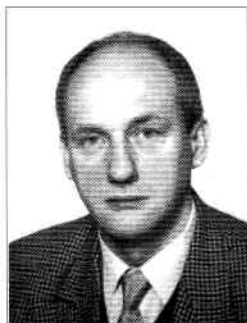


Jan SZCZYGLÓWSKI
 INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI
 POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA

Wyznaczanie przenikalności magnetycznej materiałów amorficznych i nanokrystalicznych



Dr inż. Jan Szczygłowski – Wydział Elektryczny Politechniki Wrocławskiej ukończył w 1975 roku. Doktoryzował się na tym wydziale w 1985 roku. Zajmuje się badaniem oraz zastosowaniem nowoczesnych materiałów dielektrycznych i magnetycznych. Opublikował w tej dziedzinie 30 prac naukowych. Od 1993 roku jest kierownikiem Zakładu Inżynierii Materiałów Elektroenergetycznych wchodzącego w skład Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Częstochowskiej.

Przedstawiono sposób określania przenikalności magnetycznej próbek pierścieniowych, wykonanych z materiałów amorficznych i nanokrystalicznych, dla których jest utrudnione spełnienie wymagań normy IEC, aby stosunek promienia zewnętrznego do promienia wewnętrznego badanej próbki pierścieniowej był mniejszy lub równy 1,1. Dla tego przypadku proponuje się, aby pole magnetyczne w próbce wyznaczać jako wartość średnią funkcji $H(R)$ w przedziale od R_1 do R_2 . W pracy określono również błąd wynikający z zastąpienia średniej drogi magnetycznej średnią drogą geometryczną przy wyznaczaniu przenikalności magnetycznej zgodnie z normą IEC.

ABSTRACT

The method of measuring magnetic permeability for amorphous and nanocrystalline ribbons is presented. According to the IEC norm the rate between inside and outside diameters of the samples should be less or equal 1,1 at the requirement by equipment mass of the samples. The sample made of amorphous or nanocrystalline materials could not comply with this requirement because very thin. For this reason for the calculation, the magnetic field inside sample has been taken as average values of the function $H(R)$ in $\langle R_1, R_2 \rangle$ range.

Wprowadzenie

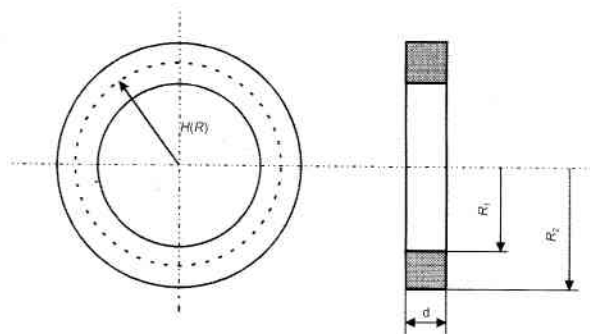
Przy wyznaczaniu przenikalności magnetycznej materiałów magnetycznych w postaci próbek pierścieniowych norma IEC zaleca, aby stosunek promienia zewnętrznego do wewnętrznego próbki był mniejszy lub równy 1,1. Możliwe jest wówczas zastąpienie średniej drogi magnetycznej strumienia magnetycznego w próbce średnią drogą geometryczną, a co za tym idzie wykorzystanie prostych relacji pomiędzy przenikalnością a mierzonymi sygnałami pomiarowymi przy błędzie mniejszym niż 1% [1]. W przypadku materiałów amorficznych i nanokrystalicznych spełnienie tego warunku jest utrudnione ze względu na fakt, że materiały amorficzne oraz nanokrystaliczne są produkowane w postaci taśm o niewielkiej grubości oraz szerokości w porównaniu z dotychczas produkowanymi materiałami krystalicznymi, co utrudnia uzyskanie próbek o odpowiednio dużych masach, wymaganych przez układ pomiarowy. Dla tego przypadku zaproponowano, aby przenikalność magnetyczną wyznaczać na podstawie wartości średniej natężenia pola magnetycznego w próbce, co eliminuje proponowane w normie zastąpienie średniej drogi magnetycznej strumienia magnetycznego średnią drogą geometryczną. W pracy określono również błąd wynikający z tego przybliżenia.

Przenikalność magnetyczna rdzeni pierścieniowych z materiałów amorficznych i nanokrystalicznych

Głównym problemem pojawiającym się przy wyznaczaniu przenikalności magnetycznej materiałów magnetycznych w postaci próbek pierścieniowych jest błąd wynikający z zastąpienia średniej drogi magnetycznej strumienia magnetycznego w próbce średnią drogą geometryczną. Zależy on od stosunku promienia zewnętrznego do promienia wewnętrznego próbki i jest tym większy, im stosunek ten jest większy [2, 3]. Zaproponowany w pracy [2] sposób wyznaczania przenikalności magnetycznej dla przypadku dowolnego R_1 oraz R_2 jest bardzo skomplikowany i wymaga obliczeń numerycznych, przez co w praktyce pomiarowej staje się mało przydatny.

Biorąc pod uwagę fakt, że spełnienie wymagań normy IEC, aby stosunek R_2/R_1 był mniejszy lub równy 1,1 jest utrudnione, szczególnie dla próbek z materiałów amorficznych i nanokrystalicznych, w prezentowanej pracy zaproponowano, aby przenikalność magnetyczną wyznaczać na podstawie średniej wartości natężenia pola magnetycznego w próbce.

Poniżej przedstawiono nowy sposób wyznaczania przenikalności magnetycznej dla próbki pierścieniowej, której schemat przedstawiono na rysunku 1, jak też określono błąd wynikający z zastąpienia we wzorze (1) na natężenie pola magnetycznego średniej drogi magnetycznej średnią drogą geometryczną.



