

ELEKTROTEKNIK

MASKINKONSTRUKTION

KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2015-01-07

kl: 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.

Lösningar läggs ut på hemsidan 18.00

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

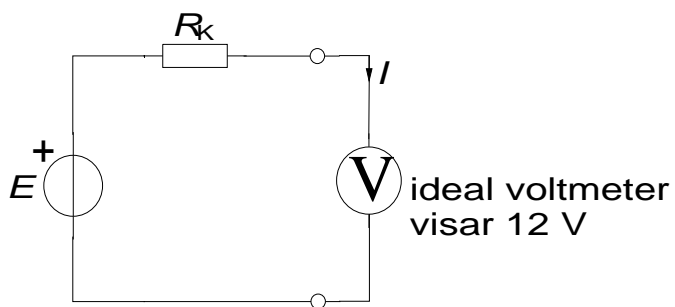
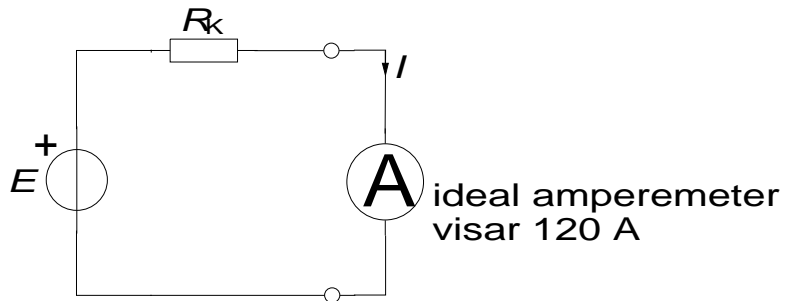
Räkna först på kladdpapper och för sedan in svaret samt så mycket av resonemanget att man vid rättning kan följa Dina tankegångar.

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

Vid behov kan Du skriva på baksidan.

OBS! Skriv ditt personnummer på varje sida.

1(2) Två experiment görs på nedanstående krets. Utfallen visas i figurerna.



a) Beräkna E .

b) Beräkna R_k .

c) Ett motstånd med resistansen $0,3\ \Omega$ ansluts i serie med amperemetern. Vad visar amperemetern?

d) Ett motstånd med resistansen $0,9\ \Omega$ ansluts parallellt med voltmetern. Vad visar voltmetern?

2(2) Strömbrytaren B i figuren har under lång tid varit öppen.

Vid tidpunkten sluts strömbrytare B (som i figuren).

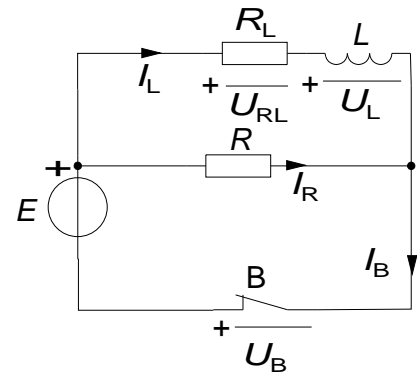
Utgå ifrån att

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

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

$$R_L = 12 \Omega$$

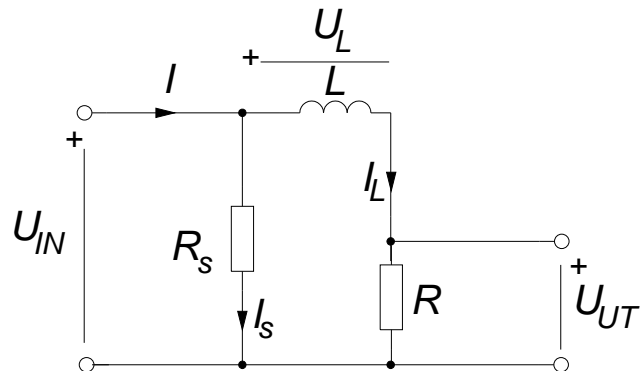
$$R = 1000 \Omega$$



- Beräkna spänningen u_B strax efter slutning.
- Beräkna de tre strömmarna i_L , i_R och i_B strax efter slutning.
- Beräkna de tre strömmarna i_L , i_R och i_B lång tid efter slutning.
- Beräkna spänningarna u_L och u_{RL} strax efter slutning.

