

ELEKTROTEKNIK

MASKINKONSTRUKTION

KTH

## TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2014-10-31

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.***

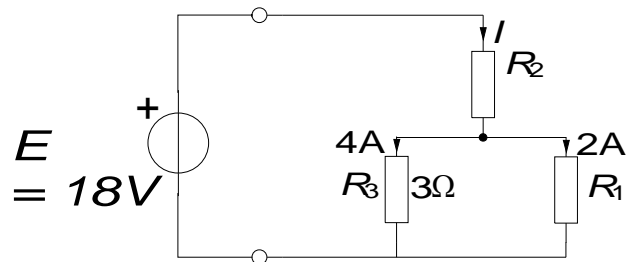
***Räkna först på kladdpapper och för sedan in svaret samt så mycket av resonemanget att man vid rättning kan följa Dina tankegångar.***

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

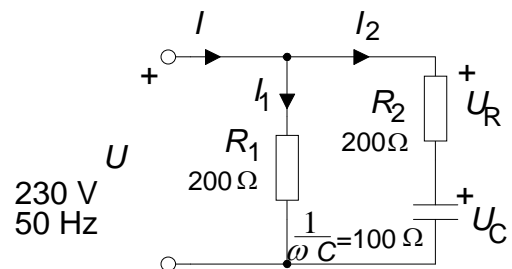
***Vid behov kan Du skriva på baksidan.***

***OBS! Skriv ditt personnummer på varje sida.***

- 1(2) a) Beräkna  $R_1$ .  
 b) Beräkna  $I$ .  
 c) Beräkna  $R_2$ .  
 d) Beräkna den sammanlagda effektutvecklingen i kretsen.



- 2(2) a) Beräkna strömmen  $I_1$ .  
 b) Beräkna strömmen  $I_2$ .  
 c) Beräkna spänningen över kondensatorn  $U_C$ .  
 d) Beräkna totala effektutvecklingen i kretsen.



- 3(2) Strömbrytaren B i figuren har under lång tid varit sluten (som i figuren). Spänningskällan  $E$  ger en likspänning.

Vid tidpunkten bryts strömbrytare B.

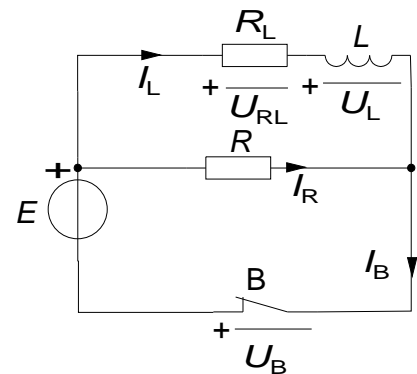
Utgå ifrån att

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

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

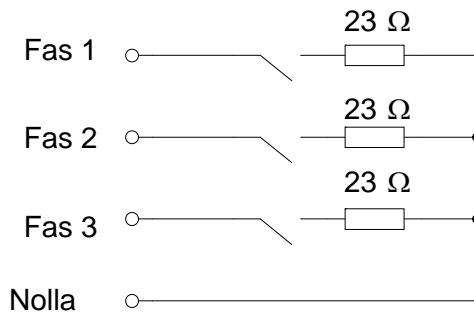
$$R_L = 10 \Omega$$

$$R = 1000 \Omega$$



- a) Beräkna de tre strömmarna  $I_L$ ,  $I_R$  och  $I_B$  strax efter brytningen.  
 b) Beräkna spänningarna  $U_L$  och  $U_{RL}$  strax efter brytningen.  
 c) Beräkna spänningen  $U_B$  strax efter brytningen.  
 d) Beräkna spänningen  $U_B$  långt efter brytningen.

