

1(2) Ett laddningsbart NiMH-batteri matar en last. Batteriet är märkt 1,2V, 2050 mAh. Batteriet har tomgångsspänningen 1,32V och inre resistansen 0,14Ω.

a) Vi vill utföra mätningar på batteriet och belastar det med strömmen $1C=2,05$ A (1C är den konstanta ström som laddar ur batteriet på en timme). Beräkna resistansen på det motstånd som ger strömmen 1C då det ansluts till batteriets poler.

b) Hur stor effekt måste motståndet i ovanstående koppling tåla?

c) För att inte behöva byta och ladda om batterier så ofta, används två batterier istället för ett. Rita ett schema där två batterier matar resistansen istället för ett.

d) Beräkna spänningen över motståndet då det matas av två batterier enligt c).

2(2)

$$U=230 \text{ V}$$

$$f=50 \text{ Hz}$$

$$R_2=46\Omega$$

$$R_1=32,5\Omega$$

$$\omega L = R_1$$

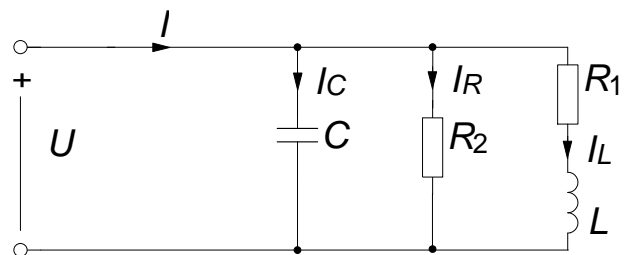
$$C=69\mu\text{F}$$

a) Beräkna I_R .

b) Beräkna I_C .

c) Beräkna I_L .

d) Beräkna I .



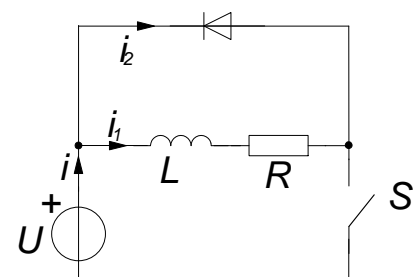
3(2)

I Kretsen bredvid är $L = 1,2\text{H}$, $R = 1200\Omega$ och $U = 24\text{V}$

Fram till tidpunkten $t=0$ har S stått i fränläge under lång tid. Kontakten S sluts vid $t=0$.

a) Beräkna i_1, i_2 och i vid $t = 1$ ms.

b) Kontakten S bryts vid $t = 10$ ms. Beräkna i_1, i_2 och i vid $t = 11$ ms.



4(1)

En fyrkantvåg växlar mellan +20 V och -5 V. Signalens periodtid är 1 ms. Signalen mäts med ett vridspoleinstrument som visar 10 V.

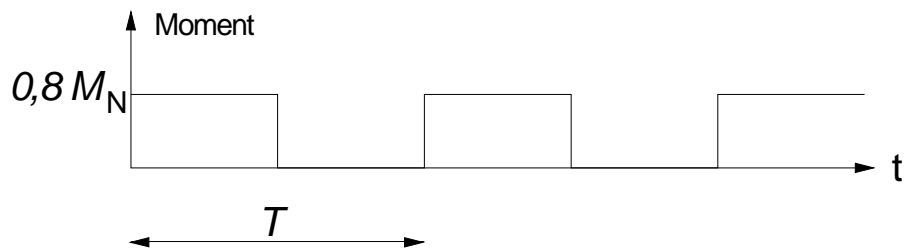
a) Under hur lång tid är signalen positiv i varje period.

b) Beräkna signalens effektivvärde.

