

ELEKTROTEKNIK

MASKINKONSTRUKTION

KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2014-06-05

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.

Tentamensresultatet anslås 2014-06-26

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 din signatur på varje sida.

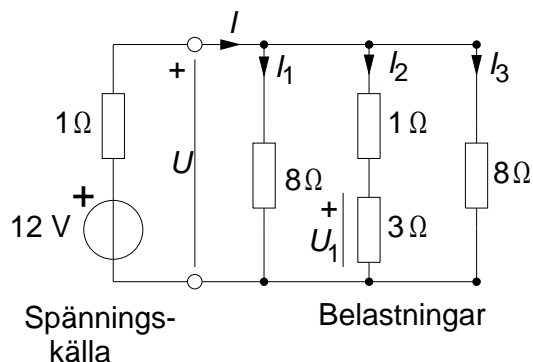
1(2)

a) Beräkna den resulterande resistansen R_{RES} för de tre parallellkopplade grenarna (till höger om anslutningsklämmorna).

b) Beräkna strömmen I och spänningen U .

c) Beräkna de tre belastningsströmmarna I_1 , I_2 och I_3

d) Beräkna spänningen U_1 över $3\ \Omega$ motståndet.



2(2)

Strömbrytaren B i figuren har under lång tid varit sluten (som i figuren). Spänningskällan E ger en likspänning.

Vid en viss tidpunkten bryts strömbrytare B.

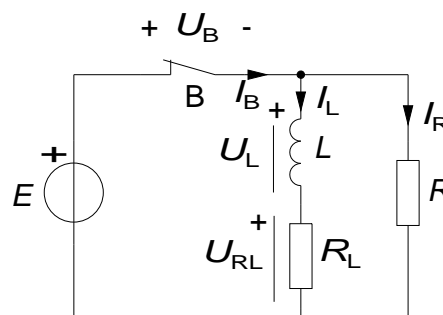
Utgå ifrån att

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

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

$$R_L = 10\ \Omega$$

$$R = 1000\ \Omega$$



a) Beräkna de tre strömmarna I_L , I_R och I_B omedelbart efter brytning av strömbrytaren.

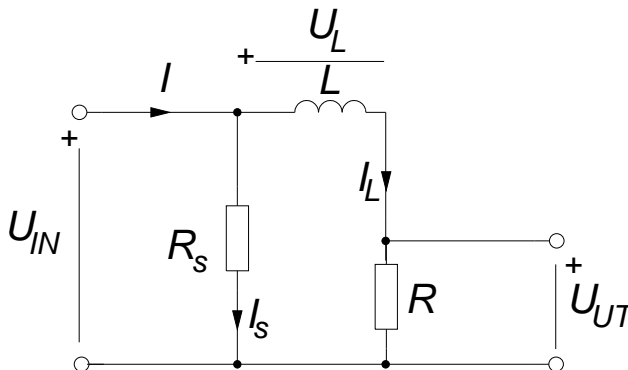
b) Beräkna spänningarna U_L och U_{RL} omedelbart efter brytning av strömbrytaren.

c) Beräkna de tre strömmarna I_L , I_R och I_B lång tid efter brytning av strömbrytaren.

d) Beräkna spänningarna U_L och U_{RL} lång tid efter brytning av strömbrytaren.

3(2)

En växelspänning med frekvensen 1 kHz ansluts på ingången till kretsen. På utgången uppmäts $U_{ut} = 5$ V. Induktansen i kretsen är $L = 10$ mH och motståndet $R = 50 \Omega$. Motståndet $R_S = 100 \Omega$.

a) Beräkna I_L .b) Beräkna U_L .c) Beräkna U_{IN} d) Beräkna I .

4(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 och medelströmmen från batteriet är 240 A. Vid belastning med 240 A sjunker batterispänningen till 94,2 V.

a) Beräkna batteriets inre resistans.

I det följande antas att batteriet hela tiden, under hela loppet, belastas med medelströmmen 240 A.

b) Beräkna effekten från batteriet.

c) Hur stor energi tas från batteriet under loppet.

