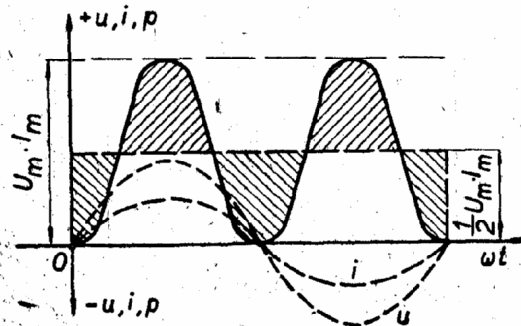


VI – 4. VÝKON STRÍDAVÉHO PROUDU

1. Výkon ve složeném obvodu střídavého proudu

Příklad 34. V obvodu střídavého proudu se zapojeným činným odporem R jsou napětí u a proud i ve fázi. Jak velký je výkon P , jestliže maximální hodnota napětí $U_m = 250$ V a maximální hodnota proudu $I_m = 10$ A?

Řešení. Z obr. VI-26 je zřejmé, že střední výkon střídavého sinusového proudu je roven jedné polovině součinu maximálních hodnot napětí a proudu (jeho velikost je znázorněna obdélníkem o výšce $\frac{1}{2} U_m \cdot I_m$). Platí tedy vztah:



$$P = \frac{1}{2} \cdot U_m \cdot I_m$$

Obr. VI-26

Protože $U_m = U \cdot \sqrt{2}$ a $I_m = I \cdot \sqrt{2}$, dostaneme po dosazení a úpravě vzorec pro výpočet výkonu obvodu se zapojeným činným odporem R :

$$P = U \cdot I \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A})$$

Můžeme tedy zapsat:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{250}{1,414} = 177 \text{ [V]}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{10}{1,414} = 7,07 \text{ [A]}$$

$$P = U \cdot I = 177 \cdot 7,07 = 1\,250 \text{ [W]} = 1,25 \text{ [kW]}$$

Vzorec $P = U \cdot I$ můžeme stejně jako u stejnosměrného proudu upravit na tvary

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Příklad 35. Jak velký proud I teče obvodem střídavého proudu a jaký je účinek $\cos \varphi$, jestliže činná složka proudu $I_c = 20$ A a jalová složka proudu $I_j = 16$ A?

Řešení. Při zapojení indukčnosti nebo kapacity do obvodu střídavého proudu vzniká fázový posun φ mezi proudem a napětím. Proud I se rozkládá na činnou složku I_c a jalovou složku I_j (obr. VI-27a). Pro jejich velikosti platí:

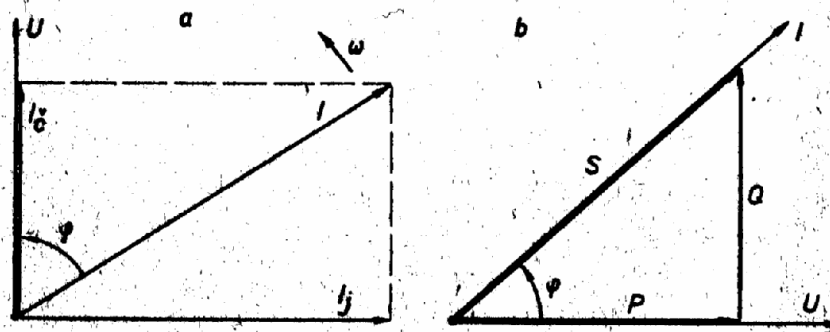
$$I_c = I \cdot \cos \varphi, \quad I_j = I \cdot \sin \varphi$$

Z téhož diagramu vyplývá také výpočet celkového proudu obvodu:

$$I = \sqrt{I_c^2 + I_j^2} = \sqrt{20^2 + 16^2} = \sqrt{400 + 256} = \sqrt{656} = 25,6 \text{ [A]}$$

Z diagramu na obrázku VI-27a vyplývá též fázový posun:

$$\cos \varphi = \frac{I_c}{I} = \frac{20}{25,6} = 0,78$$



Obr. VI-27

Výkon ve složeném obvodu střídavého proudu

Výkon střídavého proudu je úměrný velikosti fázového posunu mezi proudem a napětím. Práci koná pouze činná složka proudu $I \cdot \cos \varphi$, složka $I \cdot \sin \varphi$ je

proud jalový. Součin napětí a proudu (bez ohledu na fázový posun) dává tzv. zdánlivý výkon, který odebrává proudový obvod ze zdroje:

$$S = U \cdot I \quad [\text{VA}; \text{V}, \text{A}]$$

Skutečný (činný) výkon P a také jalový výkon Q závisí na fázovém posunu φ . Z vektorového diagramu (trojúhelníku) výkonů na obr. VI-27b je:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [\text{W}; \text{V}, \text{A}]$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [\text{VAr}; \text{V}, \text{A}]$$

Podle diagramů na obr. VI-27 můžeme zapsat další vztahy:

$$P = U \cdot I_s = S \cdot \cos \varphi, \quad Q = U \cdot I_j = S \cdot \sin \varphi$$

Pro návrhy elektrických strojů je směrodatný zdánlivý výkon S .

