

Lösningsförslag/facit till Tentamen

TSFS04 Elektriska drivsystem
7 juni, 2011, kl. 08.00-12.00

Tillåtna hjälpmedel: TeFyMa, Beta Mathematics Handbook, Physics Handbook, formelblad bifogat tentamen och miniräknare (ej symbolhanterande).

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) Det räcker att strömsätta statorlindningen för att få ett moment. Med rotorström $i_1 = 0$ A och statorström $i_2 = 0.1$ A så blir momentet som funktion av α

$$\begin{aligned} T &= \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{1}{2} L_{11} i_1^2 + L_{12}(\alpha) i_1 i_2 + \frac{1}{2} L_{22}(\alpha) i_2^2 \right) = \\ &= \frac{\partial}{\partial \alpha} \frac{1}{2} L_{22}(\alpha) i_2^2 = \frac{1}{200} \frac{\partial}{\partial \alpha} (1 + \cos(2\alpha)) = \\ &= -0.01 \sin(2\alpha) \text{ Nm} \end{aligned}$$

Det maximala momentet är 0.01 N och antas för vinklarna $\alpha = -45^\circ + n \cdot 180^\circ$ där $n \in \mathbb{Z}$.

- b) Momentet uppkommer i och med att reluktansen i kretsen varierar med α . Rotorn vill rotera så att reluktansen minimeras. Perioden på 180° inses genom att reluktansen blir den samma om rotorn roteras ett halvt varv.
- c) Låt nu $i_1 = 1$ A och $i_2 = 0.1$ A. Då ges momentet av

$$\begin{aligned} T &= \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{1}{2} L_{11} i_1^2 + L_{12}(\alpha) i_1 i_2 + \frac{1}{2} L_{22}(\alpha) i_2^2 \right) = \\ &= -0.02 \sin(\alpha) - 0.01 \sin(2\alpha) \text{ N} \end{aligned}$$

Nu är perioden 360° . Den första termen kan tolkas som interaktionen mellan två magnetfält, ett genererat av statorn och ett av rotorn. Om rotorn vrids ett halvt varv kommer dessa magnetfält var motriktade istället för medriktade, alltså är perioden inte 180° . Vrids rotorn ett helt varv uppstår en identisk situation vilket förklarar periodlängden.

Uppgift 2. Några delsteg:

$$\begin{array}{lll} V_{a,nl} = 133 \text{ V} & I_{bl} = 10.0 \text{ A} & V_{a,bl} = 40.4 \text{ V} \\ X_{nl} = 128.2 \Omega & R_{bl} = 3.57 \Omega & X_{bl} = 1.86 \Omega \end{array}$$

Rotationsförlusterna och motorparametrarna är

$$\begin{array}{lll} P_{\text{rot}} = 96.5 \text{ W} & R_1 = 2.5 \Omega & R_2 = 1.09 \Omega \\ X_1 = 0.932 \Omega & X_2 = 0.932 \Omega & X_m = 127 \Omega \end{array}$$

Uppgift 3. Låt storheter vid start vara indexerade med $_s$ och vid märkfallet med $_m$.

- a) Det elektriska sambandet är

$$V_t = I_a(R_a + R_f) + E_a$$

där V_t är terminalspänningen, I_a strömmen i genom motorn, R_a rotorlindningens resistans, R_f fältlindningens resistans och E_a den inducerade spänningen.

- b) Verkningsgraden är

$$\nu = \frac{E_{a,m} I_{a,m}}{V_{t,m} I_{a,m}} = \frac{E_{a,m}}{V_{t,m}} = \frac{V_{t,m} - I_{a,m}(R_a + R_f)}{V_{t,m}} = \frac{220 - 5.8 \cdot 6.6}{220} = 82.6\%$$

- c) Startspänningen är

$$V_{t,s} = E_{a,s} + I_{a,s}(R_a + R_f) = 0 + 7 \cdot 6.6 = 46.2 \text{ V}$$

- d) För strömmen $I_{a,s} = 7$ A blir enligt magnetiseringskurvan den inducerade spänningen $E_{a0} = 203.5$ V vid $\omega_0 = 1100 \cdot 2\pi/60 = 115.2$ rad/s. Startmomentet ges av

$$T = \frac{E_{a0} I_{a,s}}{\omega_0} \approx 12.4 \text{ Nm}$$

e) Från märkdata ges att

$$E_{a,m} = V_{t,m} - I_{a,m}(R_a + R_f) = 220 - 5.8 \cdot 6.6 = 181.7 \text{ V}$$