5(2)

En PM-likströmsmotor har termiska tidkonstanten 10 minuter. Vid märklast uppnås lindningstemperaturen $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ vid omgivningstemperaturen $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

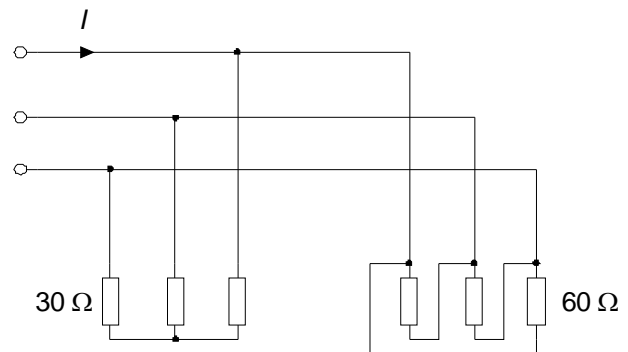
- Beräkna lindningstemperaturen om motorn belastas 80% av märkmomentet. Omgivningstemperaturen är $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Beräkna lindningstemperaturen om motorn belastas med ett periodiskt intermitterent moment enligt nedan. Periodtiden är $T = 1\text{ s}$ och toppvärdet på momentet är 80% av märkmoment. Omgivningstemperaturen är $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.



6(2)

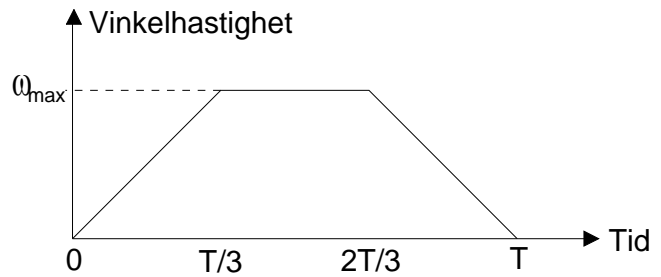
Nätet matas från en symmetrisk trefaskälla med huvudspänningen 400 V .

- Beräkna grenströmmen i D-kopplingen.
- Beräkna linjeströmmen till D-kopplingen.
- Beräkna I .
- Beräkna den (totala) tillförda effekten.



7(2)

En permanentmagnetiserad likströmsmaskin skall driva ett svänghjul med tröghetsmomentet $1,5 \text{ kgm}^2$. Maskinen är matad från ett matningsdon med märkspänningen 200 V med en strömgräns inställd på 35 A . Maskinen skall rotera 100 varv på tiden T med en varvtalsprofil som i figuren. Motorn har bl a följande data:



Momentkonstant $0,54 \text{ Nm/A}$

Spänningskonstant $56,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{varv / minut}}$

R_A $0,181 \Omega$

tröghetsmoment $1,1 \text{ kgm}^2$

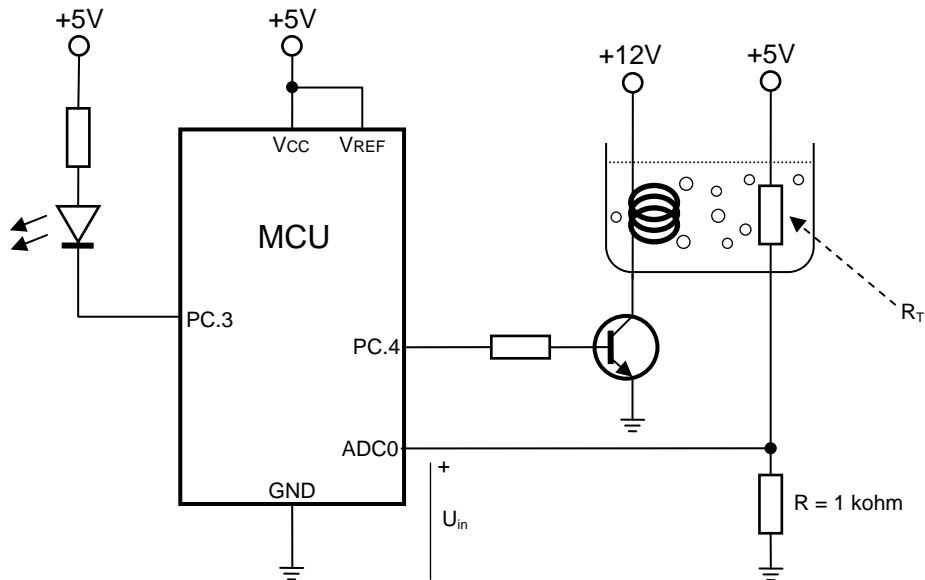
Märkström $26,3 \text{ A}$

- Beräkna det maximala moment som utrustningen kan leverera.
- Beräkna maximal vinkelacceleration.
- Beräkna kortast möjliga T .

