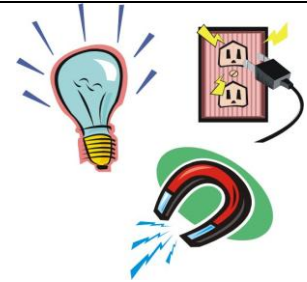


INSTYTUT FIZYKI

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



***PRACOWNIA
ELEKTRYCZNOŚCI I MAGNETYZMU***



ĆWICZENIE NR E-8

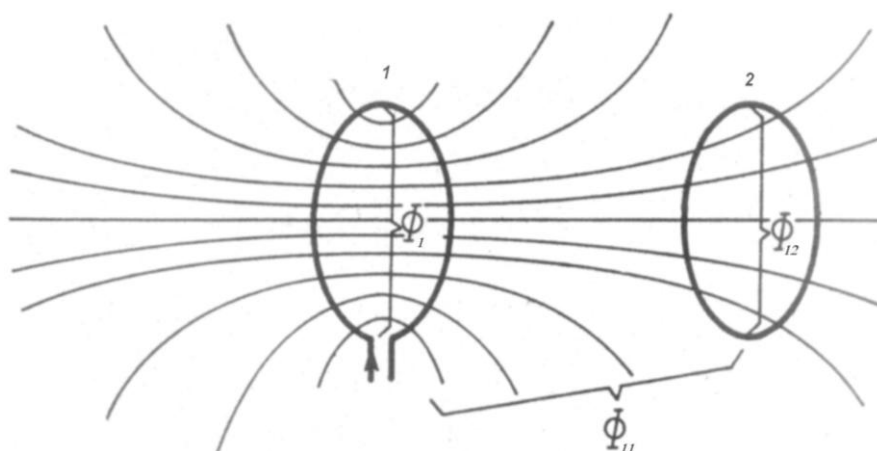
INDUKCJA WZAJEMNA

I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Podstawowe parametry pola magnetycznego i ich jednostki.
2. Prawo Ampère'a i prawo Biota-Savarta.
3. Pola magnetyczne pierścieni i cewek.
4. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Prawo indukcji Faradaya.
5. Indukcja wzajemna dwóch cewek sprzężonych ze sobą magnetycznie.

II. Wprowadzenie teoretyczne

Zjawisko indukcji wzajemnej polega na wzbudzaniu siły elektromotorycznej indukcji w obwodach umieszczonych w pobliżu obwodu prądu zmiennego.



Rys. 1. Strumień magnetyczny Φ_1 wytwarzany przez cewkę i jego podział na Φ_{12} i Φ_{11}

Na rysunku 1 przedstawiono dwie cewki umieszczone blisko, które mogą oddziaływać na siebie wzajemnie. Pole magnetyczne wytworzone w jednej cewce przenika całkowicie lub częściowo przez drugą cewkę. Załóżmy, że prąd o natężeniu I_1 w cewce pierwszej (o N_1 zwojach) wytwarza w niej strumień indukcji pola magnetycznego Φ_1 . Część tego strumienia Φ_{12} przecina drugą cewkę (o N_2 zwojach), pozostała część strumienia Φ_{11} ulega rozproszeniu. Całkowity strumień wytwarzany przez cewkę pierwszą jest więc sumą dwóch składowych

$$\Phi_1 = \Phi_{12} + \Phi_{11} \quad (1)$$

Indukcyjność własna cewki pierwszej może być określona jako

$$L_1 = \frac{N_1 \Phi_1}{I_1} \quad (2)$$

Strumień magnetyczny Φ_{12} (czyli strumień przechodzący przez cewkę drugą, ale związany z prądem w cewce pierwszej) sprzęga się z N_2 zwojami cewki drugiej.

Indukcyjność wzajemną cewki pierwszej z cewką drugą można wyrazić zależnością

Ćwiczenie E-8: Indukcja wzajemna

$$M_{12} = \frac{N_2 \Phi_{12}}{I_1} \quad (3)$$

Stąd

$$M_{12} I_1 = N_2 \Phi_{12}$$

Jeżeli natężenie prądu I_1 będzie zmieniać się w czasie, to można zapisać

$$M_{12} \frac{dI_1}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{12}}{dt} \quad (4)$$

Prawa strona tego równania zgodnie z prawem Faradaya jest równa co do wartości bezwzględnej SEM \mathcal{E}_2 , która pojawia się w cewce drugiej, w wyniku zmiany natężenia prądu w cewce pierwszej. Tak więc

$$\mathcal{E}_2 = -M_{12} \frac{dI_1}{dt} \quad (5)$$

Analogiczne związki otrzymamy dla przypadku, gdy w cewce drugiej płynie prąd zmienny I_2 , który powoduje indukowanie się SEM w cewce pierwszej.

