

Dariusz KUSIAK\*  
Zygmunt PIĄTEK\*  
Tomasz SZCZEGIELNIAK\*

## WPLYW GRUBOŚCI EKRANU NA CAŁKOWITE POLE MAGNETYCZNE DWUPRZEWODOWEGO BIFILARNEGO TORU WIELKOPRĄDOWEGO. CZĘŚĆ I – OBSZAR ZEWNĘTRZNY EKRANU

W artykule wykazano, jak na całkowite pole magnetyczne ekranowanej bifilarnej linii dwuprzewodowej w ekranie i jego otoczeniu ma wpływ grubość ścianki ekranu. Wypadkowe pole magnetyczne w tego typu torze wielkoprądownym ma dwie składowe o różnych amplitudach i fazach początkowych. W konsekwencji pole to jest polem eliptycznym. Opisu tego dokonano wzorami dla względnych wartości pola i parametrów uwzględniających częstotliwość, konduktywność i wymiary poprzeczne ekranu. Uwzględniono przy tym także zjawisko naskórkowości oraz wewnętrzne i zewnętrzne zjawiska zblżenia. Część I opisuje pole magnetyczne w obszarze zewnętrznym ekranu.

### 1. WPROWADZENIE

Układ dwóch przewodów we wspólnej przewodzącej osłonie (rysunek 1) stosowany jest jako ekranowana bifilarna linia transmisyjna [1].

W procesach technologicznych istotną wartością jest największa wartość natężenia pola magnetycznego. Wartości emitowane przez takie tory są duże nawet w warunkach znamionowych [2]. W przypadku pola eliptycznego za wartość tę należy przyjmować długość  $H_a(r, \Theta)$  dłuższej półosi elipsy [3]:

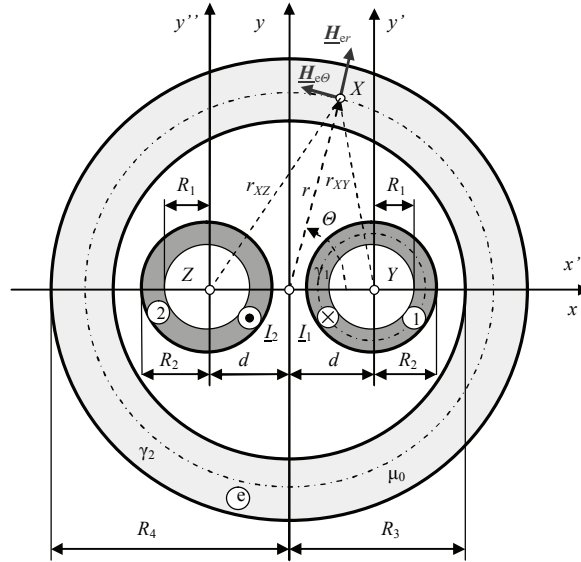
$$H_a(r, \Theta) = \max_{t \in (0, T)} H(r, \Theta, t) = H_1(r, \Theta) + H_2(r, \Theta) \quad (1)$$

Przekroczenie przez te pola pewnych dopuszczalnych wartości prowadzi do nieprawidłowego funkcjonowania urządzeń elektrycznych, nadmiernego nagrzewania się konstrukcji stalowych, degradacji środowiska naturalnego i może także stwarzać zagrożenia dla człowieka [4].

W artykule pokazano, jak wygląda całkowite pole magnetyczne w obszarze zewnętrznym i wewnętrznym oraz w ekranie dwubiegunowego bifilarnego toru wielkoprądownego, gdy zmieniana będzie grubość ścianki ekranu o konduktywności  $\gamma_2$ , promieniu wewnętrznym  $R_3$  i zewnętrznym  $R_4$  (rys. 1).

---

\* Politechnika Częstochowska.