8(2)

Osquar har byggt en apparat som ska hålla en vätska upphettad till $78\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En doppvärmare hettar upp vätskan och en termistor nedsänkt i densamma mäter temperaturen.



Resistansen hos termistorn R_T (NTC-motstånd) har uppmätts till 377 ohm vid $78\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- a) Beräkna spänningen U_{in} då temperatur är $78\text{ }^{\circ}\text{C}$. (AD-omvandlarens ingång ADC0 kan antas vara mycket högohmig.)

Mikrokontrollerns AD-omvandlare arbetar med 10 bitar och referensspänningen 5 V .

- b) Beräkna AD-omvandlarens numeriska utvärde (heltal) som motsvarar värdet på U_{in} som beräknades i a).

För enkelhets skull slås doppvärmaren till och från (så kallad *bang-bang-reglering*), beroende på temperaturen T , på följande sätt:

$$\begin{aligned} T < 78\text{ }^{\circ}\text{C} & \Rightarrow \text{värmare till} \\ T > 78\text{ }^{\circ}\text{C} & \Rightarrow \text{värmare från} \end{aligned}$$

- c) Skriv in C-kod nedan som styr doppvärmaren som en funktion av temperaturen. Portpinnen PC.4 har tidigare definierats som utgång, så det behöver du inte göra. (Tips: Det behövs inte fler än fem programrader för detta.)

```
int main(void)
{

int x;

init_met();

while (1)
{
}
```

- d) För säkerhets skull vill man lägga till programkod så att en lysdiod ska tändas och upphettningen avbrytas om termistorn går sönder (ger avbrott). Lysdioden är kopplad till mikrokontrollerns pinne PC.3. Skriv programtillägget som gör detta. Portpinnen har tidigare definierats som utgång, så det behöver du inte göra.

9(2) En PM synkronmotor 6SM107S-300 har bland annat följande data:

Rated current = 16 A

Peak current = 85 A

Torque constant $K_{T_{rms}} = 1,6 \text{ Nm/A}$

Voltage constant $K_{E_{rms}} = 97 \text{ mVmin}$

Winding resistance Phase-Phase $R_{20} = 0,37 \Omega$

Winding inductance Phase-Phase $L = 3,6 \text{ mH}$

Motor pole number 6

Rotor moment of inertia $J = 104 \text{ kgcm}^2$

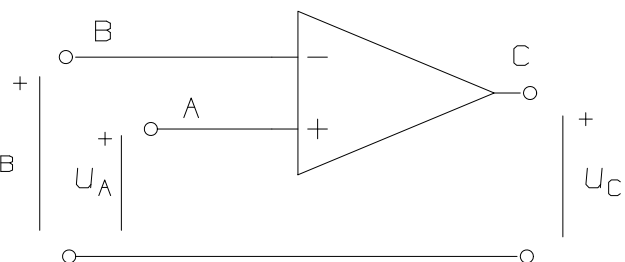
Thermal time constant = $\tau_{TH} = 40 \text{ min}$

Weight $G=32,5 \text{ kg}$

- Beräkna mekaniska effekten då maskinen arbetar med märkström och varvtalet 3000 varv/minut. Maskinen går i motordrift.
- Beräkna klämspänningen (=huvudspänning) som behövs vid arbetspunkten i a).
- Uppskatta maskinens verkningsgrad vid drift enligt a).
- Plötsligt börjar maskinen bromsas med samma moment som i a). Beräkna klämspänningen.

