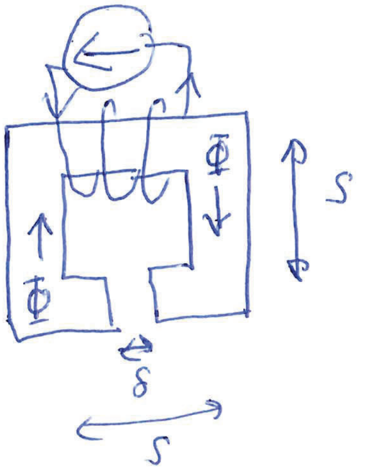
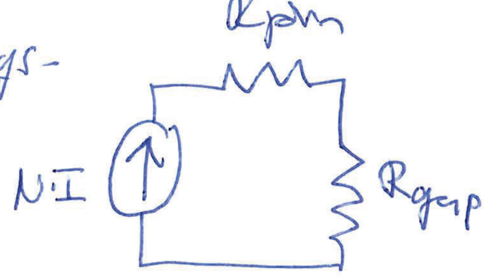
EEN155 tentamen 4/6 2024
Kortfattade Lösningar

(1) cirkulationslagen ⇒ strömriktn. för önskad flödesriktn.



beräknings-modell ⇒



$$N \cdot I = R_{tot}\,\Phi \quad , \quad \Phi = B \cdot A \, , \; R_{tot} = R_{gap} + R_{järn}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{\mu_0 A} \cdot \left\{ \frac{4s - \delta}{\mu_{r,järn}} + \delta \right\} \simeq 6{,}85645 \cdot 10^{6} \ 1/\text{henry}$$

$$\Phi = B \cdot A = 1{,}05 \cdot 10^{-4} \text{ weber}$$

$$\Rightarrow \quad I = \frac{R_{tot} \cdot \Phi}{N} \simeq \underline{\underline{1{,}8 \text{ ampere}}}$$

Samma B (flödestäthet) i gap & järn

Magn. fältstyrkan i järnet:

$$H_{järn} = \frac{B}{\mu_{järn}} = \frac{B}{\mu_{r,järn}\,\mu_0} = \frac{0{,}35}{2800 \cdot 4\pi 10^{-7}} \simeq$$

$$\simeq \underline{\underline{99 \text{ ampere/meter}}}$$

② a) Magnetfältets cirkulation styrs av strömmar som genomkorsar slingan ⇒ I_1 & I_2 bidrar (slinga i xy-planet, I_1 & $I_2 \perp$ detta)

I_3 bidrar ej då den är i xy-planet.

⇒ Magn. cirk = $I_1 - I_2 = 2{,}5 - 1{,}8 = \underline{\underline{0{,}7\ A}}$

motriktade strömmar

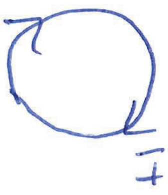
cirk.lag: $I_1 \times$ (in i pappret) ⇒ ↻

$I_2 \bullet$ (upp ur pappret) ⇒ ↺

∴ sammanlagd cirk. $\underline{\underline{↻}}$ då $I_1 > I_2$. (medurs)

Gauss lag för magnetflöde ⇒ $\underline{\underline{\Phi_{tot} = 0}}$ genom sluten yta.

b) $\mathbb{T} = \mathbb{m} \times \mathbb{B}$ riktat i $+\hat{y}$: $\uparrow \mathbb{T}$

medurs ström, slinga i xy-planet:  ⇒ $\mathbb{m}$ riktat i $-\hat{z}$ (in i pappret)

($\mathbb{m}$ samma riktn. som strömmens <u>eget</u> magnetfält)

$\mathbb{T}$ i $+\hat{y}$ & $\mathbb{m}$ i $-\hat{z}$ ⇒ externa B-fältet ($\mathbb{B}$) riktat i $-\hat{x}$ led (kryss-produkt...)

$T_{max} \underset{\uparrow\, \mathbb{m} \perp \mathbb{B}}{=} mB = \pi r^2 N I B$ ⇒ $\underline{\underline{N \approx 106 \text{ varv}}}$

3

$$u_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = \int \mathbb{B} \cdot d\mathbb{A} = \mathbb{B} \cdot \mathbb{A} \stackrel{*}{=} B \cdot A$$

maximalt om $\mathbb{B}$ // areans normal

om $\mathbb{B}$ homogent

riktad i normalens riktn.

a)

∴ $\mathbb{B}$ orienteras // normalen till ytan som genomkorsas ⇒ max Φ och även max $|u_{ind}|$ då ~~…~~ endast styrkan hos B varieras i tid, ej ~~…~~ rotation eller motsv.

