ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: ELEKTRYKA z. 75 Nr kol. 681

Stanisław HANDZLIK

Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki

FUNKCJA PRZETWARZANIA KIERUNKOWEGO CZUJNIKA GRADIENTU POTENCJAŁU WOLNOZMIENNEGO POLA ELEKTRYCZNEGO

Streszczenie. W artykule wyprowadzono przybliżoną funkcję przetwarzania kierunkowego czujnika gradientu potencjału pola elektrycznego niejednorodnego, sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości 50 Hz Udowodniono, że prąd czujnika umieszczonego w tym polu jest proporcjonalny do gradientu potencjału w kierunku zorientowania czujnika.

1. Wstęp

Znane są metody pomiaru potencjału i natężenia pola elektrycznego, wolnozmiennego, występującego przy powierzchni ziemi w otoczeniu różnych urządzeń energetycznych najwyższych napięć [1], [2], [3]. Prace w tym kierunku doprowadziły do opracowania metody kierunkowego pomiaru gradientu potencjału pola elektrycznego, niejednorodnego, sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości 50 Hz, występującego przy powierzchni ziemi. Metoda ta polega na umieszczeniu w określonym punkcie pola kierunkowego czujnika gradientu potencjału i pomiarze prądu tego czujnika. Czujnik składa się z dwóch półkulistych czasz o powierzchniach przewodzących, izolowanych względem siebie i podpartych drążkiem izolacyjnym. Jeżeli czasze zostaną połączone przewodem o rezystancji $R = 0$ i umieszczone w rozważanym polu elektrycznym, to pod wpływem przemieszczania się ładunków indukowanych przez pole w przewodzie łączącym popłynie prąd elektryczny.

W opracowaniu tym założono, że podpora izolacyjna czujnika wykonana jest z materiału o przenikalności dielektrycznej $\varepsilon = 1$ i wyprowadzono pierwsze przybliżenie funkcji przetwarzania czujnika. Udowodniono, że dla dowolnej orientacji czujnika w polu elektrycznym (rys. 1) prąd w przewodzie łączącym czasze jest proporcjonalny do gradientu potencjału tego pola w kierunku zorientowania czujnika.

2. Funkcja przetwarzania czujnika

Rozpatruje się niejednorodne pole elektryczne, sinusoidalnie zmienne o częstotliwości 50 Hz. Założono, że w każdym punkcie pola dany jest rozkład potencjału w postaci funkcji analitycznej (1), spełniającej równanie Laplace'a

$$v_o(\alpha,t) = \sqrt{2}\, V_o(\alpha)\sin\left[\omega t + \varphi(\alpha)\right] \qquad (1)$$

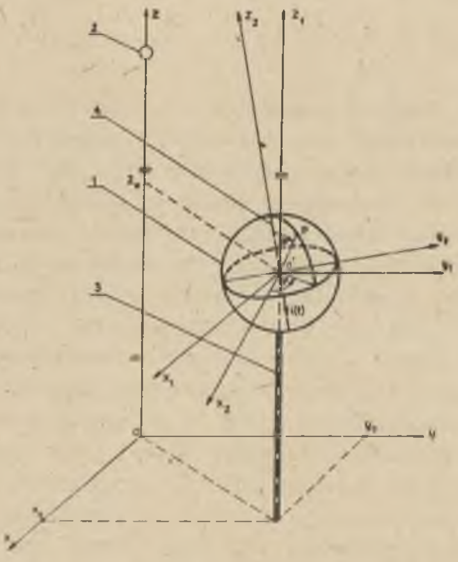
oraz że kąt przesunięcia fazowego $\varphi(\alpha)$ we wzorze (1) nie zależy od współrzędnych, tzn.

$$\varphi(\alpha) = \text{const.}$$

gdzie:

α – współrzędne (x,y,z) punktu w prostokątnym układzie współrzędnych,

$V_o(\alpha)$ – wartość skuteczna potencjału w punkcie o współrzędnych $(x,y,z) = \alpha$.



