

SIMULACIJA REALNEGA KRATKEGA STIKA S PROGRAMSKIM PAKETOM MATLAB

Tomaž SOTLAR

POVZETEK

V članku je obravnavana simulacija realnega kratkega stika v distribucijskem omrežju s programskim paketom Matlab. Namen je prikazati kako pri simulaciji realnega kratkega stika v programskem paketu Matlab določimo parametre modela. Ob predpostavki, da poznamo vse parametre elementov omrežja lahko načeloma izdelamo model distribucijskega omrežja, ki je popolnoma identičen dejanskemu omrežju. Kljub temu pa imamo pri vsakem realnem kratkem stiku še spremenljivke, ki jih moramo upoštevati pri simulaciji. V zaključku je s primerjavo časovnih potekov efektivnih kratkostičnih tokov pri enofaznem, dvofaznem in trifaznem kratkem stiku prikazano ujemanje rezultatov simulacije in dejanskih meritev.

ABSTRACT

The article deals with the simulation of the real short-circuit in the distribution network with Matlab. The purpose is to show how in simulation of the real short-circuit in software package Matlab determine model parameters. Assuming that we know all the parameters of network elements can in principle produce a model of the distribution network that is completely identical to the actual network. Nevertheless, we have in any real short circuit variables that need to be taken into account in the simulation. In conclusion, is by comparing the timings of effective short-circuit currents in single-phase, two-phase and three-phase short circuit, illustrate the correlation of simulation results and actual measurement.

1. UVOD

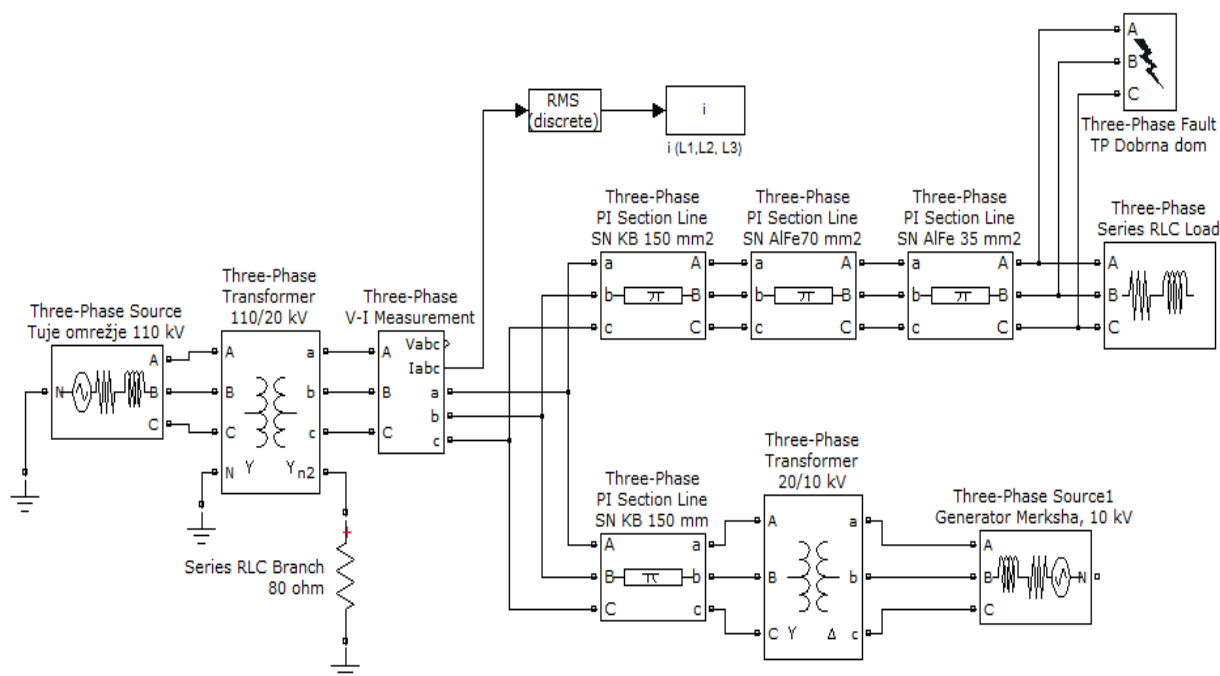
V članku je obravnavana simulacija kratkega stika v distribucijskem omrežju s programskim paketom Matlab. Namen članka je prikazati kako pri simulaciji realnega kratkega stika v programskem paketu Matlab parametri modela vplivajo na rezultate simulacije. Dejstvo je, da čeprav so poznani vsi tehnični parametri elementov omrežja to še ne pomeni, da bodo rezultati simulacije identični z dejanskimi meritvami. V članku je prikazan vpliv upornosti na mestu kratkega stika, vpliv vrednosti obremenitve v trenutku kratkega stika in vpliv vklopnega kota napetosti ob nastanku kratkega stika na rezultate simulacije.

