

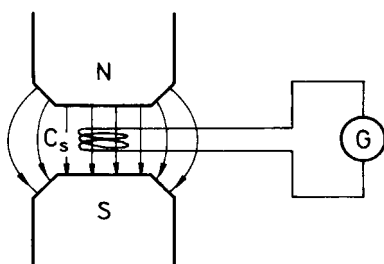
POMIAR INDUKCJI MAGNETYCZNEJ ZA POMOCĄ FLUKSOMETRU

Cel ćwiczenia: pomiar fluksometrem indukcji magnetycznej stałego pola magnetycznego między nabiegownikami elektromagnesu.

Zagadnienia: indukcja magnetyczna, zjawisko indukcji elektromagnetycznej, siła elektromagnetyczna indukcji; dlaczego wskazania fluksometru są proporcjonalne nie do natężenia prądu, ale do ładunku, który przepłynął przez uzwojenie galwanometru?

56.3. Wprowadzenie

Jedną z metod pomiaru pola magnetycznego jest metoda w której w badanym polu umieszczamy cewkę pomiarową (sondę) C_s , połączoną



Rys. 56.1. Schemat ideowy pomiaru pola magnetycznego między nabiegownikami magnesu NS : C_s – cewka pomiarowa (sonda), G – galwanometr balistyczny, albo galwanometr pełzny czyli fluksometr

z galwanometrem G specjalnego typu (rys. 56.1). W cewce pomiarowej pod wpływem wywołanej przez nas w jakiś sposób zmiany strumienia magnetycznego powstaje impuls prądu indukcyjnego, powodujący wychylenie wskazówki galwanometru. W opisywanej metodzie do pomiaru stosuje się galwanometry specjalnego typu: albo galwanometr balistyczny o dużym momencie bezwładności systemu

ruchomego (rzadko stosowany), albo galwanometr pełny, zwany też strumieniomierzem, bądź fluksometrem.

Wskaźniki galwanometrów obydwu typów, jak to pokażemy na przykładzie fluksometru, są proporcjonalne nie do natężenia prądu, ale do ładunku, który przepłynął przez uzwojenie cewki (ramki) galwanometru.

Schemat budowy galwanometru przedstawiają rysunki 55.1 i 55.2 w opisie ćwiczenia 55. Na sprężystej przewodzącej tasiemce T jest zawieszona cewka C (prostokątna ramka z uzwojeniem). W fluksometrze stosowanym w ćwiczeniu zamiast zwierciadła Z i wskaźnika świetlnego („zajaczka”) znajduje się lekka wskazówka mechaniczna. Cewka C może obracać się w polu magnetycznym w szczelinie między biegunami magnesu stałego NS i cylindrycznym rdzeniem żelaznym R . Równanie ruchu cewki C jest równaniem wahadła sprężystego z dodatkowym momentem siły, z jaką pole magnetyczne w szczelinie działa na uzwojenie ramki z prądem. Oprócz tłumienia mechanicznego dochodzi też tłumienie elektromagnetyczne, spowodowane powstawaniem prądu indukcyjnego w cewce galwanometru w czasie jej ruchu w polu magnetycznym. Różniczkowe równanie ruchu ma postać (równanie 55.7)

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + (r_1 + r_2) \frac{d\varphi}{dt} + D\varphi = \Phi_0 i, \quad (56.1)$$

przy czym: I – moment bezwładności ramki galwanometru, φ – wychylenie katowe ramki galwanometru, $d\varphi/dt$, $d^2\varphi/dt^2$ – prędkość katowa i przyspieszenie katowe ramki, r_1 – współczynnik tłumienia mechanicznego, $r_2 = n_1^2 B^2 Q^2 / (R_g + R) = \Phi_o^2 / (R_g + R)$ – współczynnik tłumienia elektromagnetycznego $\Phi_o = n_1 B Q$ – stała galwanometru, n_1 – liczba zwojów cewki galwanometru, B – indukcja magnetyczna w szczelinie magnesu galwanometru, Q – powierzchnia ramki galwanometru, D – moment kierujący tasiemki galwanometru, R – rezystancja zewnętrzna obwodu galwanometru, R_g – rezystancja wewnętrzna galwanometru.

