ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1983
Seria: ELEKTRYKA z. 86 Nr kol. 758

Jan ULMAN

KOMPUTEROWA ANALIZA POLA ELEKTRYCZNEGO TROJFAZOWYCH LINII PRZESYŁOWYCH KRZYŻUJĄCYCH SIĘ POD KĄTEM PROSTYM

Streszczenie. W pracy zastosowano metodę różnicową do rozwiązania przestrzennego zagadnienia Dirichleta dla skrzyżowanych trójfazowych limii przesyłowych wysokiego napięcia. Przeprowadzono weryfikację rozwiązania otrzymanego metodami numerycznymi z badaniami doświadczalnymi przeprowadzonymi w pracach [3] i [4].
Rozważamy problem stanowi uogólnienie zagadnienia przedstawionego w pracy [2].

1. Wstęp

Opracowanie metod określających wartości natężenia pola elektrycznego w wybranych fragmentach stacji transformatorowo-rozdzielczych stanowi istotne zagadnienie projektowania rozdzielni najwyższych napięć. Problematyka ta jest przedmiotem wieloletnich badań Głównego Biura Studiów i Projektów Energetycznych. Opracowana tam metody pomiarowe określenia natężenia pola pod skrzyżowaniem dwóch 3-fazowych układów przewodów pozwalają uwzględnić wzajemne oddziaływanie przewodów usytuowanych pod kątem prostym.

Opracowany w pracy algorytm uwzględnia wzajemne oddziaływanie przewodów na siebie. W literaturze nie sę znane związki określajęce pojemności wzajemne linii przesyłowych skośnych względem siebie. Celowe jest więc poszukiwanie rozwiązania zagadnienia metodami numerycznymi. Dotychczas zagadnienie to rozwiązywano metodę superpozycji pól od poszczególnych przewodów. Przeprowadzenie jednak takiej analizy dokonywane było przy założeniu stałej gęstości liniowej ładunków wzdłuż poszczególnych przewodów. Jak wykazano w dalszej części pracy, prowadzić to może do błędów dochodzących do ok. 20%.

2. Potencjał quasi-statyczny w otoczeniu linii przesyłowych

Jeśli poszczególne przewody robocze zasilane są napięciem sinusoidalnie zmiennym, to potencjał quasi-statyczny w otoczeniu tych przewodów spełnia w prostokątnym układzie współrzędnych zespolone równanie Laplace'a

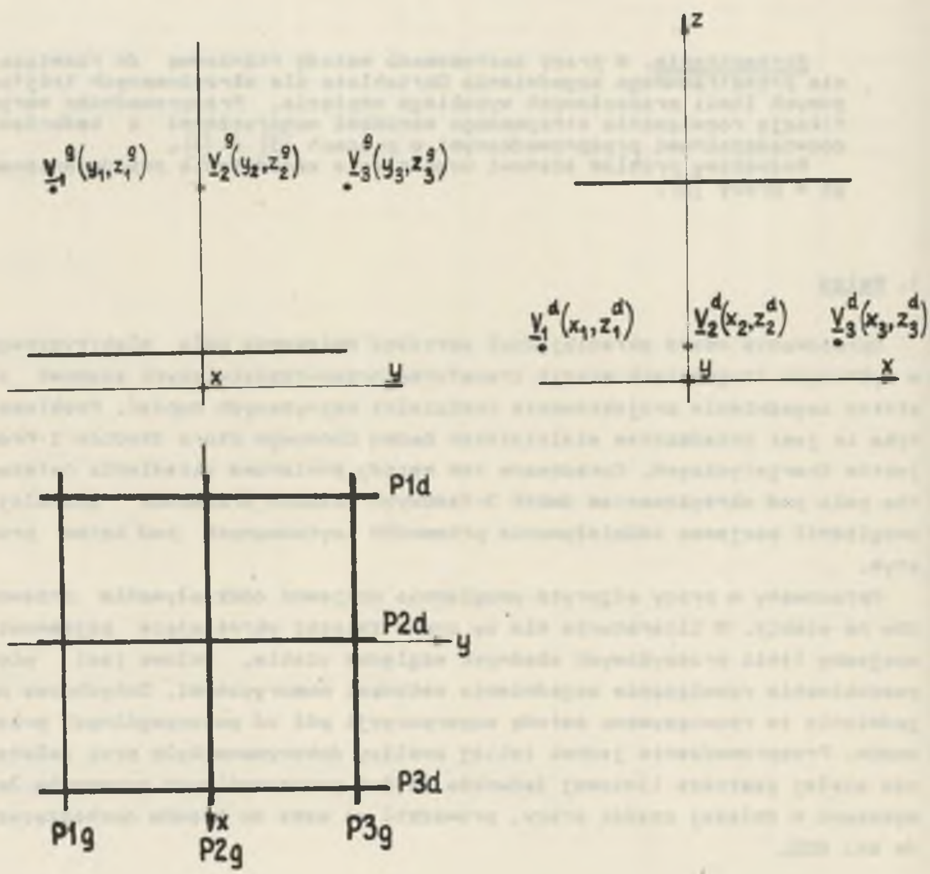
$$\Delta \underline{V}(x,y,z) = 0 \quad \left(\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$$

z określonymi w dalszej części artykułu warunkami brzegowymi.

