

# Lösningförslag

**TSFS04 Elektriska drivsystem**  
**21 augusti, 2015, kl. 14.00-18.00**

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

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



### Uppgift 1.

- a)  $L_{ss}$  är konstant eftersom rotorn är cirkulär och  $L_{rr}$  gör två perioder på ett varv p.g.a. att flödet passerar ett luftgap vars form upprepar sig två ggr på ett varv.  $L_{sr}$  däremot gör bara en period på ett varv. Därför kan man sluta sig till att

$$\begin{aligned}L_{rr} &= (3 + \cos(2\alpha)) \quad [\text{H}] \\L_{ss} &= 7 \cdot 10^{-3} \quad [\text{H}] \\L_{sr} &= \cos(\alpha) \quad [\text{H}]\end{aligned}$$

- b)  $L_{sr}$  är positiv för  $\alpha = 0$  och med de markerade riktningarna i figuren så svarar det alltså mot **Motorskiss 1**

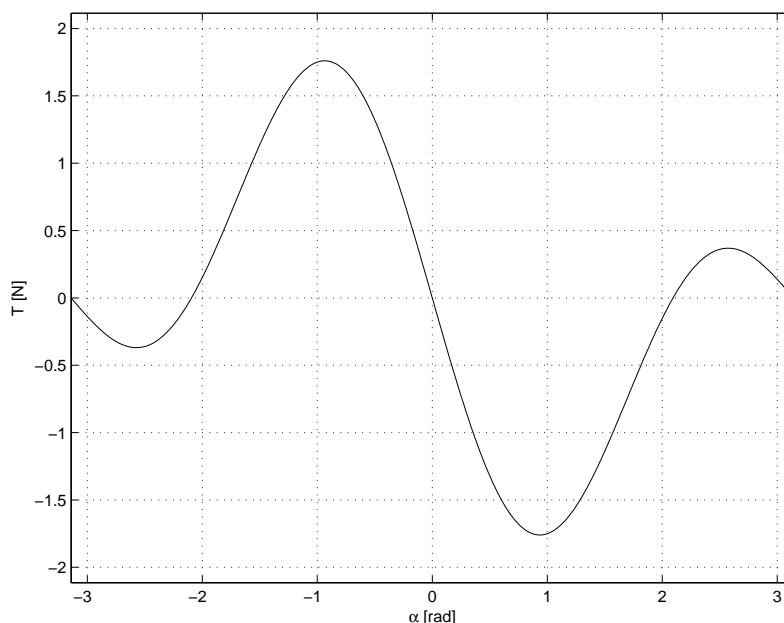
- c) Likströmsmaskinen har konstant fältflöde och byter vi statorlindningen mot permanentmagnet och utrustar motorn med en kommutator så får vi en likströmsmotor. De båda andra konstruktionerna har tidsvarierande statorfält.

Synkronmaskinens rotorlindning matas med likström och kan ersättas med en permanentmagnet. Både asynkronmaskinen och likströmsmaskinen har däremot tidsvarierande rotorflöde.

- d) Momentet och maxmomentet blir

$$\begin{aligned}T &= -\sin(2\alpha) - \sin(\alpha) \\T_{\max} &= 1.76 \text{ [Nm]}\end{aligned}$$

Figur 1 visar det skissade momentet



Figur 1: Moment som funktion av vinkel

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

- a) Fältspänningen är

$$V_{f,m} = I_{f,m} R_f = 100 \text{ V}$$

b)

$$\begin{aligned}T_{mech} &= K_f I_a I_f \Rightarrow \\I_a &= \frac{T_{mech}}{K_f I_{f,m}} = 20 \text{ A} \\V_a &= I_a R_a = 60 \text{ V}\end{aligned}$$

c) Märkspänning:

$$\begin{aligned}\omega_m &= n_m \frac{2\pi}{60} = 125.7 \text{ rad/s} \\V_{a,m} &= E_{a,m} + I_{a,m} R_a = K_f I_f \omega_m + I_{a,m} R_a = 407 \text{ V}\end{aligned}$$

