

NAPONSKE PRILIKE UZDUŽ SAMONOSIVOG OPTIČKOG KABELA OVJEŠENOG NA STUPOVE VISOKONAPONSKOG VODA

Prof. dr. sc. M a t i s l a v M a j s t r o v i ć, Zagreb – P e t a r S a r a j č e v, Kaštel Sućurac

UDK 621.515.5:621.3.05
PREGLEDNI ČLANAK

U novije vrijeme došlo je do demonopolizacije u elektroenergetskom i telekomunikacijskom sektoru, što je dodatno otežalo dobivanje novih ili proširenje postojećih koridora. Zbog toga se sve češće optički kabeli postavljaju na stupove visokonaponskih vodova. Ovi kabeli se nalaze u jakom električnom polju, pa svako onečišćenje njihovog plašta može dovesti do oštećenja istih. U članku se analiziraju naponske i strujne prilike uzduž onečišćenog plašta samonosivog optičkog kabela bez metalnih dijelova, koji je ovješena na čeličnorešetkaste stupove visokonaponskog voda.

Ključne riječi: dalekovod, optički kabel, napon, suha zona, preskok.

1. UVOD

Zamjenom klasičnih telekomunikacijskih vodova (vodovi s metalnim vodičima (paricama)) s optičkim (bez metalnih dijelova) izostaje poznati elektromagnetski utjecaj elektroenergetskih vodova na vodove telekomunikacija. Zbog toga se danas oni često postavljaju relativno blizu visokonaponskih vodova. U nekim zemljama može ih se naći i na stupovima dalekovoda. Očekuje se da će u budućnosti ovakav način polaganja naći sve veću primjenu zbog ograničenosti prostora i sve težeg dobivanja pripadnih koridora. Zbog toga će se postojeći koridori koristiti maksimalno kako u energetskom, tako i telekomunikacijskom pogledu, tj. da se jedan koridor koristi za obje namjene. Današnja tehnološka dostignuća omogućavaju izradu optičkih kabela bez metalnih dijelova (engl.: all-dielectric self-supporting – ADSS) kojima se, ovisno o dodatnom teretu, mogu savladati rasponi od 800 do 1000 m. Posebna pozornost treba biti posvećena pri postavljanju ovih kabela na stupove visokonaponskih dalekovoda, naročito u sredinama u kojima se javljaju prirodna i/ili umjetna onečišćenja [2, 3, 4]. Onečišćenje plašta optičkog kabela nastaje taloženjem čestica nečistoće na njegovoj površini, te se pritom formira jedna tanka naslaga. Ovisno o njevoj strukturi i vremenskim uvjetima (vlažnosti zraka) ona postaje manje ili više vodljiva. Pri povećanoj vodljivosti ona postaje vodič drugog reda (ima svojstva elektrolita). S obzirom da se nalazi u električnom polju visokonaponskog voda, njome će teći uzdužna struja. Ova struja će biti veća što je veća vodljivost naslage i uzrokovat će toplinske gubitke. Zbog toga će doći do njenog zagrijavanja, a potom i sušenja. Sušenje je diskontinuirano, što dovodi

do toga da se uzduž plašta optičkog kabela javljaju suhe zone, a na njima razlike potencijala. Ove razlike potencijala mogu biti takvog iznosa da uzrokuju preskoke preko pripadnih suhih zona. Ovisno o lokalnim uvjetima, spomenuti se parcijalni preskoci mogu spontano ugasiti ili mogu prerasti u veći električni luk. U ovom radu će se analizirati elektrostatski utjecaj faznih vodiča visokonaponskog dalekovoda na optički kabel kojem je onečišćen plašt. Fazni vodiči, dozemna užad i optički kabel su ovješeni na istim stupovima. Prezentirat će se razvijeni matematički model koji omogućava proračun naponskih prilika uzduž onečišćenog plašta optičkog kabela. Na temelju ovog proračuna mogu se odrediti naponska naprezanja suhih zona, te tokovi struja i radni gubici snage (toplinski gubici) uzduž plašta optičkog kabela.

