

ELEKTROTEKNIK

MASKINKONSTRUKTION

KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2014-08-25

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.

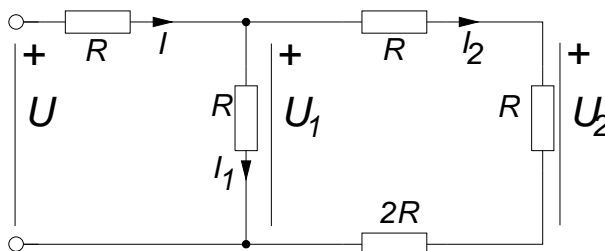
Räkna först på kladdpapper och för sedan in svaret samt så mycket av resonemanget att man vid rättning kan följa Dina tankegångar.

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

Vid behov kan Du skriva på baksidan.

OBS! Skriv ditt personnummer på varje sida.

1(2)



I kretsen ovan är $U = 18 \text{ V}$ och $R = 25 \Omega$.

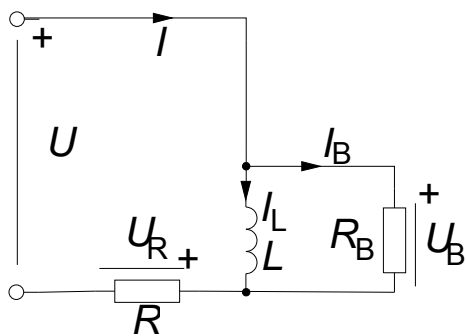
- Beräkna totala resistansen R_{tot} mellan kretsens två anslutningspunkter.
- Beräkna strömmen I_2 .
- Beräkna spänningen U_1 .
- Beräkna spänningen U_2 .

2(2) En växelspänningskälla med effektivvärdet U och frekvensen 20 kHz är ansluten till nedanstående krets.

Komponentvärdena är:

$$R_B = R = 20 \text{ k}\Omega$$

$$L = 120 \text{ mH}$$



Strömmen I_L är 1 mA .

- Beräkna U_B .
- Beräkna I_B .
- Beräkna I .
- Beräkna U .

3(2) Först ligger brytaren en lång tid i läge h. Vid $t = 0$ slås den om till läge v.

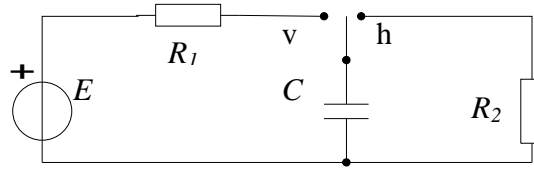
Utgå ifrån att

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

$$C = 50 \text{ } \mu\text{F}$$

$$R_1 = 15 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 30 \text{ k}\Omega$$



a) Beräkna spänningen över kondensatorn strax efter omslag till läge v.

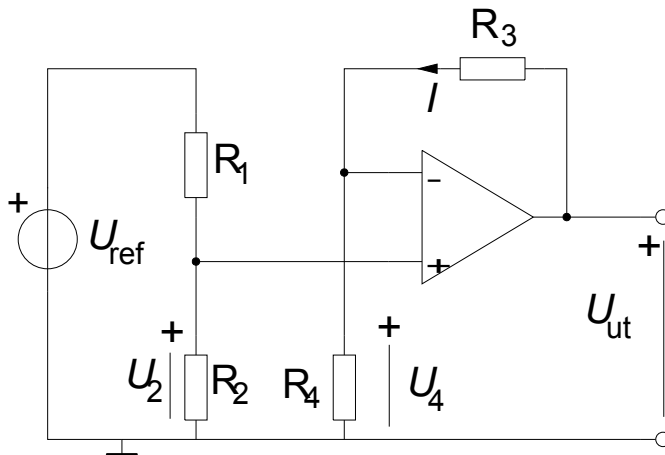
b) Beräkna spänningen över kondensatorn vid $t = 1 \text{ s}$.

Vid $t = 1 \text{ s}$ slås omkopplaren tillbaka till läge h.

c) Beräkna spänningen över kondensatorn direkt efter $t = 1 \text{ s}$ (dvs direkt efter tillbakakopplingen)

d) Beräkna spänningen över kondensatorn vid $t = 3 \text{ s}$ (dvs 2 s efter tillbakakopplingen).