Rys. 1. Kierunkowy czujnik gradientu potencjału w polu elektrycznym linii jednoprzewodowej

1 – czujnik, 2 – linia jednoprzewodowa, 3 – podpora izolacyjna czujnika, 4 – przewód łączący czasze czujnika

W polu tym umieszczono kierunkowy czujnik gradientu potencjału. Aby wyznaczyć prąd płynący w przewodzie czujnika należy znaleźć funkcję potencjału pola elektrycznego w otoczeniu czujnika i na tej podstawie określić ładunek indukowany na jego powierzchni, po umieszczeniu go w rozważanym polu elektrycznym. Zgodnie z założeniem, funkcja rozkładu potencjału określona wzorem (1) jest analityczna, posiada pochodne dowolnego rzędu i jest rozwijalna w szereg Taylora wokół dowolnego punktu pola [4]. Wobec tego można napisać

$$v_0(\alpha,t) = v_0(\alpha_0,t) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k!}\left[\frac{\partial v_0(\alpha,t)}{\partial x}(x - x_0) + \frac{\partial v_0(\alpha,t)}{\partial y}(y - y_0) + \frac{\partial v_0(\alpha,t)}{\partial z}(z - z_0)\right]^{(k)}_{\alpha=\alpha_0}, \tag{2}$$

gdzie $\alpha_0 = (x_0,y_0,z_0)$ oznacza współrzędne punktu, w którym odbywa się pomiar gradientu potencjału w danym kierunku

$$\left[\frac{\partial v_0(\alpha,t)}{\partial x}(x - x_0) + \frac{\partial v_0(\alpha,t)}{\partial y}(y - y_0) + \frac{\partial v_0(\alpha,t)}{\partial z}(z - z_0)\right]^{(k)}$$

– jest różniczką zupełną k-tego rzędu funkcji danej wzorem (1).

Dla dalszych rozważań wprowadzono przesunięcie i obrót układu współrzędnych (x,y,z) tak, aby oś Oz pokryła się z osią symetrii czujnika. Stosując oznaczenia z rys. 1, otrzymano [4]

$$\begin{aligned} x - x_0 &= x_1 = x_2\alpha_1 + y_2\alpha_2 + z_2\alpha_3,\\ y - y_0 &= y_1 = x_2\beta_1 + y_2\beta_2 + z_2\beta_3,\\ z - z_0 &= z_1 = x_2\gamma_1 + y_2\gamma_2 + z_2\gamma_3, \end{aligned} \tag{3}$$

gdzie:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \cos\sphericalangle(x_1,x_2) & \beta_1 &= \cos\sphericalangle(y_1,x_2) & \gamma_1 &= \cos\sphericalangle(z_1,x_2),\\ \alpha_2 &= \cos\sphericalangle(x_1,y_2) & \beta_2 &= \cos\sphericalangle(y_1,y_2) & \gamma_2 &= \cos\sphericalangle(z_1,y_2),\\ \alpha_3 &= \cos\sphericalangle(x_1,z_2) & \beta_3 &= \cos\sphericalangle(y_1,z_2) & \gamma_3 &= \cos\sphericalangle(z_1,z_2). \end{aligned}$$

Na podstawie wzorów (2) i (3) funkcja potencjału rozpatrywanego pola elektrycznego, przed umieszczeniem w tym polu czujnika gradientu potencjału, ma postać

$$v_0(\alpha,t) = v_0(\alpha_0,t) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k!}(Ax_2 + By_2 + Cz_2)^{(k)}, \tag{5}$$

gdzie:

$$A = \left[\frac{\partial v_o(\alpha,t)}{\partial x}\alpha_1 + \frac{\partial v_o(\alpha,t)}{\partial y}\beta_1 + \frac{\partial v_o(\alpha,t)}{\partial z}\gamma_1\right]_{\alpha=\alpha_o}$$

$$B = \left[\frac{\partial v_o(\alpha,t)}{\partial x}\alpha_2 + \frac{\partial v_o(\alpha,t)}{\partial y}\beta_2 + \frac{\partial v_o(\alpha,t)}{\partial z}\gamma_2\right]_{\alpha=\alpha_o},$$

$$C = \left[\frac{\partial v_o(\alpha,t)}{\partial x}\alpha_3 + \frac{\partial v_o(\alpha,t)}{\partial y}\beta_3 + \frac{\partial v_o(\alpha,t)}{\partial z}\gamma_3\right]_{\alpha=\alpha_o}.$$

Wprowadzając następnie kulisty układ współrzędnych, otrzymano [5]

$$v_o(r,\vartheta,\varphi,t) = v_o(\alpha_o,t) + \sum_{k=1}^{\infty}\frac{r^k}{k!}\left[A\sin\vartheta\cos\varphi + B\sin\vartheta\sin\varphi + C\cos\vartheta\right]^{(k)},$$

bo:

