

PRIOLOG KARAKTERIZACIJI NEPERTURBOVANOG ELEKTRIČNOG
POLJA U OKOLINI TROFAZNOG DALEKOVODA

Ivana Zamurović, Neda Pekarić-Nadj
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Sadržaj - U radu je izračunato neperturbovano električno polje u blizini beskonačnog simetričnog trofaznog dalekovoda. Matematički model omogućava rad sa konačnom permitivnošću tla. Pokazano je da je polje ispod dalekovoda u određenoj zoni eliptički polarizovano, dok van te zone polarizacija degradira u linijsku. Razvijen je računarski program koji grafički prikazuje intenzitete pojedinih komponenti i ukupan intenzitet vektora električnog polja, kao i polarizacione elipse u pojedinim tačkama u prostoru oko provodnika.

1. UVOD

Tokom poslednjih godina izuzetno je poraslo interesovanje o mogućim štetnim uticajima dalekovoda na ljude. Prema preporukama CENELEC-a [1], znatno veću pažnju je potrebno posvetiti magnetskom polju, zato što je za njega ljudski organizam transparentan. Ipak, i električno polje u blizini simetričnog trofaznog dalekovoda potrebno je što preciznije okarakterisati. Neperturbovano električno polje trofaznog dalekovoda u prostoru između provodnika i tla ima eliptičku polarizaciju. Udaljavanjem od provodnika eliptička polarizacija degradira u linijsku (Prema standardu ANSI/IEEE [2] prelaz nastaje kada mala poluosa elipse iznosi manje od 10% velike poluose.) Ovaj rad predstavlja pokušaj da se grafički predstavi ovo složeno električno polje, uz mogućnost da se u svakoj tački od interesa ispita i oblik polarizacione elipse.

2. MATEMATIČKI MODEL

Posmatrajmo dalekovod u vidu tri beskonačna ravna provodnika na istoj visini h iznad tla i na

medjusobnom rastojanju d . Provodnici dalekovoda priključeni su na medjufazne napone istih amplituda, ali im se početna faza razlikuje za po $2\pi/3$. Podužna naelektrisanja pojedinih provodnika dalekovoda tako iznose

$$\begin{aligned} Q'_1 &= Q' \cos \omega t, \\ Q'_2 &= Q' \cos (\omega t - 2\pi/3), \\ Q'_3 &= Q' \cos (\omega t - 4\pi/3). \end{aligned}$$

Prema teoremi likova, uticaj zemlje na električno polje dalekovoda se može uzeti u obzir preko likova smeštenih simetrično prema originalima u odnosu na ravan koja razdvaja zemlju i vazduh. Nakon uvođenja likova čitav sistem posmatramo u homogenoj sredini-vazduhu. Podužna naelektrisanja likova zavise od karakteristika zemljišta i mogu se izraziti kao

$$\begin{aligned} Q''_1 &= -Q'_1 = -Q'K \cos \omega t, \\ Q''_2 &= -Q'_2 = -Q'K \cos (\omega t - 2\pi/3), \\ Q''_3 &= -Q'_3 = -Q'K \cos (\omega t - 4\pi/3). \end{aligned}$$

Ako zemlju smatramo savršenim provodnikom $K=1$. Kada se uzme u obzir konačna permitivnost zemlje, u izrazima za naelektrisanja likova figuriše koeficijent

$$K = (\epsilon - \epsilon_0) / (\epsilon + \epsilon_0). \tag{1}$$

Intenzitet vektora električnog polja jednog od provodnika ovakvog sistema izračunava se na osnovu izraza za intenzitet vektora električnog polja u okolini beskonačno dugog usamljenog provodnika naelektrisanog podužnim naelektrisanjem Q' kao

$$E(r) = \frac{Q'}{2\pi\epsilon_0 r^2}, \tag{2}$$

gde je r rastojanje, u ravni upravnoj na provodnike, posmatrane tačke od ose provodnika (Videti npr. [3]). Primenom ovog izraza na sva tri provodnika-originala i na tri provodnika-lika dobijaju se intenziteti odgovarajućih vektora. Usvajimo koordinatni sistem u kome posmatramo provodnike tako da se x osa poklapa sa centralnim provodnikom dalekovoda. Pojedinačni vektori i ukupan vektor električnog polja imaju samo dve komponente y -paralelnu sa zemljom i z -upravnu na površinu zemlje. Intenziteti y i z komponenti mogu se napisati u obliku

$$\begin{aligned} E_Y &= E_{Ymax} \cos(\omega t + \gamma_Y), \\ E_Z &= E_{Zmax} \cos(\omega t + \gamma_Z). \end{aligned}$$

