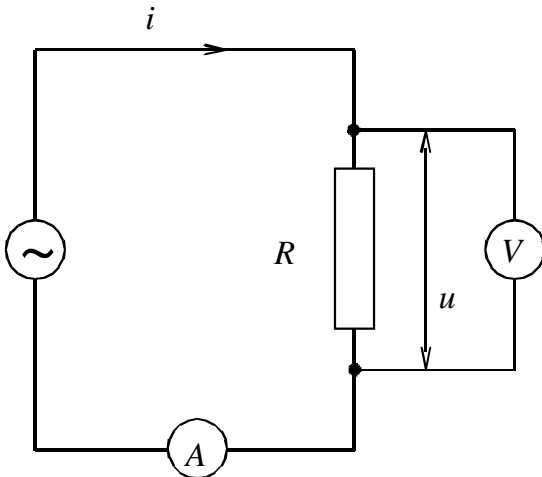


Střídavý proud

Nucené elmg. kmitání ... střídavý proud
 Zdroje stříd. proudu = generátory střídavého proudu

Zapojení různých prvků v obvodu střídavého proudu – zkoumáme, jakým způsobem parametr prvku v obvodu ovlivňuje velikost napětí a proudu v obvodu a fázový rozdíl mezi napětím a proudem.

Obvod střídavého proudu s odporem



okamžité napětí: $u = U_m \sin \omega t$

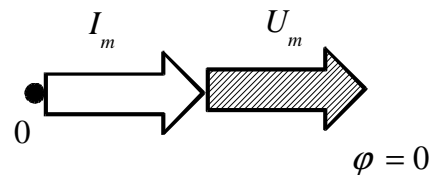
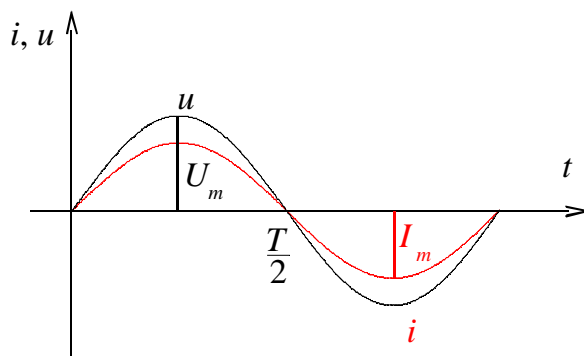
okamžitá hodnota proudu: $i = \frac{u}{R} = I_m \sin \omega t$

$I_m = \frac{U_m}{R}$... amplituda stříd. proudu

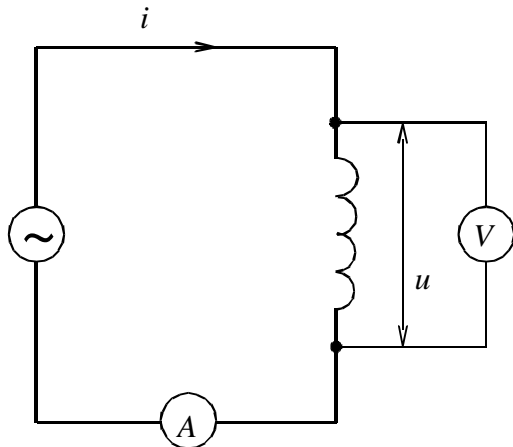
R ... odpor, rezistance

Platí Ohmův zákon stejně jako pro obvod se stejnosměrným proudem, rezistance nezpůsobuje fázový posuv napětí a proudu v obvodu a obě veličiny jsou ve fázi

Časový a fázorový diagram proudu a napětí v obvodu s odporem:

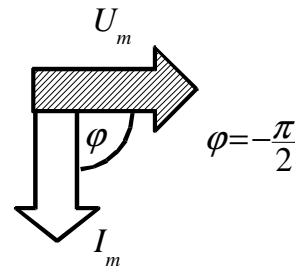
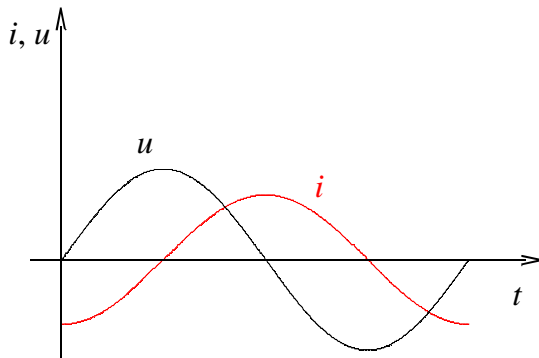


