EEN155 tentamen 10/6 2025
kortfattade lösningar

(1) $NI = \mathcal{R}_{tot} \cdot \Phi \quad , \quad \Phi = B \cdot A$

$$\Rightarrow \quad N = \frac{\mathcal{R}_{tot} \cdot BA}{I} = \underline{\underline{735 \text{ varv}}}$$

$$B_{gap} = B_{porn} = \mu_{r,porn} \cdot \mu_0 \cdot H_{porn}$$

$$\Rightarrow \quad H_{porn} = \frac{B_{gap}}{\mu_{r,porn} \cdot \mu_0} \simeq 126{,}6 \simeq \underline{\underline{127 \text{ A/m}}}$$

$$\mathcal{R}_{porn} = \mathcal{R}_{tot} - \mathcal{R}_{gap} \quad , \quad \mathcal{R}_{gap} = \frac{l_{gap}}{\mu_0 A}$$

$$\Rightarrow \quad \mathcal{R}_{porn} \simeq 4{,}42253 \cdot 10^{5} \text{ 1/henry}$$

$$l_{porn} = \mu_{r,porn} \cdot \mu_0 A \mathcal{R}_{porn} \simeq \underline{\underline{0{,}367 \text{ m}}}$$

[Alt. lösn: $H_{porn} \cdot l_{porn} + H_{gap} \cdot l_{gap} = NI$]

(2)

$$\mathbb{T} = \mathbb{m} \times \mathbb{B}$$

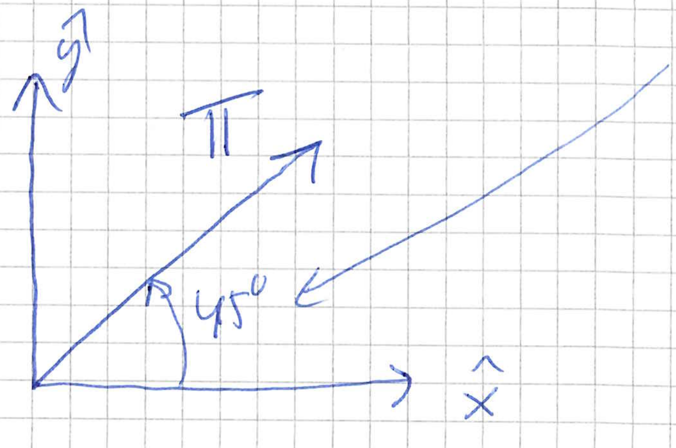
$\mathbb{m}$ samriktat med strömmens eget magnetfält, som fås med cirkelregeln

$$\mathbb{m} = NIA \cdot \hat{n} \approx 0{,}7854 \cdot (-\hat{z})$$

$$\mathbb{B} = B_0 \cdot (-\hat{x}) + B_0 \cdot \hat{y}$$

$$\begin{cases} (-\hat{z}) \times (-\hat{x}) = +\hat{y} \\ (-\hat{z}) \times \hat{y} = +\hat{x} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \mathbb{T} = NIA\,B_0 \cdot (\hat{x} + \hat{y}) \approx 0{,}3927(\hat{x} + \hat{y})$$

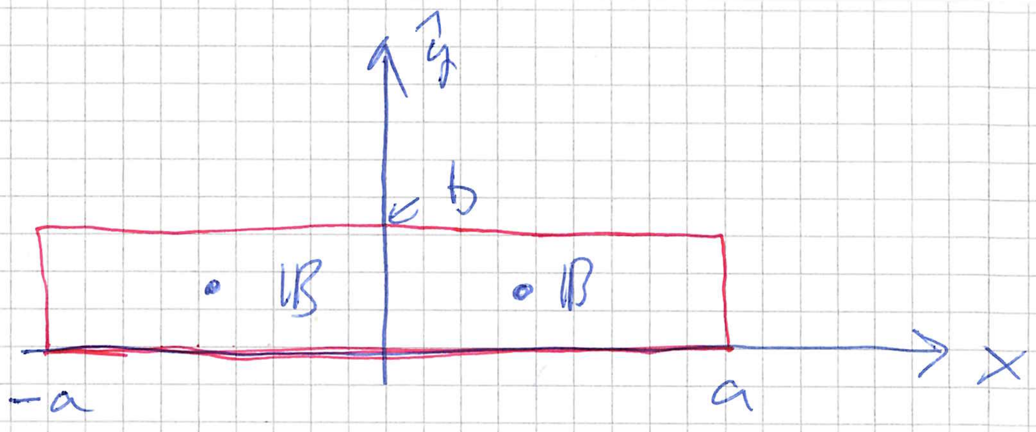


$$|\mathbb{T}| \approx 0{,}3927 \cdot \sqrt{2} \approx \underline{\underline{0{,}555 \text{ Nm}}}$$

vinkel = $\underline{\underline{45°}}$ relativt $\hat{x}$-axel

(↑ lika stora $\hat{x}$- & $\hat{y}$ komposanter)