W omawianym ćwiczeniu jest stosowany fluksometr. Fluksometr jest galwanometrem bez momentu zwrotnego, tj. $D = 0$. Gdy nie płynie prąd przez uzwojenie cewki, wówczas zajmuje ona dowolne położenie wokół osi obrotu. Do sprowadzania cewki w dowolne położenie zerowe służą specjalne urządzenie mechaniczne, bądź elektryczne, obracające ruchomy system fluksometru.

Fluksometr pracuje przy małej rezystancji obwodu cewki $R_g + R$, a zatem przy dużym tłumieniu elektromagnetycznym $r_2 \gg r_1$. Pod wpływem tego dużego tłumienia ruch cewki zostaje w bardzo krótkim czasie zahamowany. Dzięki wspomnianym właściwościom fluksometru równanie ruchu jego cewki upraszcza się do następującej postaci:

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{\Phi_0^2}{R_g + R} \frac{d\varphi}{dt} = \Phi_0 i . \quad (56.2)$$

Niech t będzie czasem równym lub dłuższym od czasu trwania ruchu cewki. Mamy wtedy:

$$I \int_0^t \frac{d^2 \varphi}{dt^2} dt + \frac{\Phi_0^2}{R_g + R} \int_0^t \frac{d\varphi}{dt} dt = \Phi_0 \int_0^t i dt ,$$

$$I \int_0^t \frac{d^2 \varphi}{dt^2} dt = I \frac{d\varphi}{dt} \Big|_0^t = 0$$

bo w chwili 0 i w chwili t prędkość kątowa $d\varphi/dt = 0$,

$$\int_0^t \frac{d\varphi}{dt} dt = \frac{d\varphi}{dt} \Big|_0^t = \varphi \Big|_0^t = \varphi_k ,$$

przy czym φ_k oznacza wychylenie końcowe,

$$\int_0^t i dt = q ,$$

gdzie q oznacza ładunek, który przepłynął przez uzwojenie fluksometru.

Po uwzględnieniu tych zależności scałkowane równanie różniczkowe sprowadzi się do równania

$$\frac{\Phi_0^2}{R_g + R} \varphi_k = \Phi_0 q ,$$

stąd

$$\varphi_k = \frac{(R_g + R)q}{\Phi_0} . \quad (56.3)$$

Tak więc widzimy, że fluksometr jest przyrządem całkującym, dającym wychylenie proporcjonalne do całkowitego ładunku q , który przepłynął przez uzwojenie cewki fluksometru.

Jeżeli przepływ ładunku q został wywołany impulsem siły elektromotorycznej indukcji E_{ind} w cewce pomiarowej (w sondzie) C_s , to

$$dq = idt = \frac{E_{ind}}{R_g + R} dt = -\frac{d\varphi}{R_g + R} dt = -\frac{d\Phi}{R_g + R} ,$$

przy czym Φ oznacza strumień magnetyczny przechodzący przez uzwojenie sondy. Całkowity ładunek wyniesie

$$q = -\int_{\Phi_1}^{\Phi_2} \frac{d\Phi}{R_g + R} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R_g + R} . \quad (56.4)$$

Podstawiając otrzymaną wartość do wzoru (56.3), otrzymamy

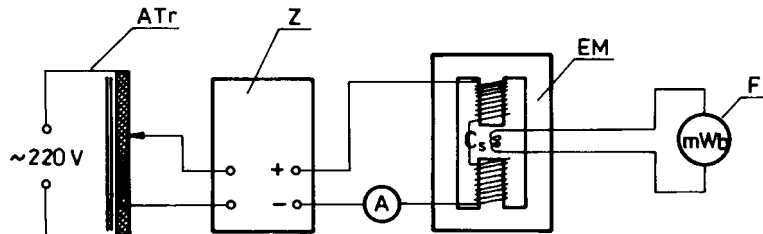
$$\varphi_k = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\Phi_0} .$$

Wychylenie wskazówki fluksometru jest więc w tym przypadku proporcjonalne do zmiany strumienia magnetycznego, przenikającego przez uzwojenie cewki pomiarowej.