Obvod střídavého proudu s indukčností



Po připojení cívky ke zdroji stříd. napětí obvodem protéká stříd. proud a kolem cívky vznikne měnící se mgn. pole → vlastní indukce → napětí induk. na cívce má opačnou polaritu než zdroj → proud nabude svého maxima až po maximu napětí na cívce – proud se zpožďuje za napětím ⇒ fázový posuv o $\frac{\pi}{2}$.

Časový a fázorový diagram proudu a napětí v obvodu s indukčností:



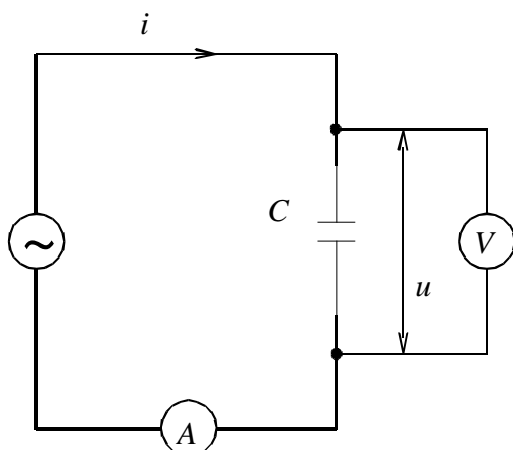
okamžitá hodnota proudu:

$$i = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = -I_m \cos \omega t$$

Cívka má zdánlivou vlastnost odporu (elmg. en. se nemění v teplo) ... induktance $X_L = \frac{U_m}{I_m}$

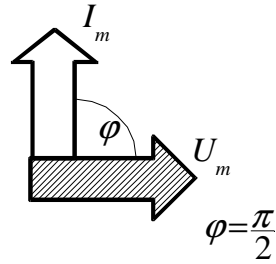
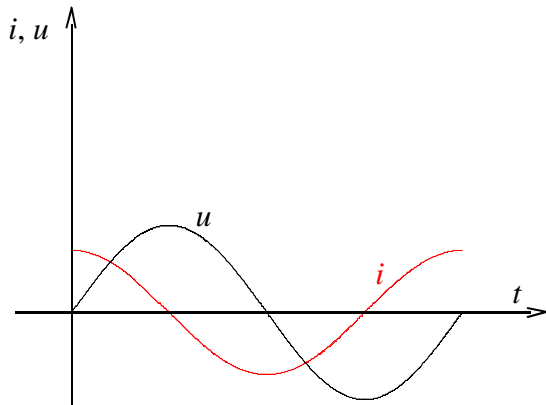
$$X_L = \omega \cdot L$$

Obvod střídavého proudu s kapacitou



Po připojení kondenzátoru ke zdroji stříd. napětí se kondenzátor periodicky nabíjí a vybíjí. Nabíjecí proud je max. když je C nenabitý ($u = 0$). Minimální proud v obvodu je, když je C nabitý na napětí U_m .

Časový a fázorový diagram napětí a proudu v obvodu s kapacitou:



okamžitá hodnota proudu:

$$i = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \cos \omega t$$

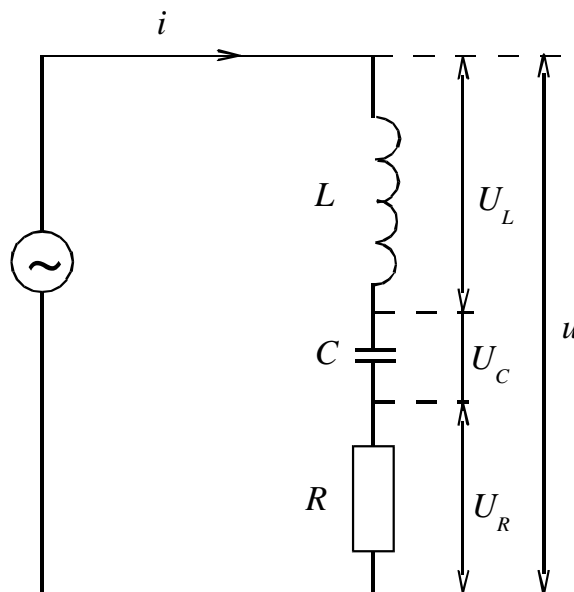
Vidíme, že kondenzátor má v obvodu střídavého proudu opačné účinky než cívka. Kondenzátor má zdánlivou vlastnost odporu (elmg. en. se nemění v teplo)