4(2)



OP-förstärkaren kan betraktas som ideal med den inskränkningen $U_{CN} = \pm 15 \text{ V}$ och $I_{CN} = \pm 5 \text{ mA}$.

Utgå ifrån att $U_{ref} = 15 \text{ V}$, $R_1 = 58 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 36 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$

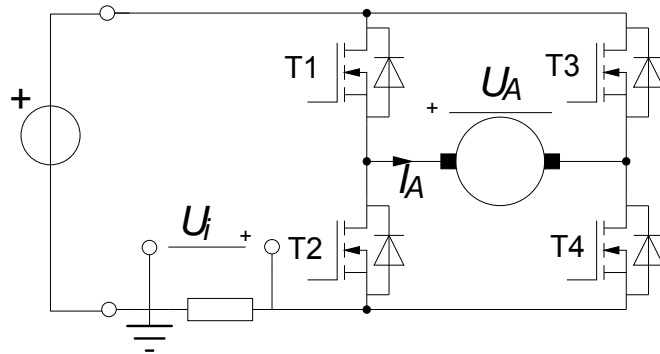
a) Beräkna U_2 .

b) Beräkna U_4 .

c) Beräkna I .

d) Beräkna U_{UT} .

5(2) En likströmsmotor matas från en så kallad H-brygga. Ett mätmotstånd med låg resistans = $0,1 \Omega$ är inkopplat för att mäta strömmen. Matningen till H-bryggan tas från två stycken seriekopplade 12 V batterier som antas ge 24 V. Spänningen U_i mäts med en scopemeter och får ett förlopp som i figuren.

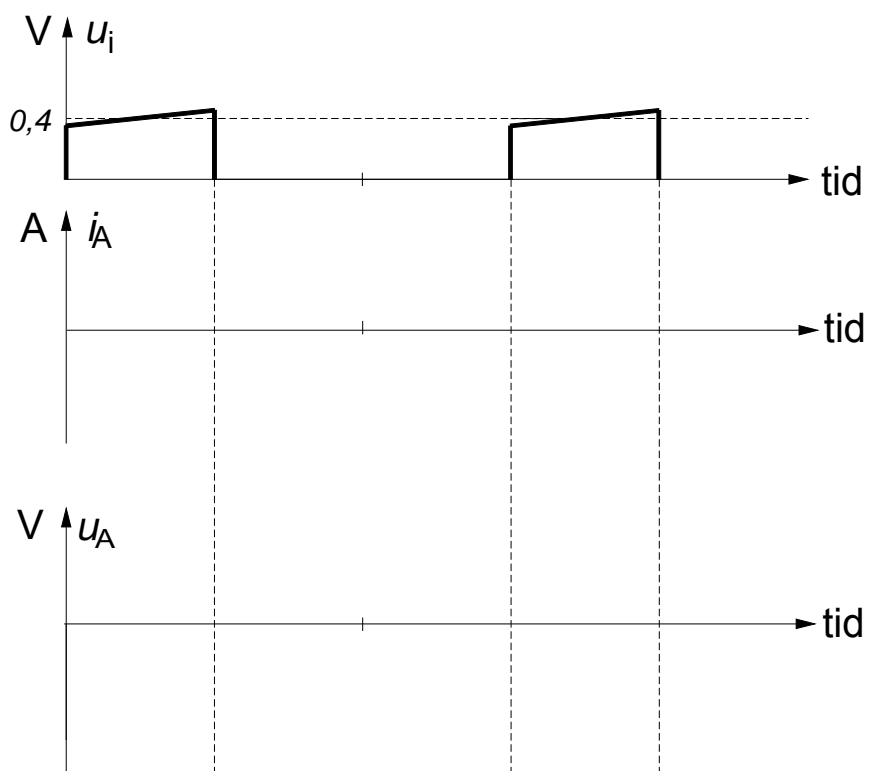


a) T1 och T4 är alltid strypta. T3 är bottnad (leder). T2 styrs med en PWM-signal. Skissa I_A och U_A i diagrammen.

b) Beräkna medelvärdet på U_A och I_A .

c) Hur stor effekt lämnas från batteriet.

d) Uppskatta approximativt hur stor effekt som utvecklas i mätmotståndet på $0,1\Omega$.