⇒ $\mathbb{B}$ riktad i $\pm\hat{y}$ (slingan i xz-planet)

$$\Rightarrow \underline{\hat{e} = +\hat{y} \text{ eller } -\hat{y}}$$

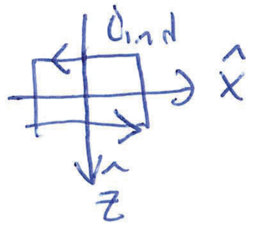
b)

$$|u_{ind}| = \left|-NA\frac{dB}{dt}\right| = NAB_1 e^{-t/\tau} \cdot \left\{\frac{1}{\tau}\cos\omega t + \omega \sin\omega t\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} t = 2{,}5 \cdot 10^{-4}\,s \\ \omega = 2\pi\, 10^3\,rad/s \end{array}\right\} \Rightarrow \omega t = \frac{\pi}{2} \Rightarrow |u_{ind}| = NAB_1 e^{-t/\tau} \cdot \omega$$

$$\simeq \underline{22{,}0 \text{ volt}}$$

c) $t = 2{,}5 \cdot 10^{-4}\,s \Rightarrow \frac{dB}{dt} < 0 \Rightarrow$.



__om__ $\hat{e} = +\hat{y}$ så är ΔB riktad $-\hat{y}$ ⇒ vänsterhandsregel ⇒ $\underline{i_{ind}\circlearrowleft}$ i xz-planet

[om $\hat{e} = -\hat{y}$ ⇒ medurs ström istället]

Lösningsförslag 2024-06-04 el. drivsystem delen.

4 a) i)

$\lambda = k \cdot i_f \quad k = ?$

Givet: sep. mag. LM.

$R_a = 1{,}90\ \Omega$

mätning: $V_T = 192{,}5V \quad i_a = 0{,}53A$

$V_f = 174.6V \quad i_f = 1{,}5A \quad n_r = 1445$ rpm

Stationärtillstånd:

$V_T = R_a i_a + \lambda \omega_r \Rightarrow \lambda = \frac{V_T - R_a i_a}{\omega_r} = \frac{192{,}5 - 1{,}90 \cdot 0{,}53}{1445 \cdot \pi/30} = 1{,}265$ Wb

$\boxed{k = \frac{\lambda}{i_f}} = \frac{1{,}265}{1{,}5} = 0{,}8437\ldots \approx 0{,}843$

ii)

$T_{L,\text{frikt}} = b \cdot \omega_r \quad b = ?$

i stationär tillstånd $J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_{L,\text{frikt}} = 0 \Rightarrow T_e = T_{L,\text{frikt}}$

$T_e = \lambda i_a \Rightarrow \lambda i_a = b \cdot \omega_r \Rightarrow b = \frac{\lambda i_a}{\omega_r} = \frac{1{,}265 \cdot 0{,}53}{1445 \cdot \pi/30} = 0.0044$ Nm/rad s^{-1}

Svar: $k = 0{,}84$ Wb/A $\quad b = 0.004$ Nm/rad s^{-1}

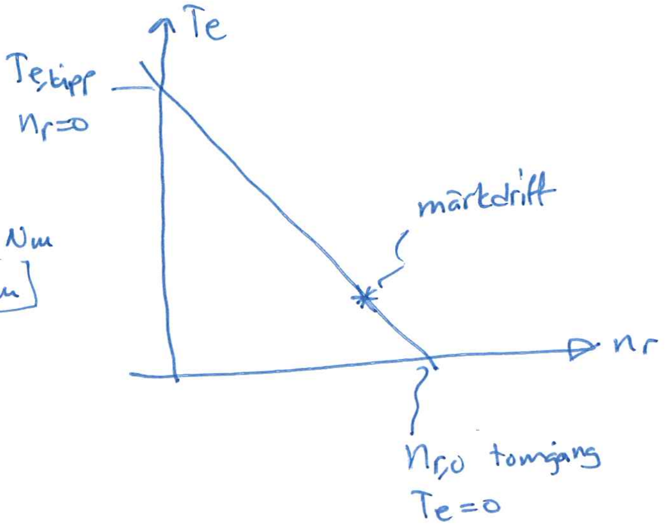
4b) märkspänning $\Rightarrow$

$V_T = V_{T,m} = 260\,V \quad , \quad V_f = V_{f,m} = 220\,V \Rightarrow i_f = i_{f,m} = 1.89\,A$

i stationärtillstånd $\quad V_T = R_a i_a + \lambda \omega_r \Rightarrow i_a = \dfrac{V_T - \lambda\omega_r}{R_a}$

$T_e = \lambda i_a \Rightarrow i_a = \dfrac{T_e}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad T_e = \dfrac{\lambda}{R_a}(V_T - \lambda\omega_r)$

