

Grzegorz Masłowski¹, Robert Ziemba¹

WPŁYW EKRANOWANIA LINII WN NA ROZKŁAD POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

Streszczenie: W referacie przedstawiona została analiza wpływu ekranowania napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na rozkład pola elektromagnetycznego pod tymi liniami. Analizie poddane zostały ekrany w postaci pętli prostokątnej i kratownicy podwieszonych pod przęsłem linii. Zostały porównane modele układów z uwzględnieniem zwisu linii z modelami w postaci przewodów prostoliniowych zawieszonych na wysokości zastępczej. Podano wyniki w postaci rozkładu składowych pionowych natężeń pola elektrycznego i magnetycznego pod linią oraz wartości prądu w ekranach. Obliczenia wykonano przy użyciu programu HIFREQ (CDEGS™).

Słowa kluczowe: ekranowanie, pole elektromagnetyczne

1. Wstęp

Ze względu na konieczność skracania czasu i utrzymywania na nieznanym poziomie kosztów opracowywania konstrukcji produktu, w procesie wytwarzania nowych urządzeń technicznych i modernizacji istniejących, coraz większego znaczenia nabierają metody numeryczne służące do obliczania rozkładów pól elektromagnetycznych. Przenikają one do obszarów zastosowań, które były dotąd zastrzeżone wyłącznie dla techniki pomiarowej. Rosnąca szybko moc obliczeniowa nowoczesnych systemów komputerowych jak też gwałtowny spadek cen sprzętu prowadzą do tego, że złożone, ważne z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej środowiska właściwości systemów, mogą być badane już przez powszechnie używane programy komputerowe [1, 2, 3, 4].

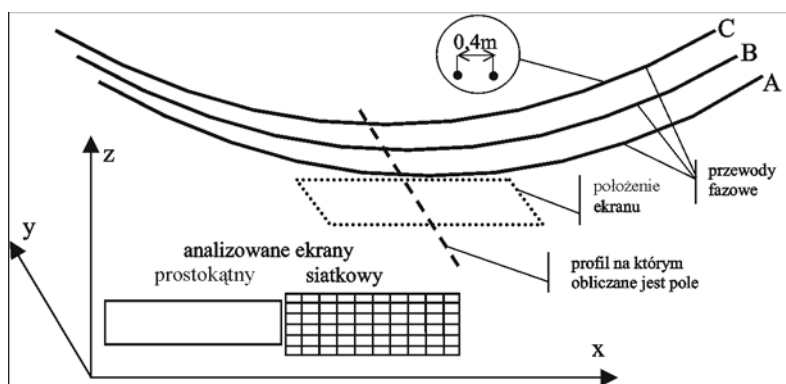
Analiza i dokładne określenie wartości pola elektromagnetycznego w pobliżu urządzeń elektroenergetycznych, w tym napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia, jest w kręgu zainteresowań zarówno z punktu widzenia oddziaływania na organizmy żywe jak i oddziaływania na czułe urządzenia elektroniczne [5]. W liniach elektroenergetycznych niskich i średnich napięć, ze względu na niewielkie odległości przewodów fazowych od siebie i naturalną kompensację pól elektrycznych przesuniętych o 120° wartości wypadkowe pola elektrycznego nie są zbyt duże. W przypadku linii wysokiego napięcia (WN, NN) gdzie

¹ Politechnika Rzeszowska, Zakład Podstaw Elektrotechniki i Informatyki, 35-959 Rzeszów ul. W. Pola 2

napięcia robocze są znacznie wyższe i odległości przewodów fazowych od siebie większe, wartości pola elektrycznego mogą osiągać znaczne wartości. Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w różnych środowiskach oraz sposoby ich badania podawane są w normach lub w odrębnych przepisach i zarządzeniach [6]. Wyznaczenie rozkładu pola elektromagnetycznego z uwzględnieniem rzeczywistych wymiarów geometrycznych i parametrów elektrycznych analizowanego układu jest niezbędne na etapie projektowania środków ochrony przed wpływem tego pola na otaczające środowisko.