Rozważmy skrzyżowanie trójfazowych układów przewodów, gdzie:

$\underline{V}_1^{(q)}, \underline{V}_2^{(q)}, \underline{V}_3^{(q)}$ - zespolone potencjały przewodów toru górnego,

$\underline{V}_1^{(d)}, \underline{V}_2^{(d)}, \underline{V}_3^{(d)}$ - zespolone potencjały przewodów toru dolnego.



Rys. 1. Linie przesyłowe usytuowane względem siebie pod kątem prostym

$$\underline{V}_1^g = \underline{V}_1^d = 750/\sqrt{3}\ \text{kV}, \quad \underline{V}_2^g = \underline{V}^d = 750/\sqrt{3}\, e^{j240^\circ}\ \text{kV}$$

$$\underline{V}_3^g = \underline{V}_3^d = 750/\sqrt{3}\, e^{j120^\circ}\ \text{kV}$$

W dowolnym punkcie na zewnątrz przewodów potencjał quasi-statyczny spełnia równanie

$$\Delta \underline{V}(x,y,z) = 0$$

Z warunkami brzegowymi

$$\begin{aligned} &\underline{V}(x,y,z)\Big|_{(y,z)\in S_k^{(g)}} = \underline{V}_k^{(g)};\\ &\underline{V}(x,y,z)\Big|_{(x,z)\in S_k^{(d)}} = \underline{V}_k^{(d)}\\ &\underline{V}(x,y,0) = 0 \end{aligned} \tag{2.1}$$

gdzie:

$\underline{V}_k^{(g)}$ - zespolony potencjał k-tego przewodu w torze górnym,

$\underline{V}_k^{(d)}$ - zespolony potencjał k-tego przewodu w torze dolnym,

$S_k^{(g)}$, $S_k^{(d)}$ - powierzchnia k-tego przewodu górnego i dolnego.

Przyjęty model matematyczny zakłada, że przewody są nieskończenie długie. Ponieważ interesować nas będą obszary bezpośrednio pod skrzyżowaniem torów, a nie w otoczeniu konstrukcji wsporczych oddalonych znacznie, dlatego otrzymane rozwiązanie obarczone będzie niewielkim błędem. Potwierdza to weryfikacja pomiarowa, którą przeprowadzono w pracach [3] i [4] i którą przedstawiają rys. 3-8. W celu rozwiązania metodami numerycznymi sformułowanego zagadnienia Dirichleta należy przyjąć, że poszukujemy funkcji $\underline{V}(x,y,z)$ w pewnej ograniczonej przestrzeni Ω. Chcąc jednak uwzględnić ładunek elektryczny na przewodach poza obszarem Ω, tzn. w nieskończoności, należy tak określić warunki brzegowe na brzegu $\partial\Omega$ obszaru Ω, ażeby uwzględniały one całkowity wpływ przewodów w nieskończoności. Jest to zagadnienie numerycznego określenia warunków brzegowych na $\partial\Omega$ dla zapewnienia odpowiedniej dokładności rozwiązania we wnętrzu obszaru Ω. Problem ten został omówiony w pracy [2].

3. Numeryczne określenie warunków brzegowych

Jeśli przyjmiemy, że obszar Ω jest sześcianem określonym nierównościami

$$|x| \leqslant \frac{a}{2}; \quad |y| \leqslant \frac{a}{2}; \quad 0 \leqslant z \leqslant a$$

to dla $a \to \infty$ rozwiązanie zagadnienia Dirichleta w punktach $(x,y,z) \in \partial\Omega$ wyraża się wzorem

$$\underline{V}(x,y,z) = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \sum_{k=1}^{3} \left(\underline{Q}_k^{(g)} \ln \frac{r_k'^{(g)}}{r_k^{(g)}} + \underline{Q}_k^{(d)} \ln \frac{r_k'^{(d)}}{r_k^{(d)}} \right) \tag{3.1}$$

gdzie:

$\underline{Q}_k^{(g)}$ – ładunek zespolony przypadający na jednostkę długości k-tego przewodu toru górnego,

$\underline{Q}_k^{(d)}$ – ładunek zespolony przypadający na jednostkę długości k-tego przewodu toru dolnego,

$r_k'^{(g)}$ – odległość zwierciadlanego odbicia k-tego przewodu toru górnego od punktu (x,y,z),

