

## UZEMLJIVAČKI EFEKTI SREDNENAPONSKIH KABLOVSKIH VODOVA

**Dr D.Tasić\***, Elektronski fakultet, Niš, Srbija  
**Dr M. Tanasković**, PD Elektrodistribucija-Beograd, Beograd, Srbija  
**V. Balkovoj**, PD Elektrovojvodina, Novi Sad, Srbija  
**Mr M. Stojanović**, Elektronski fakultet, Niš, Srbija

### KRATAK SADRŽAJ

U radu su analizirani uzemljivački efekti i iznošenje potencijala srednjenaponskim kablovskim vodom. Razmatrani su vodovi formirani od trožilnih kablova sa neizolovanim metalnim omotačem (npr. tipa NPO 13), kao i trofazni vodovi sastavljeni od tri jednožilna kabla čija je električna zaštita izolovana (tipa XHE 49).

Kod kablova sa neizolovanim metalnim omotačem analiziran je uticaj dužine kabla i otpornosti uzemljenja TS SN/NN na vrednost iznetog potencijala.

U slučaju voda formiranog od jednožilnih kablova razmatran je uticaj broja TS SN/NN koje vod napaja, kao i vrednost otpornosti uzemljivača ovih TS na veličinu iznetog potencijala. Pored toga, analizirana je i vrednost impedanse uzemljenja kojom se obuhvata uticaj kablovskog voda i TS SN/NN koje taj vod napaja kod proračuna uzemljenja napojne TS VN/SN.

### UVOD

Metalni plaševi i električne zaštite srednjenaponskih kablova se uzemljuju na oba kraja povezivanjem na uzemljivače transformatorskih stanica. U slučajevima kada se na uzemljivaču TS VN/SN pojavi određeni potencijal (pri jednofaznom zemljospoju u mreži 110 kV) on se preko uzemljenih metalnih plaševa ili električnih zaštita srednjenaponskih kablova prenosi u TS SN/NN. Ukoliko je u TS SN/NN spojeno radno i zaštitno uzemljenje onda može preko neutralnog provodnika doći i do iznošenja potencijala u niskonaponsku mrežu i instalacije potrošača. Ovo znači da u slučaju primene TN sistema zaštite metalni delovi uređaja koji normalno nisu pod naponom, a koje korisnik može da dodirne, dolaze na određeni potencijal. U nekim slučajevima može se desiti da napon dodira bude veći od dozvoljenog što, pri dodiru ovih metalnih delova, može da dovede do neželjenih posledica.

Pošto visina iznetog potencijala zavisi i od konstrukcije kabla to će se ovde posebno razmotriti kablovi sa izolacijom od impregnisanog papira (tipa NPO 13) i kablovi sa izolacijom od umreženog polietilena (npr. kablovi tipa XHE 49).

---

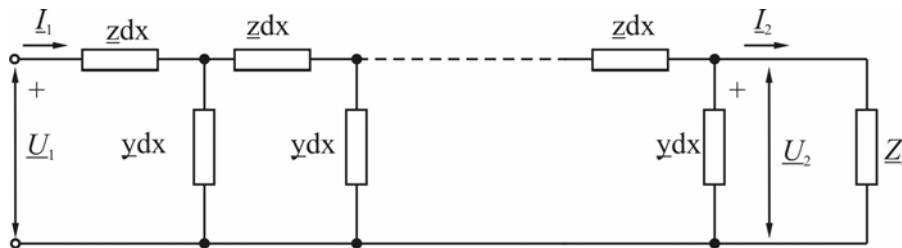
\* *Dr Dragan Tasić, dipl.inž.el, elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 15, 18000 Niš*  
*tel. +381(0)18/529-110, +381(0)63/690-609, E-mail: [dtasic@elfak.ni.ac.yu](mailto:dtasic@elfak.ni.ac.yu)*

## KABLOVI SA NEIZOLOVANIM METALNIM OMOTAČEM

Zastupljenost kablova srednjeg napona sa papirnom izolacijom i neizolovanim omotačem (NPO kablovi) u elektrodistributivnim mrežama Srbije je značajna, bez obzira što se u poslednjoj deceniji u najvećoj meri primenjuju kablovi srednjeg napona sa dielektrikom od umreženog polietilena i izolovanim spoljnim omotačem (XHE kablovi).

