



ВИСОКА ПОСЛОВНА ШКОЛА  
СТРУКОВНИХ СТУДИЈА – БЛАЦЕ  
Часопис из области економије, менаџмента и  
информатике „БизИнфо“  
Година 2014, годиште 5, број 1, стр. 83-93  
Адреса: Краља Петра I, бр.70, 18420 Блаце

Стручни рад

УДК: 621.316.027.6:519.876.5

## СИМУЛАЦИЈА ПРЕЛАЗНИХ ПРОЦЕСА У ДИСТРИБУТИВНИМ МРЕЖАМА СРЕДЊЕГ НАПОНА (10-35 kV)

### SIMULATION OF TRANSIENT PROCESS IN DISTRIBUTIVE NETWORKS MIDDLE VOLTAGE (10-35 kV)

Виолета Милићевић<sup>1</sup>

Висока пословна школа струковних студија, Блаце  
Слободан Бјелић<sup>2</sup>

Факултет техничких наука Приштина, Косовска Митровица  
Ненад Марковић<sup>3</sup>

Висока техничка школа струковних студија Урошевац, Лепосавић  
Урош Јакшић<sup>4</sup>

Висока техничка школа струковних студија, Звечан

**Резиме:** *Изложен је нови метод за симулацију и дијагностику земљоспоја у дистрибутивним мрежама кога дефинишу параметри насталог прелазног процеса. На основу еквивалентне шеме дела мреже за случај земљоспоја написан је алгоритам који служи за одређивање места квара-земљоспоја. Уз помоћ MATLAB 6.5 програма-адаптираног пакета psbtransient симулиран је процес и добијени су резултати у односу на изабране параметре мреже до напонског нивоа 10-35 kV.*

**Кључне речи:** *симулација, земљоспој, мрежа, прелазни процеси.*

---

<sup>1</sup> violeta.milicevic@vpskp.edu.rs

<sup>2</sup> slobodanbjelic49@yahoo.com

<sup>3</sup> nen.mark74@yahoo.com

<sup>4</sup> uros\_jaksic@yahoo.com

**Abstract:** *A new method of simulation and diagnostic of grounding in distribution networks is exposed and it is defined by the parameters resulting from the transition process. Based on the equivalent scheme of the net in case of a grounding is written algorithm that is used to determine the place of failure of grounding. With the help of MATLAB 6.5 program-adapted package psbtransient is simulated process and obtained results with regard to the selected parameters of the network to the voltage of 10-35 kV.*

**Key words:** *simulation, grounding, network, transient process.*

## 1. УВОД

У електричним мрежама са изолованом или компензованом неутралном тачком за дијагностику и одређивање распона до места земљоспоја користе се различити методи и сви они углавном предвиђају искључење напона конзума (Бјелић, Алексић, и Марковић, 2007; Марковић, Бјелић, Јаксић и Божијевић, 2008).

Основни недостаци ових класичних метода и уређаја су:

- 1) поменута неопходност искључења електричних пријемника,
- 2) прекид у напајању (отказ са аспекта поузданости),
- 3) недовољна оперативност и тачност у дијагностици (Марковић, Бјелић, Живанић и Јакшић, 2013; Бјелић, Јакшић и Марковић, 2008).

## 2. ПРЕДПРОЦЕСИРАЊЕ - АЛГОРИТАМ ЗЕМЉОСПОЈА

У савременим SCADA-ма предвиђена је могућност рачунарске подршке али се још увек, поготову у хаваријским ситуацијама развијају и тестирају нови методи и алгоритми који би омогућили једноставније поступке у позиционирању места земљоспоја (Бјелић, 2007). На примеру основне мрежне конфигурације кроз анализу параметара прелазног процеса показале се могућност одређивања места земљоспоја уз примену рачунара када рачунар замењује класичну земљоспојну заштиту са временским затезањем или може да ради паралелно са њом али уз услов да не прекида напајање конзума. Развијени поступак заснован је на мерењу параметара прелазног процеса а израчунавање одстојања до места земљоспоја одвија се по алгоритму уз помоћ персоналног рачунара:

$$L_k = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{u - i \frac{U}{I_{m1}} \ln \frac{I_{m1}}{I_{m2}}}{I\omega} \quad (1)$$

