

4.6.9 Výkon střídavého proudu v obvodu s impedancí

Předpoklady: 4203, 4606, 4607

Opakování:

klasický uzavřený elektrický obvod

- vnější část – proud teče od + k - $\Rightarrow$ normální stav, kladnou práci vykonává elektrická síla
- vnitřní část (baterie) – proud teče od - k + (obráceně) $\Rightarrow$ elektrická síla kladnou práci nekoná (místo ní přesouvá elektrony chemie, magnetismus nebo něco jiného)

$\Rightarrow$ **musíme dávat pozor zda má proud a napětí správný směr** (u stejnosměrného obvodu to nebyl problém, tam bylo obojí stále stejné)

střídavý obvod s odporem

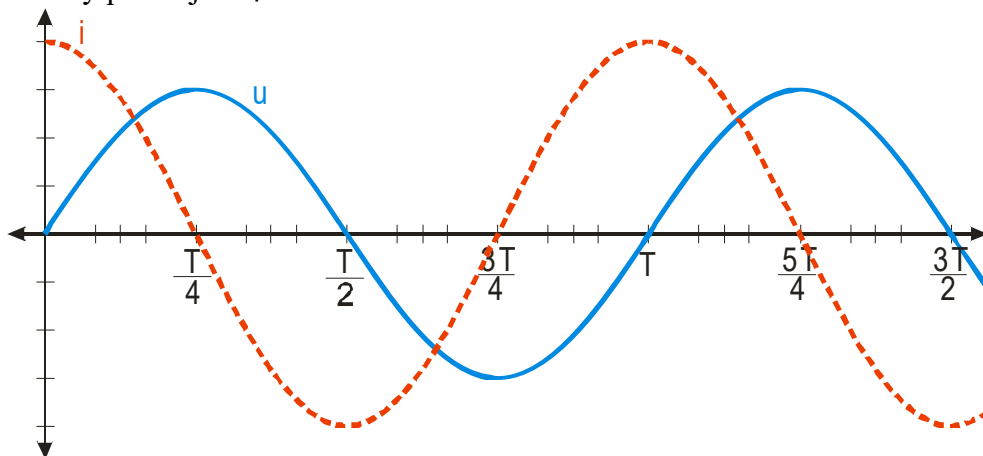
bez problémů, proud a napětí mají stejnou fázi $\Rightarrow$ když se otočí směr proudu, změní se i směr napětí $\Rightarrow$ jejich orientace jsou stále shodné

$\Rightarrow$ u cívky a kondenzátoru není fázový posun nulový $\Rightarrow$ asi to bude horší

Jaký výkon se uvolňuje na kondenzátoru?

Napětí i proud se neustále mění $\Rightarrow$ použijeme vzorec pro okamžité hodnoty $p = i \cdot u$

Fázový posun je $\varphi = -90^\circ$



1. čtvrtina periody (od $t=0$ do $t=\frac{T}{4}$)

zdroj nabíjí kondenzátor (přitéká do něj proud a zvětšuje se napětí stejné polarity) $\Rightarrow$ zdroj dodává energii do obvodu (součin $p = i \cdot u$ je kladný)

2. čtvrtina periody (od $t=\frac{T}{4}$ do $t=\frac{T}{2}$)

kondenzátor se vybíjí (proud teče v opačném směru než při nabíjení, napětí se zmenšuje) $\Rightarrow$ kondenzátor uvolňuje energii do obvodu (součin $p = i \cdot u$ je záporný)

podobně v dalších dvou čtvrtinách periody

3. čtvrtina periody (od $t=\frac{T}{2}$ do $t=\frac{3}{4}T$)

zdroj nabíjí kondenzátor (přitéká do něj záporný proud a zvětšuje velikost záporného napětí) $\Rightarrow$ zdroj dodává energii do obvodu (součin $p = i \cdot u$ je kladný)

4. čtvrtina periody (od $t = \frac{3}{4}T$ do $t = T$)

kondenzátor se vybíjí (proud teče v opačném směru než při předcházejícím nabíjení, velikost záporného napětí se zmenšuje) $\Rightarrow$ kondenzátor uvolňuje energii do obvodu (součin $p = i \cdot u$ je záporný)

Podobně bychom mohli rozebrat i chování ideální cívky.

$\Rightarrow$ Když připojíme na střídavý obvod ideální kondenzátor (ideální cívku) , nekoná se žádná užitečná práce, protože všechno, co dodáme v jedné čtvrt periodě, se v následující čtvrt periodě vrátí do zdroje.

$\Rightarrow$ Výkon závisí na efektivní velikosti proudu, efektivní velikosti napětí a jejich fázovému posunu φ .