10(1)

En OP-förstärkare har $U_M = \pm 15 \text{ V}$ och $U_{CN} = \pm 10 \text{ V}$ samt $F_0 > 10^5$. Hur stor blir U_C för de inspänningskombinationer U_A , U_B , U_B , som anges i tabellen nedan? Svara genom att fylla i tabellen.



U_A	U_B	U_C
-0,1 V	0 V	
+0,1 V	-0,2 V	

+0,1 V	+0,2 V	
--------	--------	--

11(2)

Vid inbromsning av en hybridbil skall rörelseenergin tas tillvara och lagras i en kondensator (ultracap). Bilens vikt är 2000 kg. Den valda kondensatorn har bland annat följande data:

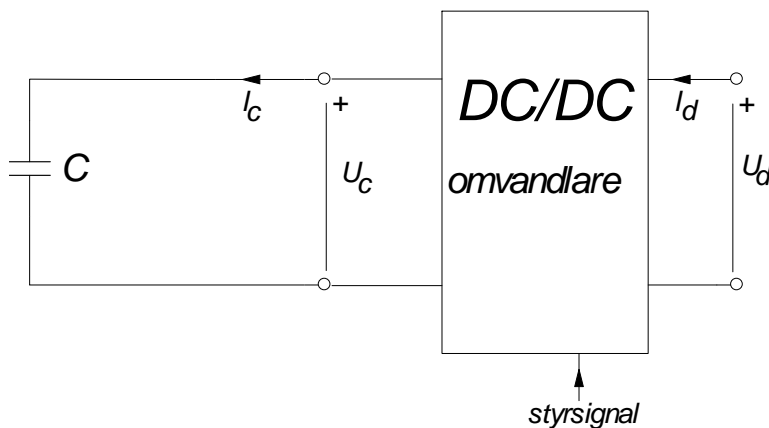
Kapacitans 63 F.

Rated voltage (märkspänning): 125 V.

Maximum continuous current (märkström vid gällande kylförhållanden): 240 A.

Vikt 60 kg.

Bilen har ett likströmsnät med spänningen $U_d = 125$ V. Till detta är bland annat en växeriktare med elmotor ansluten samt en kondensator som matas via en DC/DC omvandlare som i figuren nedan.



Antag att bromseffekt förlustfritt kan överföras till kondensatorn. Kondensatorspänningen skall vara 50% av märkspänningen då bromsförloppet påbörjas och när märkspänningen uppnås skall lagringen av energi i kondensatorn avbrytas.

- Beräkna den tid det tar att ladda kondensatorn med konstant ström lika med märkström från 50% till 100% av märkspänning.
- Beräkna effekten till kondensatorn i början och i slutet av laddförloppet vid laddning enligt a).
- Beräkna den energimängd som lagras i kondensatorn under laddning enligt a).
- Antag att kondensatorns lagrade energi förlustfritt kan överföras till att accelerera bilen. Beräkna bilens hastighet då kondensatorn laddats ur från märkspänning till halv märkspänning.

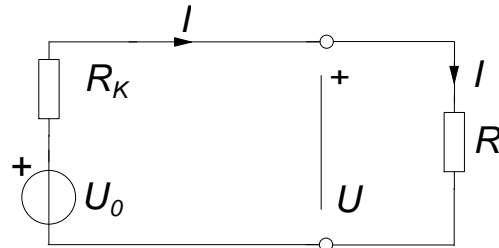
SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK

Elektroteknik MF1016

2012-01-28

1(2) a)

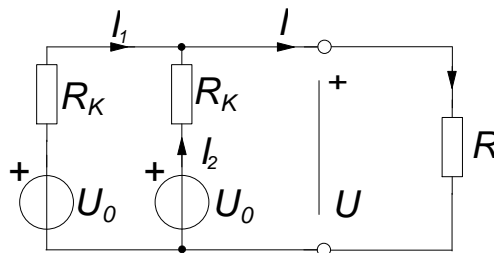
$$R_K = 0,14\Omega \quad U_0 = 1,32V \quad I = 2,05A \\ R = ?$$



