

## Lösningförslag/facit till Tentamen

**TSFS04 Elektriska drivsystem**  
**17 augusti, 2012, kl. 14.00-18.00**

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

Ansvarig lärare: Mattias Krysanter, tel 282198.

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

### Uppgift 1.

- a) Givet:  $V = 100 \text{ V}$ ,  $R_f = 0.2 \Omega$ ,  $R_a = 0.5 \Omega$ ,  $I = 20 \text{ A}$  och  $n_m = 1000 \text{ varv/min}$ . Uteffekten blir

$$E_a = V - (R_a + R_f)I = 86 \text{ V}$$
$$P_{\text{out}} = P_{\text{mech}} = E_a I = 1.72 \text{ kW}$$

Vridmomentet är

$$\omega_m = \frac{2\pi n_m}{60} = 104.7 \text{ rad/s}$$
$$T_{\text{out}} = \frac{P_{\text{out}}}{\omega_m} = 16.4 \text{ Nm}$$

Verkningsgraden blir

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{E_a I}{VI} = \frac{E_a}{V} = 86.0\%$$

**Svar:** Uteffekten är 1.72 kW, vridmomentet 16.4 Nm och verkningsgraden 86.0 %.

- b) Strömdelning över fältlindningen  $R_f = 0.2 \Omega$  och resistansen  $R = 0.2 \Omega$  ger att

$$I_f = I_a/2 \tag{1}$$

För att erhålla samma moment som i a)-uppgiften så gäller att:

$$T = K_f I^2 = K_f I_a I_f \Rightarrow I^2 = I_a I_f = I_a^2/2$$

där den sista likheten ges av (1). Detta ger att strömmarna blir

$$I_a = \sqrt{2}I = 28.3 \text{ A}$$
$$I_f = I_a/2 = 14.1 \text{ A}$$

För att bestämma varvtalet behövs motorparametern  $K_f$  som kan beräknas med data från a)-uppgiften enligt

$$K_f = \frac{T}{I^2} = 41.1 \text{ mNm/A}^2$$

Varvtalet beräknas enligt

$$E_a = V - I_a R_a - I_f R_f = 83.0 \text{ V}$$
$$\omega_m = \frac{E_a}{K_f I_f} = 143 \text{ rad/s}$$
$$n_m = \frac{60\omega_m}{2\pi} = 1365 \text{ varv/min}$$

Verkningsgraden blir

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{E_a I_a}{VI_a} = \frac{E_a}{V} = 83.0\%$$

**Svar:** Ankarströmmen är 28.3 A, varvtalet 1365 varv/min och verkningsgraden 83.0 %.

c) Startmomentet  $T_s = 30 \text{ Nm}$  kräver en startström  $I_s$  och spänning  $V_s$  på

$$I_s = \sqrt{\frac{T_s}{K_f}} = 27.0 \text{ A}$$

$$V_s = I_s(R_a + R_f) = 18.9 \text{ V}$$

**Svar:** Startströmmen är 27.0 A och spänningen 18.9 V.

## Uppgift 2.

a) Låt

$$f_e = 50 \text{ Hz} \quad p = 6 \quad n_{ph} = 3 \quad V_1 = 400/\sqrt{3}$$

Dom ekvivalenta kretsparametrarna blir med enligt (6.29)-(6.31) med  $R_1 = 0$ :

$$V_{1,eq} = V_1 \frac{X_m}{X_1 + X_m} = 219.9 \text{ V}$$

$$Z_{1,eq} = R_{1,eq} + jX_{1,eq} = 0 + j \frac{X_m X_1}{X_1 + X_m} = 0 + 0.476j \Omega$$

Eftersom  $R_{1,eq} = 0$ , så blir maxmomentet enligt (6.36):

$$\omega_s = 2\pi f_e(2/p) = 104.7 \text{ rad/s}$$

$$T_{\max} = \frac{1}{\omega_s} \frac{0.5 n_{ph} V_{1,eq}^2}{X_{1,eq} + X_2} = 709.8 \text{ Nm}$$

och eftersläpningen enligt (6.35)

$$s_{\max T} = \frac{R_2}{|X_{1,eq} + X_2|} = 20.5\%$$

Varvtalet är

$$n_m = (1 - s_{\max T})(60f_e(2/p)) = 795 \text{ varv/min}$$

och verkningsgraden blir

$$\eta = \frac{P_{\text{shaft}}}{P_{\text{input}}} = \frac{P_{\text{mech}}}{P_{\text{mech}} + P_{\text{rotor}}} =$$

$$= /P_{\text{rotor}} = \frac{s}{1-s} P_{\text{mech}} / = 1 - s_{\max T} = 79.5\%$$

