

Inlämningstid	1
Kl:	

ELEKTROTEKNIK

MASKINKONSTRUKTION

KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2011-01-10

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 delas ut kl 18:00.

Tentamensresultatet anslås 2011-01-31

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	11

Σ Poäng

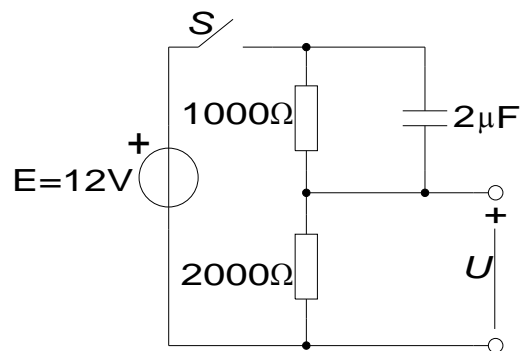
- 1(2) Vid en laboration med en elektromagnet vill man uppnå största möjliga ström i magnetspolen, vars resistans är ca $0,1\Omega$. Som spänningskälla tänker man använda två bilbatterier. Man räknar med att dessa har $E_K = 13\text{ V}$ och $R_K = 0,05\ \Omega$. Man funderar på om man ska koppla batterierna i serie eller i parallell och vill därför beräkna hur stor ström man får i de båda fallen. Genomför dessa beräkningar. Försumma ledningsresistanserna.
- 2(2) På skroten hittar Linus en fläkt märkt "230 VAC / $\cos\varphi=0,87$ / 50 Hz". Då han blivit intresserad av reaktiva kretsar roar han sig med att beräkna fläktens parametrar.
- Linus kopplar fläkten till 230 V och mäter upp strömmen till 100 mA.
Beräkna fläktens aktiva effektförbrukning
 - Rita en RL-parallellmodell av fläkten samt ett visardiagram och beräkna R och L.
 - Linus har hört talas om att man kan "faskompensera" en induktiv last med en parallellkopplad kondensator, så att lasten endast drar aktiv ström från nätet.
Beräkna kapacitansen för en sådan kondensator.

3(1)

I vidstående krets är E en likspänningskälla på 12 V.

Vid tidpunkten $t = 0$ bryts strömbrytaren S efter att varit sluten länge (tillslagen).

- Vad är spänningen U direkt före $t=0$?
- Vad blir spänningen U direkt efter $t=0$?



- 4(2) En likströmsmotor av typ 4 enligt nedanstående tabell ska användas som drivmotor för en kolvpump. Motorn ska matas av en källa med variabel spänning.

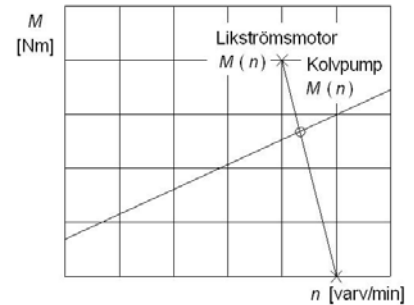
Data för en permanentmagnetiserad likströmsmotor.

Alla uppgifter gäller vid märkspänningen 170 V.

Typ	Vid märklast		I tomgång
	Uteff	Ström	Varvtal
4	0,75 kW	5,5 A	2000 varv/minut

Du ska beräkna *motorns varvtal* [varv/minut] när den matas med 110 V

a) i tomgång.



b) när den arbetar med märkström.

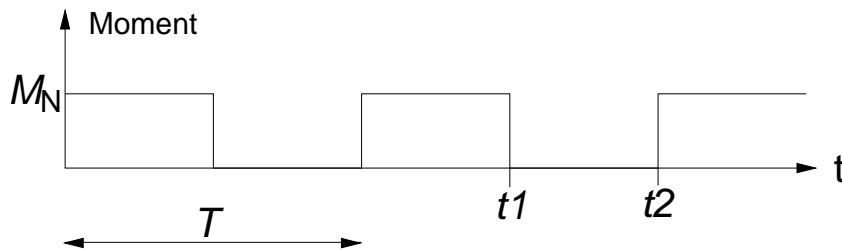
c) när den belastas med en last vars moment, oberoende av varvtalet, är 1,6 Nm.

d) när den belastas med en kolvpump vars moment är $M_d = 0,5 + 2 \cdot 10^{-3} \cdot n$ Nm, där n är varvtalet i varv/minut.