U literaturi [3] je dokazano da vrh ovakvog vektora u vremenu opisuje elipsu, što znači da je električno polje u blizini dalekovoda eliptički polarizovano.

Intenzitet ukupnog vektora električnog polja izračunava se kao

$$E = \sqrt{E_Y^2 + E_Z^2}. \quad (3)$$

Podužno naelektrisanje provodnika nije poznat ulazni parametar. Ulazni parametri su, osim karakteristika tla i geometrijskih karakteristika dalekovoda, samo nominalni međufazni naponi. Zato je potrebno naći vezu između podužnog naelektrisanja provodnika i napona između dva provodnika dalekovoda.

Primenićemo postupak sličan postupku opisanom u literaturi [4]. Posmatrajmo homogenu sredinu dielektrične konstante ϵ_1 u kojoj postoje proizvoljno raspoređena nepokretna opterećenja u delu prostora $z > 0$. U delu prostora $z < 0$ nema opterećenja. Poznata je funkcija potencijala, $V(x, y, z)$ ovako raspoređenih opterećenja. Ako se deo prostora $z < 0$ ispuni drugim homogenim dielektrikom dielektrične konstante ϵ_2 , nova funkcija potencijala ima oblik

$$V_1(x, y, z) = V(x, y, z) - K V(x, y, -z), \text{ za } z > 0, \quad (4)$$

gde je konstanta K navedena ranije (1).

Izraz (4) važi za koordinatni sistem postavljen tako da se ravan $z=0$ poklapa sa razdvojnomo površi dveju sredina. Funkcija $V(x, y, z)$ predstavlja funkciju potencijala koju bi stvarala

opterećenja kada bi ceo prostor bio ispunjen dielektrikom dielektrične konstante ϵ_1 .

Provodnik naelektrisan podužnim naelektrisanjem Q' nalazi se u vazduhu na visini h iznad ravne površine dielektrika dielektrične konstante ϵ . Funkcija raspodele naelektrisanja koju stvara provodnik kada je ceo prostor ispunjen vazduhom je

$$V = \frac{Q'}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{h}{r_1}, \quad (5)$$

gde je r_1 rastojanje posmatrane tačke od ose provodnika. Uticaj sredine sa dielektričnom konstantom ϵ na raspodelu potencijala u vazduhu je, prema izrazu (4), ekvivalentan uticaju K puta većeg opterećenja, smeštenog simetrično stvarnom opterećenju u odnosu na razdvojni ravan dve sredine. Ukupan potencijal u vazduhu je, dakle,

$$\begin{aligned} V_1(x, y, z) &= V(x, y, z) - K V(x, y, -z) = \\ &= \frac{Q'}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{h}{r_1} - \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + \epsilon_0} \frac{Q'}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{h}{r_2}, \end{aligned} \quad (6)$$

gde je r_2 rastojanje posmatrane tačke od ose lika. Za izabrano $\omega t = \pi/2$, kada je naelektrisanje prvog provodnika jednako nuli, $Q'_1=0$, vrednosti podužnih naelektrisanja drugog i trećeg provodnika su $Q'_2=Q'\sqrt{3}/2$ i $Q'_3=-Q'\sqrt{3}/2$. Korišćenjem izraza (6) određuje se potencijal drugog i trećeg provodnika, a zatim formira razlika tih potencijala, koja je jednaka amplitudi međufaznog napona.

3. REZULTATI

U ovom poglavlju biće predstavljene neki od rezultata koji se dobijaju uz pomoć razvijenog programa.

