

Inlämningstid
Kl:

ELEKTROTEKNIK

MASKINKONSTRUKTION

KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2013-05-23

kl: 09:00-13:00

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.

Lösningar läggs ut på hemsidan 13:00.

Tentamensresultatet finns på "Mina sidor" den 2013-06-13.

Efternamn, förnamn (texta)
Namnteckning
Personnummer

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).

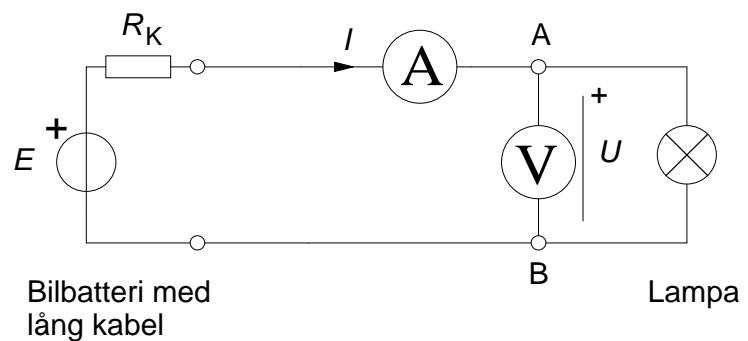
Vid behov kan Du skriva på baksidan.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Σ Poäng

1(2)

En lampa matas från ett bilbatteri. Batteriet och kabeln utgör tillsammans en spänningskälla, med uttagen (polerna) A och B. Denna källa kan ersättas av en ekvivalent krets, bestående av en ideal spänningskälla E i serie med en resistans R_K . Två mätningar gjordes. Först kopplades lampan bort och då avlästes 12,5 V på voltmeteren. Sedan anslöt man lampan och läste av 11,5 V och 10,0 A på volt- respektive amperemetern.



a) Beräkna E och R_K . Instrumentens inverkan på kretsen får försummas.

b) Hur stor skulle strömmen bli om man råkade kortsluta (dvs direkt förbinda) A och B?

2(2) En spole kan ses som en resistor i serie med en induktans.

Då spolen ansluts till 24 V likspänning, uppmäts strömmen 0,12 A.

Då spolen ansluts till 230 V, 50 Hz växelspänning uppmäts strömmen 0,2 A.

a) Beräkna spolens resistans.

b) Beräkna spolens induktans.

c) Beräkna fasvinkeln mellan spänning och ström, då spolen matas med 230V, 50Hz.

d) Beräkna effektutveckling i spolen då den matas med 230 V, 50 Hz.

3(2) Strömbrytaren B i figuren har under lång tid varit i frånläge. Spänningskällan E ger en likspänning.

Vid en viss tidpunkten sluts kontakten B (som i figuren).

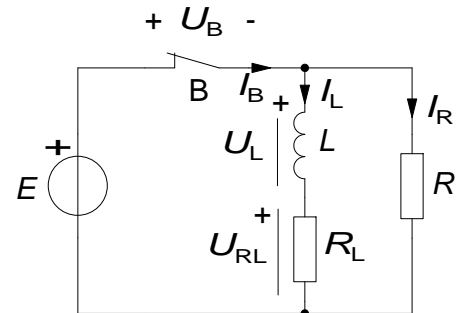
Utgå ifrån att

$$E = 12 \text{ V}$$

$$L = 30 \text{ mH}$$

$$R_L = 20 \text{ } \Omega$$

$$R = 1000 \text{ } \Omega$$



- Beräkna de tre strömmarna I_L , I_R och I_B strax efter slutning av strömbrytaren.
- Beräkna de tre strömmarna I_L , I_R och I_B lång tid efter slutning av strömbrytaren.
- Beräkna spänningarna U_L och U_{RL} strax efter slutning av strömbrytaren.
- Beräkna spänningarna U_L och U_{RL} lång tid efter slutning av strömbrytaren.

4(2) En gokart skall drivas med en likströmsmotor.

