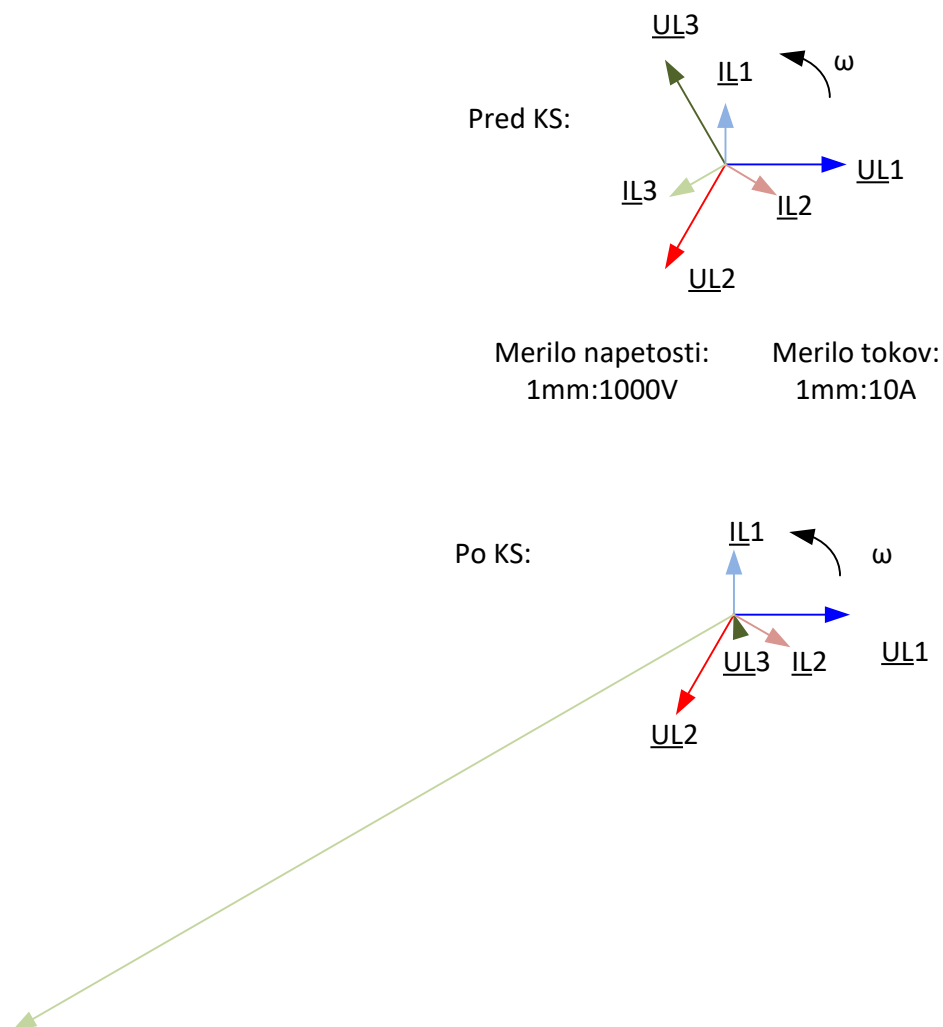
Slika 9: Časovni potek toka pri direktni ozemljitvi

Vidimo, da 1. in 2. faza ohranjata amplitudo sinusnega nihanja medtem ko kot pričakovano tok 3. faze skoči na zelo veliko vrednost(napetost pa skoraj na 0).



Slika 10: Časovni potek napetosti pri direktni ozemljitvi

Kazalčni diagram napetosti in toka pred in po KS:



Slika 11: Kazalčni diagram tokov in napetosti faz pred in po KS - Direktna ozemljitev

### 3.2.3 Resonančna ozemljitev

Rezultati napetosti:

Tabela 7: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika napetosti pred in ob kratkem stiku relativno no  $U_{L1}$  napetosti