3(2) En växelspanning $U_{IN} = 16 \text{ V}$ med frekvensen 1 kHz är ansluten till kretsens ingång. Strömmen uppmäts till $I = 0,32 \text{ A}$ och kretsens fasvinkel (mellan U_{IN} och I) uppmäts till $\varphi = 29^\circ$. Tillförd effekt beräknas till $P = 4,5 \text{ W}$. Induktansen i kretsen är $L = 10 \text{ mH}$, motståndet $R = 50 \Omega$ och motståndet $R_S = 100 \Omega$.

- Beräkna I_S .
- Beräkna I_L .
- Beräkna U_{UT}
- Beräkna U_L .



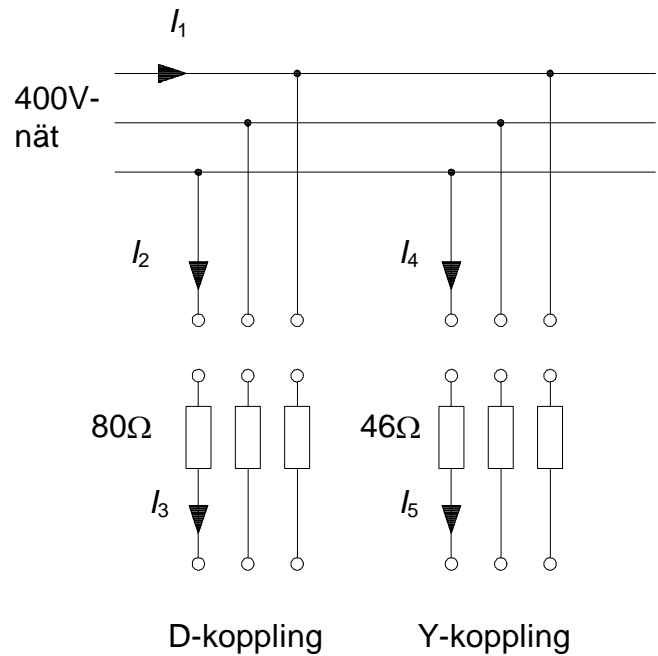
4(2)

Två symmetriska, resistiva trefasbelastningar ska, via var sin kabel, anslutas till ett 400 V-nät (huvudspänning 400 V).

Den ena (vänstra) har resistansen 80Ω per motstånd och ska D-kopplas. Den andra har resistansen 46Ω per motstånd och ska Y-kopplas.

a) Komplettera schemat

b) Beräkna de fem strömmarna $I_1 \dots I_5$ samt den effekt P_{TOT} som de båda belastningarna tillsammans förbrukar.



$I_1=$	$I_2=$	$I_3=$
$I_4=$	$I_5=$	$P_{TOT}=$

5(1) En permanentmagnetiserad likströmsmotor har märkmomentet 0,5 Nm. Märkdata gäller vid omgivningstemperaturen 40°C om inget annat anges. Övertemperaturen för motorlindningen i märkdrift är $\vartheta_{\text{ÖN}}$. Motorns termiska tidkonstant är 15 minuter. Motorn ska köras i så kallad korttidsdrift vilket innebär att den "överbelastas" under en kort tid för att sedan vara obelastad. I detta fall skall motorn belastas med 0,6 Nm under 15 minuter för att sedan vara obelastad under lång tid.

- Beräkna motorlindningens övertemperatur i slutet av belastningsperioden.
- Beräkna motorlindningens temperatur strax efter belastningsperiodens slut.

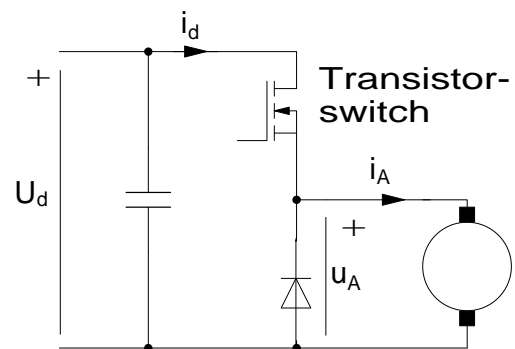
6(2)

En likströmsmotor med permanenta magneter matas via en PWM-styrd transistor från en likspänningskälla som lämnar en konstant likspänning $U_d = 150\text{V}$.

Transistorn arbetar med switchfrekvensen $f = 10\text{ kHz}$. Den avgivna spänningen har således periodtiden $T = 100\ \mu\text{s}$.