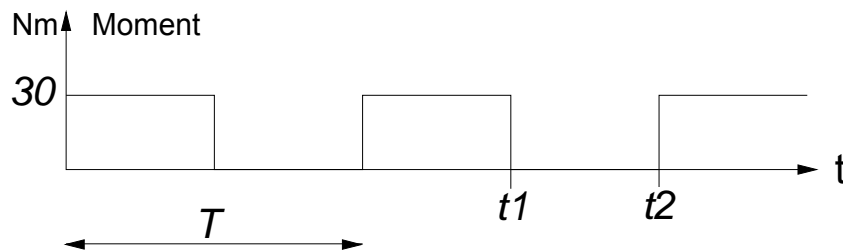


- 6(2) En PM-synkronmotor med märkmomentet 23 Nm och märkströmmen 16 A har termiska tidkonstanten 40 minuter.

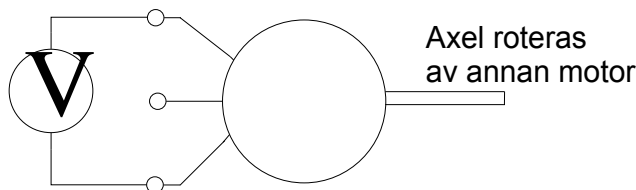
Vid märklast uppnås lindningstemperaturen 145 °C vid omgivningstemperaturen 40 °C. Resistansen mellan två uttag är 0,37 Ω vid 20 °C.

a) Beräkna lindningstemperaturen om motorn kontinuerligt belastas med 20Nm vid omgivningstemperaturen 60 °C.

b) Motorn belastas med ett periodiskt moment enligt nedan. Periodtiden $T = 1$ minut. Omgivningstemperaturen är 60 °C. Beräkna lindningstemperaturen. Halva tiden är momentet 30 Nm och andra halvan av tiden 0 Nm.

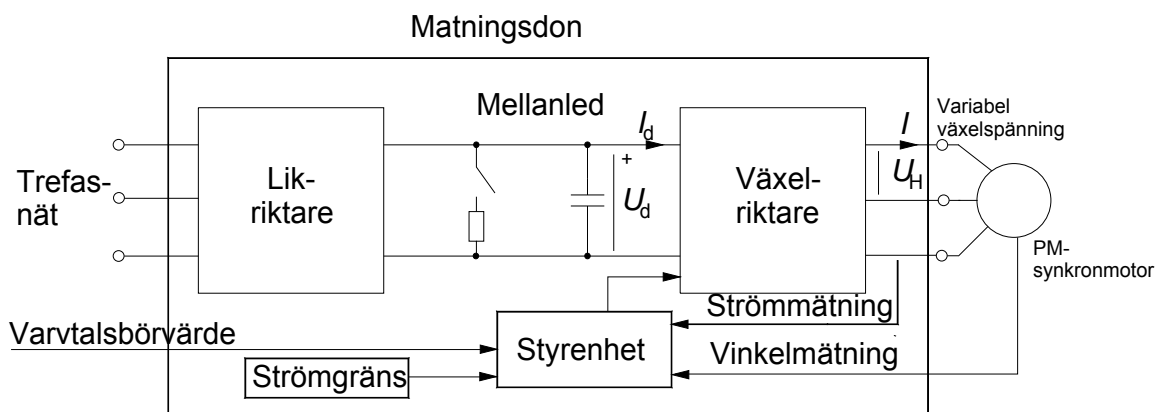


- 7(2) En PMSY-motor drivs av en annan motor med vinkelhastigheten 150 rad/s. Med en scopemeter (symboliserad av voltmetern i figuren nedan) uppmäts spänningen 100 V. Spänningens vinkelhastighet uppmäts till 450 rad/s.



- a) Vilket poltal har motorn?

Motorn ansluts till ett matningsdon enligt nedanstående figur och körs i motordrift.



- b) Vid ett tillfälle blir strömmen $I = 10A$ och axeln roterar med vinkelhastigheten 150 rad/s. Beräkna axeleffekten och axelmomentet.