2. Analizowany układ linii napowietrznej wysokiego napięcia

Do obliczeń przyjęto napowietrzną linię elektroenergetyczną 400 kV z przewodami wiązkowymi AFL-8-525 mm², (dwa przewody na fazę w odstępnie 0,4 m). Przyjęto przęsło między sąsiednimi słupami przelotowymi Y52 [7, 8] o rozpiętości $l = 400$ m w układzie współrzędnych jak na rys. 1.



Rys. 1. Analizowany układ przęsła linii 400 kV w postaci wiązkowych przewodów fazowych zawieszonych na słupach przelotowych Y52

Zwis przewodów f i wysokość minimalna h_{min} nad powierzchnią ziemi wyznaczone zostały z przyjmowanego przybliżenia ułożenia przewodów według krzywej łańcuchowej danej równaniem [2, 3]:

$$h(z) = p \cdot \cosh \frac{z}{p} \quad (1)$$

gdzie: $p = \sigma/g$ – parametr zwisania; σ – naprężenie przewodu w najniższym punkcie; g – ciężar jednostkowy przewodu.

Celem zbadania wpływu ekranowania na tłumienie pola elektromagnetycznego pod linią przyjęto w obliczeniach dwa rodzaje ekranów (rys. 1) umieszczonych na wysokości $h = 10$ m w środku przęsła: ekran w postaci poziomej ramki prostokątnej o wymiarach 100 x 21 m oraz ekran w postaci poziomej kratownicy o wymiarach 100 x 30 m z okami o wymiarach 5 x 10 m. W ekranach nie uwzględniono zwisu przewodów. Obliczenia pola elektrycznego i magnetycznego wykonano wzdłuż profilu o długości 100 m (po 50 m z każdej strony osi linii) umieszczonego na wysokości 1,8 m prostopadłe do linii (rys. 1). Przyjęto symetryczne

obciążenie linii z prądami $|I_A| = |I_B| = |I_C| = 568$ A przesuniętymi o kąt 120° . Przeprowadzono także obliczenia dla linii w układzie przewodów prostoliniowych (bez uwzględniania zwisu). Zastępcza wysokość zawieszenia przewodu $h_{sr} = 10$ m wyznaczona została jako wartość średnia z równania (1) zgodnie z zależnością (2) dla rozpiętości przęsła l i zwisu normalnego $f = 8,4$ m:

$$h_{sr} = \int_0^{\frac{l}{2}} h(z) dz \quad (2)$$

Dodatkowo podano obliczenia dla układu przewodów prostoliniowych zawieszonych na wysokości punktu zawieszenia na słupie wynoszącej 23,7 m.