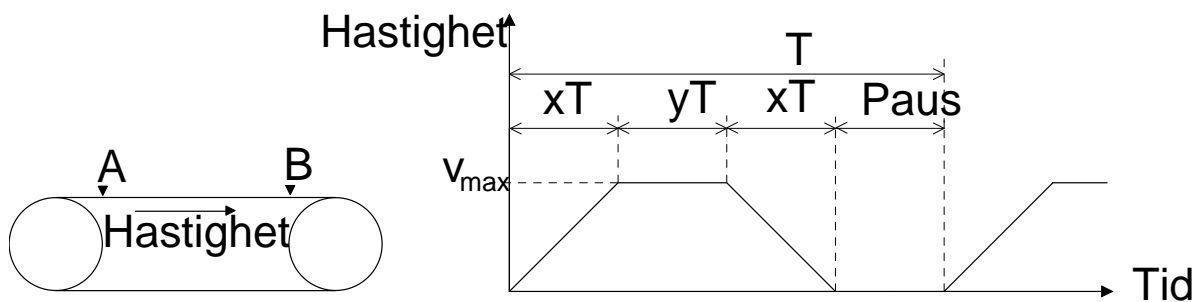
d) Hur mycket energi finns kvar i batteriet efter loppet om batteriet var fulladdat vid start?

5(1)

En permanentmagnetiserad likströmsmotor har märkmomentet 0,5 Nm. Märkdata gäller vid omgivningstemperaturen 40°C om inget annat anges. 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 under en lång tid innan den belastas igen. Under belastningsperioden ökar temperaturen, men motorlindningen blir inte för varm.

Kan motorn köras i korttidsdrift med momentet 0,7 Nm i en timme utan att bli för varm? Omgivningstemperaturen är 40°C.

6(2) En transportör drivs av en likströmsmotor, som matas av ett elektroniskt matningsdon. Anordningens funktionssätt kan beskrivas så här: Ett arbetsstycke som sätts ner vid A förflyttas till B, där det lyfts bort från bandet. Efter en kort paus då motorn står stilla placeras ett nytt, likadant, arbetsstycke på bandet och så vidare så länge anläggningen är i drift.



Motorns kylning kan därför anses vara oberoende av varvtalet och dess termiska tidkonstant är $\gg T$. Friktionsmomentet får försummas.

Övriga förutsättningar är följande.

- Omgivningstemperaturen är 40 °C.
- Förflyttningssträckan A → B är 1 m vilket motsvarar 10 varv.
- Arbetsstycket och anordningens tröghetsmoment är $J=0,026 \text{ kgm}^2 = 26 \text{ gm}^2$ vilket motsvarar en vikt på 102 kg. (utan motorn)

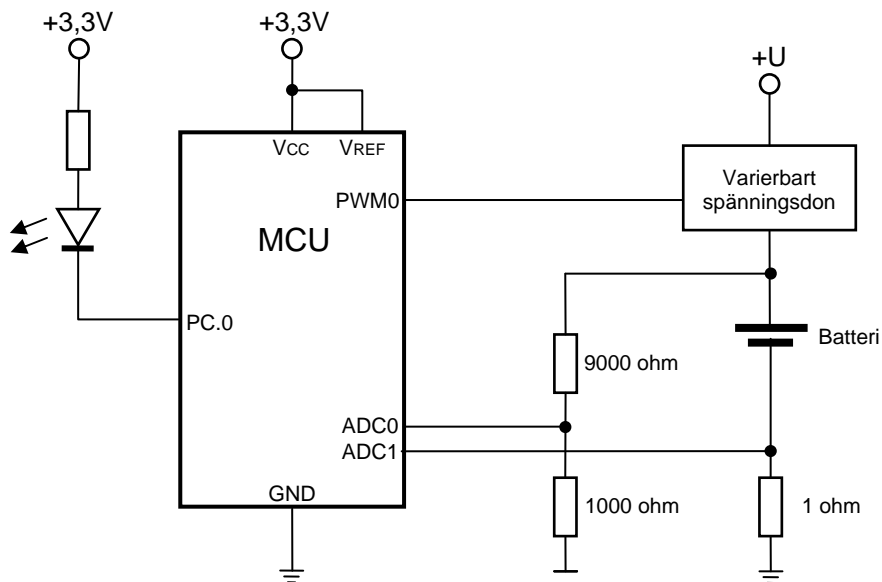
- Den totala tiden för en arbetscykel, inklusive pausen, ska vara $T = 1,5$ s.
- De båda dimensionslösa parametrarna x och y , som definieras i figuren, ska ha värdena $x = y = 0,25$