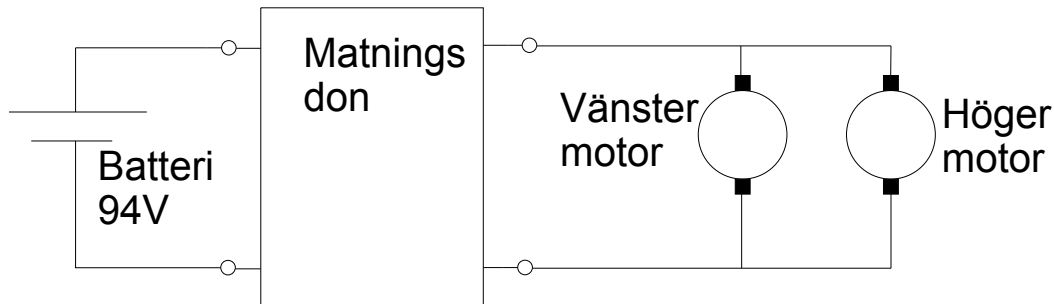
c) Beräkna maskinens momentkonstant.

d) Varvtalsbörvärdet ökas så att vinkelhastigheten blir 250 rad/s och strömmen uppmäts till 20A. Beräkna axeleffekten och axelmomentet.

- 8(2) En elmotorcykel för "Isle of Man Tourist Trophy (TT) Zero race". Motorcykeln har ett batteri. Den har även ett matningsdon som innehåller en H-brygga och två likadana elmotorer. Elmotorerna är PM-likströmsmotorer och har bland annat följande data (var och en):

No Load Current A	Torque Constant Nm/A	Armature Resistance DC mΩ	Voltage Constant Rpm/V	Rated Power kW	Rated Speed Rpm	Rated Current A	Rated Torque Nm
7.36	0.207	16.95	46.1	16.84	4032	200	39.88

Nedanstående figur visar kopplingen i princip.

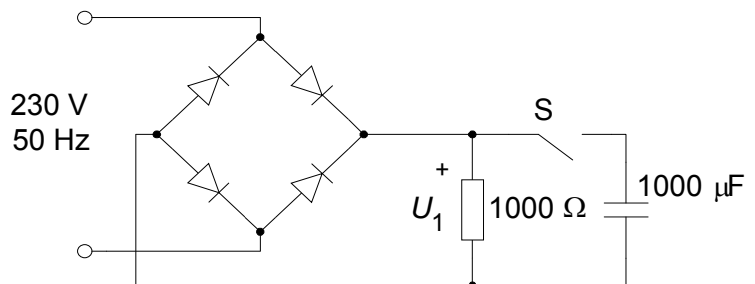


Vid ett tillfälle levererar de båda motorerna 22 kW i mekanisk uteffekt. Strömmen till vardera motorn är 145 A. Batterispänningen uppmäts till 94V.

- Beräkna det sammanlagda vridmomentet. Motorernas axlar är ihopkopplade och driver bakhjulet.
 - Beräkna motorspänningen.
 - Beräkna den elektriska effekt som tillförs motorerna.
 - Beräkna strömmen från batteriet (vi antar att matningsdonet är förlustfritt).
- 9(2)

Likriktarbryggan i figuren matas med 230 V växelspänning (effektiv-värde). Diodspänningsfallen får försummas.

- Hur stor blir U_1 (medelvärde) om S är fränslagen.
- Hur stor blir U_1 (ungefär) när S är tillslagen?