где је:

$L_k$  – одстојање до места квара, распон ( $km$ ),

$L_0$  – погонска индуктивност вода у земљоспоју која зависи од материјала и геометријског облика вода (кабловски/ваздушни вод), ( $H$ ),

$u$  – тренутна вредност напона, ( $V$ ),

$i$  – тренутна вредност струје, ( $A$ ),

$U$  – напон неутралне тачке, ( $V$ ),

$I_{m1}, I_{m2}$  – амплитудне вредности два суседна наилазећа виша хармоника струје на воду у земљоспоју, ( $A$ ), ( $k$ ), ( $k + 1$ ) (то могу да буду и основни хармоник и први виши хармоник),

$\omega$  – сопствена учестаност прелазног процеса ( $1/s$ ).

Распон до места земљоспоја рачуна се по следећој процедури:

Индуктивна реактанса вода је:

$$\omega L = \frac{U}{I_{m1}} \quad (2)$$

где је:

$\omega$  – кружна учестаност, ( $1/s$ ),

$L = L_{isv} + L_k$  – индуктивност вода једнака збиру индуктивности исправног вода и индуктивности од почетка вода у земљоспоју до места земљоспоја  $L_k$ , ( $H$ ),

$U$  – вредност напона у неутралној тачки, ( $V$ ),

$I_{m1}$  – амплитудна вредност струје, ( $A$ ).

Однос амплитудних вредности струја наилазећих ( $k$ ) и ( $k - 1$ ) хармоника (Бјелић, Вујићић и Младеновић, 2007), у воду у квару је:

$$\frac{I_{m1}}{I_{m2}} = e^{R/\omega L} \quad (3)$$

где је:

$R$  – активна отпорност вода, ( $\Omega$ ).

Логаритмовањем леве и десне стране израза добија се:

$$\ln \frac{I_{m1}}{I_{m2}} = \ln e^{R/\omega L} \quad (4)$$

одакле је:

$$\ln \frac{I_{m1}}{I_{m2}} = R / \omega L \quad (5)$$

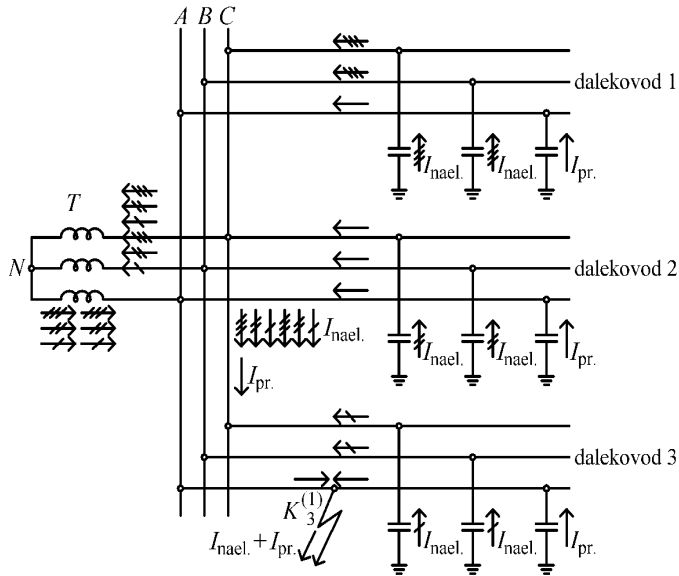
Ако се у израз  $R = \omega L \ln \left( \frac{I_{m1}}{I_{m2}} \right)$  замени  $\omega L = \frac{U}{I_{m1}}$  добија се:

$$R = \left( \frac{U}{I_{m1}} \right) \ln \left( \frac{I_{m1}}{I_{m2}} \right) \quad (6)$$