$r_k^{(g)}$ – odległość k-tego przewodu górnego od punktu (x,y,z),

$r_k'^{(d)}$ – odległość zwierciadlanego odbicia k-tego przewodu toru dolnego od punktu (x,y,z),

$r_k^{(d)}$ – odległość k-tego przewodu dolnego od punktu (x,y,z),

$$\underline{Q}_k^{(g)} = \sum_{l=1}^{3} C_{kl}^{(g)} \cdot \underline{V}_l^{(g)}, \quad \underline{Q}_k^{(d)} = \sum_{l=1}^{3} C_{kl}^{(d)} \underline{V}_l^{(d)}$$

$k = 1, 2, 3,$

$C_{kl}^{(g)}$ – pojemności wzajemne przewodów toru górnego,

$C_{kl}^{(d)}$ – pojemność wzajemna przewodów toru dolnego.

Wyprowadzenie wzoru (3.1) przeprowadzono w pracy [1]. Pierwszy składnik sumy

$$\frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \sum_{k=1}^{3} \underline{Q}_k^{(g)} \ln \frac{r_k'^{(g)}}{r_k^{(g)}}$$

określa wpływ toru górnego na potencjał w punkcie (x,y,z), natomiast drugi składnik sumy

$$\frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \sum_{k=1}^{3} \underline{Q}_k^{(d)} \ln \frac{r_k'^{(d)}}{r_k^{(d)}}$$

określa wpływ toru dolnego na potencjał w punkcie (x,y,z).

Taka superpozycja nie uwzględnia oczywiście wzajemnego oddziaływania torów na siebie, ale w obszarze znacznie oddalonym od skrzyżowania (gdy $a \to \infty$) wpływ ten jest nieistotny. Znalezienie takich odległości od skrzyżowania związane jest właśnie z numerycznym formułowaniem warunków brzegowych, tzn. określeniem takiego brzegu $\delta\Omega$, ażeby można było określić na nim wartości potencjałów ze wzoru (3.1).

Algorytm wyznaczenia obszaru Ω podano w pracy [2].

4. Zastosowanie metody siatek do rozwiązania problemu Dirichleta

Zespolone zagadnienie Dirichleta określone wzorem (2.1) można rozwięzywać osobno dla części rzeczywistej oraz urojonej potencjału $\underline{V}(x,y,z)$, gdyż

$$\Delta \underline{V}(x,y,z) = \Delta\left[\mathrm{Re}\,\underline{V}(x,y,z) + j\,\mathrm{Im}\,\underline{V}(x,y,z)\right] =$$

$$= \Delta\left[\mathrm{Re}\,\underline{V}(x,y,z)\right] + j\Delta\left[\mathrm{Im}\,\underline{V}(x,y,z)\right]$$

Należy więc rozwiązać oddzielnie dwa zagadnienia:

$$\Delta\left[\mathrm{Re}\,\underline{V}(x,y,z)\right] = 0$$

z warunkami brzegowymi

$$\begin{aligned} &\mathrm{Re}\,\underline{V}(x,y,z)\Big|_{(y,z)\in S_k^{(g)}} = \mathrm{Re}\,\underline{V}_k^{(g)}, \\ &\mathrm{Re}\,\underline{V}(x,y,z)\Big|_{(x,z)\in S_k^{(d)}} = \mathrm{Re}\,\underline{V}_k^{(d)} \\ &\mathrm{Re}\,\underline{V}(x,y,0) = 0 \end{aligned} \tag{4.1}$$

oraz

$$\Delta\left[\mathrm{Im}\,\underline{V}(x,y,z)\right] = 0$$

z warunkami brzegowymi

$$\begin{aligned} &\mathrm{Im}\,\underline{V}(x,y,z)\Big|_{(y,z)\in S_k^{(g)}} = \mathrm{Im}\,\underline{V}_k^{(g)}, \\ &\mathrm{Im}\,\underline{V}(x,y,z)\Big|_{(x,z)\in S_k^{(d)}} = \mathrm{Im}\,\underline{V}_k^{(d)} \\ &\mathrm{Im}\,\underline{V}(x,y,0) = 0 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Tak otrzymane wartości $\mathrm{Re}\,\underline{V}(x,y,z)$ oraz $\mathrm{Im}\,\underline{V}(x,y,z)$ pozwolę określić potencjał w dowolnym punkcie (x,y,z). Rozwięzanie takiego zagadnienia metodę siatek sprowadza się więc do równania

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \tag{4.3}$$

z odpowiednimi warunkami brzegowymi.