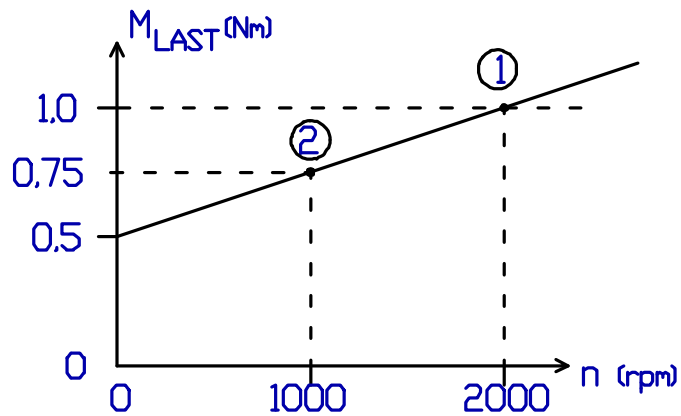
4(1) En trefasugn är kopplad enligt figuren. Nätets huvudspänning är 400V.



Vilken blir effektutvecklingen om

- 1 brytare är tillslagen?
- 2 brytare är tillslagna?
- 3 brytare är tillslagna?

5(2) En permanentmagnetiserad likströmsmotor driver en last vars moment varierar med varvtalet enligt diagrammet. Motorns matningsspänning är varierbar.

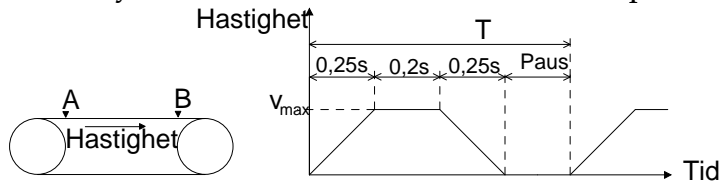


Motorns märkdata är:

350 W, 42 V, 10 A, 2400 rpm (varv/minut),  $R_A = 0,7 \Omega$ .

- Vilket märkmoment har motorn?
- Vilken ström  $I_A$  drar motorn i de båda arbetspunkterna 1 och 2?
- Vilken matningsspänning  $U_A$  ska motorn ha för att ge arbetspunkten 1 och 2?

- 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  $40\text{ }^\circ\text{C}$ .
- Förflyttningssträckan  $A \rightarrow B$  är  $1\text{ m}$  vilket motsvarar  $20$  varv.
- Arbetsstycket och anordningens tröghetsmoment är  $J=0,0025\text{ kgm}^2$  vilket motsvarar en vikt på  $40\text{ Kg}$ . (utan motorn)
- Den totala tiden för en arbetscykel, inklusive pausen, ska vara  $T = 1\text{ s}$ .

a) Beräkna accelerationsmomentet under accelerationstiden. Försumma motorns eget tröghetsmoment

b) Beräkna det minsta märkmoment motorn får ha om den inte ska bli termiskt överbelastad då anläggningen är i kontinuerlig drift. Försumma motorns eget tröghetsmoment.

c) Välj den minsta motor (Nr) ur nedanstående tabell som klarar av den här driften utan att bli för varm. Tag nu hänsyn till motorns eget tröghetsmoment.

d) Beräkna  $I_A$  och  $U_A$  i slutet av accelerationsfasen. Tag även här hänsyn till motorns eget tröghetsmoment.

Nr	$J$ gm <sup>2</sup>	$M_N$ Nm	$K_2\Phi$ Nm/A	$R_A$ $\Omega$
1	1,10	2,0	0,22	1,25
2	1,20	3,0	0,23	1,00
3	1,30	3,5	0,22	0,70
4	1,40	4,0	0,20	0,40
5	1,55	4,7	0,21	0,36
6	1,70	5,5	0,22	0,33
7	2,00	6,5	0,24	0,29
8	2,30	8,0	0,34	0,45
9	4,00	10,0	0,34	0,35
10	7,70	12,0	0,34	0,25
11	9,50	14,0	0,37	0,20

7(2) I figuren är  $U$  en växelspänning med toppvärdet 19,9 V och frekvensen 50 Hz. Spänningen topplikriktas via likriktarbryggan och kondensatorn  $C$ . Till denna topplikriktade spänning är lasten  $R$  ansluten.

