

Inlämningstid	1
Kl:	

ELEKTROTEKNIK

MASKINKONSTRUKTION

KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2011-10-18

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 2011-11-07

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).

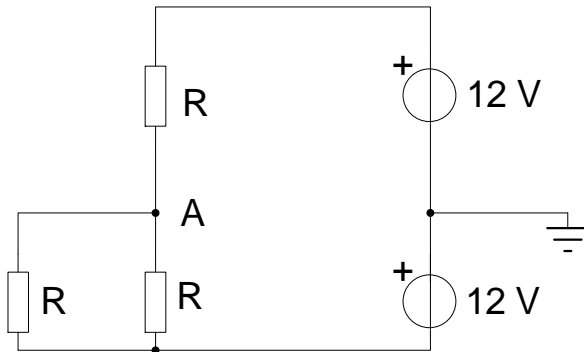
Vid behov kan Du skriva på baksidan.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Σ Poäng

1(2)

Två seriekopplade batterier på vardera 12 V. De matar tre inbördes lika motstånd enligt figuren..



a) Beräkna spänningen över de parallellkopplade motstånden.

b) Beräkna spänningen mellan punkten A och jord.

2(2)

Kretsen matas med växespänning 230V, 50Hz.

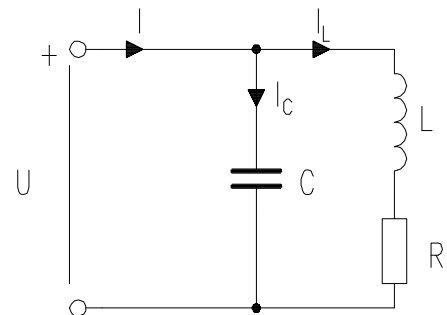
$R = 163 \Omega$, $L = 0,52 \text{ H}$, $C = 14 \mu\text{F}$.

a) Beräkna I_C .

b) Beräkna I_L .

c) Beräkna I .

d) Beräkna effektfaktorn.

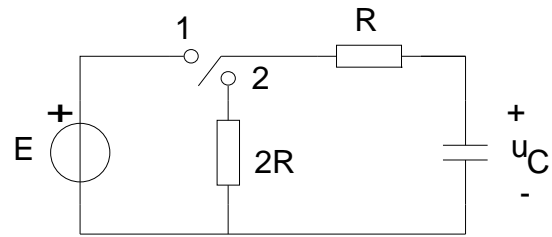


3(2)

Efter att ha varit i läge 2 en lång tid slås brytaren B om till läge 1 vid $t = 0$ och tillbaka till läge 2 vid $t = 10$ s.

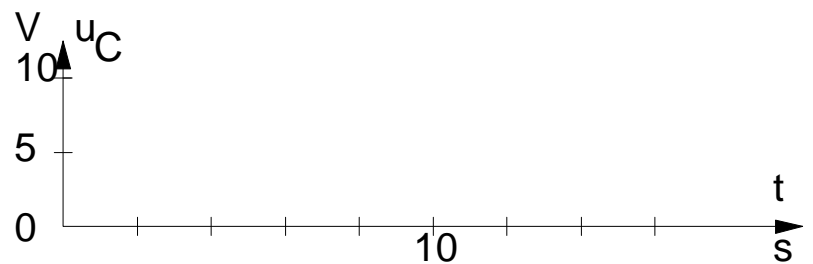
Dessa komponentvärden gäller:

$E = 10$ V, $R = 50$ k Ω , och $C = 20$ μ F.



Beräkna tidkonstanterna τ_1 för omkopplaren i läge 1 och τ_2 för omkopplaren i läge 2

Rita U_C som funktion av tiden t .



