

Technologia napraw elektrycznych i elektronicznych układów pojazdów samochodowych

Budowa i zasada działania elementów reaktancyjnych -
cewki indukcyjnej i kondensatora.

Opracował:
mgr inż. Marcin Wieczorek
www.marwie.net.pl

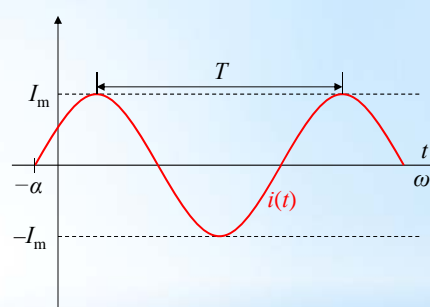
Prąd sinusoidalny

- najogólniejszy prąd sinusoidalny ma postać

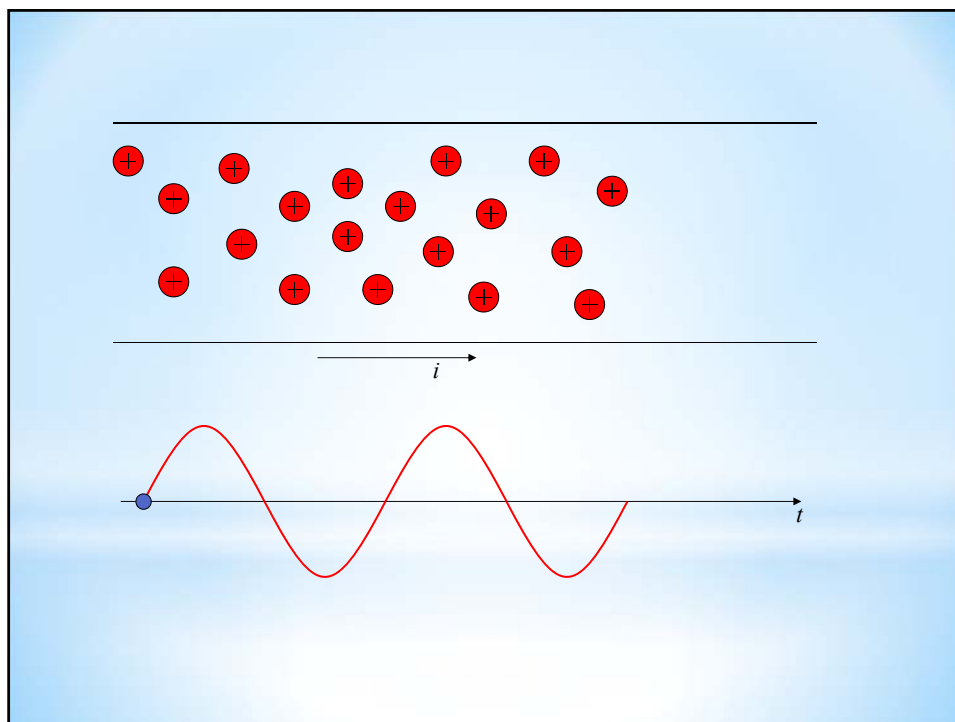
$$i(t) = I_m \sin(2\pi \frac{t}{T} + \alpha)$$

gdzie:

- i – wartość chwilowa,
- I_m – wartość maksymalna (amplituda),
- T – okres,
- α – kąt fazowy.



- wartości $i(t)$ zmieniają się w czasie sinusoidalnie
- wartości $i(t)$ powtarzają się po upływie okresu T



Częstotliwość

- odwrotność okresu

$$f = \frac{1}{T}$$

- jednostką częstotliwości jest Hz (herc, 1/s)
- liczbowo częstotliwość jest równa ilości okresów w jednej sekundzie
- na przykład 50 Hz oznacza, że wszystkie wartości funkcji powtarzają się kolejno 50 razy w ciągu sekundy