2. MATEMATIČKI MODEL

Potencijal na onečišćenom plaštu optičkog kabela javlja se zbog kapacitivne sprege između faznih vodiča i optičkog kabela. Ovi kapaciteti se određuju pomoću pripadne matrice potencijalnih koeficijenata P . Dimenzija ove kvadratne matrice jednaka je ukupnom broju vodiča koji utječu na električno polje u prostoru dalekovoda (fazni vodiči, dozemna užad i ADSS optički kabel s onečišćenim plaštem). Pretpostavi li se da dalekovod ima dva dozemna užeta (slika 1) slijedi da su elementi ove matrice po jedinici duljine [5]:

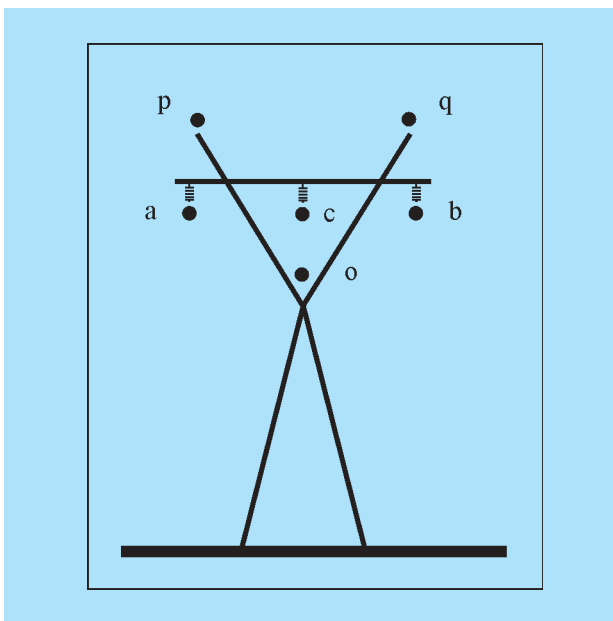
– dijagonalni elementi

$$P_{ii} = 18 \cdot 10^9 \cdot \ln \frac{2h_i}{r_i} \cdot \frac{V_m}{A_s} \quad (1)$$

i = a, b, c, o, p, q

gdje je:

- h_i – visina i-tog vodiča nad zemljom,
- r_i – radius i-tog vodiča
- a, b, c – fazni vodiči,
- p, q – dozemna užad,
- o – ADSS optički kabel s onečišćenim plaštom,



Slika 1. Dalekovod s dva dozemna užeta i onečišćenim optičkim kabelom

– izvandijagonalni elementi

$$P_{ik} = 18 \cdot 10^9 \ln \frac{D_{ik}}{d_{ik}} \frac{Vm}{As} \quad (2)$$

i a, b, c, o, p, q
 k a, b, c, o, p, q,
 i k

gdje je:

- d_{ik} – udaljenost između i-tog i k-tog vodiča,
- D_{ik} – udaljenost između i-tog vodiča i zrcalne slike k-tog vodiča.

Slijedi da su naponi vodiča:

$$V^{abcopq} = P^{abcopq} \cdot \lambda^{abcopq} \quad (3)$$

gdje je:

- P^{abcopq} – matrica potencijalnih koeficijenata vodiča,
- λ^{abcopq} – stupčana matrica linijskih gustoća naboja vodiča.

Budući da su dozemna užad uzemljena na svakom stupu (njihovi naponi su jednaki nuli ($V^{pq} = 0$ (V))) slijedi da je:

$$\begin{matrix} V^{abco} & P_I & P_{II} & & abc \\ 0 & P_{III} & P_{IV} & & pq \end{matrix} \cdot \quad (4)$$