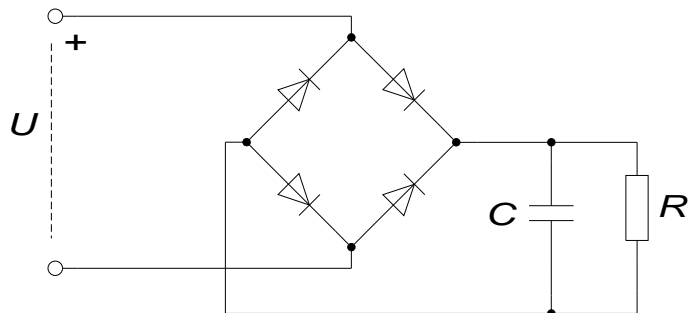
4(2) I figuren är U en växelspänning med toppvärdet 34 V och frekvensen 50 Hz. Spänningen topplikriktas via likriktarbryggan och kondensatorn C . Till denna topplikriktade spänning är lasten R ansluten.

a) Beräkna effektutvecklingen i lasten R om kondensatorn är stor. Strömmen genom lasten R är 1,4A.

b) Kondensatorn laddas ur via motståndet och laddas upp via likriktaren.

Tiden mellan två uppladdningar är ca 10 ms (något mindre) vid 50 Hz växelspänning. Hur stor skall kondensatorn vara om spänningen mellan två uppladdningar ej får sjunka mer än 2%.

c) Uppskatta effektutvecklingen i R om kondensatorn kopplas bort.



5(2) En likströmsmotorn har bland annat nedanstående data:

Measuring voltage	V	60	
No-load speed	rpm	5700	
Stall torque	mNm	780	
Back-EMF constant	V/1000rpm	10,4	
Terminal resistance, R_A	ohm	7,6	
Torque constant	mNm/A	99,4	
Thermal resistance	rotor-body	°C/W	3,5
	Body-ambient	°C/W	8
Max. permissible coil temperature	°C	155	

Motorn skall arbeta i en omgivningstemperatur på 20°C.

a) Beräkna den maximala ström som motorn tål kontinuerligt.

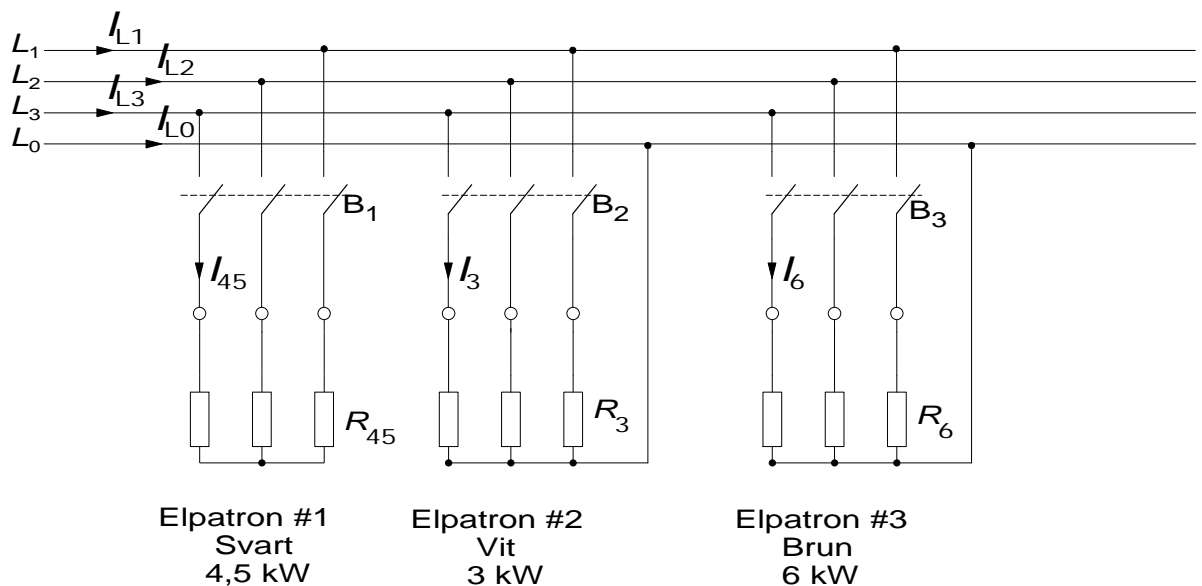
I uppgifterna b) till d) matas motorn från en H-brygga som i sin tur matas med likspänningen 60V. H- bryggan kan belastas med maximalt 1 A kontinuerligt. Spänningen till motorn från H-bryggan styrs med en PWM-signal.

b) Beräkna det maximala moment som motorn kan belastas med kontinuerligt.

c) Beräkna det maximala varvtal som motorn kan köras med om momentet enligt b) används.

d) Beräkna den maximala axeleffekt som motorn kan belastas med kontinuerligt.