Rys. 1. Schemat próbki pierścieniowej

Dla średniej drogi geometrycznej natężenie pola magnetycznego przyjmie postać:

$$H = \frac{Iz_1}{l_s} \quad (1)$$

gdzie:

I – natężenie prądu magnesującego próbkę,

z_1 – liczba zwojów cewki magnesującej,

l_s – średnia droga geometryczna strumienia magnetycznego w próbce $l_s = (R_1 + R_2) \pi$.

Indukcja magnetyczna jest liczona z zależności

$$B = \frac{U}{2\pi z_2 S f} \quad (2)$$

gdzie

U – napięcie indukowane w uzwojeniu pomiarowym o liczbie zwojów z_2 ,

S – pole przekroju rdzenia $S = (R_2 - R_1) d$,

d – grubość rdzenia,

f – częstotliwość.

Przenikalność magnetyczna jest wyrażona zależnością

$$\mu = \frac{B}{H\mu_0} \quad (3)$$

Z podstawienia (1) i (2) do (3) otrzymujemy przenikalność

$$\mu = \frac{U(R_1 + R_2)}{2fz_1z_2dI(R_2 - R_1)\mu_0} \quad (4)$$

odpowiadającą natężeniu pola liczonemu dla średniej drogi geometrycznej.

Przechodząc do rozważań związanych z uwzględnieniem średniej drogi magnetycznej, wykorzystuje się zależność natężenia pola magnetycznego od promienia R w postaci

$$H(R) = \frac{Iz_1}{2\pi R} \quad (5)$$

gdzie

R – promień.

Średnie natężenie pola magnetycznego w rdzeniu, wyznaczone na podstawie twierdzenia o wartości średniej funkcji w przedziale $\langle R_1, R_2 \rangle$ [4], wynosi

$$\hat{H} = \frac{1}{(R_2 - R_1)} \int_{R_1}^{R_2} H(R) dR$$

co daje

$$\hat{H} = \frac{Iz_1}{2\pi(R_2 - R_1)} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad (6)$$

Biorąc przenikalność magnetyczną odpowiadającą wartości średniej natężenia pola magnetycznego możemy napisać wyrażenie na strumień magnetyczny w rdzeniu

$$\phi = \mu_0 \hat{\mu} d \int_{R_1}^{R_2} H(R) dR = \frac{\mu \mu_0 d I z_1}{2\pi} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad (7)$$

Dzieląc (7) przez (6) otrzymujemy następujące wyrażenie

$$\frac{\phi}{\hat{H}} = \mu_0 \hat{\mu} d (R_2 - R_1) \quad (8)$$

Korzystając z zależności

$$\phi = \frac{U}{2\pi z_2 f} \quad (9)$$

$$\frac{\phi}{\hat{H}} = \frac{U(R_2 - R_1)}{I z_1 z_2 \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \quad (10)$$

Porównując następnie (8) i (10) otrzymujemy przenikalność magnetyczną

$$\hat{\mu} = \frac{U}{I z_1 z_2 f d \mu_0 \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \quad (11)$$

która odpowiada średniej drodze magnetycznej.

Analiza błędu

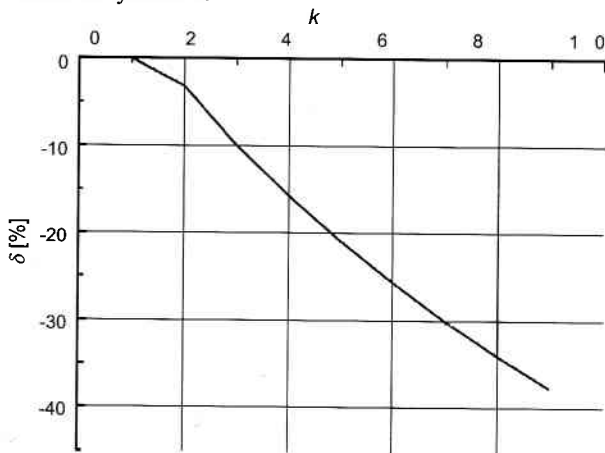
W celu oszacowania błędu, jaki popełnia się przyjmując zamiast średniej drogi magnetycznej średnią drogę geometryczną wyznaczono błąd względny δ ze wzoru

$$\delta = \frac{\hat{\mu} - \mu}{\hat{\mu}} 100\% \quad (12)$$

który po wprowadzeniu oznaczenia $k = \frac{R_2}{R_1}$ przyjmuje postać

$$\delta = \left(1 - \frac{k+1}{2(k-1)} \ln k\right) 100\% \quad (13)$$

Zależność wielkości błędu δ od współczynnika k przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zależność błędu δ od współczynnika k

Podsumowanie

W pracy przedstawiono sposób określania przenikalności magnetycznej próbek pierścieniowych wykonanych z materiałów amorficznych i nanokrystalicznych, dla których jest utrudnione spełnienie wymagań normy IEC, aby stosunek promienia zewnętrznego do promienia wewnętrznego badanej próbki pierścieniowej był mniejszy lub równy 1,1. Określono również błąd wynikający z zastąpienia średniej drogi magnetycznej średnią drogą geometryczną przy wyznaczaniu przenikalności magnetycznej zgodnie z normą IEC.

Autor składa podziękowanie Panu Prof. dr. hab. inż. Pawłowi Roliczowi za pomoc przy przygotowywaniu niniejszej pracy.

LITERATURA

- [1] IEC Publication 404-4, N63, 1991
- [2] T. NAKATA: An improved method for determining the dc magnetization curve using a ring specimen. *IEEE Trans. on Magn.* 1992 vol. 28, no. 5, str. 2456
- [3] K. WĘGRZYŃSKI: Praca dyplomowa. 1994.
- [4] Matematyka. WNT Warszawa 1995.