Příklad 36. Elektrický spotřebič zapojený na střídavé napětí $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, odebrává ze sítě proud $I = 5 \text{ A}$. Jak velký je činný příkon P , jalový příkon Q a zdánlivý příkon S spotřebiče při účinnosti $\cos \varphi = 0,8$?

Řešení.

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 5 \cdot 0,8 = 880 \text{ [W]}$$

$$\cos \varphi = 0,8, \quad \varphi = 37^\circ, \quad \sin \varphi = 0,6$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 220 \cdot 5 \cdot 0,6 = 660 \text{ [VAr]}$$

$$S = U \cdot I = 220 \cdot 5 = 1100 \text{ [VA]} = 1,1 \text{ [kVA]}$$

Příklad 37. Jak velký je účinek $\cos \varphi$ jednofázového střídavého spotřebiče, jestliže jeho činný výkon $P = 5 \text{ kW}$ a jalový výkon $Q = 3,75 \text{ kVAr}$?

Řešení. Podle diagramů na obr. VI-27 můžeme zapsat vztahy:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{I_c}{I}, \quad \text{tg } \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q}{P} = \frac{3,75}{5} = 0,75$$

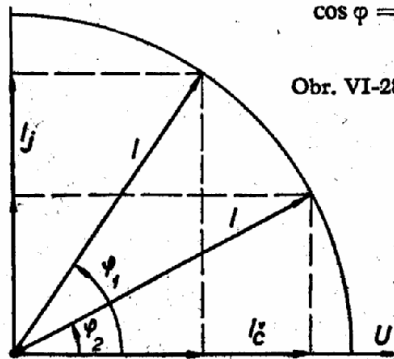
$$\cos \varphi = 0,8 \text{ (z tabulek)}$$

Obr. VI-28

Závislost účinnosti na velikosti fázového posunu φ mezi proudem a napětím ukazuje obr. VI-28. Ze vztahů mezi goniometrickými funkcemi, odvozených v trigonometrii, vyplývá pro výpočet účinnosti vzorec:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q}{P}\right)^2}}$$

Zkontrolujte podle tohoto vzorce výpočet příkladu 37.



134. Jak velká je činná složka proudu I_c , jestliže při $\cos \varphi = 0,8$ teče obvodem proud $I = 100 \text{ A}$?

135. S jakým účinnkem pracuje spotřebič s činným příkonem $P_p = 1,5 \text{ kW}$, jestliže při $U = 220 \text{ V}$ odebrává střídavý proud $I = 10 \text{ A}$?

136. Jak velký je jalový výkon Q elektrického spotřebiče, jestliže zdánlivý výkon $S = 7,5 \text{ kVA}$ a činný výkon $P = 6 \text{ kW}$?

137. Z diagramu na obrázku VI-27a vypočítejte jalovou složku proudu I_j , jestliže efektivní hodnota proudu $I = 30 \text{ A}$ a činná složka proudu $I_c = 23 \text{ A}$.

138. Použijte vzorec uvedený v poznámce za příkladem 37 a vypočítejte $\cos \varphi$, jestliže činný výkon $P = 990 \text{ kW}$ a jalový výkon $Q = 871 \text{ kVAr}$.

139. Z diagramu na obr. VI-27a vypočítejte proud I , jestliže činná složka proudu $I_c = 0,8 \text{ A}$ a jalová složka $I_j = 0,12 \text{ A}$. Jakou hodnotu má $\cos \varphi$?

140. Dva paralelně zapojené spotřebiče odebrávají ze střídavé sítě proudy $I_1 = 1 \text{ A}$ ($\cos \varphi_1 = 0,75$) a $I_2 = 2,5 \text{ A}$ ($\cos \varphi_2 = 0,8$). Jaký celkový proud I musí dodávat zdroj? (Vypočítejte nejprve celkový činný a jalový proud.)

141. Jaký celkový proud I odebrávají ze střídavé sítě dva paralelně zapojené spotřebiče, jestliže první odebrává proud 5 A při fázovém posunu $\varphi = 53^\circ$ a druhý odebrává proud 8 A při fázovém posunu $\varphi = 60^\circ$ (vypočítejte I_c a I_j)?