③



$$U_{ind} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (N = 1 \text{ varv})$$

$$\phi = \int B \cdot dA = B_0 \left\{ \int_0^b dy \int_{-a}^{a} \cos kx \, dx \right\} \cdot \sin \omega t =$$

$$= \sin \omega t \cdot B_0 \, b \cdot \left[\frac{\sin kx}{k} \right]_{-a}^{a} = \sin \omega t \cdot \frac{2 B_0 b}{k}$$

$\sin ka = 1$
då $k = 6$, $a = \frac{\pi}{12}$

$$U_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{2B_0 b}{k} \omega \cdot \cos \omega t$$

$$t = 0 \Rightarrow |U_{ind}| = \frac{2 B_0 b \omega}{k} = \underline{\underline{900 \text{ V}}}$$

Strömriktning:
Kring $t=0$: ϕ går från $- \rightarrow +$ $\Rightarrow$ riktat i $+\hat{z}$ (upp ur pappret) & ökande vid $t=0$.
Vänsterhandsregel (tummen i $\Delta\phi$, fingrar ger ovrk riktn) $\Rightarrow$ Medurs ind. ström: i_{ind} ↻

4

märkdata:

$P_m = 4kW$, $V_f = 200V$, $V_T = 230V$, $n_m = 2000$ rpm

Parametrar $R_f = 100\Omega$ $R_a = 1\Omega$

$\lambda = 0.5 \cdot i_f$

a) · tomgångsvarvtal, kippmoment?

• söker $T_e = f(\omega_r)$

$$\left.\begin{aligned} V_T &= R_a i_a + \lambda\omega_r \\ \Rightarrow i_a &= \frac{V_T - \lambda\omega_r}{R_a} \end{aligned}\right\} , \quad T_e = \lambda i_a \quad \Rightarrow T_e = \frac{\lambda}{R_a}(V_T - \lambda\omega_r)$$

Vid tomgång är $T_e = 0 \Rightarrow V_T = \lambda\omega_{r,0} \Rightarrow \omega_{r,0} = \frac{V_T}{\lambda}$, $n_{r,0} = \omega_{r,0} \cdot \frac{30}{\pi}$ tomgångsvarvtalet

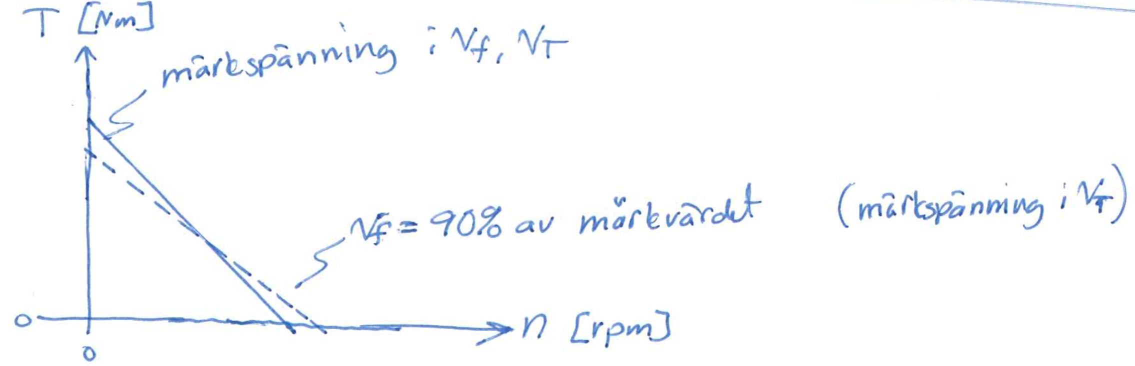
då $\omega_r = 0 \Rightarrow T_e = \frac{\lambda}{R_a} \cdot V_T$ kippmomentet

märkspänning $\Rightarrow i_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{200\,V}{100\,\Omega} = 2A$

