

## Ćwiczenie 44

# Indukcyjność wzajemna

### Cel ćwiczenia

Pomiar współczynnika indukcji wzajemnej dwóch cewek sprzężonych ze sobą magnetycznie, dla różnych wzajemnych położenia tych cewek. Wpływ rdzenia magnetycznego na indukcyjność własną i wzajemną.

### Wprowadzenie

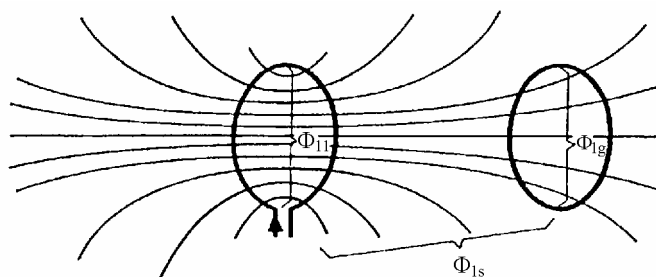
Pole magnetyczne wytworzone w jednej cewce może przenikać całkowicie lub częściowo przez inną cewkę umieszczoną w jej otoczeniu. Pomiedzy tymi cewkami zachodzą sprzężenia magnetyczne zwane też sprzężeniami indukcyjnymi.

Niech będzie dana cewka o  $N_1$  zwojach (przedstawiona w sposób schematyczny na rysunku 1), przez którą przepływa prąd  $i_1$ , powodujący wytwarzanie się w cewce strumienia magnetycznego  $\Phi_{11}$ . Strumień ten można podzielić na dwie części. Pierwsza część  $\Phi_{1g}$ , zwana strumieniem głównym, przenika przez cewkę (2) o  $N_2$  zwojach, a część  $\Phi_{1s}$  - zwana strumieniem rozproszenia zamyka się dokoła cewki (1) w taki sposób, że linie indukcji nie obejmują cewki (2). Rozkład  $\Phi_{11}$  na dwie składowe wyraża równanie

$$\Phi_{11} = \Phi_{1g} + \Phi_{1s} . \quad (1)$$

Stosunek strumienia magnetycznego skojarzonego z danym uzwojeniem do prądu, który wywołuje ten strumień, nazywamy indukcyjnością własną uzwojenia

$$L_1 = \frac{N_1 \Phi_{11}}{i_1} . \quad (2)$$



**Rys. 1.** Strumień magnetyczny  $\Phi_{11}$  wytwarzany przez cewkę i jego podział na  $\Phi_{1g}$  i  $\Phi_{1s}$

Stosunek strumienia wytworzonego w cewce (1) i skojarzonego z cewką (2) do prądu płynącego w cewce (1),

$$M_{12} = \frac{N_2 \Phi_{1g}}{i_1} , \quad (3)$$

nazywamy indukcyjnością wzajemną cewki (1) z cewką (2). Analogicznie dla cewki (2)

$$L_2 = \frac{N_2 \Phi_{22}}{i_2}, \quad M_{21} = \frac{N_1 \Phi_{2g}}{i_2}. \quad (4)$$

Z podstawowych praw elektromagnetyzmu wynika, że indukcyjności wzajemne  $M_{21}$  i  $M_{12}$  są zawsze takie same,

$$M = M_{21} = M_{12}.$$

Wielkość  $M$  nazywamy indukcyjnością wzajemną dwóch cewek.

Rozkład całkowitego strumienia magnetycznego na strumień główny i strumień rozproszenia jest punktem wyjścia do określenia indukcyjności głównej  $L_{1g}$  i indukcyjności rozproszenia  $L_{1s}$

$$L_{1g} = \frac{N_1 \Phi_{1g}}{i_1},$$

$$L_{1s} = \frac{N_1 \Phi_{1s}}{i_1}.$$

Wykorzystując wzory (1) ÷ (4) można wykazać, że

$$L_1 = L_{1g} + L_{1s}, \quad (5)$$

$$L_2 = L_{2g} + L_{2s},$$

$$M = \sqrt{L_{1g} L_{2g}}. \quad (6)$$

Czyli innymi słowy, indukcyjność wzajemna jest średnią geometryczną obu indukcyjności głównych. Oznaczając współczynnik sprzężenia obu cewek przez  $k$  otrzymujemy