	Nr	J gm ²	M_N Nm	$K_2\Phi$ Nm/A	R_A Ω
a) Beräkna accelerationsmomentet, det vill säga momentet som krävs under tidsperioden $0-xT$ om motor 6 används.	1	1,10	2,0	0,22	1,25
	2	1,15	2,5	0,22	1,15
b) Beräkna ankarströmmen under tiden $0 - xT$ om motor nr 6 används.	3	1,20	3,0	0,23	1,00
	4	1,30	3,5	0,22	0,70
	5	1,40	4,0	0,20	0,40
c) Mellan vilka gränser varierar strömmen under driftcykeln?	6	1,55	4,7	0,21	0,36
	7	1,70	5,5	0,22	0,33
	8	2,00	6,5	0,24	0,29
d) Mellan vilka gränser varierar spänningen under driftcykeln?	9	2,30	8,0	0,34	0,45
	10	4,00	10,0	0,34	0,35
	11	7,70	12,0	0,34	0,25

7(2)

En batteriladdare har en MCU som bestämmer laddströmmen till ett batteri genom att variera utspänningen från ett spänningsdon med hjälp av en PWM signal. Denna utspänning är proportionell mot PWM signalens "duty cycle".

Laddningsspänningen mäts via ADC0 och laddningsströmmen via ADC1. AD-omvandlaren arbetar med 10 bitar och referensspänningen 3,3V.



Analysera programmet på sidan 10 och svara på nedanstående frågor.

- Beskriv, med egna ord, vad programmet gör i state == 0 och vad som får det att byta till state == 1.
- Beskriv, med egna ord, vad programmet gör i state == 1 och vad som får det att byta till state == 2.
- Beskriv vad programmet gör i state == 2.

```
int main(void)
{
    int state, i_bat, u_bat, duty_cycle;
    init_mik();
    init_pin( pc0, "out");
    SET_BIT( pc0 );

    state = 0;
    duty_cycle = 0;

    while (1)
    {
        u_bat = GET_AD(0);
        i_bat = GET_AD(1);

        switch ( state )
        {
            case 0 :
                if ( i_bat < ( 1023 * 3.0 / 3.3 ) )
                {
                    duty_cycle = duty_cycle + 1;
                }
                else
                {
                    duty_cycle = duty_cycle - 1;
                }
                if ( u_bat > ( 1023 * 1.74 / 3.3 ) )
                {
                    state = 1;
                }
                break;

            case 1 :
                if ( u_bat < ( 1023 * 1.44 / 3.3 ) )
                {
                    duty_cycle = duty_cycle + 1;
                }
                else
                {
                    duty_cycle = duty_cycle - 1;
                }
                if ( i_bat < ( 1023 * 0.1 / 3.3 ) )
                {
                    state = 2;
                }
                break;

            case 2 :
                CLR_BIT( pc0 );
                break;
        }
        PWM0( duty_cycle );
    }
}
```

8(2) I ett provrum för dieselmotordrivna reservelverk hade man en belastningsimpedans. Den bestod av tre, inbördes Y-kopplade, resistorer i parallell med tre, inbördes D-kopplade, kondensatorer. Resistorerna och kondensatorerna var inställbara, så att man kunde belasta elverken med önskad ström och effektfaktor. Man mätte generatorns ström, spänning och effekt.

Vid ett tillfälle läste man av $I_L = 20\text{A}$ $U_H = 395\text{V}$ $P = 11\text{ kW}$

Frekvensen var 50 Hz

Beräkna

a) Strömmen i var och en av belastningsresistanserna.

b) Strömmen i var och en av kondensatorerna.

c) Kapacitansen hos var och en av kondensatorerna.

d) Den resulterande belastningsimpedansen.

9(3)

I vårt laboratorium finns permanentmagnet servomotorer av fabrikat Kollmorgen SEIDEL Servoförstärkare av typ SERVOSTAR 600 1,5 A (Matningsdon). Den kan matas trefasigt med 400 V, men vi matar den enfasigt med 230 V.