Enligt Kirchhoffs spänningslag kan man skriva : $U_0 - I \cdot R_K - I \cdot R = 0 \Rightarrow$
 $1,32 - 2,05 \cdot 0,14 - 2,05 \cdot R = 0 \Rightarrow R \approx 0,50\Omega$

b) $P = R \cdot I^2 = 0,5 \cdot 2,05^2 \approx 2,12W$

c)



d) Enligt Kirchhoffs spänningslag kan man skriva ekvation (1). Då det blir samma spänning över de båda inre resistanserna så blir $I_1 = I_2$. Vidare enligt Kirchhoffs strömlag kan man skriva ekvation (2).

$$(1) 1,32 - I_1 \cdot 0,14 - I \cdot 0,5 = 0$$

$$(2) I_1 + I_2 = 2I_1 = I$$

$$I_1 = I_2 = 1,16A \quad \text{och} \quad I = 2 \cdot I_1 = 2 \cdot 1,16 = 2,32A \quad \text{och} \quad U = R \cdot I = 0,5 \cdot 2,32V = 1,16V$$

2(2) a) \underline{U} och \underline{I}_R ligger i fas och får bli riktfas $\arg(\underline{U}) = 0$

$$U = R_2 \cdot I_R \Rightarrow I_R = \frac{U}{R_2} = \frac{230}{46} = 5A$$

$$b) \underline{U} = \frac{1}{j\omega C} \cdot \underline{I}_C \Rightarrow U = \frac{1}{\omega C} \cdot I_C \Rightarrow I_C = U \cdot \omega C = 230 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 69 \cdot 10^{-6} \approx 5A$$

$$\arg(\underline{I}_C) = \arg(\underline{U}) + \arg(j\omega C) = 90^\circ = 0 + 90^\circ$$

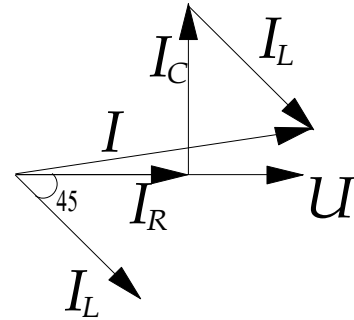
$$c) \underline{U} = \underline{Z} \cdot \underline{I}_L \quad \Rightarrow \quad \underline{U} = (R_1 + j\omega L) \cdot \underline{I}_L \quad \Rightarrow \quad I_L = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L)^2}} \quad \Rightarrow$$

$$I_L = \frac{230}{\sqrt{32,5^2 + (32,5)^2}} \approx 5A$$

$$\arg(\underline{I}_L) = \arg(\underline{U}) - \arg(R_1 + j\omega L) = -45^\circ$$

$$d) \underline{I} = \underline{I}_C + \underline{I}_R + \underline{I}_L$$

$$I = \sqrt{(I_C - I_L \cdot \sin 45^\circ)^2 + (I_R + I_L \cdot \cos 45^\circ)^2}$$



$$I = \sqrt{(5 - 5 \cdot \sin 45^\circ)^2 + (5 + 5 \cdot \cos 45^\circ)^2} = \sqrt{1,46^2 + 8,54^2} = \sqrt{2,14 + 72,86} = \sqrt{75} \approx 8,66A$$

- 3(2) a) Från början är alla strömmar noll då kontakten varit bruten. Efter tillslag vid tiden 0 spärrar dioden så att $i_2 = 0$ och strömmen i_1 börjar växa upp från begynnelsevärdet noll ($i_{10}=0$) genom den strömtröga induktansen. $U = L \frac{di_1}{dt} + R \cdot i_1$ och efter lång tid har vi likström så att $U = L \cdot 0 + R \cdot i_{1\infty} \Rightarrow i_{1\infty} = 0,02A = 20mA$.