Na slici 1 je prikazan niz dijagrama za 420 kV dalekovod, čiji su provodnici na međusobnom rastojanju 7,4 m i na visini 11 m. Posmatrane su tačke 1,5 m iznad tla. Intenzitet vektora električnog polja je prikazan punom linijom. Kako on zavisi od trenutka posmatranja, odabran je trenutak $\omega t=0$. Debelim isprekidanim linijama je prikazana vrednost velike (krupnije) i male (sitnije) poluose. Takođe su predstavljeni i intenziteti pojedinih komponenti, E_y i E_z .

Na slici 2 je prikazan intenzitet vektora električnog polja u trenutku $\omega t = \pi/3$, u okolini 220 kV dalekovoda. Rastojanje između provodnika je 6 m, a visina 18 m iznad tla. Osenčene površine predstavljaju ujedno i zonu eliptičke polarizacije, dok je van te zone polarizacija linijska.

Na slici 3 su prikazane polarizacione elipse u izabranim tačkama u blizini dalekovoda čiji su parametri dati uz opis slike 2. Položaji odabranih tačaka se poklapaju sa centrima elipse.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu određen je vektor jačine električnog polja u okolini simetričnog trofaznog dalekovoda i uz pomoć odgovarajućeg matematičkog modela izračunat njegov intenzitet. Pokazano je da se ovaj vektor razlaže na dve ortogonalne komponente čiji intenziteti imaju različite amplitude i različite faze. Ovakvo polje je eliptički polarizovano. Računarskim programom je realizovan grafički prikaz vektora jačine električnog polja u okolini trofaznog dalekovoda. Dobijeni rezultati se dobro slažu sa rezultatima drugih autora [6].

Napomenimo na kraju da se električno polje perturbuje unošenjem bilo kakvih objekata. Pri tome se gubi i eliptička polarizacija polja.

5. LITERATURA

[1] CENELEC 111A, Zaključci sa koordinacio-

nog sastanka ACEC/ACOS, Ženeva, maj 1993.

[2] ANSI/IEEE Std 644-1987

[3] B. Popović: "Elektromagnetika", Građevinska knjiga, Beograd 1986.

[4] B. Popović: "Zbornik problema iz elektromagnetike", Građevinska knjiga, Beograd 1977.

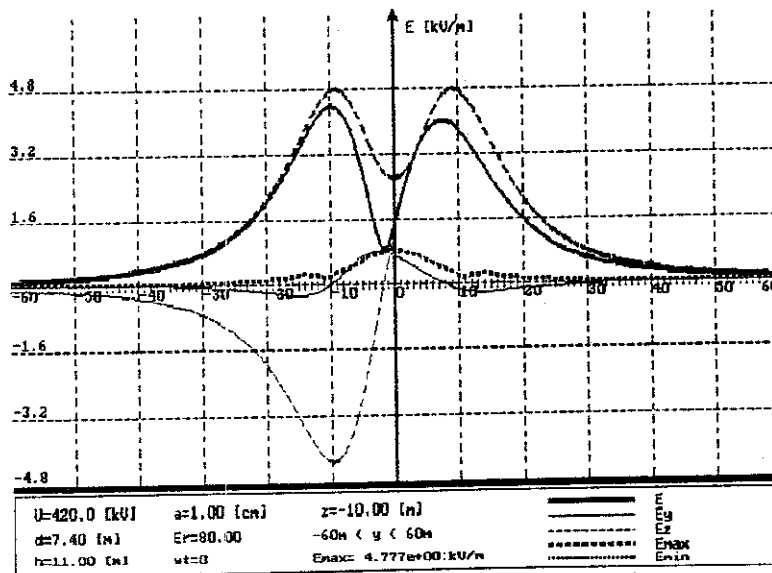
[5] Ivana Zamurović: "Vektor jačine električnog polja u okolini trofaznog dalekovoda", Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad 1994.