Indukcyjność własna cewki drugiej jest określona

$$L_2 = \frac{N_2 \Phi_2}{I_2} \quad (6)$$

A współczynnik indukcji wzajemnej drugiej cewki względem pierwszej wynosi

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_2} \quad (7)$$

Siła elektromotoryczna indukowana w cewce pierwszej określona jest zależnością

$$\mathcal{E}_1 = -M_{21} \frac{dI_2}{dt} \quad (8)$$

Można wykazać, że jeżeli cewki znajdują się w środowisku o takiej samej przenikalności magnetycznej μ , to współczynniki indukcji wzajemnej są takie same

$$M = M_{12} = M_{21} \quad (9)$$

Indukcyjność wzajemna cewek zależy od:

- przenikalności magnetycznej rdzenia,
- kształtu cewek,
- ich liczby zwojów,
- wzajemnego ustawienia cewek, które ma wpływ na podział całkowitego strumienia magnetycznego.

Ćwiczenie E-8: Indukcja wzajemna

Na podstawie rozkładu strumienia magnetycznego Φ_1 na Φ_{12} (przenikający przez drugi obwód) i Φ_{11} (rozproszony) można również rozdzielić indukcyjności własne na L_{12} i L_{11} . Indukcyjności własne odnoszące się do części strumienia przenikającego znajdujące się w jego zasięgu cewki można wyrazić poprzez analogię do wzorów (2) i (6) następująco:

$$L_{12} = \frac{N_1 \Phi_{12}}{I_1} \quad (10)$$

$$L_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_2} \quad (11)$$

Po wyznaczeniu Φ_{12} i Φ_{21} z powyższych wzorów i podstawieniu ich do wyrażeń (3) i (7) oraz uwzględnieniu zależności (9) łatwo wykazać, że indukcyjność wzajemna może być wyrażona jako

$$M = \sqrt{L_{12} L_{21}} \quad (12)$$

Uwzględniając współczynnik sprzężenia k obu cewek, otrzymujemy

$$M = k \sqrt{L_1 L_2} \quad (13)$$

Współczynnik sprzężenia obwodów $k \leq 1$. Dla $k = 1$ całkowity strumień indukcji wytworzony przez pierwszy obwód przenika przez drugi i na odwrót.

Współczynnik indukcji wzajemnej M można wyznaczyć, mierząc indukcyjność zastępczą dwóch cewek połączonych szeregowo.

Gdy cewki połączone są ze sobą przy zgodnym zwrocie nawinięcia (sprzężenie dodatnie), indukcyjność zastępcza L_Z jest równa sumie indukcyjności własnych i wzajemnych

$$L_Z = L_1 + L_2 + 2M \quad (14)$$

Gdy cewki są ze sobą połączone przy przeciwnym zwrocie nawinięcia (sprzężenie ujemne) indukcyjność zastępcza L_p wynosi

$$L_p = L_1 + L_2 - 2M \quad (15)$$

Na podstawie wzorów (14) i (15) otrzymujemy wyrażenie na współczynnik indukcji wzajemnej

$$M = \frac{L_Z - L_p}{4} \quad (16)$$

Współczynnik sprzężenia dwóch cewek można wyliczyć ze wzoru (13)

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = \frac{L_Z - L_p}{4 \sqrt{L_1 L_2}} \quad (17)$$

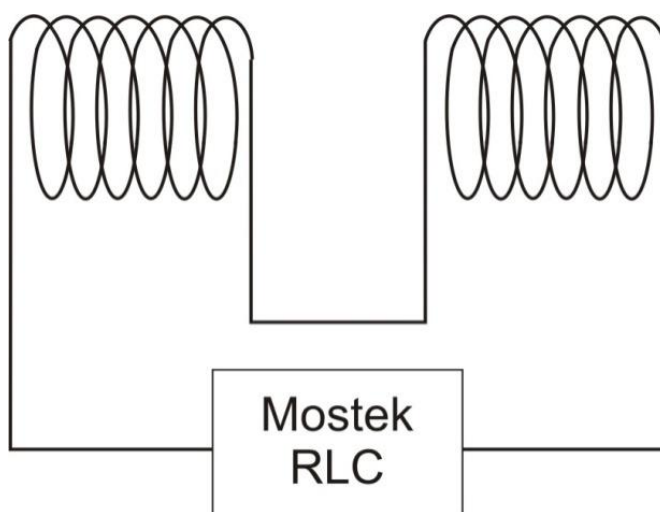
Celem ćwiczenia jest określenie indukcji wzajemnej dwóch cewek sprzężonych magnetycznie dla różnych wzajemnych położeń tych cewek.