Fabrikanten uppger att emk i ankarlindningen är $E = 0,09 \cdot n\text{ [V]}$, där n är varvtalet i varv per minut. Vid ett tillfälle arbetar motorn vid varvtalet $n = 750\text{ [varv/minut]}$.

Man mäter spänning och ström och läser av $U_A = 80\text{ [V]}$ och $I_A = 2\text{ [A]}$. Instrumenten visar medelvärde.



- Beräkna kvoten $\alpha = t_{\text{ON}}/T$ för transistorn, där t_{ON} är den tid som transistorn är till under varje cykel av ankarspänningen och T är denna spännings period.
- Beräkna ankarresistansen R_A .
- Man vill ändra motorns varvtal till ett värde som är 1,7 gånger det ursprungliga. Vilket värde måste då α ställas in på? Lastens vridmoment får antas vara oberoende av varvtalet.
- Med hur många % får man öka lastmomentet, om man kan tillåta att varvtalet sjunker med högst 20 varv/minut. Utgå från arbetspunkten enligt c).

7(2)

En tillståndsmaskin i en mikrokontroller styr en motor då man trycker på en knapp.

Tillståndsdigrammet nedan visar de tillstånd som används - "STOP", "START", "RUN" och "BRAKE".

För dessa gäller:

STOP: Motorn står stilla. Röd lysdiod är tänd – grön är släckt.

START: Motorn rampar upp farten ("ökar duty cycle") med 10% per sekund tills full fart uppnås. Både röd och grön lysdiod är tända.

RUN: Motorn går med full fart. Grön lysdiod är tänd – röd är släckt.

BRAKE: Motorn rampar ned farten med 10% per sekund tills stillastående uppnås. Både röd och grön lysdiod är tända.

Skriv ett program (i programskelettet på nästa sida) som implementerar tillståndsdigrammet. Ge akt på hur lysdiодerna och knappen är inkopplade till MCU:n.

```
int knapp, state, duty_cycle;

int main( void )
{
    init_mik;

    init_pin( pc0, "out" );
    init_pin( pc1, "out" );
    init_pin( pc2, "in" );

    state = 0;
    duty_cycle = 50;
    PWM0( duty_cycle );           // Börja med stillastående motor

    while( 1 )
    {

    }
}
```

8(2)

En elmotorcykel deltar i det 60,73 km långa "Isle of Man Tourist Trophy (TT) Zero race". Batteriet har följande data:

tomgångsspänning: 99V, energi 11,88 kWh, vikt 106 kg.

Under loppet är motorcykelns medelhastigheten 137 km/h. Loppet är ett varv.

I det följande antas att batteriet hela tiden, under hela loppet, belastas med effekten 22,6 kW och vid denna belastning sjunker spänningen till 94,2V. Denna effekt och spänning erhålls vid medelhastighet.

- a) Hur stor energimängd tas från batteriet under loppet.
- b) Beräkna strömmen från batteriet.
- c) Beräkna batteriets inre resistans.
- d) Hur mycket energi finns kvar i batteriet efter loppet om batteriet var fulladdat vid start?

9(3)

En permanentmagnet servomotorer av fabrikat Kollmorgen SEIDEL Servoförstärkare av typ SERVOSTAR 600, ström 6 A (Matningsdon) som matas trefasigt med 400 V.

6SM57S-3000

Torque constant $K_T = 1,65 \text{ Nm/A}$

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

Rated Torque 3 Nm

Rated current 4 A

Winding resistance Phase-Phase 6,3 ohm

Winding inductance Phase-Phase 35 mH

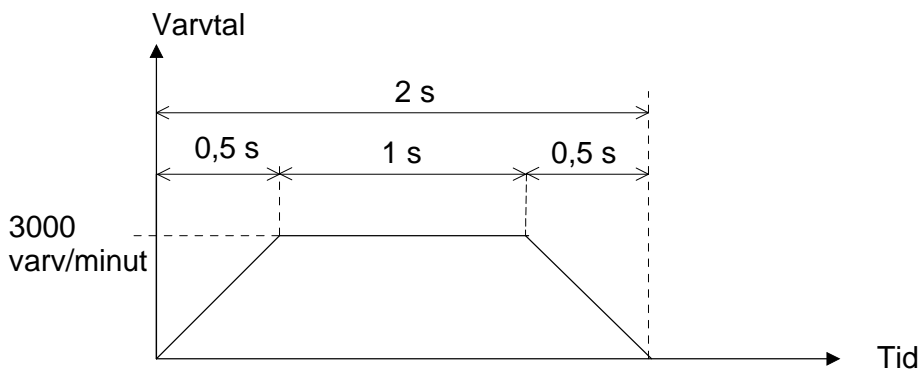
Rotor moment of inertia 3,1 kgcm².