Transformacijom ove matricne jednadžbe dobiva se:

$$V^{abco} = P^{abco} \cdot \lambda^{abco} \quad (5)$$

gdje je:

$$P^{abco} = P_I - P_{II} \cdot P_{IV}^{-1} \cdot P_{III} \quad (6)$$

Matrica kapacitivnih koeficijenata po jedinici duljine voda je:

$$K^{abco} = (P^{abco})^{-1} \quad (7)$$

Budući da je poznata matrica kapacitivnih koeficijenata slijedi da su:

– međusobni kapaciteti po jedinici duljine voda:

$$C_{ij} = -K_{ij} \quad (8)$$

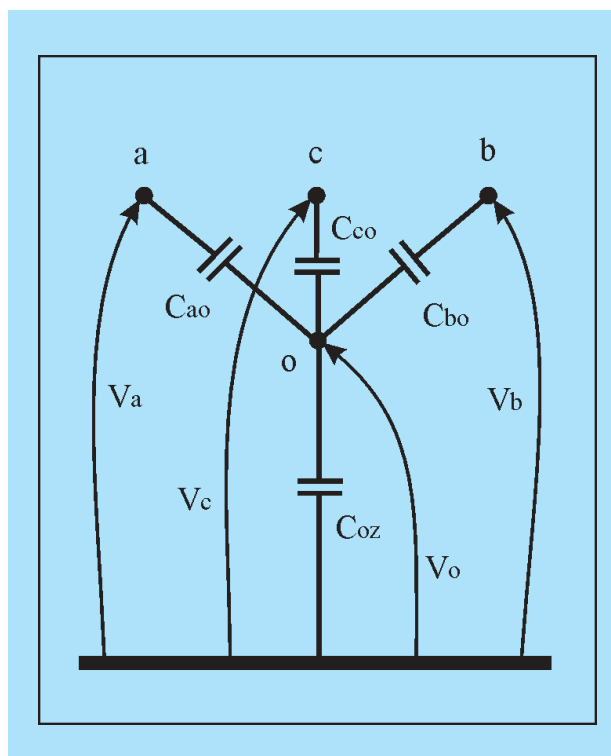
i a, b, c, o.
 j a, b, c, o.
 $i \neq j$

– dozemni kapaciteti po jedinici duljine voda:

$$C_{iz} = \sum_{j=a}^o K_{ij} \quad (9)$$

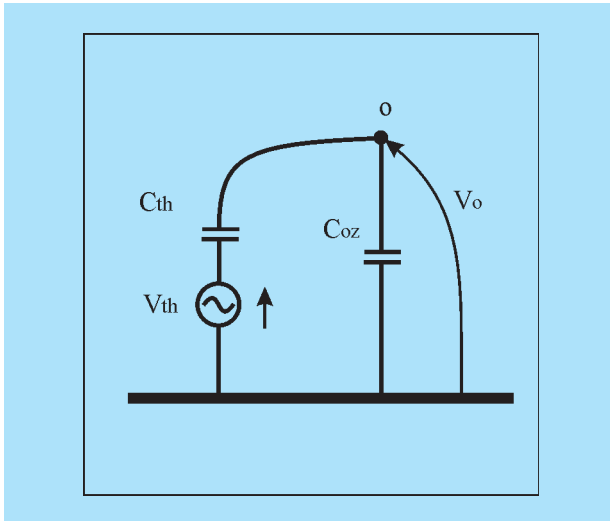
i a, b, c, o.

Utjecaj faznih vodiča (a, b i c) na optički kabel s onečišćenim plaštem prikazan je na slici 2.



Slika 2. Kapacitivna veza faznih vodiča i optičkog kabela s onečišćenim plaštem

U skladu s Millman-ovim teoremom utjecaj faznih vodiča može se prikazati pomoću Thevenin-ovog ekvivalenta (slika 3).