... kapacitance $X_C = \frac{U_m}{I_m}$, $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$

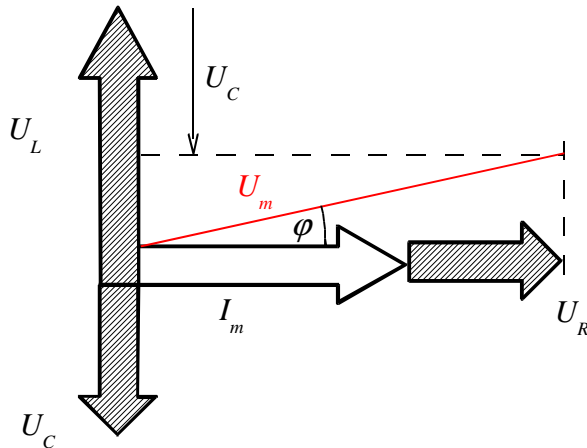
Složený obvod střídavého proudu

Obvod, ve kterém je zapojen rezistor, cívka i kondenzátor, tzv. *RLC* obvod ... řešíme fázorovým diagramem; na jednotlivých prvcích vznikají různě veliká navzájem posunutá napětí.

Sériový *RLC* obvod:



Fázor výsledného napětí U_m najdeme jako geometrický součet jednotlivých fázorů napětí ve fázorovém diagramu:



Velikost fázoru U_m spočítáme podle Pythagorovy věty:

$$U_m^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2 = I_m^2 \left[R^2 + (X_L - X_C)^2 \right] =$$

$$= I_m^2 \left[R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \right]$$

Impedance: $Z = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$ $X \dots$ reaktance

RLC obvod je tak charakterizován jediným parametrem – impedancí.

Z fázorového diagramu plyne:

Je-li $U_L > U_C \dots \varphi > 0 \dots$ obvod má vlastnosti, jako kdyby obsahoval jen rezistanci a induktanci

Je-li $U_L < U_C \dots \varphi < 0 \dots$ obvod má vlastnosti, jako kdyby obsahoval jen rezistanci a kapacitanci

Z fázorového diagramu najdeme vztah pro fázový posun napětí a proudu v obvodu:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad \varphi \in \left\langle -\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \right\rangle$$

Speciální případ: $\omega L = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{LC}$... vliv indukčnosti a kapacity se navzájem

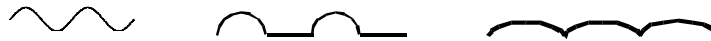
v obvodu ruší a reaktance X je nulová, obvod má vlastnosti, jako kdyby obsahoval jen

rezistanci. V tomto případě se frekvence stříd. proudu shoduje s frekvencí vlastního kmitání obvodu a v obvodu nastane rezonance – max. zesílení amplitudy proudu.