$\lambda = k \cdot i_{f,m} = 0.843 \cdot 1.89 = 1{,}593\ Wb$



i) Kippmoment $\quad \omega_r = 0$ rad/s

$\boxed{T_{e,tipp}} = \dfrac{\lambda}{R_a} \cdot V_T = \dfrac{1.593}{1{,}90} \cdot 260 = 217{,}99\ Nm \approx \boxed{218\ Nm}$

ii) Tomgång $\quad T_e = 0\ Nm \Rightarrow V_T = \lambda\omega_r$

$\omega_{r,0} = \dfrac{V_T}{\lambda} = \dfrac{260}{1{,}593} = 163.21\ rad/s$

$\boxed{n_{r,0}} = \omega_{r,0} \cdot 30/\pi = 1558.6\ rpm \approx \boxed{1559\ rpm}$

iii) Märkdrift $\quad n_r = 1445$ rpm givet.

$\boxed{T_e} = \lambda\, i_{a,m} = 1{,}593 \cdot 23{,}4 = \boxed{37{,}27\ Nm}$

Svar: i) Kippmoment: $T_e = 218\ Nm$ vid 0 rpm

ii) Tomgång: $T_e = 0\ Nm$ vid 1559 rpm

iii) Märkdrift: $T_e = 37.3\ Nm$ vid 1445 rpm

4c) $T_{L,ext} = 29 \cdot b \cdot \omega_r$ Nm $\quad V_T = V_{T,m} = 260V \quad V_f = V_{f,m} = 220V$

i) i stationärtillstånd

$$T_e = T_{L,tot} = T_{L,frikt} + T_{L,ext}$$

$$\lambda i_a = b\omega_r + 29b\omega_r = 30b\omega_r$$

$$i_a = \frac{30 \cdot b \cdot \omega_r}{\lambda}$$

$$V_T = R_a i_a + \lambda \omega_r \rightarrow V_T = R_a \cdot \frac{30 \cdot b \cdot \omega_r}{\lambda} + \lambda\omega_r = \omega_r\left(\frac{R_a \cdot 30 \cdot b}{\lambda} + \lambda\right)$$

$$\Rightarrow \underline{\omega_r} = \frac{V_T}{\frac{R_a \cdot 30 \cdot b}{\lambda} + \lambda} = \frac{260}{\frac{1{,}9 \cdot 30 \cdot 0{,}0044}{1{,}593} + 1{,}593} = \underline{148{,}53 \text{ rad/s}}$$

$$\boxed{n_r} = \omega_r \cdot 30/\pi = \boxed{1418{,}4 \text{ rpm}}$$

ii) $$\boxed{i_a} = \frac{30 \cdot b \cdot \omega_r}{\lambda} = \frac{30 \cdot 0{,}0044 \cdot 148{,}53}{1{,}593} = \boxed{12{,}31\ A}$$

iii) $$\boxed{e_a} = \lambda\omega_r = 1{,}593 \cdot 148{,}53 = \boxed{236{,}61\ V}$$

iv) $$\boxed{\eta} = \frac{P_{ut}}{P_{in}} = \frac{(T_e - T_{L,frikt})\omega_r}{V_T i_a} = \frac{T_{L,ext} \cdot \omega_r}{V_T i_a} = \frac{29 \cdot b \cdot \omega_r^2}{V_T i_a} = \frac{29 \cdot 0{,}0044 \cdot 148{,}53^2}{260 \cdot 12{,}31} =$$

$$= \frac{2815.00}{3200.6} = 0{,}8795\ldots \approx \boxed{88\%}$$

Svar: i) $n_r = 1418$ rpm

ii) $i_a = 12{,}3$ A

iii) $e_a = 236.6$ V

iv) $\eta = 88\%$

4d) $n_{r,max} = ?$ för em + last vid $V_T = V_{T,m}$, $i_a = i_{am}$

stationär tillstånd $\Rightarrow$ $T_e = T_{L,tot} = T_{L,frikt} + T_{L,ext}$

$$\lambda i_a = b\omega_r + B\omega_r = b\omega_r + 29 b\omega_r = 30 b\omega_r$$

$$V_T = R_a i_a + \lambda\omega_r \qquad \lambda = \frac{30 \cdot b \cdot \omega_r}{i_a}$$

$$V_T = R_a i_a + \frac{30 \cdot b \cdot \omega_r}{i_a} \cdot \omega_r = R_a i_a + \frac{30 \cdot b}{i_a} \cdot \omega_r^2 \Rightarrow$$

$$\omega_{r,max} = \sqrt{(V_T - R_a i_a) \cdot \frac{i_a}{30 \cdot b}} = \sqrt{(260 - 1{,}9 \cdot 23{,}4) \cdot \frac{23{,}4}{30 \cdot 0.004}} = 205{,}01 \text{ rad/s}$$

$$n_{r,max} = \omega_{r,max} \cdot 30/\pi = 1957{,}73 \text{ rpm}$$

koll:

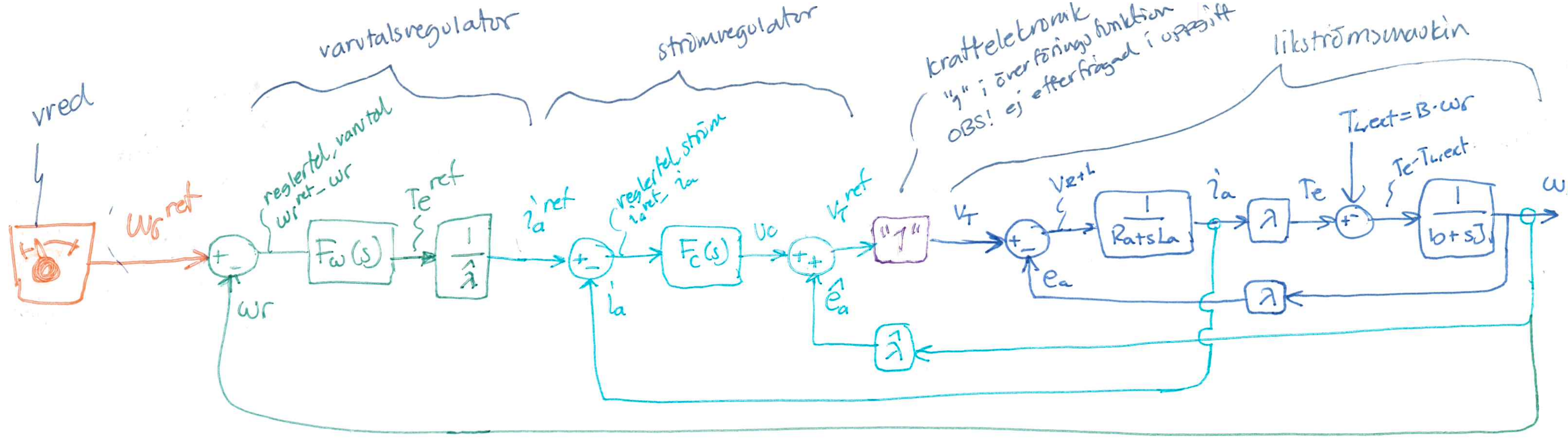
$$\lambda = \frac{30 \cdot b \cdot \omega_r}{i_a} = 1.051 \text{ Wb}$$

$$\Rightarrow i_f = \frac{\lambda}{k} = 1{,}25 A < 1{,}89 A$$

ok

Detta driftfall kallas fältförsvagning

5a)


varvtalsregulator
strömregulator
kraftelektronik
"1" i överföringsfunktion
OBS! ej efterfrågad i uppgift
likströmsmaskin
vred
ωr ref
reglerfel, varvtal
ωr ref − ωr
Fω(s)
Te ref
1/λ̂
ia ref
reglerfel, ström
ia ref − ia
Fc(s)
Uc
Vt ref
"1"
Vt
Vr+L
1/(Ra+sLa)
ia
λ
Te
TLoad = B·ωr
Te − TLoad
1/(b+sJ)
ωr
ea
êa
λ̂

5b) $t_{rc} = 21\,ms$; $t_{rc} = \frac{\ln 9}{\alpha_c} \Rightarrow \boxed{\alpha_c = \frac{\ln 9}{t_{rc}}} = \frac{\ln 9}{21 \cdot 10^{-3}} = 104{,}63$ rad/s

$t_{r\omega} = 220\,ms \Rightarrow \boxed{\alpha_\omega = \frac{\ln 9}{t_{r\omega}}} = \frac{\ln 9}{220 \cdot 10^{-3}} = 9{,}99$ rad/s

$$\frac{FG}{1+FG} = \frac{\alpha}{s+\alpha} = \frac{\alpha/s}{1+\alpha/s} \Rightarrow FG = \frac{\alpha}{s} \Rightarrow F = \frac{\alpha}{s} G^{-1}$$

$$F_c = \frac{\alpha_c}{s} \cdot (R_a + sL_a) = \alpha_c L_a + \frac{\alpha_c R_a}{s} = K_{cp} + \frac{K_{ci}}{s}$$

$$\boxed{\begin{aligned} K_{cp} &= \alpha_c \cdot L_a = 104{,}63 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 2.0926 \\ K_{ci} &= \alpha_c \cdot R_a = 104.63 \cdot 1{,}90 = 198{,}797 \end{aligned}}$$

$$F_\omega(s) = \frac{\alpha_\omega}{s}(b + sJ) = \alpha_\omega J + \frac{\alpha_\omega b}{s} = K_{\omega p} + \frac{K_{\omega i}}{s}$$

$$\boxed{\begin{aligned} K_{\omega p} &= \alpha_\omega \cdot J = 9{,}99 \cdot 0{,}05 = 0{,}4995 \\ K_{\omega i} &= \alpha_\omega \cdot b = 9.99 \cdot 0{,}004 = 0{,}03996 \end{aligned}}$$

Svar: $K_{cp} = 2{,}09$ $\quad K_{ci} = 198{,}8$

$K_{\omega p} = 0{,}50$ $\quad K_{\omega i} = 0{,}04$

5c) Under härledning av strömregulatorns PI-parametrar:

- motEMK'n betraktas som en störning, d.v.s. en insignal som inte kan regleras.