[6] D.Armanini, R.Konti, A.Mantini, P.Nicolini: "ENEL's experience in area of power-frequency electromagnetic field measuring techniques: problems related to design, calibration and use of measuring devices", *Alta frequenza*, No. 4 vol.LVIII, 1989., p.p. 403-410

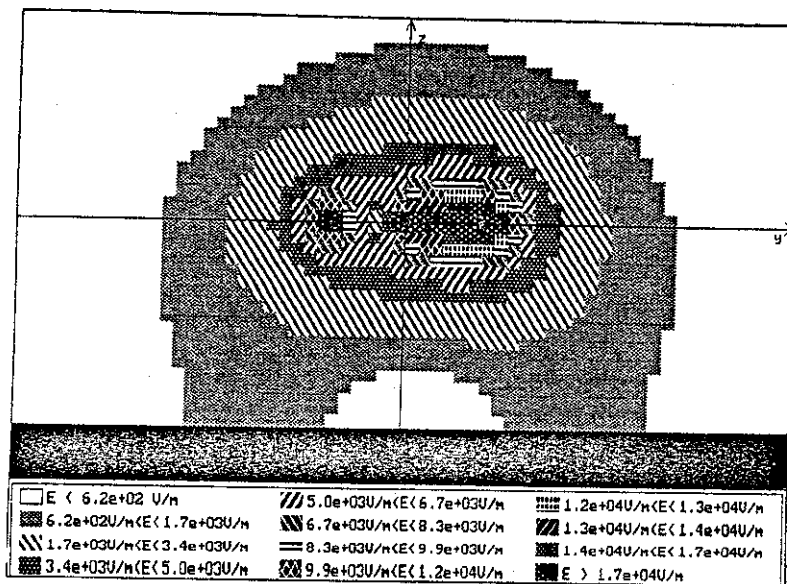
Abstract - The aim of this work was to enable better understanding of the character of the unperturbed electric field in the vicinity of the power lines. The field was shown to be elliptically polarized in a certain zone. The developed computer program is capable of graphical representation of the polarization ellipses in any point of interest.

GRAPHICAL CHARACTERIZATION OF THE ELECTRIC FIELD IN THE VICINITY OF POWER LINES

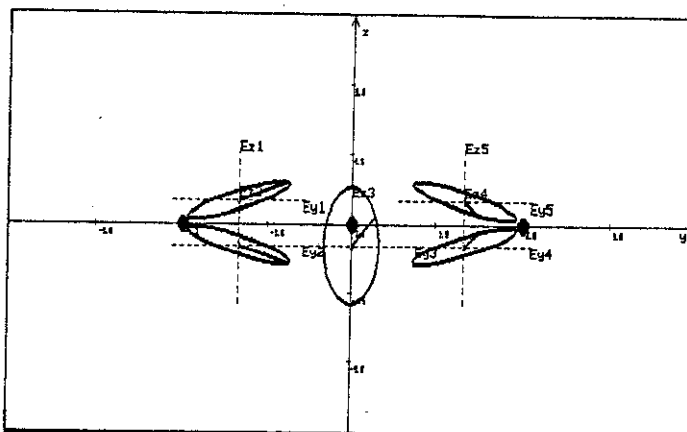
Ivana Zamurović, Neda Pekarić-Nadj



Slika 1. Dijagrami za 420 kV daleko vod, čiji su provodnici na rastojanju 7,4 m i na visini 11 m. Posmatraju se tačke 1,5 m iznad vodene površine ($\epsilon_r=80$), trenutak $\omega t=0$.



Slika 2. Intenzitet vektora električnog polja u trenutku $\omega t = \pi/3$, u okolini 220 kV dalekovoda. Rastojanje između provodnika je 6 m, a visina 18 m iznad vode ($\epsilon_r = 80$). Osnovne površine predstavljaju ujedno i zonu eliptičke polarizacije, dok je vani to zone polarizacija linijska.



Slika 3. Polarizacione elipse u izabranim tačkama u blizini 220 kV dalekovoda. Rastojanje između provodnika je 6 m, a visina 18 m iznad vode ($\epsilon_r = 80$). Položaji odabranih tačaka se poklapaju sa centrima elipsi.