

# 1. Cel lekcji

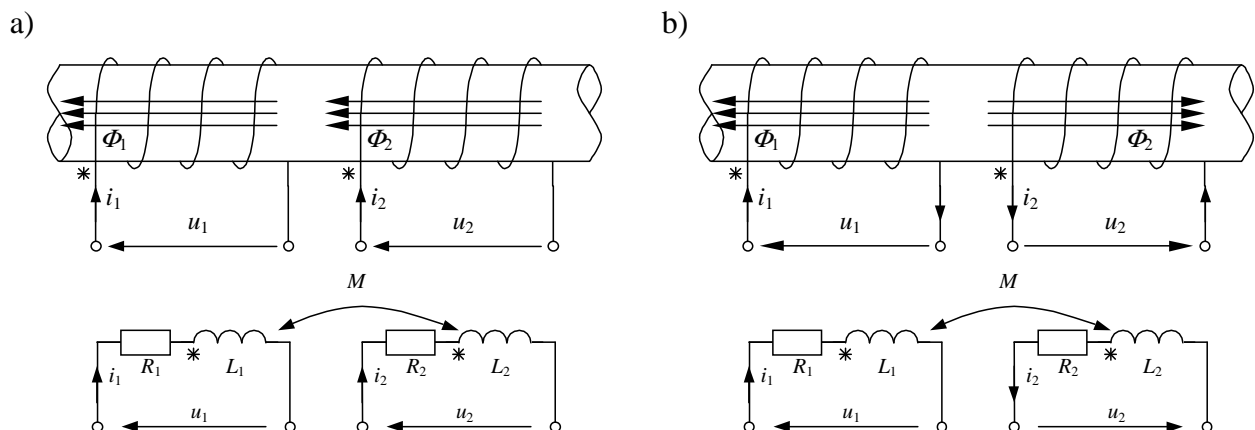
Celem lekcji jest zapoznanie się ze wzajemnym oddziaływaniem obwodów elektrycznych zawierających elementy sprzężone magnetycznie.

## 2. Wiadomości podstawowe

### 2.1. Obwody magnetyczne - pojęcia podstawowe

Przepływ prądu  $i$  wytwarza pole magnetyczne, które przenikając pewną powierzchnię, daje **strumień magnetyczny**  $\Phi$ . Na skutek zmian strumienia przenikającego element indukcyjny (cewkę) indukuje się w niej siła elektromotoryczna. Jeśli strumień przenikający cewkę został wytworzony przez prąd płynący przez tę cewkę, to zjawisko tłumaczymy **indukcją własną**. Jeśli natomiast strumień przenikający cewkę został wytworzony przez inny prąd, to mówimy o zjawisku **indukcji wzajemnej**. Obwody zawierające elementy indukcyjne, w których wzbudzają się siły elektromotoryczne indukacji wzajemnej, noszą nazwę **obwodów sprzężonych magnetycznie**.

W zależności od tego, czy strumienie indukcji własnej i wzajemnej się dodają, czy odejmują, mówimy odpowiednio o **magnesowaniu zgodnym** lub **niezgodnym**. Aby ułatwić poprawne zapisywanie równań, wprowadzono tzw. **zaciski jednoimienne**, które oznaczają się zwykle gwiazdkami, kropkami lub dwoma innymi, ale jednakowymi symbolami.



**Rys. 1.** Dwie cewki sprzężone magnetycznie: a) magnesowanie zgodne, b) magnesowanie niezgodne  
Poniżej przedstawiono schematy zastępcze

Na rysunku 1a przedstawiono dwie cewki nawinięte na wspólnym rdzeniu. Gwiazdkami oznaczono zaciski jednoimienne, które mają tę własność, że przy jednakowych względem tych zacisków zwrotach prądów  $i_1$  oraz  $i_2$  strumienie magnetyczne  $\Phi_1$  i  $\Phi_2$  dodają się (**magnesowanie zgodne**). Dwa pozostałe zaciski tworzą oczywiście drugą parę zacisków jednoimiennych. Napięcia na poszczególnych cewkach określone są w tym przypadku wzorami

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}, \quad u_2 = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

gdzie:  $R_1, R_2$  - rezystancje uzwojeń,  $L_1$  i  $L_2$  - **indukcyjności własne**, a  $M$  - **indukcyjność wzajemna**. Składniki, przy których znajdują się współczynniki  $L_1$  i  $L_2$ , wywołane są zjawiskiem indukcji własnej, a składniki, przy których znajduje się  $M$ , wywołane są zjawiskiem indukcji wzajemnej.

Jeżeli w jednej z cewek zmienimy kierunek prądu (rys. 1b), to wówczas strumienie magnetyczne indukcji własnej i wzajemnej w każdym elemencie będą się odejmować (**magnesowanie niezgodne**). W takim przypadku odpowiednie wzory otrzymamy zmieniając w powyższych wzorach  $i_2$  na  $-i_2$ . Zmieniając dodatkowo zwrot  $u_2$  (aby pozostać w zgodzie z konwencją, w której  $u$  oraz  $i$  strzałkujemy przeciwnie), otrzymujemy

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}, \quad u_2 = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

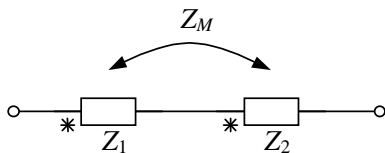
Stopień sprzężenia indukcyjnego dwóch elementów obwodu charakteryzuje się za pomocą **współczynnika sprzężenia  $k$** :

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

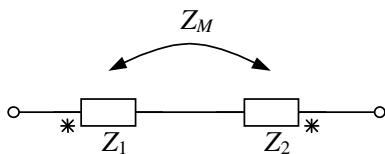
Wartość współczynnika sprzężenia  $k$  należy do przedziału  $[0, 1]$ , gdyż strumień wywołany prądem w jednym z elementów nie kojarzy się całkowicie ze zwojami drugiego elementu ze względu na **zjawisko rozproszenia**. Indukcyjność wzajemna  $M$ , a przez to i współczynnik sprzężenia  $k$ , zależy od wzajemnego położenia elementów sprzężonych magnetycznie.

## 2.2. Wybrane konfiguracje elementów sprzężonych magnetycznie

### 2.2.1. Cewki połączone szeregowo

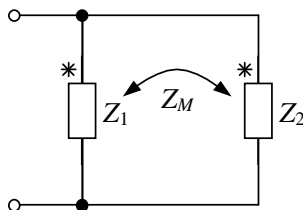


$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + 2\underline{Z}_M$$

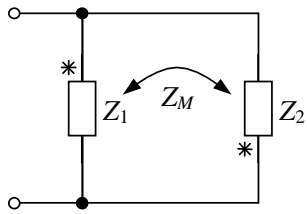


$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 - 2\underline{Z}_M$$

### 2.2.2. Cewki połączone równolegle

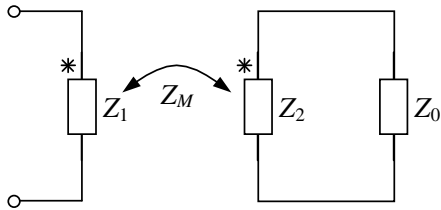


$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 - 2\underline{Z}_M}$$



$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 - \underline{Z}_M^2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + 2\underline{Z}_M}$$

### 2.2.3. Transformator powietrzny



$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 - \frac{\underline{Z}_M^2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_0}$$