

ELEKTROTEKNIK
MASKINKONSTRUKTION
KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2016-08-22 14:00-18:00

Du får lämna salen tidigast 1 timme efter tentamensstart.

Du får, som hjälpmedel, använda räknedosa, kursens lärobok (utan andra anteckningar än understrykningar och korta kommentarer) samt Betatabell eller liknande. Övningshäften, lab-PM, anteckningar etc är inte tillåtna.

ALTERNATIVT lärobok får ett eget formelblad användas, A4, med valfri information.

OBS! Inga lösblad får användas. Alla svar ska göras i tentamenshäftet.

Räkna först på kladdpapper och för sedan in svaret samt så mycket av resonemanget att man vid rättning kan följa Dina tankegångar.

Svar utan motivering ger poängavdrag. (Gäller ej flervals- och kryssfrågor).

Vid behov kan Du skriva på baksidan.

OBS! Skriv ditt personnummer på varje blad.

Lösningar läggs ut på kursens hemsida 18:00

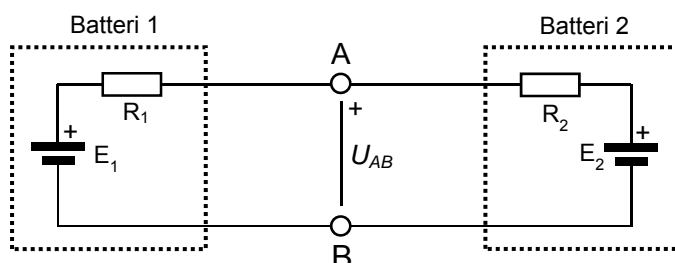
Uppgift: 1(1)

Två batterier har var för sig uppmätts med följande data:

$$E_1 = 12 \text{ V}, R_1 = 0,2 \Omega$$

$$E_2 = 14 \text{ V}, R_2 = 0,1 \Omega$$

Batterierna kopplas därefter ihop enligt bilden nedan.



- a) (0,5p) Beräkna strömmen som flyter genom kretsen och **markera** tydligt strömmens riktning i bilden ovan.

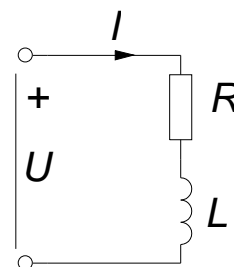
(0,5p) Beräkna spänningen U_{AB} .

Uppgift: 2(2)

En krets matas av en sinusformad växelspanning. Kretsen består av ett motstånd med resistansen $R=100 \Omega$ och en spole med okänd induktans L .

När den matas med $U = 200\text{V}$, 50Hz (sinusformad spänning) är den tillförda effekten $P = 100\text{W}$.

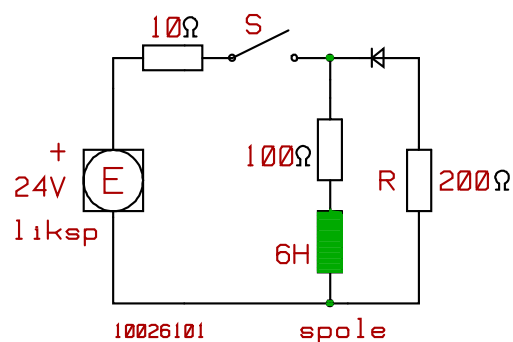
- Hur stor är den ström I som levereras till kretsen?
- Beräkna induktansens reaktans.
- Hur stor är kretsens fasvinkel?

**Uppgift: 3(2)**

Strömbrytaren S slås ifrån efter att ha stått i tillägg länge. Hur stor är strömmen i spolen 20 ms efter frånslagstidpunkten.

Betrakta dioden som ideal.

Svar:



Uppgift: 4(2)

Till en elmotordriven gokart behövs ett batteri med 36V nominell spänning. Batteriet skall byggas upp av ett stort antal små encelliga batterier med data enligt nedan.

Kapacitet:	3400 mAh
Typ:	Li-ion
Spänning:	3,6 V
Mått:	18x68 mm

Mellan elmotorn och batteriet är ett matningsdon inkopplat som omvandlar batterispänningen till den spänning som matar motorn.

När gokarten körs på plan mark med en hastighet av 40 km/h krävs det 45 N för framdriften och från batteriet dras 600W.

a) Hur många batterier behövs åtminstone och hur ska de kopplas?

b) Beräkna batteriströmmen vid farten 40 km/h.

c) Hur många batterier behövs för att kunna köra minst 80 km med farten 40 km/h innan de är urladdade till 80% dvs till SOC = 20%. Från början var de fulladdade SOC=100%.

