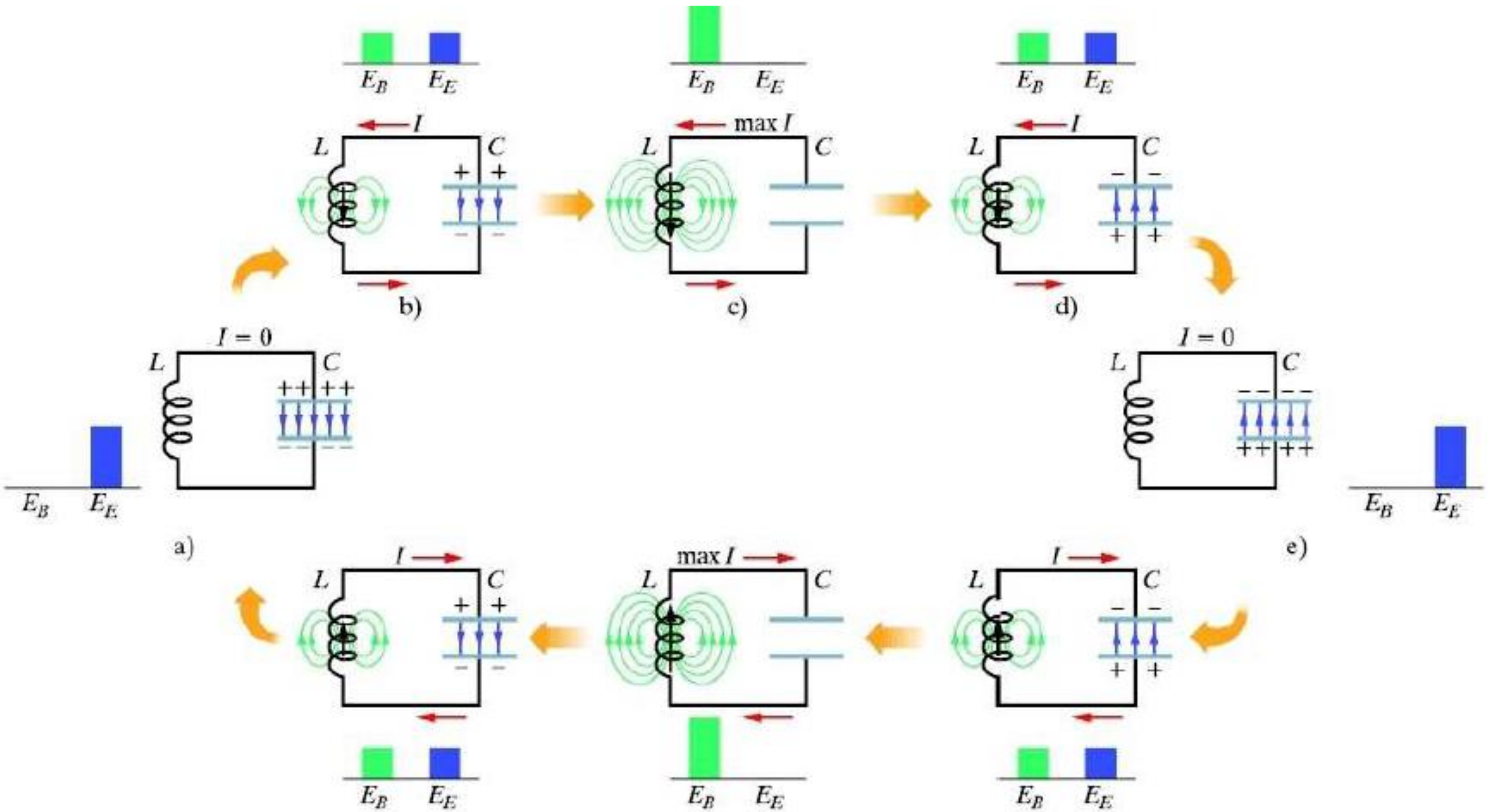
FIZYKA II

Vitalii Dugaev

Katedra Fizyki i Inżynierii Medycznej
Politechnika Rzeszowska

Semestr letni, rok 2017/2018

Drgania elektromagnetyczne



Osiem faz jednego cyklu drgań w obwodzie LC

Energia pola elektromagnetycznego

$$E = E_B + E_E = \frac{LI^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$$

$$E_E = \frac{q^2}{2C},$$

$$E_B = \frac{LI^2}{2}$$

Energia jest zachowana:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{LI^2}{2} + \frac{q^2}{2C}\right) = LI\frac{dI}{dt} + \frac{q}{C}\frac{dq}{dt} = 0$$