Za potrditev parametrov modela distribucijskega omrežja v programskem paketu Matlab se izvede primerjava rezultatov simulacije z rezultati dejanskih meritev kratkostičnih tokov. Iz baze okvar je za primerjavo uporabljena okvara, ki predstavlja enofazni, dvofazni in trifazni kratek stik daleč od generatorja.

2. PROGRAMSKI PAKET MATLAB

Za simulacijo kratkega stika v distribucijskem omrežju je uporabljen programski paket Matlab. Model dejanskega distribucijskega omrežja je izdelan z orodjem Simulink s pomočjo uporabe izdelanih elementov omrežja v knjižnici SimPowerSystem.

Za simulacijo distribucijskega omrežja je uporabljen poenostavljen model omrežja prikazan na sliki 2.1, ki je sestavljen iz idealnih elementov. Uporaba idealnih elementov sicer omeji točnost prikazanih prehodnih pojavov, ker med drugim recimo ne upošteva nasičenja transformatorjev ali vzbujanja generatorjev. Ker pa dosedanje analize poznanih raziskav [3] niso pokazale bistvenega odstopanja rezultatov pri uporabi idealnih ali realnih elementov, se je za primerjavo rezultatov izdelal model z uporabo idealnih elementov.



Slika 2.1: Model distribucijskega omrežja

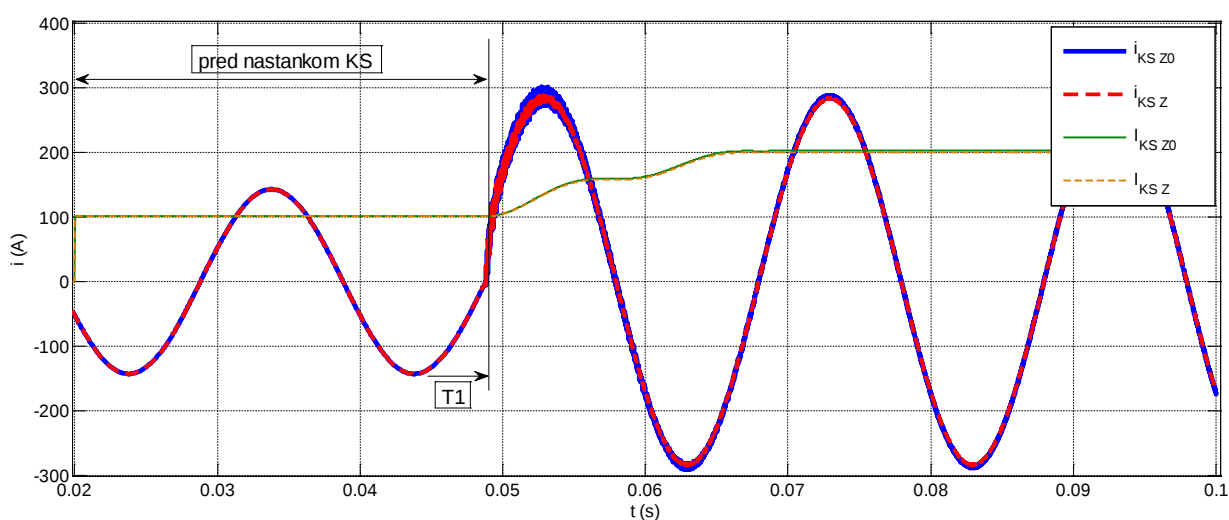
Model distribucijskega omrežja predstavlja strukturo omrežja, kot je bila v dejanskem omrežju pri meritvi kratkega stika v trenutku okvare. Čeprav je uporabljen poenostavljen model, smo v njem zajeli celotno konfiguracijo izvoda. Vir električne energije v modelu distribucijskega omrežja predstavljata tuje omrežje in sinhronski generator, ki sta v omrežje vključena preko transformatorjev. Transformator v RTP-ju ima zvezdišče ozemljeno preko $80\ \Omega$ upora. Povezave med elementi so izvedene s kablovodi in z daljnovodi. Za prikaz obremenitve v omrežju pa je na koncu izvoda vključeno breme, ki predstavlja vse porabnike, priključene na obravnavanem izvodu.

Ob dejstvu, da so poznani vsi parametri vseh elementov omrežja lahko trdimo, da je izdelan model distribucijskega omrežja popolnoma identičen realnemu omrežju. Kljub temu pa pri vsakem realnem kratkem stiku ostaja neznanka upornost na mestu kratkega stika, dejanska obremenitev v trenutku kratkega stika in vklopni kot napetosti ob nastanku kratkega stika.