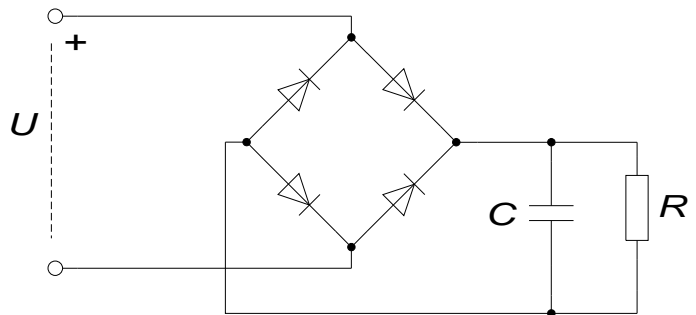
a) Beräkna effektutvecklingen i lasten  $R$  om kondensatorn är stor. Strömmen genom lasten  $R$  är 3,5 A.

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 3%.

c) Uppskatta effektutvecklingen i  $R$  om kondensatorn kopplas bort.



8(2) En tillståndsmaskin i en mikrokontroller styr en motor då man trycker på en knapp.

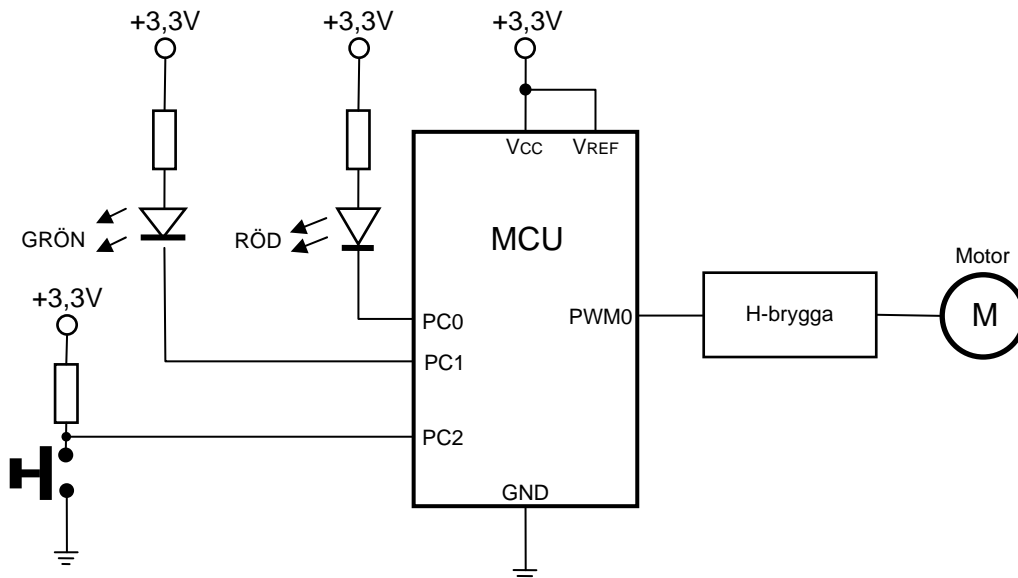
Tillståndsdigrammet nedan visar de tillstånd som används - "STOP", "START", "RUN" och "BRAKE".

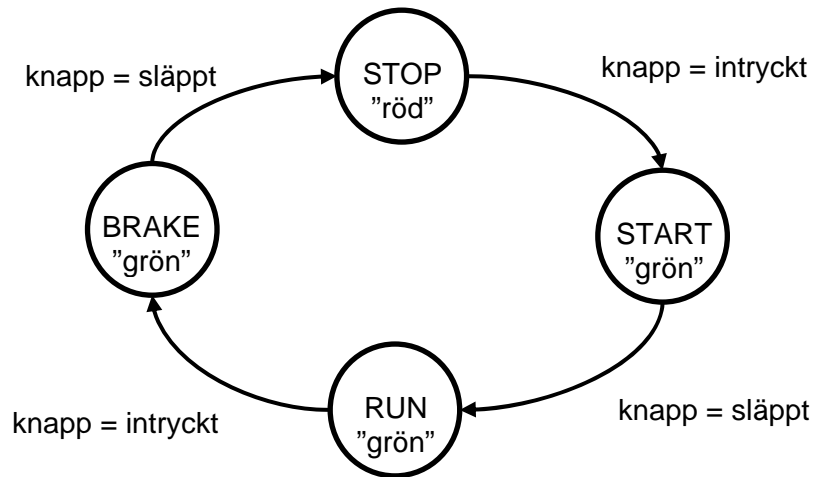
För dessa gäller:

**STOP:** Motorn står stilla, röd lysdiod är tänd.

**START** och **BRAKE:** Motorn går med halv fart, grön lysdiod är tänd.

**RUN:** Motorn går med full fart, grön lysdiod är tänd.





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

```

int knapp, state;

int main( void )
{
    init_mik;

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

    state = 0;

    while( 1 )
    {

    }
}

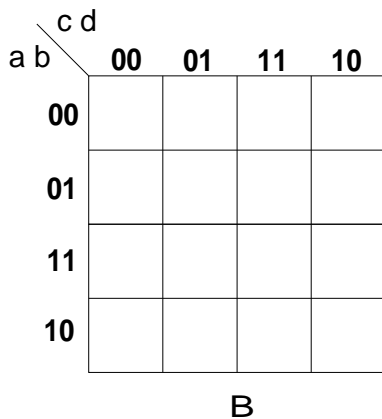
```

9(2)

Vid lösande av en styruppgift kom man fram till följande sanningstabell.

a) Fyll i Karnaughdiagrammen nedan och ta fram transmissionsfunktionen för B på så enkel form som möjligt. (det räcker med B!)

b) Konstruera ett minimalt logiknät, uppbyggt av endast NAND-grindar, som ger utstorheten B. (NAND-grindarna får ha inverteringsringar på ingångarna)



B=

a	b	c	d	A	B
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	$\phi$	1
0	0	1	0	0	$\phi$
0	0	1	1	1	$\phi$
0	1	0	0	$\phi$	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	1	$\phi$
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	$\phi$
1	0	0	1	$\phi$	0
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	$\phi$	1
1	1	0	1	$\phi$	$\phi$
1	1	1	0	1	$\phi$
1	1	1	1	1	0

10(1) I en utrustning har man en kraftgivare som ger utsignalen 45 mV vid fullt belastning (100 N). Man har skaffat sig en elektrisk modell (tvåpolsekvivalent) av givaren.

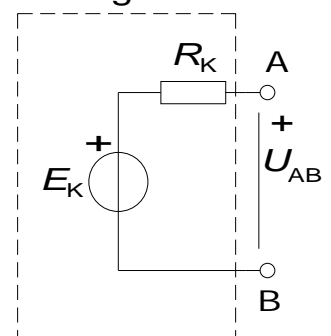
$E_K=45$  mV och  $R_K=1,25$  k $\Omega$  i modellen för givaren.

Man införskaffar en förstärkare med förstärkningen 200 ggr och inresistansen  $R_{IN}=20$  k $\Omega$ .

Hur stor blir utsignalen från förstärkaren  $U_{UT}$  om givaren har

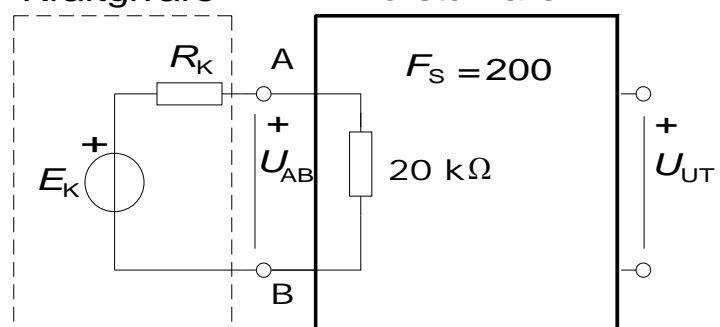
sin maximala belastning (100N) dvs  $E_K=45$  mV ?