Równanie dla zależności *q(t):*

$$L\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{C}q = 0$$

Rozwiązanie:

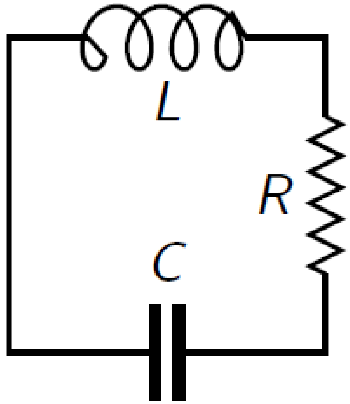
$$\boxed{\begin{aligned} q &= q_{max}\cos(\omega t + \phi) \\ I &= \frac{dq}{dt} = -\omega q_{max}\sin(\omega t + \phi) \end{aligned}}$$

$$\boxed{\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$$

$$I = -I_{max}\sin(\omega t + \phi) \qquad I_{max} = \omega q_{max}$$

Drgania tłumione w obwodzie RLC

$$E = E_B + E_E = \frac{LI^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$$



Energia nie jest zachowana:

$$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t} = -I^2 R$$

$$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t} = LI\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} + \frac{q}{C}\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = -I^2 R$$

Dostajemy równanie:

$$L\frac{\mathrm{d}^2 q}{\mathrm{d}t^2} + R\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{C}q = 0$$

Rozwiązanie:

$$\boxed{\begin{aligned} q &= q_{\max}\mathrm{e}^{-Rt/2L}\cos(\omega' t + \phi) \\ \omega' &= \sqrt{\omega^2 - (R/2L)^2} \end{aligned}}$$

Prąd zmienny

Ramka w ruchu obrotowym w jednorodnym polu magnetycznym.

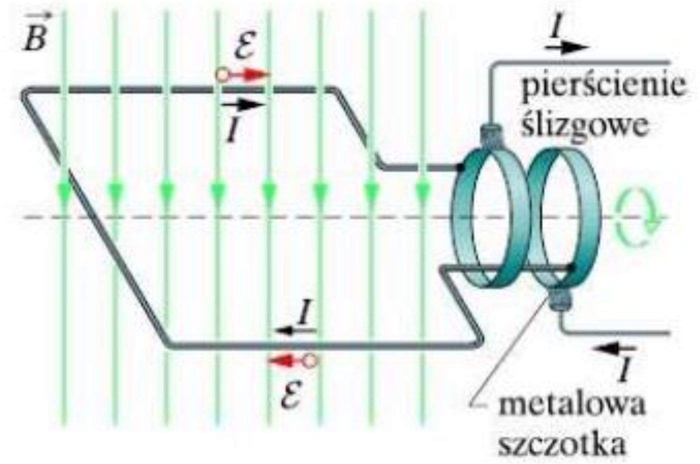
Na mocy prawa Faradaya w konturze powstaje indukowany prąd elektryczny.

SEM i natężenie prądu prądnicy:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{max}} \sin \omega_{\text{w}} t$$

$$I = I_{\text{max}} \sin(\omega_{\text{w}} t - \phi)$$

gdzie ω_w – częstość kołowa SEM



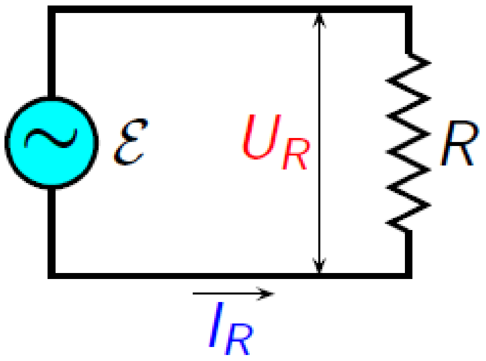
Prądnica prądu zmiennego

Obwód z opornikiem

II prawo Kirchhoffa:

$$\mathcal{E} - U_R = 0$$

SEM źródła: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega_{\mathrm{w}} t$



$$U_R = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega_{\mathrm{w}} t$$

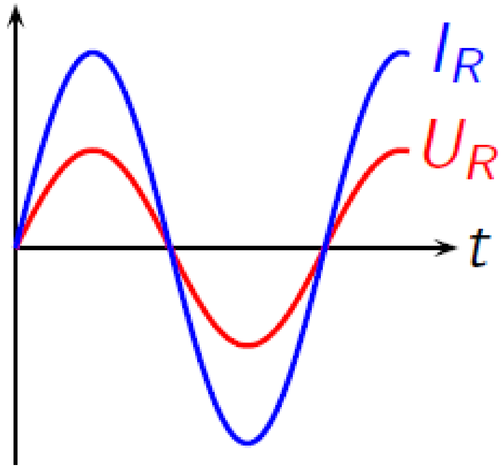
$$U_R = U_{R\max} \sin \omega_{\mathrm{w}} t$$

$$I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{U_{R\max}}{R} \sin \omega_{\mathrm{w}} t$$

$$I_R = I_{R\max} \sin(\omega_{\mathrm{w}} t - \phi)$$

$$\boxed{\phi = 0^\circ}$$

$$U_{R\max} = I_{R\max} R$$



Obciążenie pojemnościowe

Napięcie na okładkach kondensatora:

$$U_C = U_{C\,\max} \sin \omega_w t$$

Ładunek zgromadzony na okładkach

$$q_C = C U_C = C U_{C\,\max} \sin \omega_w t$$

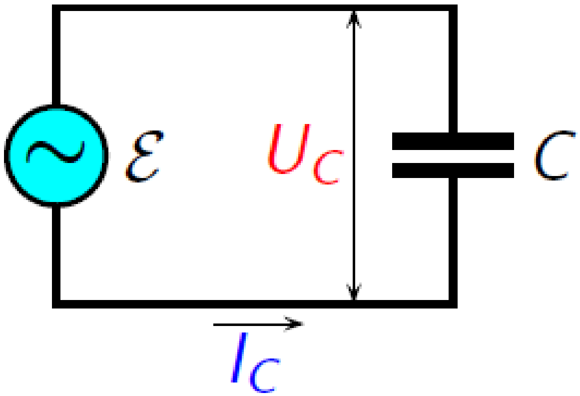
$$I_C = \frac{dq_C}{dt} = \omega_w C U_{C\,\max} \cos \omega_w t$$

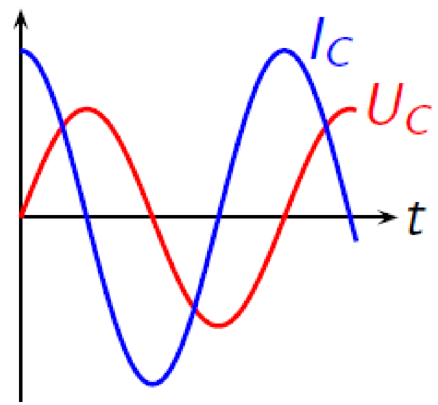
Wprowadzamy reaktancję pojemnościową kondensatora

$$X_C = \frac{1}{\omega_w C}$$

$$I_C = \left(\frac{U_{C\,\max}}{X_C}\right) \sin(\omega_w t + 90^\circ)$$

$$\boxed{\begin{aligned} I_C &= I_{C\,\max} \sin(\omega_w t - \phi) \\ U_{C\,\max} &= I_{C\,\max} X_C \end{aligned}}$$