6SM37L-4000

Torque constant $K_T = 0,96\text{ Nm/A}$

Voltage constant $K_E = 54\text{ mV/min}$

Rated Torque 1,2 Nm

Winding resistance Phase-Phase 15,5 ohm

Winding inductance Phase-Phase 30 mH

Rotor moment of inertia 1 kgcm².

Motor pole no. 6

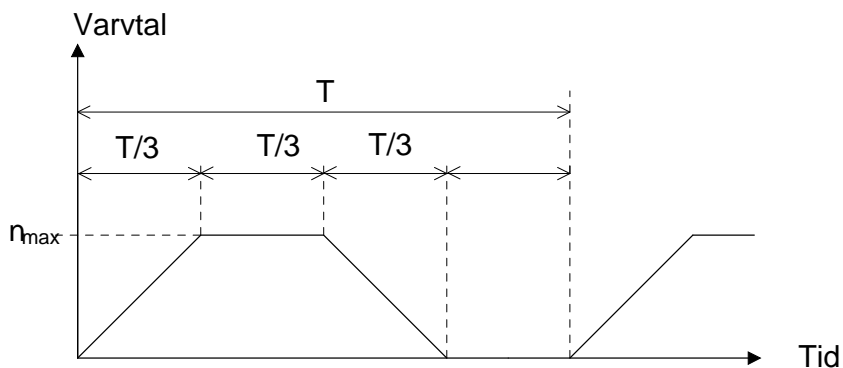
Thermal time constant 15 min

Weight standard 2,9 kg

a) Motorn driver en last med ett tröghetsmoment som är 3 ggr så stort som motorns eget. Friktionsmoment försummas. Lasten körs utan växel enligt nedanstående

varvtalsprofil. Beräkna spänning och strömbehovet. Räcker servoförstärkarens märkström och märkspänning? $n_{\max} = 6000$ varv/minut

$$T/3 = 0,3 \text{ s}$$



b) Beräkna motorns klämspänning i början av bromsförloppet.

c) Beräkna spänningskonstanten ur momentkonstanten K_T och jämför med K_E ovan.

10(2)

Figuren visar en OP-förstärkoppling.

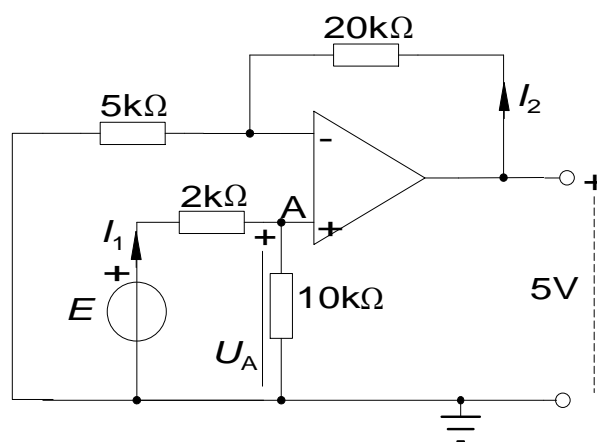
OP-förstärkaren kan betraktas som ideal.

a) Beräkna strömmen I_2

b) Beräkna spänningen U_A mellan A (+ingången) och jord.

c) Beräkna strömmen I_1

d) Beräkna spänningen E .



SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK

Elektroteknik MF1016

2014-06-05

1(2)

a) Enligt $\frac{1}{R_{RES}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ får vi $\frac{1}{R_{RES}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} = \frac{1}{2}$ alltså $R_{RES} = 2 \Omega$

Man kan alternativt först "slå ihop" de båda 8Ω resistanserna till en resistans på 4Ω (enl $R_{RES} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$) Därefter ger 4Ω i parallell med 4Ω ($1 \Omega + 3 \Omega$) den resulterande resistansen 2Ω .

b) Kretsen kan nu representeras med bredvid stående ekvivalenta schema.

Kirchhoffs spänningslag ger här:

$$12 - R_K I - R_{RES} I = 0, \text{ dvs } I = \frac{12}{1+2} = 4$$

(Lägg märke till att potentialen faller i strömmens riktning när man passerar en resistans.)