$x_2 = r\sin\vartheta\cos\varphi,$

$y_2 = r\sin\vartheta\sin\varphi,$

$z_2 = r\cos\vartheta,$

Chcąc znaleźć wyrażenie na wypadkowy potencjał $v(r,\vartheta,\varphi,t)$ w otoczeniu czujnika umieszczonego w rozpatrywanym polu elektrycznym, w punkcie o współrzędnych $\alpha_o = (x_o,y_o,z_o)$, należy uwzględnić superpozycję potencjału pola $v_o(r,\vartheta,\varphi,t)$ danego wzorem (7) oraz potencjałów $v_1(r,\vartheta,\varphi,t)$ i $v_2(r,\vartheta,\varphi,t)$ wynikających z istnienia na powierzchni czujnika ładunków indukowanych przez to pole.
W wyniku tej superpozycji otrzymano [5]

$$v(r,\vartheta,\varphi,t) = v_o(r,\vartheta,\varphi,t) + v_1(r,\vartheta,\varphi,t) \quad \text{dla} \quad r \leqslant r_o \tag{8}$$

$$v(r,\vartheta,\varphi,t) = v_o(r,\vartheta,\varphi,t) + v_2(r,\vartheta,\varphi,t) \quad \text{dla} \quad r \geqslant r_o \tag{9}$$

gdzie:

r_o – promień półkulistych czasz czujnika (rys. 1),

$v_1(t,\vartheta,\varphi,t)$ – składowa potencjału wewnątrz czujnika,

$v_2(r,\vartheta,\varphi,t)$ – składowa potencjału na zewnątrz czujnika.

Rozpatrywane, wypadkowe pole elektryczne jest wolnozmienne. Pozwala to zaniedbać efekt wynikający ze skończonej prędkości rozchodzenia się oddziaływań. Ponieważ potencjał $v_o(r,\vartheta,\varphi,t)$ spełnia równanie Laplace'a, więc wypadkowy potencjał $v(r,\vartheta,\varphi,t)$ wewnątrz i na zewnątrz powierzchni czujnika spełnia również to równanie.

W związku z tym zachodzi

$$\nabla^2 v(r,\vartheta,\varphi,t) = 0 \quad \text{dla} \quad r \leqslant r_0, \tag{10}$$

$$\nabla^2 v(r,\vartheta,\varphi,t) = 0 \quad \text{dla} \quad r \geqslant r_0. \tag{11}$$

Rozwiązując te równania, otrzymuje się wyrażenia:

$$v(r,\vartheta,\varphi,t) \quad \text{dla} \quad r \leqslant r_e \quad \text{i} \quad r \geqslant r_e.$$

Ponieważ na powierzchni czujnika składowa styczna wektora natężenia pola elektrycznego jest równa zeru, a przy przejściu przez powierzchnię naładowaną zachowuje ciągłość, należy więc rozwiązać równanie (10) i (11) przy następujących warunkach brzegowych:

$$v_1(r,\vartheta,\varphi,t) = v_2(r,\vartheta,\varphi,t), \tag{12a}$$

$$\frac{\partial}{\partial\vartheta}\left[v_0(r,\vartheta,\varphi,t) + v_1(r,\vartheta,\varphi,t)\right] = \frac{\partial}{\partial\vartheta}\left[v_0(r,\vartheta,\varphi,t) + v_2(r,\vartheta,\varphi,t)\right] = 0, \tag{12b}$$

$$\frac{\partial}{\partial\varphi}\left[v_0(r,\vartheta,\varphi,t) + v_1(r,\vartheta,\varphi,t)\right] = \frac{\partial}{\partial\varphi}\left[v_0(r,\vartheta,\varphi,t) + v_2(r,\vartheta,\varphi,t)\right] = 0, \tag{12c}$$

dla $r = r_0$.
Aby równania (10) i (11) były spełnione, muszą być spełnione na podstawie (8) i (9) następujące równania

$$\nabla^2 v_1(r,\vartheta,\varphi,t) = 0, \tag{13}$$

$$\nabla^2 v_2(r_1\vartheta,\varphi,t) = 0. \tag{14}$$

Stosując metodę rozdzielenia zmiennych, otrzymano [6] następujące rozwiązania równań (13) i (14):

$$v_1(r,\vartheta,\varphi,t) = \sum_{m,n} (a_{m,n}\cos m\varphi + b_{m,n}\sin m\varphi) r^n \, P_n^m(\cos\vartheta), \tag{15}$$

$$v_2(r,\vartheta,\varphi,t) = \sum_{m,n} (c_{m,n}\cos m\varphi + d_{m,n}\sin m\varphi) \frac{1}{r^{n+1}} P_n^m(\cos\vartheta) \tag{16}$$