Tidkonstanten är $\tau = L/R = 1ms$.

$$i_1 = i_{1\infty} - (i_{1\infty} - i_{10}) \cdot e^{-t/\tau} \Rightarrow i_1(1ms) = 12,6mA \text{ med insatta värden från ovan.}$$

$$i = i_1 + i_2 = 12,6 + 0 = 12,6mA$$

- b) Efter 10 ms har nått sitt slutvärde 20 mA. När S bryts igen blir $i = 0$ men i_1 ändras ej språngvis så begynnelsevärdet är $i_{10} = 20mA$.

$i = i_1 + i_2 = 0 \Rightarrow i_2 = -i_1$ Efter lång tid blir $i_1 = 0$ dvs $i_{1\infty} = 0$. Vid $t = 11ms$ har brytförloppet pågått i $t_2 = 1ms$.

$$i_1 = i_{1\infty} - (i_{1\infty} - i_{10}) \cdot e^{-t_2/\tau} \Rightarrow i_1(1ms) = 7,4mA \text{ och } i_2 = -7,4mA.$$

- 4(1) a) Vridspoleinstrumentet mäter och visar medelvärdet. Positiva perioden varar tiden x och den är mindre än den totala periodtiden T .

$$10 = [x \cdot 20V + (T - x) \cdot (-5)]/T \text{ ger } x = 0,6 \text{ } T = 0,6 \text{ ms}$$

$$b) \text{ Effektivvärdet blir } \sqrt{\frac{0,6 \cdot 20^2 + 0,4 \cdot 5^2}{1}} = 16V$$

5(2)

a) Övertemperaturen i märkdrift blir $\vartheta_{\dot{O}N} = 140^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = 100^\circ\text{C}$

Förlusterna i märkdrift är $P_{fN} = R_A I_N^2$

Motorns termiska resistans blir: $\vartheta_{\dot{O}N} = R_{th} \cdot P_{fN} \Rightarrow R_{th} = \frac{\vartheta_{\dot{O}N}}{R_A I_N^2}$

Då momentet är 80% av märkmoment är även strömmen 80% av märkström. Förlusterna blir $P_{80\%} = R_A (0,8 \cdot I_N)^2 = 0,64 \cdot P_{fN}$ övertemperaturen blir: $\vartheta_{\dot{O}\infty} = R_{th} \cdot 0,64 \cdot P_{fN} = 0,64 \cdot \vartheta_{\dot{O}N} = 64^\circ\text{C}$ och om vi adderar omgivningstemperaturen så får vi lindningstemperaturen $64^\circ\text{C} + 60^\circ\text{C} = 124^\circ\text{C}$

b) Eftersom den termiska tidkonstanten är mycket större än periodtiden så hinner inte motorns lindningstemperatur ändras, den har "medeltemperatur" hela tiden. Medeltemperaturen bestäms av medelförlusteffekten termiska resistansen och av omgivningstemperaturen. Medelförlusteffekten är $P_{fmedel} = \frac{0 + P_{80\%}}{2} = 0,32 \cdot P_{fN}$ (halva tiden är förlusterna noll och halva tiden är förlusterna $P_{80\%}$).

$\vartheta_{\dot{O}\infty} = R_{th} \cdot 0,32 \cdot P_{fN} = 0,32 \cdot \vartheta_{\dot{O}N} = 32^\circ\text{C}$ och lindningstemperaturen blir: $32^\circ\text{C} + 60^\circ\text{C} = 92^\circ\text{C}$

6(2)

a) $I_G = 400/60 = 6,7\text{A}$ b) $I_{ld} = \sqrt{3} \cdot 6,7\text{A} = 11,5\text{A}$ c) $I_y = 400/(\sqrt{3} \cdot 30) = 7,7\text{A}$
 $I = 7,7\text{A} + 11,5\text{A} = 19,2\text{A}$ d) $P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 19,2\text{W} = 13,3\text{kW}$

