

Lösningförslag

TSFS04 Elektriska drivsystem
5 juni, 2017, 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. Φ_{g1} är flödet uppåt i högerbenet, Φ_{g2} flödet nedåt i vänsterben och Φ_x flödet nedåt i mittben. Ställ upp ekvationerna så fås

$$\begin{aligned}\Phi_{g1} - \Phi_x - \Phi_{g2} &= 0 \\ \Phi_{g1} \cdot \mathcal{R}_g + \Phi_x \cdot \mathcal{R}_x - \mathcal{F} &= 0 \\ \Phi_{g1} \cdot \mathcal{R}_g + \Phi_{g2} \cdot \mathcal{R}_g - \mathcal{F} &= 0\end{aligned}$$

med lösningen

$$\begin{aligned}\Phi_{g1} &= \mathcal{F} \cdot \frac{\mathcal{R}_g + \mathcal{R}_x}{\mathcal{R}_g \cdot (\mathcal{R}_g + \mathcal{R}_x)} \\ \Phi_{g2} &= \mathcal{F} \frac{\mathcal{R}_x}{\mathcal{R}_g \cdot (\mathcal{R}_g + 2 \cdot \mathcal{R}_x)} \\ \Phi_x &= \mathcal{F} \frac{1}{\mathcal{R}_g + 2 \cdot \mathcal{R}_x}\end{aligned}$$

där

$$\mathcal{R}_g = \frac{g}{A_g \cdot \mu_0} \quad \mathcal{R}_x = \frac{x}{A_p \cdot \mu_0} \quad \mathcal{F} = N \cdot I$$

a) De magnetiska flödestätheterna blir därmed

$$B_{g1} = \frac{\Phi_{g1}}{A_c} = 83,8 \text{ mT} \quad B_{g2} = \frac{\Phi_{g2}}{A_c} = 41,9 \text{ mT} \quad B_x = \frac{\Phi_x}{A_r} = 41,9 \text{ mT}$$

b) Den magnetiska kraften blir

$$f_{fld} = \frac{I^2}{2} \frac{dL}{dx} = -\frac{I^2 \cdot N^2}{2 \cdot (\mathcal{R}_g + 2 \cdot \mathcal{R}_x)^2 \cdot A_p \cdot \mu_0} = -69,8 \text{ mN}$$

c) Om $g_2 = 0$ så blir den magnetiska kretsen "kortsloten" och flödet oberoende av x . Därmed så blir kraften $f = 0$.

Uppgift 2.

a) Sett från rotorlindningen ser kretsen identisk ut oavsett vinkeln α , rotns självinduktans kommer därmed att vara konstant, alltså är $L_{rr} = L_b$. Sett från statorlindningen kommer kretsen att vara identisk om den vrids ett halvt varv, den kommer därmed variera periodiskt med perioden 2α , alltså är $L_{ss} = L_c$. För ömseinduktansen spelar lindningarnas rikning roll, rotorn behöver då vridas ett helt varv för att kretsen ska bli identisk med ursprungsläget, ömseinduktansen varierar alltså med perioden α och därmed är $L_{sr} = L_a$.

b) Det räcker att strömsätta statorlindningen för att få ett moment. Med rotorström $i_r = 0$ A och statorström $i_s = 0.1$ A så blir momentet som funktion av α

$$\begin{aligned}T &= \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{1}{2} L_{rr} i_r^2 + L_{sr}(\alpha) i_r i_s + \frac{1}{2} L_{ss}(\alpha) i_s^2 \right) = \\ &= \frac{\partial}{\partial \alpha} \frac{1}{2} L_{ss}(\alpha) i_s^2 = \frac{0,1^2}{2} \frac{\partial}{\partial \alpha} (2 + 2 \cdot \cos(2\alpha)) = \\ &= -0,02 \sin(2\alpha) \text{ N}\end{aligned}$$

Det maximala beloppet av momentet är 0,02 N och antas för vinklarna $\alpha = -45^\circ + n \cdot 90^\circ$ där $n \in \mathbb{Z}$.

c) Momentet uppkommer i och med att reluktansen i kretsen varierar med α . Rotorn vill rotera så att reluktansen minimeras. Perioden på 180° inses genom att reluktansen blir den samma om rotorn roteras ett halvt varv.

- d) Att byta ut en spole mot en permanentmagnet är ekvivalent med att ha en spole med konstant ström. Momentet ges av $T = -2i_s^2 \sin 2\alpha - i_s i_r \sin \alpha$, för $i_s = 0$ blir momentet noll även om $i_r \neq 0$, det är alltså rotorlindningen som ska bytas ut mot en permanentmagnet.

Uppgift 3. Exempel på lösning:

Kalla givna fallet Fall I, a-uppgiften Fall II och b-uppgiften Fall III

- a) Momentet är konstant så I_a är konstant. Vi har att

$$\begin{aligned} E_{a,I} &= V_{a,I} - I_{a,I} \cdot R_a \\ E_{a,II} &= E_{a,I} \cdot \frac{v_{II}}{v_I} \\ V_{a,II} &= E_{a,II} + I_{a,I} \cdot R_a = 382 \text{ V} \end{aligned}$$

- b) Momentet dubblas, så I_a dubblas. Vi har att

$$\begin{aligned} I_{a,III} &= I_{a,I} \cdot 2 \\ V_{a,III} &= E_{a,II} + I_{a,III} \cdot R_a = 404 \text{ V} \end{aligned}$$

