

XLVII OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP III

Zadanie doświadczalne

ZADANIE D1

Jedną z wielkości charakteryzujących magnetyczne własności materii jest różniczkowa przenikalność magnetyczna μ zdefiniowana wzorem:

$$\mu(B_0) = \frac{dB}{dB_0}.$$

gdzie B oznacza indukcję magnetyczną w cewce wypełnionej rdzeniem z danego materiału, a B_0 oznacza indukcję magnetyczną, która wystąpiłaby w tej samej cewce bez rdzenia, przy tym samym natężeniu prądu (B_0 jest proporcjonalna do prądu).

Wyznacz wartość μ ferrytu dla B_0 bliskiego zera.

Masz do dyspozycji:

- cewkę o znanej liczbie zwojów,
- walcowy pręt ferrytowy,
- drut miedziany w emalii z odizolowanymi końcówkami,
- linijkę,
- generator napięcia sinusoidalnego o częstotliwości $f = 10$ kHz i regulowanej amplitudzie,
- opornik o znanym oporze,
- woltomierz napięcia zmiennego,
- przewody elektryczne z końcówkami umożliwiającymi wykonanie połączeń elektrycznych w układzie doświadczalnym.

Uwagi:

- a) Załóż, że ferryt charakteryzuje się bardzo wąską pętlą histerezy i pole B jest jednoznacznie określone przez B_0 .
- b) Dla zmiennych pól magnetycznych w ferrycie zachodzi związek:

$$\frac{dB}{dt} = \mu(B_0) \frac{dB_0}{dt}.$$

ROZWIĄZANIE ZADANIA D1

Część teoretyczna

Rozwiązanie zadania polega na wykorzystaniu zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Na środku cewki dostarczonej przez organizatorów należało nawinąć dodatkowo, niewielką cewkę próbną (rys. 1). W sytuacji gdy przez

uzwojenie pierwotne (cewka główna) przepływa prąd przemienny, zgodnie z prawem Faraday'a w uzwojeniu wtórnym (cewka próbna) indukuje się napięcie

$$U_w = -n_w \frac{d\phi_B}{dt} \quad (1)$$

gdzie n_w - liczba zwojów w cewce próbnej, ϕ_B - strumień indukcji objęty przez uzwojenie wtórne. Strumień indukcji ϕ_B obejmowany przez cewkę próbną można łatwo wyznaczyć, gdy cewka główna jest dostatecznie długa i jednorodnie nawinięta. Cewki dostępne zawodnikom spełniały te warunki. Miały długość 10 cm, znacznie większą od średnicy wynoszącej 9 mm. Dlatego można było przyjąć, że w środkowej części cewki pole magnetyczne jest jednorodne i znika na zewnątrz (tak jak w nieskończonej długim solenoidzie) wobec czego

$$\phi_B = BS, \quad (2)$$

przy czym B oznacza indukcję, natomiast S oznacza pole powierzchni przekroju poprzecznego cewki głównej (prostopadłego do osi cewki). Po podstawieniu wyrażenia na ϕ_B do równania (1) i skorzystaniu ze wskazówki podanej w treści zadania dostajemy związek:

$$U_w = -n_w S \frac{dB}{dt} = -n_w S \mu(B_0) \frac{dB_0}{dt}. \quad (3)$$

Dla długiej cewki bez rdzenia, w jej środkowej części wartość indukcji magnetycznej B_0 wynosi w przybliżeniu

$$B_0 = \mu_0 \frac{Ni}{L}, \quad (4)$$

gdzie μ_0 - przenikalność magnetyczna próżni, N - liczba zwojów cewki, i - natężenie prądu płynącego przez cewkę, L - długość cewki.

Jeśli zależność prądu płynącego przez cewkę od czasu ma postać $i = i_0 \cos(\omega t)$, to po zróżniczkowaniu związku (4) i podstawieniu do (3) dostajemy wyrażenie na napięcie indukowane w cewce próbnej

$$U_w = n_w S \mu(B_0) \mu_0 \frac{N}{L} i_0 \omega \sin(\omega t) = U_{w0} \sin(\omega t) \quad (5)$$

gdzie

$$U_{w0} = \mu(B_0) \mu_0 \frac{n_w N S}{L} i_0. \quad (6)$$

Przekształcając ostatni związek otrzymujemy wyrażenie na różniczkową przenikalność magnetyczną rdzenia ferrytowego