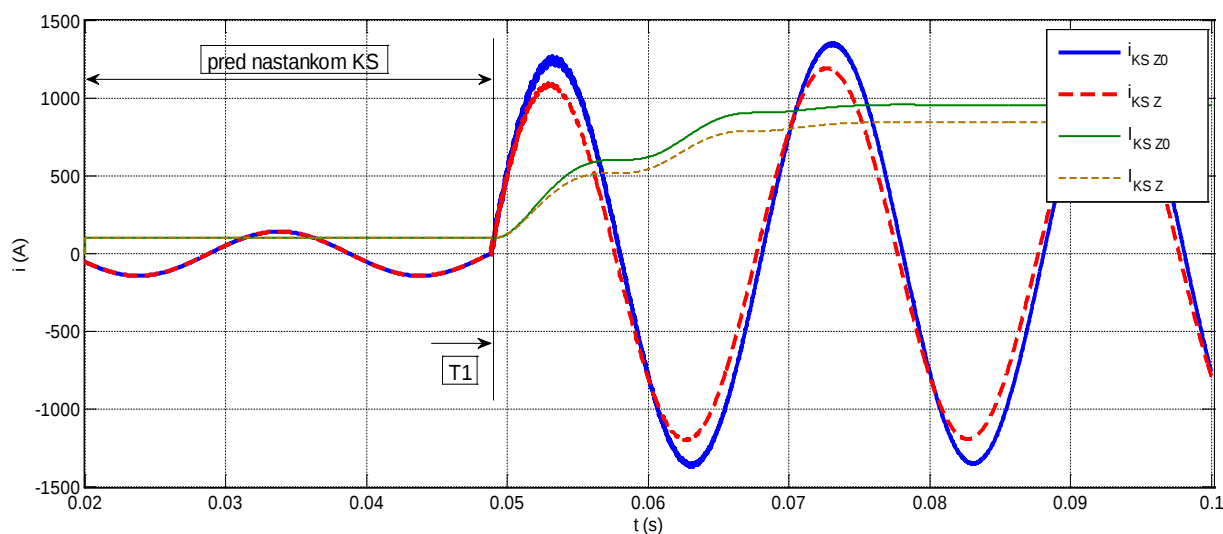
2.1 Vpliv upornosti kratkega stika na tok kratkega stika

Neznanka pri vsakem realnem kratkem stiku je upornost na mestu kratkega stika. V dejanskih primerih skoraj nikoli nimamo čistega kovinskega stika, točne upornosti na mestu kratkega stika pa ne poznamo. Vpliv upornosti kratkega stika je prikazan s primerjavo časovnega poteka toka popolnega kratkega stika ($i_{KS Z0}$) in toka z upoštevanjem upornosti $2\ \Omega$ ($i_{KS Z}$). Na isti sliki sta za primerjavo prikazani še efektivni vrednosti tokov, in sicer efektivni tok popolnega kratkega stika ($I_{KS Z0}$) in efektivni tok z upoštevanjem upornosti ($I_{KS Z}$).

Vpliv upornosti kratkega stika je za enofazni kratki stik prikazan na sliki 2.2, za dvofazni in trifazni kratki stik pa na sliki 2.3. Za boljšo preglednost je prikazana primerjava kratkostičnih tokov samo v eni fazi, ki je v okvari.



Slika 2.2: Časovni potek toka brez in z upoštevanjem upornosti za 1f KS



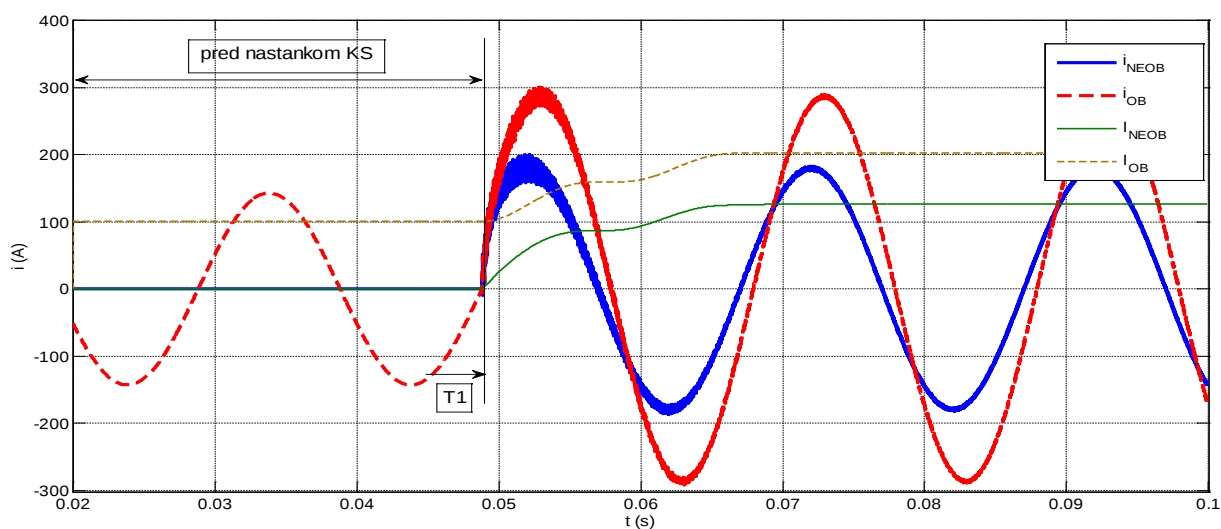
Slika 2.3: Časovni potek toka brez in z upoštevanjem upornosti za 2f KS in 3f KS

Primerjava časovnih potekov tokov kratkih stikov in efektivnih vrednosti tokov prikazuje, da upoštevanje upornosti kratkega stika pri enofaznem kratkem stiku nima bistvenega vpliva. Prav nasprotno pa ima upornost kratkega stika vpliv tako pri dvofaznem kot tudi trifaznem kratkem stiku. Tok kratkega stika je pri upoštevanju upornosti kratkega stika manjši zaradi dodatne upornosti, ki se s tem pojavi v tokokrogu ob kratkem stiku in omejuje tok.