5(2)

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

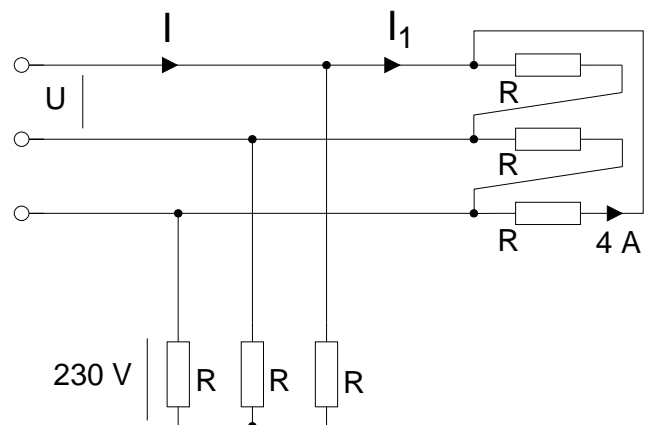
a) Motorn belastas med ett periodiskt intermitterent moment enligt nedan. Periodtiden $T = 1\text{ s}$. Omgivningstemperaturen är $60\text{ }^\circ\text{C}$. Beräkna lindningstemperaturen vid tidpunkterna t_1 och t_2 .



b) Periodtiden ökas till $T = 200$ minuter. Omgivningstemperaturen är fortfarande $60\text{ }^\circ\text{C}$. Beräkna lindningstemperaturen vid tidpunkterna t_1 och t_2 .

6(2) Samtliga impedanselement är rena resistanser och matningsspänningen är trefasig och symmetrisk. Samtliga R är lika stora.

Beräkna U samt I_1 och I .



7(2)

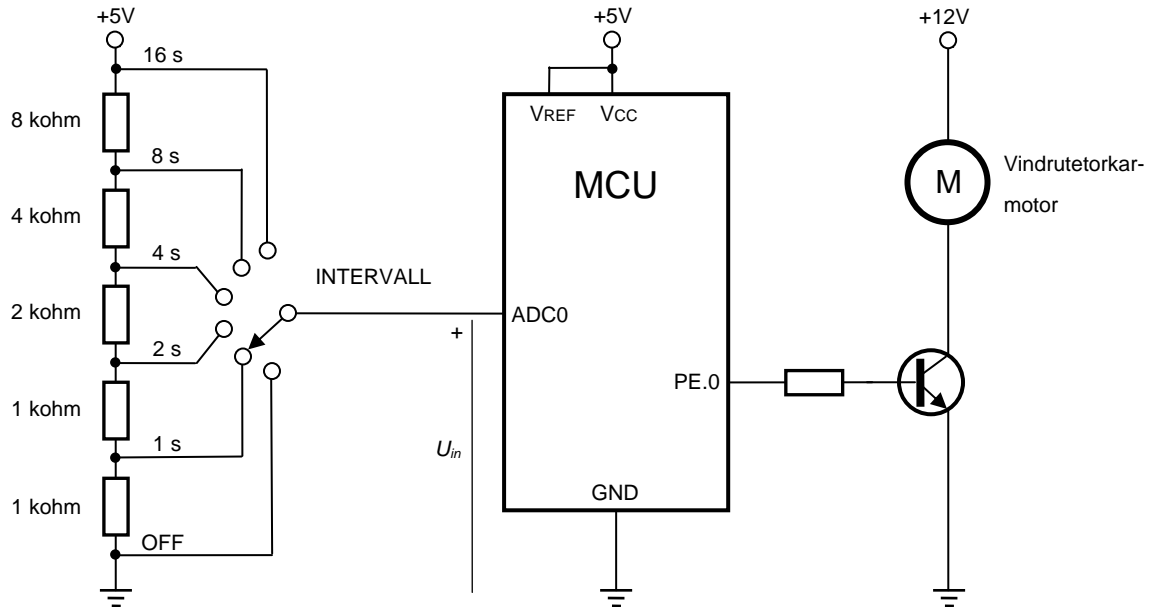
Sanningstabellen nedan gäller för en kombinatorisk funktion som avkodar *udda paritet*, vilket innebär att om antalet ettor på en rad är udda kommer p att bli 1. Denna funktion, och inversfunktionen *jämn paritet*, används för att upptäcka bitfel vid t ex dataöverföringar.

a	b	c	p
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Ange transmissionsfunktionen för p .

