

Nazwisko

Data

Nr na liście

Imię

Wydział

Dzień tyg.

Godzina

Ćwiczenie 244

Wyznaczanie współczynnika samoindukcji cewki i pojemności kondensatora

1. Wyznaczanie oporu omowego (rezystancji) cewki

Nr pomiaru, i		1	2	3
Napięcie, U_i	[V]			
Natężenie, I_i	[mA]			
Opór, R_i	[Ω]			

2. Wyznaczanie impedancji i współczynnika samoindukcji cewki

Nr pomiaru i		1	2	3
Napięcie, U_i	[V]			
Natężenie, I_i	[mA]			
Impedancja, Z_i	[Ω]			
Współ. samoind., L_i	[H]			
Wartość średnia współczynnika samoindukcji, L			[H]	

3. Wyznaczanie impedancji i pojemności kondensatora

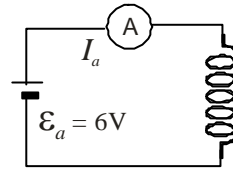
Nr pomiaru, i		1	2	3
Napięcie, U_i	[V]			
Natężenie, I_i	[mA]			
Impedancja, Z_i	[Ω]			
Poj. kondensatora, C_i	[μ F]			
Wartość średnia pojemności kondensatora, C			[μ F]	

Ćwiczenie 244. Wyznaczanie współczynnika samoindukcji cewki i pojemności kondensatora

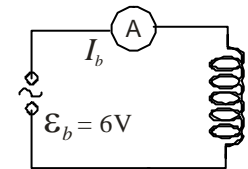
Wprowadzenie

Cewka (zwojnica) w obwodzie prądu stałego i zmiennego.

Jeżeli zmierzmy natężenie prądu płynącego przez zwojnicę w obwodzie prądu stałego (rys. 1a) o napięciu \mathcal{E}_a i w obwodzie prądu zmiennego (rys. 1b) o takiej samej wartości napięcia skutecznego \mathcal{E}_b , to okaże się, że wartość I_b jest wyraźnie mniejsza niż I_a . Oznacza to, że opór cewki w obwodzie prądu stałego jest mniejszy niż w obwodzie prądu zmiennego.



Rys. 1a



Rys. 1b

Cewka włączona do obwodu prądu stałego zachowuje się jak opór omowy, którego wartość (rezystancja) R zależy tylko od wymiarów geometrycznych i rodzaju przewodnika:

$$R = \rho l / S ,$$

ρ — opór właściwy, l — długość, S — pole przekroju. Po włączeniu cewki do obwodu prądu zmiennego pojawia się dodatkowy *opór indukcyjny*, związany ze *zjawiskiem samoindukcji*.

Jeżeli przez cewkę płynie prąd, to wewnątrz cewki istnieje pole magnetyczne, którego natężenie jest proporcjonalne do natężenia płynącego prądu. Prąd zmienny wytwarza w cewce zmienne pole magnetyczne, które indukuje siłę elektromotoryczną (SEM) samoindukcji. SEM samoindukcji, jako szczególny przypadek indukcji elektromagnetycznej, określona jest wzorem:

$$E_s = -L \frac{dI}{dt} ,$$

gdzie dI/dt — szybkość zmian natężenia prądu, L — współczynnik samoindukcji. *Współczynnik samoindukcji* jest liczbowo równy SEM wzbudzonej w obwodzie, w którym zachodzi zmiana natężenia prądu o 1 A w czasie 1 s. Jednostką L w układzie SI jest *henr*, [H]; $1\text{H} = 1\text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1}$.

Wartość L zależy od geometrycznego kształtu obwodu, jego rozmiarów i przenikalności magnetycznej ośrodka. W przypadku długiego solenoidu (cewki o kształcie cylindrycznym):

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 S}{l} ;$$

N — liczba zwojów, l — długość solenoidu, S — pole przekroju solenoidu, μ_0 — przenikalność magnetyczna próżni, μ_r — względna przenikalność magnetyczna ośrodka wewnątrz solenoidu.