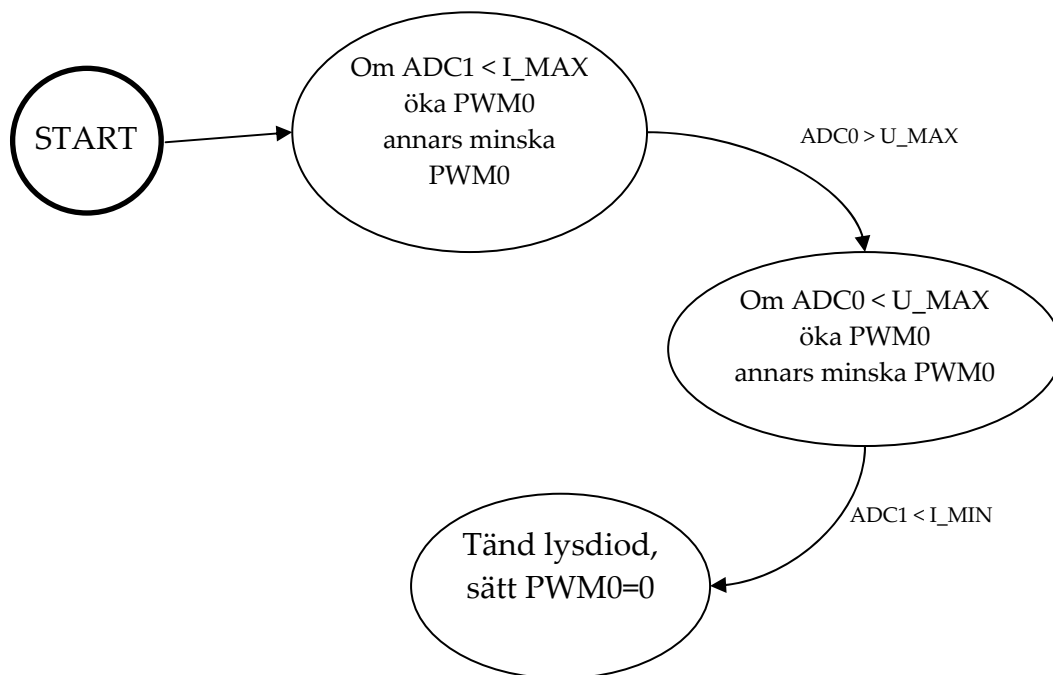
10(2)

En batteriladdare har en MCU som bestämmer laddningsströmmen till ett batteri genom att variera utspänningen från ett spänningsdon med hjälp av PWM0.

Laddningsspänningen mäts via ADC0 och laddningsströmmen via ADC1.

Batteriet ska laddas med en konstant ström I_MAX tills batterispänningen överstiger U_MAX . Därefter ska U_MAX hållas konstant tills strömmen sjunkit under I_MIN . Då ska laddningen avbrytas och lysdioden tändas. Ni behöver ej tilldela värden på U_MAX , I_MAX och I_MIN .

Skriv ett program som laddar batteriet. Utgå från nedanstående tillståndsdigram.



SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK

Elektroteknik MF1016 2014-08-25

1(2)

$$a) R_{tot} = R + \frac{4R \cdot R}{4R + R} = R + \frac{4}{5}R \Rightarrow R_{tot} = 25\Omega + 20\Omega = 45\Omega$$

$$b) I = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{18}{45} = 0,4A \quad U_1 = I \cdot \frac{4}{5}R = 0,4\Omega \cdot 20A = 8V$$

$$I_2 = \frac{U_1}{4R} = \frac{8V}{4 \cdot 25\Omega} = 0,08A$$

c) se b) 8V

$$d) U_2 = I_2 \cdot R = 0,08A \cdot 25\Omega = 2V$$

2(2)

a) Det vore smartast att låta U_B vara riktfas (reell) för den är gemensam för två komponenter, spolen (induktansen) och motståndet B. Nu tar vi I_L istället, man behöver inte vara så smart om man kan metodiken.

$\underline{U}_B = j\omega L \cdot I_L = j2 \cdot \pi \cdot 20000 \cdot 120 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^{-3} = j15V$ pekar i j riktning som även syns i visardiagrammet. $U_B = 15V$

$$\underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{R_B} = \frac{j15V}{20000\Omega} = j0,00075A = j0,75mA \text{ ligger i fas med och pekar även den i j}$$

riktning. $I_B = 0,75mA$

c) Kirchhoffs strömlag ger:

$$\underline{I} = \underline{I}_B + \underline{I}_L = j0,75mA + 1mA$$

Strömsummationen syns även i visardiagrammet

$$I = 1,25mA$$

d)

$$\underline{U}_R = R \cdot \underline{I} = 20k\Omega \cdot (j0,75mA + 1mA) = 20V + j15V$$

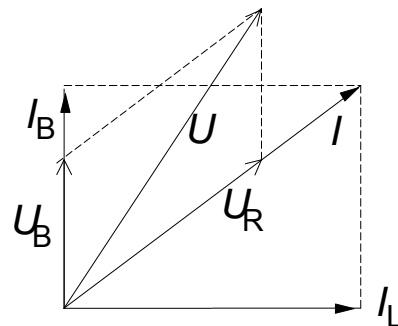
Ligger i fas med I eftersom R är reell.