Energien tas från två seriekopplade blybatterier som vardera är märkta 12 V /70Ah och 250A (kortslutningsström).

Mellan likströmsmotorn och batteriet är ett matningsdon inkopplat som omvandlar batterispänningen till den spänning som matar motorn. Spänningen till motorn kan därför varieras kontinuerligt mellan -24V och 24V. Likströmsmotorn har nedanstående märkdata:

(2,5 hp) eller 1865 W, 3000 varv/minut, 24V, 97A, 5,9Nm, 16 kg

Gokarten har ett luftmotstånd och ett rullmotstånd enligt nedan:

$$F_{luft} = 0,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot v^2 \text{ och } F_{rull} = 22 \text{ N}$$

I denna uppgift gör vi det optimistiska antagandet att transmissionen har verkningsgraden 100%. Rull samt luftmotstånd finns enligt ovan. Utväxlingen är sådan att då motorn roterar ett varv så motvarar det att gokarten förflyttas 0,4 m. Gokarten körs rakt fram på plan mark. Vid 30 km/h krävs 36 N för framdriften (summan av rullmotstånd och luftmotstånd)

- Beräkna motorns momentkonstant.
- Beräkna motorströmmen vid 30 km/h.
- Beräkna motorns resistans R_A .
- Beräkna motorspänningen vid 30 km/h.

5(2)

Vid lösande av en styruppgift kom man fram till följande sanningstabell.

a) Fyll i Karnaughdiagrammen nedan och ta fram transmissionsfunktionen för B på så enkel form som möjligt. (det räcker med B!)

b) Konstruera ett minimalt logiknät, uppbyggt av endast NAND-grindar, som ger utstorheten B. (Förutom insignalerna a, b, c, d finns det även tillgång till de inverterade insignalerna $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}$)

		c d			
	a b	00	01	11	10
00					
01					
11					
10					

B

B =

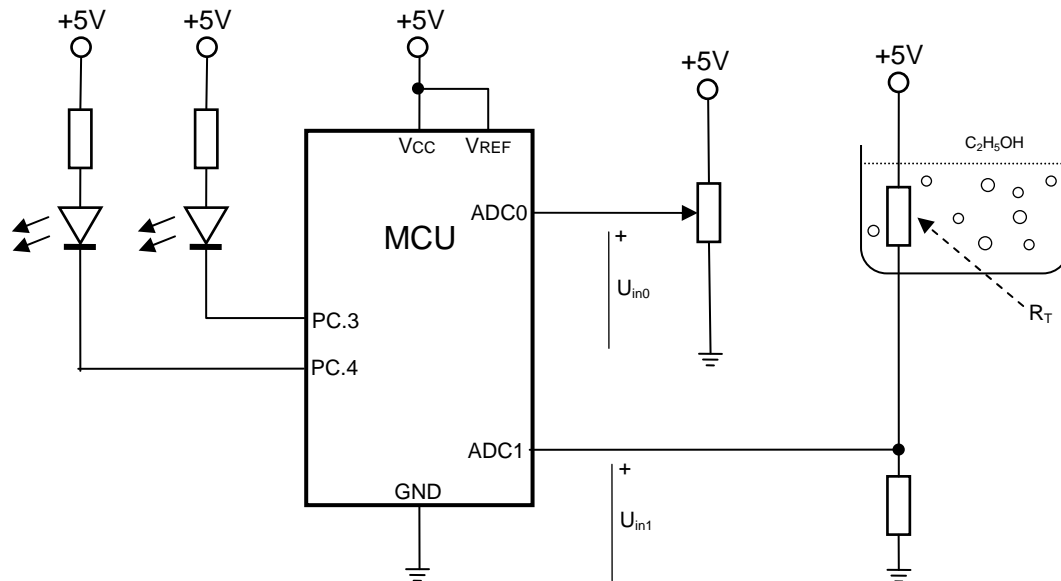
a	b	c	d	A	B
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	ϕ
0	0	1	0	ϕ	0
0	0	1	1	ϕ	1
0	1	0	0	1	ϕ
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	ϕ	1
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	ϕ	0
1	0	0	1	0	ϕ
1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	0	1	ϕ
1	1	0	1	ϕ	ϕ
1	1	1	0	ϕ	1
1	1	1	1	0	1

6(2) Vid kontinuerlig drift med märklast uppnår lindningen i en PM-synkronmotor temperaturen 165°C vid omgivningstemperaturen 40°C . Övertemperaturen är alltså 125°C i märkdrift. Motorns termiska tidkonstant är 30 minuter.