$\lambda = 0.5 \cdot i_f = 0.5 \cdot 2 = 1\,Wb$

$$\boxed{\begin{aligned} n_{r,0} &= \frac{V_T}{\lambda} \cdot \frac{30}{\pi} = \frac{230}{1} \cdot \frac{30}{\pi} = 2196.3 \text{ rpm} \\ T_{e,kipp} &= \frac{\lambda}{R_a} \cdot V_T = \frac{1}{1} \cdot 230 = 230 \text{ Nm} \end{aligned}}$$

b)



4c) $T_L = 0.8 \cdot T_{e,m} = 0.8 \cdot \dfrac{P_{e,m}}{n_m \cdot \frac{\pi}{30}} = 0.8 \cdot \dfrac{4000}{2000 \cdot \pi/30} = 15.28\ Nm$

$T_e = T_L = 15.28\ Nm = \lambda i_a$ märkspänning $\Rightarrow \lambda = 1\ Wb$ som i 4a)

$\Rightarrow i_a = \dfrac{T_e}{\lambda} = \dfrac{15.28}{1} = 15.28\ A$

$v_T = R_a i_a + \lambda \omega_r \Rightarrow \omega_r = \dfrac{v_T - R_a i_a}{\lambda} = \dfrac{230 - 1 \cdot 15.28}{1} = 214.72$ rad/s

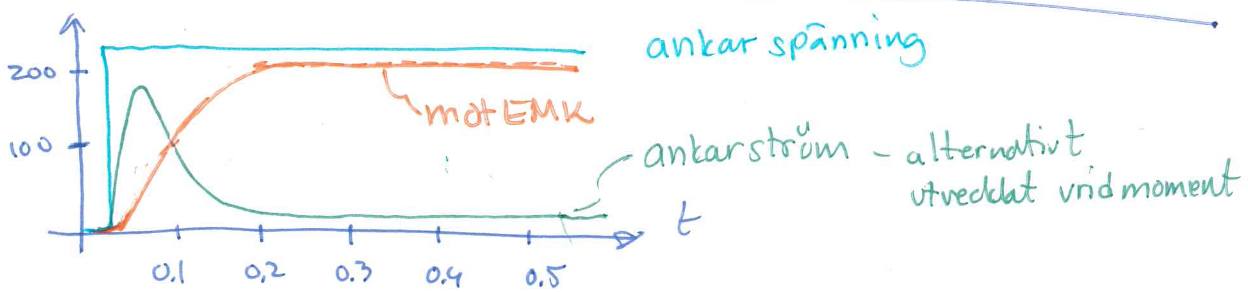
i) mot EMK $= \lambda \omega_r = 1 \cdot 214.72 = 214.72\ V$ $\Rightarrow n_r = 2050.4$ rpm

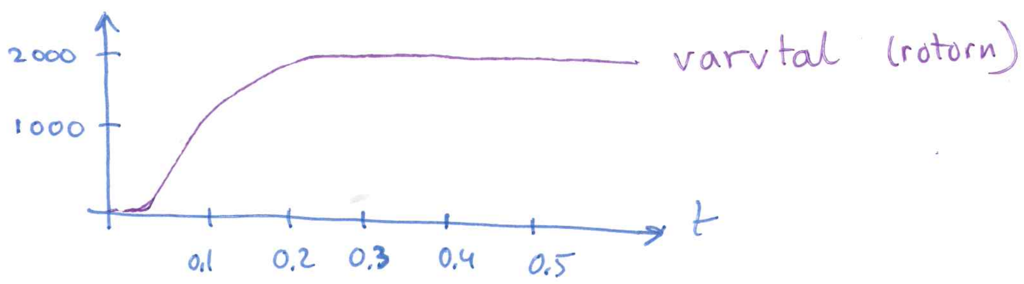
ii) $P_{cu,a} = R_a \cdot i_a^2 = 1 \cdot 15.28^2 = 233.48\ W$

iii) $\eta = \dfrac{P_{ut}}{P_{in}} = \dfrac{e_a i_a}{V_T i_a} = \dfrac{e_a}{V_T} = \dfrac{214.72}{230} = 0.9336$