142. Vysavač prachu má jednofázový elektromotor na střídavé napětí $U = 220 \text{ V}$, který odebrává ze sítě proud $I = 1 \text{ A}$ při $\cos \varphi = 0,75$. Kolik Kčs stojí energie spotřebovaná vysavačem za 10 hodin provozu, počítáme-li 1 kWh za 0,80 Kčs?

143. Vypočítejte činný odpor R a indukčnost L zapojené do série na zdroj střídavého napětí $U = 110 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, jestliže proud v obvodu $I = 2 \text{ A}$ a zapojený wattmetr ukazuje výkon $P = 150 \text{ W}$.

144. Spotřebič zapojený na střídavé napětí $U = 220 \text{ V}$ odebrává ze sítě proud $I = 10 \text{ A}$ a pracuje při $\cos \varphi = 0,8$. Vypočítejte činný, jalový a zdánlivý příkon spotřebiče. Jak velká je činná a jalová složka proudu?

145. Jaká je efektivní hodnota proudu I tekoucího obvodem se zapojeným kondenzátorem s kapacitou $C = 25 \mu\text{F}$, dává-li zdroj střídavé napětí $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$? Jak velký je zdánlivý výkon S obvodu? (Vypočítejte nejprve X_C a použijte Ohmův zákon.)

Příklad 38. Dva paralelně zapojené elektrické spotřebiče odebírají ze sítě střídavé proudy $I_1 = 5 \text{ A}$ při $\cos \varphi_1 = 0,8$ a $I_2 = 10 \text{ A}$ při $\cos \varphi_2 = 0,6$. Jak velký proud I musí dodávat zdroj? Odpor přírodního vedení zanedbáme.

Řešení. Jestliže $\cos \varphi = 0,8$, pak $\sin \varphi = 0,6$, při $\cos \varphi = 0,6$ je $\sin \varphi = 0,8$. Určíme celkový činný a jalový proud a pak proud celkový.

$$I_c = I_1 \cdot \cos \varphi_1 + I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 5 \cdot 0,8 + 10 \cdot 0,6 = 10 \text{ [A]}$$

$$I_j = I_1 \cdot \sin \varphi_1 + I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 5 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,8 = 11 \text{ [A]}$$

$$I = \sqrt{I_c^2 + I_j^2} = \sqrt{10^2 + 11^2} = \sqrt{100 + 121} = \sqrt{221} = 14,87 \text{ [A]}$$

1. V obvodu s ideální indukčností je střídavý proud provázen pouze periodickým kmitáním energie magnetického pole mezi zdrojem a cívkou, jejíž velikost určuje vztah

$$W = \frac{1}{2} L \cdot I^2 \quad [\text{J}; \text{H}, \text{A}]$$

2. V obvodu s ideální kapacitou je střídavý nabíjecí proud kondenzátoru provázen periodickým kmitáním energie elektrostátického pole mezi zdrojem a kondenzátorem, jejíž velikost určuje vztah

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \quad [\text{J}; \text{F}, \text{V}]$$

V těchto obvodech se nespotřebuje žádná energie.

Příklad 39. Na střídavý elektrický zdroj o napětí $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, jsou v sérii zapojeny odpor R a indukčnost L . Jaké jsou jejich velikosti, jestliže ampérmetr ukazuje proud $I = 5 \text{ A}$ a wattmetr ukazuje činný výkon $P = 800 \text{ W}$?

Řešení. Pro výpočet činného odporu R musíme znát zdánlivý výkon S , $\cos \varphi$ a zdánlivý odpor Z obvodu. K výpočtu indukčnosti je třeba stanovit nejprve indukční odpor.

$$S = U \cdot I = 220 \cdot 5 = 1100 \text{ [W]}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{800}{1100} = 0,727$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44 \text{ [\Omega]}$$

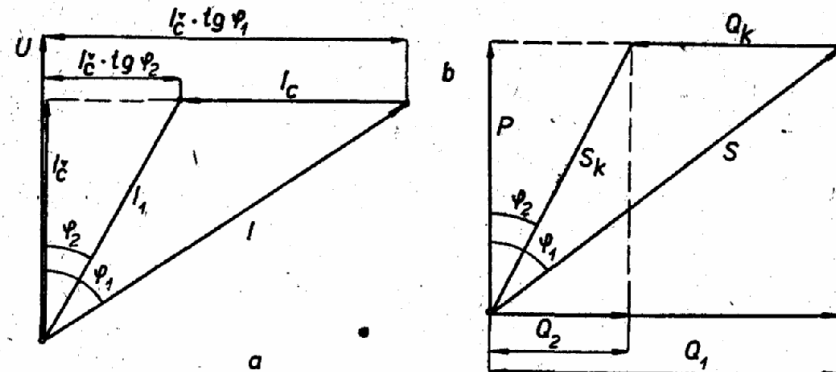
$$R = Z \cdot \cos \varphi = 44 \cdot 0,727 = 32 \text{ [\Omega]}$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{44^2 - 32^2} = \sqrt{912} = 30,2 \text{ [\Omega]}$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{30,2}{314} = 0,096 \text{ [H]} = 96 \text{ [mH]}$$

2. Vyrovnání (kompenzace) účinku

Příklad 40. V obvodu střídavého proudu je zapojen spotřebič s činným výkonem $P = 150 \text{ kW}$, který pracuje s účinnkem $\cos \varphi_1 = 0,6$. Jak velký jalový kompenzační výkon Q_k bude třeba, má-li se účinek zlepšit na $\cos \varphi_2 = 0,9$?