- c) Största möjlig startspänning fås direkt från den evkivalenta kretsen enligt

$$V_{a,\max} = I_{a,\max} \cdot R_a = 60 \cdot 0,55 = 33 \text{ V}$$

För att räkna ut startkraften vid denna ström så kan vi använda oss av driftstillståndet för det första givna fallet. Med enda skillnad att vi har en utväxling så kan vi använda momentekvationerna från formelsamlingen

$$\begin{aligned} T &= k \cdot I_a \Rightarrow f = k_f \cdot I_a \\ P_{\text{mech}} &= f \cdot v = k_f \cdot v \cdot I_a \\ P_{\text{em}} &= E_a \cdot I_a \end{aligned}$$

Eftersom vi bortser från friktion så får vi

$$\begin{aligned} P_{\text{mech}} = P_{\text{em}} &\Rightarrow E_a = k_f \cdot v \implies \\ f_{\max} &= I_{a,\max} \cdot k_f = I_{a,\max} \cdot \frac{E_{a,I}}{v_I} = 14,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Uppgift 4. Exempel på lösning:

- a) Ett exempel på hur ett svar kan se ut är

Spänningsreglering

Spänningen sänks så att momentkurvan sjunker, slippet blir då större för ett och samma lastmoment. Det är förhållandevis enkelt och billigt att styra spänningen och det fungerar på alla typer av asynkronmaskiner. En nackdel är att större slip ger mer förluster.

Frekvensreglering

Momentkurvan flyttas i sidled genom att frekvensen på primärsidan ändras vilket ger en effektiv reglering. En nackdel är att frekvensriktare är dyra och introducerar illalätande störningar i motorerna.

Pådragsreglering

Ett yttre pådrag kopplas in till rotern vilket förskjuter momentkurvan. En fördel är att det ger mindre förluster än spänningsstyrning samt att det kan användas för motorstart. Maxmomentet är dessutom bevarat vilket gör att vi inte behöver oroa oss för att motorn skall bli för svag. En nackdel är dock att förlusterna fortfarande finns där om än inte lika stora som för spänningsstyrningen. Dessutom kräver metoden en släppringad asynkronmaskin.

- b) Låt det givna fallet vara Fall I och det sökta Fall II. Utgående från den generella momentformeln för asynkronmaskinen kan vi ta fram specialfall för de olika alternativen. Vi får då för de olika styrstrategierna följande parametrar/värden

Spänningsreglering

Vi har att momentet kan skrivas $M = k \cdot U^2 \cdot s$ och med konstant moment för de olika fallen får vi

$$n_{2,II} = 2850 \text{ rpm} \quad n_1 = 3000 \text{ rpm}$$

$$s_I = \frac{n_1 - n_{2,I}}{n_1} = 2,7 \%$$

$$s_{II} = \frac{n_1 - n_{2,II}}{n_1} = 5,0 \%$$

$$U_{H,II} = U_{H,I} \cdot \sqrt{\frac{s_I}{s_{II}}} = 292,2 \text{ V}$$

Frekvensreglering

Vid konstant Volt/Hz reglering måste vi ändra spänningen lika mycket som frekvensen för att bibehålla maxmomentet. Momentkurvan för ändrad frekvens motsvarar då en ren förskjutning och vi får

$$f_{Diff} = p \cdot \frac{n_{2,II} - n_{2,I}}{120} = -1,2 \text{ Hz}$$

$$f_{II} = f_I + f_{Diff} = 48,8 \text{ Hz}$$

$$U_{H,II} = U_{H,I} \cdot \frac{f_{II}}{f_I} = 390,7 \text{ V}$$

Pådragsreglering

Antag litet slip, vi kan skriva momentformeln som $M = k \cdot \frac{s}{R_2}$ och för konstant lastande moment så har vi

$$\frac{s_I}{R_{2,I}} = \frac{s_{II}}{R_{2,II}} \implies$$

$$R_{2,II} = \frac{s_{II}}{s_I} \cdot R_{2,I} = 1,125 \Omega$$

$$R_y = R_{2,I} - R_{2,II} = 0,53 \Omega$$

Uppgift 5.

- a) För det första så kan motorn omöjligt vara perfekt magnetiserad eftersom

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{3}U_H \cdot I_L = 171 \text{ kVA} \\P &= S \cos \varphi = 114 \text{ kW} \\ \Rightarrow \cos \varphi &= \frac{P}{S} = 0,66\end{aligned}$$

Eftersom strömmen dessutom ökar när magnetiseringen ökar så betyder det att magnetiseringen redan var för stor. Motorn är därmed övermagnetiserad och avger reaktiv effekt till nätet. (Ström före spänning)

- b) Vi har att

$$\begin{aligned}\hat{V}_a &= V_a \\ \hat{I}_a &= 150 (\cos \varphi + j \cdot \sin \varphi) \quad (\text{positiv vinkel}) \\ E_{af} &= \left| \hat{V}_a - j \cdot X_s \cdot \hat{I}_a \right| \\ P_{\max} &= 3 \cdot \frac{E_{af} \cdot V_a}{X_s} = 364 \text{ kW}\end{aligned}$$

Notera att tecknet på strömmens vinkel motsvarar en kondensator vilket stämmer med att motorn levererar reaktiv effekt till nätet. Tecknet går även att bestämma genom att pröva båda och se vilken som stämmer med över/under-magnetisering.

- c) Effektivinkeln blir

$$\sin \delta = \frac{P}{P_{\max}} \Rightarrow \delta = 18,2^\circ$$