Aby otrzymać równanie różnicowe odpowiadajęce równaniu (4.3), wystarczy wstawić w miejsce pochodnych cząstkowych odpowiednie ilorazy różnicowe

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \approx \frac{V(x+h,y,z) - 2V(x,y,z) + V(x-h,y,z)}{h^2}$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \approx \frac{V(x,y+h,z) - 2V(x,y,z) + V(x,y+h,z)}{h^2}$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \approx \frac{V(x,y,z+h) - 2V(x,y,z) + V(x,y,z-h)}{h^2}$$

Dodając stronami, a następnie wyliczając $V(x,y,z)$, otrzymujemy

$$V(x,y,z) = \frac{1}{6}\Big[V(x+h,y,z) + V(x-h,y,z) + V(x,y+h,z) + V(x,y-h,z) + V(x,y,z+h) + V(x,y,z-h)\Big] \tag{4.4}$$

Jak wykazno w pracy [2], błęd takiej metody różnicowej jest rzędu $O(h^2)$.

Rozważany obszar Ω został pokryty siatkę sześcienną w taki sposób, że wszystkie punkty (węzły) brzegowe należę do brzegu obszaru $\partial\Omega$. Pozwoliło to uniknęć nadawania poprawek węzłom brzegowym wg wzorów interpolujęcych.

Przyjmując pewien odstęp h, tworzymy siatkę sześcienną S_h

$$x_i = i\,.\,h,\quad y_j = j\,.\,h,\quad z_k = k\,.\,h\quad i,j,k = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots,$$

uważając przy tym, by węzły x_i, y_j, z_k siatki S_h albo należały do Ω, albo do jego brzegu $\partial\Omega$. Oznaczając wartości szukanej funkcji $V(x,y,z)$ w punktach (x_i, y_j, z_k) przez $V_{ijk} = V(x_i, y_j, z_k)$, możemy w każdym punkcie wewnętrznym (x_i, y_j, z_k) siatki S_h zastąpić równanie Laplace'a równaniem różnicowym (4.4). Dla węzłów brzegowych przyjmujemy wartości potencjałów określone na powierzchniach przewodów lub na $\partial\Omega$. Otrzymany układ równań

$$V_{ijk} = \frac{1}{6}(V_{i-1,j,k} + V_{i+1,j,k} + V_{i,j-1,k} +$$

$$+ V_{i,j+1,k} + V_{i,j,k-1} + V_{i,j,k+1}) \tag{4.5}$$

posiada jednoznaczne rozwiązanie [2].

Ze względu na bardzo dużą liczbę węzłów siatki S_h numeryczna realizacja układu (4.5) przekracza kilkaset razy możliwości pamięci operacyjnej maszyny cyfrowej. Dlatego znacznie wygodniej jest rozwiązywać układ (4.5) metodami iteracyjnymi.

Zgodnie z procesem Libmana, jeśli $V_{ijk}^{(0)}$ są przybliżeniami początkowymi, przybliżenia następne dla węzłów wewnętrznych siatki S_h nie należących do brzegu obszaru określamy wzorem

$$V_{ijk}^{(m)} = \frac{1}{6}\Big[V_{i-1,j,k}^{(n-1)} + V_{i+1,j,k}^{(n-1)} + V_{i,j-1,k}^{(n-1)} +$$

$$+ V_{i,j+1,k}^{(n-1)} + V_{i,j,k-1}^{(n-1)} + V_{i,j,k+1}^{(n-1)}\Big] \qquad n = 1,2,...$$

Można dowieść [2], że dla dowolnej średnicy h siatki S_h proces Libmana jest zbieżny niezależnie od wyboru wartości początkowych, tj. istnieje

$$\lim_{n \to \infty} V_{ijK}^{(n)} = V_{ijk}$$

Jako wartości początkowe $V_{ijk}^{(0)}$ wybrano wartości potencjałów w węzłach siatki obliczone wg wzoru (3.1), tj. przy założeniu stałej gęstości liniowej ładunków wzdłuż poszczególnych przewodów torów trójfazowych.

Po numerycznym określeniu warunków brzegowych zrealizowano obliczenia dla h = 0,5 m oraz długości boku sześcianu wynoszącym a = 100 m.

Liczba węzłów siatki S_h wyniosła

$$S_h \approx \frac{|\Omega|}{h^3} = \frac{100^3}{0,5^3} = 8.10^6$$

Problem zapisu algorytmu realizującego rozwiązanie zagadnienia dla tak znacznej liczby węzłów wymaga zastosowania szybkich pamięci zewnętrznych maszyny cyfrowej. Duża złożoność algorytmu zrealizowanego w języku ALGOL 1900 uniemożliwia umieszczenie go w pracy.

Na zbieżność procesu iteracyjnego decydujący wpływ posiada iteracja zerowa (punkt startowy). Z analizy wykresów przedstawionych w rozdziale 6 wynika, że przybliżenie początkowe rozwiązania (iteracja zerowa) nie przekracza 20% odchylenia od rozwiązania numerycznego. Fakt ten zapewnił dosyć szybką zbieżność procesu. W rozważanym zagadnieniu liczba iteracji wyniosła ok. 150.