Rys. 1. Dwuprzewodowy ekranowany tor wielkoprowodowy z prądami  $I_2 = -I_1 = -I$ 

## 2. CAŁKOWITE POLE MAGNETYCZNE W OBSZARZE ZEWNĘTRZNYM EKRANU

W przypadku ekranowanej bifilarnej linii ( $I_2 = -I_1 = -I$ ) z izolowaną osłoną pole magnetyczne w obszarze zewnętrznym ekranu określone jest wzorem [5]

$$\underline{H}^{zew}(\underline{r}, \Theta) = \underline{H}_1^{zew}(\underline{r}, \Theta) + \underline{H}_2^{zew}(\underline{r}, \Theta) \quad (2)$$

Wprowadzono względną grubość ekranu

$$\beta = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{przy czym} \quad (0 \leq \beta \leq 1) \quad (3)$$

zmienną względną  $\xi = \frac{r}{R_4}$  i parametr  $\lambda = \frac{d}{R_3}$ , to wzory na składowe względne

pola magnetycznego  $\underline{H}_1^{zew}(\underline{r}, \Theta)$  w obszarze zewnętrznym ekranu ( $r \geq R_4$ ) dwuprzewodowego ekranowanego toru wielkoprowodowego mają postać [5]:

$$\underline{h}_{1r}^{zew}(\xi, \Theta) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\beta} \frac{s_n}{\underline{d}_n} \frac{\lambda^n}{\xi^{n+1}} \sin n\Theta \quad (4)$$

oraz

$$\underline{h}_{1\theta}^{zew}(\xi, \Theta) = \frac{1}{\xi} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\beta} \frac{s_n}{\underline{d}_n} \frac{\lambda^n}{\xi^{n+1}} \cos n\Theta \quad (5)$$

zaś składowe względne pola  $\underline{H}_2^{zew}(r, \Theta)$  mają postać

$$\underline{h}_{2r}^{zew}(\xi, \Theta) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{\beta} \frac{\underline{s}_n}{\underline{d}_n} \frac{\lambda^n}{\xi^{n+1}} \sin n\Theta \quad (6)$$

oraz

$$\underline{h}_{2\Theta}^{zew}(\xi, \Theta) = -\frac{1}{\xi} - \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{1}{\beta} \frac{\underline{s}_n}{\underline{d}_n} \frac{\lambda^n}{\xi^{n+1}} \cos n\Theta \quad (7)$$

gdzie

$$\underline{s}_n = I_{n-1}(\sqrt{2j}\alpha) K_{n+1}(\sqrt{2j}\alpha) - I_{n+1}(\sqrt{2j}\alpha\beta) K_{n-1}(\sqrt{2j}\alpha) \quad (8)$$

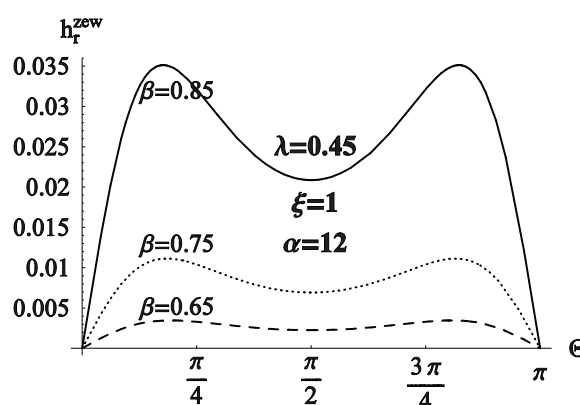
oraz

$$\underline{d}_n = I_{n-1}(\sqrt{2j}\alpha) K_{n+1}(\sqrt{2j}\alpha\beta) - I_{n+1}(\sqrt{2j}\alpha\beta) K_{n-1}(\sqrt{2j}\alpha) \quad (9)$$

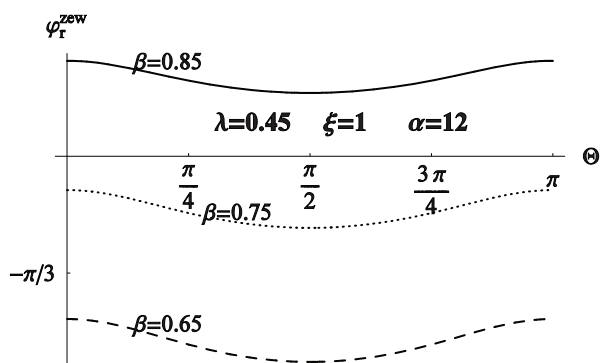
W powyższych wzorach  $I_{n-1}(\sqrt{2j}\alpha)$ ,  $K_{n-1}(\sqrt{2j}\alpha)$ ,  $I_{n+1}(\sqrt{2j}\alpha\beta)$ ,  $K_{n+1}(\sqrt{2j}\alpha\beta)$  są zmodyfikowanymi funkcjami Bessela odpowiednio pierwszego i drugiego rodzaju, rzędu  $n-1$  oraz  $n+1$ , a  $\alpha = kR_4$  dla  $k = \sqrt{\frac{\omega\mu\gamma}{2}} = \frac{1}{\delta}$  [6].