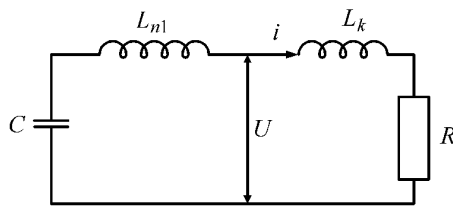
За анализу процеса пражњења када је вод у квару (сл. 1) формира се заменска шема тог вода (Бјелић, Кречковић, Бигићрвић и Марковић, 2007) (сл. 2), у којој су индуктивности повређене фазе и неповређеног дела вода замењени са еквивалентном индуктивношћу  $L_{n1}$ , капацитивности између фазе и земље замењени еквивалентном капацитивношћу  $C$ , индуктивност од почетка вода у квару до места квара  $L_k$ . За десни део, по другом Кирхофовом закону, саставља се диференцијална једначина:

$$U = iR + L_k \frac{di}{dt} \quad (7)$$

$$L_k = \frac{U - Ri}{di / dt} \quad (8)$$



Сл. 1. Шема електричне меже при једнофазном земљоспоју



Сл. 2. Заменска шема фазе погођене кваром

После замене вредности погонске индуктивности  $L_k$  производом распона ( $l_k$ ) и подужне индуктивности  $L_0$ :

$$L_k = l_k L_0 \quad (9)$$

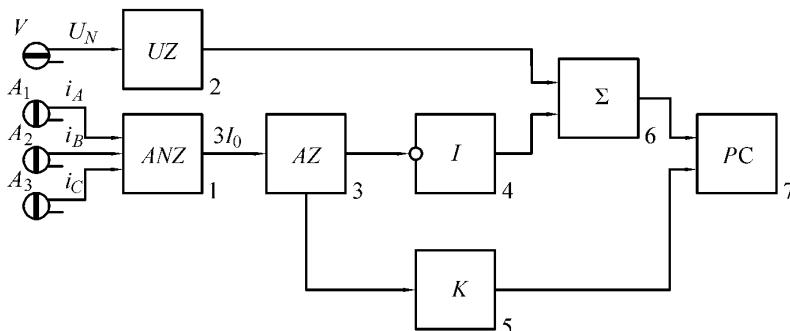
и раније уведене вредности за  $R$ ,

$$R = \frac{U}{I_{m1}} \ln \left( \frac{I_{m1}}{I_{m2}} \right) \quad (10)$$

добија се коначна формула за одређивање одстојања до места земљоспоја:

$$l_k = \frac{\left( \frac{1}{L_0} \right) \left\{ u - i \left( \frac{U}{I_{m1}} \right) \ln \left( \frac{I_{m1}}{I_{m2}} \right) \right\}}{di / dt} \quad (11)$$

Могућа шема уређаја за реализацију развијеног поступка је приказана на сл. 3. Уређај, намењен одређивању места земљоспоја у електричним мрежама (Бјелић, Алексић, и Марковић, 2007)10, 35 kV са изолованом или компензованом неутралном тачком састоји се од мерних трансформатора фаза  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , филтра струје нултог редоследа 1, напонског трансформатора, филтра напонског кола 2, филтра струјних кола 3, инвертора 4, компаратора 5, суматора 6 и анализатора 7 уместо кога се може користити и рачунар. Када је електрична мрежа исправна, сигнала из давача (мерних трансформатора) нема и уређај се налази у режиму ишчекивања (Марковић, Бјелић, Јаксић и Богижевић, 2008). Ако настане земљоспој крену сигнали из давача претварача 1 и 2, различити од нуле, после чега уређај процесира наилазећу информацију на основу које се одреди распон до места земљоспоја по претходно изведеном алгоритму (Марковић, Бјелић, Јакшић и Вујучић, 2010; Бјелић, Марковић, Јакшић и Живанић, 2013).