Kraftgivare



Kraftgivare

Förstärkare



- 11(2) En liten energisnål experimentbil som byggts av teknologer på KTH heter SPIROS. Den har deltagit i ett antal "Shell ECO-marathon" tävlingar. Bilen drivs med direkt drift från en permanentmagnetiserad synkronmotor via ett hjul med radien 0,25m.

el motordata:

$K_e = 0,069 \text{ V/rpm}$  (phase to phase)

$R = 0,45 \Omega$  (phase to phase)

$L = 4 \text{ mH}$  (phase to phase)

Pole number = 8

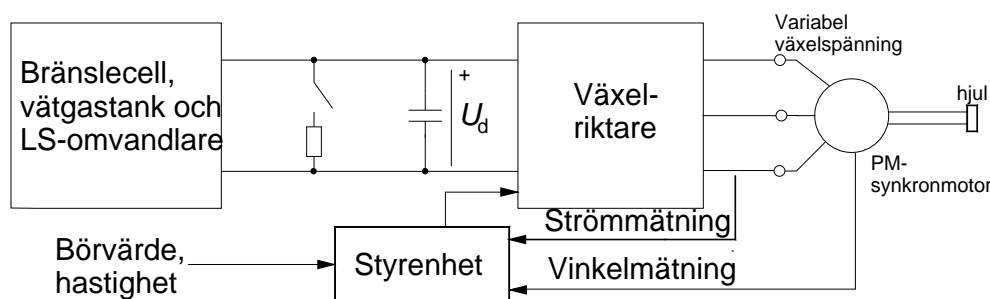
För fordonet gäller:

Rullmotstånd: 10 N (oberoende av varvtal)

Till detta tillkommer luftmotstånd.

Översikt av systemet visas i figuren.

Oversikt av drivsystem för spiros



Vid konstanta farten 30 km/h på horisontell väg uppmäts strömmen 4,8 A till motorn (från växelriktaren).

- Beräkna klämspänningen till motorerna.
- Uppskatta minsta kondensatorspänning  $U_d$  ("mellanledsspänning") som behövs.
- Beräkna den elektriska effekt som växelriktaren avger till motorn.
- Beräkna mekaniska effekten.



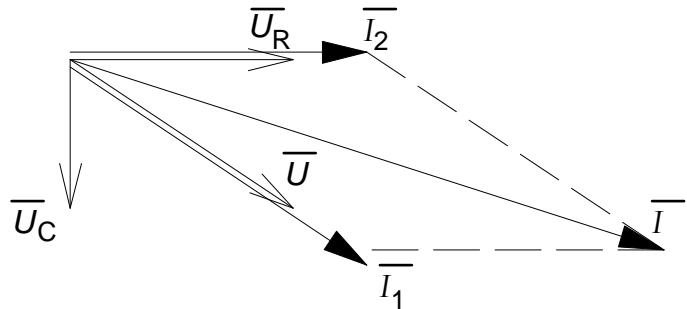
## SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK Elektroteknik MF1016 2014-10-31

1(2) a)  $6\Omega$ , b)  $6A$  c)  $1\Omega$  d)  $108W$

2(2) a)  $I_1 = \frac{230}{200} = 1,15 A$

b)

Välj  $I_2$  som riktfas eftersom den är gemensam för  $R_2$  och  $C$ .  $I_2$  och  $U_R$  ligger i fas och mellan  $I_2$  och  $U_C$  är det  $90^\circ$ . Se visardiagram, (Strecken är ovanför, i boken brukar de vara under de komplexa storheterna,  $U_R$  och  $I_2$  är ju reella så där kanske sträcket är onödigt)