Př. 1: Doplň vzorec pro výkon $P = U \cdot I$ o člen obsahující hodnotu fázového posunu tak, aby platil i v obvodech se nenulovým fázovým posunem mezi napětím a proudem. Dosazením do vzorce ověř platnost vztahu jak pro výkon na kondenzátoru, tak pro výkon na odporu.

Hledáme funkci závislou na hodnotě fázového posunu, pro kterou platí:

- pro fázový posun $\varphi = 0^\circ$ vzorec přejde na klasický vztah $P = U \cdot I$,
- pro fázový posun $\varphi = 90^\circ$ získáme nulu,

$\Rightarrow$ použijeme funkci $\cos \varphi$ $\Rightarrow$ vzorec pro výkon ve střídavém obvodu s nenulovým fázovým rozdílem mezi napětím a proudem $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$.

Ověření:

- výkon na odporu (fázový posun $\varphi = 0^\circ$):
 $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos 0^\circ = U \cdot I \cdot 1 = U \cdot I$,
- výkon na kondenzátoru (fázový posun $\varphi = 90^\circ$) :
 $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos(-90^\circ) = U \cdot I \cdot 0 = 0$

Výkon ve střídavém obvodu s nenulovým fázovým rozdílem mezi napětím a proudem

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Člen $\cos \varphi$ se označuje jako **účinník**.

U všech spotřebičů na střídavý proud rozlišujeme:

- **činný výkon:** $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ - užitečný výkon, který přístroj uvolňuje
- **jalový výkon:** $P_Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ - výkon, který přeměňuje uvnitř přístroje, nedá se využít
- **zdánlivý výkon:** $P_S = U \cdot I$ - nemá fyzikální význam, ale jeho velikost umožňuje určit proudy, které do přístroje vtékají.

Př. 2: Urči činný výkon motoru s parametry: $U = 230 \text{ V}$ $I = 5 \text{ A}$ $\cos \varphi = 0,8$.

$$\begin{aligned} P &= U \cdot I \cdot \cos \varphi \\ P &= 230 \cdot 5 \cdot 0,8 \text{ W} \\ P &= 920 \text{ W} \end{aligned}$$

Motor má činný výkon 920 W.

Máme velký fázový posun φ $\Rightarrow$ malá hodnota $\cos \varphi$ $\Rightarrow$ malý výkon, ale do zařízení teče velký proud $\Rightarrow$ velké ztráty v přívodních vodičích (navzdory tomu, že ve vlastním přístroji se nic

neztrácí) $\Rightarrow$ snažíme se snížit φ (a tím zvýšit účinník $\cos \varphi$).

Př. 3: Hlavní součástí motorů je cívkové vinutí. Motory proto mají značnou indukčnost a tedy i velký fázový posun a malý účinník. Navrhni způsob, jak fázový posun cívek kompenzovat a zvětšit účinník motoru.

Máme cívku, která způsobuje kladný fázový posun $\Rightarrow$ připojíme sériově kondenzátor (způsobuje záporný fázový posun) $\Rightarrow$ zmenšíme φ a tím zvýšíme účinník.

Př. 4: Přívodní vodiče elektromotoru mají odpor 3Ω . Urči ztráty, které na nich vznikají, pokud elektromotorem o činném výkonu 1500 W protéká proud s fázovým posunem: a) $\varphi = 10^\circ$
b) $\varphi = 70^\circ$.

Efektivní hodnota použitého napětí je 230 V .

Ze vzorce pro výkon určíme v obou případech proud:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}$$

Ztráty v přívodních vodičích pak vypočítáme podle vzorce pro výkon na odporu (u přívodních vodičů předpokládáme, že nemají ani indukčnost, ani kapacitu):

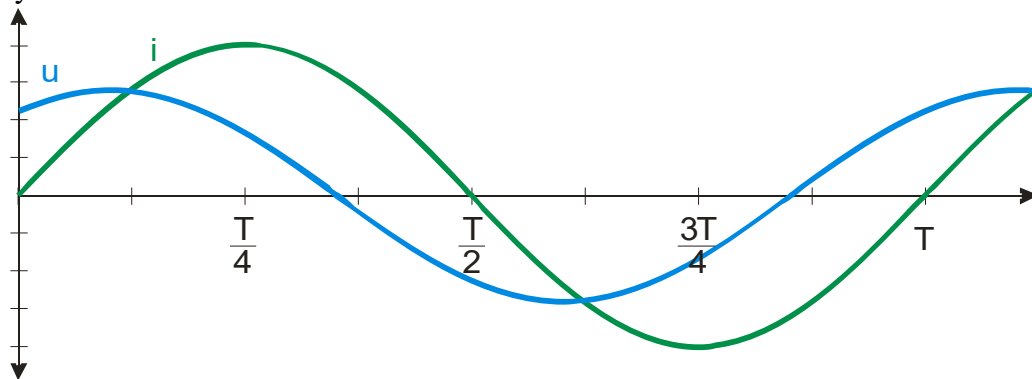
$$P_z = U \cdot I = I^2 \cdot R$$

$$\text{Po dosazení: } P_z = I^2 \cdot R = \left(\frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \right)^2 \cdot R$$