Iako je vremenski period primene NPO kablova mnogo duži od primene XHE kablova, detaljnije razmatranje uzemljivačkih svojstava i redukcionog faktora dato je jedino u [1] pre skoro tri decenije kada je i uočeno da dve fizičke pojave utiču na ponašanje NPO kablova pri nesimetričnim kratkim spojevima. Naime, postojanje mehaničke zaštite od čeličnih traka iznad olovnog plašta uvodi u magnetsku spregu između faznih provodnika i plašta i mehaničke zaštite nelinearnost preko krive magnećenja čelika. Takođe, podužno odvođenje struje sa mehaničke zaštite i plašta NPO kabla preko neizolovanog omotača u zemlju na još jedan način, pored predhodno navedenog, uzrokuje zavisnost impedanse uzemljenja kablova od struje kvara i dužine kablovskog voda.

Kablovi koji imaju metalni plašt i armaturu sa antikorozivnom zaštitom od asfaltirane jute, tekstila, papira i sl. usled ovlaživanja posle nekoliko meseci od polaganja dolaze do dobrog kontakta sa okolnim tlom. U ovu vrstu kablova, kao što je već istaknuto, spadaju kablovi tipa NPO 13, sa izolacijom od impregnisanog papira i olovnim plaštovima, koji se često sreću u mrežama od 10 kV do 35 kV. S obzirom na to da su metalni plašt i armatura u neposrednom dodiru sa zemljom oni se, sa aspekta iznošenja potencijala, mogu tretirati kao vod sa raspodeljenim parametrima. Imajući ovo u vidu na sl.1 prikazana je ekvivalentna električna šema za proračun struja i napona na plaštu. Na ovoj slici sa  $\underline{z}$  je obeležena impedansa po jedinici dužine paralelene veze plašta i armature koja se suprotstavlja proticanju struje a sa  $\underline{y}$  otočna admitansa po jedinici dužine preko koje se struja odvodi u okolno tlo, dok je sa  $\underline{Z}_2$  označena otpornost rasprostiranja uzemljivača postrojenja srednjeg napona.



Sl. 1 Ekvivalentna električna šema

Imajući u vidu da je armatura od čeličnih žica ili traka impedansa po jedinici dužine  $\underline{z}$  je:

$$\underline{z} = r + jx = \frac{R_{pl}R_a}{R_{pl} + R_a} + r_a + j(\omega L_s + x_a) \quad (1)$$

gde je:

$R_{pl}$  - električna otpornost plašta po jedinici dužine,

$R_a$  - električna otpornost armature po jedinici dužine,

$r_a$  - povećanje električne otpornosti po jedinici dužine zbog magnetnog uticaja armature,

$L_s$  - sopstvena induktivnost po jedinici dužine petlje metalni plašt – zemlja,

$x_a$  - povećanje reaktanse po jedinici dužine usled elektromagnetnog uticaj armature.

Podužna admitansa  $\underline{y}$  ima praktično čist konduktivni karakter i može se približno smatrati jednakom odvodnosti horizontalno položenog uzemljivača:

$$\underline{y} \approx g = \frac{\pi}{\rho} \frac{1}{\ln \frac{D}{\sqrt{HD}}} \quad (2)$$

gde je:

H – dubina ukopavanja kabla,

D – spoljni poluprečnik plašta,

$\rho$  - specifična električna otpornost tla,

$l$  – dužina kabla između uzemljivača TS VN/SN i TS SN/NN.