Uppgift: 5(3)

En likströmsmotor ska driva en last med tröghetsmomentet $J_L = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$.

Lasten ska roteras 40 varv på tiden $T = 1 \text{ s}$ inklusive paus enligt varvtalsprofilen i figuren.

En permanentmagnetiserad motor med nedanstående data användas för att driva lasten.

$$J_m = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2 \quad K_2\Phi = 0,21 \text{ Nm/A} \quad R_A = 0,36 \Omega$$

a) Beräkna motorns maximala vinkelhastighet ω_{\max} .

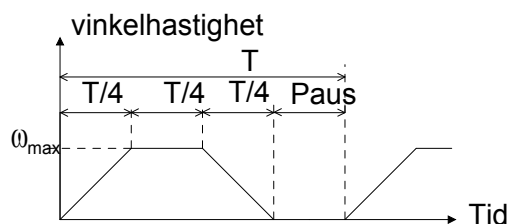
b) Beräkna det moment som krävs för att accelerera motor och last.

c) Beräkna strömmen under accelerationen.

d) Vilken är den högsta spänning som krävs av matningsdonet.

e) Beräkna den maximala effekt som matningsdonet levererar.

f) Beräkna den maximala effekt som matningsdonet tar emot.



Uppgift: 6(2)

En trefasledning (kabel) matar följande symmetriska trefaslaster:

- en industrianläggning med förbrukningen 50 kW och $\cos\phi = 0,8$ ind
- ett kondensatorbatteri. Till kondensatorbatteriet flyter 22A (linjeström).

Matningsspänningen är 400 V.

- a) Beräkna reaktiva strömkomponenten av strömmen i kabeln.
- b) Hur stor är strömmen i kabeln?
- c) Anläggningen matas av en 100 m lång kabel med ledararean 16 mm² (kopparledare). Spänningen är 400 V invid lasten. Hur stora är kabelförlusterna? (OBS! trefaskabel)

Kopparns resistivitet är 0,017 Ω mm²/m.

- d) Kondensatorbatteriets funktion är att faskompensera. Är det möjligt att reducera strömmen ytterligare genom att öka eller minska kondensatorbatteriets storlek (dess reaktiva effekt)? Hur stor blir strömmens minsta värde?

Uppgift: 7(2)

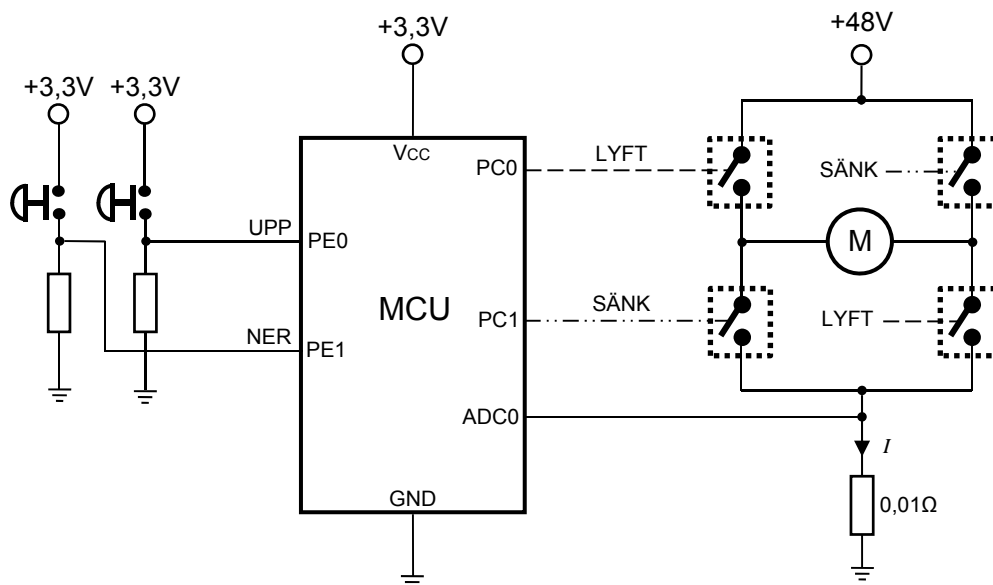
I en liten lyftkran rullas lyftvajern ut eller in med en elmotor, som matas via en enkel H-brygga (schematiskt ritad nedan), som i sin tur styrs av en mikrokontroller.