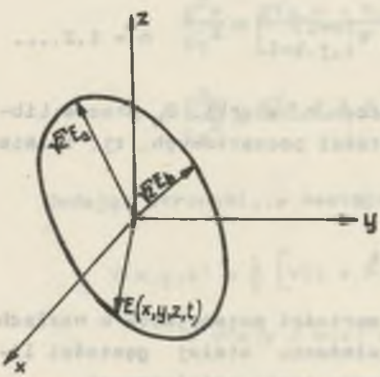
Analizę błędów zaokrąglenia wynikających ze zmiennoprzecinkowej arytmetyki maszyny cyfrowej przeprowadzono w pracy [2].

5. Natężenie pola elektrycznego linii przesyłowych

Dowolnemu punktowi (x,y,z) obszaru, w którym zadane jest pole elektryczne, przyporządkowany jest wektor

$$\vec{E}(x,y,z,t) = \vec{k}_x E_x(x,y,z,t) + \vec{k}_y E_y(x,y,z,t) + \vec{k}_z E_z(x,y,z,t) \qquad (5.1)$$

gdzie $\vec{k}_x$, $\vec{k}_y$, $\vec{k}_z$ wersory prostokątnego układu współrzędnych.



Rys. 2. Elipsa pola wirującego E(x,y,z,t)

Jak wykazano w pracy [1], pole elektryczne quasi-statyczne sinusoidalnie zmienne określone wzorem (5.1) zakreśla elipsę w czasie jednego okresu.

W celu jednoznacznego określenia stanu pola elektrycznego sinusoidalnie zmiennego w punkcie (x,y,z) wystarczy wyznaczyć składowe natężenia pola elektrycznego $\vec{E}_a(x,y,z)$ i $\vec{E}_b(x,y,z)$ odpowiednio w kierunku półosi dużej i małej elipsy pola wirującego. W celu określenia składowych $\vec{E}_a$ i $\vec{E}_b$ wektora wirującego $\vec{E}(x,y,z,t)$ skorzystano z zależności wyprowadzonych w pracy [1]

$$E_a(x,y,z) = \vec{k}_x E_x(x,y,z)\cos\left[\varphi_x(x,y,z) - \frac{\varphi_A(x,y,z)}{2}\right] +$$

$$+ \vec{k}_y E_y(x,y,z)\cos\left[\varphi_y(x,y,z) - \frac{\varphi_A(x,y,z)}{2}\right] +$$

$$+ \vec{k}_z E_z(x,y,z)\cos\left[\varphi_z(x,y,z) - \frac{\varphi_A(x,y,z)}{2}\right]$$

$$E_b(x,y,z) = \vec{k}_x E_x(x,y,z)\sin\left[\varphi_x(x,y,z) - \frac{\varphi_A(x,y,z)}{2}\right] +$$

$$+ \vec{k}_y E_y(x,y,z)\sin\left[\varphi_y(x,y,z) - \frac{\varphi_A(x,y,z)}{2}\right] +$$

$$+ \vec{k}_z E_z(x,y,z)\sin\left[\varphi_z(x,y,z) - \frac{\varphi_A(x,y,z)}{2}\right]$$

gdzie:

$$E_x(x,y,z) = \frac{E_{xmax}(x,y,z)}{\sqrt{2}}; \quad E_y(x,y,z) = \frac{E_{ymax}(x,y,z)}{\sqrt{2}}$$

$$E_z(x,y,z) = \frac{E_{zmax}(x,y,z)}{\sqrt{2}}$$

$$\varphi_A(x,y,z) = \arg\left[\underline{E}_x^2 + \underline{E}_y^2 + \underline{E}_z^2\right]$$

Zespolone składowe wektora $\vec{E}(x,y,z)$ wyrażają się wzorami:

$$\underline{E}_x = E_x(x,y,z)e^{j\varphi_x(x,y,z)}$$

$$\underline{E}_y = E_y(x,y,z)e^{j\varphi_y(x,y,z)}$$

$$\underline{E}_z = E_z(x,y,z)e^{j\varphi_z(x,y,z)}$$

Tak więc, mając rozwiązane zagadnienie (2.1), wyznaczymy zespolone składowe wektora natężenia pola poprzez numeryczne różniczkowanie

$$\underline{E}_x(x,y,z) = -\frac{\partial \underline{V}(x,y,z)}{\partial x}; \quad \underline{E}_y(x,y,z) = -\frac{\partial \underline{V}(x,y,z)}{\partial y}$$

$$\underline{E}_z(x,y,z) = -\frac{\partial \underline{V}(x,y,z)}{\partial z}$$

a następnie określamy argument i moduł poszczególnych składowych.

Określone w ten sposób wielkości pozwalają wyznaczyć składowe wektorów

$$\vec{E}_a(x,y,z) \quad \text{oraz} \quad \vec{E}_b(x,y,z)$$

a więc również ich moduły.

