

8. ELEKTRICKÉ STROJE TOČIVÉ

Určeno pro posluchače bakalářských studijních programů FS

Asynchronní motory

Řešené příklady

Příklad 8.1

3 fázový asynchronní motor s kotvou nakrátko má tyto údaje:

jmenovitý výkon $P_N = 1,5 \text{ kW}$

jmenovité napájecí napětí: $U_{IN} = 400/230 \text{ V}$

jmenovitý napájecí proud: $I_{IN} = 3,5/6,1 \text{ A (Y / D)}$

jmenovité otáčky: $n_N = 1425 \text{ min}^{-1}$

počet pólů: $2p = 4$

jmenovitá účinnost: $\eta_N = 78\%$

frekvence napájecího napětí: $f_1 = 50 \text{ Hz}$

Určete příkon motoru, jeho účinník, jmenovitý točivý moment motoru a synchronní otáčky motoru.

Řešení :

Příkon odebíraný motorem z napájecí sítě vypočítáme ze vztahu pro účinnost :

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_p} \rightarrow P_p = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{1500}{0,78} = 1923 \text{ W}$$

Účinník motoru $\cos\varphi$ určíme ze vztahu pro příkon motoru :

$$P_p = \sqrt{3} \cdot U_{IN} \cdot I_{IN} \cdot \cos\varphi_N \rightarrow \cos\varphi_N = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{IN} \cdot I_{IN}} = \frac{1923}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 3,5} = 0,79$$

Jmenovitý točivý moment na hřídeli motoru určíme z následujícího vztahu:

$$M_N = 9,55 \cdot \frac{P_N}{n_N} = 9,55 \cdot \frac{1500}{1425} = 10,05 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Synchronní otáčky motoru určíme ze vztahu:

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ min}^{-1}$$

Příklad 8.2

Trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko má podle katalogového listu tyto údaje:

jmenovitý výkon na hřídeli: $P_N = 100 \text{ kW}$

jmenovité napájecí napětí: $U_{IN} = 3 \times 400 \text{ V}$, vinutí statoru spojené do trojúhelníku

frekvence napájecího napětí: $f_1 = 50 \text{ Hz}$

jmenovitý účinník $\cos\varphi_N = 0,87$

jmenovité otáčky motoru: $n_N = 1480 \text{ min}^{-1}$

počet pólů motoru $2p = 4$

jmenovitá účinnost: $\eta_N = 93,5 \%$

poměrný záběrný proud: $i_1 = 7,5$

poměrný záběrný moment: $m_1 = 2,4$

momentová přetížitelnost: $m_b = 2,6$

Určete synchronní otáčky motoru, potřebný jmenovitý příkon motoru při jmenovitém zatížení, jmenovitý proud statoru, záběrný proud statoru (při $s = 1$), jmenovitý mechanický moment na hřídeli motoru, záběrný moment, maximální moment, jmenovitý skluz a jmenovitý kmitočet v rotoru motoru.

Řešení:

Synchronní otáčky jsou dány vztahem:

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ min}^{-1}$$

Jmenovitý příkon určíme z účinnosti motoru:

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_p} \cdot 100 \rightarrow P_p = \frac{P_N}{\eta_N} \cdot 100 = \frac{100 \cdot 10^3}{93,5} \cdot 100 = 107000 \text{ W} = 107 \text{ kW}$$

Jmenovitý proud statoru určíme ze vztahu pro příkon motoru:

$$P_p = \sqrt{3} \cdot U_{1N} \cdot I_{1N} \cdot \cos\varphi_N \rightarrow I_{1N} = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{1N} \cdot \cos\varphi_N} = \frac{107 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,87} = 177,5 \text{ A}$$

Poměrný záběrný proud je definován jako:

$$i_1 = \frac{I_{11}}{I_{1N}}, \text{ ze vztahu určíme záběrný proud statoru:}$$

$$I_{11} = i_1 \cdot I_{1N} = 7,5 \cdot 177,5 = 1331,3 \text{ A}$$

Jmenovitý moment motoru:

$$M_N = 9,55 \cdot \frac{P_N}{n_N} = 9,55 \cdot \frac{100000}{1480} = 645,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Poměrný záběrný moment je definován jako:

$$m_1 = \frac{M_1}{M_N}$$

a momentová přetížitelnost jako:

$$m_b = \frac{M_b}{M_N}$$

Záběrný moment motoru je roven:

$$M_1 = m_1 \cdot M_N = 2,4 \cdot 645,2 = 1548,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Maximální moment (moment zvratu) je roven:

$$M_b = m_b \cdot M_N = 2,6 \cdot 645,2 = 1677,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Jmenovitý skluz :

$$s_N = \frac{n_{s1} - n_N}{n_{s1}} \cdot 100 = \frac{1500 - 1480}{1500} 100 = 1,33\%$$