Сл. 3. Шема уређаја за реализацију предложеног метода

Ознаке на сл. 3 су следеће:

$V$  – напонски трансформатор,

$A_1, A_2, A_3$  – струјни трансформатори,

$UZ$  – филтри напона из напонских трансформатора,

$ANZ$  – филтри струја нултог редоследа из струјних трансформатора,

$AZ$  – филтри струја,

$I$  – инвертор,

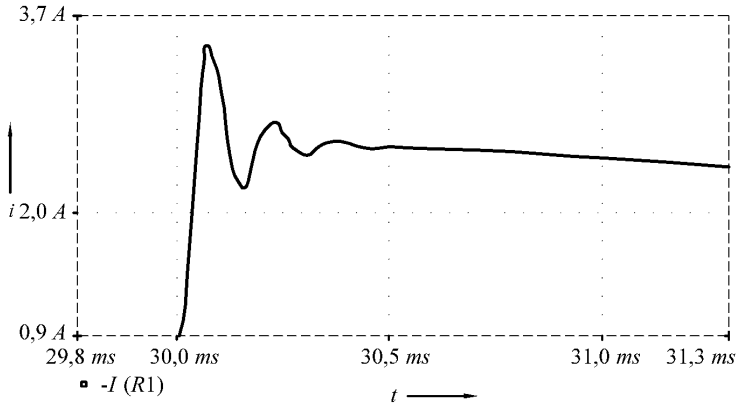
$K$  – компаратор напона и струја,

$\Sigma$  – суматор,

$PC$  – рачунар.

### 3. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

За део дистрибутивне мреже  $10\text{ kV}$  у Зубином Потоку и  $35\text{ kV}$  у Косовској Митровици, на анализатору који је симулиран рачунарским програмом MATHLAB 6.5 добијени су дијаграми прелазног процеса за одговарајуће вредности напона и струја за шеме које су приказани на сл. 4, сл. 5 и сл. 6.



Сл. 4. Прелазни процес при земљоспоју

Пример 1: Шема на сл. 5 садржи следеће параметре:

Напон  $10\text{ kV}$ .

Параметри мреже:

$$V_n = 10\text{ kV}, f = 50\text{ Hz}, \varphi_0 = 90^\circ,$$

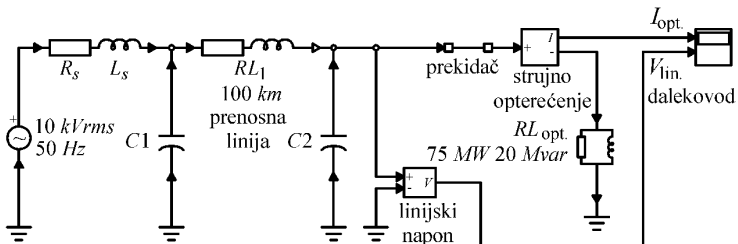
$$L_s = 70,2\text{ mH}, R_s = 2,64\ \Omega, C = \text{inf}$$

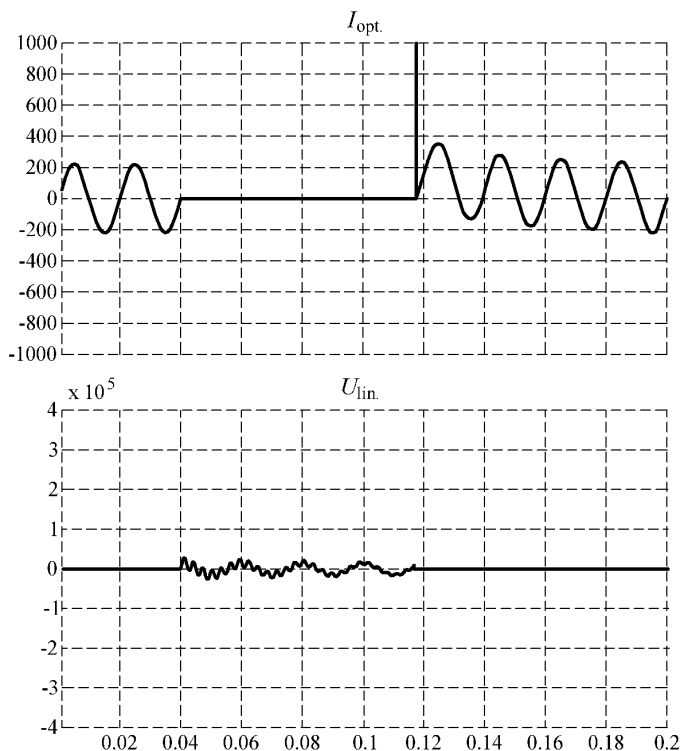
Параметри вода:

$$L_v = 138\text{ mH}, R_v = 5,2, C_1 = C_2 = 0,967\ \mu\text{F}$$

Параметри оптерећења:

$$V_n = 10\text{ kV}, P = 75\text{ MW}, Q = 20\text{ Mvar}$$





Сл. 5. Прелазни процес у  $10\text{ kV}$  дистрибутивној мрежи

Пример 2: Шема на сл. 6 садржи следеће параметре:

Напон  $35\text{ kV}$ .

Параметри мреже:

$$V_n = 35\text{ kV}, f = 50\text{ Hz}, \varphi_0 = 90^\circ,$$

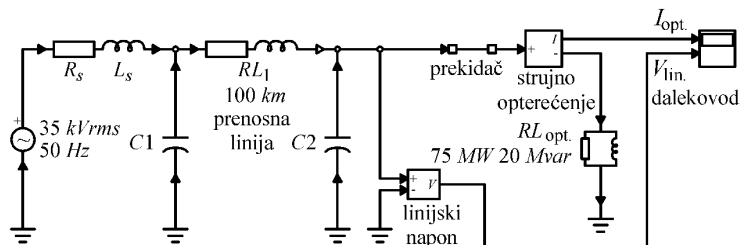
$$L_s = 70,2\text{ mH}, R_s = 2,64\ \Omega, C = \text{inf}$$

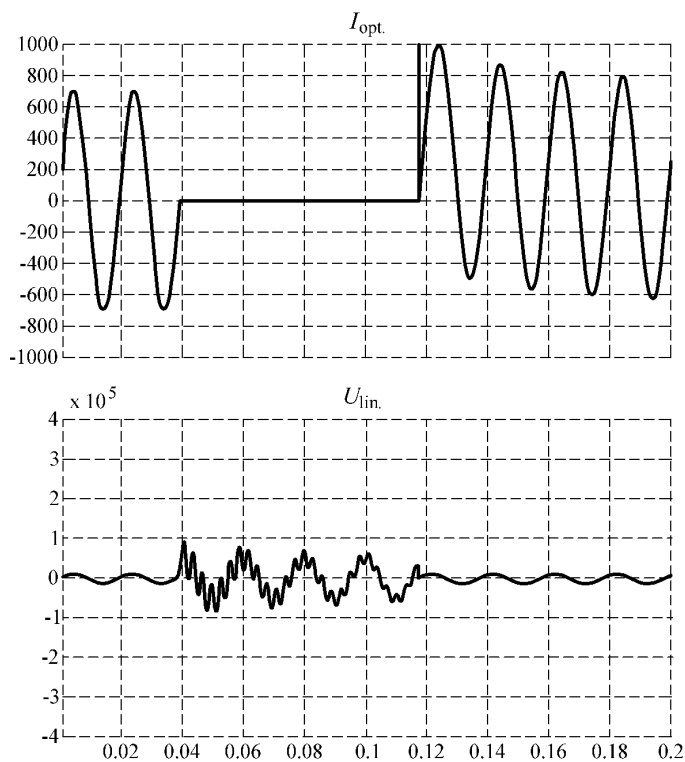
Параметри вода:

$$L_v = 138\text{ mH}, R_v = 5,2, C_1 = C_2 = 0,967\ \mu\text{F}$$

Параметри оптерећења:

$$V_n = 35\text{ kV}, P = 75\text{ MW}, Q = 20\text{ Mvar}$$





Сл. 6. Прелазни процес у  $35\text{ kV}$  дистрибутивној мрежи

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Развијени поступак, који због мерења струје нултог редоследа припада мерним поступцима мерења симетричних компоненти, омогућава да се одреди распон до места квара у веома кратком времену (не више од неколико секунди). При томе се могу користити класични контролно мерни инструменти а може се користити и рачунарска подршка по развијеном алгоритму.