6(2) En värmepanna (vanlig värmepanna FIGHTER 360P från NIBE) innehåller 3 symmetriska trefas värmepatroner (värmeelement), som alla är Y-kopplade. 2 av patronernas nollpunkter är ansluta till centralens nollpunkt (L0) som framgår av figuren nedan. Huvudspänningen är 400 V.



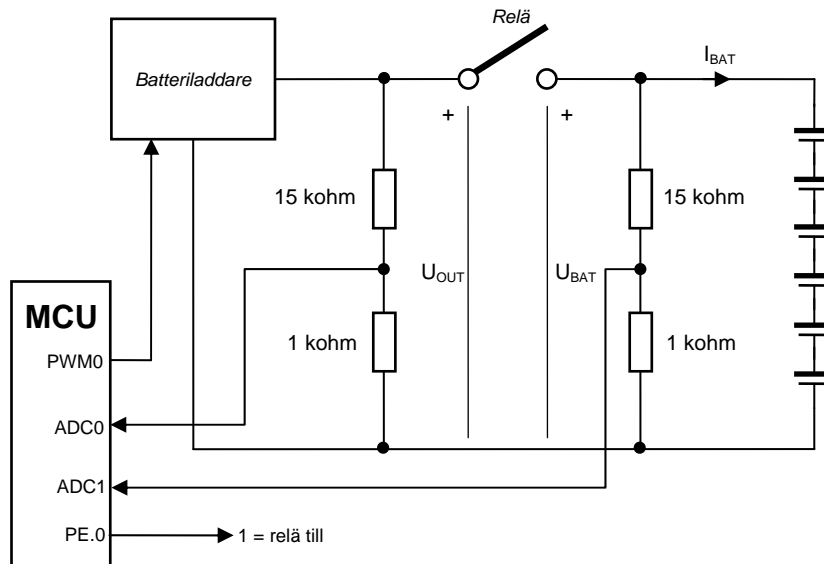
- a) Hur stor är I_{L1} om enbart 3kW-patronen är inkopplad?
 b) Hur stor är resistansen R_3 ?
 c) Hur stor är strömmen I_{L2} om både 6 kW-patronen och 3 kW-patronen är inkopplade?

7(1)

Skriv upp transmissionsfunktionen för variablerna a, b och c i Booles algebra, som svarar mot följande verbala uttryck: $A=1$ om $a=0$ och $b=1$ samt i alla de fall då b och c samtidigt är 0. Transmissionsfunktionen behöver inte förenklas.

8(2)

- a) Ett batteri med spänningen 12 V kortsluts och kortslutningsströmmen uppmäts till 200 A. Beräkna batteriets inre resistans R_i .
 b) 6 st exakt likadana batterier som i a) seriekopplas och används i en elbil. En batteriladdare ansluts via ett relä till batterierna enligt figuren nedan.



$U_{BAT} = 72$ V. Vilken spänning måste U_{OUT} ha, då reläet slås till, för att laddningsströmmen I_{BAT} initialt ska bli 20 A? Det kan antas att U_{OUT} inte sjunker då reläet slås till.

För att strömmen inte ska svetsa reläkontakterna låter man en MCU rampa upp U_{OUT} så att $I_{BAT} \approx 0$ vid tillslag.

U_{OUT} och U_{BAT} mäts med ADC0 respektive ADC1. AD-omvandlarna har en upplösning på 10 bitar och referensspänningen 5,0 V.