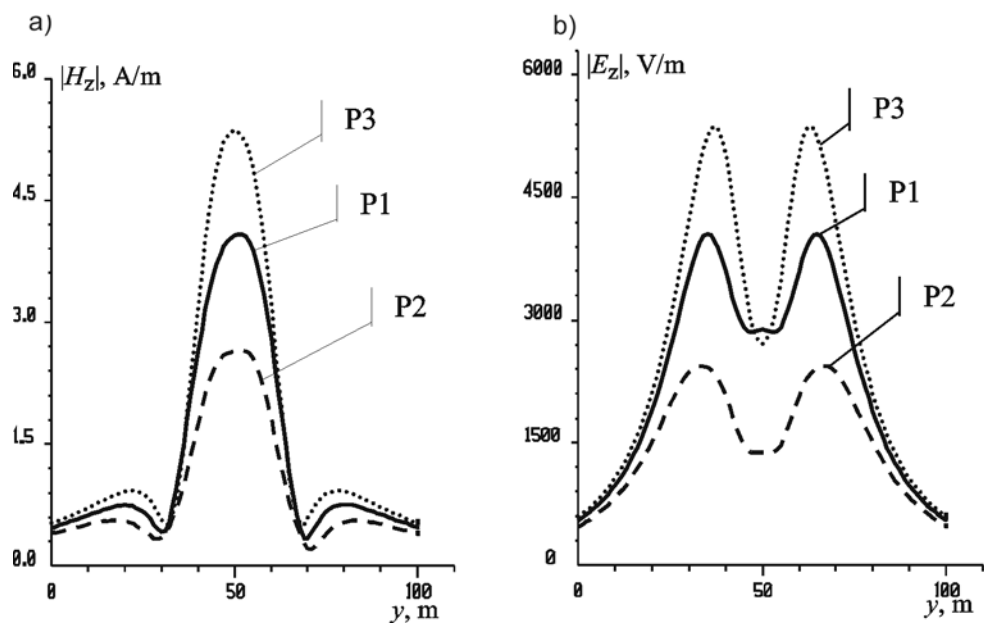
3. Obliczenia pola elektromagnetycznego

3.1 Przyjęta metoda obliczeniowa

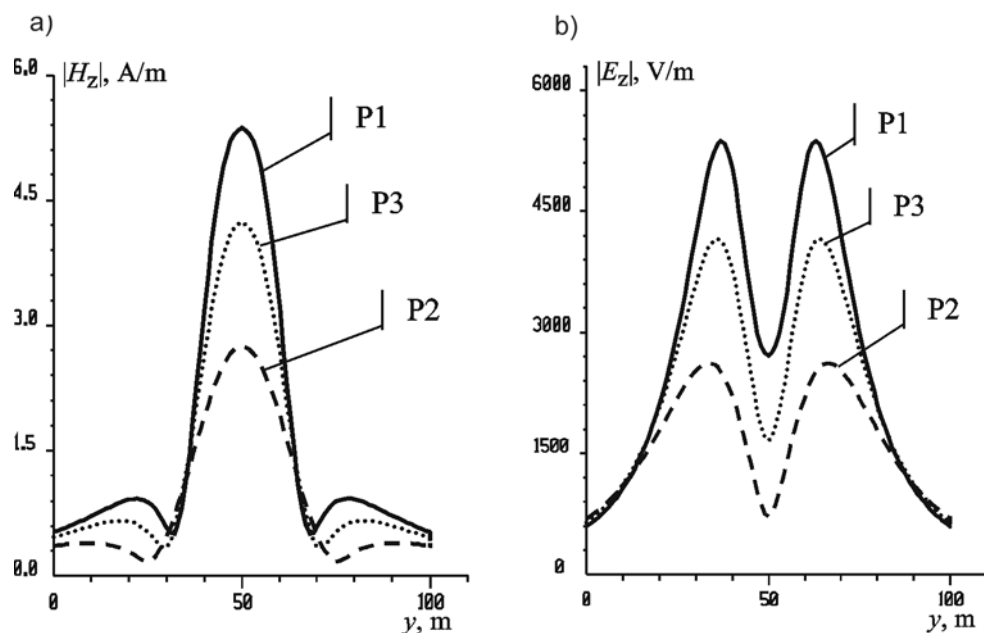
W zagadnieniach związanych z problematyką kompatybilności elektro magnetycznej środowiska, w praktyce najczęściej wykorzystywane są następujące metody numeryczne: metoda różnic skończonych w dziedzinie czasu (FDTD), metoda momentów (MoM) i metoda elementów skończonych (FEM). Do najważniejszych właściwości przy wyborze metody jakie są brane pod uwagę zalicza się: nakład numeryczny w zależności od złożoności modelu symulacyjnego, nakład pracy niezbędny przy tworzeniu modelu. W przypadku układów geometrycznych w postaci rozbudowanych pod względem elektrycznym struktur przewodów wybór powinien paść na metodę momentów, która przekształca równania analityczne opisujące ciągły przestrzennie i czasowo problem fizyczny w układ równań algebraicznych [9]. W praktyce metody momentów opracowano wiele wyspecjalizowanych technik pozwalających na uzyskanie rozwiązania metodami bezpośrednimi i szybkozbieżnymi metodami iteracyjnymi. Przestrzenną analizę pola elektromagnetycznego z wykorzystaniem metody momentów umożliwiają między innymi program HIFREQ [1]. Obliczenia w tym pakiecie bazują na metodzie polowej, polegającej na wykorzystaniu metody momentów i numerycznym obliczaniu pola elektro-magnetycznego, przy założeniu liniowości układu i wykorzystaniu zasady superpozycji. Pole elektromagnetyczne w dowolnym punkcie obszaru jest wyliczane jako suma pól od wszystkich przewodów układu, z których każdy jest dzielony na zbiór odpowiednio małych segmentów. Każdy segment jest reprezentowany jako dipol elektryczny umieszczony w jego centrum. Oddziaływanie przewodu jest wyznaczane jako suma oddziaływania wszystkich segmentów składowych [10, 11].