Obr. VI-29

Řešení. Podle diagramu na obr. VI-29b můžeme zapsat:

$$Q_1 = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \quad (\text{jalový výkon před kompenzací účinku})$$

$$Q_2 = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (\text{jalový indukční výkon po kompenzaci})$$

Jalový indukční výkon potřebný pro kompenzaci:

$$Q_k = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad [\text{VAr}; \text{W}]$$

Pro $\cos \varphi_1 = 0,6$ určíme $\operatorname{tg} \varphi_1 = 1,327$, pro $\cos \varphi_2 = 0,9$ určíme $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,484$ a dosadíme:

$$Q_k = 150 \cdot (1,327 - 0,484) = 150 \cdot 0,843 = 126,5 \text{ [kVAr]}$$

146. Spotřebič zapojený na střídavé napětí $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$ odebírá jalový proud $I_j = 2,5 \text{ A}$. Jakou kapacitu C musí mít paralelně připojený kondenzátor pro kompenzaci účinku na $\cos \varphi = 1$?

147. Při napětí $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$ odebírá spotřebič jalový indukční proud $I_L = 10 \text{ A}$. Jak velký kondenzátor bude třeba paralelně ke spotřebiči připojit pro kompenzaci účinku na $\cos \varphi = 1$?

148. Podle vztahu $Q = S \cdot \sin \varphi = \frac{P}{\cos \varphi} \cdot \sin \varphi$ vypočítejte jalový

příkon kondenzátoru pro vyrovnání účinku, jestliže maximální zatížení $P = 80 \text{ kW}$ a fázový posun $\varphi = 41^\circ 20'$.

149. Při účinnku $\cos \varphi_1 = 0,6$ odebírá spotřebič střídavý proud $I = 25$ A. O kolik ampér se zmenší spotřeba téhož spotřebiče po kompenzaci účinnku na $\cos \varphi_2 = 1$?
150. Pro jednofázový střídavý spotřebič ($U = 220$ V, $f = 50$ Hz, $I = 10$ A) vypočítejte kapacitu C kondenzátoru, má-li se původní účinnk $\cos \varphi_1 = 0,6$ vyrovnat na $\cos \varphi_2 = 1$.
151. Pro kompenzaci účinnku motoru z hodnoty $\cos \varphi_1 = 0,65$ na hodnotu $\cos \varphi_2 = 0,9$ je třeba jalový kompenzační výkon $Q_k = 100$ kVAr. Jak velký činný výkon P je kompenzován?
152. Vypočítejte jalový výkon Q , který je kompenzován kondenzátorem o kapacitě $C = 50$ μ F při napětí $U = 380$ V, $f = 50$ Hz. (Vypočítejte nejprve X_C a I_C .)
153. Podle diagramu na obr. VI-29b vypočítejte jalový kompenzační výkon Q_k , jestliže $P = 120$ kW, $\varphi_1 = 63^\circ 30'$, $\varphi_2 = 38^\circ 40'$.
154. Vypočítejte zmenšení jalové složky proudu po kompenzaci účinnku na $\cos \varphi_2 = 0,95$, jestliže před kompenzací měl účinnk hodnotu $\cos \varphi_1 = 0,75$ při proudu $I = 80$ A.

451 Ω 130. 11 A, 5,5 A, 7,33 A, 11,16 A 131. 3,85 Ω , 1,56 A 132. 11,45 A, 0,565 A 133. 0,667 A, 0,69 A 134. 80 A 135. 0,68 136. 4,5 kVAr 137. 19,26 A 138. 0,75 139. 0,809 A, 0,98 140. 3,5 A 141. 12,96 A 142. 165 W, 1,32 K Ω s 143. 37,5 Ω , 128 mH 144. 1,76 kW, 1,32 kVAr 145. 1,725 A, 379,5 VA 146. 36,2 μ F 147. 144 μ F 148. 70 kVAr 149. zmenšení o 10 A 150. 115,6 μ F 151. 146 kW 152. 2,27 kVAr 153. 144 kVAr 154. Jalová složka proudu se zmenšila z 52,8 A na 18,7 A