En högupplösande PWM-funktion ökar utspänningen U_{OUT} tills den är strax över U_{BAT} , varpå reläet slås till. Nedan är denna del i styrprogrammet.

```

int u_bat, u_out;
int rampar = 1;

int main(void)
{
    while( rampar == 1 )
    {
        u_out = GET_AD(0);
        u_bat = GET_AD(1);

        if ( u_out >= (u_bat + 1) )
        {
            SET_BIT(pe, 0);           // Reläet slås till
            rampar = 0;               // Upprampning klar - övergå till laddning
        }

        if ( rampar == 1 )
        {
            /* Här styrs PWM0 i små steg så att Uout ökar succesivt. */
        }
    }

    // Programmet fortsätter här med laddningsalgoritmer etc...
}

```

c) Beräkna I_{BAT} efter tillslag, om $U_{BAT} = 72$ V.

9(2) En PM synkronmotor har bland annat nedanstående data.

Torque constant $K_T = 1,7$ Nm/A

Voltage constant $K_E = 103$ mV/min

Rated Torque 12 Nm

Winding resistance Phase-Phase 1,1 ohm

Winding inductance Phase-Phase 8,3 mH

Rotor moment of inertia 18 kgcm²

Pole no = 6

- a) Beräkna strömmen då varvtalet är 2000 varv per minut och belastningsmomentet är 10Nm.
- b)** Beräkna klämspänningen U_H då varvtalet är 2000 varv per minut och belastningsmomentet är 10Nm.

Plötsligt ska lasten tillsammans med motorns rotor bromsas med 20 Nm.

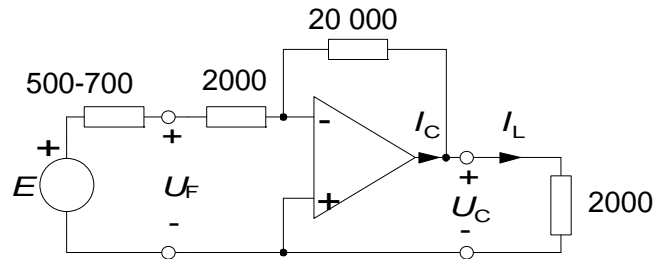
- c) Beräkna strömmen i början av bromsförloppet.
- d) Beräkna klämspänningen i början av bromsförloppet.

10(2)

Figuren visar i något förenklad form en del av en elektronisk styrutrustning.

Givarresistansen kan variera mellan de gränser som anges i figuren (siffrorna i figuren anger resistanserna i Ω). Utred om, och hur,

detta påverkar signalförstärkningen, d v s beräkna det område inom vilket kvoten $\frac{U_C}{E}$ kan ligga.

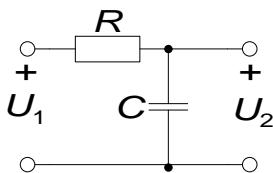
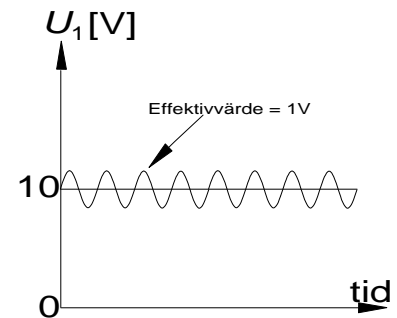


Beräkna hur stor ström, I_C , OP-förstärkaren belastas med när $E = 0,5 \text{ V}$.

11(1)

En likspänning på 10 V har på grund av nätstörning fått en överlagrad växelkomponent med frekvensen 50 Hz och effektivvärdet 1 V. Se spänningen U_1 i figuren.

Med hjälp av nedanstående filter önskar man filtrera spänningen U_1 i syfte att få bort den oönskade växelkomponenten. Den filtrerade spänningen betecknas U_2 .



Resistansen $R = 300 \Omega$ och för kondensatorn gäller att $\frac{1}{\omega C} = 100 \Omega$ vid frekvensen 50 Hz.

- Hur stor är likkomponenten i den filtrerade spänningen U_2 ?
- Hur stor är växelkomponenten i den filtrerade spänningen U_2 ?

SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK

Elektroteknik MF1016 2011-10-18

- 1(2) a) De två parallellkopplade motstånden får tillsammans resistansen $R/2$.
Kretsens sammanlagda resistans blir därför $1,5 R$ ($R+R/2$).

$$\text{Strömmen blir därför } I = \frac{12+12}{1,5R} = \frac{16V}{R}$$

$$\text{Spänningen över de parallellkopplade motstånden blir } I \cdot \frac{R}{2} = \frac{16V}{R} \cdot \frac{R}{2} = 8V$$

- b) U_A är spänningen mellan A och jord. Potentialvandring (spänningslagen) ger:
 $U_A - 8V + 12V = 0$ ger $U_A = -4V$.

2(2)

$$\text{a) } I_C = \omega C \cdot U = 2\pi \cdot 50 \cdot 14 \cdot 10^{-6} \cdot 230 = 1A$$

$$\text{b) } \underline{I}_L = \frac{\underline{U}}{R + j\omega L} \quad U \text{ riktfas ger: } \underline{I}_L = \frac{230}{163 + j2\pi \cdot 50 \cdot 0,52} = (0,707 - j0,707)A \quad I_L = 1A$$

$$\text{c) } \underline{I} = \underline{I}_L + \underline{I}_C = 0,707 - j0,707 + j1 = (0,707 - j0,293)A \quad I = \sqrt{0,707^2 + 0,293^2} = 0,76A$$

d) Effekten till kretsen utvecklas i motståndet:

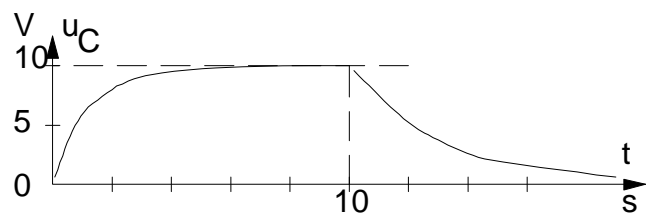
$$P = UI \cos \varphi = R \cdot I_L^2 = 163 \cdot 1^2 W$$

$$230 \cdot 0,76 \cdot \cos \varphi = 163 \quad \text{ger } \cos \varphi = 0,93$$

3(2)

$$\text{B i läge 1: } \tau_1 = 50 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 1s$$

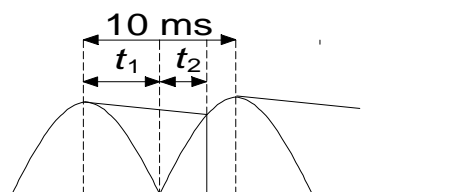
$$\text{B i läge 2: } \tau_2 = 150 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 3s$$



4(2)

- a) En likriktad spänning har karaktäristiska toppar. En stor kondensator gör att spänningen inte sjunker mellan topparna. Spänningen över kondensator och last blir därför $U_L = 34V - 0,7V - 0,7V = 32,6V$ där $0,7V + 0,7V$ är spänningsfallet över två dioder. $P_L = 32,6V \cdot 1,4A = 46W$

b) Urladdningen ser ut som i figuren. Spänningen skall sjunka väldigt lite och därför blir även strömmen i stort sett



konstant 1,4A. $q = C \cdot u_C$ ger med konstant urladdningsström 1,4A under tiden 10ms ström

$$q = C \cdot u_C \text{ ger } i = C \cdot \frac{du_C}{dt} \text{ ger } 1,4A = C \frac{\Delta u_C}{10ms} \text{ som med}$$

$$\Delta u_C = 0,02 \cdot 32,6V \text{ i sin tur ger } C = 21,5mF$$

I detta fall är det onödigt att vara mer exakt, men om man räknar på urladdning över R och tar hänsyn till att strömmen minskar under urladdningsförloppet fås:

$$32,6V = R \cdot 1,4A \text{ ger } R = 23\Omega$$

Vid urladdningen gäller $u_L = U_0 \cdot e^{-t/\tau}$ som ger ekvationen $0,98 \cdot U_0 = U_0 \cdot e^{-10ms/\tau}$ som ger $0,98 \cdot U_0 = U_0 \cdot e^{-10ms/\tau}$