Slika 3. Kapacitivna veza optičkog kabela s onečišćenim plaštem i Thevenin-ovog ekvivalentna faznih vodiča

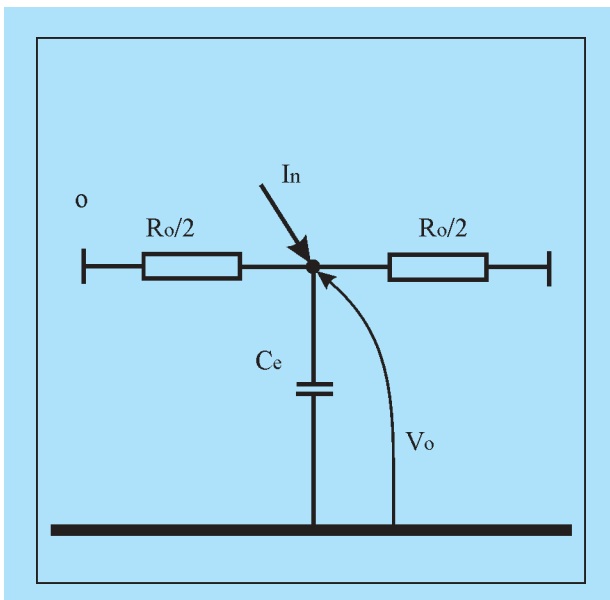
Pri tom je:

$$V_{th} \frac{V_a C_{ao} + V_b C_{bo} + V_c C_{co}}{C_{ao} + C_{bo} + C_{co}} \quad (10)$$

Odnosno:

$$C_{th} = C_{ao} + C_{bo} + C_{co} \quad (11)$$

Nadomjesna shema dionice optičkog kabela jedinične duljine prikazana je na slici 4. Pri tom je Thevenin-ov ekvivalent prikazan pomoću Norton-ovog ekvivalenta.



Slika 4. Nadomjesna shema jedinične duljine optičkog kabela s onečišćenim plaštem

Nepoznate veličine na slici određuju se pomoću sljedećih izraza:

$$I_n = j2 \pi f C_{th} V_{th} \quad (12)$$

i

$$C_e = C_{th} + C_{oz} \quad (13)$$

R_o je uzdužni radni otpor onečišćenog plašta optičkog kabela po jedinici duljine (Ω/m).

Da bismo dobili što vjerniju sliku o naponskom i strujnom stanju na onečišćenom plaštu optičkog kabela duž jednog raspona istog treba podijeliti na n dionica. Na plaštu optičkog kabela može postojati jedna ili više suhih zona. Na tim mjestima dolazi do porasta uzdužnog otpora (teoretski do beskonačne vrijednosti). Na slici 5 prikazana je nadomjesna shema optičkog kabela s onečišćenim plaštem duž jednog raspona s jednom suhom zonom. Pri tom je:

$$R'_o = R_o \ell_d \quad (14)$$

$$C'_e = C_e \ell_d \quad (15)$$

$$I'_n = I_n \ell_d \quad (16)$$

gdje je:

ℓ_d – duljina dionice, (m),

R_{zl} – otpor između onečišćenog plašta optičkog kabela i referentne osi na lijevoj strani raspona, (Ω),

R_{z2} – otpor između onečišćenog plašta optičkog kabela i referentne osi na desnoj strani raspona, (Ω).

Raspodjela napona duž optičkog kabela određuje se sljedećom matricnom jednačbom:

$$V_c = Y_c^{-1} I_c \quad (17)$$

gdje je:

V_c – vektor napona čvorova, (V),

Y_c – matrica vlastitih i međusobnih admitancija čvorova, (S),

I_c – vektor struja čvorova, (A).

Ako je dobivena vrijednost napona na suhoj zoni veća od vrijednosti koja odgovara probojnoj čvrstoći zraka, doći će do njegovog proboja, odnosno do preskoka.