6. Rozkład natężenia pola elektrycznego w otoczeniu miejsca krzyżowania się linii trójfazowych

Analizę numeryczną rozkładu natężenia pola elektrycznego przeprowadzono w poszczególnych przekrojach krzyżowania się linii trójfazowych (rys. 1) przy powierzchni ziemi na wysokości 1,8 m.

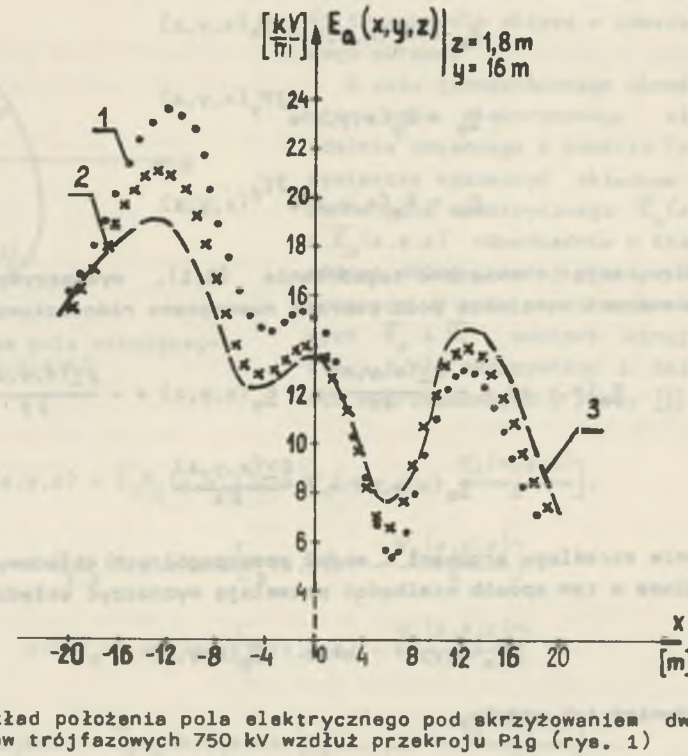
W obliczeniach przyjęto:

$$z_1^{(g)} = z_2^{(g)} = z_3^{(g)} = 21\ m, \quad z_1^{(d)} = z_2^{(d)} = z_3^{(d)} = 10\ m, \quad y_1 = -16\ m,$$

$$y_2 = 0, \quad y_3 = 16\ m, \quad x_1 = -12\ m, \quad x_2 = 0, \quad x_3 = 12\ m, \quad V^g = V^d =$$

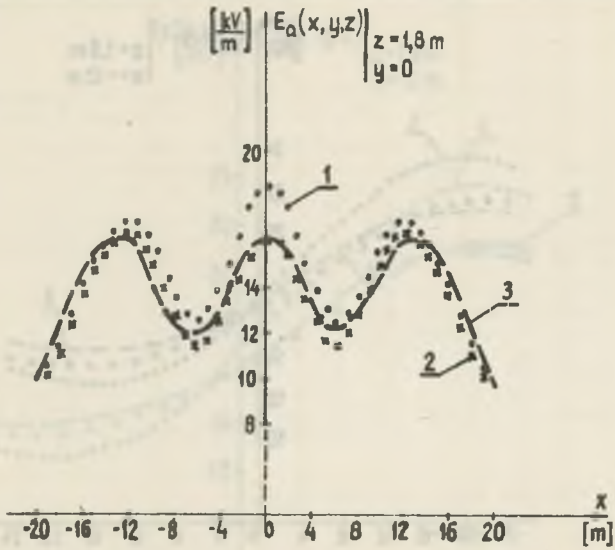
$$= 750/\sqrt{3}\ kV.$$

Przewody fazowe występujące w postaci wiązek 4 x AFL-525 o odstępie przewodów w wiązce 0,4 [m] zastąpiono jednym przewodem o promieniu zastępczym określonym w pracy [1].



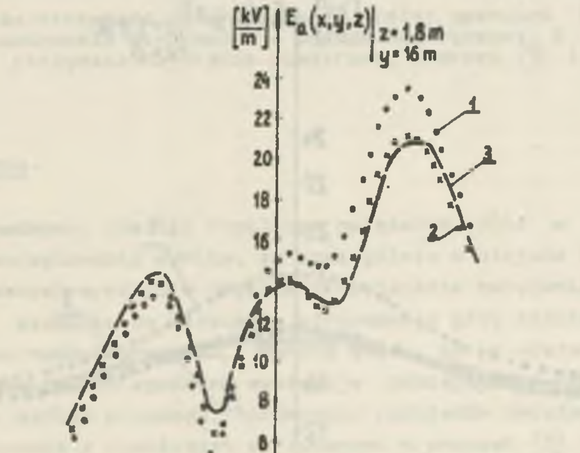
Rys. 3. Rozkład położenia pola elektrycznego pod skrzyżowaniem dwóch torów trójfazowych 750 kV wzdłuż przekroju P1g (rys. 1)