$$\tau = -10ms / \ln(0,98) = 495ms$$

$$\tau = R \cdot C = 23\Omega \cdot C = 495 \cdot 10^{-3}s \Rightarrow C = 21,5mF$$

c) Om kondensatorn kopplas bort blir spänningen som de två bubblorna som visas i figuren. Toppvärdet på dessa blir 32,6 V. När kondensatorn är borta sjunker spänningen mellan topparna ner till noll. Effektivvärdet på spänningen blir ungefär samma som om en sinusformad spänning med toppvärdet 32,6 V vore inkopplad

$$32,6V = R \cdot 1,4A \text{ ger } R = 23\Omega \quad P_L = \frac{(32,6V / \sqrt{2})^2}{23\Omega} = 23W$$

5(2) a) Tillåten temperaturstegring $\vartheta_{\infty} = 155^\circ C - 20^\circ C = 135^\circ C$ ger tillåten förlusteffekt

$$135^\circ C = (8 + 3,5) \frac{^\circ C}{W} \cdot P_f \Rightarrow P_f = 11,7W \text{ som i sin tur ger tillåten ström}$$

$$11,7W = 7,6\Omega \cdot I_A^2 \Rightarrow I_A = 1,54A \text{ (kan ses som motorns märkström)}$$

b) H-bryggan kan endast leverera 1A

$$M = 99,4 \frac{mNm}{A} \cdot 1A = 99,4mNm$$

c) Spänningsekvationen: $60V = 7,6\Omega \cdot 1A + E \Rightarrow E = 52,4V$

$$\text{och } 52,4V = 10,4 \frac{V}{1000rpm} \cdot n \Rightarrow n = 5038 \text{ var v / min ut}$$

d) 5038 varv/minut motsvarar $\omega = 528 \text{ rad/s}$.

$$P_{mek} = M \cdot \omega = 99,4mNm \cdot 528 \text{ rad / s} = 52W$$

6(2)

a) $P = 3U_F I_F \cos \varphi$ vilket ger $I_{L2} = I_3 = 3 \cdot 10^3 / (3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}}) = 4,33 \text{ A}$

b) För att beräkna R_3 utgår vi från 3 kW vid normal anslutning. $P = 3UI = 3 \frac{U_F^2}{R_3}$ och

$$R_3 = 3 \frac{\left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2}{3 \cdot 10^3} = 53,33 \Omega .$$

c) Börja med att beräkna 6-kW-patronens ström $I_6 = 6 \cdot 10^3 / (3 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}}) = 8,33 \text{ A} .$

$$\overline{I_{L2}} = \overline{I_3} + \overline{I_6} = 4,33 + 8,66 = 13 \text{ A (strömmarna har samma fasläge).}$$

7(1) Sanningstabellen anger hur A beror av tillstånden hos a, b och c.
Transmissionsfunktionen är

$$A = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c + a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} = \bar{b} \cdot \bar{c} \cdot (\bar{a} + a) + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot (c + \bar{c}) = \bar{b} \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot \bar{b}$$

men förenklingen krävs ej.

8(2) a) $R_i = 12V / 200A = 0,06\Omega$

b) $U_{OUT} = 72V + 6 \cdot 0,06\Omega \cdot 20A = 79,2V$

c) Vid 72V blir variabeln u_{bat} $u_{bat} = 72 \cdot \frac{10000}{160000} \cdot \frac{1023}{5} = 921 .$

Omslag sker då variabeln $u_{out} = 921 + 1 = 922$

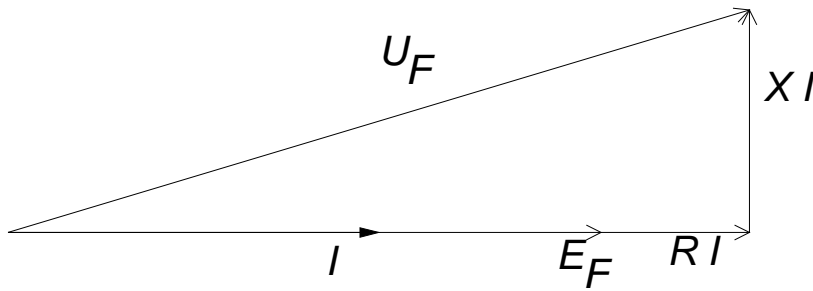
Vilket motsvarar en A/D omvandlad spänning på $922 \cdot \frac{5V}{1023} = 4,50635V$