Håller man NER-knappen intryckt matas vajern ut – UPP-knappen kör motorn åt motsatt håll och vajern rullas in.

Om lasten blir för tung **vid lyft** ska motorn stoppas.

Överlast känns av genom att strömmen genom motorn mäts – blir den mer än 100A stoppas motorn.

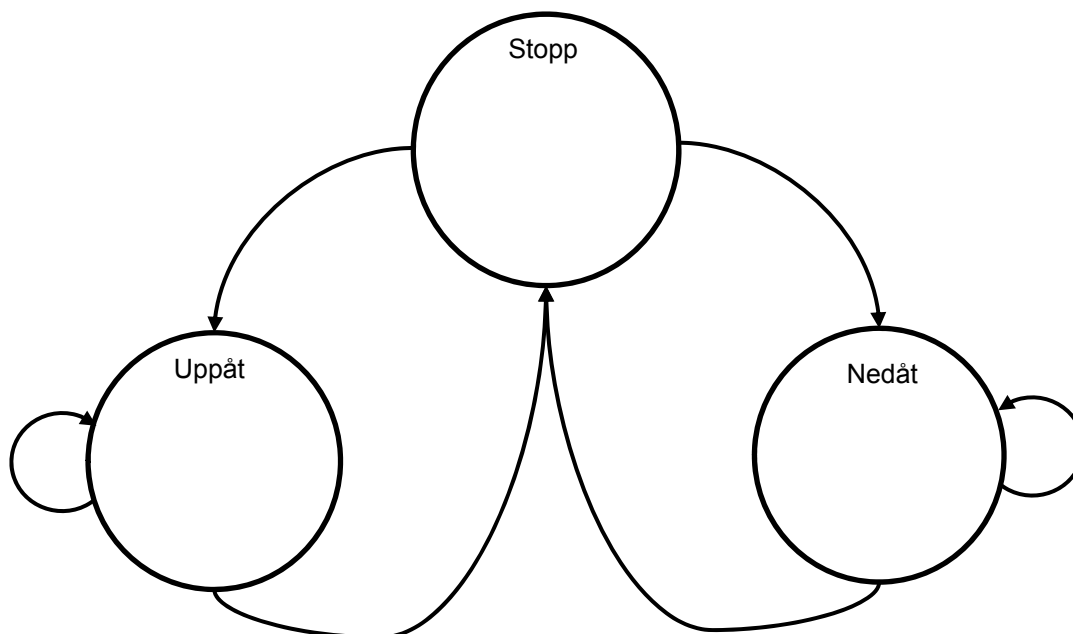
Motorströmmen flyter genom ett motstånd $R = 0,01\Omega$, så att man får en mätspänning, som mikrokontrollers AD-omvandlare kan avläsa.



a)(0,5p) Antag att AD-omvandlaren använder 10 bitar och har en referensspänning på 3,3 V. Vad blir heltalsvärdet av den AD-omvandlade mätspänningen vid motorströmmen $I=100$ A?

b) (1,5p) Mikrokontrollerns program styr kranmotorn med signalerna LYFT och SÄNK. Då motorströmmen blir ≥ 100 A sätts signalen ÖVERLAST till 1, i programmet.

Nedan finns början till ett tillståndsdigram över kranstyrningsprogrammet. Komplettera diagrammet med signalerna UPP, NER, LYFT, SÄNK och ÖVERLAST, och deras respektive värden vid olika tillstånd, så att man får önskad funktion.



Uppgift: 8(2)

Data för en likströmsmotor

Measuring voltage	V	12
No-load speed	rpm	9100
Stall torque	mNm	8,3
Max. continuous current	A	0,37
Max. recommended speed	rpm	12000
Max. continuous output power	W	2,8
Back-EMF constant	V/1000rpm	1,30
Terminal resistance, R_A	ohm	18
Torque constant	mNm/A	12,4
Rotor inertia	$\text{kgm}^2 \cdot 10^{-7}$	1,9
Thermal time constant, rotor	s	7
Thermal time constant, stator	s	480
Thermal resistance rotor-body	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	5
Thermal resistance Body-ambient	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	30
Max. permissible coil temperature	$^{\circ}\text{C}$	100

Motorn belastas så att strömmen blir 0,37A kontinuerligt (= Max. continuous current).

- Beräkna axelmomentet.
- Beräkna förlusteffekten som utvecklas i motorlindningen.
- Beräkna lindningens temperaturskillnad mot omgivningen (övertemperaturen).

Motorn har ej extra kylning med fläkt, kylplåt eller dylikt.