Pulsacja

- częstotliwość pomnożona przez kąt pełny

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

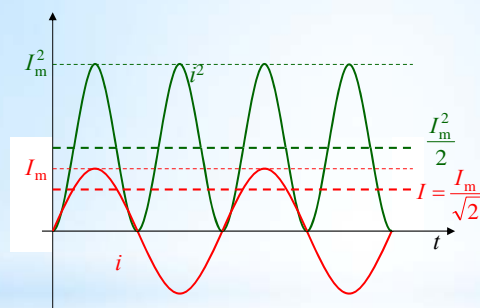
- jednostką jest radian na sekundę (rad/s)

- zapis funkcji sinusoidalnej jest wtedy bardziej zwięzły

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \alpha)$$

Wartość skuteczna

- zastępczy prąd stały I wywołujący takie same skutki cieplne jak prąd okresowy i nazywamy wartością skuteczną przebiegu okresowego i



$$\text{Dla sinusoidy } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Pomiar prądu sinusoidalnego

- Co wskaże amperomierz w przypadku prądu sinusoidalnego?
- Wartość maksymalną?
- Wartość skuteczną?
- Wartości chwilowe?
- Zero?

- w większości mierników będzie to wartość skuteczna

- niektóre mierniki wskazują wartość średnią (dla prądu sinusoidalnego będzie to zero)

Parametry przebiegu sinusoidalnego

- I_m – wartość maksymalna (amplituda)
- i – wartość chwilowa
- I – wartość skuteczna
- t – okres
- f – częstotliwość
- ω – pulsacja
- α – kąt fazowy

$$f = \frac{1}{T} \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

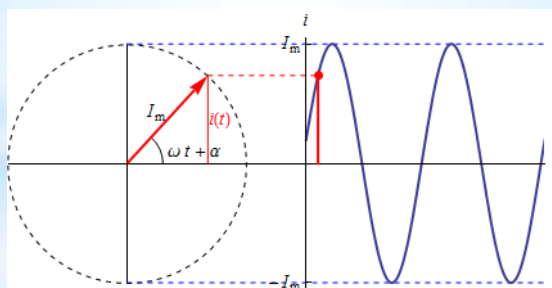
$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \alpha) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \alpha)$$

Sinusoida – interpretacja geometryczna

➤ z zależności na prąd sinusoidalny mamy:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \alpha) \quad \Rightarrow \quad \frac{i(t)}{I_m} = \sin(\omega t + \alpha)$$

➤ wartość chwilowa $i(t)$ jest rzutem na oś OY odcinka o długości I_m wychodzącego z początku układu współrzędnych pod kątem $\omega t + \alpha$ do osi Ox



Elementy obwodu prądu sinusoidalnego

➤ typowy obwód prądu sinusoidalnego zawiera:

- rezystory – element pasywny czynny
- cewki – element pasywny bierny
- kondensatory – element pasywny bierny
- elementy źródłowe, tj. źródła napięcia i prądu sinusoidalnego – elementy aktywne

Źródło napięcia i źródło prądu

- źródła napięcia zmiennego będziemy oznaczać tak jak stałego, lecz bez symboli „+” i „-”
- strzałka napięcia sinusoidalnego wskazuje wyższy potencjał dodatnich chwilowych wartości napięcia
- strzałka prądu sinusoidalnego wskazuje kierunek ruchu ładunków dodatnich dla dodatnich wartości chwilowych prądu



Rezystor

- niezależnie od kształtu przebiegu czasowego prądu i napięcia, dla rezystora liniowego zachodzi zależność

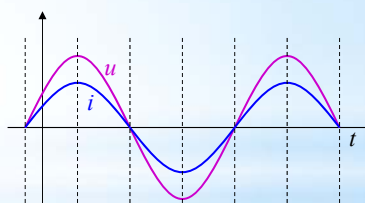
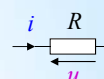
$$u = Ri$$

- jeżeli

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \alpha)$$

- to

$$u(t) = \sqrt{2} \frac{RI}{U} \sin(\omega t + \alpha)$$



- **WNIOSEK:** prąd i napięcie rezystora są w fazie

Rezystor dla prądu sinusoidalnego

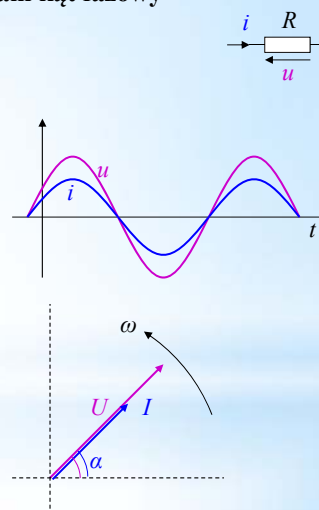
➤ prądu i napięcia są w fazie tzn. mają ten sam kąt fazowy