Kirchhoffs spänningslag ger:

$$\underline{U} = \underline{U}_B + \underline{U}_R = j15V + 20V + j15V = 20V + j30V$$

Spänningssummationen syns även i visardiagrammet.

$$U = 36V$$



3(2)

a) Då brytaren legat länge i läge h har kondensatorn laddats ur. Innan $t=0$ är spänningen över kondensatorn $u = 0V$. Spänningen över en kondensator ändras inte språngvis så direkt efter omkoppling till v är spänningen fortfarande $0V$ som är begynnelsevärdet för uppladdningen.

b) Om brytaren ligger kvar i läge v en längre tid blir kondensatorn helt uppladdad och slutvärdet är därför $12V$. Tidkonstanten för uppladdningen är $\tau = R_1 \cdot C = 0,75s$

För transienta förlopp har vi: $u = u_\infty - (u_\infty - u_0)e^{-t/\tau}$ som med insatta värden blir:

$$u = 12V - (12V - 0)e^{-1/0,75} = 8,8V$$

c) Direkt efter tillbakakopplingen blir spänningen över kondensatorn $8,8V$ eftersom spänningen inte kan ändras språngvis som sagt.

d) Efter tillbakakopplingen laddas kondensatorn ur igen till $0V$ (slutvärde) från $8,8V$ (begynnelsevärde). Tidkonstanten blir $\tau = R_2 \cdot C = 1,5s$

$$\text{Insatta värden: } u = 0V - (0V - 8,8V)e^{-2/1,5} = 2,3V$$

4(2) a) Oändlig inimpedans gör att det inte flyter in någon ström i + ingången. Samma ström flyter därför genom R_1 och R_2 . Dessa blir därför seriekopplade och

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{ref} = \frac{2}{2 + 58} 15 = 0,5V$$

b) Om OP arbetar i linjära området är spänningen mellan + och - ingångarna = 0 och därför blir $U_4 = U_2 = 0,5V$

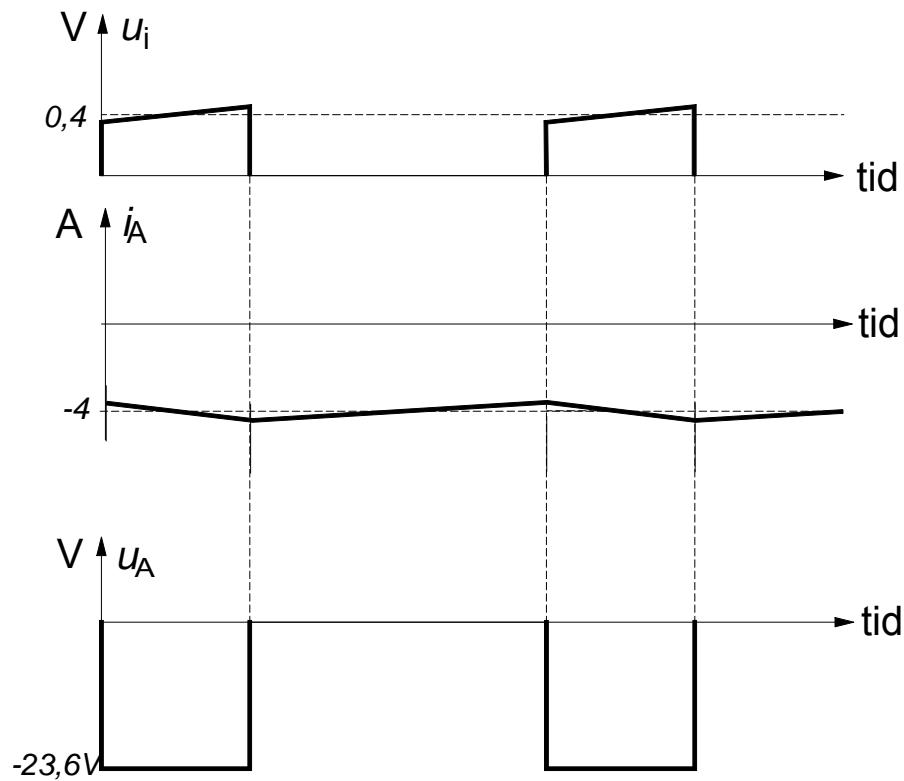
c) Strömmen genom R_3 flyter även genom R_4 då ingen ström flyter in i - ingången.