1 - rozwiązanie otrzymane przy założeniu stałej gęstości ładunków wzdłuż linii, 2 - rozwiązanie otrzymane na drodze numerycznej, 3 - rozwiązanie otrzymane na drodze pomiarowej w pracy [3] i [4]



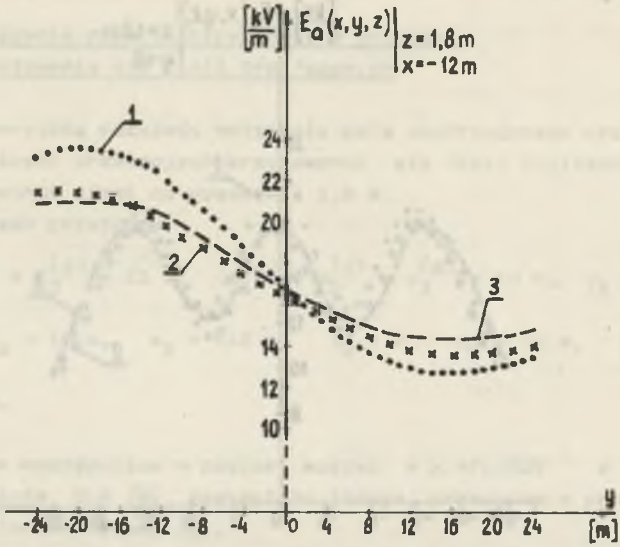
Rys. 4. Rozkład natężenia pola elektrycznego pod skrzyżowaniem dwóch torów trójfazowych 750 kV wzdłuż przekroju P2g (rys. 1)

1 - rozwiązanie otrzymane przy założeniu stałej gęstości ładunków wzdłuż linii, 2 - rozwiązanie otrzymane na drodze numerycznej, 3 - rozwiązanie otrzymane na drodze pomiarowej w pracy [3] i [4]



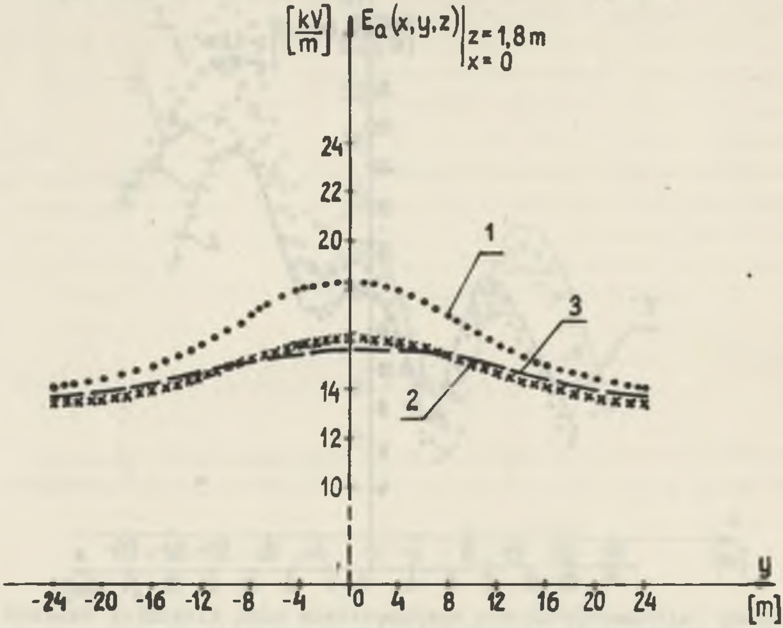
Rys. 5. Rozkład natężenia pola elektrycznego wzdłuż przekroju P3g (rys. 1)

1 - rozwiązanie otrzymane przy założeniu stałej gęstości ładunków wzdłuż linii, 2 - rozwiązanie otrzymane na drodze numerycznej, 3 - rozwiązanie otrzymane na drodze pomiarowej w pracy [3] i [4]