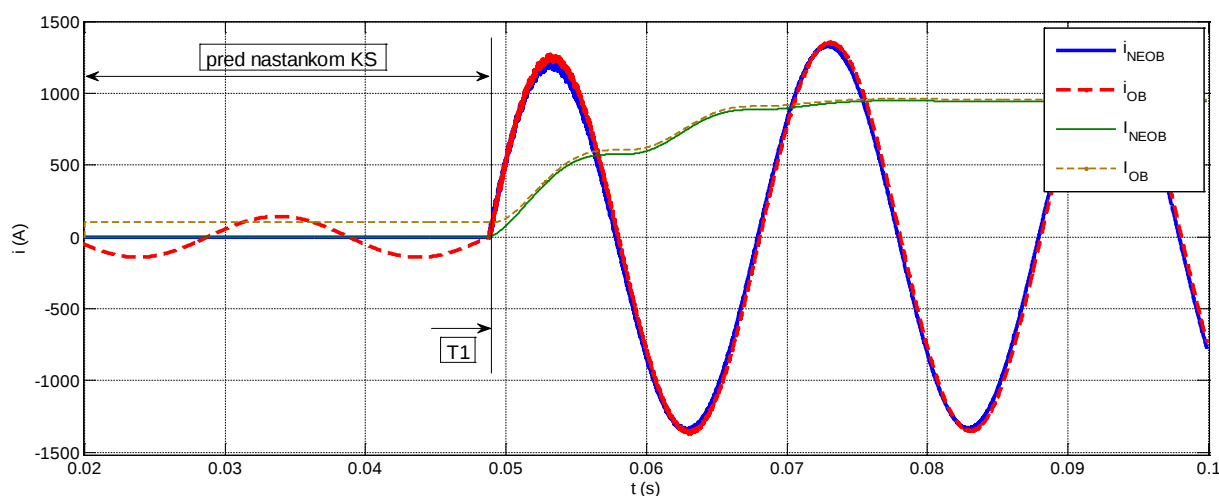
2.2 Vpliv bremena na tok kratkega stika

Neznanka od realnem kratkem stiku je tudi dejanska obremenitev v trenutku kratkega stika. Dejstvo je, da točnih podatkov o obremenitvi v času kratkega stika nimamo, zato obremenitev v trenutku kratkega stika določimo okvirno iz odčitane toka pred okvaro. Vpliv obremenitve v času kratkega stika je prikazan s primerjavo časovnega poteka toka neobremenjenega (i_{NEOB}) in obremenjenega (i_{OB}) modela. Na isti sliki sta za primerjavo prikazani še efektivni vrednosti tokov, in sicer efektivni tok neobremenjenega modela (I_{NEOB}) in efektivni tok obremenjenega modela (I_{OB}).

Vpliv obremenitve je za enofazni kratki stik prikazan na sliki 2.4, za dvofazni in trifazni kratki stik pa na sliki 2.5. Za boljšo preglednost je prikazana primerjava kratkostičnih tokov samo v eni fazi, ki je v okvari.



Slika 2.4: Časovni potek toka obremenjenega in neobremenjenega modela pri 1f KS



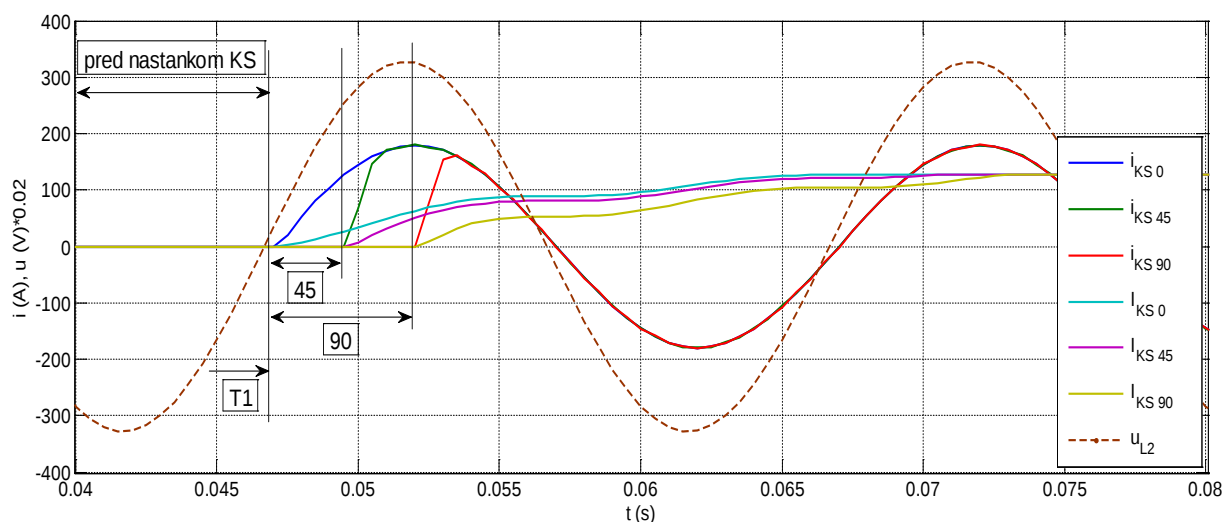
Slika 2.5: Časovni potek toka obremenjenega in neobremenjenega modela pri 2f KS in 3f KS