Fluksometry są bezpośrednio wycechowane w jednostkach strumienia indukcji magnetycznej (w weberach $[Wb] = [Vs]$).

56.4. Układ pomiarowy – zasada pomiaru

Układ pomiarowy przedstawiony jest na rysunku 56.2.



Rys. 56.2. Schemat układu do pomiaru pola magnetycznego fluksometrem: *EM* – elektromagnes, *F* – fluksometr (miliweberomierz), *C_s* – cewka pomiarowa (sonda), *Atr* – autotransformator, *Z* – zasilacz elektromagnesu (prostownik)

W układzie tym, możemy regulować natężenie prądu stałego płynącego przez elektromagnes (prądu magnesującego), regulując autotransformatorem *Atr* napięcie zmienne na wejściu prostownika *Z*. Tym samym możemy zmieniać indukcję magnetyczną pola między nabiegunnikami magnesu. W celu zmierzenia indukcji między nabiegunnikami elektromagnesu umieszczamy cewkę pomiarową (sondę) *C_s* powierzchnią uzwojenia prostopadle do linii sił pola magnetycznego. Spośród wielu sposobów zmieniania strumienia magnetycznego przechodzącego przez sondę (wysuwanie lub wsuwanie sondy z obszaru pola, obrót sondy o 90° lub 180°, włączenie lub wyłączenie prądu zasilającego elektromagnes), wybieramy ostatni sposób. Na fluksometrze odczytujemy zmianę strumienia magnetycznego $\Delta\Phi$ przenikającego uzwojenie sondy przy włączeniu (wyłączeniu) prądu magnesującego. Zakładając, że strumień magnetyczny przy wyłączonym zasilaniu elektromagnesu jest w przybliżeniu równy zero, możemy przyjąć. $\Delta\Phi \approx \Phi$ Wartość indukcji magnetycznej *B* wyliczamy ze wzoru.

$$B = \frac{\Phi}{nS}, \quad (56.5)$$

w którym n – liczba zwojów cewki pomiarowej (sondy), S – powierzchnia zwoju, B – indukcja magnetyczna.

56.5. Zadania do wykonania

A. Pomiary

Połączyć układ elektryczny według załączonego schematu (rys. 56.2). Ustawić przełącznik fluksometru w położenie „korekcja” i pokrętle ustawić wskazówkę fluksometru w położenie bliskie środka skali. Ustawić przełącznik fluksometru w pozycję „pomiar”. Przez włączenie zasilania elektromagnesu zorientować się co do kierunku wychylenia fluksometru i dobrać właściwą biegunowość podłączenia fluksometru. Ustawić przełącznik fluksometru w pozycję „korekcja” i pokrętle sprowadzić wskazówkę fluksometru do zera. Wrócić do pozycji „pomiar” i przez włączenie prądu elektromagnesu odczytać pierwszą wartość strumienia magnetycznego Φ . Wykonać pomiary Φ dla innych natężeń prądów I elektromagnesu, sprawdzając i ewentualnie korygując przed każdym pomiarem położenie zerowe wskazówki fluksometru. Pomiary należy wykonać dla prądów magnesujących wskazanych w instrukcji roboczej. Po zakończeniu pomiarów należy zaaretować fluksometr.

B. Opracowanie wyników

Wartości indukcji pola magnetycznego B , odpowiadające poszczególnym wartościom prądu magnesującego, wyliczamy ze wzoru (56.5).

Obliczamy błędy mierzonych wielkości ΔI i $\Delta \Phi$ na podstawie klasy i zakresu stosowanych mierników. Błąd ΔS wyliczamy znając błąd pomiaru średnicy zwojów. Za błąd określenia liczby zwojów przyjmujemy pół zwoju ($\Delta n = 0,5$). Błąd ΔB obliczamy metodą różniczki logarytmicznej, korzystając

ze wzoru (56.5). Zarówno zmierzone, jak i wyliczone wielkości wraz z oszacowanymi błędami należy wpisać do tabeli pomiarów. Wykreślić zależność $B = f(I)$ (krzywą cechowania elektromagnesu). Na wykresie zaznaczyć graficznie błędy ΔB i ΔI .