8(2)

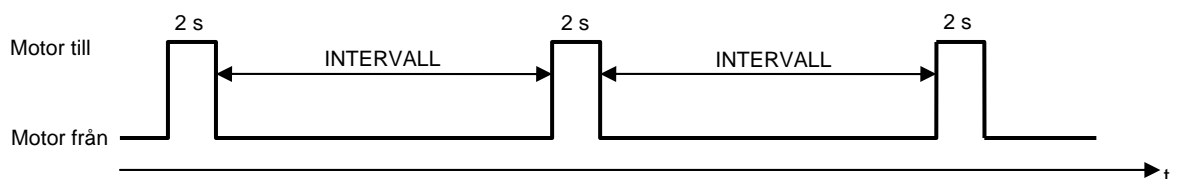
Osquldass ljusgula VW Karmann Ghia från 1968 har ingen intervalltorkare så hon bygger en strykrets för detta, enligt schemat nedan.



a) Beräkna inspänningen U_{in} till AD-omvandlaren då intervallomkopplaren står i läget 1 sekunder, som i schemat ovan. (AD-omvandlarens ingång antas vara mycket höghögig.)

b) AD-omvandlaren använder 10 bitars upplösning och referensspänningen 5 V. Beräkna det tal som blir resultatet av omvandlingen av inspänningen i a).

c) Vindrutetorkarna gör ett svep på 2 sekunder och därefter väntar man i så många sekunder som intervallomkopplarens läge anger, innan nästa svep. I läge "OFF" körs inte vindrutetorkarna alls.



Skriv ett program som läser av intervallomkopplarens läge och styr vindrutetorkarmotorn enligt tidsdiagrammet ovan. (Man klarar det med max tio programrader.)

```
int main(void)
{
    int x, t;

    init_met();

    /* Initiera portpinnen till motorstyrningen här!*/
```

```

while(1)
{

}
}

```

9(1) En elmotor driver en mekanisk last vid vartalet 2500 varv/minut, se figuren. Stömmen uppmäts till 5A. Elmotorn är en 6 polig PM- synkronmotor.

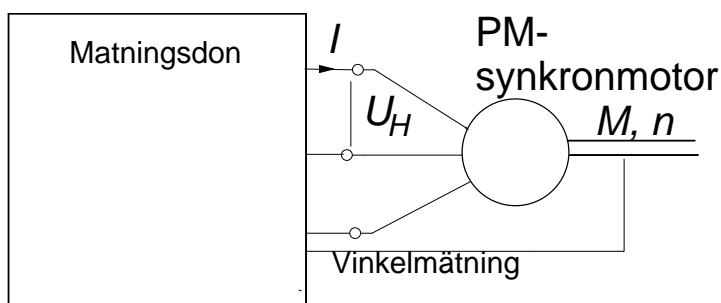
Vi har följande data för motorn:

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

Winding inductance Phase-Phase 24 mH

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

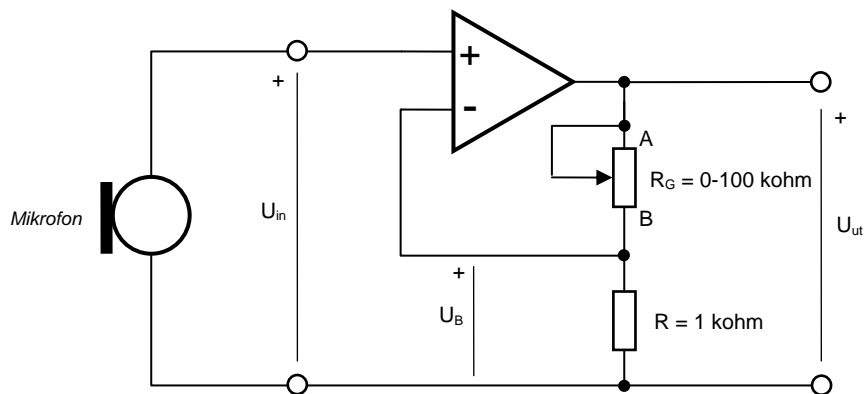
Voltage constant $K_{E_{rms}} = 112 \text{ mVmin}$



a) Beräkna axelmomentet

b) Beräkna förlusterna i lindningen. Varför ökar dessa då lindningen blir varmare?