$\simeq 93.4\ \%$

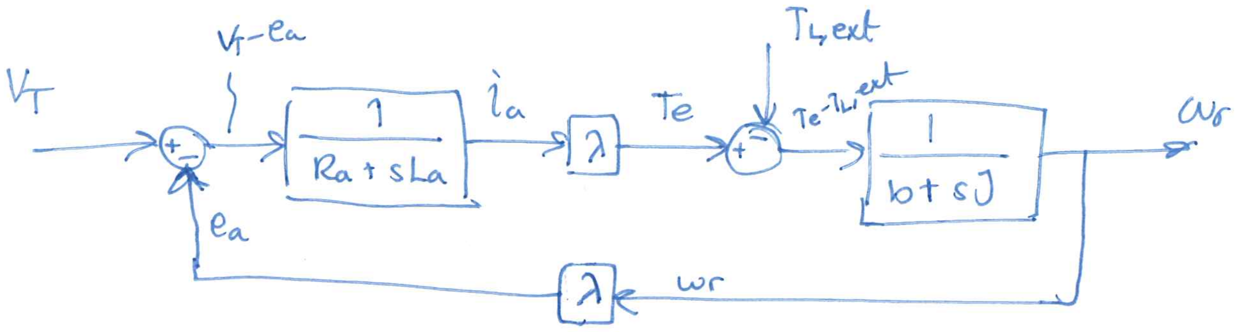
4d)





Figurerna illustrerar förloppet under en <u>direktstart</u> av likströmsmotorn

5a) Blockschema för likströmsmotor



V_T = ankarspänning
e_a = motEMK
i_a = ankarström

R_a - ankarresistans
L_a - ankarinduktans
λ - länkat flöde

T_e = utvecklat vridmoment
b = friktionskonstant
J = tröghetsmoment
ω_r = vinkelhastighet för rotorn

5b) Strömregulator: PI

$$K_p = \alpha \hat{L}_a = \frac{\ln 9}{t_r} \cdot \hat{L}_a$$

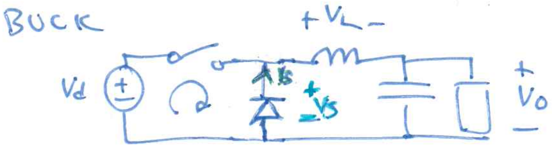
$$\alpha = \frac{\ln 9}{t_r}$$

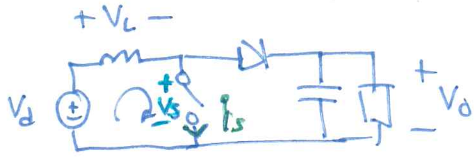
$$K_i = \alpha \hat{R}_a = \frac{\ln 9}{t_r} \cdot \hat{R}_a$$

5c) Strömregulatorns utsignal kan tolkas som en spänningsreferens för ankarspänningen.

Vid reglerad drift realiseras denna spänning med en dc-dc-omriktare

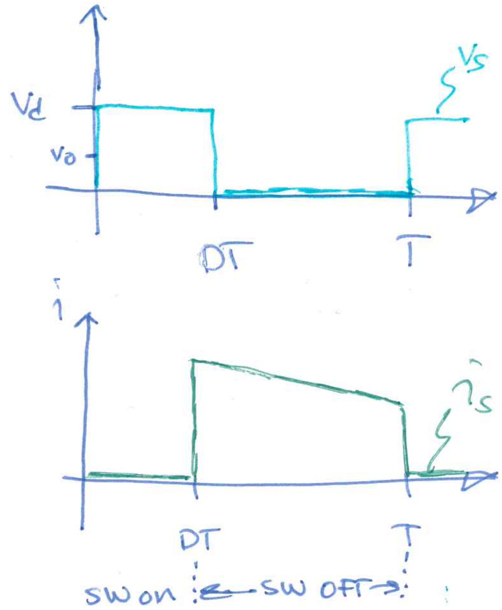
6 a)