Efter härledning av strömregulatorns parametrar:

- motEMK'n estimeras via mätt-varvtal och uppskattat länkat flöde, och adderas till utsignalen strömregleringens PI-funktion; så kallad framkoppling av $\hat{e}_a$
- Motiv: Utsignalen från PI-regulatorn täcker endast impedans-spänningsfallet, men motEMK'n är vanligen avsevärt större än så. Framkoppling av $\hat{e}_a$ är därför viktig för att få önskad prestanda i regleringen.

6a) $V_d = V_{T,m}$

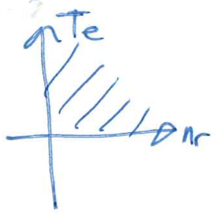
omriktaren är en 1-kvadrant nedspänningsomriktare

$- v_T \leq V_d$ och samma polaritet $\Rightarrow n_r \geq 0$

$- i_a > 0$ pga. dioden kan strömmen ej vara < 0

$T_e = \lambda i_a \Rightarrow T_e \geq 0$

$\Rightarrow$ $n_r \geq 0$
$T_e \geq 0$
1-kvadrant



Svar: $T_e, n_r \geq 0$

6b) $t_{on} = 10 \mu s$ $\quad T_s = 12{,}5 \mu s$

$$\boxed{f_{sw}} = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{12{,}5 \cdot 10^{-6}} = 80\,000 = \boxed{80 \text{ kHz}}$$

$$\boxed{V_{T,ave}} = \frac{1}{T_s}\int_0^{t_{on}} V_d \, dt + \frac{1}{T_s}\int_{t_{on}}^{T_s} 0 \, dt = \frac{1}{T_s} V_d \cdot t_{on} = \frac{10}{12{,}5} \cdot 260 = \boxed{208 \text{ V}}$$

Svar: $f_{sw} = 80 \text{ kHz}$
$V_{T,ave} = 208 \text{ V}$

6c) • ~~Stationärtillstånd~~ autas stationärtillstånd för omriktaren $\Rightarrow v_{L,ave} = 0$
• ideala: switch, diod

KVL: $v_T - v_L - e_a = 0$

$v_L = v_T - e_a$

SW ON: $v_T = V_d \Rightarrow v_L = V_d - e_a$ (sw leder)

SW OFF: $v_T = 0 \Rightarrow v_L = -e_a$ (dioden leder)

$$v_{L,ave} = \frac{1}{T_s}\int_0^{DT_s} V_d - e_a \, dt + \frac{1}{T_s}\int_{DT_s}^{T_s} -e_a \, dt =$$

$$= \frac{1}{T_s}(V_d - e_a)(DT_s - 0) + \frac{1}{T_s}(-e_a)(T_s - DT_s) =$$

$$= \frac{1}{T_s}(V_d DT_s - e_a DT_s) + \frac{1}{T_s}(-e_a T_s + e_a DT_s) =$$

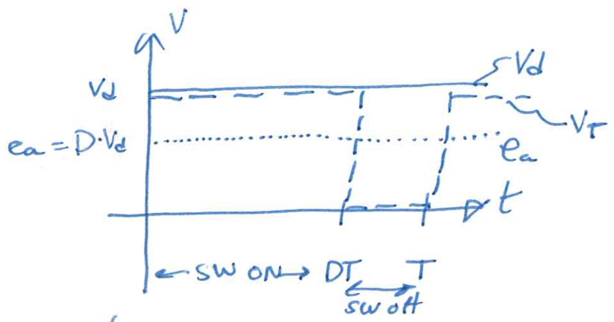
$$= \frac{1}{T_s}\left(V_d DT_s - \cancel{e_a DT_s} - e_a T_s + \cancel{e_a DT_s}\right) = 0 \Rightarrow$$

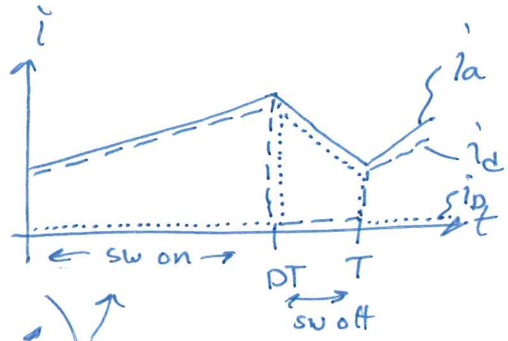
$V_d DT_s - e_a T_s = 0 \Rightarrow V_d \cdot D = e_a$, $\quad e_a = \lambda \omega_r \Rightarrow$

$$\lambda \omega_r = D \cdot V_d \Rightarrow \boxed{\omega_r = \frac{D \cdot V_d}{\lambda}}$$

MotEMK:n kan antas konstant eftersom J är relativt stort, det gör att varvtalet knappt hinner ändras inom några switchperioder på ett tiotal μs för omriktaren.