Spänningen U blir $R_{RES} \cdot I = 2 \cdot 4 = 8 \text{ V}$

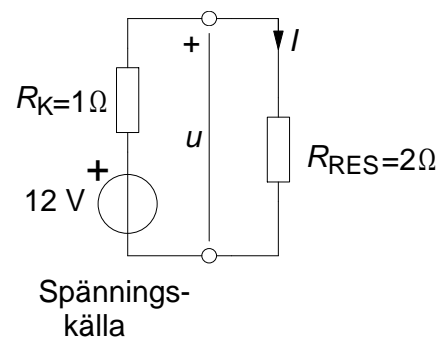
Man kan alternativt använda spänningsdelningslagen, som ger

$$U = 12 \frac{R_{RES}}{R_K + R_{RES}} = \frac{2}{1+2} 12 = 8 \text{ V}$$

c) Spänningen är $U = 8 \text{ V}$ över alla tre grenarna.

Ohms lag ger $I_1 = I_3 = \frac{8}{8} = 1 \text{ A}$ och $I_2 = \frac{8}{1+3} = 2 \text{ A}$

d) Ohms lag ger: $U_1 = 3 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 6 \text{ V}$



2(2)

För induktansen gäller $u_L = L \frac{di_L}{dt}$ efter lång 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. En momentan ändring av strömmen (= oändlig derivata) i_L är orimlig, det skulle ge upphov till en oändlig spänning.

a) Före brytning har strömbrytaren varit sluten lång tid och det flyter därför likström.

$$i_L = E / R_L = 12 / 10 = 1,2A \quad i_R = 12mA \quad i_B = i_L + i_R = 1,2A + 12mA = 1,212A$$

Efter brytningen ändras plötsligt i_B till noll, men i_L kan ju inte ändras språngvis och:

$$i_L = 1,2A, \quad i_B = 0, \quad i_B = i_L + i_R \Rightarrow i_R = 0 - 1,2A = -1,2A$$

b) Ohm lag ger $u_{RL} = 12V$ och Kirchhoffs lag ger:
 $u_{RL} + u_L - R \cdot i_R = 0 \Rightarrow u_L = -1200V - 12V = -1212V$ negativ spänning gör att strömmen i_L får negativ derivata och minskar

c) Som sagt strömmen minskar men minskningshastigheten avtar men tillslut blir den noll. Batteriet är fränkopplat och den lagrade energin i spolen har omvandlats till värme i resistanserna. $i_L = 0, i_B = 0, i_R = 0$

d) Efter lång tid är det likström och därför blir $u_L = 0$. Ohm lag ger $u_{RL} = 0$

3(2)

a) U_{UT} väljs till riktfas, reell.

$$\underline{I}_L = \frac{U_{UT}}{R} = \frac{5V}{50\Omega} = 0,1A$$

$$I_L = 0,1A$$

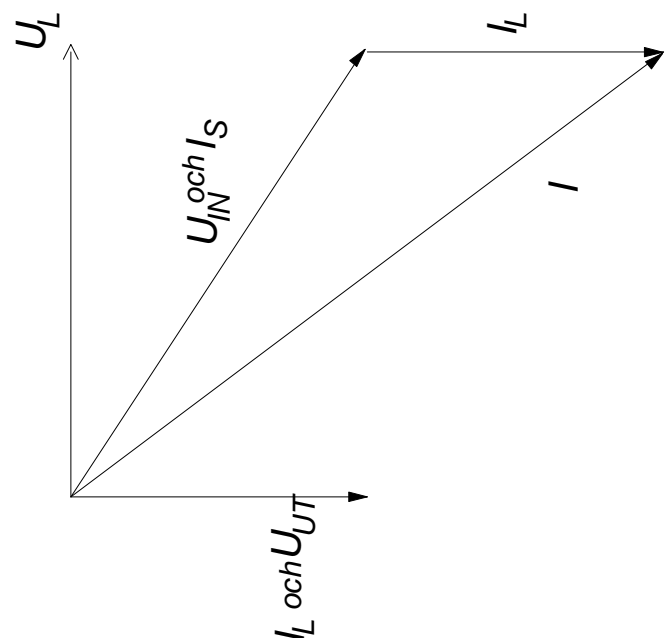
b)

$$\underline{U}_L = j\omega L \cdot \underline{I}_L = j2\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 = j6,3V$$

$$U_L = 6,2V$$

c) $\underline{U}_{IN} = \underline{U}_{UT} + \underline{U}_L = 5 + j6,3V$

$$U_{IN} = \sqrt{6,3^2 + 5^2} = 8,0V$$



d)

$$\underline{I}_S = \frac{\underline{U}_{IN}}{R_S} = (5 + j6,3) / 100 = (0,05 + j0,063)A$$

$$\underline{I} = \underline{I}_L + \underline{I}_S = 0,1 + 0,05 + j0,063 = (0,15 + j0,063) mA$$

$$I = \sqrt{0,063^2 + 0,15^2} = 0,16A$$

4(2)