Motor pole no. 6

Thermal time constant 20 min

Weight standard 5,7 kg

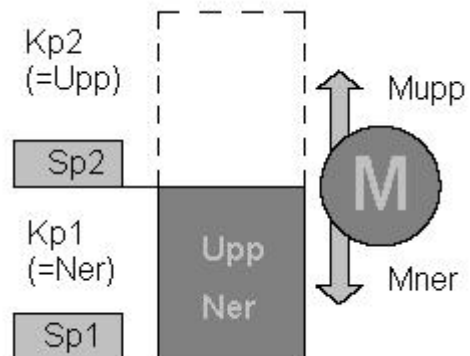
Motorn driver en last med ett tröghetsmoment som är 34 kgcm². Friktionsmomentet försummas. Lasten körs utan växel enligt nedanstående varvtalsprofil.



- Beräkna strömbehovet i början av accelerationsförloppet.
- Beräkna spänningsbehovet i början av accelerationsförloppet.
- Beräkna spänningsbehovet i slutet av accelerationsförloppet.
- Beräkna strömbehovet strax efter accelerationsförloppet (under konstant varvtalsperioden).
- Beräkna spänningsbehovet strax efter accelerationsförloppet (under konstant varvtalsperioden).
- Beräkna spänningsbehovet i början av retardationsperioden

10(2) Ett styrsystem till en hiss ska konstrueras.

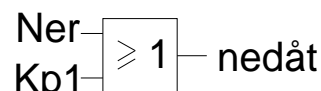
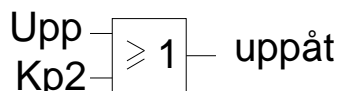
Hissen i fråga går mellan två våningar. På varje våningsplan finns en knapp där man kallar på hissen. I hisskorgen finns två knappar, upp respektive ner. För att styrsystemet skall veta vilken våning hissen befinner sig på finns en sensor på varje våningsplan som indikerar om hissen är där eller ej.



Insignaler:

1. Knapp på plan 1 "Kp1". Ger 1 om intryckt, annars 0.
2. Knapp på plan 2 "Kp2". Ger 1 om intryckt, annars 0.
3. Knapp "Upp" i hissen. Ger 1 om intryckt, annars 0.
4. Knapp "Ner" i hissen. Ger 1 om intryckt, annars 0.
5. Sensor på plan 1, "Sp1". Ger 1 om hissen står på plan 1. Om hissen är mellan våningarna, eller på plan 2 ger 0.
6. Sensor på plan 2, "Sp2". Ger 1 om hissen står på plan 2. Om hissen är mellan våningarna, eller på plan 1 ger 0.

Får att reducera antalet insignaler införs variablerna "uppåt" och "nedåt" enligt nedan.



Utsignaler:

1. Mupp. Om 1 körs motorn uppåt. Om 0 körs motorn inte uppåt.
2. Mner. Om 1 körs motorn nedåt. Om 0 körs motorn inte nedåt.

Funktion: Om någon trycker på knappen på våningsplanen skall hissen köras dit. Man kan tänka sig att knappen måste hållas intryckt tills hissen är på plats. Om någon trycker på en knapp i hissen skall hissen köras i motsvarande riktning. Även här kan knappen tänkas hållas intryckt tills hissen stannar.

Övriga fall såsom om flera knappar trycks in samtidigt skall behandlas på valfritt "lämpligt sätt".

Uppgiften fortsätter!

a) De två insignalerna "Upp" och "Kp2" slås ihop till signalen "uppåt" med en ellergrind enligt ovan. Ge ett motiv till att det är lämpligt.

b) Fyll i nedanstående karnaughdiagram så att specifikationen uppfylls.

		sp2 sp1			
		00	01	11	10
uppåt nedåt	00				
	01				
	11				
	10				

Mupp

		sp2 sp1			
		00	01	11	10
uppåt nedåt	00				
	01				
	11				
	10				

Mner

c) Rita ett minimalt grindnät för utsignalen Mupp.

SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK

Elektroteknik MF1016

2015-01-07

1(2)

a) $E - R_K I - U = 0$ där $U = 12V$ och $I = 0$ (ideal voltmeter har oändlig resistans)ger $E = 12V$.b) $E - R_K I - U = 0$ där $I = 120A$ och $U = 0$ (ideal amperemeter har ingen resistans) och E enligt a) ger $R_K = 0,1\Omega$.c) $E - R_K I - 0,3\Omega \cdot I = 0$ ger $I = 30A$ d) $E - R_K I - 0,9\Omega \cdot I = 0$ ger $I = 12A$ insatt i $E - R_K I - U = 0$ ger $U = 10,8 V$.2(2) a) Spänningen över en sluten brytare är noll. $u_B = 0V$ b) I den brutna kretsen flyter igen ström och tex $i_L = 0A$. Strömmen genom L kan ej ändras språngvis $\Rightarrow i_L = 0$ strax efter slutning. $i_R = E/R = 12/1000 = 12mA$ och $i_B = i_L + i_R = 0A + 12mA = 12mA$ c) Strömmen genom R ändras ej $i_R = 12mA$ För induktansen gäller $u_L = L \frac{di_L}{dt}$ efterlång tid är det likström och då är strömmen definitionsmässigt konstant. Spänningen u_L blir då noll, det vill säga induktansen är en kortslutning för likström. $i_L = E/R_L = 12/12 = 1A$ $i_B = i_L + i_R = 1A + 12mA = 1A$ d) Strax efter slutning är som sagt $i_L = 0A \Rightarrow U_{RL} = R_L \cdot i_L = 0V$ $E - u_{RL} - u_L + u_B = 0 \Rightarrow u_L = E - u_{RL} + u_B = 12V - 0V + 0V = 12V$

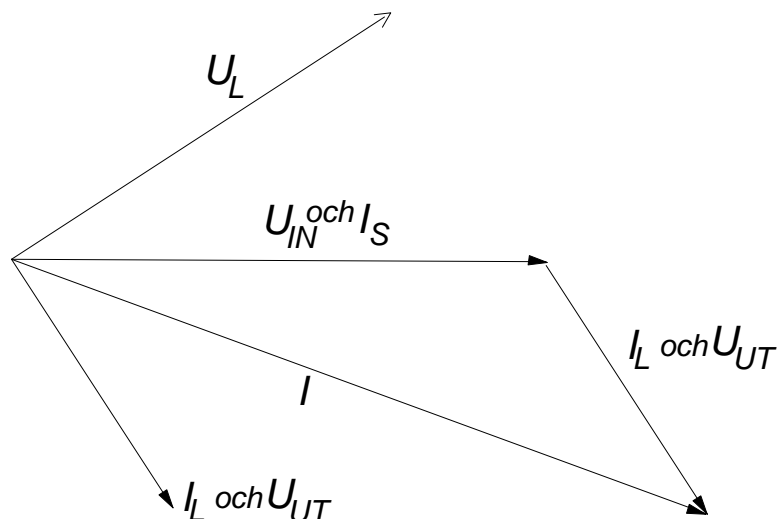
3(2)

a) U_{IN} väljs till riktfas, reell.

$$\frac{I_S}{R_S} = \frac{U_{IN}}{100\Omega} = 0,16A$$

$$b) \frac{I_L}{R + j\omega L} = 0,12A - j0,16A$$

$$I_L = 0,2A$$



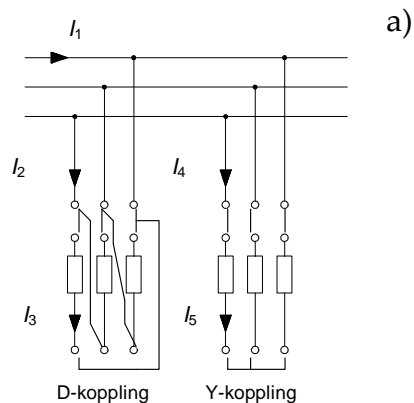
$$c) \underline{U}_{UT} = R \cdot I_L = 6,2V - j7,8V$$

$$U_{UT} = \sqrt{6,2^2 + 7,8^2} = 10V$$

$$d) \underline{U}_L = j\omega L \cdot \underline{I}_L = 9,8V + j7,8V \quad I$$

$$U_L = \sqrt{9,8^2 + 7,8^2} = 12,5V$$

4(2)



$$b) \quad I_3 = \frac{400}{80} = 5A$$

$$I_2 = \sqrt{3} \cdot I_3 = 5\sqrt{3} = 8,7A$$

$$I_5 = \frac{230}{46} = 5A$$

$$I_4 = I_5 = 5A$$

Eftersom I_2 och I_4 ligger i fas kan de adderas direkt.

