

Lösningsförslag/facit till Tentamen

TSFS04 Elektriska drivsystem
5 mars, 2012, kl. 08.00-12.00

Tillåtna hjälpmedel: TeFyMa, Beta Mathematics Handbook, Physics Handbook, Formelsamling - Elektriska drivsystem och miniräknare.

Ansvarig lärare: Mattias Krysander, tel 282198.

Totalt: 40 poäng.
Preliminära betygsgränser:
Betyg 3: 18 poäng
Betyg 4: 25 poäng
Betyg 5: 30 poäng

Uppgift 1.

a)

$$p = \frac{2 \cdot 60 \cdot f_e}{n_s} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 60}{1200} = 6$$

- b) – Kurva (ii): frekvensstyrning - synkronvarvtalet för kurva (ii) är $n_s = 400$ varv/min vilket ger att

$$f_e = \frac{n_s}{n_{s,\text{rated}}} f_{e,\text{rated}} = \frac{400}{1200} \cdot 60 = 20 \text{ Hz}$$

- Kurva (iii): rotorresistansstyrning - maxmomentet antas vid slipp $s \propto R_2$. Kurva (iii) antar maxmoment för ett slipp 3 gånger större än för kurva (i). Detta ger att $R_2 = 3 \cdot 0.132 = 0.396 \Omega/\text{fas}$.
- Kurva (iv): spänningsstyrning - maxmomentet är $2/5$ av maxmomentet på kurva (i). $T \propto V_{l-l}^2$, vilket ger

$$V_{l-l}^2 = V_{l-l,\text{rated}}^2 \cdot \frac{2}{5}$$

Detta ger att $V_{l-l} = V_{l-l,\text{rated}} \sqrt{\frac{2}{5}} = 230 \sqrt{\frac{2}{5}} = 145.5 \text{ V}$ huvudspänning.

- c) Enligt figuren antas maximalt moment då $\Delta n_m = n_s - n_m = 200$ varv/min. Då $n_m = 0$ ska $n_s = 200$ varv/min vilket fås med $f_e = 10 \text{ Hz}$. Det maximala momentet är oberoende av frekvens och kan direkt avläsas ur figur till 250 Nm .

Uppgift 2.

a)

$$P_{\text{out}} = P_{\text{mech}} = E_a I_a = (V_a - R_a I_a) I_a = 8 \text{ W}$$

$$T_{\text{out}} = \frac{P_{\text{out}}}{2\pi n/60} = \frac{0.08}{\pi} = 25.5 \text{ mNm}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{out}}}{V_a I_a} = 80\%$$

- b) Driftfallet i (a)-delen ger att magnetiseringskonstanten är:

$$K_m = \frac{T_{\text{mech}}}{I_a} = \frac{0.08}{\pi}$$

Startströmmen $I_{a,s}$ och startmomentet $T_{\text{mech},s}$ är

$$I_{a,s} = \frac{V_{a,s}}{R_a} = 5 \text{ A} \quad T_{\text{mech},s} = K_m I_{a,s} = \frac{0.4}{\pi} = 127 \text{ mNm}$$

- c) Eftersom $T_{\text{load}} \propto n$, $T_{\text{load}} = T_{\text{mech}}$ och $T_{\text{mech}} \propto I_a$ så följer att $I_a \propto n$. Vidare gäller att $E_a \propto n$ vilket gör att

$$V_a = E_a + I_a R_a \propto n$$

Om driftfallet i (a)-uppgiften indexeras med 0 så ger proportionalliteten att

$$n = \frac{V_a}{V_{a0}} n_0 = \frac{5}{10} \cdot 3000 = 1500 \text{ varv/min}$$

Uppgift 3. Parametrarna modellerar:

- X_1 : läckflöden i statorlindningarna
- X_2 : läckflöden i rotorlindningarna
- R_2 : resistiva förluster i rotorlindningarna
- $R_2(1-s)/s$: elektromekanisk effektomvandling
- R_c : järnförluster såsom virvelströmsförluster och ommagnetiseringsförluster
- X_m : luftgapsflödet

Uppgift 4.

a) Låt märkvärdena markeras med index 0. Detta är givet:

$$\begin{array}{llll} p = 4 & n_{ph} = 3 & V_{a0} = 400/\sqrt{3} \text{ V fasspänning} & S_0 = 40 \text{ kVA} \\ f_{e0} = 50 \text{ Hz} & X_{s0} = 4/\sqrt{3} \Omega/\text{fas} & L_{af} = 0.3 \text{ H} & \cos \varphi = 1 \end{array}$$