Analizom zamenske šeme prikazana na sl. 1 pokazuje se da je:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_c l) + \underline{Z}_c \underline{I}_2 \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_c l), \quad (3)$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_c} \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_c l) + \underline{I}_2 \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_c l). \quad (4)$$

gde je:

- konstanta prostiranja

$$\underline{\gamma}_c = \sqrt{\underline{z} \underline{y}} \quad i \quad (5)$$

- karakteristična impedansa

$$\underline{Z}_c = \sqrt{\frac{\underline{z}}{\underline{y}}}. \quad (6)$$

Pošto je:

$$\underline{U}_2 = \underline{Z}_2 \underline{I}_2, \quad (7)$$

to se za napon na početku kabla, odnosno na uzemljivaču TS VN/SN dobija:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \left[ \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_c l) + \frac{\underline{Z}_c}{\underline{Z}_2} \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_c l) \right]. \quad (8)$$

Odnos napona na kraju i početku plašta kabla, odnosno napona uzemljivača TS SN/NN i TS VN/SN predstavlja koeficijent iznesenog potencijala  $\underline{K}_i$  :

$$\underline{K}_i = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1}{\operatorname{ch}(\underline{\gamma}_c l) + \frac{\underline{Z}_c}{\underline{Z}_2} \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_c l)}, \quad (9)$$

čiji je moduo

$$\underline{K}_i = \frac{1}{\left| \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_c l) + \frac{\underline{Z}_c}{\underline{Z}_2} \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_c l) \right|}. \quad (10)$$

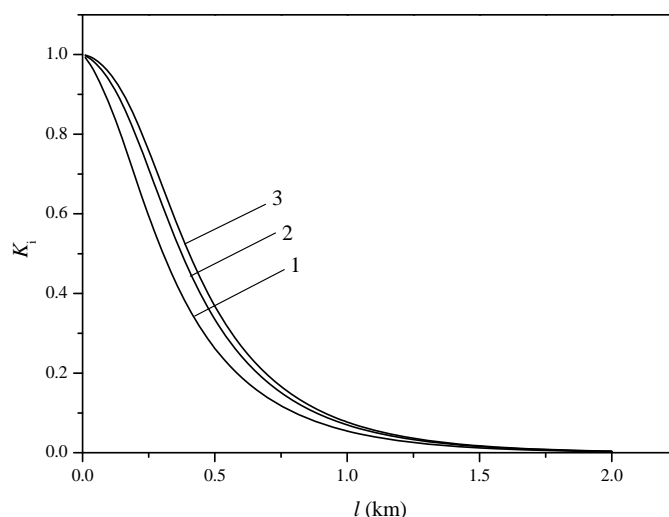
Deljenjem napona  $\underline{U}_1$  sa strujom  $\underline{I}_1$  dobija se ulazna impedansa  $\underline{Z}_u$ , kojom se obuhvata uticaj plašta i armature kabla i uzemljivača TS SN/NN kao dopunskog uzemljivača TS VN/SN. Imajući u vidu relacije (3), (4) i (7) za impedansu  $\underline{Z}_u$  se dobija:

$$\underline{Z}_u = \underline{Z}_c \frac{\underline{Z}_2 \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_c l) + \underline{Z}_c \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_c l)}{\underline{Z}_2 \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_c l) + \underline{Z}_c \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_c l)}. \quad (11)$$

Da bi se sagledao uticaj kablova tipa NPO 13 na iznošenje potencijala i na vrednost impedanse uzemljenja analizirana je zavisnost koeficijenta  $\underline{K}_i$  i impedanse  $\underline{Z}_u$  od dužine kabla i otpornosti uzemljenja TS SN/NN.