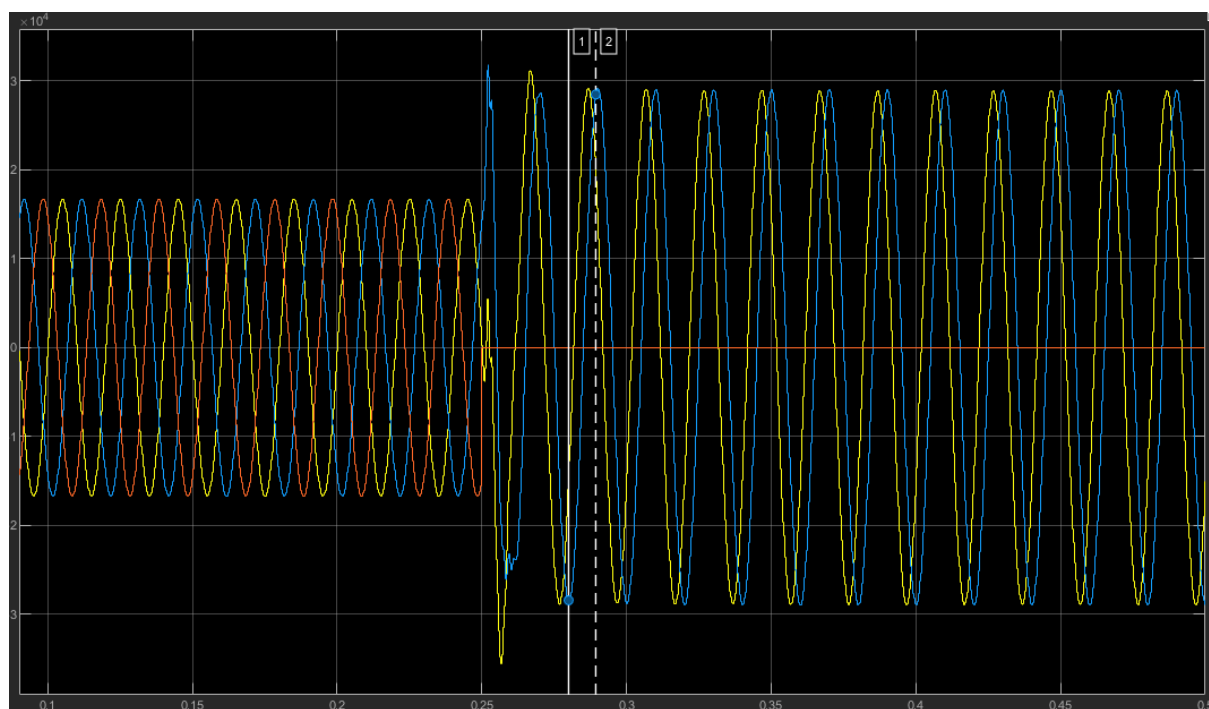
Napetost	Amplituda/kV	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$U_{L1}$	16,71	-1,18	0,00
$U_{L2}$	16,71	-121,20	-12,02
$U_{L3}$	16,71	118,80	119,98
$U_{L1ks}$	28,98	-31,30	0,00
$U_{L2ks}$	28,98	-91,27	-59,97
$U_{L3ks}$	0,00005	-176,60	-145,30

Rezultati tokov:

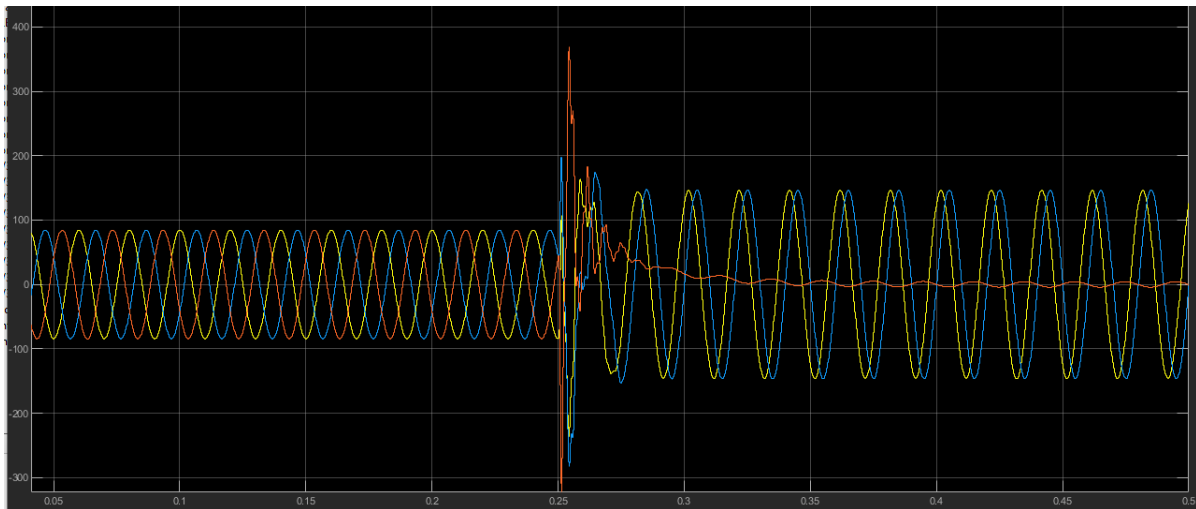
Tabela 8: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika tokov pred in ob kratkem stiku relativno no  $I_{L1}$  tokov

Tok	Amplituda/A	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$I_{L1}$	84,43	89,34	90,52
$I_{L2}$	84,43	-30,66	-29,48
$I_{L3}$	84,43	-150,70	149,52
$I_{L1ks}$	146,50	59,22	90,52
$I_{L2ks}$	146,50	-0,74	30,56
$I_{L3ks}$	4,35	-175,20	-143,90

Rezultati simulacije:

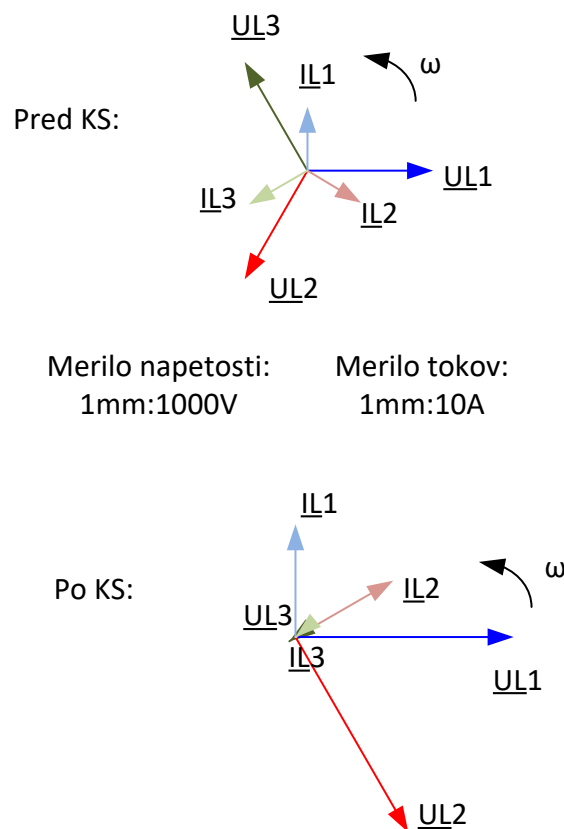


Slika 12 Časovni potek napetosti pri resonančni ozemljitvi



Slika 13 Časovni potek toka pri resonančni ozemljitvi

Kazalčni diagram:



Slika 14 azalčni diagram tokov in napetosti faz pred in po KS – resonančna ozemljitev

### 3.2.4 Nizka ohmska ozemljitev

Priključil sem polek ground še upor vrednosti 40 Ohmov, kar smo izračunali.