$$M = k \sqrt{L_1 L_2}. \quad (7)$$

Indukcyjność wzajemna cewek powietrznych zależy od kształtu geometrycznego cewek, ich liczby zwojów, a ponadto od wzajemnego usytuowania cewek, które ma wpływ na podział całkowitego strumienia magnetycznego na strumień główny i strumień rozproszenia. Gdy przestrzeń otaczającą cewki wypełnimy, przynajmniej częściowo, substancją magnetyczną o przenikalności względnej  $\mu_r \gg 1$ , wtedy strumienie pola magnetycznego i w konsekwencji wartości indukcyjności ulegają zwiększeniu. Dla cewek wykorzystywanych w elektrotechnice i elektronice stosuje się rdzenie magnetyczne wykonane z blaszek (wykonanych z żelaza krzemowego lub permaloju) względnie rdzenie kubkowe wykonane ze spieku ferrytowego. Rdzenie ferrytowe mogą być stosowane w obwodach wysokiej częstotliwości gdyż w materiale ferrytowym, będącym izolatorem, nie indukują się prądy wirowe. Dodatkową zaletą kubkowego rdzenia ferrytowego jest łatwość jego montażu, przez proste włożenie układu cewek do kubka złożonego z dwu identycznych połówek.

Pomiar indukcyjności wzajemnej

Współczynniki indukcji wzajemnej wyznacza się mierząc wypadkową indukcyjność dwóch cewek połączonych szeregowo (rys. 2). Gdy cewki połączone są ze sobą przy zgodnym zwrocie nawinięcia (tzn. strumienie magnetyczne mają zgodne zwroty), indukcyjność wypadkowa  $L_z$  wynosi

$$L_z = L_1 + L_2 + 2M. \quad (8)$$

Gdy cewki są ze sobą połączone przy przeciwnym zwrocie nawinięcia (strumienie magnetyczne mają przeciwne zwroty), indukcyjność wypadkowa  $L_p$  wynosi