- Är det lämpligt att köra motorn med omgivningstemperaturen 40°C ?

Motorn har ej extra kylning med fläkt, kylplåt eller dylikt.

Uppgift: 9(2)

En 6 polig PM- synkronmotor driver en mekanisk last. Vid ett visst konstant varvtal uppmäts $U_H = 330\text{ V}$ och strömmen till 4A som i figuren.

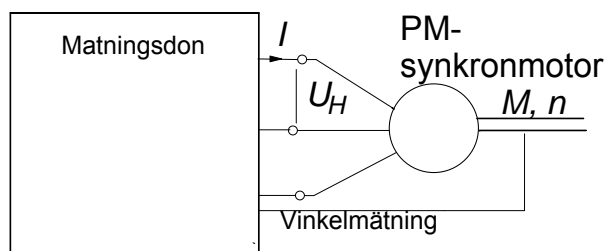
Vi har följande data för motorn:

Winding resistance Phase-Phase $3,9\ \Omega$

Winding inductance Phase-Phase 24 mH

Torque constant $K_{T_{\text{rms}}} = 1,85\ \text{Nm}/\text{A}$

Voltage constant $K_{E_{\text{rms}}} = 112\ \text{mV}/\text{min}$



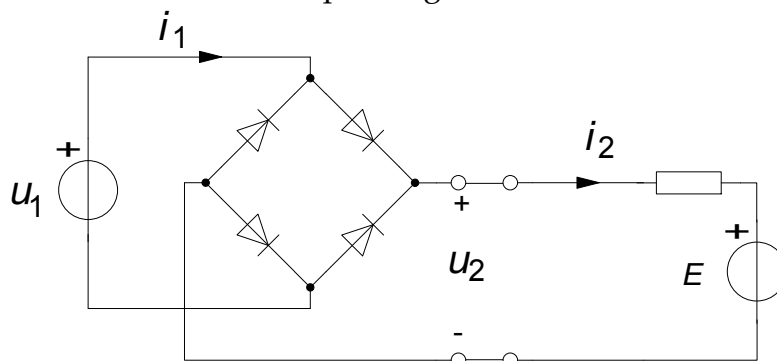
- Beräkna axelmomentet

- b) Beräkna förlusterna i lindningen. Varför ökar dessa då lindningen blir varmare?
 c) Varvtalet uppmättes till 2000 varv/ minut. Beräkna spänningsbehovet och jämför med den uppmätta spänningen. (OBS! Spänningarna behöver inte bli lika, till exempel kan någon eller båda mätningarna vara felaktig)

Uppgift: 10(2)

Till en likriktarbrygga är ett batteri anslutet. Batteriets EMK (tomgångsspänning) E är 24 V och dess inre resistans är $0,2 \Omega$. U_1 är en växelspänning med effektivvärdet 24 V.

- a) Vid en tidpunkt är momentanvärdet $u_1 = 20$ V. Beräkna, vid detta tillfälle, momentanvärdena av i_1 och i_2 .



- b) Vid ett annat tillfälle är momentanvärdet $u_1 = -28$ V. Beräkna nu momentanvärdena av i_1 och i_2 .

SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK MF1016 2016-08-22

Uppgift: 1(1)

Om vi antar att strömmen I flyter medurs fås nedanstående ekvation med Kirchhoffs spänningslag och Ohms lag.

$$a) E_1 - R_1 \cdot I - R_2 \cdot I - E_2 = 0 \rightarrow I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{12 - 14}{0,2 + 0,1} = -6,67 \text{ A}$$

Minustecknet innebär att strömmen flyter moturs i kretsen (- tecken innebär att strömmen flyter mot strömpilens riktning.

$$b) E_1 - R_1 \cdot I - U_{AB} = 0 \rightarrow U_{AB} = E_1 - R_1 \cdot I = 12 - 0,2 \cdot (-6,67) = 13,3 \text{ V}$$

alt.

$$U_{AB} - R_2 \cdot I - E_2 = 0 \rightarrow U_{AB} = R_2 \cdot I + E_2 = 0,1 \cdot (-6,67) + 14 = 13,3 \text{ V}$$

Uppgift: 2(2)

$$a) P = RI^2 \Rightarrow 100 = 100 \cdot I^2 \Rightarrow I = 1 \text{ A}$$

$$b) U_L = \sqrt{U^2 - U_R^2} = \sqrt{200^2 - 100^2} = 173 \text{ V}$$

$$U_L = I \cdot \omega L \Rightarrow 173 = 1 \cdot \Rightarrow X_L = \omega L = 173 \Omega$$

$$c) \cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{100}{200} \Rightarrow \varphi = 60^\circ$$