Man planerar att låta en motor arbeta med följande arbetscykel: Drift med överlast under 24 min, i detta fall med en ström som är 1,33 ggr märkströmmen, vila i 32 min och därefter drift med överlast osv. Motorn arbetar i omgivningstemperaturen 40°C och har varit obelastad en lång tid innan första belastningsperioden.

- Beräkna slutövertemperaturen om motorn skulle belastas med 1,33 ggr märkström kontinuerligt.
- Beräkna motorlindningens övertemperatur efter den första belastningsperioden.
- Beräkna motorlindningens temperatur efter första belastningsperioden.
- Beräkna motorlindningens temperatur efter första viloperioden.

7(2) En potentiometer ställs in på ett värde som motsvarar en önskad temperatur i en tank med vätska. Temperaturen mäts med ett temperaturberoende motstånd.



Skriv ett program för MET-kontrollern som kontinuerligt läser av A/D-omvandlarens kanaler 0 och 1 och redovisar deras amplitudförhållande enligt följande:

Om kanal 0 har störst värde skall enbart lysdioden kopplad till pc.3 lysa.

Om kanal 1 har störst värde skall enbart lysdioden kopplad till pc.4 lysa.

Om kanalerna har samma värde skall båda lysdioderna lysa.

Använd programskelettet nedan:

```
#include <gnu_met3.h>
void main(void)
{
```

```
while(1)
```

```
{
```

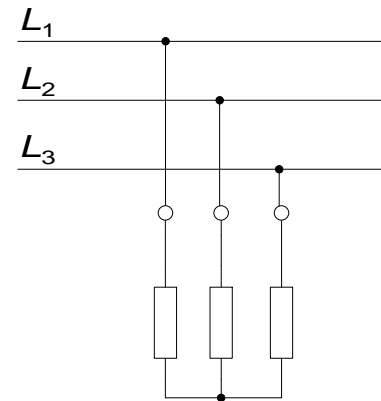
```
}
```

```
}
```

8(1) En värmepatron är inkopplad till ett trefasnät och avger effekten 9 kW. Värmepatronen som är ett trefasigt (rent resistivt) värmeelement är Y-kopplad.

a) Hur stor ström drar elementet (linjeström) vid en huvudspänning på 400 V?

b) Vid ett tillfälle går en säkring i fas 1. Beräkna strömmen i L_3 .



9(3) En permanentmagnet servomotor av fabrikat Kollmorgen Seidel har bland annat nedanstående data. En permanentmagnet servomotor är trefasig om inget annat sägs.

Torque constant $K_T = 1,6 \text{ Nm/A}$

Voltage constant $K_E = 97 \text{ mV/min}$

Rated Torque 20 Nm

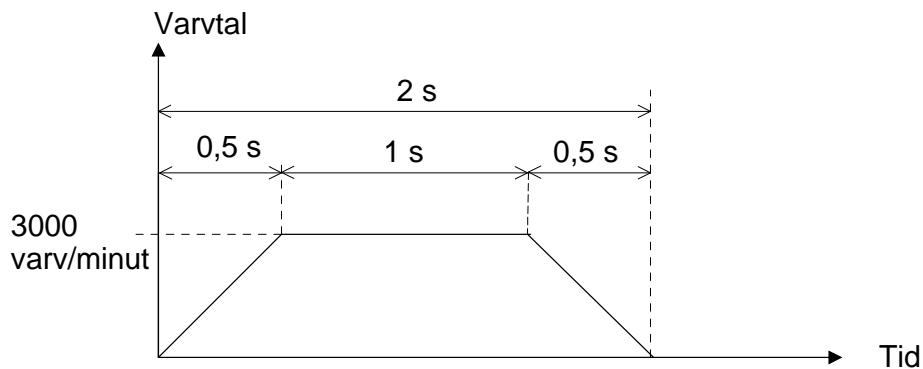
Winding resistance Phase-Phase 0,5 ohm

Winding inductance Phase-Phase 4,4 mH

Rotor moment of inertia 82 kgcm^2 .