$$\cos \omega_w t = \sin(\omega_w t + 90^\circ)$$

Faza początkowa natężenia prądu jest równa -90^0

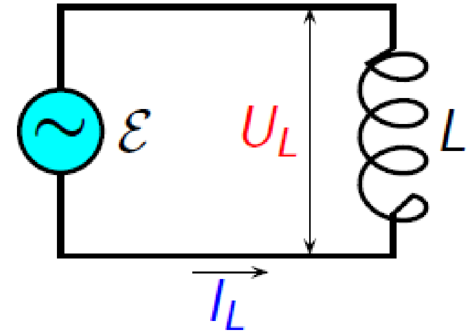
Obciążenie indukcyjne

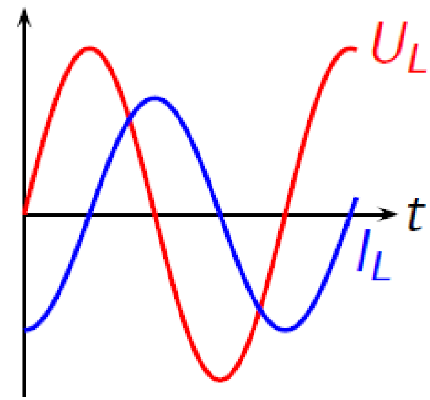
$$U_L = U_{L\max} \sin \omega_w t$$

$$U_L = L\frac{\mathrm{d}I_L}{\mathrm{d}t}$$

$$\frac{\mathrm{d}I_L}{\mathrm{d}t} = \frac{U_{L\max}}{L} \sin \omega_w t$$

$$I_L = \int \mathrm{d}I_L = \frac{U_{L\max}}{L}\int \sin \omega_w t \,\mathrm{d}t = -\left(\frac{U_{L\max}}{\omega_w L}\right)\cos \omega_w t$$





Reaktancja indukcyjna cewki

$$X_L = \omega_w L$$

$$I_L = \left(\frac{U_{L\max}}{X_L}\right)\sin(\omega_w t - 90^\circ)$$

$$-\cos \omega_w t = \sin(\omega_w t - 90^\circ)$$

$$\boxed{\begin{aligned} I_L &= I_{L\max}\sin(\omega_w t - \phi) \\ U_{L\max} &= I_{L\max} X_L \end{aligned}}$$

Faza początkowa natężenia prądu jest równa $+90^0$

Obwód RLC

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \sin \omega_w t$$

$$I = I_{\max} \sin(\omega_w t - \phi)$$

$$I_{\max} = \frac{\mathcal{E}_{\max}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

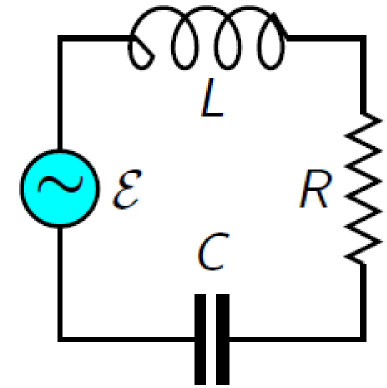
Impedancja obwodu:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

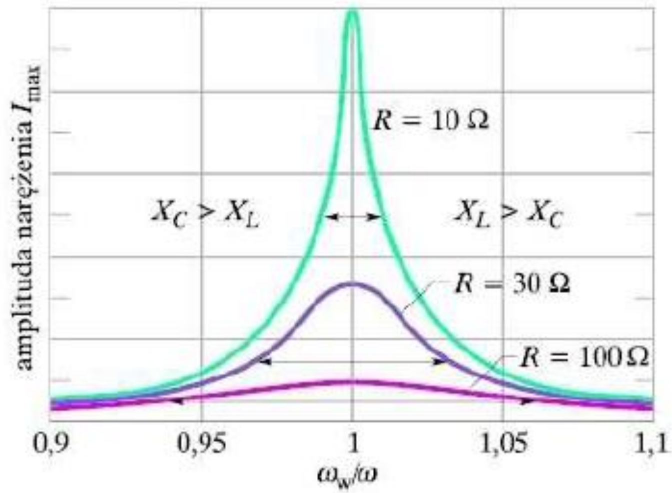
$$I_{\max} = \frac{\mathcal{E}_{\max}}{Z}$$

$$I_{\max} = \frac{\mathcal{E}_{\max}}{\sqrt{R^2 + (\omega_w L - 1/\omega_w C)^2}}$$

Warunek rezonansu: $\boxed{\omega_w = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$