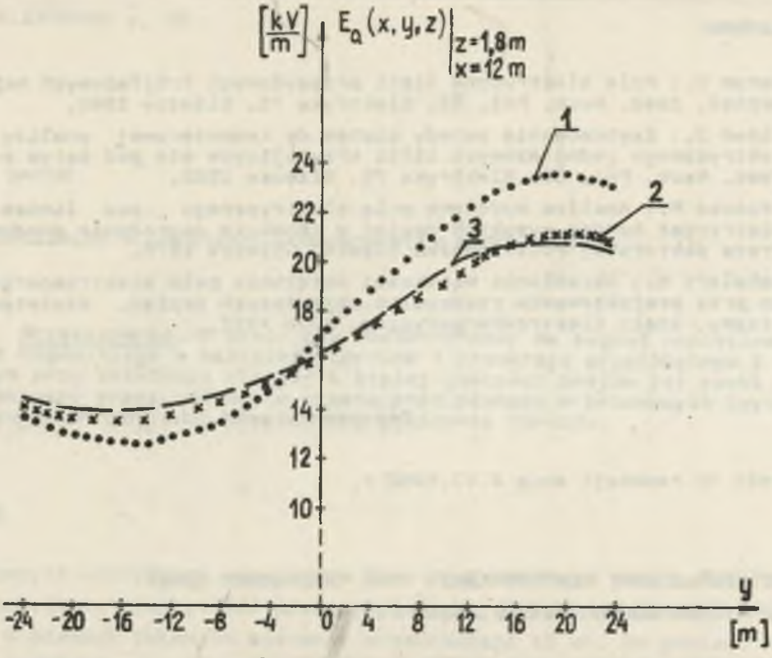
Rys. 6. Rozkład natężenia pola elektrycznego wzdłuż przekroju P1d (rys. 1)

1 - rozwiązanie otrzymane przy założeniu stałej gęstości ładunków wzdłuż linii, 2 - rozwiązanie otrzymane na drodze numerycznej, 3 - rozwiązanie otrzymane na drodze pomiarowej w pracy [3] i [4]



Rys. 7. Rozkład natężenia pola elektrycznego wzdłuż przekroju P2d (rys. 1)

1 - rozwiązanie otrzymane przy założeniu stałej gęstości ładunków wzdłuż linii, 2 - rozwiązanie otrzymane na drodze numerycznej, 3 - rozwiązanie otrzymane na drodze pomiarowej w pracy [3] i [4]



Rys. 8. Rozkład natężenia pola elektrycznego wzdłuż przekroju P3d (rys. 1) 1 - rozwiązanie otrzymane przy założeniu stałej gęstości ładunków wzdłuż linii, 2 - rozwiązanie otrzymane na drodze numerycznej, 3 - rozwiązanie otrzymane na drodze pomiarowej w pracy [3] i [4]

7. Podsumowanie

Z przeprowadzonej analizy rozkładów natężenia pola w poszczególnych przekrojach skrzyżowania wynika, że szczególnie w miejscu krzyżowania się faz jednoimiennych występuje znaczne zmniejszenie natężenia dochodzące do około 20% w stosunku do natężenia otrzymanego przy założeniu stałej gęstości ładunku wzdłuż przewodu. Wynika stąd, że w obszarze krzyżowania się przewodów o fazach zgodnych występuje zmniejszenie gęstości ładunku występującego wzdłuż przewodu. Porównanie rozkładów natężenia pola otrzymanymi numerycznie z rozkładami otrzymanymi w pracach [3] i [4] na drodze pomiarowej pokazuje, że błąd zaproponowanej w pracy metody nie przekracza 4%. Tak więc przyjęty model matematyczny, pomimo pewnych uproszczeń, wystarczająco dokładnie przybliża model fizyczny.

LITERATURA

[1] Baron B.: Pole elektryczne linii przesyłowych trójfazowych najwyższych napięć. Zesz. Nauk. Pol. Śl. Elektryka 73. Gliwice 1980.

[2] Ulman J.: Zastosowanie metody siatek do komputerowej analizy pola elektrycznego jednofazowych linii krzyżujących się pod kątem prostym. Zesz. Nauk. Pol. Śl. Elektryka 79, Gliwice 1982.

[3] Groszko M.: Analiza modelowa pola elektrycznego pod liniami napowietrznymi bardzo wysokich napięć w aspekcie zagrożenia środowiska. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1978.

[4] Schulert K.: Określenie wielkości natężenia pola elektroenergetycznego przy projektowaniu rozdzielni najwyższych napięć. Biuletyn Techniczny, Sieci Elektroenergetyczne, 1978 XXII.

Recenzent: prof. dr inż. Maciej Krakowski

Wpłynęło do redakcji dnia 2.VI.1982 r.

КОМПЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ТРЕХФАЗНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ПОД ПРЯМЫМ УГЛОМ

Р е з ю м е

В статье применено дифференциальный метод решения пространственной проблемы Дирихлета перпендикулярных трехфазных линий передачи высокого напряжения. Проведено проверку правильности решения сравнивая полученные результаты с результатами экспериментальных исследований опубликованными в трудах [3], [4].

THE COMPUTER ANALYSIS OF THE ELECTRIC FIELD OF CROSSED ON THE SQUARE THREE - PHASE TRANSMISSION LINES

S u m m a r y

In this paper the difference method for solution of the spatial Dirichlet problem of corssed triple - phase high voltage transmission line is discussed. The verification of the solution obtained in the numeric way with experimental results described in [3] and [4] is also presented.