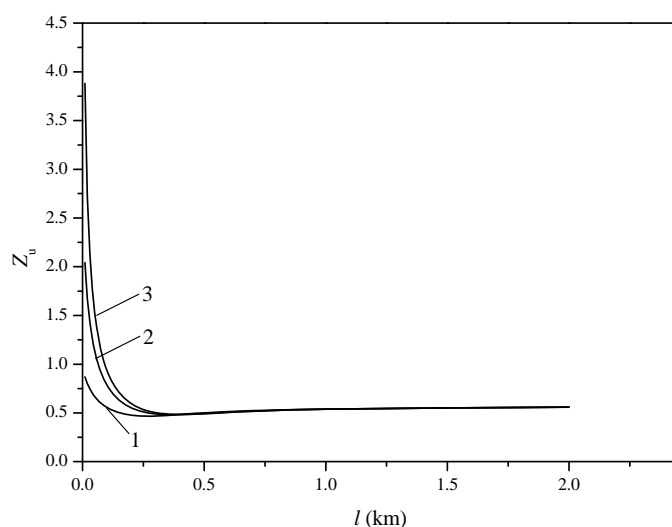
Na slici 2 prikazana je zavisnost koeficijenta iznesenog potencijala od dužine kabla, odnosno rastojanja između TS VN/SN i TS SN/NN za različite vrednosti impedanse uzemljenja TS SN/NN koje su smatrane čisto aktivnim. Pri proračunu je uzeto da vrednost podužne reaktanse iznosi  $\underline{z} = 0,7 + j2 \Omega/\text{km}$ , što odgovara slučajevima kada se preko plašta i armature odvođe umerene struje pri kojima ne dolazi do magnetnog zasićenja čelične armature kabla.

Kriva 1 na slici 2 dobijena je za  $R_2 = 1 \Omega$ , dok su krive 2 i 3 dobijene za  $R_2 = 3 \Omega$  i  $R_2 = 10 \Omega$ . Sa slike se vidi da već pri dužini kabla od 0,5 km dolazi do znatnog opadanja vrednosti iznesenog potencijala.



Sl. 2 Zavisnost modula koeficijenta iznetog potencijala od dužine kabla za  $H=0,7\text{m}$  i  $D=0,05\text{m}$

Na slici 3 prikazana je zavisnost modula impedanse uzemljenja  $Z_u$  od dužine kabla za iste uslove kao kod slike 2. Vidi se da se posle par stotina metara dolazi do ustaljene vrednosti i da dalje povećanje dužine kabla ne dovodi do smanjenja vrednosti impedanse  $Z_u$ .



Sl. 3 Zavisnost ulazne impedanse od dužine kabla

Proračun impedanse uzemljenja kablovskog voda sa provodnim plaštom primenom izraza (11) često nije neophodan. Naime, u zavisnosti od lokalnih uslova polaganja za svaki kabl, prvo treba proveriti da li se posmatrani kabl u smislu uzemljivačkih efekata ponaša kao "kratak" ili "dugačak" kabl, jer to omogućava znatno jednostavniji proračun.

"Kratki" kabl se u distributivnoj mreži najčešće javlja kao kablovski priključak na nadzemni vod. Uticaj kablova kao uzemljivača na ovim dužinama može se razmatrati bez uvažavanja podužnih padova napona. Tako se u slučaju "kratkog" kabla hiperbolične funkcije mogu zameniti samo prvim članovima potencijalnih redova, pa je impedansa uzemljenja:

$$\underline{Z}_u = \underline{Z}_c \frac{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_c \gamma_c l}{\underline{Z}_2 \gamma_c l + \underline{Z}_c} \quad (12)$$

Dužina  $B_k$  [m] do koje se kabl ponaša kao "kratak", u smislu uzemljivačkih efekata, može se prema [8] izračunati iz:

$$B_k \leq \frac{0,22}{|\gamma|}, \quad (13)$$

ili se može približno odrediti i prema [9] iz izraza:

$$B_k \approx 7 \cdot \sqrt{\rho} \quad (14)$$

gde je  $\rho$  [ $\Omega\text{m}$ ] specifična električna otpornost tla.

Proračuni koji su izvršeni pokazali su da se izraz (12) za izračunavanje impedanse uzemljenja kabla može primeniti umesto izraza (11) za kablove dužine do oko 80 m i sve specifične električne otpornosti tla, pri čemu su za specifične otpornosti tla iznad 100  $\Omega\text{m}$  rezultati po obe formule praktično podudarni.