**Svar:** Motorns maxmoment är 709.8 Nm och motsvarande eftersläpning 20.5 %, varvtalet 795 varv/min och verkningsgrad 79.5 %.

b) Låt

$$f_e = 30 \text{ Hz} \quad f_{e0} = 50 \text{ Hz} \quad s = 0.02$$

Varvtalet blir

$$n_m = (1 - s)(60f_e(2/p)) = 588 \text{ varv/min}$$

Momentet kan beräknas enligt (11.61) där  $n_{ph}$ ,  $R_2$ ,  $p$ ,  $X_{20} = X_2$  är givna i uppgiften,  $(V_{1,eq})_0$  och  $(X_{1,eq})_0$  är beräknade i lösningen till a)-uppgiften. Dessutom är

$$w_{e0} = 2\pi f_{e0} = 314 \text{ rad/s} \quad \Delta\omega = (2\pi f_e(2/p)) \cdot s = 1.26 \text{ rad/s}$$

vilket insatt i (11.61) ger momentet

$$T_{\text{mech}} = 82.9 \text{ Nm}$$

Verkningsgraden kan beräknas på samma sätt som i a)-uppgiften, dvs

$$\eta = 1 - s = 98.0\%$$

**Svar:** Varvtalet är 588 varv/min, momentet 82.9 Nm och verkningsgraden 98.0 %.

### Uppgift 3.

a) Låt  $f_e = 50 \text{ Hz}$  och  $n_m = 107.1 \text{ varv/min}$  så är poltalet

$$p = \frac{2 \cdot 60 \cdot f_e}{n_m} \approx 56$$

**Svar:** Generatoren har 56 poler.

b) Låt

$$P_{\text{rated}} = 170 \text{ MW} \quad V_a = 20/\sqrt{3} \text{ kV} \quad E_{af} = V_a \quad n_{ph} = 3$$

så är uteffekten  $P$  för effektvinkel  $\delta$

$$P = n_{ph} \frac{V_a E_{af}}{X_s} \sin(\delta) \leq 200 \text{ MW} =: P_{\text{max}}$$

Eftersom  $P_{\text{max}} > P_{\text{rated}}$  så kan generatoren köras med full last och i detta fall med effektvinkel

$$\delta = \arcsin\left(\frac{P_{\text{rated}}}{P_{\text{max}}}\right) = 58.2^\circ$$

**Svar:** Generator kan köra med full last med en effektvinkel på  $58.2^\circ$ .

c) Om nätets ekvivalenta reaktans betecknas  $X_{EQ} = 0.5 \Omega$  så blir den maximala effekten

$$P = n_{ph} \frac{V_a E_{af}}{X_s + X_{EQ}} = 160 \text{ MW} < P_{\text{rated}}$$

**Svar:** Generatoren kan inte leverera full effekt utan endast maximalt 160 MW.

**Uppgift 4.** Om  $i = 200 \text{ mA}$  och  $x$  betecknar luftgapets längd så ger (1.31) och (3.27) att lyftkraften kan tecknas som

$$f_{\text{fld}}(x) = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} = /L(x) = \frac{N^2 \mu_0 A}{2x} / = -\frac{N^2 i^2 \mu_0 A}{4x^2}$$

där  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$  betecknar permeabiliteten i vakuum. Minustecknet indikerar lyftkraft och eftersom strömmen ingår i kvadrat spelar strömriktning ingen roll. Om tyngdaccelerationen är  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  så är den maximala plåtmassa som kan lyftas

$$m_{\text{plåt}} = \frac{N^2 i^2 \mu_0 A}{4g g_0^2} = 1150 \text{ kg}$$

där  $g_0 = 0.1 \text{ mm}$  har använts och  $m_{\text{rör}} = 288 \text{ kg}$ .

**Svar:** De blir lyftkraft oberoende av strömriktning och maximalt kan 1150 kg plåt eller 288 kg rör lyftas.