$$I = \frac{U_4}{R_4} = \frac{0,5V}{2k\Omega} = 0,25mA$$

$$d) U_{ut} = (R_3 + R_4) \cdot I = (36 + 2) \cdot 0,25 = 9,5V$$

5(2)

a)



b) I_A har medelvärdet -4 A det syns direkt ur figuren. U_A är -24 V under $1/3$ av tiden vilket gör att medelvärdet blir $-24 \text{ V}/3 = -8 \text{ V}$. Ska man vara lite mer nogga så får man ta hänsyn till att $0,4$ V "försvinner" över mätmotståndet och då blir medelvärdet

$-23,4 \text{ V}/3 = 7,9 \text{ V}$.

c) Från batteriet lämnas effekten $24 \text{ V} \cdot 4 \text{ A} = 96 \text{ W}$ under en tredjedel av tiden. Medeleffekten blir därför $96 \text{ W}/3 = 32 \text{ W}$.

d) Medelvärdet av effekten blir $P = \frac{1}{T} \int_0^T u_i^2 / R \cdot dt = \frac{1}{T \cdot R} \int_0^{T/3} u_i^2 \cdot dt$

Nu varierar U_i lite men vi försummar det och får (svårt att läsa av i diagrammet utan linjal, men vi ser att det är litet. Bra att det står uppskatta approximativt i uppgiften)

$$P = \frac{1}{T \cdot R} \int_0^{T/3} u_i^2 \cdot dt = \frac{1}{T \cdot 0,1} \cdot \frac{T}{3} \cdot 0,4^2 = 0,5 \text{ W}$$

- 6(2) a) Temperaturen i motorn är övertemperaturen plus omgivningstemperaturen. Övertemperaturen är proportionell mot förlusterna som i sin tur är proportionell mot strömmen i kvadrat ($R \cdot I^2$). Strömmen är proportionell mot momentet och därför blir övertemperaturen proportionell mot momentet i kvadrat.

$\mathcal{G}_{\infty} = K \cdot M^2$ oändlighetstecknet innebär att det är den övertemperatur som fås kontinuerligt (efter att ha kört såpass länge att temperaturen är konstant).

Ur märktriftpunkten kan K bestämmas: $\mathcal{G}_{\infty N} = K \cdot M_N^2$ där $\mathcal{G}_{\infty N} = 145^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C} = 105^\circ\text{C}$ och $M_N = 23\text{Nm}$ ger $105^\circ\text{C} = K \cdot (23\text{Nm})^2$ varur K kan

beräknas till: $K = \frac{(23\text{Nm})^2}{105^\circ\text{C}}$. Om $M = 20\text{ Nm}$ blir $\mathcal{G}_{\infty} = \frac{105^\circ\text{C}}{23^2} \cdot 20^2 = 79^\circ\text{C}$

Motorlindningens temperatur = övertemperaturen + omgivningstemperaturen =
 $= 79^\circ\text{C} + 60^\circ\text{C} = 139^\circ\text{C}$

- b) Eftersom den termiska tidkonstanten är stor i förhållande till periodtiden kommer temperaturen att bli praktiskt taget konstant, lika med sitt medelvärde.

Det som gäller för temperaturen ovan gäller även för medelvärdena, så att:

Medelvärdet av övertemperaturen är proportionellt mot medelvärdet av förlusteffekten som i sin tur, via strömmen, är proportionell mot momentet i kvadrat. (obs medelvärdet av momentet i kvadrat är inte lika med kvadraten av momentets medelvärde, annat än i vissa specialfall).

$$\mathcal{G}_{\text{medel}} = \frac{K \cdot (30\text{Nm})^2 + K \cdot (0\text{Nm})^2}{2} = \frac{105^\circ\text{C}}{(23\text{Nm})^2} \cdot \frac{(30\text{Nm})^2}{2} = 89^\circ\text{C}$$

Medelvärdet av motorlindningens temperatur = $89^\circ\text{C} + 60^\circ\text{C} = 149^\circ\text{C}$

Motorn blir något för varm, jämfört med märkdrift. Livslängden kommer därför att bli kortare än vid märkdrift, hur mycket är svårt att beräkna.