### 3. WPŁYW ZMIANY GRUBOŚCI EKRANU NA POLE MAGNETYCZNE W OBSZARZE ZEWNĘTRZNYM EKRANU

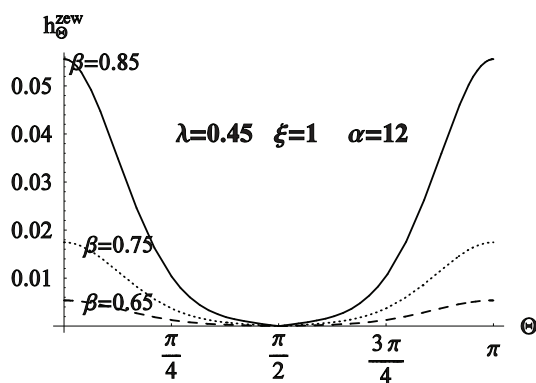
Rozkład składowych względnych tego pola dla różnych wartości parametru  $\beta$  przedstawiamy na rysunkach 2, 3, 4 i 5.



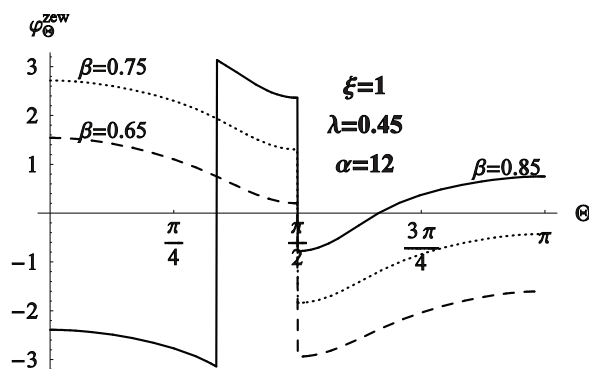
Rys. 2. Rozkład względnych wartości modułu składowej promieniowej całkowitego pola magnetycznego w obszarze zewnętrznym ekranu linii bifilarnej



Rys. 3. Rozkład względnych wartości argumentu składowej promieniowej całkowitego pola magnetycznego w obszarze zewnętrznym ekranu linii bifilarnej

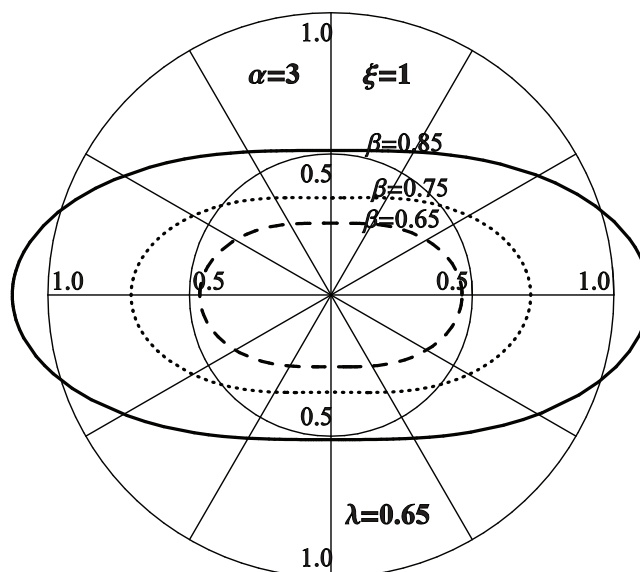


Rys. 4. Rozkład względnych wartości modułu składowej stycznej całkowitego pola magnetycznego w obszarze zewnętrznym ekranu linii bifilarnej



Rys. 5. Rozkład względnych wartości argumentu składowej stycznej całkowitego pola magnetycznego w obszarze zewnętrznym ekranu linii bifilarnej

Rozkład modułu całkowitego pola magnetycznego w obszarze zewnętrznym ekranu dla różnych wartości parametru  $\beta$  w funkcji kąta  $\theta$  przedstawiamy na rysunku 6.