Motor pole no. 6

Motorn driver en last med ett tröghetsmoment som är 4 ggr så stort som motorns eget. Friktionsmoment försummas. Lasten körs utan växel enligt nedanstående varvtalsprofil.



a) Beräkna strömbehovet i början av accelerationsförloppet.

b) Beräkna den klämspänning som behövs i slutet av accelerationsförloppet.

c) Beräkna strömbehovet strax efter accelerationsförloppet (under konstant varvtalsperioden).
 d) Beräkna klämspänningen strax efter accelerationsförloppet (under konstant varvtalsperioden).
 e) Beräkna klämspänningen i början av retardationsperioden.

f) Beräkna den effekt som återmatas till matningsdonet (regenereras) i början av retardationsperioden.

10(2) En elektrisk fönsterhiss till en bil ska konstrueras. Uppgiften är att rita ett tillståndsdigram för dess funktion. Följande fyra digitala (binära) insignaler finns: uppe, nere, upp, ner.

uppe (en ändlägesgivare som ger 1 då fönstret är stängt och 0 då fönstret ej är stängt)

nere (en ändlägesgivare som ger 1 då fönstret är helt öppet och 0 då fönstret ej är helt öppet).

Insignalerna upp och ner kommer från en trelägesknapp som ligger i sitt neutralläge då den ej påverkas och som därifrån kan tryckas upp och ner, se vänstra sanningsabellen nedan. Då knappen släpps återgår de till neutralläget.

Följande två digitala utsignaler finns: åk_upp, åk_ner

Dessa styr hissmotorns rörelse, se högra sanningstabellen nedan.

trelägesknapp	upp	ner
neutralläge	0	0
Tryckt uppåt	1	0
Tryckt nedåt	0	1

åk_upp	åk_ner	motor
0	0	Står still
0	1	Kör nedåt
1	0	Kör uppåt
1	1	Står still

Fönsterhissens funktion beskrivs nedan:

Om fönstret står stilla eller är på väg upp skall insignalen upp = 1 (en kort tryckning) göra att fönstret åker upp tills det är stängt. Naturligvis har vi även en "spegelvänd" beskrivning för nedfärden där orden bara byts: upp mot ner och stängt mot helt öppet.

SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK

Elektroteknik MF1016

2013-05-23

1(2)

a) Kirchhoffs spänningslag ger $E - R_K I - U = 0$ eller $U = E - R_K I$

Mätning 1. Lampan bortkopplad.

 $I = 0$ och $E = U = 12,5$ V. Alltså är den sökta $E = 12,5$ V

Mätning 2. Lampan ansluten.

 $I = 10,0$ A och $U = 11,5$ V. Insättning i ovanstående ekvation ger:

$$11,5 = 12,5 - R_K \cdot 10, \text{ dvs } R_K = 1,0/10 = 0,1\Omega$$

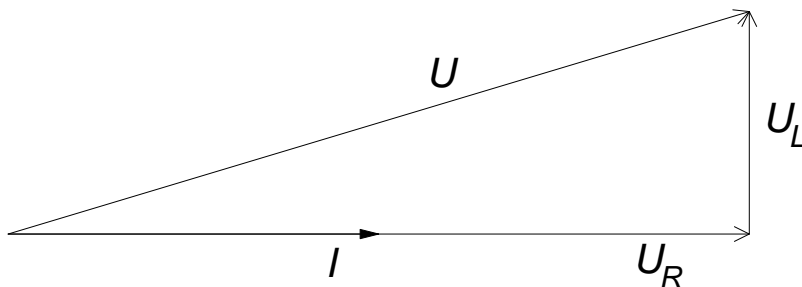
b) Vid en kortslutning blir $U = 0$ och kortslutningsströmmen blir alltså $I = E/R_K = 12,5/0,1 = 125$ A

