

## Lösningsförslag/facit till Tentamen

**TSFS04 Elektriska drivsystem**  
**17 mars, 2014, kl. 08.00-12.00**

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

Ansvarig lärare: Mattias Krysanter, tel 013-282198.

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

### Uppgift 1.

- a) – Ömseinduktansen har period  $2\pi$  radianer och ges således av kurva III.  
 – Toppvärdet av självinduktansen kan beräknas enligt  $L(\theta) = N^2/R_{\text{tot}}(\theta)$ . Detta ger att  $L_{11}(\theta) = N_1^2/R_{\text{tot}}(\theta)$ ,  $L_{22}(\theta) = N_2^2/R_{\text{tot}}$  dvs  $L_{22}(\theta) = 4L_{11}(\theta)$ . Alltså är II statorns självinduktans och I rotors självinduktans.
- b) Momentet ges av

$$T = \frac{i_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{d\theta} + \frac{i_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{d\theta} + i_1 i_2 \frac{dL_{12}}{d\theta}$$

där  $i_1 = i_2 = 1$  A. Detta ger att:

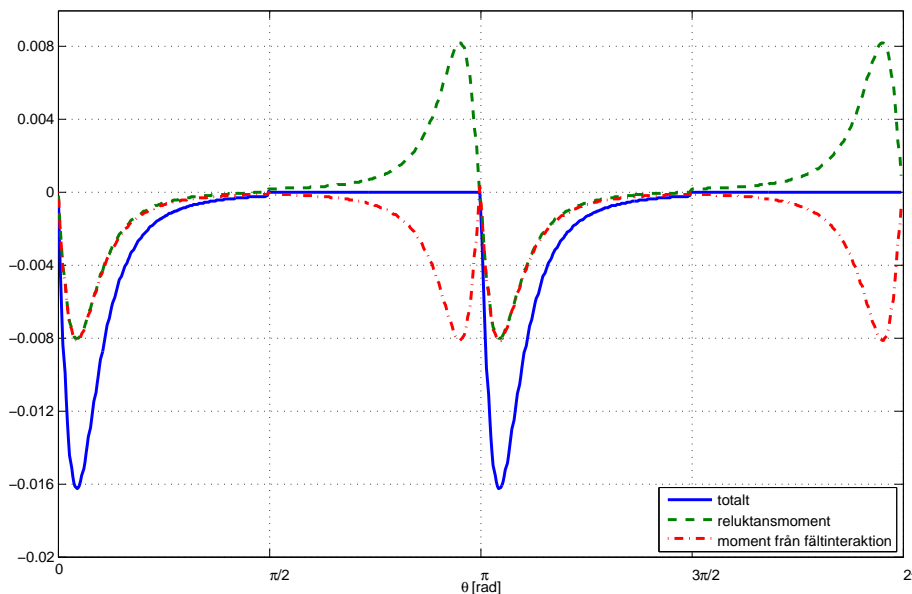
- A - II, reluktans stator
  - B - III, ömseinduktans
  - C - I, reluktans rotor
- c) Låt

$$i_1(\theta) = \begin{cases} 1 & 0 < \theta < \pi \\ -1 & \pi < \theta < 2\pi \end{cases}$$

och  $i_2 = 0.5$  A. Låt funktionerna i figur 3 i tentamen kallas för  $T_A(\theta)$ ,  $T_B(\theta)$  och  $T_C(\theta)$ . Med den ändrade statorströmmen och kommuteringen av rotorströmmen så blir det totala momentet

$$T = \underbrace{\frac{1}{4}T_A + T_c}_{\text{reluktansmoment}} - \frac{1}{2}|T_B|$$

vilket visas i figur 1. Den valda rotorströmmen ger negativt moment, vilket innebär att rotorvinkeln kommer att minska, dvs rotorn roterar moturs i figur 1 i tentamen.



Figur 1: Beräknade moment som funktion av vinkel  $\theta$ .

### Uppgift 2.

a) Motorns märkvarvtal, synkronreaktans och ömseinduktans är

$$n_s = \frac{f_e p}{2 \cdot 60} = 3000 \text{ varv/min}$$

$$X_s = \frac{V_a}{I_a} = 0.64 \Omega$$

$$L_{af} = \frac{\sqrt{2} V_a}{\omega_e I_f} = 20.8 \text{ mH}$$

b) Magnetiseringsströmmen  $I_f$  och effektvinkeln  $\delta$  räknas ut enligt:

$$E_{af} = \sqrt{V_a^2 + (X_s I_a)^2} = 301 \text{ V, fasspänning}$$

$$I_f = \frac{E_{af} \sqrt{2}}{\omega_e L_{af}} = 65.1 \text{ A}$$

$$\delta = \arccos\left(\frac{V_a}{E_{af}}\right) = 0.695 \text{ rad} = 39.8^\circ$$

c) Motorns maximala effekt och moment är

$$P_{\max} = n_{ph} \frac{V_a E_{af}}{X_s} = 325 \text{ kW}$$

$$T_{\max} = \frac{p P_{\max}}{2 \omega_e} = 1.03 \text{ kNm}$$

**Uppgift 3.** Motorns verkningsgrad vid märkdrift kan beräknas enligt:

$$P_{ut} = T_0 \cdot \omega_0 = T_0 \cdot \frac{2\pi n_0}{60} = 2.21 \text{ kW}$$

$$P_{in} = n_{ph} V_1 I_1 \cos \theta = 2.57 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{ut}} = 86\%$$

