

## 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

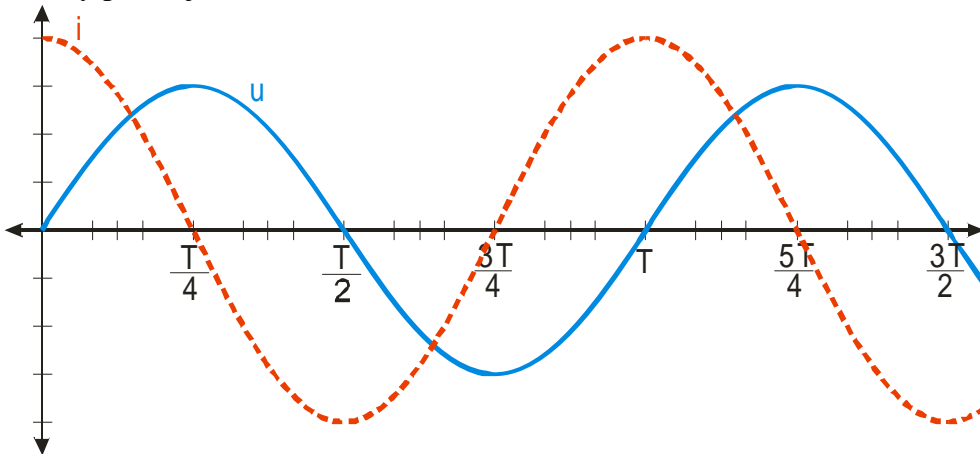
bez problémů, proud a napětí mají stejnou fázi  $\Rightarrow$  když se otočí směr proudu, změní se i směr napětí  $\Rightarrow$  jejich orientace jsou stále shodné

$\Rightarrow$  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  $t=\frac{3T}{4}$ )

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 jedno čtvrt periodě, se v následující čtvrt periodě vrátí do zdroje.

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

**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  $\varphi$   $\Rightarrow$  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  $\varphi$

**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  $\varphi$  a tím zvýšíme účinnost.

**Př. 4:** Přívodní vodiče elektromotoru mají odpor  $3 \Omega$ . Urči ztráty, které na nich vznikají, pokud elektromotor o činném výkonu 1500 W pracuje s účinníkem:

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):

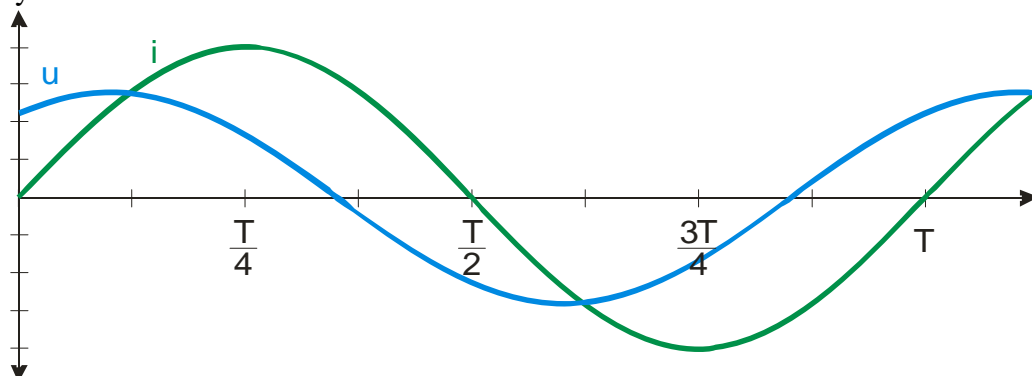
$$P_z = U \cdot I = I^2 \cdot R$$

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

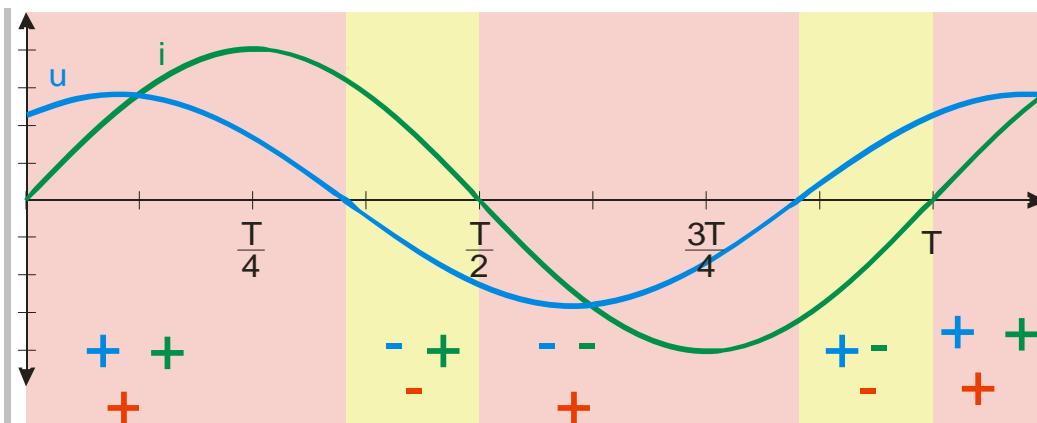
účinník:  $\varphi_1 = 10^\circ$  :  $P_{z1} = \left( \frac{P}{U \cdot \cos \varphi_1} \right)^2 \cdot R = \left( \frac{1500}{230 \cdot \cos 10^\circ} \right)^2 \cdot 3 \text{ W} = 132 \text{ W}$

účinník:  $\varphi_2 = 70^\circ$  :  $P_{z2} = \left( \frac{P}{U \cdot \cos \varphi_2} \right)^2 \cdot R = \left( \frac{1500}{230 \cdot \cos 70^\circ} \right)^2 \cdot 3 \text{ W} = 1091 \text{ W}$

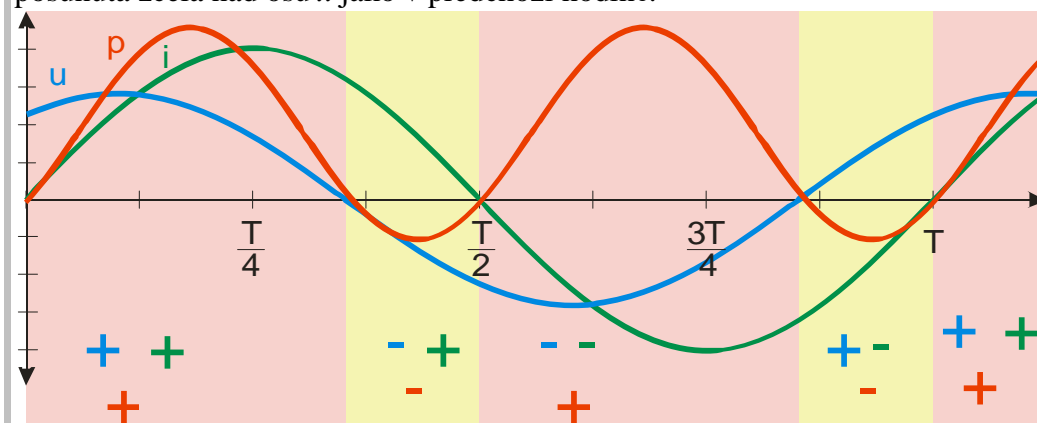
**Př. 5:** Na obrázku jsou grafy střídavého proudu a napětí. Vyznač do grafu, ve kterých okamžicích proud koná kladnou a kdy zápornou práci. Načrtni přibližný časový průběh okamžitého výkonu.



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.