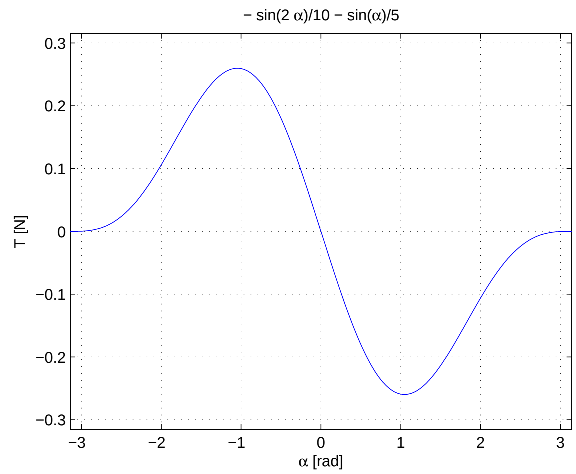
**Lösningsförslag/facit till Tentamen**

# TSFS04 Elektriska drivsystem
**3 juni, 2013, kl. 08.00-12.00**

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

Ansvarig lärare: Mattias Krysander, tel 013-282198.

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




Figur 1: Momentet som funktion av vinkeln.

**Uppgift 1.**

a) Rotorlindningens självinduktans är konstant eftersom statorn är cirkulär, dvs $L_{11}$ är rotorlindningens induktans. Statorlindningens induktans $L_{22}$ beror av vinkeln $\alpha$ eftersom rotorns orientering påverkar kretsens reluktans.

b) Låt rotorströmmen betecknas $i_1 = 10$ A och statorströmmen $i_2 = 0.1$ A. Momentet ges av

$$\begin{aligned} T &= \frac{\partial}{\partial \alpha}\left(\frac{1}{2}L_{11}i_1^2 + L_{12}(\alpha)i_1 i_2 + \frac{1}{2}L_{22}(\alpha)i_2^2\right) = \\ &= -0.2\sin(\alpha) - 0.1\sin(2\alpha) \text{ N} \end{aligned}$$

Figur 1 visar momentet som funktion av vinkeln.

c) Jämviktspunkter definieras av

$$\begin{aligned} 0 &= T(\alpha) \Leftrightarrow \\ 0 &= -0.2\sin(\alpha) - 0.1\sin(2\alpha) \Leftrightarrow \\ 0 &= -0.2\sin(\alpha)(1+\cos(\alpha)) \end{aligned}$$

För $\alpha \in [-\pi, \pi]$ så är $\sin(\alpha) = 0$ i punkterna $\alpha = 0, \pm\pi$ och $1 + \cos(\alpha) = 0$ i punkterna $\alpha = \pm\pi$. Alltså är $\alpha = 0, \pm\pi$ jämviktspunkter. Vinkeln $\alpha = 0$ är en stabil jämviktspunkt medan $\alpha = \pm\pi$ är instabil.

d) Derivera för att hitta extremvärde:

$$\begin{aligned} 0 = \frac{dT}{d\alpha} &= -0.2\cos(\alpha) - 0.2\cos(2\alpha) = /\cos(2\alpha) = 2\cos(\alpha)^2 - 1/ = \\ &= -0.4\cos(\alpha)^2 - 0.2\cos(\alpha) + 0.2 \end{aligned}$$

Sätt $x = \cos(\alpha)$ och lös $x$ ur

$$0 = -0.4x^2 - 0.2x + 0.2 \Leftrightarrow \qquad x = -1, \frac{1}{2}$$

Då $\cos(\alpha) = -1$ så har $T$ en sadelpunkt. Den sökta lösningen är därför då

$$\cos(\alpha) = \frac{1}{2} \Leftrightarrow \alpha = \pm\frac{\pi}{3}$$

Maxmomentet är $T_{\max} = 3\sqrt{3}/20 = 260$ mN vid vinkeln $\alpha = -60°$.

**Uppgift 2.** Låt storheter vid märkfallet vara indexerade med $m$.

a) Fältspänningen är

$$V_{f,m} = I_{f,m} R_f = 180 \text{ V}$$

b) För $T = 48$ N ska ankarströmmen och ankarspänningen vara

$$I_a = \frac{T}{K_f I_{f,m}} = 10 \text{ A}$$
$$V_a = I_a R_a = 48\text{V}$$

c) Märkspänning

$$\omega_m = n_m \frac{2\pi}{60} = 115 \text{ rad/s}$$
$$V_{a,m} = E_{a,m} + I_{a,m} R_a = K_f I_{f,m} \omega_m + I_{a,m} R_a = 581 \text{ V}$$

