

## Facit

**TSFS04 Elektriska drivsystem**  
**16 mars, 2016, 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) (a) Synkronmaskin.  
(b) Synkronmaskin med utpräglade poler i rotorn.  
(c) Likströmsmaskin.  
(d) Reluktansmaskin eller stegmotor.
- b) (a) Utbredd lindning.  
(b) Koncentrerad lindning.

Utbredd lindning ger plats för mer lindningsvarv, kan ge sinsuformigt utbredd mmk-våg, jämnare moment dvs minskad kuggning.

### Uppgift 2.

- a) Motorn har 4 poler.  
b) Momentet är

$$\begin{aligned} T_{\text{fld}}(\theta_m) &= \frac{i_1^2}{2} \frac{dL_{11}(\theta_m)}{d\theta_m} + \frac{i_2^2}{2} \frac{dL_{22}(\theta_m)}{d\theta_m} + i_1 i_2 \frac{dL_{12}(\theta_m)}{d\theta_m} = \\ &= \underbrace{\frac{1}{2} \sin(2\theta_m)}_{\text{interaktion mellan fälten}} \underbrace{-\frac{1}{4} \sin(4\theta_m)}_{\text{reluktansmoment}} \end{aligned}$$

- c) De stabila jämviktspunkterna ges av

$$\begin{aligned} T_{\text{fld}}(\theta_m) = 0 \text{ där } \theta_m \in [0, 2\pi[ \text{ och } \frac{dT_{\text{fld}}}{d\theta_m} < 0 \Leftrightarrow \\ \theta_m = \frac{\pi}{2} \text{ eller } \frac{3\pi}{2} \end{aligned}$$

### Uppgift 3.

- a) Märkström:

$$\begin{aligned} I_{f0} &= 3 \text{ A}, \quad V_{a0} = 300 \text{ V} \\ E_{a0} &= 100I_{f0} - I_{f0}^3 = 273 \text{ V} \\ I_{a0} &= \frac{V_{a0} - E_{a0}}{R_a} = 50 \text{ A} \end{aligned}$$

Uteffekten vid märkdrift:

$$P_{\text{mech},0} = E_{a0}I_{a0} = 13.6 \text{ kW}$$

Verkningsgrad:

$$\eta = \frac{P_{\text{mech},0}}{P_{\text{mech},0} + R_a I_{a0}^2 + R_f I_{f0}^2} = 90.5\%$$

- b) Ankarströmmen  $I_{a1}$ :

$$\begin{aligned} T_{\text{mech},1} &= 10 \text{ Nm}, \quad n_1 = 2500 \text{ varv/min} \quad n_0 = 2000 \text{ varv/min} \\ \omega_1 &= \frac{2\pi}{60} n_1 \\ P_{\text{mech},1} &= T_{\text{mech},1} \omega_1 = 2.62 \text{ kW} \end{aligned}$$

Ur ekvationssystemet

$$\begin{aligned} V_{a0} &= E_{a1} + I_{a1}R_a \\ P_{\text{mech},1} &= E_{a1}I_{a1} \end{aligned}$$

kan de obekanta  $I_{a1}$  och  $E_{a1}$  lösas. Lös ut  $E_{a1}$  ur den andra ekvationen och substituera i den första. Då fås

$$V_{a0}I_{a1} = P_{\text{mech},1} + R_a I_{a1}^2$$

med lösningarna  $I_{a1} = 8.87$  A eller  $I_{a1} = 547$  A. Den senare lösningen är inte möjlig eftersom märkströmmen är 50 A.

**Fältströmmen  $I_{f1}$ :** Den inducerade spänningen blir för  $I_{a1} = 8.87$  A

$$E_{a1} = V_{a0} - I_{a1}R_a = 295 \text{ V}$$

för varvtal  $n_1$ . Detta motsvarar en inducerad spänning i varvtal  $n_0$  som magnetiseringskurvan gäller för

$$\tilde{E}_{a1} = E_{a1} \frac{n_0}{n_1} = 236 \text{ V}$$

Avläsning på magnetiseringskurvan ger eller lösning av 3:gradsekvationen

$$\tilde{E}_{a1} = 100I_{f1} - I_{f1}^3$$

ger att  $I_{f1} = -11.0, 2.52$ , eller  $8.50$  A. Den enda lösningen som ligger i intervallet  $[0, 3]$  A är  $I_{f1} = 2.52$  A som är den sökta lösningen.

**Svar:**  $I_{a1} = 8.87$  A och  $I_{f1} = 2.52$  A.

#### Uppgift 4.

a) Märkvarvtal:

$$\begin{aligned} s_0 &= 0.087, \quad f_e = 50 \text{ Hz}, \quad p = 2 \\ n_m &= \frac{2}{p} 60 f_e (1 - s_0) = 2739 \text{ varv/min} \end{aligned}$$

Märkmoment:

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{500}{\sqrt{3}} \text{ V fasspänning}, \quad n_{ph} = 3 \\ V_{1,eq} &= V_1 \frac{jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)} = 283 \text{ V fasspänning} \\ R_{1,eq} &= 0 \Omega \\ X_{1,eq} &= \frac{X_m X_1}{X_1 + X_m} = 0.588 \Omega \\ \omega_s &= 2\pi f_e = 314 \text{ rad/s} \\ T_0 &= \frac{1}{\omega_s} \frac{n_{ph} V_{1,eq}^2 \frac{R_2}{s_0}}{(R_{1,eq} + \frac{R_2}{s_0})^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2} = 128 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Märkuteffekt.

$$\begin{aligned} \omega_m &= \frac{2\pi}{60} n_m = 287 \text{ rad/s} \\ P_0 &= T_0 \omega_m = 36.6 \text{ kW} \end{aligned}$$

b) Maximalt vridmoment

$$T_{\max} = \frac{1}{\omega_s} \frac{0.5n_{ph}V_{1,eq}^2}{R_{1,eq} + \sqrt{R_{1,eq}^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2}} = 322 \text{ Nm}$$

Slippet som ger maximalt vridmoment:

$$s_{\max T} = \frac{R_2}{R_{1,eq} + (X_{1,eq} + X_2)^2} = 42.1 \%$$

c) Eftersom  $R_1 = 0$  så är maximalt startmoment  $T_{\max} = 322 \text{ Nm}$ . Frekvens och spänning som ger maximalt startmoment är

$$f_{e,s} = f_e s_{\max T} = 21 \text{ Hz}$$

$$V_{1,s} = \frac{f_{e,s}}{f_e} V_1 = 121 \text{ V fasspänning} = 210 \text{ V huvudspänning}$$

### Uppgift 5.

a)

$$p = 2 \frac{f_e}{n_m/60} = 4$$

b)

$$V_a = \frac{192}{\sqrt{3}}$$

$$I_a = \frac{P_{in}}{n_{ph}V_a} = 13.5 \text{ A}$$

c)

$$X_s = \sqrt{\frac{E_{af}^2 - V_a^2}{I_a^2}} = 3.41 \text{ } \Omega/\text{fas}$$

d) Effektvinkel:

$$\delta = \arcsin\left(\frac{X_s P_{out}}{n_{ph} E_{af} V_a}\right) = 33.5^\circ = 0.585 \text{ rad}$$

Linjeström och effektfaktorvinkel:

$$\hat{I}_a = \frac{V_a - E_{af} e^{-j\delta}}{jX_s} = 19.4 - 5.85j = 20.3 e^{-j0.293} \text{ A}$$

$$I_a = 20.3 \text{ A}$$

$$\theta = -0.293 \text{ rad} = -16.8^\circ$$

Effektfaktor:

$$\cos(\theta) = 0.958$$