$$\mu(B_0) = \frac{L}{\mu_0 n_w N S} \frac{U_{w0}}{i_0} \quad (7)$$

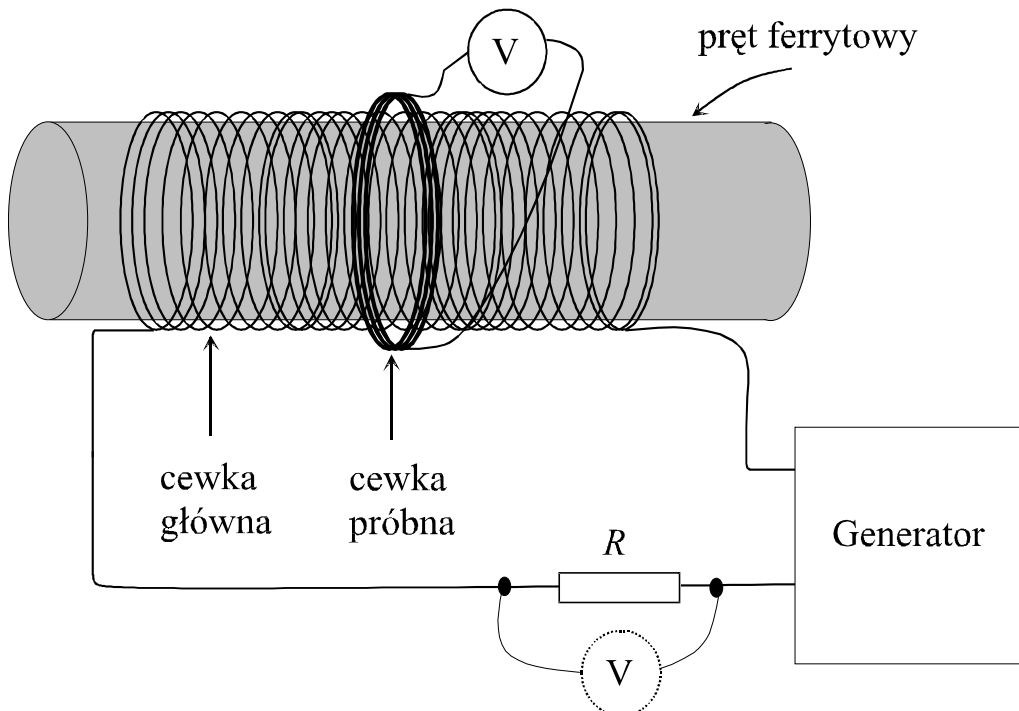
Z ostatniego wyrażenia wynika, że można ją wyznaczyć mierząc napięcie indukowane w cewce próbnej oraz prąd płynący przez cewkę główną. Ponieważ, wśród dostępnych przyrządów nie było amperomierza należało więc, prąd ten wyznaczyć mierząc napięcie U_{R0} na oporniku o oporności R połączonym szeregowo z cewką główną (rys. 1). Jego wartość wynosi $i_0 = U_{R0}/R$, ostatecznie więc

$$\mu(B_0) = \frac{LR}{\mu_0 n_w NS} \frac{U_{w0}}{U_{R0}} \quad (8)$$

Wartości U_{R0} oraz U_{w0} oznaczają amplitudy napięć sinusoidalnych, a nie ich wartości skuteczne mierzone przez dostępny w zestawie przyrządów woltomierz. Ponieważ, jednak we wzorze (8) występuje stosunek tych wielkości to można je zastąpić napięciami skutecznymi.

Część doświadczalna

Pomiary można wykonać w układzie eksperymentalnym przedstawionym na rys. 1. W tym celu należy wsunąć rdzeń do cewki głównej i zmierzyć napięcie na cewce próbnej i oporniku R (rys. 1). Dostępny na zawodach woltomierz miał bardzo duży opór wewnętrzny i można było uznać że po podłączeniu go do cewki próbnej, płynący przez nią prąd był bliski zeru (układ nieobciążony).



rys. 1

W rozważaniach teoretycznych zakładano, że rdzeń wypełnia całkowicie cewkę główną. Ponieważ dostępna na zawodach cewka nawinięta była na rurce z grubego papieru, jej średnica wewnętrzna była znacznie większa od średnicy rdzenia ferrytowego. W takim wypadku, należało uwzględnić, że strumień magnetyczny Φ_B obejmowany przez cewkę próbną ma wkład pochodzący od rdzenia ferrytowego oraz powietrza wypełniającego cewkę. Z uwagi na to, że przenikalność magnetyczna badanego ferrytu jest znacznie większa od przenikalności magnetycznej powietrza, tylko ten pierwszy wkład był istotny dla napięcia indukowanego w cewce próbnej. Można to było sprawdzić wkładając i wyjmując rdzeń ferrytowy z cewki głównej. Po włożeniu rdzenia napięcie indukowane wzrastało kilkadziesiąt razy. Tak więc zamiast powierzchni przekroju poprzecznego cewki głównej, do wzoru (8) należało

wstawić powierzchnię przekroju poprzecznego ferrytu. Dla sprawdzenia, czy zastosowane w części teoretycznej przybliżenia dotyczące jednorodności pola dla środkowej części cewki są słuszne należało wykonać pomiary napięcia indukowanego w cewce pomiarowej przy różnych jej położeniach wzdłuż cewki głównej (szerokość uzwojenia wynosiła 10 cm, przy długości ferrytu 15 cm). W obszarze o szerokości ok. 3 cm w pobliżu środka cewki, wartość napięcia indukowanego praktycznie nie zmieniała się, natomiast w pobliżu końców cewki zmniejszała się kilkukrotnie. Dlatego aby uzyskać poprawny wynik należało użyć możliwie „wąskiej” cewki próbnej (szerokość ok. 0,5 cm) i umieścić ją po środku cewki głównej.

Poprawna wartość różniczkowej przenikalności magnetycznej dla badanego ferrytu wynosiła $\mu = (80 \pm 5) \mu_0$. Wśród uczniów rozwiązujących zadanie tylko nieliczni wybrali przedstawiony powyżej sposób rozwiązania zadania. Duża część zawodników nie uwzględniła wpływu położenia i wielkości cewki próbnej na uzyskany wynik. Pomijano też różnicę w wielkości powierzchni przekroju cewki głównej i rdzenia. Część z uczniów rozwiązywała zadanie mierząc napięcie indukowane w cewce próbnej w dwóch sytuacjach - dla cewki głównej z rdzeniem i bez rdzenia. Taka metoda daje dobry wynik, pod warunkiem, że pomiary wykonuje się przy ustalonej wartości prądu płynącego przez cewkę główną. Po wyjęciu rdzenia z cewki jej impedancja maleje (kilkadziesiąt razy) co powoduje wzrost prądu w obwodzie. Zmianę tę należy skompensować dobierając odpowiednie napięcie na wyjściu generatora. Uczniowie, którzy tego nie uczynili otrzymali o rząd mniejszą wartość przenikalności magnetycznej ferrytu.

Źródło:

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szcz.pl