Jmenovitý kmitočet v rotoru motoru:

$$f_{2N} = s_N \cdot f_{1N} = 0,0133 \cdot 50 = 0,67 \text{ Hz}$$

Příklad 8.3

Vypočítejte účinnost trojfázového asynchronního motoru s kotvou nakrátko s následujícími údaji:

jmenovitý příkon motoru: $P_{pN} = 40 \text{ kW}$

jmenovité otáčky motoru: $n_N = 965 \text{ min}^{-1}$

počet pólů motoru: $2p = 6$

jmenovitá napájecí frekvence: $f_{1N} = 50 \text{ Hz}$

ztráty ve vinutí statoru: $\Delta P_{j1} = 1,1 \text{ kW}$

ztráty v železe statoru: $\Delta P_{Fe} = 0,6 \text{ kW}$

ztráty mechanické: $\Delta P_m = 0,66 \text{ kW}$

Řešení :

Pro výpočet účinnosti je nutno určit ztráty ve vinutí rotoru ΔP_{j2} , které závisí na velikosti výkonu přenášeného vzduchovou mezerou stroje a na velikosti skluzu. Nejprve je nutno určit tyto veličiny.

Výkon přenášený vzduchovou mezerou je dán vztahem:

$$P_\delta = P_{pN} - \Delta P_{j1} - \Delta P_{Fe} = 40 - 1,1 - 0,6 = 38,3 \text{ kW}$$

Skluz motoru :

$$s_N = \frac{n_{s1} - n_N}{n_{s1}} = \frac{1000 - 965}{1000} = 0,035$$

$$\text{kde } n_{s1} = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

Ztráty ve vinutí rotoru jsou definovány vztahem:

$$\Delta P_{j2} = P_\delta \cdot s_N = 38,3 \cdot 0,035 = 1,34 \text{ kW}$$

Jmenovitý výkon motoru určíme ze vztahu:

$$P_N = P_{pN} - \Delta P = P_{pN} - (\Delta P_{j1} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{j2} + \Delta P_m) = 40 - (1,1 + 0,6 + 1,34 + 0,66) = 36,3 \text{ kW}$$

Účinnost motoru pak ze vztahu:

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{pN}} \cdot 100 = \frac{36,3}{40} \cdot 100 = 90,8 \%$$

Příklady k samostatnému studiu

Příklad 8.4

Trojfázový asynchronní motor nakrátko má tyto údaje:
jmenovitý výkon $P_N = 30 \text{ kW}$
jmenovité otáčky $n_N = 1455 \text{ min}^{-1}$
počet pólů stroje: $2p = 4$
statorové vinutí je zapojené do hvězdy a je připojené na síť $3 \times 400/230 \text{ V}$, 50 Hz
účinnost $\eta = 90 \%$
účinník $\cos \varphi = 0,85$
záběrný proud $I_1 = 6 \cdot I_N$
záběrný moment $M_1 = 2,3 \cdot M_N$.

Určete jmenovité hodnoty skluzu, proudu statoru, příkonu, momentu, záběrného momentu a záběrného proudu.

($s_N = 3 \%$, $I_{1N} = 56,6 \text{ A}$, $P_p = 33,3 \text{ kW}$, $M_N = 196,9 \text{ N}\cdot\text{m}$, $M_1 = 452,9 \text{ N}\cdot\text{m}$,
 $I_1 = 339,6 \text{ A}$)

Příklad 8.5

Trojfázový asynchronní motor nakrátko se štítkovými údaji:
 $P_N = 15 \text{ kW}$, $3 \times 400/230 \text{ V}$, 50 Hz , $n_N = 1400 \text{ min}^{-1}$, $\eta = 86 \%$, $\cos \varphi = 0,8$.
Vypočítejte proud odebíraný motorem ze sítě a potřebný průřez žíly připojovacího kabelu, je-li dovolená proudová hustota $J = 5 \text{ A/mm}^2$.

($I_{1N} = 31,6 \text{ A}$, $S = 6,32 \text{ mm}^2$)

Synchronní stroje

Řešené příklady

Příklad 8.6

Synchronní alternátor má tyto údaje:
 $S_N = 64\,000 \text{ kVA}$, $U_{1N} = 10\,500 \text{ V}$, $n_{S1} = 214,3 \text{ min}^{-1}$, $\cos \varphi = 0,8$, statorové vinutí spojené do hvězdy.

Určete jeho jmenovitý proud, počet pólů, jmenovitou impedanci, jmenovitý činný a jalový výkon.