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

$$b) P = U \cdot I = 94,2V \cdot 240A = 22,6kW$$

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

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

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

Total minskning blir 10,1 kWh+0,51 kWh= 10,6 kWh.

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

5(1)

Vid 1,4 ggr märkmoment är även strömmen 1,4 ggr märkström. De elektriska förlusterna är $R_A I_A^2$ och blir därför $1,4^2 = 2$ ggr (eller 1,96) så stora. Eftersom förlusterna blir dubbelt så stora blir även temperaturhöjningen, den så kallade slutövertemperaturen dubbel så stor: $\vartheta_{\infty} = 1,96\vartheta_{\infty N}$. När vi talar om tider som är så långa som 4 tidkonstanter har det transienta förloppet i praktiken klingat ut och vi har nått slutvärdet. "Transienberäkningen" behövs därför utan vi kan direkt säga att temperaturen är $2\vartheta_{\infty N} + 40^\circ C$ vilket är betydligt högre än $\vartheta_{\infty N} + 40^\circ C$.

Om man är nogräknad gör man transientberäkningen nedan och får mycket mer arbete utan nytta.

Temperaturhöjningen går från noll till $\vartheta_{\infty} = 1,96\vartheta_{\infty N}$ efter tillslag enligt:

$\vartheta_{\infty} = 1,96\vartheta_{\infty N} (1 - e^{-t/\tau})$ och efter en timme blir övertemperaturen:
 $\vartheta_{\infty} = 1,96\vartheta_{\infty N} (1 - e^{-60/15}) = 0,98 \cdot 1,96\vartheta_{\infty N} = 1,92\vartheta_{\infty N}$ och temperaturen i motorlindningen blir $1,92\vartheta_{\infty N} + 40^\circ C$ jämfört med den tillåtna $\vartheta_{\infty N} + 40^\circ C$ i märkdrift, alltså blir motorn för varm och kan skadas.

6(2)

$$a) \text{ sträckan: } 2\pi 10 = \frac{0,25 \cdot 1,5}{2} \omega_{\max} + 0,25 \cdot 1,5 \cdot \omega_{\max} + \frac{0,25 \cdot 1,5}{2} \omega_{\max}$$

$$\text{ger } \omega_{\max} = 83,8 \text{ rad/s}$$

accelerationen blir $\frac{d\omega_{\max}}{dt} = \frac{\omega_{\max}}{xT} = 223,4 \text{ rad} / \text{s}^2$

accelerationsmomentet blir $M_{acc} = J \frac{d\omega_{\max}}{dt} = (0,026 + 0,00155) \cdot 223 = 6,2 \text{ Nm}$

b) $M = K_2 \Phi \cdot I_A$ ger $I_A = 6,2 / 0,21 = 29 \text{ A}$

c) Den varierar mellan 29 A vid acceleration och -29 A vid retardation.

d) I slutet av accelerationsfasen är spänningen som störst och blir enligt spänningslagen $U_A = 0,36 \cdot 29 + 0,21 \cdot 83,8 = 28 \text{ V}$

I slutet av retardationsfasen är spänningen mest negativ.

$$U_A = 0,36 \cdot -29 + 0,21 \cdot 0 = -10 \text{ V}$$

Spänningen varierar mellan -10 V och 28 V.

7(2)

a) Programmet reglerar värdet på duty_cycle så att laddströmmen ligger på max 3,0 A. Då batterispänningen nått 14,4 V byts state till 1.

b) Programmet reglerar värdet på duty_cycle så att batterispänningen ligger på max 14,4 V. Då laddströmmen sjunkit till 0,1 A byts state till 2.

c) Laddningen är klar, duty_cycle sätts till 0 och lysdioden tänds. Programmet förblir i state == 2.

8(2)

Vi räknar per fas pga symmetri.