7(2) a) Störst tillgängliga moment blir $M_{\max} = 0,54 \cdot 35 = 18,9\text{ Nm}$ Matningsdonets strömgräns inställt på 35 A.

b) $M = J \frac{d\omega}{dt}$ ger $\frac{d\omega}{dt}_{\max} = \frac{18,9}{1,5 + 1,1} = 7,3 [\text{rad}/\text{s}^2]$

c) Topphastigheten blir $\omega_{\max} = \frac{T}{3} \cdot 7,3$

Sträckan eller antalet radianer blir

$2\pi \cdot 100 = \left(\frac{T}{3} \frac{T}{3} \cdot 7,3 + \frac{T}{3} \frac{T}{2 \cdot 3} \cdot 7,3 + \frac{T}{3} \frac{T}{2 \cdot 3} \cdot 7,3 \right) \Rightarrow T = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 100 \text{ rad}}{(7,3 \cdot 2/9) \text{ rad/s}^2}} = 19,7\text{ s}$ Kontroll av

att spänningen räcker till

$n_{\max} = \frac{19,7}{3} \cdot 7,3 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} \text{ varv / minut} = 458 \text{ varv / minut}$

$U_A = 0,181 \Omega \cdot 35\text{ A} + 56,8 \cdot 10^{-3} \cdot 458\text{ V} = 32\text{ V} < 200\text{ V}$ OK! spänningen räcker till

8(2)

a)

$U_{in} = U \frac{R}{R + R_T} \Rightarrow U_{in} = 5 \cdot \frac{1000}{1000 + 377} = 3,63\text{ IV}$

b)

$$x = \frac{U_{in}}{V_{REF}} \cdot (2^n - 1) \Rightarrow x = \frac{3,631}{5} \cdot (2^{10} - 1) = 742,9 = \underline{743}$$

c)

```
int main(void)
{

int x;

init_met();

while (1)
{
    x = GET_AD(0);

    if (x < 743)                // Uin<3,631 V
        SET_BIT(pc, 4);
    else                        // Uin>3,631 V
        CLR_BIT(pc, 4);
}
}
```

Kommentar: 743 motsvarar 3,631 V. 744 motsvara 3,636 och 742 motsvarar 3,626 V. Bara 5 mV (en bit) brusnivå gör att värmelementet kopplas in och ur. Det kan var lämpligt att testa att ha olika påslags och frånslagsnivåer, sk hysteres. Det gör att temperaturen kanske inte kan hållas så noga som vi önskar.

d) if (x < 10)

```
{
    CLR_BIT(pc, 3);
    CLR_BIT(pc, 4);
}
```

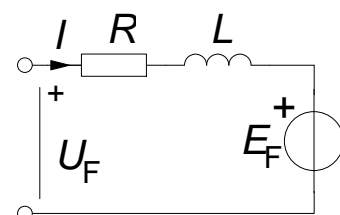
Även x==0 godkänns, men man bör ha marginaler pga risk för brus. Talet 10 motsvarar i detta specifika fall en inspänning på 49 mV.

9(2)

$$a) P_{mek} = M \cdot \omega = K_T \cdot I \cdot \omega = 1,6 \frac{Nm}{A} \cdot 16A \cdot 2\pi \cdot \frac{3000}{60} rad/s = 8kW$$

b) Spänningen har tre delar, maskinens motspänning, resistivt spänningsfall och induktivt spänningsfall som framgår av det enfasiga ekvivalenta schemat nedan.