Rezultati napetosti:

*Tabela 9: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika napetosti pred in ob kratkem stiku relativno no  $U_{L1}$  napetosti-neposredno ozemljeno zvezdišče(Ohmska ozemljitev)*

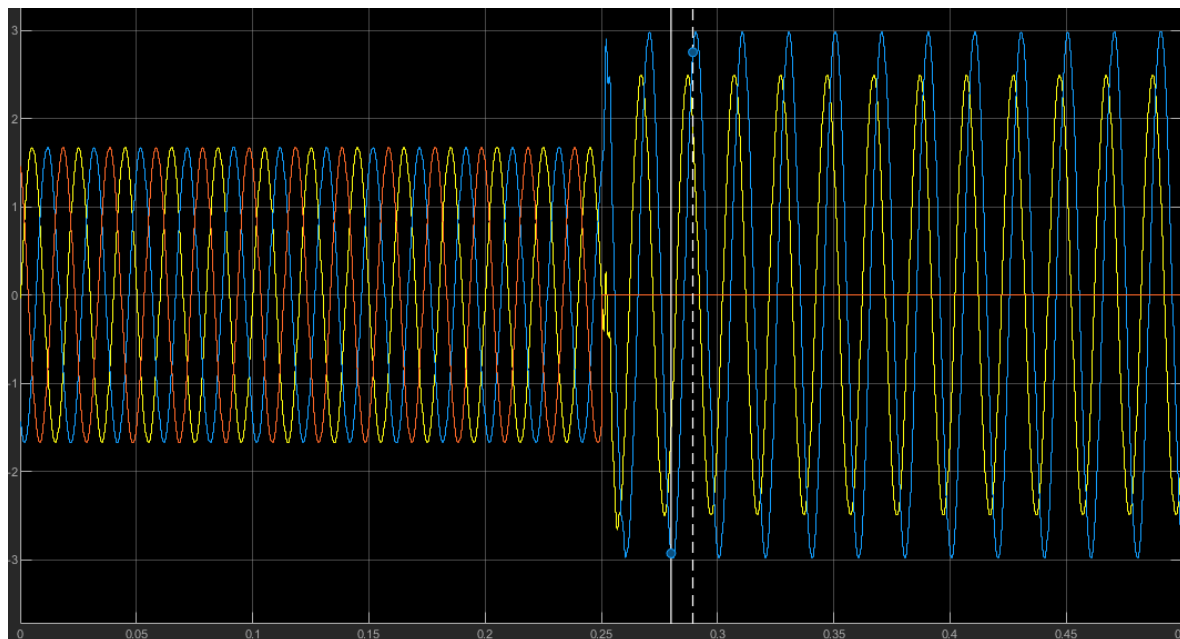
Napetost	Amplituda/kV	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$U_{L1}$	16,71	-1,18	0,00
$U_{L2}$	16,71	-121,20	-12,02
$U_{L3}$	16,71	118,80	119,98
$U_{L1ks}$	24,10	-37,35	0,00
$U_{L2ks}$	29,23	-102,20	-64,85
$U_{L3ks}$	0,005	133,40	170,75

Rezultati tokov:

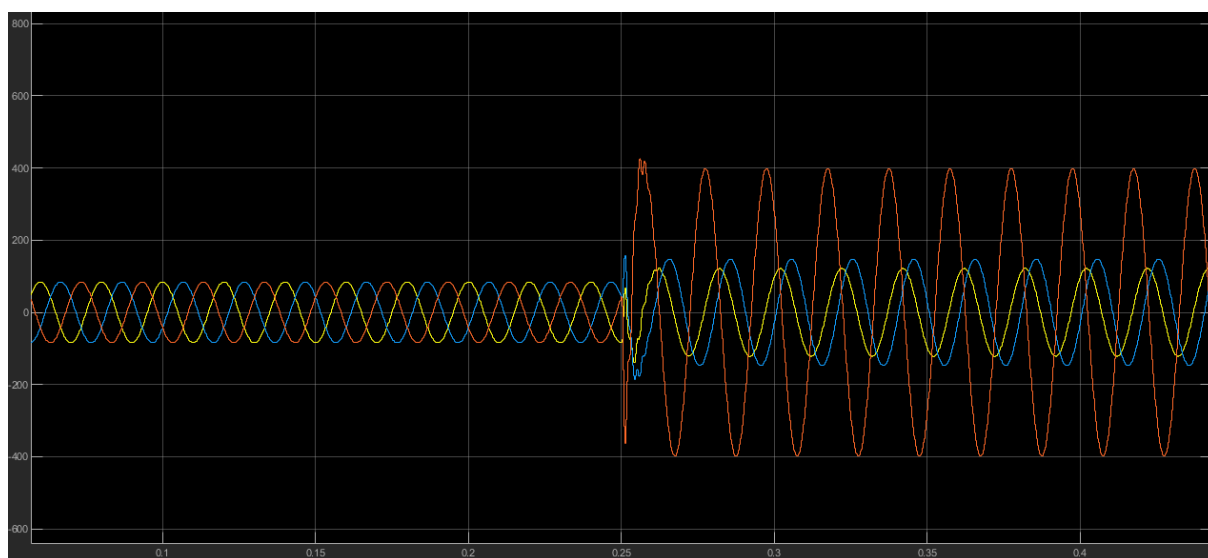
*Tabela 10: Tabela amplitude, faznega kota in faznega zamika tokov pred in ob kratkem stiku relativno no  $U_{L1}$  tokov-neposredno ozemljeno zvezdišče(Ohmska ozemljitev)*