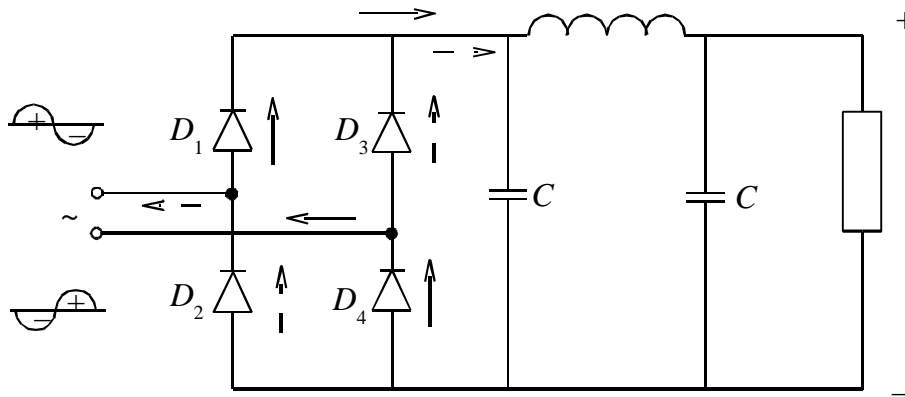
Usměrňovač

Pro R, L, C platí Ohmův zákon, odpor se nemění,
ne tak pro diodu - proud prochází jen v propustném směru,
v obvodu stříd. proudu dioda pracuje jako el. ventil

- pouští kladné půlperiody ... jednocestný usměrňovač
Pomocí kondenzátoru snížíme pulsaci výstupního signálu ... signál vyhladíme:

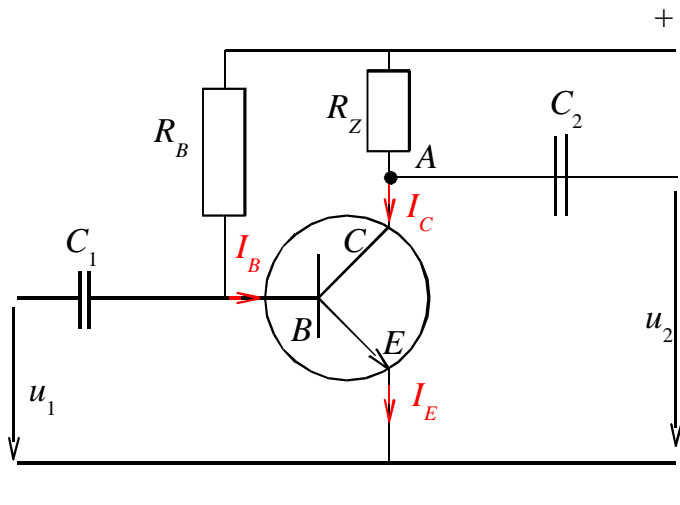


Pro využití obou půlperiod se užije složitější zapojení: Graetzovo zapojení



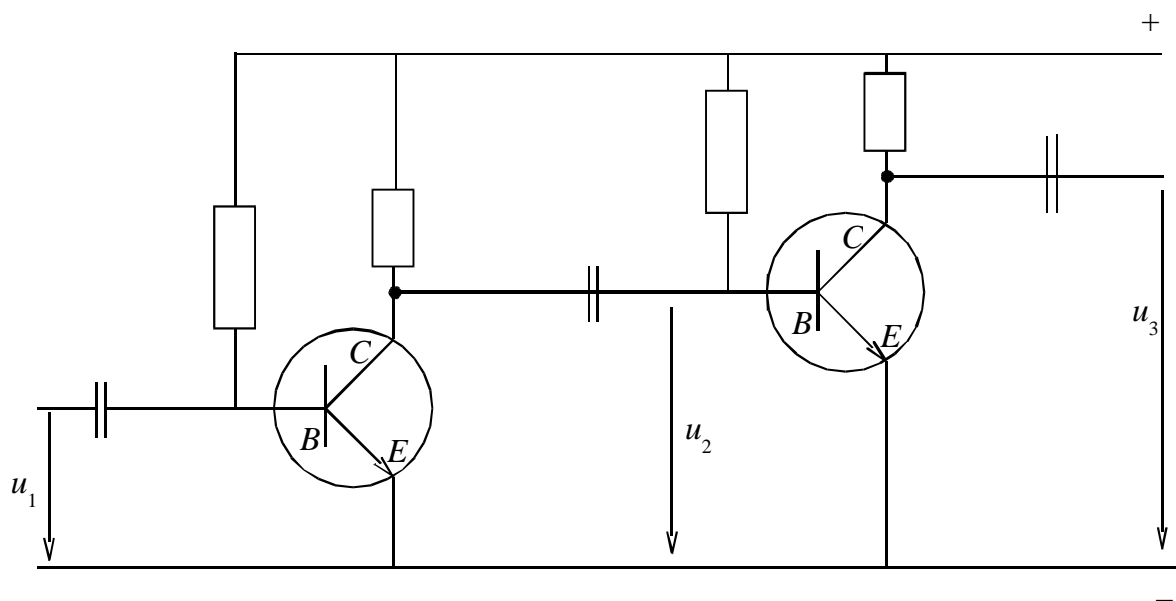
Zesilovač

Jednostupňový: u_1 – vstupní napětí, u_2 – výstupní (zesílené) napětí



veličina zesílení A : $A = \frac{u_2}{u_1}$

Dvoustupňový zesilovač:



veličina zesílení: $A = \frac{u_3}{u_1} = \frac{u_3}{u_2} \cdot \frac{u_2}{u_1} = A_2 \cdot A_1$

Výkon střídavého proudu v obvodu s odporem

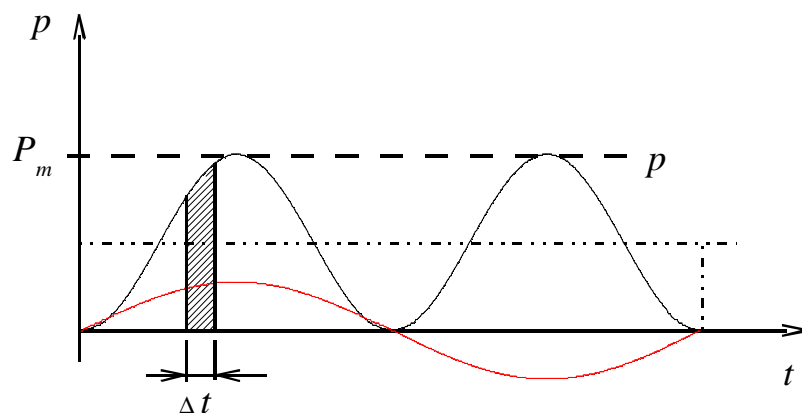
Výkon stejnosměrného proudu $P = U \cdot I = R \cdot I^2$

Výkon stříd. proudu: $p = u \cdot i$

Mění se !!

$$p = Ri^2 = RI_M^2 \sin^2 \omega t$$

Graf okamžitého výkonu stříd. proudu:



FYZIKA – 3. ROČNÍK

Z grafu je vidět, že okamžitá hodnota výkonu se mění s dvojnásobnou frekvencí než okamžitá hodnota proudu. Jeho amplituda: $P_M = RI_M^2$

Celková práce stříd. proudu za 1 periodu = obsah plochy ohraničené osou času a křivkou grafu okamžitého výkonu = obsah plochy obdélníku vyšrafovaného v grafu.

$$\Rightarrow W = \frac{P_M}{2} T = \frac{1}{2} RI_M^2 T$$

Střední hodnota výkonu za 1 periodu je pak $P = \frac{W}{T} = \frac{1}{2} RI_M^2$

\Rightarrow Střídavý proud o amplitudě I_m má stejný střední výkon jako ustálený stejnosměrný proud

o hodnotě $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$:

$$I^2 R = \frac{1}{2} I_m^2 R$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m \dots \text{efektivní hodnota proudu}$$

stejně pro U :

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m \dots \text{efektivní hodnota napětí}$$

Př. Elektrorozvodná síť- voltmetrem naměříme hodnotu 230 V – naměřili jsme efektivní hodnotu napětí – maximální hodnota napětí v síti je pak $230 \cdot \sqrt{2} = 325$ V

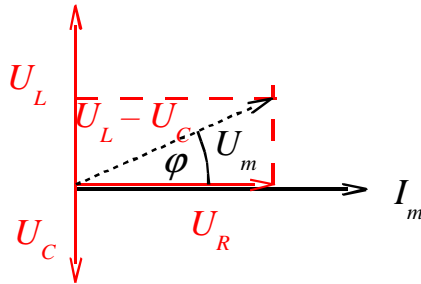
Výkon střídavého proudu v obvodu s impedancí

R, L, C

Amplituda proudu $I_m = \frac{U_m}{Z}$

Střední výkon stříd. proudu: $P = \frac{1}{2} I_m^2 R = \frac{1}{2} I_m \frac{U_m}{Z} \cdot R = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{R}{Z}$