Raspodjela struja koje teku onečišćenim plaštem optičkog kabela može se lako odrediti. Za element $s - t$ (slika 5) struja je:

$$I_{s-t} = 2 \frac{V_s - V_t}{R_o} \quad (18)$$

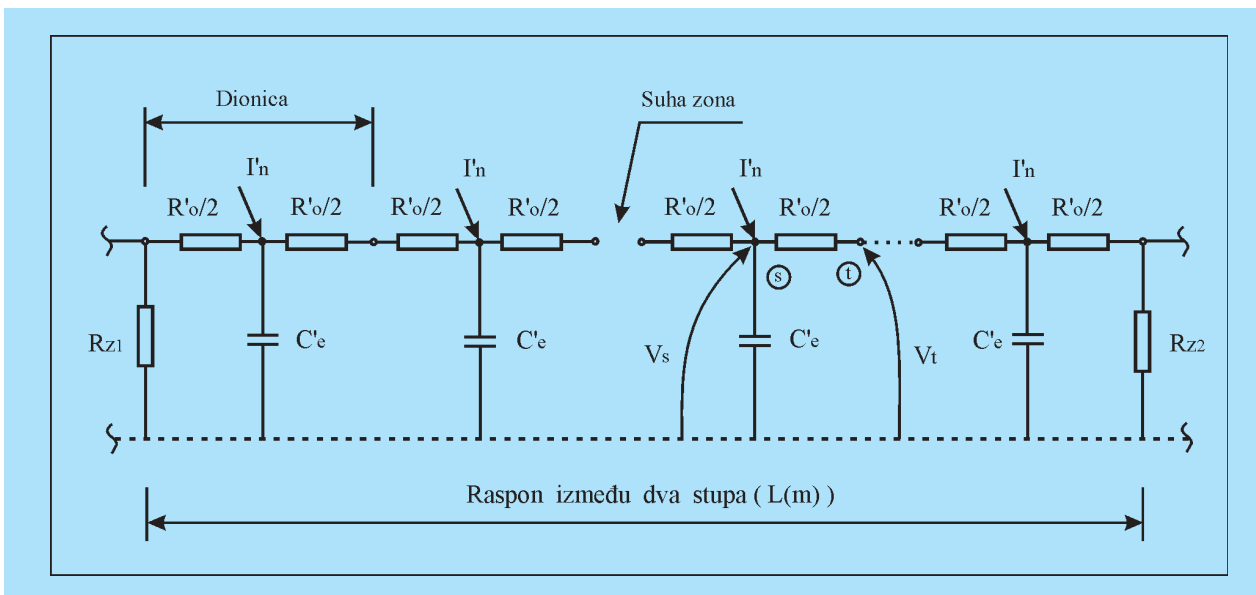
gdje su V_s i V_t naponi čvorova s i t između kojih se nalazi otpor $R_o/2$.

Gubitak radne snage na ovom elementu je:

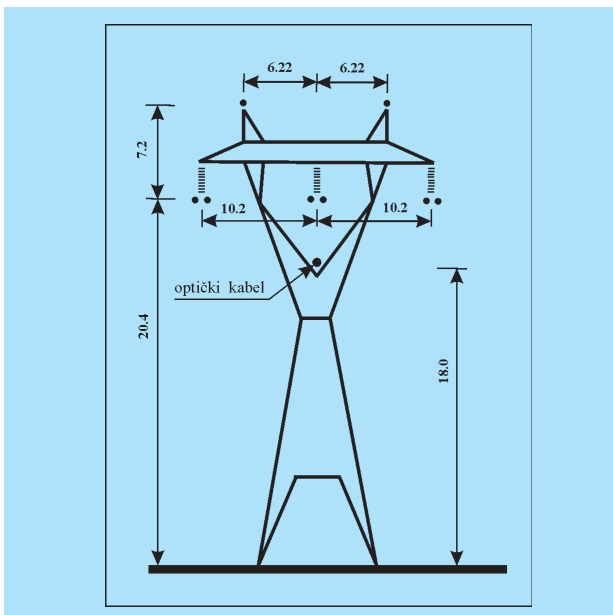
$$P_{s-t} = |I_{s-t}|^2 \frac{R_o}{2} \quad (19)$$

3. PRIMJER

Izložena teorija primijenit će se na jednom konkretnom primjeru. Odabran je ADSS optički kabel tvrtke Alcatel tipa R-LT-144-A2J-SX. Isti je postavljen na čelično rešetkasti stup oblika "Y" 400 kV dalekovoda (slika 6).