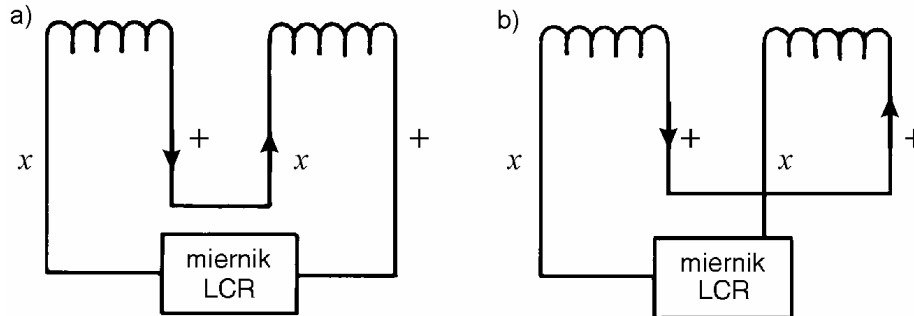
$$L_p = L_1 + L_2 - 2M, \quad (9)$$

stąd obliczone  $M$  i  $k$  są równe odpowiednio

$$M = \frac{L_z - L_p}{4} \quad (10)$$

oraz

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}. \quad (11)$$



**Rys. 2.** Schemat połączeń cewek i miernika indukcyjności dla a) sprzężenia dodatniego, b) ujemnego

#### Aparatura

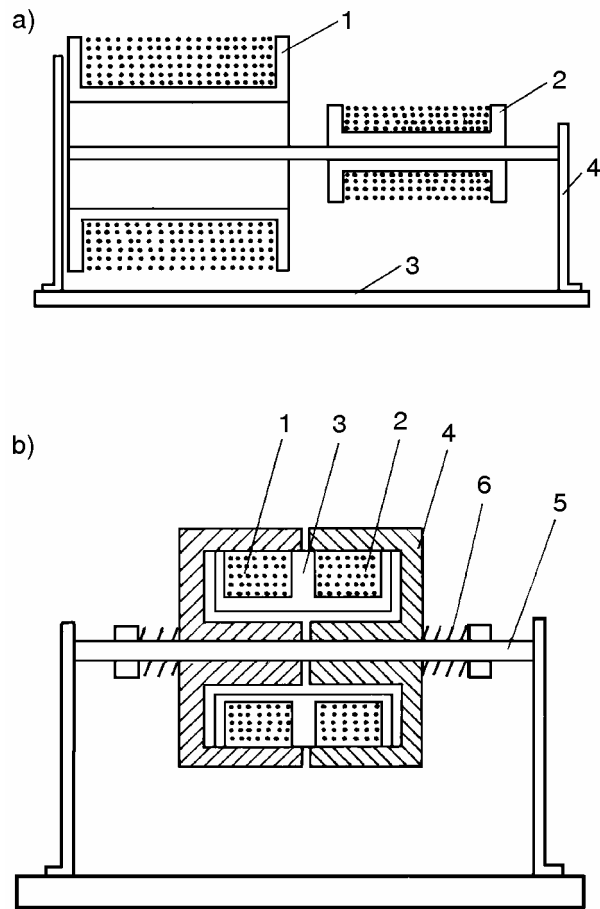
Pomiar indukcyjności własnej i wzajemnej wykonujemy dla dwu układów:

- (a) układu dwóch cewek ze sprzężeniem w powietrzu (rys. 3a)
- (b) układu dwóch cewek z rdzeniem ferrytowym (rys. 3b).

Układ przedstawiony na rysunku 3a składa się z dwóch cewek (1) i (2) umieszczonych na podstawie (3). Zmianę położenia obu cewek uzyskuje się przesuwaną cewkę (2) na prowadnicy (4). Układ pomiarowy przedstawiony na rysunku 3b składa się z dwóch cewek (1, 2) nawiniętych na wspólnym karkasie (3). Na prowadnicy (5) można natomiast przesuwać dwie połówki rdzenia ferrytowego (4), aż do ich zupełnego zetknięcia. Dwie połówki rdzenia ferrytowego dociskane są przy pomocy sprężyny (6), ich odległość regulować można przez wstawienie między połówki rdzenia jednej lub kilku niemagnetycznych płytek.

#### Wykonanie ćwiczenia

1. Zestawić obwód pomiarowy.
2. Dokonać pomiaru indukcyjności wypadkowej dla dodatniego i ujemnego sprzężenia cewek powietrznych przy różnych odległościach cewek (odległości te zmieniać co 0,5 cm).
3. Zmierzyć indukcyjność własną obu cewek.
4. Pomiar pkt. 2-3 powtórzyć dla układu cewek z rdzeniem ferrytowym dla:
  - (a) połówek rdzenia maksymalnie oddalonych,
  - (b) przyłożonych do siebie (dociskać palcami lub sprężyną),
  - (c) dla kilku odległości pośrednich uzyskanych przez włożenie między połówki rdzenia różnej grubości przekładek.
 W przypadku cewki z rdzeniem ferrytowym indukcyjność własną każdej cewki mierzyć trzeba osobno dla każdej odległości połówek rdzenia.
5. Wyniki notować w osobiście zaprojektowanej tabeli, zawierającej również rezultaty obliczeń  $M$  oraz  $k$ .



Rys. 3. Schemat układu solenoidów pomiarowych (a) cewki powietrzne, (b) cewki z rdzeniem ferrytowym

### Opracowanie wyników

1. Obliczyć współczynniki indukcji wzajemnej  $M$  oraz współczynnika sprzężenia  $k$  dla każdego położenia cewek.
2. Dla cewki powietrznej wykonać wykres zależności wypadkowej indukcyjności układu (sprężenie dodatnie i ujemne) oraz współczynnika sprzężenia  $k$  od odległości cewek.
3. Skomentować wyniki uzyskane dla cewki z rdzeniem.