Z fázorového diagramu plyne:



$$\frac{U_m}{U_R} = \frac{Z}{R}$$

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U_m} = \frac{R}{Z}$$

$P = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$ $\cos \varphi$... účinník... udává účinnost přenosu energie ze zdroje stříd. proudu do spotřebiče

↑ φ ... fázový posuv mezi napětím a proudem

činný výkon = část výkonu stříd. proudu, která se v obvodu mění v teplo nebo užitečnou práci

Fázový rozdíl napětí a proudu = $\frac{\pi}{2} \Rightarrow$ práce vykonaná stříd. proudem za 1 periodu je nulová

- v $\frac{1}{4}$ periody ... $P > 0$... energie postupuje ze zdroje ke spotř.

ve druhé čtvrtině periody ... $P < 0$... energie se vrací zpátky

\Rightarrow spotřebičem je C nebo L , vytvoří se el. nebo mgn. pole a zase zanikne... energie nečinně kmitá mezi zdrojem a spotřebičem

Př. 1 Určete časové okamžiky v průběhu periody střídavého napětí, při nichž se okamžité napětí rovná hodnotě efektivního napětí.

Řešení:

$$\text{Řešíme rovnici: } u = U_m \sin \omega t = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$\sin \omega t = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \omega t = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}$$

$$\Rightarrow t = \frac{T}{8}, \frac{3T}{8}$$

Okamžiky, při nichž se okamžité napětí rovná hodnotě efektivního napětí jsou $\frac{T}{8}$ a $\frac{3T}{8}$.

Př. 2 Okamžitá hodnota střídavého napětí při okamžité fázi $\frac{\pi}{6}$ rad je 155 V.

Určete amplitudu a efektivní hodnotu střídavého napětí.

Řešení:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi) \quad U_m = \frac{u}{\sin \varphi} = 310 \text{ V}$$

$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 219 \text{ V}$$

Amplituda střídavého napětí je 310 V a jeho efektivní hodnota je 219 V.

Př. 3 V obvodu střídavého proudu o frekvenci 50 Hz má napětí efektivní hodnotu 120 V. Určete dobu, po kterou svítí doutnavka v každé půlperiodě střídavého napětí, je-li zápalné i zhašecí napětí doutnavky 84 V.

$$\underline{f = 50 \text{ Hz}, U_{ef} = 120 \text{ V}, U = 84 \text{ V}, t = ?}$$

Řešení:

$$U_m = U_{ef} \cdot \sqrt{2} = 169,7 \text{ V}$$

$$u = U_m \sin 2\pi ft$$

$$84 = 169,7 \sin 2\pi ft$$

$$\sin 2\pi ft = 0,495 \text{ rad} \Rightarrow 2\pi ft \doteq \frac{\pi}{6}, \frac{5\pi}{6}$$

$$\Rightarrow t_1 = 0,0016 \text{ s}$$

$$\Rightarrow t_2 = 0,0083 \text{ s}$$

$$t = t_2 - t_1 = 0,00673 \text{ s}$$

Doutnavka v každé půlperiodě svítí po dobu 0,00673 s.

Př. 4 Na štítku elektromotoru na střídavý proud jsou údaje: 220 V, 5 A, $\cos \varphi = 0,8$. Jaký je činný výkon motoru?

$$\underline{U_{ef} = 220 \text{ V}, I_{ef} = 5 \text{ A}, \cos \varphi = 0,8, P = ?}$$

Řešení:

$$P = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi = 880 \text{ W}$$

Činný výkon motoru je 880 W.

Př. 5 Na svorkách zdroje střídavého napětí o výkonu 8 kW je amplituda napětí 220 V a připojeným obvodem prochází proud o amplitudě 100 A. Určete fázový rozdíl napětí a

proudu v obvodu.

$$P = 8 \text{ kW}, U_m = 220 \text{ V}, I_m = 100 \text{ A}, \varphi = ?$$

Řešení:

$$P = \frac{U_m \cdot I_m}{2} \cdot \cos \varphi \Rightarrow \varphi = 43^\circ 21'$$

Fázový rozdíl napětí a proudu je $43^\circ 21'$.