Varvtalet är

$$n_0 = \frac{2}{p} f_{e0} \cdot 60 = 1500 \text{ varv/min}$$

Linjeströmmen är

$$I_{a0} = \frac{S_0}{n_{ph} V_{a0}} = 57.7 \text{ A}$$

Eftersom $\cos \varphi = 1$ så kan effektvinkeln beräknas som

$$\delta_0 = \arctan\left(\frac{I_{a0} X_{s0}}{V_{a0}}\right) = 30^\circ$$

Här accepteras även $\delta_0 = -30^\circ$. Magnetiseringsströmmen beräkna med hjälp av den inducerade spänningen enligt

$$E_{a0} = \sqrt{V_{a0}^2 + (I_{a0} X_{s0})^2} = 266.7 \text{ V} \quad I_{f0} = \frac{\sqrt{2} E_{a0}}{2\pi f_{e0} L_{af}} = 4.00 \text{ A}$$

b) Motorns nya varvtal är $n = 500$ varv/min. Det nya varvtalet relativt märkvärdet är

$$k = \frac{n}{n_0} = \frac{1}{3}$$

Låt variablerna som hör till det nya driftfallet vara oindexerade som t ex n . Elektrisk frekvens och ankarspänning ges av

$$f_e = k f_{e0} = 16.7 \text{ Hz} \quad V_a = k V_{a0} = 77.0 \text{ V fasspänning} = 133 \text{ V huvudspänning}$$

Enligt (b)-uppgiften så är $T = T_0$ och då kan effekten P beräknas från momentet enligt

$$T = T_0 = \frac{S_0 \cos \varphi}{\omega_{m0}} = \frac{S_0}{\omega_{m0}} \quad P = T \omega_m = S_0 \frac{\omega_m}{\omega_{m0}} = k S_0 = 13.3 \text{ kW}$$

Linjeströmmen blir

$$I_a = \frac{P}{n_{ph} V_a \cos \varphi} = 57.7 \text{ A}$$

Effektvinkel är

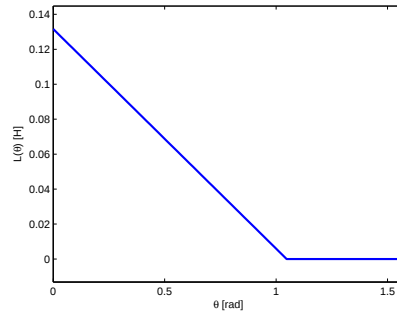
$$\delta = \arctan\left(\frac{I_a k X_{s0}}{V_a}\right) = 30^\circ$$

och slutligen kan magnetiseringsströmmen beräknas enligt

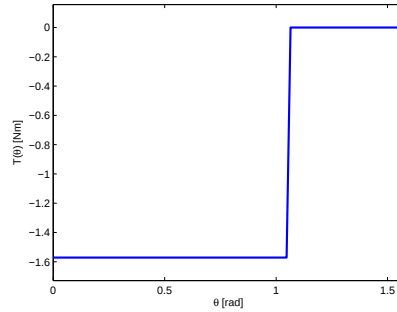
$$E_a = \sqrt{V_a^2 + (I_a k X_{s0})^2} = 88.9 \text{ V} \quad I_{f0} = \frac{\sqrt{2}E_a}{2\pi f_e L_{af}} = 4.00 \text{ A}$$

Notera att ankarströmmen, magnetiseringsströmmen och effektvinkeln är exakt lika i (a) och (b) uppgiften, vilket inte är en tillfällighet.

Uppgift 5.



Figur 1: Induktansen $L(\theta)$ som funktion av vinkeln θ



Figur 2: Momentet $T_{\text{mech}}(\theta)$ som funktion av vinkeln θ

a) Låt θ och a beteckna vinklarna i radianer. Ekvation (1.31) i formelsamlingen ger:

$$L(\theta) = \begin{cases} \frac{(2N)^2 \mu_0 r d}{2g} (a - \theta) & \text{då } \theta \leq a \\ 0 & \text{då } \theta > a \end{cases}$$

Figur 1 visar induktansen som funktion av vinkeln θ . Den maximala induktansen erhålls för $\theta = 0^\circ$ och är $L_{\text{max}} = \frac{N^2 \mu_0 r d a}{2g} = 0.13 \text{ H}$ så kan induktansen tecknas

$$L(\theta) = \begin{cases} L_{\text{max}} - \frac{L_{\text{max}}}{a} \theta = 0.132 - 0.126\theta \text{ H} & \text{då } \theta \leq a \\ 0 \text{ H} & \text{då } \theta > a \end{cases}$$

b) Ekvation (3.27) ger

$$T_{\text{mech}}(\theta) = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{d\theta} = \begin{cases} -\frac{i^2}{2} \frac{L_{\text{max}}}{a} = -1.57 \text{ Nm} & \text{då } \theta \leq a \\ 0 \text{ Nm} & \text{då } \theta > a \end{cases}$$

Figur 2 visar momentet som funktion av vinkeln. Det till absolutbeloppet maximala momentet är $T_{\text{max}} = |-1.57| \text{ Nm}$.

c) Ekvationerna (1.27) och (1.29) i formelsamlingen ger att

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = i \frac{dL(\theta)}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = i \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega$$

Löser vi ut ω så blir

$$\omega = \frac{e}{i \left. \frac{dL(\theta)}{d\theta} \right|_{\theta=\pi/6}} = -\frac{ea}{L_{\text{max}} i} = -15.9 \text{ rad/s}$$

Notera att vinkelhastigheten måste vara negativ eftersom maskinen arbetar som motor.