10(2) I en mikrofonförstärkare kan man ställa in önskad förstärkning med en linjär vridpotentiometer, R_G .

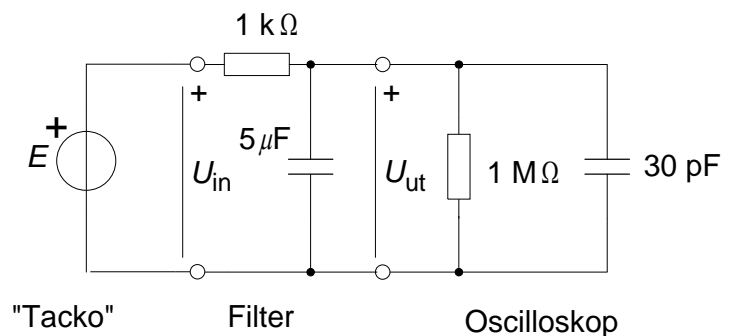


- Potentiometern ställs i sitt mittläge. Beräkna förstärkningen i detta läge. (Operationsförstärkaren antas vara ideal.)
- Potentiometern vrids till ett ändläge för att ge maximal förstärkning. Är det läge A eller B?
- Förstärkningen är inställd på max och Carola vrålar i mikrofonen så att den alstrar en spänning med momentanvärdet 60 mV. Beräkna värdet av U_{ut} vid denna inspanning om operationsförstärkaren matas med ± 5 V och i övrigt är ideal.
- Potentiometern vrids in så att förstärkningen blir 10 ggr. Bestäm spänningen U_B uttryckt i U_{ut} .

11(2)

En verktygsmaskin var försedd med en takometergenerator ("Tacko" i figuren), en likspänningsgenerator, som gav en mot varvtalet proportionell likspänning. Tyvärr förekommer även en överlagrad växelspänning. Spänningen och varvtalet skall studeras med en scopemeter (Oscilloskop i figuren). För att få en "snyggare" bild på scopemetern som anslöts till generatoren tänkte man koppla ett enkelt RC-filter av lågpasstyp mellan denna och oscilloskopet. (Filtret skulle alltså "befria" takometerspänningen från den överlagrade växelspänningen.)

Man valde $R = 1 \text{ k}\Omega$ och $C = 5 \mu\text{F}$. Oscilloskopets inimpedans var $1 \text{ M}\Omega$ i parallell med 30 pF . Takogeneratorns inre impedans var rent resistiv och $\ll 1 \text{ k}\Omega$.



Varvtalet varierade mellan 100 r/min och 1000 r/min. Frekvensen hos den överlagrade växelspanningen, som var i stort sett sinusformad, var direkt proportionell mot varvtalet och är 15 Hz vid 100 r/min (och 150 Hz vid 1000 varv/minut).