Uppgift: 3(2)

När S står i frånläge är kretsens tidkonstant $\tau = \frac{L}{R} = \frac{6}{300} = 0,02$

Spolströmmen är före frånslaget $I_{s0} = \frac{24}{110} = 0,218 \text{ A} = 218 \text{ mA}$

Efter frånslaget gäller $I_s = I_{s0} e^{-\frac{t}{0,02}}$

Efter 20 ms, dvs vid $t = \tau$ gäller, $I_s = 218 e^{-1} = 218 \frac{1}{e} = 80 \text{ mA}$

Uppgift: 4(2)

- a) $36\text{V}/3,6\text{V} = 10$. 10 st seriekopplade.
- b) $I = 600\text{W}/36\text{V} = 17\text{A}$ (50/3)
- c) 80 km med 40 km/h tar 2 h.

Laddningen i varje battericell är 3,4 Ah och 80% får användas dvs 2,72 Ah vilket motsvarar 1,36 A i 2 h. För att kunna ge 17 A behöver vi parallellkoppla $17\text{A}/1,36\text{A} = 12,25$ batterier. Ett helt antal batterier behövs såklart, så för att klara gränsen väljer vi 13 st batterier som parallellkopplas med vardera 10 battericeller i varje gren som totalt ger $13 \cdot 10 = 130$ battericeller.

Uppgift: 5(3)

a) Sträckan $2\pi \cdot 40 = \frac{\omega_{\max}}{2} \cdot 0,25 + \omega_{\max} \cdot 0,25 + \frac{\omega_{\max}}{2} \cdot 0,25 \Rightarrow \omega_{\max} = 2\pi \cdot 80 \text{ rad / s}$

b) acceleration $\frac{d\omega}{dt} = \frac{2\pi \cdot 80}{0,25} = 2011 \text{ rad / s}^2$

accelerationsmoment $M = J \frac{d\omega}{dt} = (1,5 + 2) \cdot 10^{-3} \cdot 2011 = 7 \text{ Nm}$

c) $I_A = M / K_2 \Phi = 7 / 0,21 = 34 \text{ A}$

d) I slutet av accelerationen är både ω och M (I_A) störst och därför även

$$U_A = R_A I_A + E = R_A I_A + K_2 \Phi \cdot \omega = 0,36 \cdot 34 + 0,21 \cdot 2\pi \cdot 80 = 12 + 105,6 = 118 \text{ V}$$

e) I slutet av accelerationen är både U_A och I_A störst och därför även

$$P = U_A I_A = 118 \cdot 34 \text{ W} = 4 \text{ kW.}$$

f) Vid retardationen är M och även I_A negativa men lika stora som vid accelerationen. ω och E är dock positiva.

$$U_A = R_A I_A + E = R_A I_A + K_2 \Phi \cdot \omega = -12 + 106,6 = 93 \text{ V}$$

$$P = 93 \cdot -34 \text{ W} = -3 \text{ kW} \text{ dvs matningsdonet levererar } -3 \text{ kW} \text{ eller tar emot } 3 \text{ kW.}$$

Uppgift: 6(2)

a)

Last	Effekt	Karaktär	Cosφ	Sinφ	Ström I [A]	I_P [A]	I_Q [A]
Anläggning	50000	ind	0,8	0,6	$\frac{50000}{400\sqrt{3} \cdot 0,8} = 90$	72	54
Konden- satorbatteri		kap	0	-1		0	-22
Totalt						72	32

Den reaktiva strömkomponenten blir 32A.

b) Den totala strömmen blir således $I_{TOT} = \sqrt{72^2 + 32^2} = 79 \text{ A}$