Rys. 6. Rozkład względnej wielkości modułu całkowitego pola magnetycznego w obszarze zewnętrznym ekranu dla różnych wartości parametru  $\beta$

#### 4. WNIOSKI

Wprowadzenie parametrów  $\beta$ ,  $\alpha$  oraz  $\lambda$  i zmiennej względnej  $\xi$  dla ekranu, umożliwia przedstawienie otrzymanych wzorów na zespolone składowe i moduły natężenia pola magnetycznego ekranowanego dwuprzewodowego toru wieloprądowego w postaciach ogólnych, niezależnych od konkretnych wartości kondukcyjności, wymiarów poprzecznych i wzajemnego położenia przewodów i osłony oraz częstotliwości prądów fazowych. Umożliwia to również ogólną analizę i wizualizację modułów i argumentów tego pola w postaci wykresów jako funkcji zmiennych względnych, kąta  $\theta$  lub wyżej wymienionych parametrów dla ustalonych wartości zmiennej lub ustalonych wartości odpowiednich parametrów (rys. 2, 3, 4 i 5).

Otrzymane rozwiązania są wyrażone przez szeregi ze zmodyfikowanymi funkcjami Bessela i uwzględniają zjawisko naskórkowości oraz wewnętrzne i zewnętrzne zjawiska zbliżenia. Są one ważne w zakresie częstotliwości pozwalającej na pominięcie prądów przesunięcia. Z przedstawionego rozkładu całkowitego pola magnetycznego w obszarze zewnętrznym ekranu

w dwuprzewodowym osłoniętym torze wielkopiędowym wynika, że w miarę wzrostu grubości ścianki ekranu (mniejsza wartość parametru  $\beta$ ) pole magnetyczne staje się coraz bardziej nierównomierne. Ponadto, jeśli zwroty prądów są przeciwne, obserwujemy wtedy charakterystyczne zjawisko wciągania pola magnetycznego do środka układu dwuprzewodowego (rys. 6).

### LITERATURA

- [1] Nawrowski R.: Tory wielkopiędowe izolowane powietrzem lub SF<sub>6</sub>, Wyd. Pol. Poznańskiej, Poznań 1998.
- [2] Jabłoński P.: Approximate BEM Analysis of a Thin Electromagnetic Shield of Variable Thickness, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097-6106, R. 88, Nr 3a/2012, ss. 61-63.
- [3] Piątek Z., Kusiak D., Szczegielniak T: Eliptyczne pole magnetyczne w torach wielkopiędowych, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 86 NR 4/2010, s.101-106.
- [4] Piątek Z.: Modelowanie linii, kabli i torów wielkopiędowych, Seria Monografie nr 130, Wyd. Pol. Częst., Częstochowa 2007.
- [5] Kusiak D.: Pole magnetyczne dwu i trójbiegunowych torów wielkopiędowych, Rozprawa doktorska, Pol. Częst., Wyd. El., Częstochowa 2008.
- [6] Mc Lachlan N.W.: Funkcje Bessela dla inżynierów, PWN, Warsaw 1964.

*Praca ta jest finansowana przez Narodowe Centrum Nauki jako projekt badawczy  
N N511 312540.*

### **THE IMPACT OF THE SCREEN THICKNESS ON THE TOTAL MAGNETIC FIELD OF A TWO-CONDUCTOR BIFILAR HIGH-CURRENT BUSDUCT. PART I – THE EXTERNAL AREA OF THE SCREEN**

In the paper shown the impact of the screen thickness on the total magnetic field of a two-conductor bifilar busduct in the screen and its immediate vicinity. The resultant magnetic field in the high-current busduct of this type has two components of different amplitudes and initial phases. As a consequence this field is elliptical. This phenomenon has been described with the formulas relevant to the relative values of the field and the parameters allowing the frequency, conductivity, and the cross-section dimensions of screen. Into account was taken skin, internal and external proximity effects. Part I describes of magnetic field in the external area of the screen.