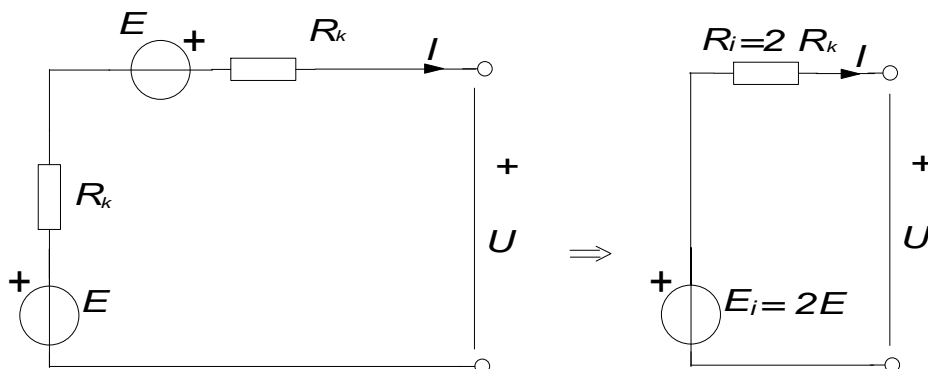
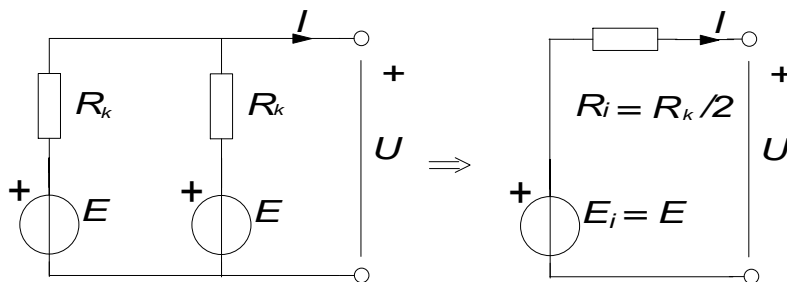
- a) Beräkna maximala värdet för $\frac{U_{\text{ut}}}{U_{\text{in}}}$ för växelspanningskomponenten om scopemetern **inte** är inkopplad.
- b) Är filtret bra dimensionerat?
- c) Påverkas värdet i a) nämnvärt om scopemetern kopplas in?

SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK

Elektroteknik MF1016 2011-01-10

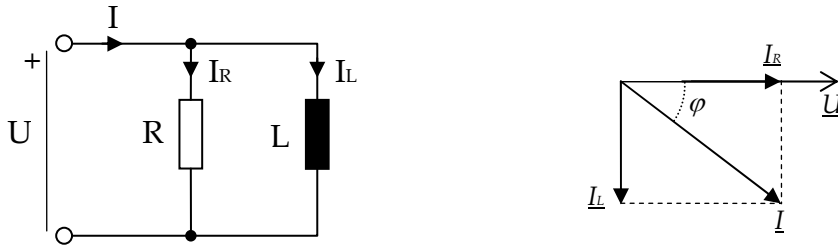
1(2) Vid parallellkoppling gäller: $E = I \left(\frac{R_K}{2} + 0,1 \right) = I \left(\frac{0,05}{2} + 0,1 \right)$, d v s $I = \frac{13}{0,125} \approx 100 \text{ A}$

Vid seriekoppling gäller: $2E = I(2R_K + 0,1) = (2 \cdot 0,05 + 0,1)$, d v s $I = \frac{26}{0,2} = 130 \text{ A}$



2(2) a) $P = UI \cos \varphi = 230 \cdot 0,1 \cdot 0,87 = \underline{20W}$

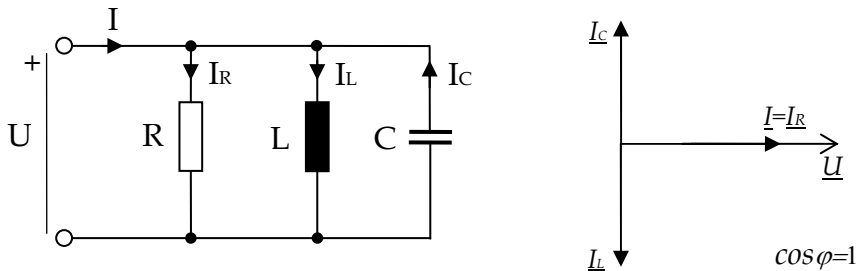
- b) Då spänningen U är gemensam för R och L väljes den som riktfas.
Vi vet också att R i kombination med L alltid ger en positiv fasvinkel, dvs u kommer före i .



$$I_R = I \cos \varphi = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I \cos \varphi} = \frac{230}{0,1 \cdot 0,87} = \underline{2644 \Omega}$$

$$I_L = I \sin \varphi = \frac{U}{\omega L} \Rightarrow L = \frac{U}{\omega \cdot I \sin \varphi} = \frac{230}{2\pi 50 \cdot 0,1 \cdot 0,49} = \underline{14,9H}$$