Primerjava časovnih potekov tokov prikazuje, da obremenitev ne vpliva na vrednost toka kratkega stika pri dvofaznem in pri trifaznem kratkem stiku. Tako lahko pri trifaznem in dvofaznem kratkem stiku vpliv obremenitve zanemarimo, kar pa ne velja za enofazni kratki stik, kjer vidimo veliko povečanje toka kratkega stika pri modelu z upoštevanjo obremenitve.

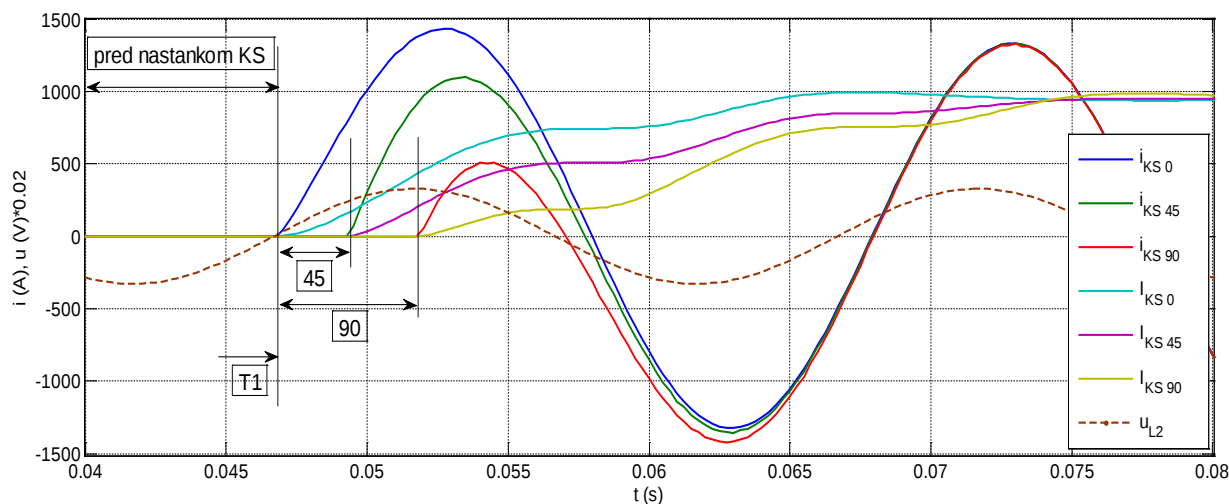
2.3 Vpliv vklopnega kota na tok kratkega stika

Velikost začetnega simetričnega toka kratkega stika je odvisna od vklopnega kota napetosti ob nastopu kratkega stika. Vpliv vklopnega kota ob nastanku kratkega stika je prikazan s primerjavo časovnega poteka toka kratkega stika pri vklopnem kotu 0° ($i_{KS\ 0}$), pri vklopnem kotu 45° ($i_{KS\ 45}$) in pri vklopnem kotu 90° ($i_{KS\ 90}$). Na isti sliki so za primerjavo prikazane še efektivne vrednosti tokov kratkega stika, in sicer efektivni tok kratkega stika pri vklopnem kotu 0° ($I_{KS\ 0}$), pri vklopnem kotu 45° ($I_{KS\ 45}$) in pri vklopnem kotu 90° ($I_{KS\ 90}$). Za prikaz vklopnega kota napetosti je na isti sliki dodan še časovni potek napetosti (u_{L2}), ki je za lažjo primerjavo prikazana v velikosti 2 %.

Vpliv vklopnega kota je pri enofaznem kratkem stiku prikazan na sliki 2.6, pri dvofaznem in trifaznem kratkem stiku pa na sliki 2.7. Za vse kratke stike je za boljšo preglednost prikazana primerjava kratkostičnih tokov samo v eni fazi, ki je v okvari in napetost v isti fazi, ki je dodana le za prikaz vklopnega kota.