Slika 5. Nadomjesna shema jednog raspona



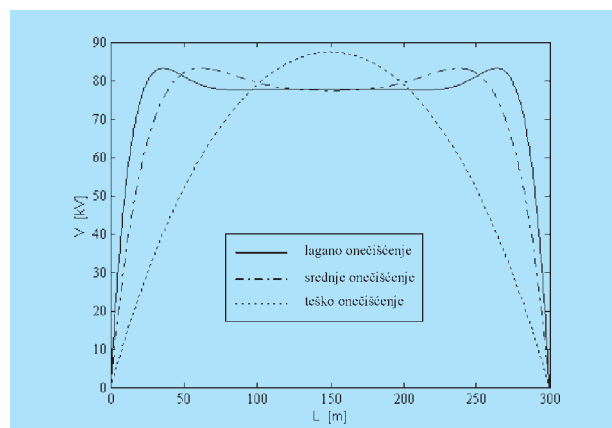
Slika 6. Stup DV 400 kV s ADSS optickim kablom

Fazni naponi vodiča su:

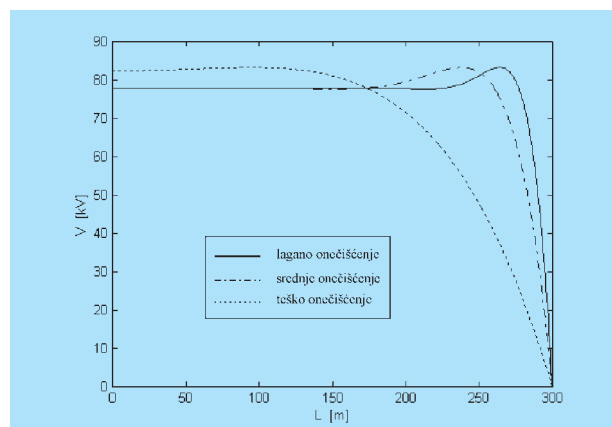
$$\begin{matrix} V_a & 242 & 0 & (\text{kV}) \\ V_b & 242 & 240 & (\text{kV}) \\ V_c & 242 & 120 & (\text{kV}). \end{matrix} \quad (20)$$

Analizirane su naponske prilike kod tri razine onečiscenja plašta optickog kabela (lagano (3 (MΩ/m)), srednje (1 (MΩ/m)) i teško (0.1 (MΩ/m))). Pritom su razmatrana tri slucaja: onečiscenje je kontinuirano - bez suhe zone (slika 7) i suha zona je na početku raspona (slika 8) i suha zona je na prvoj trećini raspona (slika 9). Budući da je ukupni radni otpor prema referentnoj osi zanemarivo malen u usporedbi s uzdužnim, u ovom primjeru se uzima da je: $R_{Z1} = 0(\Omega)$

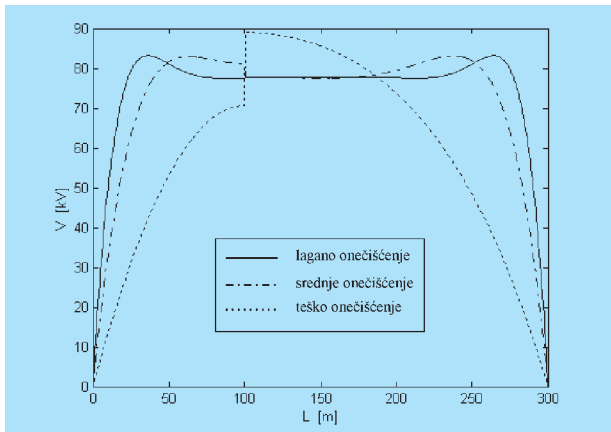
i $R_{Z2} = 0(\Omega)$. U skladu s tim analiza naponskih prilika uzduz ukupne duzine voda se svodi na analizu naponskih prilika u jednom rasponu.