- c) För att motverka fläktens induktiva strömkomponent skapar man en lika stor motriktad kapacitiv ström.



$$I_L = I_C \Rightarrow \frac{U}{\omega L} = \frac{U}{1/\omega C} \Rightarrow C = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi 50)^2 \cdot 14,9} = 6,8 \cdot 10^{-7} = \underline{680nF}$$

3(1)

- a) När S har varit sluten länge blir kondensatorn fullt uppladdad och leder ej ström

(avbrott). $12V = I \cdot (1000\Omega + 2000\Omega) \Rightarrow I = \frac{12V}{3000\Omega} = 4 \cdot 10^{-3} A$ då

$$U = I \cdot R = 4 \cdot 10^{-3} A \cdot 2000\Omega = 8V$$

b) $I = 0A, U = R \cdot I = 2000\Omega \cdot 0A = 0V$

Strax före $t = 0$ är kondensatorn laddad till $12V - 8V = 4V$, och när S bryts kommer i första ögonblicket spänningen över kondensatorn att vara $4V$, den kan ju inte ändras språngvis. Strömmen genom kondensator och 1000Ω motståndet är dock ej noll.

4(2) a) Med Krichhoffs spänninglag fås spänningsekvationen $U_A = R_A \cdot I_A + K_2 \Phi \cdot \omega$

$$\text{I tomgång } M = 0 \Rightarrow I_A = 0 \Rightarrow U_A = E = K_2 \Phi \cdot \omega = K_1 \Phi \cdot n$$

$$\text{vid märkspänning: } U_A = K_1 \Phi \cdot n \Rightarrow 170V = K_1 \Phi \cdot 2493 \frac{\text{varv}}{\text{min}} \Rightarrow$$

$$K_1 \Phi = \frac{170}{2493} \approx 0,068 \frac{\text{V} \cdot \text{min}}{\text{varv}}$$

$$\text{vid spänning } 110V \text{ i tomgång: } U_A = K_1 \Phi \cdot n \Rightarrow$$

$$110V = 0,068 \frac{\text{V} \cdot \text{min}}{\text{varv}} \cdot n \Rightarrow n \approx 1610 \frac{\text{varv}}{\text{min}}$$

b) Vid märkdrift: $U_A = R_A \cdot I_A + K_1 \Phi \cdot n \Rightarrow$

$$170V = R_A \cdot 5,5A + 0,068 \frac{\text{V} \cdot \text{min}}{\text{varv}} \cdot 2000 \frac{\text{varv}}{\text{min}} \Rightarrow R_A \approx 6,1\Omega$$

När motorn belastar med märkstörmen $I_A = 5,5A$: $U_A = R_A \cdot I_A + K_1 \Phi \cdot n \Rightarrow$

$$110V = 6,1\Omega \cdot 5,5A + 0,068 \frac{\text{V} \cdot \text{min}}{\text{varv}} \cdot n \Rightarrow n \approx 1120 \frac{\text{varv}}{\text{min}}$$

c) $P_N = M_N \cdot \omega_N$ och $M_N = K_2 \Phi \cdot I_N \Rightarrow$

$$K_2 \Phi = \frac{M_N}{I_N} = \frac{P_N}{\omega_N \cdot I_N} = \frac{P_N \cdot 60}{2\pi \cdot n_N \cdot I_N} = \frac{750W \cdot 60}{2\pi \cdot 2000 \frac{\text{varv}}{\text{min}} \cdot 5,5A} \approx 0,65 \frac{\text{Nm}}{\text{A}}$$

$$U_A = R_A \cdot I_A + K_1 \Phi \cdot n \text{ och } M = K_2 \Phi \cdot I \Rightarrow U_A = R_A \cdot \frac{M}{K_2 \Phi} + K_1 \Phi \cdot n \Rightarrow$$

$$110V = 6,1\Omega \cdot \frac{1,6\text{Nm}}{0,65 \frac{\text{Nm}}{\text{A}}} + 0,068 \frac{\text{V} \cdot \text{min}}{\text{varv}} \cdot n \Rightarrow n \approx 1390 \frac{\text{varv}}{\text{min}}$$