Slika 2.6: Časovni potek toka in napetosti pri različnem vklopnem kotu za 1f KS



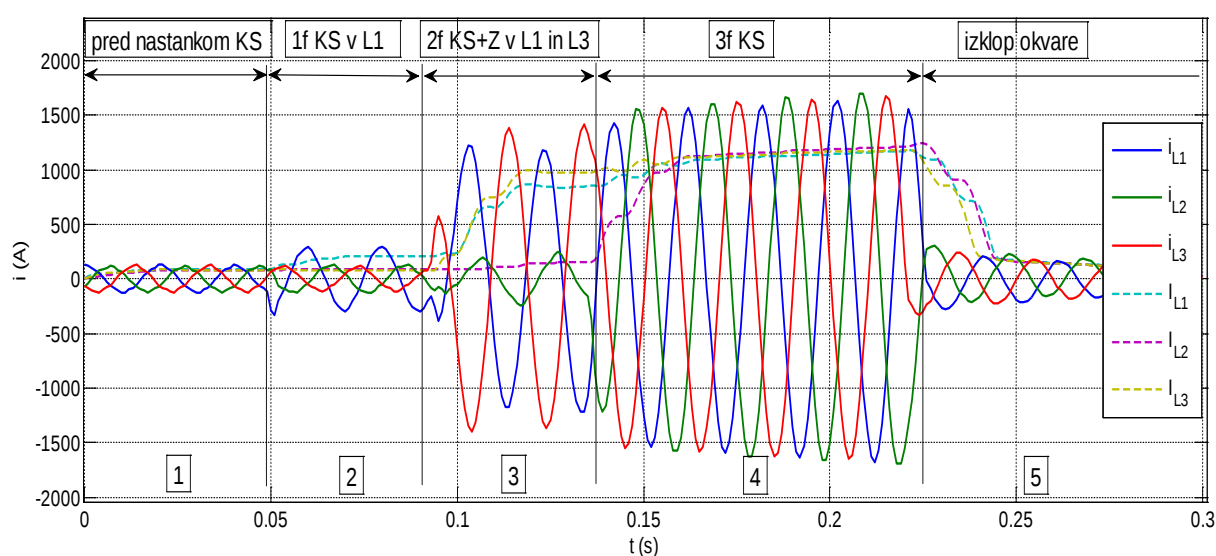
Slika 2.7: Časovni potek toka in napetosti pri različnem vklopnem kotu za 2f KS in 3f KS

Za prikaz začetnega toka kratkega stika pri vklopnem kotu 0° je kratki stik nastopil v točki T1, ko gre napetost skozi točko nič. Pri vklopnem kotu 90° je kratki stik nastopil v točki, ko gre napetost skozi maksimum. Pri vklopnem kotu 45° pa je kratki stik nastopil na sredini med točko, v kateri napetost doseže nič in maksimum. Primerjava časovnih potekov tokov prikazuje, da vklopni kot ne vpliva na vrednost začetnega toka kratkega stika pri enofaznem kratkem stiku. Prav nasprotno pa ima vklopni kot vpliv pri dvofaznem in pri trifaznem kratkem stiku, kjer je razlika v toku zelo velika. Začetni tok kratkega stika je pri različnih vklopnih kotih različen zaradi različne vrednosti enosmerne komponente toka kratkega stika v trenutku nastopa kratkega stika.

3. DEJANSKI KRATKI STIK V DISTRIBUCIJSKEM OMREŽJU

Za prikaz ujemanja časovnih potekov kratkostičnih tokov simulacije programskega paketa Matlab z dejanskimi meritvami je iz baze okvar izbran primer okvare, ki se je zgodila daleč od RTP-ja.

Rezultati izvedenih meritev so prikazani s časovnimi poteki faznih kratkostičnih tokov (i_{L1} , i_{L2} , i_{L3}), ki so jim dodane še pripadajoče efektivne vrednosti faznih kratkostičnih tokov (I_{L1} , I_{L2} , I_{L3}). Rezultati meritev tokov kratkega stika med okvaro so prikazani na sliki 3.1.