➤ wskaźy prądu i napięcia są równoległe

$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \alpha)$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \alpha)$$

$$U = RI$$



Cewka

➤ niezależnie od kształtu przebiegu czasowego prądu i napięcia, dla cewki liniowej zachodzi zależność

➤ jeżeli

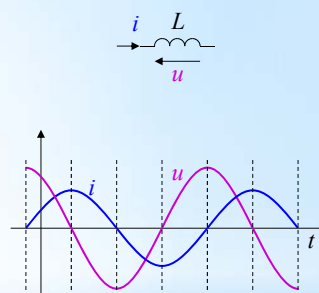
$$u = L \frac{di}{dt}$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \alpha)$$

➤ to

$$\begin{aligned} u(t) &= \sqrt{2}\omega LI \cos(\omega t + \alpha) = \\ &= \sqrt{2}\underbrace{\omega LI}_U \sin(\omega t + \alpha + 90^\circ) \end{aligned}$$

➤ WNIOSK: napięcie wyprzedza prąd o 90°



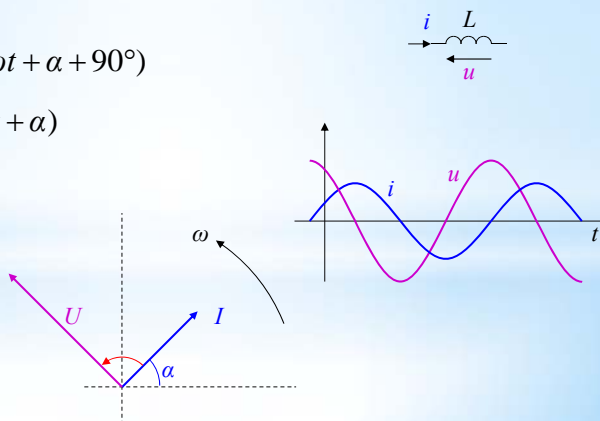
Cewka dla prądu sinusoidalnego

- prądu spóźnia się za napięciem o 90° , czyli napięcie wyprzedza prąd o 90°
- wskaźniki napięcia i prądu są prostopadłe, przy czym wskaźnik prądu spóźnia się za wskaźnikiem napięcia o 90°

$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \alpha + 90^\circ)$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \alpha)$$

$$U = \omega LI$$



Reaktancja indukcyjna

- wielkość

$$X_L = \omega L$$

nazywamy reaktancją indukcyjną albo oporem biernym indukcyjnym

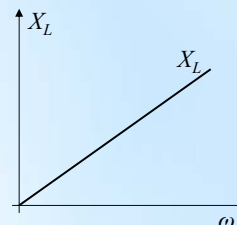
- reaktancję wyraża się w omach
- zależność pomiędzy wartościami skutecznymi prądu i napięcia na cewce ma postać (prawo Ohma dla cewki)

$$U = X_L I$$

- często zamiast indukcyjności L podaje się reaktancję X_L

Reaktancja indukcyjna a częstotliwość

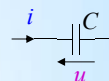
- reaktancja indukcyjna zależy od częstotliwości prądu płynącego przez cewkę
- im większa częstotliwość tym większa reaktancja cewki (tym większy opór stawia)
- dla prądu stałego ($\omega = 0$) cewka stanowi zwarcie, gdyż wtedy $X_L = 0$
- dla bardzo dużych częstotliwości cewka stanowi praktycznie przerwę (wykorzystywane to jest do tłumienia prądów o dużych częstotliwościach)



Kondensator

- niezależnie od kształtu przebiegu czasowego prądu i napięcia, dla kondensatora liniowego