Märkuteffekt:

$$P_m = T_m \omega_m = K_f I_{f,m} I_{a,m} \omega_m = 3.21 \text{ kW}$$

d) Verkningsgraden är

$$\nu = \frac{P_m}{P_{\text{in}}} = \frac{P_m}{V_{a,m} I_{a,m} + V_{f,m} I_{f,m}} = 92.2\%$$

e) Lastande moment $T_l(n) = kn^2$ där $T_l(n_m) = T_m$ vilket ger att $k = 2.30 \cdot 10^{-5}$ Nm $\cdot$ min$^2$/varv$^2$. Strömmen $I_a$ vid $n = 500$ varv/min blir

$$I_a = \frac{T_l}{K_f I_{f,m}} = \frac{kn^2}{K_f I_{f,m}} = 1.20 \text{ A}$$

**Uppgift 3.** Några delsteg:

$$V_{a,nl} = 133 \text{ V} \qquad I_{bl} = 5.02 \text{ A} \qquad V_{a,bl} = 17.3 \text{ V}$$
$$X_{nl} = 129\,\Omega \qquad R_{bl} = 3.31\,\Omega \qquad X_{bl} = 4.93\,\Omega$$

Rotationsförlusterna och motorparametrarna är

$$P_{\text{rot}} = 92.5W \qquad R_1 = 2.50\,\Omega \qquad R_2 = 0.838\,\Omega$$
$$X_1 = X_2 = 2.49\,\Omega \qquad X_m = 126\,\Omega$$

**Uppgift 4.** Asynkronmotorn kan varvtalsstyras genom att styra

- polspänningen

  fungerar för båda typerna

  − slippstyrning ger stora förluster vid fartreducering

  − maxmomentet avtar kraftigt vid fartsänkning

  \+ enkel och billig att realisera.

- rotorresistansen

  kräver släpringad rotor

- − slippstyrning ger stora förluster vid låg hastighet
- + möjlighet till stort/maximalt startmoment.
- + enkel och billig att realisera.

- poltalet

  vanligast ihop med burlindad motor i och med att poltalet automatiskt anpassas efter statorns poltal i detta fall.

  - + hög effektivitet
  - + enkel och billig konstruktion
  - − varvtalsstyrning i diskreta steg.

- frekvensstyrning

  kan användas för båda rotortyperna

  - + effektiv i hela varvtalsregistret
  - + stort maxmoment i hela varvtalsregistret
  - − kräver frekvensomriktare

**Uppgift 5.** Givet: $S_m = 1000$ kVa, $V_{a,m} = 4000/\sqrt{3}$ V, $f_m = 50$ Hz, poles $= 4$, AFNL $= 10$ A, $X_s = 20$ ohm per fas

a)

$$n_m = \frac{f_m \cdot 60}{\text{poles}/2} = 1500 \text{ varv/min}$$

b)

$$I_{a,m} = \frac{S_m}{3V_{a,m}} = \frac{1 \cdot 10^6}{3 \cdot 4000/\sqrt{3}} = 144 \text{ A}$$

c) Eftersom effektfaktorn är 1 och vi har märkspänning och märkeffekt så antar strömmen märkvärde, dvs $I_a = I_{a,m}$. Detta ger att den inducerade spänningen och fältströmmen blir

$$E_{\text{af}} = V_{a,m} - jX_s I_{a,m}$$

$$I_f = \text{AFNL}\frac{|E_{\text{af}}|}{V_{a,m}} = 16.0 \text{ A}$$

d) Ankarspänningen och dess frekvens är

$$f_e = \frac{n}{n_m} f_{e,m} = 33.3 \text{ Hz}$$

$$V_a = \frac{n}{n_m} V_{a,m} = 1.54 \text{ V}$$

Motorns ineffekt är

$$P_{\text{in}} = \left(\frac{n}{n_m}\right)^3 P_m = 296 \text{ kW}$$

Låt $\hat{V}_a$ vara riktfas. Effektfaktorn kan bestämmas genom att beräkna $\hat{I}_a$ enligt

$$\hat{I}_a = \frac{\hat{V}_a - \hat{E}_{\text{af}}}{jX_s \frac{n}{n_m}} \tag{1}$$

$$E_{\mathrm{af}} = \frac{n}{n_m} E_{\mathrm{af}} = 2.46 \text{ kV}$$

Från effektformlen kan argumentet av $\hat{E}_{\mathrm{af}}$ beräknas enligt

$$\frac{P_{\mathrm{in}} X_s \frac{n}{n_m}}{n_{\mathrm{ph}} E_{\mathrm{af}} V_a} = \sin(-\delta) \rightarrow \delta = -0.354 \text{ rad}$$

vilket ger att

$$\hat{E}_{\mathrm{af}} = E_{\mathrm{af}} e^{j\delta}$$

Sätter vi in det i (1) får vi

$$\hat{I}_a = 86 e^{j0.734}$$

Effektfaktornvinkeln är $\theta = 0.734$ och effektfaktorn

$$\cos(\theta) = 0.742$$

kapacitiv.