6d) $V_d = 260\,V$ $\quad V_T = \overset{\text{sw on}}{260\,V} / \overset{\text{sw off}}{0V}$ $\qquad e_a = D \cdot V_d = \frac{10}{12{,}5} \cdot 260 = 208\,V$





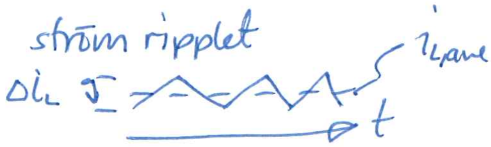
$$\left(\begin{array}{l} \text{sw ON} \Rightarrow V_L = V_d - e_a > 0 \Rightarrow \frac{di_a}{dt} > 0 \Rightarrow i_a \nearrow \\ \text{sw off} \Rightarrow v_L = -e_a < 0 \Rightarrow \frac{di_a}{dt} < 0 = i_a \searrow \end{array} \right)$$

6e) CCM = Continous Conduction Mode

- strömmen genom den energilagrande spolen är alltid större än noll ; $i_L > 0$
- dvs spolen hinner aldrig ladda ur hela sin energi inom en switch-period.

För att CCM skall gälla måste medelvärdet av strömmen genom spolen vara större än halva strömripplet

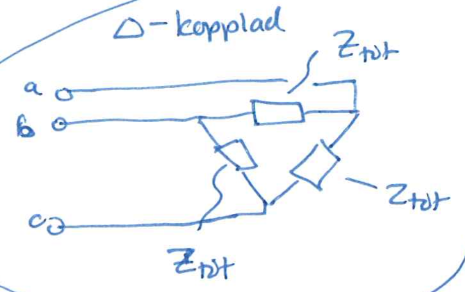
$$i_{L,ave} > \frac{\Delta i_L}{2}$$



7a) $V_{LL} = 440\,V\ rms$, $f = 50\ Hz$, $n_r = 1492\ rpm$

$R_s = 1{,}1\ \Omega$ $\quad X_s = 2{,}1\ \Omega$ $\quad X_m = 55\ \Omega$

$R'_r = 0{,}5\ \Omega$ $\quad X'_r = 0{,}9\ \Omega$



i) $I_s = ?$ $\qquad \dot{I}_s = \dfrac{V_{LL}}{Z_{tot}}$

$$Z_{tot} = R_s + jX_s + \underbrace{\frac{\left(\frac{R'_r}{s} + jX'_r\right) jX_m}{\frac{R'_r}{s} + jX'_r + jX_m}}$$

$s = \dfrac{n_s - n_r}{n_s}$

n_s vanligen lite högre än n_r

Sätt $p=2 \Rightarrow n_s = \dfrac{120\,f_s}{2} = 3000$ rpm

$p=4 \quad n_s = 1500$ rpm

$p=6 \quad n_s = 1000$ rpm

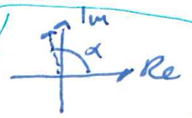
$\Rightarrow n_s$ antas vara 1500 rpm

$s = \dfrac{1500 - 1492}{1500} = 0.00533$

$$\frac{R'_r}{s} = \frac{0{,}5}{0{,}00533} = 93{,}81\ \Omega$$

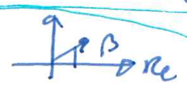
$$\frac{\left(\frac{R'_r}{s} + jX_r\right) jX_m}{\frac{R'_r}{s} + jX_r + jX_m} = \frac{(93{,}81 + j0{,}9)j55}{93{,}81 + j0{,}9 + j55} =$$

$$= \frac{-49{,}5 + j\,5159{,}55}{93{,}81 + j\,55{,}9} = \frac{5159{,}787\angle 90{,}55^\circ}{109{,}2022\angle 30{,}79^\circ} =$$



