

Lösningsförslag/facit till Tentamen

TSFS04 Elektriska drivsystem 21 maj, 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)

$$p = \frac{2 \cdot 60 \cdot f_{e,\text{rated}}}{n_s} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 50}{1500} = 4$$

- b) För att driva lasten i 1000 varv/min så behövs momentet $T_{\text{mech}} = 60$ Nm enligt figur. Med kortslutna släpringar ger det momentet en hastighet på 1450 varv/min enligt figur och därmed ett slipp på $s = \frac{1500-1450}{1500}$. Slippet vid 1000 varv/min är $s' = \frac{1500-1000}{1500}$. Rotorresistansen som ger 1000 varv/min blir

$$R'_2 = R_2 \frac{s'}{s} = 1.66 \Omega/\text{fas}$$

- c) Det maximala momentet är 160 Nm och antas med kortslutna släpringar för 1250 varv/min, dvs vid slipp $s = \frac{1}{6}$. Vid start är slippet $s' = 1$ vilket ger att resistansen som maximerar startmomentet är

$$R'_2 = R_2 \frac{s'}{s} = 6R_2 = 0.996 \approx 1 \Omega/\text{fas}$$

Det maximala startmomentet blir lika med det maximala momentet, dvs 160 Nm.

- d) För att driva lasten i 1000 varv/min så behövs momentet $T_{\text{mech}} = 60$ Nm enligt figur. Konstant V/Hz-styrning då statorresistansen är försumbar leder till en ren translation av momentkurvan. För det givna momentet blir rotorns mekaniska hastighet 50 varv/min lägre än den synkrona hastigheten. Alltså skall den synkrona hastigheten ställas in på $n_s = 1050$ varv/min. Detta ger

$$f_e = f_{e,\text{rated}} \frac{1050}{1500} = 35 \text{ Hz}$$

Huvudspänningen blir

$$V_{a,l-l} = 400 \frac{f_e}{f_{e,\text{rated}}} = 280 \text{ V:s huvudspänning}$$

Uppgift 2.

a)

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

$$T_{\text{out}} = \frac{P_{\text{out}}}{\omega_m} = \frac{8}{200} = 40 \text{ mNm}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{out}}}{V_a(I_a + I_f)} = \frac{P_{\text{out}}}{V_a(I_a + V_a/R_f)} = \frac{8}{11} \approx 73\%$$

- b) Driftfallet i (a)-delen ger:

$$K_f = \frac{T_{\text{mech}}}{I_a I_f} = \frac{0.04}{1 \cdot 0.1} = 0.4 \text{ Nm/A}^2$$

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

$$I_{a,s} = \frac{V_{a,s}}{R_a} = 2.5 \text{ A} \quad T_{\text{mech},s} = K_f I_{a,s} I_{f,s} = K_f I_{a,s} \frac{V_{a,s}}{R_f} = \frac{0.4 \cdot 2.5 \cdot 5}{100} = 50 \text{ mNm}$$

c) Det lastande momentet ges av

$$T_{\text{load}} = k\omega_m$$

där proportionalitetskonstant k ges av driftfallet i (a)-delen enligt:

$$k = \frac{T_{\text{load}}}{\omega_m} = \frac{T_{\text{out}}}{\omega_m} = \frac{4 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^2} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Nm} \cdot \text{s}$$

Det drivande momentet ges av

$$T_{\text{mech}} = K_f I_f I_a = K_f I_f \frac{V_a - E_a}{R_a} = /E_a = K_f I_f \omega_m / = K_f I_f \frac{V_a - K_f I_f \omega_m}{R_a}$$

där $I_f = V_a/R_f = 50 \text{ mA}$. Sätter vi $T_{\text{mech}} = T_{\text{load}}$ och löser ut ω_m fås

$$\omega_m = \frac{K_f I_f V_a}{R_a k + K_f^2 I_f^2} = \frac{0.4 \cdot 0.05 \cdot 5}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-4} + 0.4^2 \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2} = \frac{0.1}{8 \cdot 10^{-4}} = 125 \text{ rad/s}$$

Uppgift 3.

a) För $\omega_m \leq \omega_{m,\text{rated}}$ så gäller att

$$V_a \approx E_a = K_f I_f \omega_m$$

där I_f hålls konstant. Alltså är V_a proportionell mot ω_m .

För $\omega_m > \omega_{m,\text{rated}}$ så hålls V_a konstant och beroendet ges av

$$I_f \approx \frac{V_a}{K_f \omega_m}$$

som visar att fältströmmen är omvänt proportionellt mot hastigheten.

b) Maxeffekten för långvarig stationär drift begränsas av märkströmmen $I_{a,\text{rated}}$ och ges av

$$P_{\text{max}} = E_a I_{a,\text{rated}} \approx V_a I_{a,\text{rated}}$$

Detta ger linjärt ökande maxeffekt mellan $0 \leq \omega_m \leq \omega_{m,\text{rated}}$ och däröver konstant maxeffekt lika med märkeffekten.