Предложени метод омогућава да се брзо и прецизно, помоћу анализа параметара прелазног процеса хаваријског режима, одреди место земљоспоја и његово одстојање у средњенапонским дистрибутивним мрежама.

#### РЕФЕРЕНЦЕ

1. Bjelic, S., Aleksic, N., Markovic, N. 2007. Protective earthing in high-voltage equipment, *Round table with international*

- participation- Enviroment protection in industrial areas*, 19-20. april 2007. Kosovska Mitrovica.
2. Bjelic, S., Jaksic, U., Markovic, N. 2008, Multi-sliced-level type phase-comparison carrier relaying system for multi-terminal lines, *16th Telecommunications Forum, TELFOR 2008*, IEEE Co-organized Conference, Belgrade, Serbia 25-27 November 2008.
  3. Бјелић, С., 2007. *Енергетски претварачи у мрежама и инсталацијама*, Ниш, Свен.
  4. Bjelic, S., Vujicic, M., Mladenovic, V. 2007. Transformation Highpass Filter to Digital Filter for Obtaining Inverse Component in Electrical Networks, *IYCE 2007*, Conference Budapest.
  5. Bjelić, S., Krečković, N., Bogičević, Z., Marković N., 2007. Estimation flow current, loss of power and voltage fall down are showing us the usage of PDM KМp,q applicative program in electrical engineering, Session 5, Power distribution system development, Block 4, Methods and Tools, Cired, [online] Available at: <[http://www.cired.net/publications/cired2007/pdfs/CIREd2007\\_0907\\_paper.pdf](http://www.cired.net/publications/cired2007/pdfs/CIREd2007_0907_paper.pdf)> [Accessed 14 June 2014].
  6. Bjelić, S., Marković, N., Jakšić, U., Živanić, J. 2013. Selection of linear filter elements parameters for measuring of voltage and currents components of direct and inverse order, *Elektronika, Energetyka, Elektrotechnika, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 2013-1a, [online] Available at: <<http://www.sigma-not.pl/publikacja-74175-selection-of-linear-filter-elements-parameters-for-measuring-of-voltage-and-currents-components-of-direct-and-inverse-order-przeglad-elektrotechniczny-2013-1a.html>> [Accessed 14 June 2014].
  7. Markovic, N., Bjelic, S., Jaksic, U., Bogicevic, Z. 2008. Graphical zero-sequence cut-offs method of determining of fault to earth in electrical lines, *9th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering, NEUREL-2008*, Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, pp. 73-76.
  8. Marković, N., Bjelić, S., Živanić, J., Jakšić, U. 2013. Numerical simulation and analytical model of electrical arc impedance in the transient processes, *Elektronika, Energetyka, Elektrotechnika, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 2013-

- 2a, [online] Available at:<<http://www.sigma-not.pl/publikacja-74413-numerical-simulation-and-analytical-model-of-electrical-arc-impedance-in-the-transient-processes-przeglad-elektrotechniczny-2013-2a.html>> [Accessed 14 June 2014].
9. Marković, N., Bjelić, S., Jakšić, U., Vujičić, M. 2010. Development of new measuring systems based on symmetric components in electric networks, *Elektronika ir elektrotechnika*, Signal technology, Lithuania, [online] Available at: <[http://www.ee.ktu.lt/journal/2010/8/13\\_\\_ISSN\\_1392-1215\\_Development%20of%20New%20Measuring%20Systems%20Based%20on%20Symmetric%20Components%20in%20Electric%20Networks.pdf](http://www.ee.ktu.lt/journal/2010/8/13__ISSN_1392-1215_Development%20of%20New%20Measuring%20Systems%20Based%20on%20Symmetric%20Components%20in%20Electric%20Networks.pdf)> [Accessed 14 June 2014].

Рад је примљен 15.06.2014.

Прихваћен за објављивање 15.06.2014.