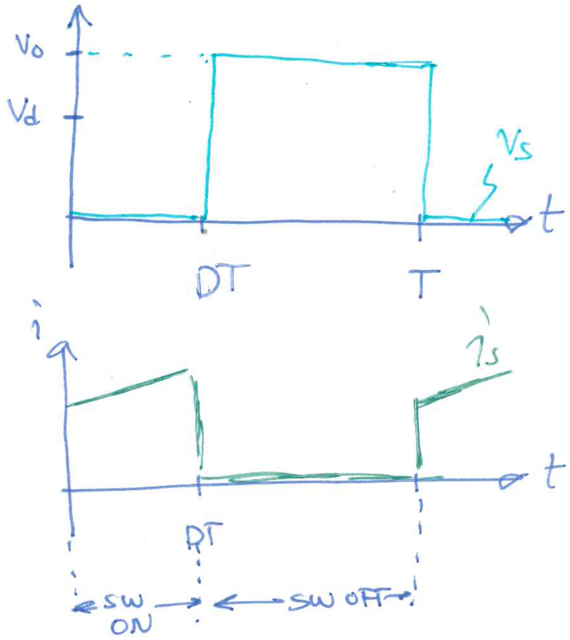


	$V_d > V_o$		$V_o > V_d$	
KVL				
SW ON	$V_s = V_d$, $i_s = 0$	L laddas upp	$V_s = 0$ switch leder (ideal)	$i = i_L$
SW OFF	$V_s = 0$ dioden (ideal) leder, $i_s = i_D = i_L$	L laddar ur	$V_s = V_o$	$i_s = 0$

BUCK



BOOST



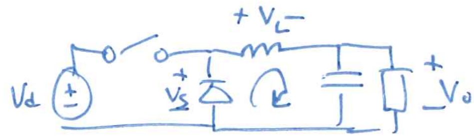
4 antaganden brukar göras: (2st av dessa räcker)

- stationär tillstånd; $x(t_0+T) = x(t_0) \Rightarrow V_{L,ave} = 0\ V$, $i_{C,ave} = 0\ A$
- stor C $\Rightarrow V_o \simeq$ konstant
- Förlustfri omriktare $\Rightarrow$ ideala komponenter, $P_{in} = P_{out}$
- CCM $\Rightarrow i_L > 0$, 2 "tillstånd"

6b) V_d: 20 – 40 V $V_0 = 12V$ $L = 200\mu H$ $f_{sw,min} = ?$

I_0: 0.5 – 8 A $C = 390\mu F$

$$V_L = L\frac{di_L}{dt} = \begin{Bmatrix}\text{ideala}\\ \text{komp.}\end{Bmatrix} = L\frac{\Delta i_L}{\Delta t} \Rightarrow \Delta i_L = \frac{V_L \cdot \Delta t}{L}$$



för sw on: $\Delta t = DT$

$V_L = V_d - V_0$

KVL: $V_s - V_L - V_0 = 0$

$V_L = V_s - V_0$

sw on: $V_s = V_d$

$\Rightarrow V_L = V_d - V_0$

$$\Rightarrow \Delta i_L = \frac{(V_d - V_0)\cdot DT}{L} = \frac{(V_d - V_0)\cdot D}{f_{sw}\cdot L}$$

för CCM $\frac{\Delta i_L}{2} < I_L = I_0$

För buck:

$V_0 = D \cdot V_d$

$\Rightarrow D = \frac{V_0}{V_d}$

$$\Rightarrow \frac{(V_d - V_0)\cdot D}{2\cdot f_{sw}\cdot L} < I_0 \Rightarrow f_{sw} > \frac{(V_d - V_0)\cdot D}{2\cdot I_0 \cdot L}$$

$$f_{sw} > \frac{(V_d - V_0)\cdot \frac{V_0}{V_d}}{2\cdot I_0\cdot L}$$

fall I $V_d = 20V$ $I_0 = 0{,}5A$

$$f_{sw} = \frac{(20-12)\cdot\frac{12}{20}}{2\cdot 0.5\cdot 200\cdot 10^{-6}} = 24\ kHz$$

fall II $V_d = 20V$ $I_0 = 8A$

$$f_{sw} = \frac{(20-12)\frac{12}{20}}{2\cdot 8\cdot 200\cdot 10^{-6}} = 1{,}5\ kHz$$

fall III $V_d = 40V$ $I_0 = 0{,}5A$

$$f_{sw} = \frac{(40-12)\frac{12}{40}}{2\cdot 0{,}5\cdot 200\cdot 10^{-6}} = 42\ kHz$$

fall IV $V_d = 40V$ $I_0 = 8A$

$$f_{sw} = \frac{(40-12)\frac{12}{40}}{2\cdot 8\cdot 200\cdot 10^{-6}} = 2.625\ kHz$$

Svar:
För att kunna uppnå CCM i samtliga driftfall bör f_{sw} vara minst 42 kHz

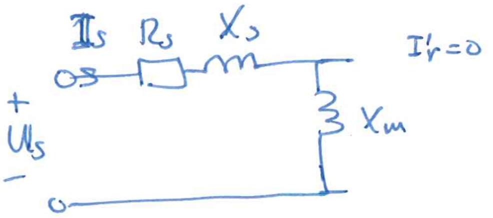
7a) Y-kopplad 8-polig AM 400V rms huvudspänning 50 Hz