"Dugačak" kabl se u distributivnoj mreži javlja u gradskim SN mrežama. To znači da je kabl priključen paralelno uzemljivaču TS i da ima stalnu vrednost otpornosti uzemljenja, jer se preko plašta u zemlju prenela celokupna struja zemljospoja. U slučaju "dugačkih" kablova obe hiperbolične funkcije postaju jednake:

$$ch(\gamma \cdot B) = sh(\gamma \cdot B) = \frac{1}{2} e^{j\gamma B} \cdot e^{aB}, \quad (15)$$

pa je impedansa uzemljenja:

$$Z_u = Z_c. \quad (16)$$

Dužine  $B_d$  [m] od koje se kabl ponaša kao "dugačak", u smislu uzemljivačkih efekata, može se prema [8] odrediti iz:

$$B_d \geq \frac{3}{\text{Re}(\gamma_c)}, \quad (17)$$

ili se može približno odrediti i prema [9] iz izraza:

$$B_d \approx 19 \cdot B_k = 133 \cdot \sqrt{\rho}. \quad (18)$$

Izraz (16) za određivanje impedanse uzemljenja kabla može se primeniti umesto izraza (11) za kablove dužine od oko 300 m i specifične električne otpornosti tla manje od 100  $\Omega\text{m}$ . Za specifične električne otpornosti tla veće od 100  $\Omega\text{m}$  izraz (16) je primenjiv za dužine od oko 1000 m.

## KABLOVI SA IZOLOVANIM METALNIM OMOTAČEM

U poslednje vreme sve veću primenu nalaze srednjenaponski jednožilni kablovi sa izolacijom od umreženog polietilena (npr. kablovi tipa XHE 48, XHE 49). Pošto jednožilni kablovi imaju plašt od polietilena, to je sprečen kontakt električne zaštite kabla i zemljišta u koje se kabl polaže, što je potpuno različita situacija u poređenju sa kablovima tipa IPO 13 (NPO 13).

Jedan trofazni vod sastavljen od tri jednožilna kabla napaja više transformatorskih stanica srednji/niski napon (TS SN/NN) u kojima se električne zaštite kablova spajaju sa uzemljivačem transformatorske stanice. Na taj način povezuju se uzemljivači više TS SN/NN, te se može reći i da vod formiran od jednožilnih kablova ima određena uzemljivačka svojstva. S obzirom da se električne zaštite kablova vezuju i za uzemljivač TS VN/SN to pri zemljospoju u ovoj transformatorskoj stanici dolazi do iznošenja potencijala u TS SN/NN.

Matematički model za analizu uzemljivačkih efekata i iznošenja potencijala formiraće se pod sledećim pretpostavkama:

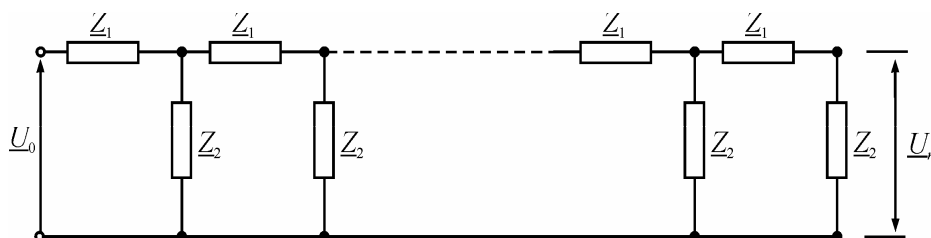
- rastojanja između susednih TS SN/NN su jednaka (računaće se sa prosečnom dužinom koja se dobija kada se ukupna dužina voda podeli sa brojem TS SN/NN koje taj vod napaja),
- impedanse uzemljenja TS SN/NN su jednake.

Imajući u vidu navedene pretpostavke može se formirati zamenska šema prikazana na slici 4. Na ovoj slici sa  $\underline{Z}_1$  je obeležena impedansa električne zaštite jednožilnih kablova između dve susedne TS SN/NN, a sa  $\underline{Z}_2$  impedansa uzemljivača TS SN/NN. Pošto se trofazni vod sastoji od tri jednožilna kabla pokazuje se da se impedansa  $\underline{Z}_1$  može odrediti pomoću relacije:

$$\underline{Z}_1 = \left( \frac{R_e}{3} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_{ek}}{\sqrt[3]{r_e a^2}} \right) B, \quad (19)$$