Detta ger $U_{OUT} = 4,50635 \cdot \frac{16000}{1000} = 72,102V$ och fås ur ekvationen

$$72,102V = 72V + 6 \cdot 0,06\Omega \cdot I_{BAT} \Rightarrow I_{BAT} = 0,28A$$

9(2) a) $I = M / K_T = 10Nm / 1,7(Nm / A) = 6A$

b) I tomgång induceras $2000 \cdot 103 \cdot 10^{-3} = 206V$ mellan klämmorna (huvudspänning), vilket motsvarar fasspänningen $E_F = 206V / \sqrt{3} = 119V$. Vid belastning uppkommer även spänningsfallen RI samt XI . De tre delspänningarna adderas till U_F enligt nedanstående visardiagram.



Eftersom maskinen är Y-kopplad är det två seriekopplade faslindningar mellan två klämmor. Detta gör att resistansen som mäts mellan två klämmor är dubbelt så stor som resistansen per fas.

$RI = \frac{1,1\Omega}{2} \cdot 6A = 3V$ Detsamma gäller för induktansen. Den elektriska frekvensen är 3 ggr större än den mekaniska eftersom maskinen är 6-polig.

$$XI = \omega \ell \cdot L \cdot I = 3 \cdot 2\pi \cdot \frac{2000}{60} \cdot \frac{8,3 \cdot 10^{-3}}{2} \Omega \cdot 6A = 15,6V$$

$$U_F = \sqrt{(119+3)^2 + 15,6^2} \text{ V} = 123 \text{ V} \quad \text{och klämspänningen } U_H = \sqrt{3} \cdot 123 \text{ V} = 213 \text{ V}$$

c) I början av bromsförloppet är varvtalet oförändrat och lastmomentet är 10 Nm dvs lasten bromsar med 10Nm av sig självt. Motorn skall därför bidra med 10 Nm för att bromsande momentet skall bli 20 Nm. Tecknet på motormomentet skall bli -1Nm för att bromsa, vilket gör att strömmen skall bli -1 A

$$d) U_F = \sqrt{(119-3)^2 + (-15,6)^2} \text{ V} = 117 \text{ V} \quad U_H = \sqrt{3} \cdot 117 \text{ V} = 203 \text{ V}$$

10(2) Förstärkaren är en inverterare och signalförstärkningen är

$$F_s = -\frac{R_{\hat{A}}}{R_F + R_K} = -\frac{20000}{2600 \pm 100} \approx -(7,7 \pm 0,3)$$

$$\text{Vid } E = 0,5 \text{ V blir } U_L = -7,7 \cdot 0,5 = -3,85 \text{ V}$$

$$\text{Vi får då } I_L = -\frac{3,85}{2000} = -1,93 \text{ mA} \quad \text{och } I_{\hat{A}} = \frac{3,85}{20000} = -0,19 \text{ mA}$$

$$\text{Alltså blir } I_C \approx -2,1 \text{ mA} (\pm 0,1 \text{ mA})$$

11(1) Filtret är ett lågpas filter. För det gäller: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{1+(R\omega C)^2}}$

a) För likkomponenten ($\omega = 0$) gäller $\frac{U_2}{U_1} = 1$ dvs likkomponenten = 10 V.

b) För växelkomponenten ($\omega = 2\pi 50$) gäller $\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{1+(R\omega C)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{300}{100})^2}} = \frac{1}{\sqrt{10}}$

$$\text{växelkomponenten blir således } 1 \cdot \frac{1}{\sqrt{10}} = 0,32 \text{ V}$$