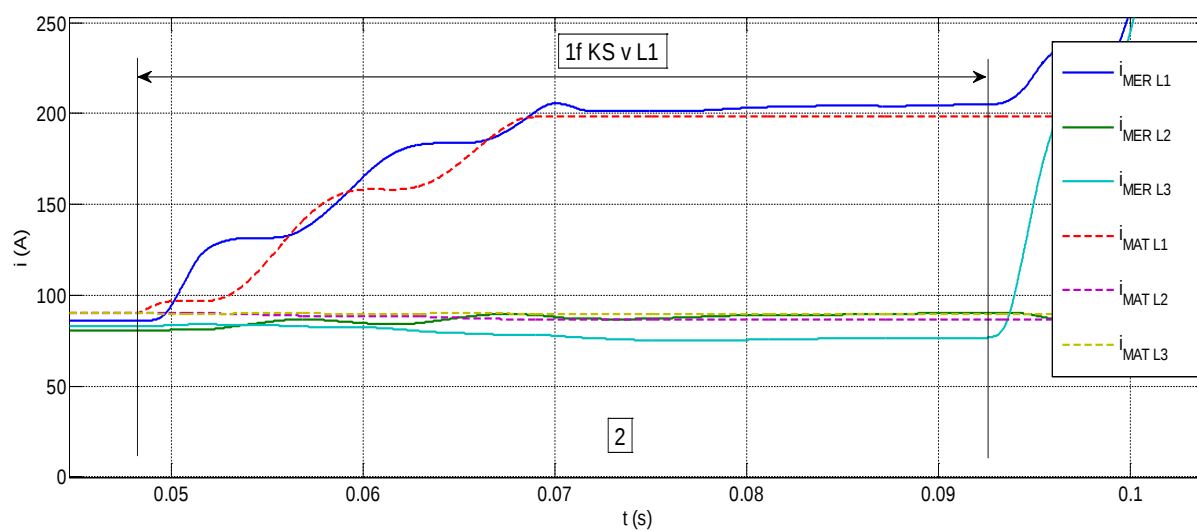
Slika 3.1: Rezultati meritev toka KS med okvaro

Časovni poteki in vrednosti kratkostičnih tokov prikazujejo, da imamo v tem dogodku tri različne kratke stike. V prvi fazi (področje 2) se pojavi enofazni zemeljski stik, ki preko dvofaznega zemeljskega stika z istočasnim zemeljskim stikom (področje 3) preide v trifazni kratki stik (področje 4).

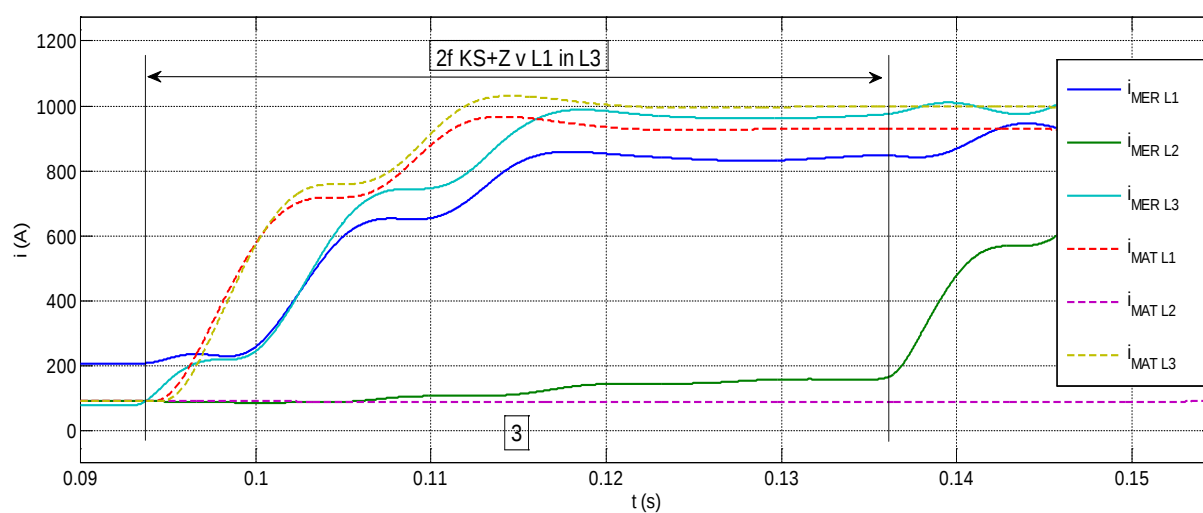
4. REZULTATI

Rezultati dejanskih meritev in rezultati programskega paketa Matlab so podani grafično s časovnimi poteki efektivnih kratkostičnih tokov. Kratkostični toki vseh treh faz izvedenih meritev ($I_{MER L1}$, $I_{MER L2}$, $I_{MER L3}$) so prikazani s polno črto, kratkostični toki vseh treh faz iz programskega paketa Matlab ($I_{MAT L1}$, $I_{MAT L2}$, $I_{MAT L3}$) pa so prikazani s črtkano črto. Kot je že ugotovljeno, je obravnavan primer okvare sestavljen iz enofaznega, dvofaznega in trifaznega kratkega stika. Za boljši prikaz je primerjava rezultatov prikazana v treh delih, za vsak kratki stik ločeno.