Märkeffekt:

$$P_m = T_m \omega_m = K_f I_{a,m} I_{f,m} \omega_m = 3.77 \text{ kW}$$

d) Verkningsgraden är

$$\begin{aligned}P_{in} &= V_{a,m} I_{a,m} + V_{f,m} I_{f,m} = 4.12 \text{ kW} \\ \eta &= \frac{P_m}{P_{in}} = 91.5 \text{ \%}\end{aligned}$$

e) Lastande moment  $T_l(n) = kn$  där  $T_l(n) = T_m$  vilket ger  $k = 0.025 \text{ Nm} \cdot \text{min/varv}$ . Strömmen  $I_a$  vid  $n = 600 \text{ varv/min}$  blir

$$I_a = \frac{T_l}{K_f I_{f,m}} = \frac{kn}{K_f I_{f,m}} = 5 \text{ A}$$

**Uppgift 3.** Spänningsvandring i kretsen ger

$$N_1 i_1 - \phi R_1 + N_2 i_2 - \phi R_2 = 0$$

med luftgapet betecknat som  $x$  fås

$$\begin{aligned}R_1 &= R_2 = \frac{x}{\mu_0 A} \\R_{tot} &= R_1 + R_2\end{aligned}$$

a) Självinduktanserna är

$$\begin{aligned}L_{1,1} &= \frac{N_1^2}{R_{tot}} = \frac{N_1^2 \mu_0 A}{2x} \\L_{2,2} &= \frac{N_2^2}{R_{tot}} = \frac{N_2^2 \mu_0 A}{2x}\end{aligned}$$

b) Ömseinduktansen är

$$L_{1,2} = \frac{N_1 N_2}{R_{tot}} = \frac{N_1 N_2 \mu_0 A}{2x}$$

c) Kraften blir

$$f_{fld} = -\frac{\mu_0 A}{4g_0^2} \cdot (N_1 i_1 + N_2 i_2)^2$$

**Uppgift 4.**

a)

$$n_m = \frac{f_e \cdot 60}{p/2} = 1200 \text{ varv/min}$$

b)

$$I_{a,\text{rated}} = \frac{S_{\text{rated}}}{3V_{a,\text{rated}}} = \frac{1200 \cdot 10^3}{3 \cdot 5 \cdot 10^3 / \sqrt{3}} = 138.6 \text{ A}$$

c) Eftersom effektfaktorn är 1 så är ankarströmmen

$$I_a = \frac{P}{3V_{a,\text{rated}}} = 92.4 \text{ A}$$

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

$$E_{af} = |\hat{E}_{af}| = |\hat{V}_a - jX_s \hat{I}_a| = 3.2 \text{ kV}$$

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

$$I_f = 100 \frac{E_{af}}{V_{a,\text{rated}}} = 111 \text{ A}$$

d)

$$f_e = 35 \text{ Hz} \qquad V_{a,l-l} = 2.92 \text{ kV}$$

**Uppgift 5.** Momentet för induktionsmotorn är

$$T_{\text{mech}} = \frac{1}{\omega_s} \left( \frac{n_{ph} V_{1,eq}^2 (R_2/s)}{(R_{1,eq} + (R_2/s))^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2} \right)$$

Samma kvot på  $R_2/s$  ger således samma moment.

a) Det synkrona varvtalet blir

$$n_s = \frac{f_{\text{rated}} \cdot 60}{\text{poles}/2} = 900 \text{ varv/min}$$

och följaktligen eftersläpningen för de två fallen blir

$$s_0 = \frac{n_s - 850}{n_s} = 0.0556$$

$$s_1 = \frac{n_s - 750}{n_s} = 0.1667$$

Rotorresistansen är således

$$R_2 = \frac{R_{\text{ext}} s_0}{s_1 - s_0} = 0.5 \Omega \text{ per fas}$$

- b) Eftersom  $T_{\text{rated}} = T_{\text{mech}}(s_0) = T_{\text{mech}}(s_2)$  och allt övrigt är konstant måste även faktorn  $R_2/s$  vara konstant. Med  $s_2 = 0.3$  fås

$$\frac{R_2}{s_0} = \frac{R_2 + R_{\text{ext},2}}{s_2} \Rightarrow R_{\text{ext},2} = 2.2 \Omega \text{ per fas}$$

c) **Spänningsreglering**

Varierar ankarspänningen och således momentkurvan. Fördelar: Enkelt och billigt att styra spänningen och fungerar på samtliga typer av induktionsmaskiner. Nackdel: Större slip ger mer förluster.

**Frekvensreglering**

Momentkurvan flyttas i sidled genom att frekvensen på primärsidan ändras. Fördel: effektiv reglering. Nackdel: Frekvensriktare är dyra och introducerar illalåtande störningar i motorerna.