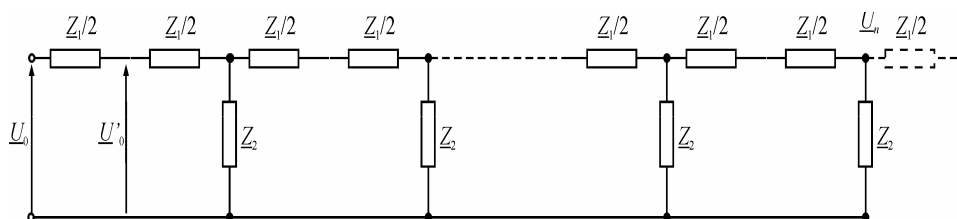
gde je:

- $R_e$  - podužna otpornost električne zaštite jednog kabla,
- $\omega$  - kružna frekvencija naizmenične struje,
- $r_e$  - srednji poluprečnik električne zaštite,
- $a$  - rastojanje između osa dva susedna kabla,
- $B$  - prosečno rastojanje između susednih TS SN/NN,
- $D_{ek}$  - ekvivalentna dubina povratnog puta kroz zemlju.



Sl. 4. Zamenska šema za analizu uzemljivačkih efekata

Šema na sl. 4 predstavlja kaskadnu vezu  $n$  obrnutih  $\Gamma$  četvoropola. Radi jednostavnije matematičke analize pogodnije je šemu sa sl. 4 transformisati u šemu prikazanu na sl. 5. Vidi se da ova šema predstavlja kaskadnu vezu simetričnih T četvoropola.



Sl. 5 Modifikovana zamenska šema sa sl. 4

Pokazuje se da se veza između napona i struja na početku i kraju četvoropola može iskazati sledećim relacijama:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma}_c + \underline{Z}_c \underline{I}_2 \operatorname{sh} \underline{\gamma}_c, \\ \underline{I}_1 &= \underline{U}_2 \frac{\operatorname{sh} \underline{\gamma}_c}{\underline{Z}_c} + \underline{I}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma}_c, \end{aligned} \quad (20)$$

U napred navedenim relacijama sa  $\underline{Z}_c$  i  $\underline{\gamma}_c$  obeležene su karakteristična impedansa i karakteristična konstanta prenosa, respektivno i one iznose:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_c &= \sqrt{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 \left( 1 + \frac{\underline{Z}_1}{4 \underline{Z}_2} \right)}, \\ \underline{\gamma}_c &= \ln \left[ 1 + \frac{\underline{Z}_1}{2 \underline{Z}_2} + \sqrt{\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} + \left( \frac{\underline{Z}_1}{2 \underline{Z}_2} \right)^2} \right]. \end{aligned} \quad (21)$$

Za  $n$  istih simetričnih četvoropola vezanih u kaskadu važi da je karakteristična konstanta prenosa  $n$  puta veća od karakteristične konstante prenosa jednog četvoropola, a karakteristična impedansa cele kaskade jednaka je karakterističnoj impedansi jednog četvoropola. Imajući u vidu oznake na sl. 5 i uvažavajući realnu činjenicu da je struja na kraju modifikovane zamenske šeme  $\underline{I}_n = 0$ , dobija se:

$$\underline{U}_0 = \underline{U}'_0 + \frac{\underline{Z}_1}{2} I_0 = \underline{U}_n \operatorname{ch}(n\gamma_c) + \frac{\underline{Z}_1}{2} I_0, \quad (22)$$

$$I_0 = I'_0 = \underline{U}_n \frac{\operatorname{sh}(n\gamma_c)}{\underline{Z}_c}.$$