$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = \sqrt{(R_2 I_2)^2 + \left(\frac{1}{\omega C} I_2\right)^2} = \sqrt{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \cdot I_2$$

$$230V = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = \sqrt{(R_2 I_2)^2 + \left(\frac{1}{\omega C} I_2\right)^2} = \sqrt{200^2 + 100^2} \Omega \cdot I_2 \text{ ger } I_2 = 1,03A.$$

$$c) U_C = \frac{1}{\omega C} I_2 = 100 \cdot 1,03V = 103V$$

d) Effekten utvecklas i motstånden.

$$\text{Alltså } R_2 I_2^2 = 200 \cdot 1,03^2 = 212 \text{ W och } R_1 I_1^2 = 200 \cdot 1,15^2 = 264 \text{ W}$$

$$\text{och summan } P = 212W + 264W = 476W$$

3(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:

$$u_{RL} + u_L - R \cdot i_R = 0 \Rightarrow u_L = -1200V - 12V = -1212V \text{ negativ spänning gör att}$$

strömmen  $i_L$  får negativ derivata och minskar vilket är rimligt, det är ju fråga om att bryta.

c) Kirchhoffs spänningslag ger:  $E - R \cdot i_R + u_B \Rightarrow u_B = -12V - 1200V = -1212V$

d) Efter lång tid är alla strömmar = 0 och  $E - R \cdot i_R + u_B \Rightarrow u_B = -12V - 0V = -12V$

4(1) Effekterna är

2,3 kW, 4,6 kW respektive 6,9 kW

5(2) a) Märkmomentet  $M_N = \frac{P}{\omega} = \frac{350 \cdot 60}{2\pi \cdot 2400} \text{ Nm} = 1,39 \text{ Nm}$

b) Man har sambandet  $M = K_2 \Phi \cdot I_A \Rightarrow K_2 \Phi = 1,39 \text{ Nm} / 10 \text{ A} = 0,139 \text{ Nm} / \text{ A}$

( $n=1000$ ) om  $M = 0,75 \text{ Nm}$  så blir  $I_A = \frac{0,75}{0,139} \text{ A} = 5,4 \text{ A}$

( $n=2000$ ) om  $M = 1 \text{ Nm}$  så blir  $I_A = \frac{1}{0,139} \text{ A} = 7,2 \text{ A}$

c) Man har sambandet:  $U_A = I_A R_A + K_2 \Phi \cdot \omega$

om  $n = 1000$  och  $I_A = 5,4 \text{ A}$  är  $U_A = 5,4 \cdot 0,7 + 0,139 \cdot 2\pi \cdot 1000 / 60 = 18 \text{ V}$

om  $n = 2000$  och  $I_A = 7,2 \text{ A}$  blir  $U_A = 7,2 \cdot 0,7 + 0,139 \cdot 2\pi \cdot 2000 / 60 = 34 \text{ V}$

6(2) a) sträckan:  $2\pi 20 = \frac{0,25}{2} \omega_{\max} + 0,2 \cdot \omega_{\max} + \frac{0,25}{2} \omega_{\max}$

ger  $\omega_{\max} = 279 \text{ rad} / \text{ s}$

accelerationen blir  $\frac{d\omega_{\max}}{dt} = \frac{\omega_{\max}}{0,25 \text{ s}} = 1117 \text{ rad} / \text{ s}^2$

accelerationsmomentet blir  $M_{acc} = J \frac{d\omega_{\max}}{dt} = 2,8 \text{ Nm}$

b) Det konstanta moment som ger samma temperaturstegring som det aktuella variabla blir.

$$M_C = \sqrt{\frac{1}{1} \cdot (2,8^2 \cdot 0,25 + 0 + 2,8^2 \cdot 0,25 + 0)} = 2 \text{ Nm}$$

c) Vi provar med motor nr 2 som har märkmomentet 3 Nm.

