

1. задатак (20)

а) Електромагнетски момент асинхроне машине једнак је количнику снаге обртног поља коју статор предаје ротору, и синхроне брзине којом се поље обрће у ваздушном

зазору: $M_{em} = \frac{P_{ob}}{\Omega_s}$

$$P_{ob} = 3 \frac{R_R}{s} I_R^2,$$

$$\Omega_s = \omega_s,$$

$$P_{ob} = 3 \frac{R_R}{s} I_R^2,$$

$$M_{em} = \frac{3}{\omega_s} \frac{R_R}{s} I_R^2,$$

при чему I_R представља ефективну вредност роторске струје.

Уз претпоставку да је $I_R^2 \approx I_S^2$, односно да је струја магнетисања релативно мала $|I_m| \ll |I_S|$, статорска и роторска струја су једнаке. По услову задатка $R_S = 0$ има се :

$$I_S \approx \frac{U_S}{\frac{R_R}{s} + j\omega_s(L_{\gamma S} + L_{\gamma R})}$$

Електромагнетски моменат има облик:

$$M_{em}(s) = \frac{3R_R}{\omega_s s} \frac{U_S^2}{\left(\frac{R_R}{s}\right)^2 + \omega_s^2 (L_{\gamma S} + L_{\gamma R})^2}$$

б) Преваљни момент се може одредити из израза за момент $M_{em}(s)$, налажењем екстремума дате функције:

$$\frac{d}{ds} [M_{em}(s)] = \frac{d}{ds} \left[\frac{3R_R}{\omega_s s} \frac{U_S^2}{\left(\frac{R_R}{s}\right)^2 + \omega_s^2 (L_{\gamma S} + L_{\gamma R})^2} \right] = 0$$

Преваљно клизање је $s_{pr} = \pm \frac{R_R}{\omega_s L_{\gamma e}}$,

при чему је $L_{\gamma e} = L_{\gamma S} + L_{\gamma R}$ еквивалентна расипна индуктивност машине.

$$M_{pr} = \frac{3}{\omega_s} \frac{R_R}{s_{pr}} \frac{U_S^2}{\left(\frac{R_R}{s_{pr}}\right)^2 + \omega_s^2 (L_{\gamma e})^2} = \frac{3}{\omega_s} \frac{U_S^2}{2\omega_s L_{\gamma e}}$$

в)

$$M_{pr} = \frac{3}{2} \frac{1}{L_{\gamma e}} \frac{U_s^2}{\omega_s^2},$$

$$M_{pr} = \frac{3}{2} \frac{1}{L_{\gamma e}} \Psi_s^2,$$

При чему је $\Psi_s = \frac{U_s}{\omega_s}$ флуks статорског намотаја при $R_s = 0$.

2. задатак (20)

Следеће једначине дају комплетан математички модел електричног под-система асинхроне машине у синхронно ротирајућем dq координатном систему. Две комплексне једначине равнотеже напона у намотајима статора и ротора, изведене раније, могу се раздвојити на реални и имагинарни део, чиме се добијају четири скаларне једначине.

$$u_d = R_s i_d + \frac{d\psi_d}{dt} - \omega_s \psi_q \quad (4.68)$$

$$u_q = R_s i_q + \frac{d\psi_q}{dt} + \omega_s \psi_d \quad (4.69)$$

$$0 = R_r i_D + \frac{d\psi_D}{dt} - \omega_k \psi_Q \quad (4.70)$$

$$0 = R_r i_Q + \frac{d\psi_Q}{dt} + \omega_k \psi_D \quad (4.71)$$

(потребно је именовати параметре и варијабле)

У одговори на питање „Објаснити и записати везу напона u_d и u_q са напонима u_a u_b u_c “, потребно је најпре објаснити Кларкину трансформацију, и при томе се одредити за коефицијент који одговара коефицијенту у изразу за снагу, који следи доцније. Уобичајено, $K = 2/3$, док се код израза за снагу користи $3/2$. Потом, треба навести како се примењује Паркова трансформација која даје вредности напона у синхронно ротирајућем систему.

Полазећи од израза за снагу извора $P_e = (3/2)(u_d i_d + u_q i_q)$ могуће је одредити електромагнетски моменат. Користећи једначине напонске равнотеже за статорске намотаје добија се снага извора $P_e = (3/2)(u_d i_d + u_q i_q) = (3/2) (R_s i_d^2 + R_s i_q^2) + (3/2) (i_d d\psi_d/dt + i_q d\psi_q/dt) + (3/2) \omega_s (\psi_d i_q - \psi_q i_d) = P_{cu1} + dW_m/dt + P_{ob}$. Сабирак P_{cu1} представља губитке у бакру статорског намотаја. Сабирак dW_m/dt представља снагу акумулације енергије у спрежном пољу, то јест извод енергије акумулисана у спрежном пољу. Средња вредност израза dW_m/dt мора бити једнака нули, зато што се акумулисана енергија не може непрекидно увећавати. У случају да губици у гвожђу статора P_{Fe} имају значајну вредност, требало их обрачунати скупа са dW_m/dt . Остатак снаге која долази из извора означен је са $P_{\text{...}}$, зове се *снага обртног поља* и пре-