$$I_1 = I_2 + I_4 = 13,7A$$

$$P_{TOT} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 13,7 = 9490W$$

5(1) Vid $0.6/0.5 = 1,2$ ggr märkmoment är även strömmen $1,2$ ggr märkström. De elektriska förlusterna är $R_A I_A^2$ och blir därför $1,2^2 = 1,44$ ggr så stora. Eftersom förlusterna blir $1,44$ ggr så stora blir även temperaturhöjningen, den så kallade slutövertemperaturen $1,44$ ggr så stor: $\vartheta_{\infty} = 1,44\vartheta_{\infty N}$

Temperaturhöjningen går från noll till $\vartheta_{\infty} = 1,44\vartheta_{\infty N}$ efter tillslag enligt:

$$\vartheta_{\dot{}} = 1,44\vartheta_{\infty N} (1 - e^{-t/\tau}) \text{ och vid 15 minuter blir övertemperaturen:}$$

$$\vartheta_{\dot{}} = 1,44\vartheta_{\infty N} (1 - e^{-15/15}) = 0,63 \cdot 1,44\vartheta_{\infty N} = 0,91\vartheta_{\infty N} \text{ vilket även är övertemperaturen vid slutet av belastningsperioden (svaret i a)).}$$

b) Strax efter belastningsperioden är temperaturen lika som strax innan, den ändras ju inte språngvis. Övertemperaturen var $0,91\vartheta_{\infty N}$ och temperaturen i lindningen blir därför $40^\circ C + 0,91\vartheta_{\infty N}$

6(2) a) $\alpha = 80/150 = 0,53$

b) Spänningsekvationen: $U_A = R_A I_A + E \Rightarrow 80V = R_A \cdot 2A + 0,09 \cdot 750V$ ger $R_A = 6,25\Omega$

c) $U_A = R_A I_A + E = 6,25\Omega \cdot 2A + 0,09 \cdot 1,7 \cdot 750 = 127V$

$\alpha = 127/150 = 0,85$

d) $U_A = R_A I_A + E \Rightarrow 6,25\Omega \cdot I_A + 0,09 \cdot (1,7 \cdot 750 - 20) = 127V$

$I_A = 2,29A$

$2,29/2 = 1,14$ strömmen kan öka med högst 14% och därmed kan även momentet öka med högst 14%

7(2)

```
int main( void )
{
    init_mik;

    init_pin( pc0, "out" );
    init_pin( pc1, "out" );
    init_pin( pc2, "in" );

    state = 0;
    duty_cycle = 50;
    PWM0( duty_cycle );           // Börja med stoppad motor

    while( 1 )
    {
        knapp = GET_BIT( pc2 );

        switch( state )
        {
            case 0:                // STOP
                CLR_BIT( pc0 );    // Tänd röd
                SET_BIT( pc1 );    // Släck grön
                if( knapp == 0 )
                {
                    state = 1;
                }
                break;

            case 1:                // START
                CLR_BIT( pc1 );    // Tänd grön
                while( duty_cycle < 100 )
                {
                    duty_cycle = duty_cycle + 10;
                    PWM0( duty_cycle );
                    Delay( 1000 );
                }
                if( knapp == 1 )
                {
                    state = 2;
                }
                break;

            case 2:                // RUN
                SET_BIT( pc0 );    // Släck röd
                if( knapp == 0 )
                {
                    state = 3;
                }
                break;
        }
    }
}
```

```

case 3: // BRAKE
  CLR_BIT( pc0 ); // Tänd röd
  while( duty_cycle > 50 )
  {
    duty_cycle = duty_cycle - 10;
    PWM0( duty_cycle );
    Delay( 1000 );
  }
  if( knapp == 1 )
  {
    state = 0;
  }
  break;
}
}
}

```

8(2)

a) $s = v \cdot t$ ger $60,73 \text{ km} = 137 \text{ km/h} \cdot t$ ger $t = 0,4465 \text{ h}$

$$W = P \cdot t = 22,6 \text{ kW} \cdot 0,4465 \text{ h} = 10,1 \text{ kWh}$$

b) $P = U \cdot I = 94,2 \text{ V} \cdot I = 22,6 \text{ kW}$ ger $I = 240 \text{ A}$.