$R_s = 1.3\ \Omega$ $X_s = 3\ \Omega$ $X_m = 40\ \Omega$

$R'_r = 1.2\ \Omega$ $X'_r = 3\ \Omega$

9) Tomgång $\Rightarrow$ $s = 0$

$\Rightarrow$ $I'_r = 0$
idealt



i) $n_s = \dfrac{120 \cdot f_s}{P} = \dfrac{120 \cdot 50}{8} = 750$ rpm

ii) $\boxed{\mathring{I}_s} = \dfrac{U_s}{Z_{eq}} = \dfrac{U_s}{R_s + jX_s + jX_m} = \dfrac{400/\sqrt{3}}{1{,}3 + j43} = \dfrac{230.940\ldots}{43{,}01 \angle 88{,}27^\circ} =$

$= \boxed{5{,}369\ldots \angle -88.27^\circ}$

iii) $S_s = 3 \cdot U_s \cdot \mathring{I}_s^* = 3 \cdot 400/\sqrt{3} \angle 0^\circ \cdot 5{,}369 \angle 88.27^\circ =$

$= 3719.75\ldots \angle 88.27^\circ = 112{,}3 + j\ 3718.06$ VA

$\boxed{P_s = 112}$ $\boxed{Q_s = 3718 \text{ VAr}}$

7b) Magnetfält används för att föra över energi mellan stationär/stilla del och rörlig del.

Eftersom järn leder magnetfält mycket mycket bättre än luft, använd "järn" för att minimera läckflöden ('förlust av magnetfält').

Om magnetfältet ändrar riktning i järnet under drift så kommer det uppstå eneri förluster i järnet. b.l.a inducerade strömmar (som även därför skapar värme).

Laminat är tunna järn plåtar som kan bygga upp järnet i motorn, men minska strömbanorna för de inducerade strömmarna $\Rightarrow$ högre verkningsgrad

(8) $R_s = 0.8\ \Omega$ $L_{sd} = 4\ mH$ $L_{sq} = 24\ mH$ $\lambda_m = 0.22\ Wb$

$P_m = 2.6\ kW$ $n_s = 1500\ rpm$ $U_{sm} = 130\ V$ $50\ Hz$

$I_{s,m} = 15\ A_{rms}$

a) märkström, $T_e = ?$ } ; $T_e = f(i_{sd}, i_{sq})$
$\beta_i = 100°$

$$i_{sd} = I_{s,rms} \cdot \sqrt{2} \cdot \cos \beta_i = 15 \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(100°) \doteq -3.684\ A$$

$$i_{sq} = I_{s,rms} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \beta_i = 15 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(100°) = 20.891\ A$$

$$T_e = \frac{3 \cdot n_p}{2} \left(\lambda_m \cdot i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) \cdot i_{sq}\, i_{sd} \right)$$

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{P} = \frac{120 \cdot f_s}{n_p \cdot 2} = \frac{60 \cdot f_s}{n_p} \Rightarrow n_p = \frac{60 \cdot f_s}{n_s} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2$$

$$\boxed{T_e} = \frac{3 \cdot 2}{2} \left(0.22 \cdot 20.891 + (4 - 24) \cdot 10^{-3} \cdot 20.891 \cdot (-3.684) \right) =$$

$$= \boxed{18.41\ Nm}$$

b) $T_e = 15\ Nm$ $\beta_{i1} = 120°$ $\beta_{i2} = 140°$

$$I_{mag} = -\frac{0.22}{2 \cdot (4-24) \cdot 10^{-3} \cdot \cos \beta_i} + \sqrt{\frac{2}{3 \cdot 2 (4-24) \cdot 10^{-3} \cdot \sin \beta_i \cdot \cos \beta_i} \cdot 15 + \left(\frac{0.22}{2 \cdot (-20 \cdot 10^{-3}) \cdot \cos \beta_i} \right)^2}$$

för $\beta_i = \beta_{i1} = 120°$ $\Rightarrow$ $I_{mag} = 15.43\ A$

för $\beta_i = \beta_{i2} = 140°$ $\Rightarrow$ $I_{mag} = 16.5\ A$

$P_{cu} = f(I_{mag}) = R_s \left(\frac{I_{mag}}{\sqrt{2}} \right)^2$ $\Rightarrow$ Lägst ström ger lägst P_{cu} $\Rightarrow$ β_{i1}

Svar: $\beta_{i1} = 120°$ ger lägst förlust i statorlindningen