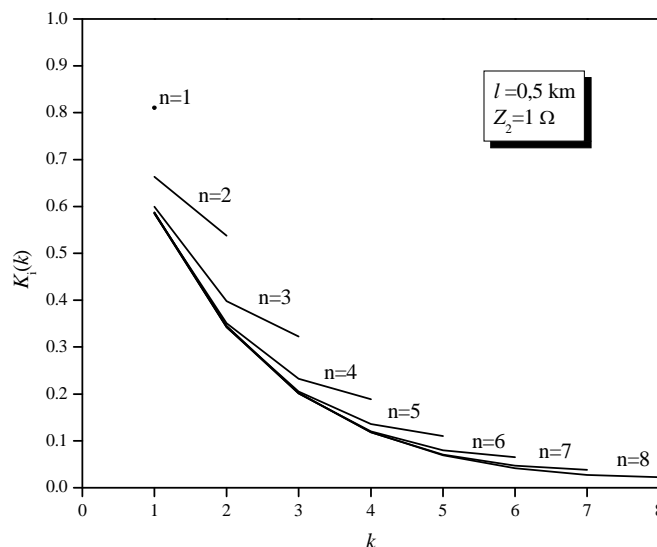
Pomoću relacija za napon i jačinu struje na početku kablovskog voda jednostavno se određuje impedansa uzemljenja kabla:

$$\underline{Z}_u = \frac{\underline{U}_0}{I_0} = \underline{Z}_c \frac{\operatorname{ch}(n\gamma_c)}{\operatorname{sh}(n\gamma_c)} + \frac{\underline{Z}_1}{2}. \quad (23)$$

Pomoću relacije (22) dolazi se do izraza koji daje vezu između napona na početku električne zaštite kablova, odnosno napon na uzemljivaču  $k$ -te TS SN/NN gledano od napojnog kraja kabla, i napona na kraju električne zaštite. Iz ovih izraza određuje se moduo koeficijenta iznetog potencijala prema:

$$K_i(k) = \frac{|U_k|}{|U_0|} = \left| \frac{\operatorname{ch}((n-k)\gamma_c) + \frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_c} \operatorname{sh}((n-k)\gamma_c)}{\operatorname{ch}(n\gamma_c) + \frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_c} \operatorname{sh}(n\gamma_c)} \right|, \quad k = 1, 2, 6, n. \quad (24)$$

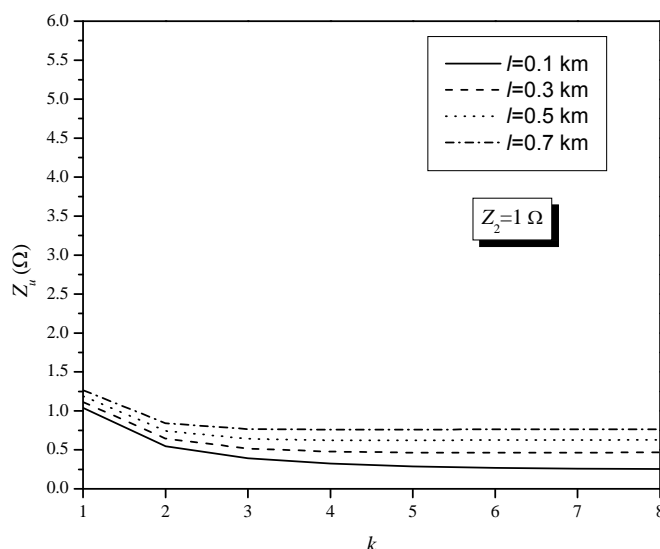
Napred izloženim postupkom analizirano je iznošenje potencijala trofaznim vodom napona 10 kV formiranim od tri jednožilna kabla XHE 49 preseka provodnika  $120 \text{ mm}^2$  i električne zaštite kabla poprečnog preseka  $16 \text{ mm}^2$ . Kablovi su postavljeni u snopu u tlu specifične električne otpornosti  $\rho = 50 \text{ } \Omega\text{m}$ , pa je vrednost podužne impedanse  $\underline{z}_1 = 0.38 + j0.65 \text{ } \Omega/\text{km}$ .