III. Zestaw pomiarowy

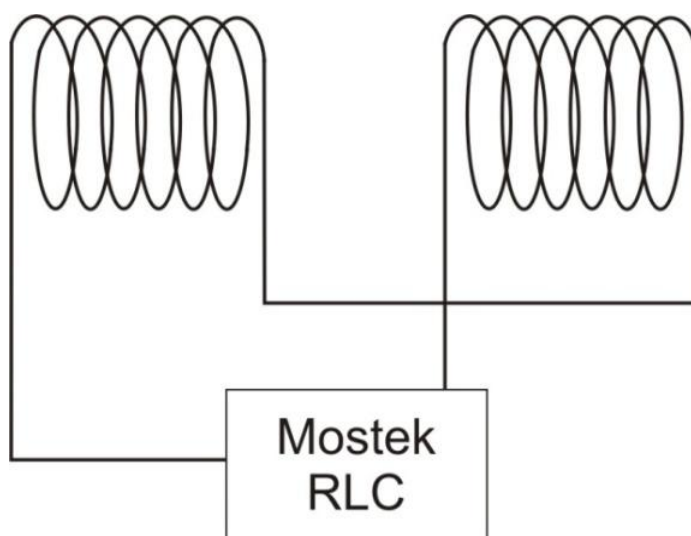
Zestaw składa się z dwóch cewek umieszczonych na podstawie. Zmiany położenia obu cewek uzyskuje się, przesuając jedną z nich na przewodnicy. Pomiar indukcyjności wykonywany jest mostkiem RLC.

IV. Schematy układów pomiarowych

Schemat 1. Połączenie cewek i mostka pomiarowego dla sprzężenia dodatniego



Schemat 2. Połączenie cewek i mostka pomiarowego dla sprzężenia ujemnego



V. Przebieg ćwiczenia

Przed przystąpieniem do pomiarów należy:

- a) pokrętkę rodzaju pomiaru ustawić na L_S ,
- b) włączyć generator wewnętrzny (przełącznik w pozycję int. gen.),
- c) pokrętki czułości (sensitivity) i poziomu generatora (gen. level) ustawić na wartości maksymalne.

Pomiar indukcji własnej cewek

1. Rozsunąć cewki na maksymalną odległość.
2. Podłączyć cewkę zewnętrzną do mostka.
3. Ustawić pokrętkę $QL_S C_P$ na wartość 5, zakres pomiarowy - 10 mH.
4. Pomiar przeprowadza się przez sprowadzenie mostka do stanu równowagi: przy pomocy pokręteł ze skalami, Stan równowagi mostka odpowiada minimum wychylenia wskaźnika. Przy prawidłowo zrównoważonym mostku wskazywana wartość na mierniku jest mniejsza od 40.
5. Pokrętką $QL_S C_P$ skorygować minimalną wartość wskazywaną na mierniku. W pobliżu położenia równowagi mostka pokrętko jest bardzo czułe na wskazania miernika. Jeśli wartość wskazywana na mierniku przekracza 40 działek, po-wtórzyć czynność z punktu 3.
6. Podłączyć cewkę wewnętrzną do mostka.
7. Ustawić pokrętkę $QL_S C_P$ na wartości 1, a zakres pomiarowy - 1 H. Przeprowadzić pomiar indukcyjności w sposób opisany w punktach 3 i 4.
8. Wyniki wpisać do tabeli.

Pomiar indukcji wzajemnej cewek

1. Ustawić cewkę wewnętrzną w pozycji maksymalnie oddalonej od cewki zewnętrznej.
2. Połączyć końcówkę 1 cewki wewnętrznej z końcówką A cewki zewnętrznej. Końcówki 2 i B cewek połączyć z mostkiem (sprzężenie dodatnie).
3. Zachowując zakres 1H i ustawienie pokrętki $QL_S C_P$ (wartość 1) doprowadzić do zrównoważenia mostka, używając dwóch prawych pokręteł ze skalami tak jak w punktach 3 i 4. Otrzymana wartość jest indukcją wzajemną dla sprzężenia dodatniego przy danym wzajemnym położeniu cewek.
4. Ten sam pomiar wykonać dla sprzężenia ujemnego (zamienić połączenie końcówek A i B na cewce zewnętrznej) przy tym samym położeniu wzajemnym cewek.
5. Czynności z punktów 2-4 powtórzyć dla kolejnych, wzajemnych położzeń cewek:
 - a) pośredniej odległości między cewkami,
 - b) maksymalnie wsuniętej cewce wewnętrznej.
6. Wyniki wpisać do tabeli.

VI. Tabela pomiarowa

Lp.	Indukcyjności własne [H]		Położenie cewki wew.	Indukcyjność wzajemna [H]		Współcz. indukcji wzajemnej M [H]	Współcz. sprzężenia k
	L ₁	L ₂		L _Z	L _P		
1			max wys.				
2			poł. pośr.				
3			max wsun.				

VII. Opracowanie wyników

1. Obliczyć współczynniki indukcji wzajemnej M i współczynnik sprzężenia k dla każdego z położen cewki wewnętrznej.
2. Przeprowadzić dyskusję otrzymanych wyników.
3. Obliczyć błąd metodą różniczki zupełnej.

Literatura

1. Halliday D., Resnick R., Walker J., Fizyka, t. 3, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
2. Lech J., Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej PCz, Częstochowa 2005.
3. Lubelski K., Elektrotechnika teoretyczna, cz. 2, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1992.
4. M. Konopka, A. Zięba i inni, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Wydawnictwo AGH, Kraków 1986.
5. Purcell E.M., Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1974.
6. Szczeniowski S., Fizyka doświadczalna, cz. III, Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1972.