$\alpha = 90^\circ + \operatorname{atan}\left(\frac{Re}{Im}\right)$

$$= 47.2498\angle 59.76^\circ = 23{,}796 + j\,40{,}820\ \Omega$$



$\beta = \operatorname{atan}\left(\frac{Im}{Re}\right)$

$$Z_{tot} = 1{,}1 + j2{,}1 + 23{,}796 + j40{,}820 = 24{,}896 + j\,42{,}92 =$$

$$= 49{,}6179\angle 59{,}884^\circ$$

väljer spänningen som riktfas

$$\boxed{\dot{I}_s} = \frac{V_{LL}}{Z_{tot}} = \frac{440\angle 0^\circ}{49{,}6179\angle 59{,}884^\circ} = \boxed{8{,}868\angle -59{,}88^\circ}$$

ii) $T_e = \dfrac{P_e}{\omega_r} = \dfrac{1}{\omega_r} \cdot 3 \cdot \dfrac{1-s}{s} \cdot R'_r\,|\dot{I}'_r|^2$

$$\dot{I}'_r = \frac{\dot{I}_s \cdot jX_m}{\frac{R'_r}{s} + jX'_r + jX_m} = \frac{8{,}868\angle -59{,}88 \cdot 55\angle 90^\circ}{109{,}2022\angle 30{,}79^\circ} = 4{,}466\angle \ldots$$

behövs ej

från ovan

$$\boxed{T_e} = \frac{3 \cdot \frac{1 - 0{,}00533}{0{,}00533} \cdot 0{,}5 \cdot (4{,}466)^2}{1492 \cdot \pi/30} = \boxed{35{,}73\ Nm}$$

iii) $\boxed{\cos\varphi} = \cos(59{,}88^\circ) = 0{,}5018\ldots \approx \boxed{0{,}5}$

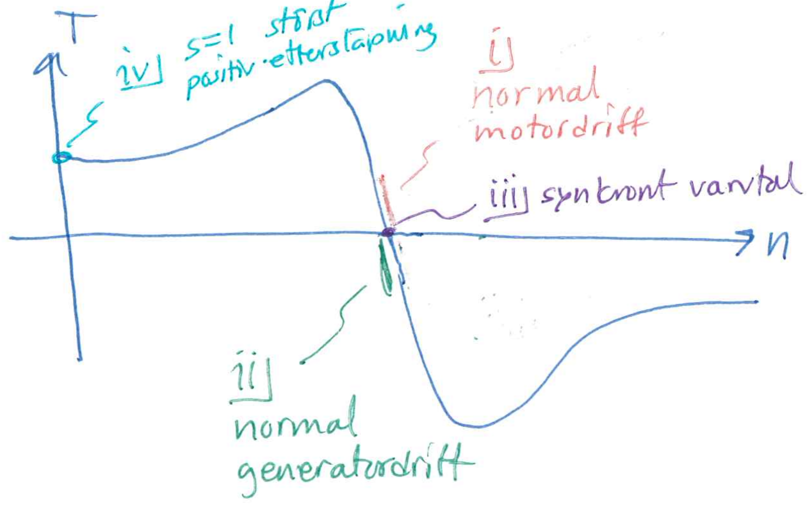
Svar:

i) $I_s = 8{,}87\angle -59{,}9^\circ A$

ii) $T_e = 35{,}7\ Nm$

iii) $\cos\varphi = 0{,}5$

7b/


T
iv) s=1 start positiv etterslapning
i) normal motordrift
iii) synkront varvtal
n
ii) normal generatordrift

8a) $p = ?$

$$n_s = \frac{60 \cdot f_s}{p/2} = \frac{120 \cdot f_s}{p} \Rightarrow p = \frac{120 \cdot f_s}{n_s} = \frac{120 \cdot 266.7}{4000} = 8 \text{ poler}$$

Svar: 8-poler

8b) $i_s = i_{s,m}$, $\frac{i_{sm}}{2}$, $i_s = 0$

$$\cos\beta = -\frac{\lambda_m}{4(L_{sd}-L_{sq})I_{mag}} - \sqrt{\frac{1}{2} + \left(\frac{\lambda_m}{4(L_{sd}-L_{sq})I_{smag}}\right)^2}$$

$I_{s,rated}$

$$\cos\beta = -\frac{0.318}{4(1.16-2.85)\cdot 10^{-3}\cdot 50\cdot\sqrt{2}} - \sqrt{\frac{1}{2} + \left(\frac{0.318}{4(1.16-2.85)\cdot 10^{-3}\cdot\sqrt{2}\cdot 50}\right)^2} =$$

$$= 0.665266143 - 0,970865099 = -0,305598956$$

$$\beta = \cos^{-1}(-0.305598956) = 107,79^\circ$$

$$i_{sd} = I_{mag}\cdot\cos\beta = 50\cdot\sqrt{2}\cdot\cos 107,79^\circ = -21,60 \text{ A}$$

$$i_{sq} = I_{mag}\sin\beta = 50\cdot\sqrt{2}\cdot\sin 107,79^\circ = 67,33 \text{ A}$$