Eftersom schemat är "per fas" måste vi räkna om alla storheter till fastorheter. Resistans och induktans är uppmätt mellan två klämmor och då är det två seriekopplade resistanser/induktanser och vi måste

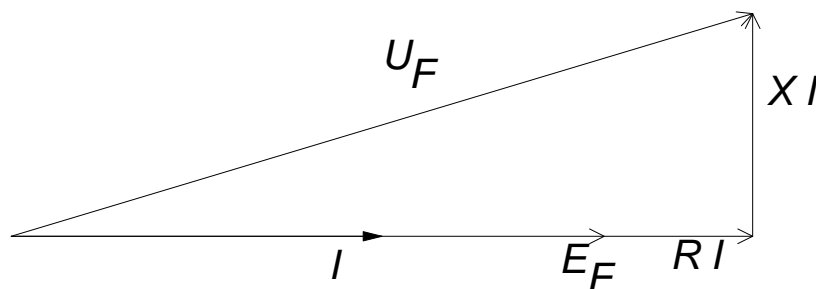


dela med två. $R = \frac{0,37\Omega}{2}$ och $L = \frac{3,6mH}{2}$. Spänningen uppmätt mellan två klämmor är huvudspänning och måste delas med roten ur tre för att få fasspänning.

$$E_F = \frac{3000 \cdot 97 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} V = 168V$$

Eftersom strömmen styrs så att den ger maximal momentutveckling så blir konsekvensen att den ligger i fas med E_F som visas i visardiagrammet.

$$RI = 16A \cdot \frac{0,37\Omega}{2} = 3V \quad XI = \omega_{el}LI = \frac{6}{2}\omega_{mek}LI = \frac{6}{2} \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot \frac{3,6 \cdot 10^{-3}}{2} 16V = 27V$$



$U_F = \sqrt{(168V + 3V)^2 + (27V)^2} = 173V$ ovh omräknat till huvudspänning (klämspänning) $U_H = \sqrt{3} \cdot 173V = 300V$

$$c) P_{el} = 3U_F I \cos(\varphi) = 3(E_F + RI)I = 3E_F I + 3RI^2 = P_{mek} + 3RI^2$$

$$\eta = \frac{P_{mek}}{P_{el}} = \frac{8000}{8000 + 3 \cdot 16^2 \cdot 0,37/2} = 0,98$$

Så långt vår modell, nu finns det extraförluster som ej är medtagna, så verkningsgraden blir sämre än beräknat ovan.

d) Vid bromsning byter strömmen riktning.

$$U_F = \sqrt{(168V - 3V)^2 + (27V)^2} = 167V \text{ och } U_H = \sqrt{3} \cdot 167V = 290V$$

10(1)

U_A	U_B	U_C
-0,1 V	0 V	-15 V (även -10V är ok)
+0,1 V	-0,2 V	+15 V (även +10V är ok)
+0,1 V	+0,2 V	-15 V (även -10V är ok)

11(2)

a) $q = C \cdot u_C$ ger $i_C = C \cdot \frac{du_C}{dt}$ konstant ström ger rätlinjig spänningsökning

under tiden t_1 $I_N = C \cdot \frac{U_N - 0,5U_N}{t_1}$ eller $t_1 = C \cdot \frac{0,5U_N}{I_N} = 63 \cdot \frac{0,5 \cdot 125}{240} s = 16,4s$

b) I början av förloppet är kondensatorspänningen $125V/2=62,5V$.

$$p = u_C \cdot i_C = 62,5 \cdot 240W = 15000W$$

och i slutet 125V ger $p = u_C \cdot i_C = 125 \cdot 240W = 30000W$

c)

$$\begin{aligned} W &= \int_0^{t_1} p \cdot dt = \int_0^{t_1} u_C \cdot i_C \cdot dt = I_N \int_0^{t_1} u_C \cdot dt = I_N \int_0^{t_1} u_C \cdot dt = I_N \cdot t_1 \cdot U_{Cmedel} = \\ &= 240 \cdot 16,4 \cdot \frac{125 + 0,5 \cdot 125}{2} J = 369kJ \end{aligned}$$

Kan även beräknas som skillnad i lagrad energi $W = \frac{1}{2} CU^2$ vid 125V och 62,5V

d) Kondensatorns energi omvandlas till rörelseenergi: Bilens rörelseenergi vid 90

$$\text{km/h} = 25 \text{ m/s är } W_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{2000 \cdot v^2}{2} = 369000$$

$v = 19 \text{ m/s}$ eller 69 km/h