Снага P_{dq} је једнака

$$u_d i_d + u_q i_q = R_s (i_d^2 + i_q^2) + (\Psi'_d i_d + \Psi'_q i_q) + \omega_s (\Psi_d i_q - \Psi_q i_d). \quad (4.73)$$

Први сабирак на десној страни једначине је P_{cu1} , други dW_m/dt , док остатак одређује снагу обртног поља. Снага обртног поља P_{ob} оригиналне машине је

$$P_{ob} = \frac{3}{2} \omega_s (\Psi_d i_q - \Psi_q i_d). \quad (4.74)$$

акције статора и ротора, односно електромагнетски моменат $M_{em} = P_{ob} / \Omega_s$ којим статор делује на ротор.

$$M_{em} = \frac{3}{2} P (\psi_d i_q - \psi_q i_d) \quad (4.75)$$

3. задатак (20)

У номиналном режиму рада, заменско коло се своди на редну везу елемената $L_{\gamma e}$ и R_R/s . Током поласка, заменско коло се своди на редну везу елемената $L_{\gamma e}$ и R_R . У оба случаја су познате ефективне вредности струје и напона статора, тако да се добија систем једначина:

$$I_p = \frac{U_n}{\sqrt{R_R^2 + (\omega_{Sn} L_{\gamma e})^2}} \quad I_n = \frac{U_n}{\sqrt{\left(\frac{R_R}{s_n}\right)^2 + (\omega_{Sn} L_{\gamma e})^2}}$$

У претходној једначини, $s_n = 0,05$. Решавањем овог система добија се:

$$R_R = U_n \sqrt{\frac{1}{\frac{I_n^2}{I_p^2} - 1}} = 1.199 \, \Omega \quad L_{\gamma S} = L_{\gamma R} = \frac{L_{\gamma e}}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_n}{2\pi f_{Sn}} \sqrt{\frac{1}{\frac{I_p^2}{I_n^2} - 1}} = 7.54 \, \text{mH}$$

Из податка о струји празног хода, добија се $L_S = U_n / I_0 / \omega_{Sn} = 140.1 \, \text{mH}$, односно $L_m = 132.56 \, \text{mH}$. Решавањем заменског кола, у коме постоје ефективне вредности релевантних величина, за клизање једнако номиналном, при статорском напону $U_S = 220\text{V}$, добија се

$$\underline{I}_S = 7.919 - j 6.523 \, [\text{A}]$$

$$\underline{I}_R = 8.3704 - j 1.6098 \, [\text{A}]$$

Електромоторна сила статора је једнака $U_S - R_S \underline{I}_S = U_S$, тако да је вршна вредност статорског флукса једнака $\Psi_S = \sqrt{2} \cdot U_n / \omega_{Sn} = 0.9903 \text{Wb}$.

Електромоторна сила ротора је једнака $\underline{E}_R = U_S - R_S \underline{I}_S - j L_{\gamma S} \underline{I}_S - j L_{\gamma R} \underline{I}_R = 200.73 - j 38.6 \, [\text{V}]$, тако да је вршна вредност роторског флукса једнака $\Psi_{R_{\max}} = \sqrt{2} \cdot E_R / \omega_{Sn} = 0.9201 \text{Wb}$

Активна и реактивна снага добијају се из израза $\underline{S} = 3 \underline{U}_S \underline{I}_S^* = P + j Q$, $P = 5226.54 \, [\text{W}]$, $Q = 4305.18 \, [\text{Var}]$.

На основу начињених претпоставки, снага обртног поља је једнака улазној снази, тј. $P_{ob} = P_e$, тако да се момент одређује као $M_{em} = P_{ob}/\omega_{Sn} = 16,636 \text{ Nm}$. $P_{out} = 4965.2 \text{ [W]}$

4. задатак (22)

Реална оса се може поставити тако да је колинеарна са вектором статорског напона, и тада је $\underline{U}_S = U_S$. Будући да струја заостаје за напонем, $\underline{I}_S = I_S \cos(\varphi) - j I_S \sin(\varphi)$. Електромоторна сила је једнака $\underline{E}_0 = \underline{U}_S - j X_S \underline{I}_S = U_S - X_S I_S \sin(\varphi) - j X_S I_S \cos(\varphi)$. Решење квадратне једначине $E_0^2 = (U_S - X_S I_S \sin(\varphi))^2 + (X_S I_S \cos(\varphi))^2$ даје $X_S = 2,4 \Omega$. Електромоторна сила је једнака $\underline{E}_0 = U_S - X_S I_S \sin(\varphi) - j X_S I_S \cos(\varphi) = 392 - j 1344 \text{ V}$. Угао снаге је једнак $\delta = \arg(\underline{U}_S) - \arg(\underline{E}_0) = 0 - \arg(\underline{E}_0) = 1,287 \text{ rad} = 73,74^\circ$.

5. задатак (18)

Користећи заменску шему за устаљена стања, ефективна вредност струје кратког споја израчунава се као

$$I_{SKS} = \frac{I_{S \max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{E_{\max}}{p \Omega_m L_S} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{p \Omega_m \psi_{Rm}}{p \Omega_m L_S} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{p \Omega_m L_m I_P}{p \Omega_m L_S} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{L_m I_P}{L_S}$$