d) $U_A = R_A \cdot I_A + K_1 \Phi \cdot n$ och $M = K_2 \Phi \cdot I \Rightarrow U_A = R_A \cdot \frac{M}{K_2 \Phi} + K_1 \Phi \cdot n \Rightarrow$

$$110V = 6,1\Omega \cdot \frac{0,5 + 2 \cdot 10^{-3} \cdot n \text{Nm}}{0,65 \frac{\text{Nm}}{\text{A}}} + 0,068 \frac{\text{V} \cdot \text{min}}{\text{varv}} \cdot n \Rightarrow n \approx 1210 \frac{\text{varv}}{\text{min}}$$

5(2)

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

Förlusterna i märkdrift är $P_{fN} = 3RI_N^2$

Motorns termiska resistans blir: $\vartheta_{\text{öN}} = R_{th} \cdot P_{fN} \Rightarrow R_{th} = \frac{\vartheta_{\text{öN}}}{3RI_N^2}$

Förlusterna under belastningsperioden blir $P_1 = P_{fN} = 3RI_N^2$

Förlusterna under tomgångsperioden blir $P_2 = 0$

Medelvärdet av förlusteffekten blir $P_{medel} = P_1 / 2 = 3RI_N^2 / 2$ eftersom delperioderna är lika stora.

Medelvärdet av övertemperaturen bestäms av förlusteffektens medelvärde.

$$\theta_{ömedel} = R_{th} \cdot P_{fmedel} = \frac{\theta_{ÖN}}{3RI_N^2} \cdot \frac{3RI_N^2}{2} = 50^\circ\text{C} .$$

Denna temperatur varierar inte eftersom termiska tidkonstanten är mycket större än periodtiden för belastningscykeln.

Lindningstemperaturen blir $50^\circ\text{C} + 60^\circ\text{C} = 110^\circ\text{C}$ både vid t_1 och t_2 .

Uppvärmningen bestäms av förlusteffekten som ökar med kvadraten på strömmen. Förlusteffekten blir därför större för en pulsad ström med samma medelvärde som en konstant ström.

b) Vid tidpunkten t_1 har motorn varit belastad med märkmoment i en tidsperiod som är 10 ggr större än tidkonstanten. Motorn har därför antagit sin sluttemperatur som är $100^\circ\text{C} + 60^\circ\text{C} = 160^\circ\text{C}$. Vid tidpunkten t_2 har motorn varit obelastad i en tidsperiod som är 10 ggr större än tidkonstanten och har därför svalnat till omgivningstemperaturen 60°C . Driftcykeln sätter nog ner motorns livslängd då den blir för varm under långa tider.

6(2) Fasspänningen är 230 V . Då är huvudspänningen $U = 230 \cdot \sqrt{3} \approx 400\text{ V}$. Grenströmmen hos den D-kopplade lasten är 4 A . Motsvarande linjeström är $I_1 = 4 \cdot \sqrt{3} = 6,9\text{ A}$. $R = 400/4 = 100\ \Omega$. Linjeströmmen är till Y kopplingen är $230/100 = 2,3\text{ A}$. $I = 6,9 + 2,3 = 9,2\text{ A}$.

$$7(2) \quad p = \overline{abc} + \overline{abc} + \overline{abc} + abc = \overline{a}(\overline{bc} + bc) + a(\overline{bc} + bc)$$

I detta fall är man inte hjälpt av ett Karnaughdiagram då man inte kan göra några sammantagningar. Om man vill förenkla, vilket är svårt, återstår då att använda boolesk algebra och försöka identifiera förenklingar:

I detta uttryck känner vi igen XOR-operatoren: $(\overline{xy} + x\overline{y}) = x \oplus y$

Den andra termen kan vi testa att förenkla genom att invertera den två gånger, tillämpa de Morgans teorem och förlänga:

$$\overline{\overline{\overline{bc} + bc}} = \overline{(b+c)(\overline{b+c})} = \overline{b\overline{b} + b\overline{c} + c\overline{b} + c\overline{c}} = \overline{bc + \overline{bc}} \quad \text{ty } x\overline{x} = 0$$