c) $E - R_k I - U = 0$ ger $99 \text{ V} - R_k \cdot 240 \text{ A} - 94,2 \text{ V} = 0$ ger $R_k = 20 \text{ m}\Omega$

d) Från batteriet tas 10,1 kWh och dessutom blir det lite förluster i batteriet (dess inre resistans). Dessa effektförluster blir $P_f = R_k \cdot I^2 = 0,02 \cdot 240^2 = 1152 \text{ W}$ som under loppet ger energiförlusten $W_f = P_f \cdot t = 1,15 \text{ kW} \cdot 0,4465 \text{ h} = 0,51 \text{ kWh}$

Total minskning blir $10,1 \text{ kWh} + 0,51 \text{ kWh} = 10,6 \text{ kWh}$.

Kvar bör finnas: $11,88 \text{ kWh} - 10,6 \text{ kWh} = 1,27 \text{ kWh}$ (ca 10%, lite marginal ska man ha, men inte för stor)

9(3)

a) $M = J \frac{d\omega}{dt} = (3,1 + 34) \cdot 10^{-4} \cdot \frac{314}{0,5} = 2,33 \text{ Nm}$

$$I = \frac{2,33}{1,65} = 1,41 \text{ A}$$

inga problem med strömmen

b) I början är varvtalet noll och då finns bara det resistiva spänningsfallet

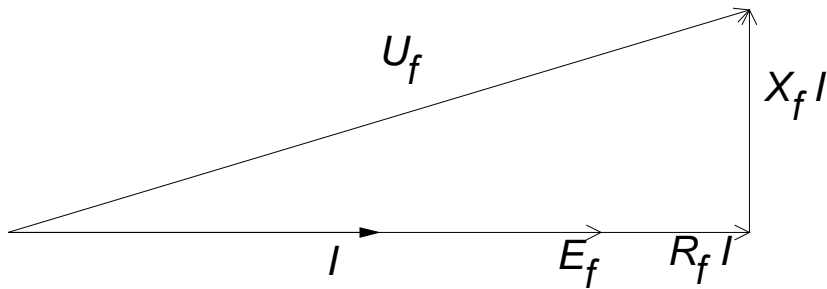
$$\frac{R}{2} I = \frac{6,3}{2} \cdot 1,41 = 4,45 \text{ V} \quad U_H = \sqrt{3} \cdot 4,45 \text{ V} = 7,7 \text{ V}$$

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

$$\omega_{\text{el}} \cdot \frac{L}{2} I = 942 \cdot \frac{35 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 1,41 = 23,3 \text{ V}$$

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

$$U_f = \sqrt{(168 + 4,45)^2 + 23,3^2} = 174 \text{ V}$$



$$U_H = \sqrt{3} \cdot 174 \text{ V} = 301 \text{ V} \text{ går bra då, vi har tillgång till } 400 \text{ V.}$$

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

e) Eftersom strömmen är noll så blir $U_f = E_f$. E_f vid 3000 varv per minut är beräknat i

c) till 168 V och motsvarar en klämspänning (huvudspänning) på

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

f) 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. E_f får samma tecken, rotationsriktningen är ju positiv:

$$U_f = \sqrt{(168 - 4,45)^2 + (-23,3)^2} = 165 \text{ V}$$

10(2)

a) Oavsett om någon trycker på Upp eller Kp2 skall motorn styras på samma sätt och därför kan de slås ihop till en ny insignal, uppåt.

		sp2 sp1					
		00	01	11	10		
uppåt	nedåt	0	0	Φ	0		
	00	0	0	Φ	0		
01	00	0	0	Φ	0		
	01	0	0	Φ	0		
11	00	0	0	Φ	0		
	01	0	0	Φ	0		
10	00	1	1	Φ	0		
	01	1	1	Φ	0		

Motor upp

b)

		sp2 sp1					
		00	01	11	10		
uppåt	nedåt	0	0	Φ	0		
	00	0	0	Φ	0		
01	00	1	0	Φ	1		
	01	1	0	Φ	1		
11	00	1	0	Φ	0		
	01	1	0	Φ	0		
10	00	0	0	Φ	0		
	01	0	0	Φ	0		

Motor ner

c)

Hopt

agning av de två ettorna ger: $Motor_upp = uppåt \cdot \overline{nedåt} \cdot sp2$