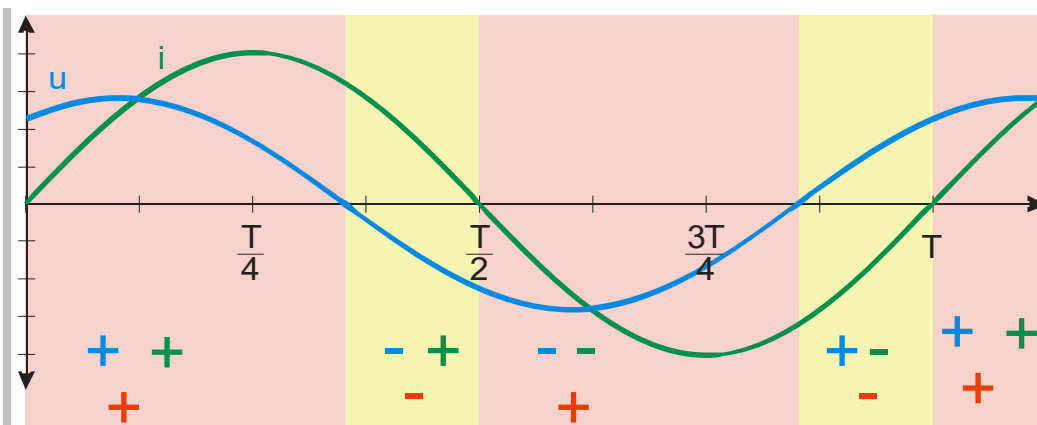
$$\text{fázový posun proudu } \varphi_1 = 10^\circ : P_{z1} = \left(\frac{P}{U \cdot \cos \varphi_1} \right)^2 \cdot R = \left(\frac{1500}{230 \cdot \cos 10^\circ} \right)^2 \cdot 3 \text{ W} = 132 \text{ W}$$

$$\text{fázový posun proudu } \varphi_2 = 70^\circ : P_{z2} = \left(\frac{P}{U \cdot \cos \varphi_2} \right)^2 \cdot R = \left(\frac{1500}{220 \cdot \cos 70^\circ} \right)^2 \cdot 3 \text{ W} = 1091 \text{ W}$$

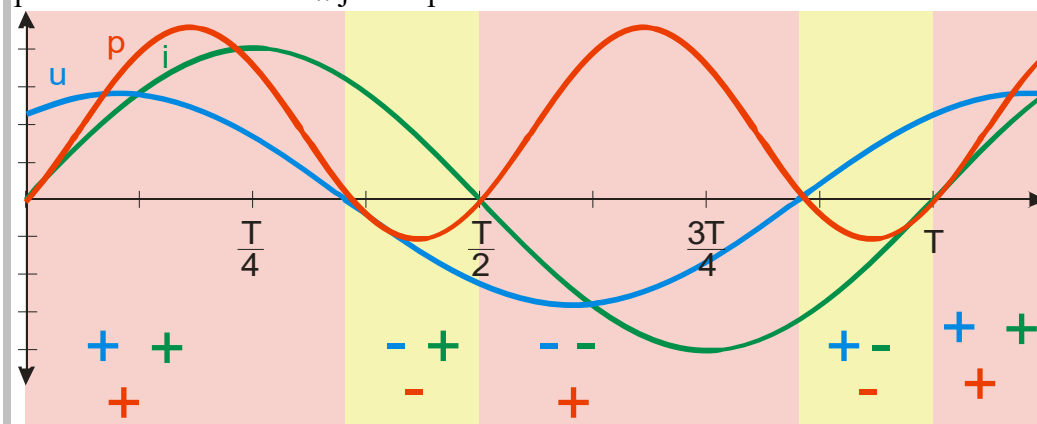
Př. 5: Na obrázku jsou grafy střídavého proudu a napětí. Vyznač do grafu, ve kterých okamžicích proud koná kladnou a kdy zápornou práci. Načrtni přibližný časový průběh okamžitého výkonu.



Znaménko okamžitého výkonu závisí na znaménkách proudu a napětí, vyznačíme si znaménka obou veličin a podle nich zjistíme znaménko výkonu.



Okamžitý výkon bude mít zřejmě opět tvar sinusoidy s dvojnásobnou frekvencí, nebude však posunutá zcela nad osu x jako v předchozí hodině.



Shrnutí: Užitečný činný výkon střídavého proud závisí kromě proudu a napětí i na jejich fázovém posunu.