Översatt till magnetiseringskurvans varvtal fås därmed $E_{a0,m} = 181.7 \frac{1100}{1250} = 159.9 \text{ V}$. Från magnetiseringskurvan motsvarar detta en effektiv magnetiseringsström $I_{a,\text{eff}} \approx 2.4 \text{ A}$. Konstanten k i modellen för ankarreaktionen är

$$k = \frac{I_a - I_{a,\text{eff}}}{I_a^2} = \frac{5.8 - 2.4}{5.8^2} = 0.10 \text{ A}^{-1}$$

Den effektiva magnetiseringsströmmen vid start blir

$$I_{a,\text{eff}} = I_{a,s} - kI_{a,s}^2 = 7 - 0.1 \cdot 7^2 = 2.1 \text{ A}$$

vilket enligt magnetiseringskurvan motsvarar $E_{a0} = 152 \text{ V}$ vid ω_0 . Detta ger att startmomentet bara blir

$$T = \frac{E_{a0}I_{a,s}}{\omega_0} = 9.2 \text{ Nm}$$

när effekten av ankarreaktion har räknats in.

Uppgift 4.

a) Varvtalet är

$$n = \frac{2}{p} f_e \cdot 60 = \frac{2}{4} \cdot 50 \cdot 60 = 1500 \text{ varv/min}$$

b) Ankarkretsens elektriska samband:

$$\hat{V}_a = jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{\text{af}}$$

Den inducerade spänningens effektivvärde ges av

$$E_{\text{af}} = \frac{\omega_e L_{\text{af}} I_f}{\sqrt{2}}$$

c) Eftersom effektfaktorn är 1 så kan I_a beräknas ur $P = 3V_a I_a$ till

$$I_a = \frac{P}{3V_a} = \frac{40000}{3 \cdot 400/\sqrt{3}} = 57.7 \text{ A}$$

Ansätt $\hat{V}_a = V_a$. Eftersom effektfaktorn är 1 så är strömmen $\hat{I}_a = I_a$. Den komplexa inducerade spänningen ges av

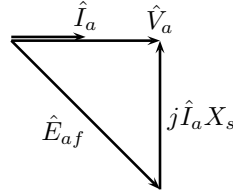
$$\hat{E}_{\text{af}} = V_a - jX_s I_a = V_a(1 - j) \text{ V}$$

Detta ger att $E_{\text{af}} = \sqrt{2}V_a = \sqrt{2/3} \cdot 400 = 327 \text{ V}$.

Fältströmmen ges av

$$I_f = \frac{\sqrt{2}E_{\text{af}}}{L_{\text{af}}\omega_e} = \frac{2 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 2\pi \cdot 50} = 14.7 \text{ A}$$

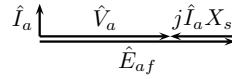
Figuren visar visardiagrammet:



- d) Den inducerade spänningen är $E_{af} = 1.5V_a$ enligt förutsättning. Ansätt $\hat{V}_a = V_a$. Eftersom motorn är obelastad så innebär det att $\hat{E}_{af} = E_{af}$. Strömmen är

$$\hat{I}_a = \frac{V_a - E_{af}}{jX_s} = -\frac{400}{j2\sqrt{3} \cdot 4} = j\frac{400}{8\sqrt{3}} = j28.9 \text{ A}$$

Visardiagrammet är:



- e) Eftersom strömmen leder spänningen så är kretsen kapacitiv. Kapacitansen C ges ur Ohms lag

$$\hat{V}_a = \frac{1}{j\omega_e C} \hat{I}_a$$

som

$$C = \frac{\hat{I}_a}{j\hat{V}_a\omega_e} = \frac{j\frac{400}{8\sqrt{3}}}{j\frac{400}{\sqrt{3}}\omega_e} = \frac{1}{8\omega_e} = \frac{1}{800\pi} = 398 \mu\text{F}$$

Uppgift 5.