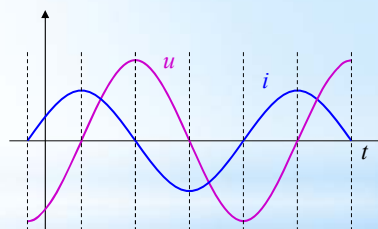
- jeżeli
$$i = C \frac{du}{dt}$$



$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \alpha)$$

- to

$$\begin{aligned} i(t) &= \sqrt{2}\omega CU \cos(\omega t + \alpha) = \\ &= \sqrt{2}\omega CU \underbrace{\sin(\omega t + \alpha + 90^\circ)}_I \end{aligned}$$



- **WNIOSEK:** napięcie spóźnia się za prądem o 90°

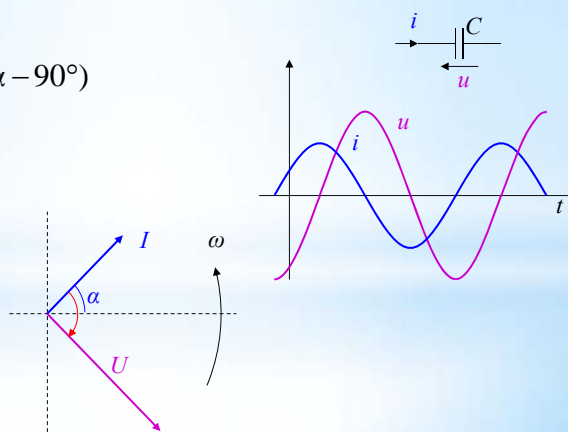
Kondensator dla prądu sinusoidalnego

- prąd wyprzedza napięcie o 90° , czyli napięcie spóźnia się za prądem o 90°
- wskaźniki napięcia i prądu są prostopadłe, przy czym wskaźnik prądu wyprzedza wskaźnik napięcia o 90°

$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \alpha - 90^\circ)$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \alpha)$$

$$U = \frac{I}{\omega C}$$



Reaktancja pojemnościowa

- wielkość

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

nazywamy reaktancją pojemnościową albo oporem biernym pojemnościowym

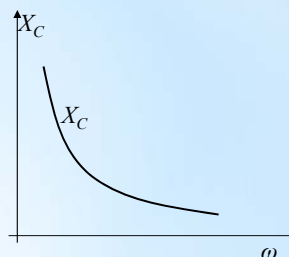
- reaktancję wyraża się w omach
- zależność pomiędzy wartościami skutecznymi prądu i napięcia na cewce ma postać (prawo Ohma dla kondensatora)

$$U = X_C I$$

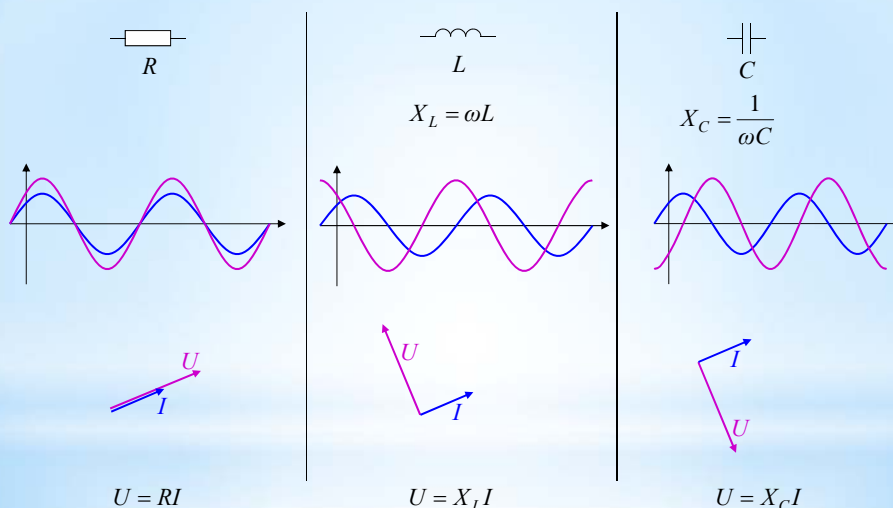
- często zamiast pojemność C podaje się reaktancję X_C