b) Kabelresistansen är $\frac{100 \cdot 0,017}{16} = 0,11 \Omega/\text{fas}$

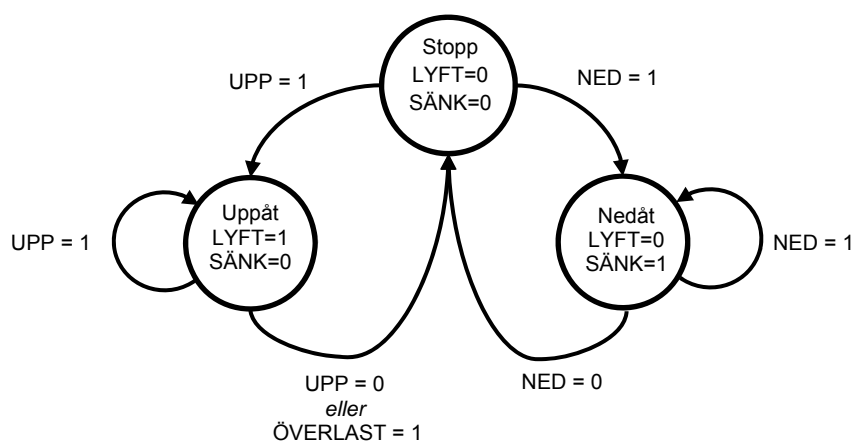
$$P_F = 3 \cdot 0,11 \cdot 79^2 = 1990 \text{ W}$$

c) Minsta möjliga ström $I_{TOT} = I_{PTOT} = 72 \text{ A}$

Uppgift: 7(2)

a) $x = \frac{R \cdot I}{V_{REF}} \cdot (2^N - 1) = \frac{0,01 \cdot 100}{3,3} \cdot (2^{10} - 1) = 310$

b)

**Uppgift: 8(2)**

a) $M = 12,4 \cdot 0,37 \text{ mNm} = 4,6 \text{ mNm}$

b) $P_f = R_A \cdot I_A^2 = 18 \cdot 0,37^2 \text{ W} = 2,46 \text{ W}$

c) Temperaturstegringen blir $(5 + 30) \cdot P_f / W = 35 \cdot 2,46 / W = 86^\circ \text{ C}$

d) Vid 40° C blir lindningens temperatur $40 + 86^\circ \text{ C} = 126^\circ \text{ C}$. Maximalt tillåten lindningstemperatur är 100° C . Svaret blir därför nej. (Visserligen går det kortvarigt)

Uppgift: 9(2)

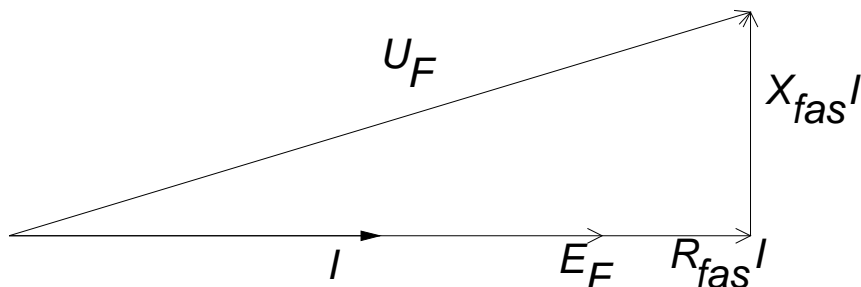
a) $M = 1,85 \cdot 4 = 7,4 Nm$

b) $R_{fas} = 3,9/2 = 1,95 \Omega$

$$P_f = 3 \cdot R_{fas} \cdot I^2 = 3 \cdot 1,95 \cdot 4^2 = 94 W$$

Resistansen ökar med ökande temperatur.

c) Vi använder oss av nedanstående visardiagram:



$$R_{fas} \cdot I = \frac{3,9 \Omega}{2} \cdot 4 A = 7,8 V$$

$$\omega_{el} = \frac{6}{2} \cdot \omega_{mek} = \frac{6}{2} \cdot 2\pi \cdot 2000 / 60 = 628 rad / s$$

$$X_{fas} \cdot I = 628 rad / s \cdot \frac{24 \cdot 10^{-3} H}{2} \cdot 4 A = 30,2 V$$

$$E_H = 112 \cdot 10^{-3} V \cdot \min \cdot 2000 \min^{-1} = 224 V \Rightarrow E_F = E_H / \sqrt{3} = 129 V$$

$$U_F = \sqrt{(129 + 7,8)^2 + 30,2^2} = 140 V \Rightarrow U_H = \sqrt{3} \cdot 140 V = 243 V$$

Stämmer ej med mätningen av spänningen 330V.

Uppgift: 10(2)

a) Dioderna spärrar. $i_2 = 0 A$, $i_1 = 0 A$

b) Dioderna bidrar med vardera 0,7V i spänningsfall. Två dioder leder, nedre högra

och övre vänstra. $i_2 = \frac{28 - 0,7 - 0,7 - 24}{0,2} = 13 A$, i_2 är positiv och kan inte vare negativ,

de båda högra dioderna spärrar. I detta fall är i_1 negativ $i_1 = -i_2 = -13 A$.