Funkcje $P_n^m(\cos\vartheta)$ dla m,n należących do zbioru liczb naturalnych są stowarzyszonymi funkcjami Legendre'a I rodzaju [5]. Korzystając z tablic [7] tych funkcji wyrażenia (15) i (16) otrzymuje się

$$v_1(r,\vartheta,\varphi,t) = a_{00} + a_{01}\, r\cos\vartheta + \frac{1}{4}\, a_{02} r^2 (3\cos 2\vartheta + 1) +$$

$$+ \frac{1}{8}\, a_{03} r^3 (5\cos 3\vartheta + 3\cos\vartheta) - (a_{11}\cos\varphi + b_{11}\sin\varphi) r\sin\vartheta -$$

$$- \frac{3}{2}\, (a_{12}\cos\varphi + b_{12}\sin\varphi) r^2 \sin 2\vartheta - \frac{3}{8}\, (a_{13}\cos\varphi +$$

$$+ b_{13}\sin\varphi) r^3 (\sin\vartheta + 5\sin 3\vartheta) + \ldots +$$

$$+ (a_{m,n}\cos m\varphi + b_{m,n}\sin m\varphi) r^n P_n^m(\cos\vartheta) + \ldots \tag{17}$$

$$v_2(r,\vartheta,\varphi,t) = \frac{c_{00}}{r} + \frac{c_{01}}{r^2}\cos\vartheta + \frac{1}{4}\,\frac{c_{02}}{r^3}\,(3\cos 2\vartheta + 1) +$$

$$+ \frac{1}{8}\,\frac{c_{03}}{r^4}\,(5\cos 3\vartheta + 3\cos\vartheta) - (c_{11}\cos\varphi + d_{11}\sin\varphi)\,\frac{1}{r^2}\,\cdot$$

$$\cdot\, \sin\vartheta - \frac{3}{2}\,(c_{12}\cos\varphi + d_{12}\sin\varphi)\,\frac{1}{r^3}\,\sin 2\vartheta -$$

$$- \frac{3}{8}\,(c_{13}\cos\varphi + d_{13}\sin\varphi)\,\frac{1}{r^4}\,(\sin\vartheta + 5\sin 3\vartheta) + \ldots$$

$$+ (c_{m,n}\cos m\varphi + d_{m,n}\sin m\varphi)\,\frac{1}{r^{n+1}}\,(\cos\vartheta) + \ldots \tag{18}$$

Dla wyznaczenia współczynników $a_{m,n}, b_{m,n}, c_{m,n}, d_{m,n}$ należy uwzględnić warunki brzegowe (12). W tym celu dla uproszczenia obliczeń, założono, że potencjał $v_0(r,\vartheta,\varphi,t)$ dany wzorem (7) ma postać

$$v_0(r,\vartheta,\varphi,t) = v_0(\alpha_0,t) + r(A\sin\vartheta\cos\varphi + B\sin\vartheta\sin\varphi + C\cos\vartheta). \tag{19}$$

Uwzględniając (19) oraz (17), (18) i (12), wyznaczono

$a_{00} = 0,\ a_{01} = -C,\ a_{02} = 0,\ a_{03} = 0,\ a_{11} = A,\ a_{12} = 0,\ a_{13} = 0,$
$b_{11} = B,\ b_{12} = 0,\ b_{13} = 0,\ c_{00} = 0,\ c_{01} = -Cr_o^3,\ c_{02} = 0,\ c_{03} = 0$
$c_{11} = Ar_o^3,\ c_{12} = 0,\ c_{13} = 0,\ d_{11} = Br_o^3,\ d_{12} = 0,\ d_{13} = 0.$