Řešení :

Jmenovitý proud určíme ze vztahu pro trojfázový zdánlivý výkon:

$$S_N = \sqrt{3} \cdot U_{1N} \cdot I_{1N} \rightarrow I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}} = \frac{64 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 3519 \text{ A}$$

Počet pólů:

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f_1}{p} \rightarrow p = \frac{60 \cdot f_1}{n_{s1}} = \frac{60 \cdot 50}{214,3} = 14 \rightarrow 2p = 28$$

Jmenovitá impedance statorového vinutí :

$$Z_{1N} = \frac{U_{1f}}{I_{1f}} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3519} = 1,723 \, \Omega$$

Jmenovitý činný výkon :

$$P_N = S_N \cdot \cos \varphi = 64 \cdot 10^6 \cdot 0,8 = 51,2 \cdot 10^6 \, \text{W} = 51\,200 \, \text{kW}$$

Jmenovitý jalový výkon :

$$Q_N = S_N \cdot \sin \varphi = 64 \cdot 10^6 \cdot 0,6 = 38,4 \cdot 10^6 \, \text{var} = 38\,400 \, \text{kvar}$$

Příklady k samostatnému studiu

Příklad 8.7

Trojfázový alternátor má tyto štítkové údaje :

$S_N = 40 \, \text{MVA}$, $U_N = 6300 \, \text{V}$, $f = 50 \, \text{Hz}$, $n = 300 \, \text{min}^{-1}$, při $\cos \varphi = 0,8$ má účinnost $\eta = 97,1 \, \%$.

Vypočítejte jmenovitý proud I_N dodávaný alternátorem do napájecí sítě a potřebný mechanický příkon P_p alternátoru tzn. výkon poháněcí turbíny. Statorové vinutí je spojeno do hvězdy.

$$(I_N = 3666 \, \text{A}, P_p = 32,96 \, \text{MW})$$

Stejnoseměrné stroje

Řešené příklady

Příklad 8.8

Stejnoseměrný motor s cizím buzením má tyto údaje:

$P_N = 45 \, \text{kW}$, $U_N = 440 \, \text{V}$, $I_{aN} = 114 \, \text{A}$, $n_N = 1400 \, \text{min}^{-1}$, $R_a = 0,2 \, \Omega$.

Určete mechanickou charakteristiku motoru $\Omega = f(M)$ pro jmenovité napájecí napětí a pro snížené napájecí napětí $U = 0,5 U_N$ při konstantním buzení $\varphi = \varphi_N$. Mechanické charakteristiky nakreslete.

Řešení

Mechanická charakteristika stejnosměrného motoru s cizím buzením je dána vztahem :

$$\Omega = \frac{U}{c\varphi} - \frac{R_a \cdot M}{(c\varphi)^2}$$

a, mechanická charakteristika pro $U = U_N$

úhlová rychlost motoru:

$$\Omega_N = \frac{2\pi \cdot n_N}{60} = \frac{2\pi \cdot 1400}{60} = 146,6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Určení hodnoty $c\varphi$ motoru:

$$c\varphi = c\varphi_N = \frac{U_{\text{ind}}}{\Omega_N} = \frac{U_N - R_a \cdot I_{aN}}{\Omega_N} = \frac{440 - 0,2 \cdot 114}{146,6} = 2,85 \text{ Wb}$$

Mechanická charakteristika je pak rovna:

$$\Omega = \frac{U_N}{c\varphi_N} - \frac{R_a \cdot M}{(c\varphi_N)^2} = \frac{440}{2,85} - \frac{0,2 \cdot M}{2,85^2} = 154,4 - 0,0246 \cdot M$$

kde $\Omega_{0N} = 154,4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ je úhlová rychlost motoru naprázdno

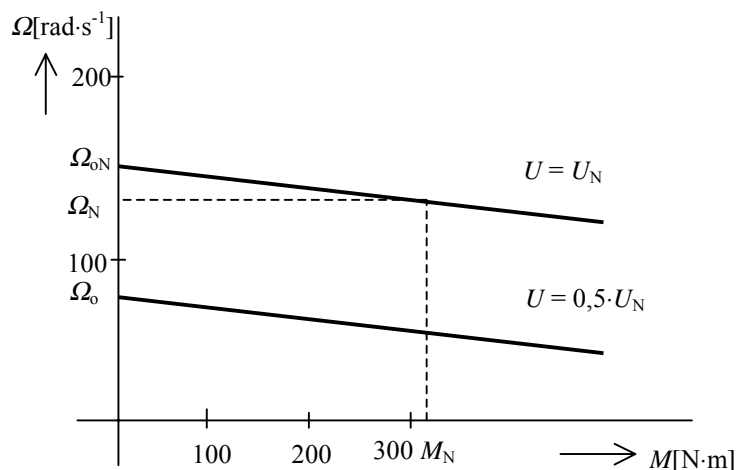
b, mechanická charakteristika pro $U = 0,5 \cdot U_N$