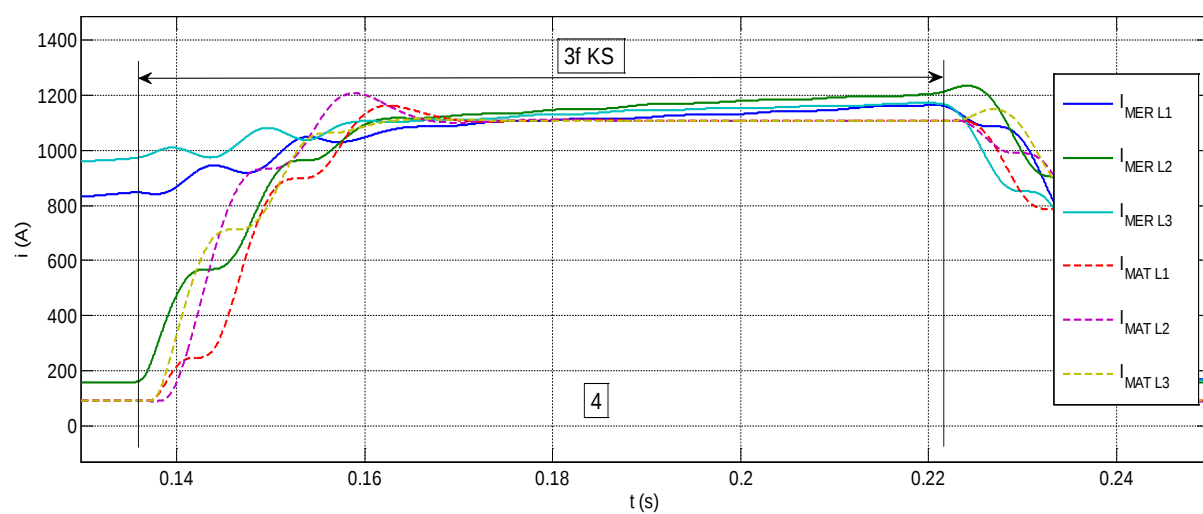
Primerjava časovnih potekov kratkostičnih tokov pri enofaznem kratkem stiku je prikazana na sliki 4.1, pri dvofaznem kratkem stiku na sliki 4.2 in pri trifaznem kratkem stiku na sliki 4.3.



Slika 4.1: Primerjava časovnih potekov tokov 1f KS



Slika 4.2: Primerjava časovnih potekov tokov 2f KS+Z



Slika 4.3: Primerjava časovnih potekov tokov 3f KS

Primerjava časovnih potekov izvedenih meritev in rezultatov programskega paketa Matlab prikazuje, da se rezultati po vrednostih in po časovnih potekih ujemajo v pričakovanih mejah. Manjša odstopanja opazimo v časovnih potekih tokov, ker so časovni poteki tokov programskega paketa Matlab konstantni, dejanski tokovi pa se v času kratkega stika spreminjajo. Spreminjanje merjenih tokov dejanskega kratkega stika je posledica spreminjanja impedance kratkega stika.

5. ZAKLJUČEK

V članku je prikazan vpliv upornosti na mestu kratkega stika, vpliv obremenitve v trenutku kratkega stika in vpliv vklopne kota napetosti ob nastanku kratkega stika na rezultate simulacije.

Primerjava kratkostičnih tokov kaže, da so rezultati simulacije in meritev med seboj primerljivi in da so časovni poteki kratkostičnih tokov podobnih oblik. V simulaciji je za primerljive rezultate elementom potrebno poleg vseh znanih konstant in tehničnih parametrov pravilno določiti še spremenljivke, ki se določijo iz rezultatov meritev.

Ugotovimo lahko, da kljub vsem poznanim tehničnim parametrom distribucijskega omrežja rezultati dejanskih meritev in rezultati simulacije vedno minimalno odstopajo. Pri vsakem modeliranju je s simulacijo zelo težko zajeti popolnoma identične razmere kot so v dejanskih razmerah. Pri simulaciji je nemogoče upoštevati vseh vplivnih faktorjev in njihovo časovno spreminjanje kot se spreminjajo med dejanskim kratkim stikom.

6. VIRI, LITERATURA

- [1] J. Pihler, "Stikalne naprave elektroenergetskega sistema – 2. izdaja", Maribor, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor 2003
- [2] D. Dolinar, G. Štumberger, Modeliranje in vodenje elektroenergetskih sistemov, 1. izdaja, Maribor: 2002.
- [3] G. Štumberger, K. Deželak, Prehodni pojavi v EES, Primer zelo poenostavljenega dinamičnega modela zgornje dravske verige, Maribor: 2007.
- [4] J. Pihler, J. Ribič, J. Voh, J. Voršič, Raziskava kratkostičnih razmer v omrežju, Maribor: Laboratorij za energetiko, ICEM, 2011.
- [5] J. Voršič, T. Zorič, M. Horvat, Izračun obratovalnih stanj v elektroenergetskih omrežjih, Maribor, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2012.
- [6] K. Deželak, Dinamični model elektroenergetskega sistema, Maribor: 2004.
- [7] R. Roeper, Kratkostični tokovi v trifaznih omrežjih, Časovni potek in izračun veličin, Ljubljana: Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko 1987.

NASLOV AVTORJEV

Tomaž Sotlar, univ.dipl.inž.el.

Elektro Celje, d.d., Vrunčeva 2A, 3000 Celje, Slovenija

Tel: + 386 3 42 01 000

Elektronska pošta: tomaz.sotlar@elektro-celje.si

red. prof. dr. Jože Pihler

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 70 61

Elektronska pošta: joze.pihler@um.si