Reaktancja poj. a częstotliwość

- reaktancja indukcyjna zależy od częstotliwości napięcia na zaciskach kondensatora
- im większa częstotliwość tym mniejsza reaktancja kondensatora (tym mniejszy opór stawia)
- dla prądu stałego ($\omega = 0$) kondensator stanowi przerwę, gdyż wtedy $X_C = \infty$
- dla bardzo małych częstotliwości kondensator stanowi praktycznie przerwę (wykorzystywane to jest do tłumienia napięć o małych częstotliwościach)



Elementy RLC - podsumowanie



Reguła CIUL

- w przyswojeniu co za czym się spóźnia, jeśli chodzi o cewkę i kondensator, pomocna może być reguła mnemotechniczna zwana CIUL
- czytając pierwsze trzy litery od początku: dla **C** mamy **I** potem **U**
- czytając ostatnie trzy litery od końca: dla **L** mamy **U** potem **I**
- czytając całość od początku: ... teraz już chyba zapamiętacie !

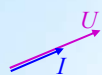
Moduł impedancji

- modulem impedancji dwójnika pasywnego (lub niezbyt precyzyjnie – impedancją) nazywamy iloraz wartości skutecznej napięcia do wartości skutecznej prądu

$$Z = \frac{U}{I}$$

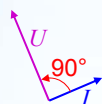
- jest to uogólnienie pojęcia rezystancji na przypadek prądów sinusoidalnych
- jednostką impedancji jest 1 ohm (1 Ω), czyli tak jak rezystancji

Elementy RLC - impedancja



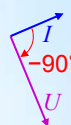
$$Z = R$$

$$\varphi = 0$$



$$Z = X_L = \omega L$$

$$\varphi = 90^\circ$$



$$Z = X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$\varphi = -90^\circ$$

Susceptancja

➤ odwrotność reaktancji nazywamy susceptancją

$$B = \frac{1}{X}$$

➤ jednostką susceptancji jest 1 simens (1 S)

$$X_L = \omega L$$

$$B_L = \frac{1}{\omega L}$$

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

$$B_C = \omega C$$

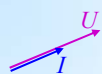
Admitancja

- odwrotność modułu impedancji nazywamy modulem admitancji

$$Y = \frac{1}{Z}$$

- jest uogólnienie pojęcia konduktancji
- jednostką susceptancji jest 1 simens (1 S)

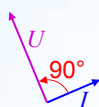
Elementy RLC - podsumowanie



$$Z = R$$

$$\varphi = 0$$

$$Y = G = \frac{1}{R}$$



$$Z = X_L = \omega L$$

$$\varphi = 90^\circ$$

$$Y = B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{\omega L}$$



$$Z = X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$\varphi = -90^\circ$$

$$Y = B_C = \frac{1}{X_C} = \omega C$$

Nowe pojęcia

➤ Wielkości omowe:

- Rezystancja R (*resistere – opierać się*), opór czynny - opór stawiany prądowi przez rezystor,
- Reaktancja X (*reagere – reagować*), opór bierny – opór stawiany prądowi przez cewkę lub kondensator.
- Impedancja Z (*impedere – zawadzać*), opór pozorny – opór wypadkowy stawiany przez dwójnik pasywny.

➤ Wielkości siemensowe:

- Konduktancja G (*conducere – prowadzić, przewodzić*), przewodność czynna – odwrotność rezystancji.
- Susceptancja B (*suscipere – popierać*), przewodność bierna – odwrotność reaktancji.
- Admitancja Y (*admittere – pospieszać*), przewodność pozorna – odwrotność impedancji.

Trójkąt impedancji

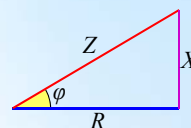
➤ narysujemy trójkąt prostokątny o kącie φ i przeciwprostokątnej Z

➤ przyprostokątne wyrażają się wzorami

$$R = Z \cos \varphi \quad X = Z \sin \varphi$$

oraz zachodzą związki

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}$$



➤ jest to tzw. trójkąt impedancji

➤ każdy dwójnik pasywny charakteryzuje się zatem pewną rezystancją R i reaktancją X