Slika 7. Raspodjela napona duž onečiscenog plašta optickog kabela – bez suhe zone



Slika 8. Raspodjela napona duž onečiscenog plašta optickog kabela – suha zona je na početku raspona



Slika 9. Raspodjela napona duž onečišćenog plašta optičkog kabela – suha zona je na prvoj trećini raspona

Analizirajući prethodne grafove uočava se da je u ovom primjeru najveći porast napona na krajevima raspona, te na mjestima suhih zona.

4. ZAKLJUČAK

Razvijeni matematički model omogućava proračun naponskih prilika uzduž onečišćenog plašta samonosivog optičkog kabela bez metalnih dijelova koji je ovješten na stupove viskonaponskog voda. Analiza naponskih prilika u funkciji intenziteta zagađenja, te o mjestu nastanka i veličini suhih zona je relativno jednostavna. Na temelju ovih analiza može se zaključiti o vjerojatnostima pojava parcijalnih preskoka.

LITERATURA

- [1] IEC T. C. 33: Guide for the section of insulators in respect of polluted condition, Geneve, 1983.
- [2] G. KARADY, S. DEVARAJAN, M. TUOMINEN: "Novel Technique to Predict Dry-Band Arcing Failure of Fiber-Optic Cables Installed on High Voltage Lines", IEEE Power Tech '99 Conference, Budapest, 1999.
- [3] G. KARADY, G. BESZTERCEY, M. W. TUOMINEN: "Corona Caused Deterioration of ADSS Fiber-optic Cables on High Voltage Lines", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No.4, October 1999.
- [4] W. DEWITT, S. NEOGI, B. G. RISCH, P. COAT, D. AMMONS, G. KARADY and J. MADRID: "High Voltage ADSS Reliability Modeling: Environmental and Climatological Effects on Advanced Jacket Material Selection", Proceedings of the 49th IEEE International Wire and Cable Symposium.

[5] M. OŽEGOVIĆ, K. OŽEGOVIĆ: "Električne energetske mreže I", Sveučilište u Splitu, ISBN: 953-6114-09-7, Split, 1996.

[6] M. OŽEGOVIĆ, K. OŽEGOVIĆ: "Električne energetske mreže II", Sveučilište u Splitu, ISBN: 953-6114-11-9, Split, 1997.

VOLTAGE CIRCUMSTANCES ACROSS SELF-CARRYING OPTICAL CABLE SUPPORTED ON HIGH-VOLTAGE LINE TOWER

Recent demonopolisation of electric power and telecommunication systems has lead to additional problems when obtaining new or widening old corridors. Therefore there is a constant increase in putting optical cables on high-voltage line towers. These cables are situated within strong electrical fields and any pollution of their sheath could lead to their damage. The paper analyses voltage and current circumstances across polluted sheath of self-carrying optical cable supported by steel towers of high-voltage lines without metallic parts.

SPANNUNGSVERHÄLTNISSE LÄNGS EINES SELBSTTRAGENDEN, AN DEN MASTEN EINER HOCHSPANNUNGSLEITUNG AUFGEHANGTEN OPTISCHEN KABELS

Neuerliche Monopolauflösung im Bereich des Stromversorgungs- und des Fernmeldewesens, hat zusätzlich die Erhaltung neuer und die Erweiterung bestehender Korridore erschwert. Deshalb werden immer häufiger optische Kabel auf Hochspannungsmaste aufgehängt. Diese Kabel befinden sich im starken elektrischen Feld und jede Verunreinigung kann Beschädigungen der Mäntel solcher Kabel verursachen. Im Artikel werden Strom- und Spannungsverhältnisse längs verunreinigter Mäntel selbsttragender, an Stahlgittermäste der Hochspannungsleitung aufgehängter optischer Kabel besprochen.

Naslov pisaca:

Prof. dr. sc. Matislav Majstrovic, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska
Petar Sarajcev, dipl. ing.
Kaštelanska cesta 105
21212 Kaštel Sućurac, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 2002 – 01 – 02.