**Uppgift 4.**

a) Om  $V_{1,0}$  och  $f_{e,0}$  är märkvärden så varieras spänningen  $V_a$  som funktion av den elektriska frekvensen  $f_e$  enligt

$$V_a = \frac{f_e}{f_{e,0}} V_{a,0} \quad \text{för } 0 \leq f_e \leq f_{e,0}$$

Syftet med styrprincipen är att den maximala flödestätheten ska vara lika för olika elektriska frekvenser.

b)

$$I_1 = \frac{V_1}{X_1 + X_m} = 2.26 \text{ A}$$

c) Den elektriska frekvensen ges av:

$$X_{1,eq} = \frac{X_m X_1}{X_m + X_1} = 2.34 \Omega$$

$$s_{\max T} = \frac{R_2}{X_{1,eq} + X_2} = 0.21$$

$$\omega_{e,start} = s_{\max T} \omega_e = 66.2 \text{ rad/s}$$

$$f_{e,start} = \frac{\omega_{e,start}}{2\pi} = 10.5 \text{ Hz}$$

Det maximala startmomentet ges av

$$V_{1,eq} = V_1 \frac{X_m}{X_1 + X_m} = 226 \text{ V}$$

$$T_{start} = T_{max} = \frac{1}{\omega_s} \frac{0.5n_{ph} V_{1,eq}^2}{X_{1,eq} + X_2} = 51.2 \text{ Nm}$$

### Uppgift 5.

a) Låt märkvärden indexeras med 0. Motorns vridmoment och uteffekt vid märkdrift ges av:

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = 137 \text{ rad/s}$$

$$E_{a0} = V_{a0} - I_{a0} R_a = 355.5 \text{ V}$$

$$K_f = \frac{E_{a0}}{I_{f0} \omega_0} = 5.18 \text{ Vs/A}$$

$$T_0 = K_f I_{f0} I_{a0} = 5.7 \text{ Nm}$$

$$P_0 = T_0 \omega_0 = 782 \text{ W}$$

b) Den maximala startspänningen och det maximala startmomentet ges av

$$V_{a,start} = R_a I_{a,start} = 285 \text{ V}$$

$$T_{start} = K_f I_{f0} I_{a,start} = 15.5 \text{ Nm}$$

c) Varvtalet 500 varv/min är mindre än märkhastighet och då ska  $I_f = 0.5 \text{ A}$ . Återstår att bestämma  $V_a$ . Låt storheter indexeras  $b$  för denna deluppgift, dvs  $T_b = 2 \text{ Nm}$  och  $n_b = 500$  varv/min enligt förutsättning. Då ges  $V_{a,b}$  av:

$$\omega_b = \frac{2\pi n_b}{60} = 52.4 \text{ rad/s}$$

$$I_{a,b} = \frac{T_b}{K_f I_{f0}} = 0.77 \text{ A}$$

$$E_{a,b} = K_f I_{f0} \omega_b = 136 \text{ V}$$

$$V_{a,b} = E_{a,b} + I_{a,b} R_a = 172 \text{ V}$$

d) Varvtalet 2000 varv/min är större än märkhastighet och då ska  $V_a = 460 \text{ V}$ . Återstår att bestämma  $I_a$  och  $I_f$ . Låt storheter indexeras  $c$  för denna deluppgift, dvs  $T_c = 2 \text{ Nm}$  och  $n_c = 2000$  varv/min enligt förutsättning. Strömmarna  $I_{a,c}$  och  $I_{f,c}$  kan beräknas genom att lösa ekvationssystemet

$$V_{a0} = I_{a,c} R_a + E_{a,c}$$

$$E_{a,c} = K_f I_{f,c} \omega_c$$

$$T_c = K_f I_{f,c} I_{a,c}$$

där även  $E_{a,c}$  är obekant. Två lösningar erhålls

Lösning 1:	$I_{a,c} = 1.02 \text{ A}$	$I_{f,c} = 379 \text{ mA}$	$E_{a,c} = 412 \text{ V}$
Lösning 2:	$I_{a,c} = 8.67 \text{ A}$	$I_{f,c} = 44.5 \text{ mA}$	$E_{a,c} = 48.3 \text{ V}$

där den första är den korrekta eftersom den andra lösningen har en ankarström som långt överskrider märkvärdet.