2(2)

a) Vid likström gäller att spänningen över L är noll ($u_L = L \frac{di}{dt} = 0$ ty $i = I$ som är konstant) och att hela spänningen ligger över R .

$$R = \frac{24V}{0,12A} = 200\Omega$$

b) Vid växelström gäller följande visardiagram

Lämpligt att välja den gemensamma storheten, i detta fall I eftersom det är en seriekrets, som riktfas (vinkel noll).

$$\underline{U} = R \cdot I + j\omega L \cdot I = U_R + jU_L \text{ inget streck under strömmen då den är reell.}$$

Beloppet av båda led och kvadrering ger:

$$U^2 = (R \cdot I)^2 + (\omega L \cdot I)^2$$

$$\text{Vi löser ut reaktansen: } \omega L = \frac{\sqrt{U^2 - (R \cdot I)^2}}{I} = \frac{\sqrt{230^2 - (200 \cdot 0,2)^2}}{0,2A} V = 1132\Omega$$

$$L = \frac{\omega L}{\omega} = \frac{1132\Omega}{100\pi \text{ rad/s}} = 3,6H$$

$$\text{Vinkeln mellan spänning och ström } \varphi = a \tan\left(\frac{U_L}{U_R}\right) = a \tan\left(\frac{\omega L}{R}\right) = a \tan\left(\frac{1132}{100}\right) = 80^\circ$$

(ser inte ut så i figuren)

$$d) P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U_R \cdot I = R \cdot I \cdot I = 200 \cdot 0,2^2 W = 8W$$

3(2)

a) Före $t = 0$ är alla strömmar = 0. Strömmen genom spolen I_L kan ej ändras språngvis så strax efter $t = 0$ blir $I_L = 0$.

$$I_R = E / R = 12 / 1000 = 12 \text{ mA} \quad I_B = I_L + I_B = 0 + 12 \text{ mA} = 12 \text{ mA}.$$

b) Efter lång tid har strömmen genom spolen I_L nått sitt slutvärde och är konstant. Då är strömmens derivata 0 och även spänningen $U_L = 0$ (ty $u_L = L \frac{di_L}{dt}$)

$$= E - U_L - U_{RL} = 0 \text{ ger } U_{RL} = E \text{ och } I_L = E / R_L = 12 / 20 = 0,6A$$

$$I_R = 12 \text{ mA} \quad I_B = I_L + I_B = 0,6A + 102 \text{ mA} = 0,61A$$

c) Enligt a) är $I_L = 0$ och därmed blir $U_{RL} = R_L \cdot I_L = 0 \text{ V}$ och $U_L = 12 \text{ V} - U_{RL} = 12 \text{ V}$

c) Från b) har vi lösningen $U_L = 0$ och $U_{RL} = E = 12 \text{ V}$

4(2)

$$a) \text{ Momentkonstant} = K_2 \Phi = \frac{M_N}{I_N} = \frac{5,9 \text{ Nm}}{97 \text{ A}} = 0,06 \text{ Nm / A}$$

b) Erforderlig drivkraft vid 30 km/h = 8,3 m/s är $F_{driv} = 36 \text{ N}$

$$\text{Moment på motoraxeln blir } M = F_{driv} \cdot 0,4 \text{ m} / 2\pi = 2,3 \text{ Nm}$$

$$\text{Motorströmmen: } I_A = \frac{2,3 \text{ Nm}}{0,06 \text{ Nm / A}} = 37 \text{ A}$$

$$c) U_A = R_A I_A + E$$

$$U_A I_A = R_A I_A^2 + E I_A$$

$$U_A I_A = R_A I_A^2 + K_2 \Phi \omega \cdot \frac{M}{K_2 \Phi} = R_A I_A^2 + \omega \cdot M$$