- 7(2) a) $\omega_{el} = \frac{P}{2} \cdot \omega_{mek}$ ger $P=6$

- b) Effektivvärdet av fasspänningen i tomgång blir $E_F = \frac{100}{\sqrt{3}}\text{ V}$

$$P = 3 \cdot \frac{100}{\sqrt{3}}\text{ V} \cdot 10\text{ A} = 1,7\text{ kW} \quad \text{Momentet blir } M = \frac{P}{\omega} = \frac{1732}{150}\text{ Nm} = 11,5\text{ Nm}$$

- c) 10 A ger 11,5 Nm. Momentkonstanten blir 1,15 Nm/A.

- d) Strömmen har dubblats alltså har även momentet dubblats $M = 23\text{Nm}$.
 $P = M \cdot \omega = 23 \cdot 250\text{ W} = 5,8\text{ kW}$

8(2)

a) $M = K_2 \Phi \cdot I_A$ två motorer och tomgångsström ger $M = 2 \cdot 0,207 \cdot (145 - 7,36) = 57 \text{ Nm}$

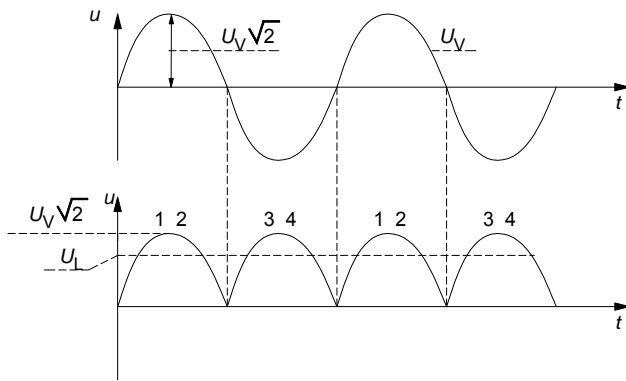
b) $\omega = \frac{P}{M} = \frac{22000}{57} = 386 \text{ rad/s}$ eller $n = 3690 \text{ varv/minut}$.

$$U_A = R_A \cdot I_A + K_2 \Phi \cdot \omega = R_A \cdot I_A + K_1 \Phi \cdot n = 16,95 \cdot 10^{-3} \cdot 145 + 3687 / 46,1 = 82,4 \text{ V}$$

c) $P_{\text{tillmotorer}} = U_A \cdot 2I_A = 82,4 \text{ V} \cdot 2 \cdot 145 \text{ A} = 23,9 \text{ kW}$

d) $I_{\text{batteri}} = \frac{P_{\text{från batteri}} = P_{\text{tillmotorer}}}{U_{\text{batteri}}} = \frac{23889}{94} = 254 \text{ A}$

9(2) Vid tvåpulslirikning erhålls följande kurvform



F

För medelvärdet gäller: $U_1 = \frac{2}{\pi} \cdot \hat{U}_V = \frac{2}{\pi} \cdot \sqrt{2} \cdot 230 \text{ V} = 207 \text{ V}$

Kondensatorspänningen U_1 hinner inte sjunka mellan topparna på grund av den stora tidkonstanten $RC = 10^3 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ s}$, dvs flera perioder (100 perioder av den likriktade spänningen U_1). Därför kommer spänningen U_1 , i praktiken, att ligga på toppvärdet $U_1 \approx 230\sqrt{2} = 325 \text{ V}$ hela tiden.

10(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 < I_MAX )
                {
                    duty_cycle = duty_cycle + 1;
                }
                else
                {
                    duty_cycle = duty_cycle - 1;
                }
                if ( u_bat > U_MAX )
                {
                    state = 1;
                }
                break;

            case 1 :
                if ( u_bat < U_MAX)
                {
                    duty_cycle = duty_cycle + 1;
                }
                else
                {
                    duty_cycle = duty_cycle - 1;
                }
                if ( i_bat < I_MIN )
                {
                    state = 2;
                }
                break;

            case 2 :
                CLR_BIT( pc0 );
                duty_cycle = 0;
                break;
        }

        PWM0( duty_cycle );
    }
}
```