Uppgift 4.

a)

$$n_m = \frac{f_e \cdot 60}{p/2} = 750 \text{ varv/min}$$

b)

$$I_{a,\text{rated}} = \frac{S_{\text{rated}}}{3V_{a,\text{rated}}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{3 \cdot 4 \cdot 10^3 / \sqrt{3}} \approx 144.3 \text{ A}$$

c) Eftersom effektfaktorn är 1 så är ankarströmmen

$$I_a = \frac{P}{3V_{a,\text{rated}}} = 86.6 \text{ A}$$

Dessutom ger effektfaktor 1 att $\hat{V}_a$ och $\hat{I}_a$ har samma fasvinkel, låt säga 0 radianer, dvs $\hat{V}_a = V_{a,\text{rated}}$ och $\hat{I}_a = I_a$. Den inducerade spänningen som krävs för att erhålla effektfaktor 1 är

$$E_{af} = |\hat{E}_{af}| = |\hat{V}_a - jX_s\hat{I}_a| = 2.89 \text{ kV}$$

Eftersom den inducerade spänningen är proportionell mot fältströmmen ges den efterfrågade fältströmmen av

$$I_f = 80 \frac{E_{af}}{V_{a,\text{rated}}} = 100 \text{ A}$$

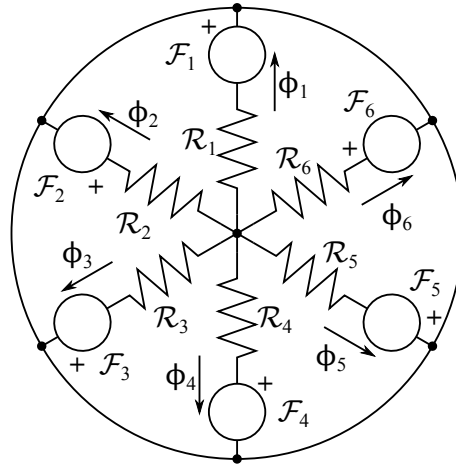
d)

$$f_e = 100/3 \text{ Hz}$$

$$V_{a,l-l} = 8/3 \text{ kV:s huvudspänning}$$

Uppgift 5.

- Spolarna kan strömsättas på följande vis: **cbacbacbacba**. Strömriktningen spelar ingen roll eftersom momentet genereras av reluktansvariationer.
- Låt flödet som går från rotor till stator genom pol i betecknas ϕ_i , reluktansen som modellerar luftgapet i anslutning till pol i $\mathcal{R}_i$ och den magnetomotoriska kraften svarande mot spolen på pol i för $\mathcal{F}_i$. Figur 1 visar det magnetiska kretsschemat.



Figur 1: Magnetisk kretsschema för reluktansmaskinen.

- Tack vare symmetri gäller att

$$\mathcal{R}_1 = \mathcal{R}_4 =: \mathcal{R}_a$$

$$\mathcal{R}_2 = \mathcal{R}_5 =: \mathcal{R}_b$$

$$\mathcal{R}_3 = \mathcal{R}_6 =: \mathcal{R}_c$$

Vidare gäller att

$$\mathcal{F}_1 = \mathcal{F}_4 =: \mathcal{F}_a$$

$$\mathcal{F}_2 = \mathcal{F}_5 = 0$$

$$\mathcal{F}_3 = \mathcal{F}_6 = 0$$

Jorda statorn och antag att potentialen i rotorn är $\mathcal{F}_0$. Kirchoffs strömlag ger:

$$0 = \sum_{i=1}^6 \phi_i = \frac{\mathcal{F}_0 + \mathcal{F}_a}{\mathcal{R}_a} + \frac{\mathcal{F}_0 - \mathcal{F}_a}{\mathcal{R}_a} + 2\frac{\mathcal{F}_0}{\mathcal{R}_b} + 2\frac{\mathcal{F}_0}{\mathcal{R}_c} = 2\mathcal{F}_0\left(\frac{1}{\mathcal{R}_a} + \frac{1}{\mathcal{R}_b} + \frac{1}{\mathcal{R}_c}\right)$$

Detta ger att $\mathcal{F}_0 = 0$. Flödena är

$$\phi_i = \frac{\mathcal{F}_0}{\mathcal{R}_i} = 0 \quad \text{för } i \in \{2, 3, 5, 6\}$$

Strömsätts bara lindning a så kommer det magnetiska flödet endast passera i en bana runt luftgap 1 och 4.