Märkdata:

$$24 \text{ V} \cdot 97 \text{ A} = R_A (97 \text{ A})^2 + 1865 \text{ W}$$

$$\text{Ger } R_A = 0,05 \Omega$$

d) 30 km/h ger 8,3 m/s som ger motorvarvtalet 21 varv/s och vinkelhastigheten 131 rad/s.

$$U_A = R_A I_A + K_2 \Phi \cdot \omega \text{ ger } U_A = 0,05 \Omega \cdot 37 \text{ A} + 0,06 \frac{\text{V}}{\text{rad / s}} \cdot 131 \text{ rad / s} = 9,8 \text{ V}$$

5(2)

Vi ställer upp ett Karnaughdiagram för B. $B = \phi$ betyder att vi kan låta B vara antingen 0 eller 1 vid de ingångstillstånd som svarar mot dessa rutor, ty de förekommer aldrig. Detta ger oss möjligheter att göra större hoptagningar.

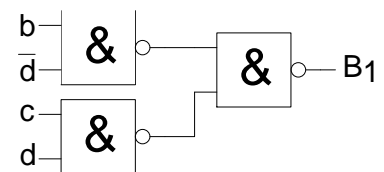
		c d			
		00	01	11	10
a b	00	0	ϕ	1	0
	01	ϕ	0	1	1
	11	ϕ	ϕ	1	1
	10	0	ϕ	1	0

B

$$B_1 = \bar{b} \bar{d} + c d$$

$$(B_2 = b c + c d)$$

Man kan göra hoptagningar på många olika sätt. Man strävar alltid efter att få så få och stora hoptagningar som möjligt.



- 6(2) a) Förlusterna är proportionella mot strömmen i kvadrat (RI^2). Övertemperaturen är i sin tur proportionell mot förlusteffekten (i fortvarighet, det tar ju ett tag).

$$\mathcal{G}_{\infty} = R_{th} \cdot P_f = R_{th} R \cdot I^2 \text{ från märkdrift får vi } (165^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) = R_{th} R \cdot I_N^2 \text{ vilket ger}$$

$$R_{th} R = 125^\circ\text{C} / I_N^2$$

$$\text{Då vi har } 1,33 \text{ In blir } \mathcal{G}_{\infty} = (125^\circ\text{C} / I_N^2) \cdot (1,33 I_N)^2 = 1,33^2 \cdot 125^\circ\text{C} = 221^\circ\text{C}$$

- b) Uppvärmning av elmotorer, uppladdning av kondensator och strömändring i spole följer alla samma typ av transient förlopp som beskrivs av:

$$\mathcal{G}_{\dot{}} = \mathcal{G}_{\infty} - (\mathcal{G}_{\infty} - \mathcal{G}_{\dot{0}}) \cdot e^{-t/\tau}$$

Före första belastningsperioden har motorns lindning samma temperatur som dess omgivning. Omedelbart efter det att belastningsperioden har börjat är temperaturen lika som strax innan, den kan inte hoppa. Begynnelsevärdet på övertemperaturen är alltså noll. Slutvärdet är samma som svaret i a) dvs 221°C .

$$\mathcal{G}_{\dot{}}(24 \text{ min}) = 1,33^2 \cdot 125^\circ\text{C} - (1,33^2 \cdot 125^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \cdot e^{-24/30} = 1,33^2 \cdot 125^\circ\text{C} (1 - e^{-24/30}) = 0,97 \cdot 125^\circ\text{C} = 121^\circ\text{C}$$

- c) Temperaturen i motorns lindning blir $\mathcal{G}_l(24 \text{ min}) = 121^\circ\text{C} + 40^\circ\text{C} = 161^\circ\text{C}$

- d) Strax efter det att viloperioden har börjat är temperaturen i motorlindningen lika stor som strax innan, temperaturen kan inte ändras språngvis. Övertemperaturen är