Podstawiając wyznaczone stałe do wzorów (17) i (18), otrzymano następujące rozwiązania równań (13) i (14):

$$v_1(r,\vartheta,\varphi,t) = -Ar\sin\vartheta\cos\varphi - Br\sin\vartheta\sin\varphi - Cr\cos\vartheta. \tag{20}$$

$$v_2(r,\vartheta,\varphi,t) = -A\frac{r_o^3}{r^2}\sin\vartheta\cos\varphi - B\frac{r_o^3}{r^2}\sin\vartheta\sin\varphi - C\frac{r_o^3}{r^2}\cos\vartheta \quad (21)$$

Uwzględniając wzory (8) i (20) oraz (9) i (21), otrzymano wyrażenia na wypadkowy potencjał elektryczny w otoczeniu kierunkowego czujnika gradientu potencjału, po umieszczeniu go w polu elektrycznym o potencjale określonym wzorem (19). Wyrażenia te posiadają następującą postać:

$$v(r,\vartheta,\varphi,t) = v_o(x_o,y_o,z_o t) \quad \text{dla} \quad r \leqslant r_o$$

$$v(r,\vartheta,\varphi,t) = v_o(x_o,y_o,z_o,t) + (r - \frac{r_o^3}{r^2})(A\sin\vartheta\cos\varphi +$$

$$+ B\sin\vartheta\sin\varphi + C\cos\vartheta) \quad \text{dla} \quad r \geqslant r_o. \quad (22)$$

Ze wzorów (22) wynika, że wypadkowy potencjał wewnątrz czujnika ma wartość stałą, niezależną od współrzędnych (x,y,z), natomiast na zewnątrz zależy od odległości r względem jego środka oraz od współczynników A,B,C określonych wzorami (5). Znając wypadkowy potencjał w otoczeniu czujnika umieszczonego w rozważanym polu elektrycznym, można określić gęstość powierzchniową ładunków indukowanych na powierzchni czujnika przez to pole. Gęstość powierzchniową ładunków można określić stosując wzór [5]

$$\sigma(r_o,\vartheta,\varphi,t) = \varepsilon_o \left.\frac{\partial v(r,\vartheta,\varphi,t)}{\partial r}\right|_{r=r_o} \quad (23)$$

Na podstawie wyrażenia (22) otrzymuje się

$$\sigma(r_o,\vartheta,\varphi,t) = 3\varepsilon_o(A\sin\vartheta\cos\varphi + B\sin\vartheta\sin\varphi + C\cos\vartheta). \quad (24)$$

Całkowity ładunek indukowany na jednej z czasz czujnika można obliczyć w następujący sposób

$$q(t) = \iint_S \sigma(r_o,\vartheta,\varphi,t)\, ds. \quad (25)$$

gdzie:
  ds - element powierzchni czaszy,
  s - powierzchnia jednej czaszy.

Przy obliczaniu tej całki należy uwzględnić [6], że

$$ds = r_o^2\sin\vartheta d\varphi d\vartheta$$

a granice całkowania wynoszą:

$$\vartheta = (0 - \tfrac{\pi}{2}),$$

$$\varphi = (0 - 2\pi).$$

W wyniku tego oraz uwzględniając zależność (5), otrzymano ostateczne wyrażenia na całkowity ładunek wyindukowany przez zmienne pole elektryczne na jednej z czasz czujnika

$$q(t) = 3\pi\varepsilon_0 r_0^2 \left[\frac{\partial v_0(\alpha,t)}{\partial x}\alpha_3 + \frac{\partial v_0(\alpha,t)}{\partial y}\beta_3 + \frac{\partial v_0(\alpha,t)}{\partial z}\gamma_3\right]_{\alpha=\alpha_0}. \quad (26)$$

Przewód łączący czasze umożliwia przemieszczanie się ładunków między czaszami, czyli umożliwia przepływ prądu. Prąd ten można określić na podstawie równania ciągłości prądu

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}. \quad (27)$$

Ponieważ założono, że $\varphi(\alpha) = \mathrm{const.}$ (wzór 1), więc ostatecznie uwzględniając zależność (1), otrzymano

$$i(t) = -3\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 r_0^2\omega \left[\frac{\partial V_0(\alpha)}{\partial x}\alpha_3 + \frac{\partial V_0(\alpha)}{\partial y}\beta_3 + \frac{\partial V_0(\alpha)}{\partial z}\gamma_3\right]_{\alpha=\alpha_0} \cos\left[\omega t + \varphi(\alpha)\right] \quad (28)$$