$I_{s,rated}\cdot 0,5$

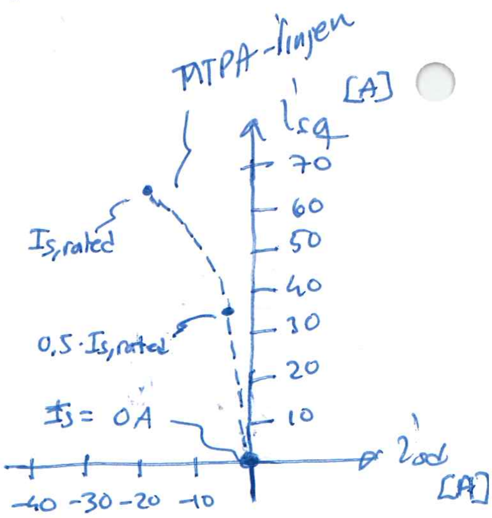
$$\cos\beta = -\frac{0,318}{4(1.16-2.85)\cdot 10^{-3}\cdot 25\cdot\sqrt{2}} - \sqrt{\frac{1}{2} + \left(\frac{0,318}{4(1.16-2.85)\cdot 10^{-3}\cdot 25\cdot\sqrt{2}}\right)^2} =$$

$$= 1.330532286 - 1,506756837 = -0,176224551$$

$$\beta = 100,15^\circ$$

$$i_{sd} = 25\cdot\sqrt{2}\cdot\cos(100,15^\circ) = -6,23 \text{ A}$$

$$i_{sq} = 25\cdot\sqrt{2}\cdot\sin(100,15^\circ) = 34,80 \text{ A}$$



Svar: märkström $\beta = 107,8^\circ$

$i_{sd} = -21,6$ A

$i_{sq} = 67,3$ A

$\frac{1}{2}$ märkström $\beta = 100,2^\circ$

$i_{sd} = -6,2$ A

$i_{sq} = 34,8$ A

nollström $\beta = 0$, $i_{sd} = 0$ $i_{sq} = 0$

8c) $n_{r,max}$? Antag stationärtillstånd $\Rightarrow T_e = T_L = 0{,}03 n_r$

alt1 $T_e = T_{e,m} = T_L$

$$T_{e,m} = \frac{P_{e,m}}{n_{r,m}} = \frac{60 \cdot 10^3}{4000 \cdot \pi/30} = 143{,}24 \text{ Nm}$$

$$T_{e,m} = T_L = 0{,}03\, n_r \Rightarrow n_r = \frac{T_{e,m}}{0{,}03} = \frac{143{,}24}{0{,}03} = 4774{,}66\ldots \text{ rpm}$$

$$P_{e,L} = T_{e,L} \cdot \Omega_{r,L} = 143{,}24 \cdot 4774{,}66 \cdot \pi/30 = 71{,}620 \text{ kW} > P_{e,rated}$$

elmotorn kan inte driva lasten på denna effekt kontinuerligt

---

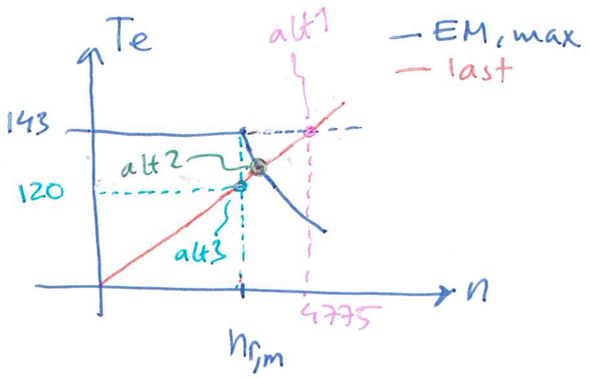
alt2 $P_{e,rated} = P_L = T_L \cdot \Omega_r = 0{,}03 \cdot n_r \, \Omega_r = 0{,}03 \cdot n_r \cdot n_r \cdot \pi/30 =$

$$= 0{,}03 \cdot \pi/30 \cdot n_r^2$$

$$\Rightarrow \boxed{n_r} = \sqrt{\frac{P_{e,rated}}{0{,}03 \cdot \pi/30}} = \sqrt{\frac{60 \cdot 10^3}{0{,}03 \cdot \pi/30}} = \boxed{4370{,}19 \text{ rpm}}$$

---

alt.3 $n_r = n_{r,m} \Rightarrow T_L = 0{,}03 \cdot 4000 = 120 \text{ Nm}$



alt1 maskinen driver lasten vid märkmoment, men över basvarv. ⇒ för hög effekt.

alt3 maskinens basvarvtal, maskinen kan driva lasten både vid högre varvtal och moment.

alt2 maskinen driver lasten vid märkeffekt, över basvarvtalet.
Detta är det högsta varvtal maskinen kan driva denna last vid.

Svar: $n_{r,max}$: 4370 rpm