Sl. 6 Zavisnost modula koeficijenta iznesenog potencijala pri  $B = 0.5 \text{ km}$  i  $\underline{Z}_2 = 1 \text{ } \Omega$

Na slici 6 prikazana je zavisnost modula koeficijenta iznetog potencijala kada prosečno rastojanje između susednih TS SN/NN iznosi  $B = 0.5 \text{ km}$ , dok impedansa uzemljivača TS SN/NN  $\underline{Z}_2$  ima vrednost  $1 \text{ } \Omega$ . Sa slike se može konstatovati da je potencijal na uzemljivaču  $k$ -te TS SN/NN utoliko niži ukoliko je veći broj TS SN/NN koje vod napaja. Jasno je da je najviša vrednost iznetog potencijala na uzemljivaču TS SN/NN koja je najbliža napojnoj TS VN/SN.

Na slici 7 prikazana je zavisnost modula impedanse uzemljenja kabla  $\underline{Z}_u$ . Sa sl. 7 se vidi da vrednost impedanse  $\underline{Z}_u$  dosiže ustaljenu (graničnu) vrednost već kada se imaju dve ili tri TS SN/NN na vodu.



Sl.7 Zavisnost modula ulazne impedanse pri  $\underline{Z}_2 = 1 \Omega$

## ZAKLJUČAK

Kablovi sa neizolovanim metalnim omotačem (tipa NPO 13) imaju dobra uzemljivačka svojstva. Vrednost iznetog potencijala kod ovih kablova naglo opada sa povećanjem dužine kablova. Pored rastojanja između TS VN/SN i TS SN/NN vrednost iznetog potencijala u izvesnoj meri zavisi i od otpornosti uzemljenja TS SN/NN. Ukoliko je ova otpornost manja, niža je i vrednost iznetog potencijala. Vrednost impedanse uzemljenja zavisi od dužine kabla i otpornosti TS SN/NN.

U slučaju kablovskog voda formiranog od tri jednožilna kabla (tipa XHE 49) vrednost iznetog potencijala najveća je na uzemljivaču TS SN/NN koja je najbliža napojnoj TS VN/SN. Sa aspekta iznetog potencijala najnepovoljniji slučaj je kada je to i jedina TS SN/NN koju napaja kablovski vod. Povećanjem broja TS SN/NN koje vod napaja dolazi do značajnog sniženja vrednosti iznetog potencijala na uzemljivaču prve TS SN/NN. Vrednost iznetog potencijala zavisi kako od broja TS SN/NN koje kablovski vod napaja tako i od modula količnika impedansi  $\underline{Z}_1$  i  $\underline{Z}_2$ . Ukoliko je vrednost  $|\underline{Z}_1 / \underline{Z}_2|$  veća utoliko je niža vrednost iznetog potencijala. Ustaljena vrednost impedanse uzemljenja kabla  $Z_u$  dostiže se sa manjim brojem TS SN/NN na vodu ukoliko je vrednost  $|\underline{Z}_1 / \underline{Z}_2|$  veća.

## LITERATURA

- [1] J. Nahman: *Uzemljenje neutralne tačke distributivnih mreža*, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [2] V. Balkovoj, M. Tanasković: "Proračun uzemljivačkih efekata kablova sa izolovanim metalnim plaštevima primenom elementarne teorije četvoropola", *Elektrodistribucija*, br. 1-2, 1999.
- [3] D. Tasić, M. Stojanović: "Transferred Potential From Substation HV/MV by Three-Phase Line Composed of Three Single-Core Cables", *Regional Conference on Electricity Distribution*, R-1.2, Zlatibor, October 2006.
- [4] D. Tasić: *Osnovi elektroenergetske kablovske tehnike*, Elektronski fakultet, Niš, 2001.
- [5] \*\*\*: *Prenos i distribucija električne energije – priručnik*, Građevinska knjiga, Beograd, 1964.
- [6] S. Milojković: *Teorija električnih kola*, Svjetlost, Sarajevo, 1987.
- [7] \*\*\*: *Tehnička preporuka br.7*, ED Srbije, jun 1996.
- [8] J. Nahman, V. Mijailović: *Razvodna postrojenja*, Akademska misao, Beograd, 2005. godine.
- [9] M. Tanasković, T. Bojković, D. Perić: *Distribucija električne energije*, Akademska misao, Beograd, 2007. godine.