Wartość skuteczna tego prądu wynosi

$$I = 3\pi\varepsilon_0 r_0^2\omega \left[\frac{\partial V_0(\alpha)}{\partial x}\alpha_3 + \frac{\partial V_0(\alpha)}{\partial y}\beta_3 + \frac{\partial V_0(\alpha)}{\partial z}\gamma_3\right]_{\alpha=\alpha_0}. \quad (29)$$

Analizując wzór (29) można zaobserwować, że wartość skuteczna prądu czujnika jest proporcjonalna do pochodnej kierunkowej potencjału, a więc jest proporcjonalna do gradientu potencjału rozpatrywanego pola elektrycznego w kierunku zorientowania czujnika w tym polu. Równanie (29) jest funkcją przetwarzania kierunkowego czujnika gradientu potencjału pola elektrycznego niejednorodnego, sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości 50 Hz. Jest to pierwsze przybliżenie tej funkcji ze względu na założenie wyrażone wzorem (19) i (1).

3. Wnioski

Przeprowadzona analiza pozwoliła określić przybliżoną funkcję przetwarzania kierunkowego czujnika gradientu potencjału pola elektrycznego, niejednorodnego, sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości 50 Hz (wzór 29). Wynika z niej, że wartość skuteczna prądu płynącego w przewodzie czujnika jest proporcjonalna do gradientu potencjału pola w kierunku zorientowania czujnika, występującego w danym punkcie pola, przed umieszczeniem w nim kierunkowego czujnika gradientu potencjału. Rozumowanie przeprowadzono przy założeniu, że pole elektryczne jest niejednorodne, sinusoidalnie zmienne a potencjał tego pola jest dany w postaci przybliżonej (19) oraz że faza tego potencjału $\varphi(\alpha)$ (wzór 1) jest funkcją niezależną od współrzędnych, tzn. $\varphi(\alpha)$ = const. Wyniki przeprowadzonej analizy mogą być podstawą do projektowania układu pomiarowego, umożliwiającego kierunkowy pomiar gradientu potencjału sinusoidalnie zmiennego pola elektrycznego.

LITERATURA

[1] Raport on results of electric field measurements made by members and quests of CIGRE Working Group 36-01. Arnhem, april 1976.

[2] BARON B.: Analiza błędu systematycznego sondy kulowej do pomiaru natężenia pola elektrycznego pod liniami przesyłowymi, trójfazowymi. Zeszyty Naukowe Polit. Śl., Elektryka z. 64, Gliwice 1979.

[3] GROSZKO M.: Eksperymentalne metody badań parametrów pola elektrycznego. Energopomiar - Gliwice 1971.

[4] LEJA F.: Geometria analityczna. PWN, Warszawa 1966.

[5] SZULKIN P., POGORZELSKI S.: Podstawy teorii pola elektromagnetycznego. WNT, Warszawa 1964.

[6] KRZYŻAŃSKI M.: Równania różniczkowe cząstkowe rzędu drugiego. PWN, Warszawa 1957.

[7] RYŻYK M., GRADSZTEJN S.: Tablice całek, sum, szeregów i iloczynów. PWN, Warszawa 1964.

Wpłynęło do Redakcji w maju 1980

Recenzent:
Prof. dr Maciej Krakowski

ФУНКЦИЯ ПРЕВРАЩЕНИЯ ФУНКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДАТЧИКА ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО, НЕОДНОРОДНОГО, СИНУСОИДАЛЬНО ПЕРЕМЕННОГО ПОЛЯ ЧАСТОТОЙ 50 ГЦ

Р е з ю м е

В статье выведена приближенная функция преобразования направления датчика градиента потенциала электрического, неоднородного, синусоидально переменного поля частотой 50 гц. Доказано, что ток датчика, расположено в этом поле пропорционалне градиенты потенциала в направлении ориентирования датчика.

CONVERSION FUNCTION OF THE DIRECTIONAL GAUGE OF THE SLOW ALTERNATING ELECTRIC FIELD POTENTIAL GRADIENT

S u m m a r y

The paper presents the approximate conversion function of the directional gauge of the nonuniform sinusoidal 50 Hz electric field potencial gradient. The current of the gauge placed in that field was proved to be proportional to the potential gradient in the direction of the gauge orientation.