Zgodnie z regułą Lenza, prąd samoindukcyjny w każdej chwili stara się przeciwdziałać zmianie prądu płynącego w obwodzie i dlatego cewka wykazuje dodatkowy opór samoindukcyjny R_L . W przypadku zewnętrznego źródła prądu sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości kołowej ω opór indukcyjny (zwany *induktancją*) cewki o współczynniku samoindukcji L wyraża się wzorem:

$$R_L = L \omega , \quad (1)$$

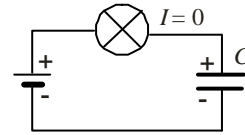
gdzie $\omega = 2\pi f$, f — częstotliwość zmian prądu ($f = 50\text{ Hz}$).

Jeśli opór omowy cewki wynosi R , to jej całkowity opór Z w obwodzie prądu zmiennego, zwany *impedancją* lub *zawadą*, obliczamy jako *sumę geometryczną* oporu R i oporu indukcyjnego R_L :

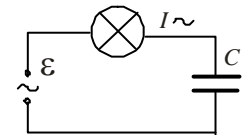
$$Z = \sqrt{R^2 + R_L^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (2)$$

Kondensator w obwodzie prądu zmiennego.

Jeżeli podłączymy kondensator szeregowo połączony z żarówką do źródła prądu stałego, rys. 2, żarówka rozbłyśnie tylko na moment, bowiem w obwodzie płynie prąd jedynie do momentu naładowania kondensatora. Po naładowaniu okładek prąd nie płynie — w obwodzie prądu stałego kondensator stanowi praktycznie nieskończenie duży opór.



Rys. 2



Rys. 3

Inaczej jest, jeżeli użyjemy źródła prądu zmiennego, rys. 3. Wraz ze zmianą prądu w obwodzie zmienia się ładunek na okładkach kondensatora. Na danej okładce może on być dodatni albo ujemny, w zależności od kierunku przepływu prądu. Naprzemienne ładowanie i rozładowywanie się kondensatora w obwodzie umożliwia przepływ prądu, którego amplituda jest proporcjonalna do pojemności kondensatora C , gdyż zgodnie z definicją pojemności, $C = Q/U$, im większa pojemność tym większy ładunek Q może być zgromadzony na okładkach. *Opór pojemnościowy* R_C jest, więc, tym mniejszy im większa jest pojemność C . W przypadku źródła prądu sinusoidalnie zmiennego, R_C wyraża się wzorem:

$$R_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (3)$$

Widzimy, że opór pojemnościowy jest też odwrotnie proporcjonalny do częstości kołowej zmian prądu. Im większa wartość ω tym mniejszy ładunek zdąży zgromadzić się na kondensatorze podczas jego ładowania i tym mniejsze będzie napięcie przeciwstawiające się przepływowi prądu.

Jeśli w obwodzie prądu zmiennego występuje opór omowy R i kondensator o pojemności C , to całkowity opór, czyli impedancję obwodu, obliczamy ze wzoru:

$$Z = \sqrt{R^2 + R_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}. \quad (4)$$

Cewka i kondensator w obwodzie prądu zmiennego.

W ogólności, jeżeli obwód zbudowany jest z oporu omowego R , cewki o współczynniku samoindukcji L i kondensatora o pojemności C (elementy połączone są szeregowo), to impedancja takiego obwodu określona jest wzorem:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