$$\Omega = \frac{0,5 \cdot U_N}{c\varphi_N} - \frac{R_a \cdot M}{(c\varphi_N)^2} = \frac{0,5 \cdot 440}{2,85} - \frac{0,2 \cdot M}{2,85^2} = 77,2 - 0,0246 \cdot M$$

kde $\Omega_0 = 77,2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ je úhlová rychlost motoru naprázdno při $U = 0,5 \cdot U_N$

Pro nakreslení mechanických charakteristik musíme určit jmenovitý moment na hřídeli motoru:

$$M_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{45 \cdot 10^3}{146,6} = 307 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Příklad 8.9

Stejnoseměrný cizí buzení motor s údaji :

$U_N = 220 \text{ V}$, $n_N = 930 \text{ min}^{-1}$, $I_{aN} = 60 \text{ A}$, $n_o = 955 \text{ min}^{-1}$ (otáčky při chodu naprázdno) má pracovat při otáčkách $n = 730 \text{ min}^{-1}$ při jmenovitém zatížení, tj. s proudem kotvy $I_{aN} = 60 \text{ A}$.

Určete velikost odporu R_p , který je třeba zařadit do obvodu kotvy, aby otáčky klesly na uvedenou hodnotu. Buzení motoru je konstantní.

Řešení

Mechanická charakteristika stejnosměrného motoru s cizím buzením je dána vztahem :

$$\Omega = \frac{U}{c\varphi} - \frac{R_a \cdot M}{(c\varphi)^2} = \Omega_o - \Delta\Omega$$

jmenovitá úhlová rychlost motoru:

$$\Omega_N = \frac{2\pi \cdot n_N}{60} = \frac{2\pi \cdot 930}{60} = 97,4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

úhlová rychlost naprázdno:

$$\Omega_o = \frac{2\pi \cdot n_o}{60} = \frac{2\pi \cdot 955}{60} = 100 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

úhlová rychlost při zadaných otáčkách:

$$\Omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2\pi \cdot 730}{60} = 76,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Určení hodnoty $c\varphi$ motoru:

$$\Omega_o = \frac{U_N}{c\varphi} \rightarrow c\varphi = \frac{U_N}{\Omega_o} = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ Wb}$$

Moment motoru je dán vztahem:

$$M = c \cdot \varphi \cdot I_{aN} = 2,2 \cdot 60 = 132 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Celkový odpor obvodu kotvy motoru v případě nezařazeného odporu R_p určíme z rovnice mechanické charakteristiky motoru s cizím buzením:

$$\Omega_N = \frac{U_N}{c\varphi} - \frac{R_a \cdot M}{(c\varphi)^2} \rightarrow R_a = \left(\frac{U_N}{c\varphi} - \Omega_N \right) \cdot \frac{(c\varphi)^2}{M} = \left(\frac{220}{2,2} - 97,4 \right) \cdot \frac{2,2^2}{132} = 0,095 \Omega$$

Celkový odpor obvodu kotvy v případě zařazeného odporu R_p :

$$R_{ac} = R_a + R_p = \left(\frac{U_N}{c\varphi} - \Omega \right) \cdot \frac{(c\varphi)^2}{M} = \left(\frac{220}{2,2} - 76,5 \right) \cdot \frac{2,2^2}{132} = 0,862 \Omega$$

Velikost potřebného předřadného odporu R_p je pak rovna:

$$R_{ac} = R_a + R_p \rightarrow R_p = R_{ac} - R_a = 0,862 - 0,095 = 0,767 \Omega$$

Příklady k samostatnému studiu

Příklad 8.10

Stejnoseměrný cize buzený motor s odporem v obvodu kotvy R_a odebírá při chodu naprázdno při napětí U_{a0} proud kotvy I_{a0} a otáčí se rychlostí n_0 . Při zatížení stoupne proud kotvy motoru I_a a klesne napětí motoru U_a . Určete rychlost a moment motoru při tomto zatížení. Buzení motoru je konstantní.

Zadané hodnoty:

$$R_a = 0,14 \, \Omega, U_{a0} = 220 \, \text{V}, I_{a0} = 3 \, \text{A}, n_0 = 1200 \, \text{min}^{-1}, U_a = 217 \, \text{V}, I_a = 60 \, \text{A}$$

$$(n = 1138 \, \text{min}^{-1}, M = 105 \, \text{N}\cdot\text{m})$$