Szeregowy obwód RLC

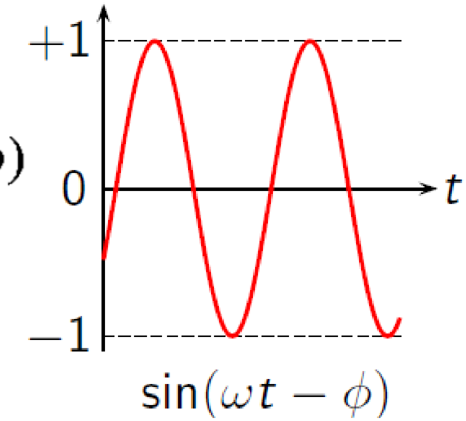


Krzywe rezonansowe obwodu RLC (HRW)

Moc w obwodach prądu zmiennego

Szybkość rozpraszania energii na oporniku

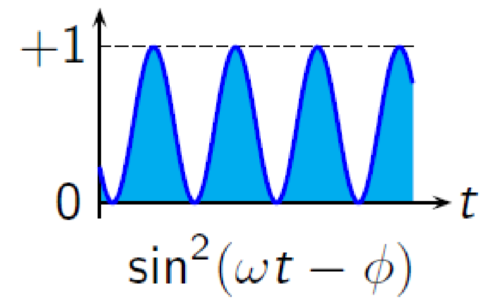
$$P = I^2 R = [I_{\max} \sin(\omega_w t - \phi)]^2 R = I_{\max}^2 R \sin^2(\omega_w t - \phi)$$



Średnia szybkość rozpraszania energii

$$P_{śr} = \frac{I_{\max}^2 R}{2} = \left(\frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}\right)^2 R$$

$$\boxed{I_{sk} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}}$$ - skuteczna wartość natężenia prądu



$$P_{śr} = I_{sk}^2 R$$

Zdefiniujemy skuteczne napięcie

$$U_{sk} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \qquad \mathcal{E}_{sk} = \frac{\mathcal{E}_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{sk} = \frac{\mathcal{E}_{sk}}{Z} = \frac{\mathcal{E}_{sk}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$\boxed{P_{śr} = \mathcal{E}_{sk} I_{sk} \cos\phi}$$

$$P_{śr} = \frac{\mathcal{E}_{sk}}{Z} I_{sk} R = \mathcal{E}_{sk} I_{sk} \frac{R}{Z}$$

$$\cos\phi = \frac{U_{R\max}}{\mathcal{E}_{\max}} = \frac{I_{\max} R}{I_{\max} Z} = \frac{R}{Z}$$

współczynnik mocy

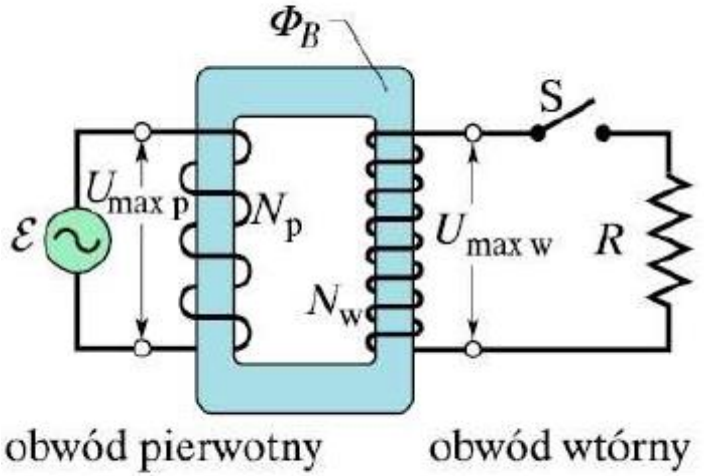
Transformatory

$$P_{śr} = \mathcal{E} I = IU$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{max} \sin \omega t$$

SEM indukowana w obwodzie wtórnym

$$\mathcal{E}_z = \frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{U_p}{N_p} = \frac{U_w}{N_w}$$



Schemat transformatora

$$\boxed{U_w = U_p \frac{N_w}{N_p}}$$

- transformacja napięcia

$$I_p U_p = I_w U_w$$

$$I_w = I_p \frac{N_p}{N_w}$$

- transformacja prądów