Motorn behöver accelerera lasten med tröghetsmomentet 0,0025 kgm<sup>2</sup> och den egna rotorn på 0,0012 kgm<sup>2</sup>. Tröghetsmomentet blir 0,0037 kgm<sup>2</sup>

$$M_{acc} = J \frac{d\omega_{\max}}{dt} = 4,2 \text{ Nm}$$

$$M_C = \sqrt{\frac{1}{1} \cdot (4,2^2 \cdot 0,25 + 0 + 4,2^2 \cdot 0,25 + 0)} = 2,9 \text{ Nm}$$

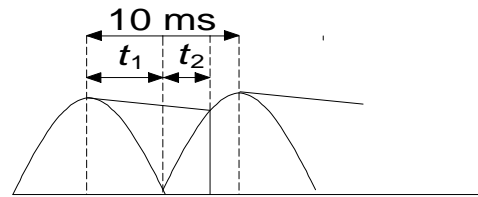
Vilket gör att motor nr 2 klara driften med nöd och näppe, kanske bättre att välja närmast större motor men då upprepas bara samma resonemang igen så vi går vidare trots de små marginalerna.

$$d) M = K_2 \Phi \cdot I_A \text{ ger } I_A = 4,2/0,23 = 18,3 \text{ A}$$

$$\text{Spänningslag: } U_A = 1 \cdot 18,3 + 0,23 \cdot 279 = 82V$$

7(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  $U_L = 19,9V - 0,7V - 0,7V = 18,5V$  där  $0,7V + 0,7V$  är spänningsfallet över två dioder.  $P_L = 18,5V \cdot 3,5A = 64,75W$

b) Urladdningen ser ut som i figuren. Spänningen skall sjunka väldigt lite och därför blir även strömmen i stort sett konstant  $3,5A$ .  $q = C \cdot u_C$  ger med konstant urladdningsström  $3,5A$  under tiden  $10ms$



laddningen  $q = C \cdot u_C$  ger  $i = C \cdot \frac{du_C}{dt}$  ger  $3,5A = C \frac{\Delta u_C}{10ms}$  som med

$$\Delta u_C = 0,03 \cdot 18,5V \text{ i sin tur ger } C = 63,1mF$$

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:

$$18,5V = R \cdot 3,5A \text{ ger } R = 5,29\Omega$$

Vid urladdningen gäller  $u_L = U_0 \cdot e^{-t/\tau}$  som ger ekvationen  $0,97 \cdot U_0 = U_0 \cdot e^{-10ms/\tau}$  som ger  $0,97 \cdot U_0 = U_0 \cdot e^{-10ms/\tau}$

$$\tau = -10ms / \ln(0,97) = 328ms$$

$$\tau = R \cdot C = 5,29\Omega \cdot C = 328 \cdot 10^{-3}s \Rightarrow C = 62,0mF$$

c) Om kondensatorn kopplas bort blir spänningen som de två bubblorna som visas i figuren. Toppvärdet på dessa blir  $18,5V$ . När kondensatorn är borta sjunker spänningen mellan topparna ner till noll. Effektivvärdet på spänningen blir ungefär samma som om en sinusformad spänning med toppvärdet  $18,5V$  vore inkopplad

$$18,5V = R \cdot 3,5A \text{ ger } R = 5,29\Omega \quad P_L = \frac{(18,5V / \sqrt{2})^2}{5,29\Omega} = 32,3W$$

```

8(2) int knapp, state;

int main( void )
{
    init_mik;

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

    state = 0;

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

        switch( state )      {
            case 0:
                PWM0( 50 );      // Då H-bryggans koppling inte är angiven godtas
                                // även PWM0( 0 ) som svar.

                CLR_BIT( pc0 );
                SET_BIT( pc1 );
                if( knapp == 0 )
                {
                    state = 1;
                }
                break;

            case 1:
                PWM0( 75 );      // Även PWM0( 50 ) godtas.
                SET_BIT( pc0 );
                CLR_BIT( pc1 );
                if( knapp == 1 )
                {
                    state = 2;
                }
                break;

            case 2:
                PWM0( 100 );
                if( knapp == 0 )
                {
                    state = 3;
                }
                break;

            case 3:
                PWM0( 75 );      // Även PWM0( 50 ) godtas.
                if( knapp == 1 )
                {
                    state = 0;
                }
                break;
        }
    }
}