Tok	Amplituda/A	Fazni kot /°	Fazni zamik/°
$I_{L1}$	84,43	89,34	90,52
$I_{L2}$	84,43	-30,66	-29,48
$I_{L3}$	84,43	-150,70	149,52
$I_{L1ks}$	127,80	53,17	90,52
$I_{L2ks}$	147,70	-11,72	25,63
$I_{L3ks}$	398,70	135,30	172,75

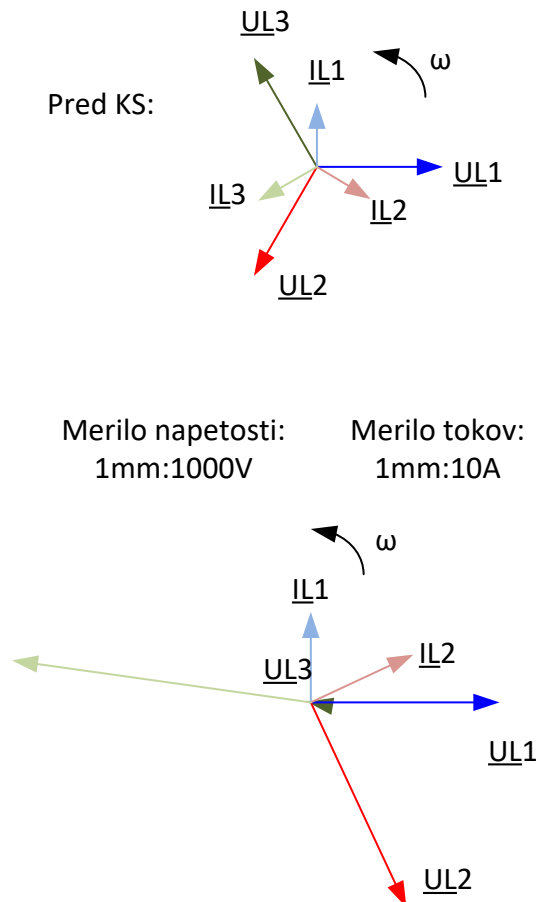
Rezultati simulacije:



*Slika 15 Časovni potek napetosti pri ohmski ozemljitvi*



*Slika 16 Časovni potek toka pri ohmski ozemljitvi*



Slika 17 Kazalčni diagram tokov in napetosti faz pred in po KS - ohmska ozemljitev

## 4. Odgovori na vprašanja

### 4.1 Zakaj se resonančne ozemljitve uporabljajo predvsem v kabelskih omrežjih?

Resonančna ozemljitev preko Petersonove dušilke omogoča kompenzacijo kapacitivne komponente (kompenzira jo induktivna komponenta) enofaznega zemeljskega toka pri kratkem stiku. Pri popolni kompenzaciji teče na mestu enofaznega KS le delovni tok. Z zmanjšanjem kratkostičnega toka se zmanjša število okvar in poveča zanesljivost omrežja.

## 5. Zaključek

Vaja je bila precej obsežna in nas je boljše seznanila z različnimi načini ozemljitve, ter delom v Simulinku.