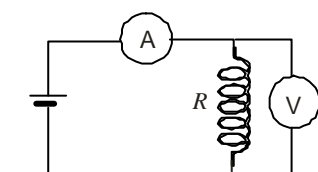
Dla obwodów prądu zmiennego prawo Ohma obowiązuje dla skutecznych wartości napięcia U_s i natężenia I_s prądu. Oznacza to, że impedancja Z spełnia zależność:

$$Z = \frac{U_s}{I_s}.$$

Wykonanie pomiarów

1. Wyznaczanie oporu omowego cewki.

Łączymy obwód wg schematu na rys. 4. Ustawiamy odpowiedni zakres pomiarowy przyrządów (wg instrukcji prowadzącego zajęcia). Włączamy zasilacz prądu stałego i odczytujemy natężenie i napięcie; pomiary wykonujemy 3-krotnie, zmieniając ustawienie potencjometru regulującego napięcie wyjściowe zasilacza. Obliczamy opór omowy:



Rys. 4

$$R_i = U_i / I_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (5)$$

2. Wyznaczanie współczynnika samoindukcji cewki.

Zasilacz i mierniki uniwersalne przełączamy na pomiar prądu zmiennego. Odczytujemy napięcie i natężenie skuteczne dla trzech napięć wyjściowych zasilacza (liczbowo zbliżonych do napięć dobranych dla prądu stałego). Obliczamy impedancję:

$$Z_i = U_i / I_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (6)$$

Przekształcając zależność (2) otrzymujemy wzór na współczynnik samoindukcji L_i :

$$L_i = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_i^2 - R^2} \quad (7)$$

Na podstawie danych z trzech pomiarów obliczamy średnią wartość współczynnika L .

3. Wyznaczanie pojemności kondensatora

Łączymy obwód wg rys. 6. Wyznaczamy impedancję obwodu. Obliczamy pojemność kondensatora, podstawiając do wzoru (4) wartość $R = 0$ (opory połączeń są małe):

$$C_i = (\omega Z_i)^{-1}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (8)$$

Obliczamy także średnią wartość pojemności C .

Rachunek błędów

Maksymalny błąd bezwzględny pojedynczego pomiaru R , Z , L i C obliczamy metodą różniczki zupełnej, którą zastosujemy kolejno do wzorów (5), (6), (7) i (8). Częstość kołową ω traktujemy jako wielkość nie obciążoną błędem pomiaru.

W przypadku mierników wskazówkowych błędy ΔU_i , ΔI_i obliczamy z klasy K przyrządu;

$$\text{np. } \Delta U = \frac{K \cdot Z_u}{100}, \quad Z_u \text{ — maksymalna wartość napięcia dla danego zakresu.}$$

W przypadku mierników cyfrowych dokładność jest równa 1 % wartości mierzonej dla prądu stałego i 1,5 % wartości mierzonej dla prądu zmiennego.

Wynik obliczeń błędów lepiej jest zaokrąglić w górę.

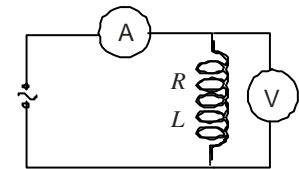
$$1. \text{ Opór cewki } R_i: \quad \Delta R_i = R_i \left(\frac{\Delta U_i}{U_i} + \frac{\Delta I_i}{I_i} \right).$$

$$2. \text{ Impedancja } Z_i: \quad \Delta Z_i = Z_i \left(\frac{\Delta U_i}{U_i} + \frac{\Delta I_i}{I_i} \right).$$

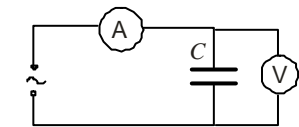
$$3. \text{ Współczynnik samoindukcji } L_i: \quad \Delta L_i = \frac{1}{L_i \omega^2} (Z_i \Delta Z_i + R_i \Delta R_i).$$

$$4. \text{ Pojemność kondensatora } C_i: \quad \Delta C_i = C_i \frac{\Delta Z_i}{Z_i}.$$

Uwaga: Wartość ΔZ jest inna dla kondensatora i dla zwojnicy. Błędy określamy dla jednego z trzech pomiarów danej wielkości fizycznej.



Rys. 5



Rys. 6