även den oförändrad så begynnelsevärdet på övertemperaturen blir 121°C . Under viloperioden är motorn strömlös och förlusterna är noll så övertemperaturen i fortvarighet, efter lång tid blir noll.

$$\mathcal{G}_0(32 \text{ min}) = 0^{\circ}\text{C} - (0^{\circ}\text{C} - 121^{\circ}\text{C}) \cdot e^{-32/30} = 0,97 \cdot 125^{\circ}\text{C} \cdot e^{-32/30} = 41^{\circ}\text{C}$$

Temperaturen i motorns lindning blir $\mathcal{G}_1(32 \text{ min}) = 41^{\circ}\text{C} + 40^{\circ}\text{C} = 81^{\circ}\text{C}$

7(2)

```
#include <gnu_met3.h>          // Infogar bibliotek med kommandon
                                // och funktioner

void main(void)                // Själva programslingan
{
    int pot, temp;              // Deklaration av variablerna
                                // pot och temp

    init_met();

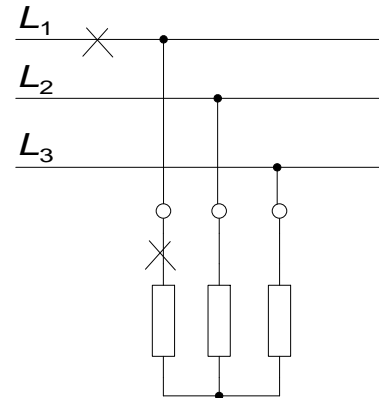
    while(1)                    // Evighetsloop!
    {
        pot = GET_AD(0);
        temp = GET_AD(1);

        if(pot > temp)
        {
            CLR_BIT(pc, 3);
            SET_BIT(pc, 4);
        }
        if(temp > pot)
        {
            SET_BIT(pc, 3);
            CLR_BIT(pc, 4);
        }
        if(temp == pot)
        {
            CLR_BIT(pc, 3);
            CLR_BIT(pc, 4);
        }
    }
} // Programslingans slut
```

8(1) a) $P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$ ger $9000 = \sqrt{3}400I$ och $I = 13 \text{ A}$

b) $R = \frac{U_F}{I} = \frac{400V}{\sqrt{3} \cdot 13} = 18\Omega.$

Efter bortfallet av en fas (exempelvis fas 1) har vi mellan fas 2 och fas 3 två element i serie. Se figur. Mellan fas 2 och 3 ligger huvudspänning.



$$I_{L3} = \frac{U_H}{R+R} = \frac{400}{2 \cdot 18} = 11A$$

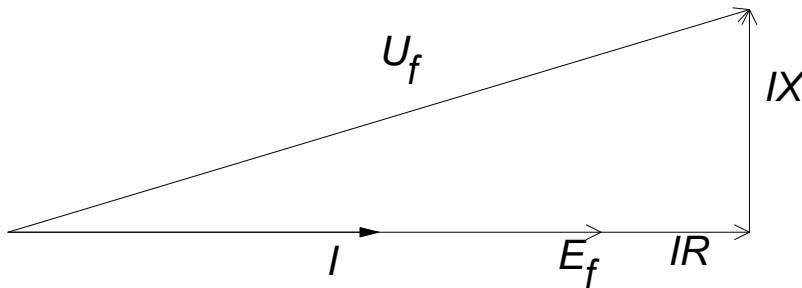
9(3)

a) $M = J \frac{d\omega}{dt} = J \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n / 60}{\Delta t} = (1+4) \cdot 82 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 3000 / 60}{0,5} = 25,8 \text{ Nm}$

$$I = \frac{25,8}{1,6} = 16,1 \text{ A}$$

b) Resistiva spänningsfallet $R \cdot I = \frac{0,5}{2} \cdot 16,1 = 4V$

314 rad/s mekaniskt motsvarar 942 rad/s elektriskt (6-polig maskin). Strömmen är detsamma som i början av accelerationen.