3.2. Wyniki obliczeń

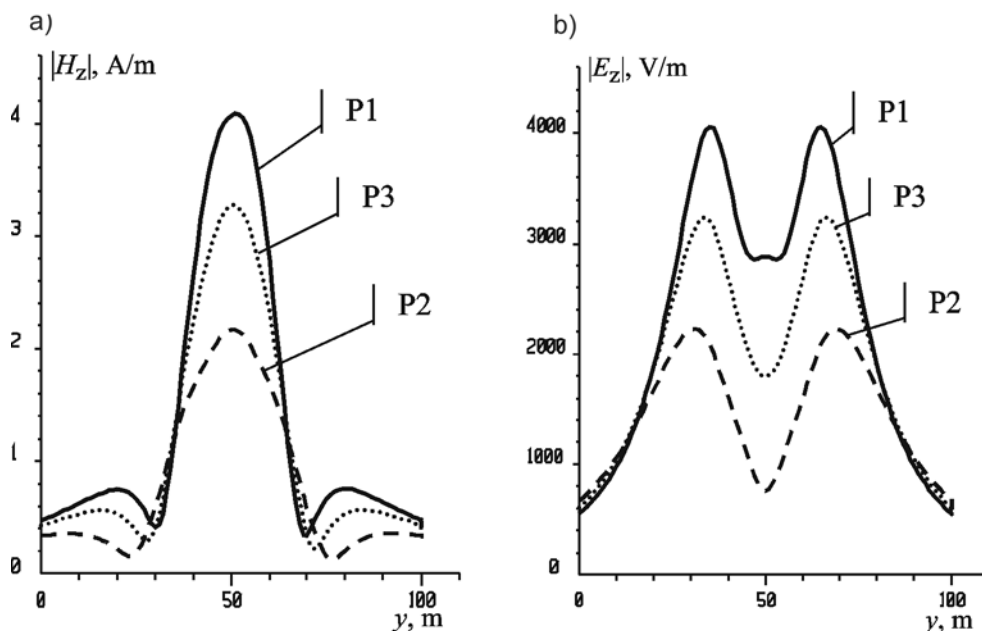
Wyniki obliczeń pola elektromagnetycznego w postaci dominujących składowych pola elektrycznego (E_z) i magnetycznego (H_z) obliczone wzdłuż profilu jak na rys. 1 przedstawione są na rysunkach 2, 3 i 4.



Rys. 2. Rozkład składowych pola elektromagnetycznego dla linii ze zwisem: a) natężenia pola magnetycznego $|H_z|$; b) natężenia pola elektrycznego $|E_z|$, P1 – ekran prostokątny, P2 – ekran siatkowy, P3 – bez ekranu



Rys. 3. Rozkład składowych pola elektromagnetycznego w układzie bez ekranów: a) natężenia pola magnetycznego $|H_z|$; b) natężenia pola elektrycznego $|E_z|$, P1 – przewody ze zwisem, P2 – przewody bez zwisu (wysokość punktu zawieszenia), P3 – przewody bez zwisu (wysokość zawieszenia równa h_w)