Vi finner att den andra termen är en inverterad XOR. Sammantaget får vi:

$$p = \overline{a}(b \oplus c) + a(\overline{b \oplus c}) = a \oplus (b \oplus c) \quad \text{eller, genom att tillämpa den associativa lagen:}$$

$$p = (a \oplus b) \oplus c$$

8(2)

$$a) I = \frac{U}{R} = \frac{5V}{8k\Omega + 4k\Omega + 2k\Omega + 1k\Omega + 1k\Omega} = 0,312mA \Rightarrow U_{in} = 1k\Omega \cdot 0,312mA = \underline{312mV}$$

$$b) t = \frac{U_{in}}{V_{REF}} (2^{10} - 1) = \frac{312mV}{5V} \cdot 1023 = \underline{63,94}$$

c)

```
int main(void)
{
    int x, t;

    init_met();

    /* Initiera portpinnen till motorstyrningen här!*/

    init_pe(0, "out");

    while(1)
    {
        x = GET_AD(0); // Läs in omkopplarens värde

        if (x > 20) // x=0 är OFF men det kan vara bra
        { // med lite marginal pga mätbrus
            SET_BIT(pe,0); // Slå till motorn
            Delay(2000); // Vänta 2 sekunder
            CLR_BIT(pe,0); // Slå av motorn

            t = (x/1023)*16000; // Intervalltiden beräknas i ms
            Delay(t); // Vänta t ms
        }
        else
        {
            CLR_BIT(pe,0); // Slå av motorn
        }
    }
}
```

9(1)

$$a) M = 1,85 \cdot 5 = 9,25Nm$$

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

$$P_f = 3 \cdot R_{fas} \cdot I^2 = 3 \cdot 1,95 \cdot 5^2 = 146W$$

Resistansen ökar med ökande temperatur.

10(2)

a) I mittläget har R_G värdet 50 Kohm.

Ideal operationsförstärkare ger: $U_A - U_B = 0 \Rightarrow U_B = U_{in}$ samt $R_{in} = \infty \Rightarrow I_- = 0$

$$\Rightarrow \frac{U_{ut}}{R_G + R} = \frac{U_{in}}{R} \Rightarrow \frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{R_G + R}{R} = 1 + \frac{R_G}{R} = 1 + \frac{50k\Omega}{1k\Omega} = \underline{51ggr}$$

b) Den största förstärkningen erhålls då man återkopplar en liten del av utspänningen till ingången, dvs då potentiometerns löpare vrids till A.

c) Utspänningen blir:

$$U_{ut} = U_{in} \left(1 + \frac{R_G}{R} \right) = 0,06 \left(1 + \frac{100k}{1k} \right) = 6,06V - \text{men en operationsförstärkare kan}$$

inte skapa en utspänning som är högre än dess matningsspänning och kommer därför att klippa utsignalen vid 5V, vilket medför att det låter hemskt illa om Carola.

d) Förstärkningen 10 ggr ger det inställda värdet på R_G :

$$10 = 1 + \frac{R_G}{1k} \Rightarrow 10 - 1 = \frac{R_G}{1k} \Rightarrow R_G = 9k\Omega$$

Spänningsdelning mellan R och R_G ger så:

$$U_B = U_{ut} \frac{R}{R + R_G} = U_{ut} \frac{1k}{1k + 9k} = \frac{U_{ut}}{10}$$

11(2)

$$a) \frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}; \frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6})^2}}$$

Maximalt då ω minimalt $\omega = 2\pi \cdot 15$ rad/s ger $\frac{U_{ut}}{U_{in}} = 0,9$

b) Nej, det återstår ju hela 90% av växelspänningen (störningen).

(Alternativt: Ja det får duga trots att 90% återstår. Vi vill inte filtrera mer än nödvändigt för då kan vi inte se snabba förändringar i "nyttosignalen" i detta fall varvtalet.)

c) Om scopemetern kopplas in blir 30pF parallellkopplat med 5 μ F (de ska summeras vid parallellkoppling och då kan 30 pF försummas). Inresistansen på 1M Ω kan också försummas då den skall parallellkopplas med reaktansen som i det aktuella frekvensområdet är $\max \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot 15 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} \approx 2120 \Omega \ll 1 M\Omega$.