Reaktiva spänningsfallet $X \cdot I = \omega_{el} \cdot \frac{L}{2} \cdot I = 942 \cdot \frac{4,4 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 16,1 = 33,4 \text{ V}$

$$E_f = 3000 \cdot 97 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3} = 168 \text{ V}$$

$$U_f = \sqrt{(168+4)^2 + 33,4^2} = 175 \text{ V}$$

$$U_H = \sqrt{3} \cdot 175 \text{ V} = 304 \text{ V}$$

c) Under konstantfartsperioden är behövs inget moment och därmed ingen ström.

) Eftersom strömmen är noll så blir $U_f = E_f$. E_f vid 3000 varv per minut är beräknat i d) till 168 V och motsvarar en klämspänning (huvudspänning) på

$$U_H = \sqrt{3} \cdot 168 \text{ V} = 291 \text{ V}$$

e) Vid retardation blir strömbehovet lika stort som vid acceleration, men strömmen blir motriktad (som momentet). Samma belopp som i c) men induktiva och resistiva

spänningsfallen får motsatt tecken. Ef får samma tecken, rotationsriktningen är ju positiv:

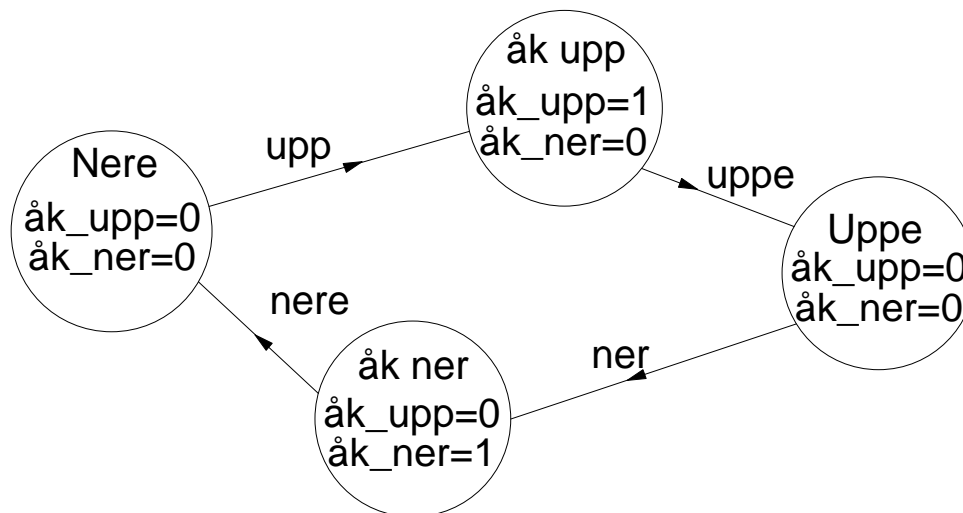
$$U_f = \sqrt{(168 - 4)^2 + (-33,4)^2} = 167 \text{ V}$$

$$U_H = \sqrt{3} \cdot 167 \text{ V} = 290 \text{ V}$$

$$f) P = 3 \cdot U_f \cdot I \cdot \cos \varphi = 3 \cdot U_f \cdot \cos \varphi \cdot I = 3 \cdot (E_f + RI) \cdot I = 3 \cdot (168 - 4) \cdot (-16,1) = -7920 \text{ W}$$

- tecknet betyder att effekten 7920 W går från motorn till matningsdonet.

10(2)



Fyra tillstånd används. I tillståndet Nere ska motorn stå still och därför ska utsignalerna vara åk_upp = 0, åk_ner = 0. Då knappen vickas upp skall vi hoppa till tillståndet åk upp och utsignalerna åk_upp ska vara 1 och åk_ner ska vara 0. Här har tillståndet nästan samma namn som en av utsignalerna. När fönstret kommit upp så fås signalen uppe = 1 från ändlägesgivaren och vi går till tillståndet Uppe, som har samma namn som insignalen uppe (men börjar med stor bokstav).