- a) För ankarspänningsreglering behövs en variabel spänningskälla och för fältreglering kan antingen en potentiometer i serie med fältlindningen användas alternativt så matas fältlindningen med en styrbar spänningskälla.
- b) För $0 \leq \omega_m \leq \omega_{m0}$ så används ankarspänningsreglering, dvs $\Phi_d = \Phi_{d0}$ för alla $0 \leq \omega_m \leq \omega_{m0}$. Eftersom $R_a = 0$ så gäller att $V_a = E_a$ och två sätt att teckna spänningen är

$$V_a(\omega_m) = \frac{V_{a0}}{\omega_{m0}} \omega_m = K_a \Phi_{d0} \omega_m \quad 0 \leq \omega_m \leq \omega_{m0}$$

Då $\omega_m > \omega_{m0}$ så används fältstyrning, dvs $V_a = V_{a0}$ för alla $\omega_m > \omega_{m0}$.

$$K_a \Phi_d \omega_m = V_{a0} = K_a \Phi_{d0} \omega_{m0}$$

För $\omega_m > \omega_{m0}$ hålls terminalspänningen konstant $V_a = V_{a0}$ och detta ger att fältet bestäms av

$$K_a \Phi_d \omega_m = V_{a0} = K_a \Phi_{d0} \omega_{m0}$$

Ur detta kan flödet Φ_d tecknas som

$$\Phi_d = \frac{\Phi_{d0} \omega_{m0}}{\omega_m} \quad \omega_m > \omega_{m0}$$

Sammanfattningsvis så blir de sökta funktionerna:

$$V_a(\omega_m) = \begin{cases} \frac{V_{a0}}{\omega_{m0}} \omega_m & \text{för } 0 \leq \omega_m \leq \omega_{m0} \\ V_{a0} & \text{för } \omega_m > \omega_{m0} \end{cases}$$

$$\Phi_d(\omega_m) = \begin{cases} \Phi_{d0} & \text{för } 0 \leq \omega_m \leq \omega_{m0} \\ \frac{\Phi_{d0} \omega_{m0}}{\omega_m} & \text{för } \omega_m > \omega_{m0} \end{cases}$$

c) Vi kan först konstatera att $V_a \leq V_{a0}$ för alla ω_m enligt lösningen till (b)-uppgiften.

Under antagandet att $R_a = 0$ så gäller att $V_a = E_a$ vilket betyder att uteffekten är $P = V_a I_a$. Detta innebär eftersom $V_a \leq V_{a0}$ och om $I_a \leq I_{a0}$ så är

$$P = V_a I_a \leq V_{a0} I_{a0} = P_0$$

Det räcker alltså med att kontrollera att strömmen I_a inte överskrider märkvärdet.

Momentet ges av

$$T = K_a \Phi_d(\omega_m) I_a$$

där $I_a \leq I_{a0}$. Maximering av momentet sker genom att välja största tillåtna ström $I_a = I_{a0}$ och resultatet blir

$$T_{\max}(\omega_m) = K_a \Phi_d(\omega_m) I_{a0} = \begin{cases} K_a \Phi_{d0} I_{a0} = T_0 & \text{för } 0 \leq \omega_m \leq \omega_{m0} \\ K_a \frac{\Phi_{d0} \omega_{m0}}{\omega_m} I_{a0} & \text{för } \omega_m > \omega_{m0} \end{cases}$$

Detta förenklas genom att använda att $T_0 = K_a \Phi_{d0} I_{a0}$ som

$$T_{\max}(\omega_m) = \begin{cases} T_0 & \text{för } 0 \leq \omega_m \leq \omega_{m0} \\ T_0 \frac{\omega_{m0}}{\omega_m} & \text{för } \omega_m > \omega_{m0} \end{cases}$$

Maxeffekten ges av sambandet $P = T \omega_m$ där det speciellt gäller att $T_0 = P_0 / \omega_{m0}$. Används detta så följer att

$$P_{\max}(\omega_m) = T_{\max}(\omega_m) \omega_m = \begin{cases} T_0 \omega_m = P_0 \frac{\omega_m}{\omega_{m0}} & \text{för } 0 \leq \omega_m \leq \omega_{m0} \\ T_0 \omega_{m0} = P_0 & \text{för } \omega_m > \omega_{m0} \end{cases}$$

Sammanfattningsvis så blir resultatet att ankarspänningsreglering ger konstant maxmoment och fältreglering konstant maxeffekt.