Vi tänker oss ett R parallellkopplat med ett C anslutet till fasspänningen. Strömmarna blir då linjeströmmar I_{LR} till R och I_{LC} till C. I_{LR} ligger i fas med fasspänningen och I_{LC} ligger fasvriden 90° i förhållande till fasspänningen, vilket gör att I_{LR} och I_{LC} ligger fasvridna 90° inbördes. Summan av dessa visar totala strömmen $I_L = 20 \text{ A}$ som är fasvriden φ mot fasspänningen. Rita gärna ett visardiagram om det underlättar.

$$P = 3U_F I_L \cos \varphi \text{ och } U_F = 395 \text{ V} / \sqrt{3} = 228 \text{ V ger } \cos \varphi = \frac{11000}{3 \cdot 228 \cdot 20} = 0,8$$

a) Strömmen genom belastningsresistanserna blir $I_{LR} = I_L \cos \varphi = 16 \text{ A}$

b) Linjeströmmen till kondensatorerna blir $I_{LC} = I_L \sin \varphi = 12 \text{ A}$. Men kondensatorerna är D-kopplade och därför flyter grenström genom dom. $I_{GC} = I_{LC} / \sqrt{3} = 6,9 \text{ A}$

c) "Ohms lag" för kondensatorer $U = \frac{1}{\omega C} \cdot I$ ger i detta sammanhang

$$C = \frac{6,9}{2\pi \cdot 50 \cdot 395} F = 55 \mu F$$

d) $U_F = Z \cdot I_L$ ger $Z = 228V / 20A = 11\Omega$

9(3)

$$a) M = J \frac{d\omega}{dt} = 4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{2\pi \cdot 100}{0,3} = 0,84 \text{ Nm}$$

$$I = \frac{0,84}{0,96} = 0,87 \text{ A inga problem med strömmen}$$

$$\frac{R}{2} I = \frac{15,5}{2} 0,87 = 6,76 \text{ V}$$

$$\omega_{el} = \omega \cdot \frac{6}{2} = 6\pi \cdot 100 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{el} \cdot \frac{L}{2} I = 6\pi \cdot 100 \cdot \frac{30 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 0,87 = 24,7 \text{ V}$$

$$E_F = 6000 \cdot 54 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3} = 187 \text{ V}$$

$$U_F = \sqrt{(187 + 6,76)^2 + 24,7^2} = 195 \text{ V}$$

$$U_H = \sqrt{3} \cdot 195 \text{ V} = 338 \text{ V går ej, vi har tillgång till 230 V.}$$

b)

Vid bromsning blir moment och därmed ström negativ.

$$U_F = \sqrt{(187 - 6,76)^2 + (-24,7)^2} = 182 \text{ V}$$

$$U_H = \sqrt{3} \cdot 182 \text{ V} = 315 \text{ V}$$

$$c) P_{mek} = 3 \cdot E_F \cdot I = M \cdot \omega = K_T \cdot I \cdot \omega \Rightarrow 3E_F = K_T \cdot \omega$$

$$E_F = \frac{K_T}{3} \cdot 2\pi f = \frac{K_T}{3} \cdot 2\pi \frac{n}{60} = 0,033 \cdot n$$

$$0,033 \text{ Vmin} = 33 \text{ mVmin}$$

Databladets spänningskonstant är för huvudspänning = klämspänning. Vi multiplicerar med $\sqrt{3}$ och får 57 mVmin att jämföra med databladets 54 mVmin.

10(2) a) För strömmen I_2 gäller: $U_{UT} = I_2 \cdot (20000 + 5000)\Omega \Rightarrow I_2 = \frac{5}{25000} A = 0,2mA$

Ingen ström flyter in i -ingången och därför är de två motståndsen seriekopplade.

b) Spänningen mellan -ingången och jord blir: $U_B = I_2 \cdot 5000\Omega = 1V$ Mellan +ingången och -ingången är spänningen noll och därför är $U_A = U_B = I_2 \cdot 5000\Omega = 1V$

c) $U_A = I_1 \cdot 10000\Omega \Rightarrow I_1 = \frac{1}{10000} A = 0,1mA$

d) Ingen ström flyter in i +ingången och därför är de två motståndsen seriekopplade.

$$E = I_1 \cdot (2000 + 10000)\Omega = 1,2V$$