Rys. 4. Rozkład składowych pola elektromagnetycznego w układzie z ekranem w postaci pętli prostokątnej: a) natężenia pola magnetycznego $|H_z|$; b) natężenia pola elektrycznego $|E_z|$; P1 – przewody ze zwisem, P2 – przewody bez zwisu (wysokość punktu zawieszenia), P3 – przewody bez zwisu (wysokość zawieszenia równa h_{sr})

Wartości skuteczne prądów w ekranie prostokątnym dla różnych układów przewodów: ze zwisem, prostoliniowe na wysokości punktu zamocowania i na wysokości średniej wyniosły odpowiednio 67,4; 30,4 i 50,0 A.

4. Wnioski

Przedstawione wyniki obliczeń pola elektromagnetycznego (rys. 2 i 4) potwierdzają skuteczne działanie obniżające wartości pola elektrycznego i magnetycznego ekranów podwieszonych pod napowietrzną linią elektroenergetyczną. Szczególnie skuteczne jest działanie ekranu w postaci kratownicy. Z przedstawionych wyników można zauważyć, że na poprawne wyznaczenie pola pod linią ma wpływ przyjęcie układu przewodów. Przyjęte uproszczenia dotyczące prostoliniowego ułożenia przewodów wprowadzają duże błędy w stosunku do układu z przyjętym zwisem w przypadku analizy pola wzdłuż profilu umieszczonego w środku przęsła (rys. 3 i rys 4). W szczegółowej analizie dotyczącej możliwości stosowania ekranowania linii należy uwzględnić dodatkowo straty energii związane z przepływem w ekranie prądów rzędu kilkudziesięciu amperów.

Literatura

- [1] *HIFREQ User's Manual: Low and High Frequency Electromagnetic Field Analysis Buried and Overhead Conductor Networks*, Safe Engineering Services & Technologies Ltd., Montreal, Canada 1997.
- [2] **Ziemia R.**: *Wykorzystanie pakietu MultiFields™ do modelowania oddziaływania elektromagnetycznego przewodów podziemnych*, IV Sympozjum Metody Matematyczne w Elektroenergetyce, ss. 65-74, Zakopane 1998.
- [3] **Ziemia R., Gamracki M.**: *Komputerowe wspomaganie analizy oddziaływania przewodów podziemnych na otoczenie*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Zastosowanie komputerów w elektrotechnice”, Poznań-Kiekrz 1999.
- [4] **Gamracki M., Ziemia R.**: *Analiza oddziaływania elektromagnetycznego przewodów podziemnych na układy elektryczne* I Konferencja EMC w elektrotechnice i elektronice, Łódź 99
- [5] PN-86/E-06600 – *Automatyka i pomiary przemysłowe. Kompatybilność elektro-magnetyczna urządzeń. Ogólne wymagania i badania.*
- [6] PN-EN 61000-4-8:1998 – *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej.*
- [7] PN-E-05100-1:1998 – *Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami gołymi.*
- [8] *Poradnik inżyniera elektryka*, t. 3. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 1997
- [9] **Harrington R.F.**: *Field computation by moment methods*, MacMillan, New York, 1968.
- [10] **Grcev, L.; Dawalibi, F.**: *An electromagnetic model for transients in grounding systems*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol: 5, No. 4, pp. 1773-81, Oct. 1990.
- [11] **Xiong, W.; Dawalibi, F.P.**: *Transient performance of substation grounding systems subjected to lightning and similar surge currents*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol: 9, p. 1412-20, July 1994.

INFLUENCE OF SHIELDING OF HV POWER LINES ON ELECTROMAGNETIC FIELD DISTRIBUTION

In this paper the electromagnetic field generated by a 400 kV transmission line during steady-state conditions have been presented. The shielding performance of a frame and grid has been examined for several transmission line configurations. It is found that the frame end grid can considerably reduce the electric and magnetic field.