```

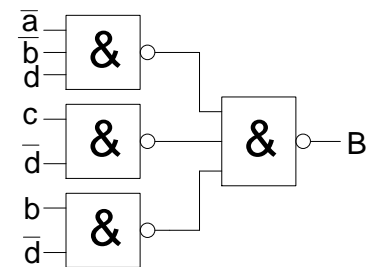
- 9(2) Vi ställer upp ett Karnaughdiagram för B och.  $B = \phi$  betyder att vi kan låta B vara antingen 0 eller 1 vid de ingångstillstånd som svarar mot dessa rutor, ty de förekommer aldrig. Detta ger oss möjligheter att göra större hoptagningar.

		c d			
		00	01	11	10
a b	00	0	1	$\phi$	$\phi$
	01	1	0	0	$\phi$
	11	1	$\phi$	0	$\phi$
	10	$\phi$	0	0	1

**B**

$$B = \bar{a}\bar{b}d + b\bar{d} + c\bar{d}$$

Man kan göra hoptagningar på många olika sätt. Man strävar alltid efter att få så få och stora hoptagningar som möjligt.



10(1)

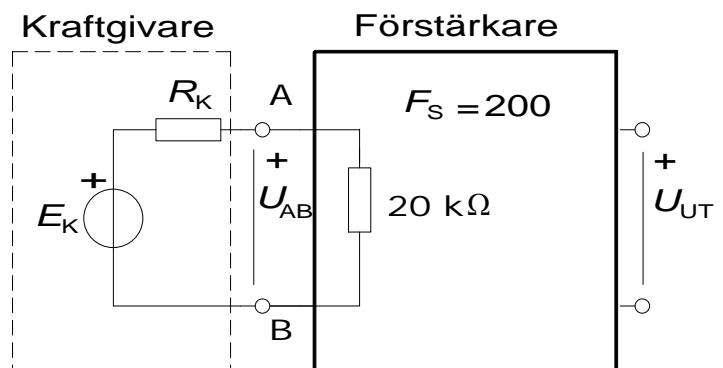
Spänningsdelning ger

$$U_{AB} = E_K \frac{20k}{R_K + 20k} \text{ med insatta}$$

värden fås

$$U_{AB} = 45 \frac{20k}{1,25k + 20k} = 42,35 \text{ mV}$$

$$U_{UT} = 200 * 0,04235 = 8,47 \text{ V.}$$

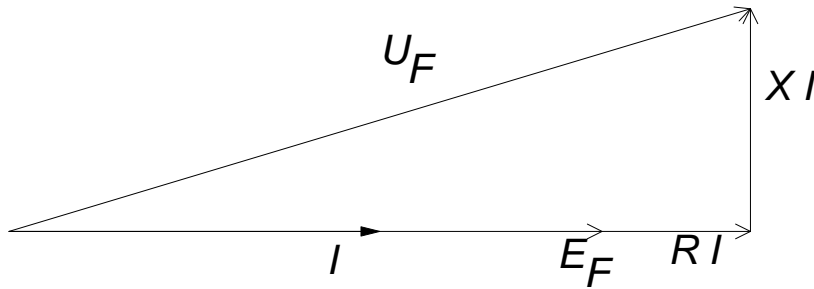


11(2)

$$n = 60 \cdot \frac{\omega}{2\pi} = 60 \cdot \frac{v}{2\pi \cdot r} = 318 \frac{\text{var}}{\text{min}}$$

$$E_F = \frac{K_e \cdot n}{\sqrt{3}} = \frac{0,069 \cdot 318}{\sqrt{3}} = 12,68V$$

a) Vi använder nedanstående visardiagram till spänningsberäkningen



$$R \cdot I = \frac{0,45\Omega}{2} \cdot 4,8A = 1,1V$$

$$\omega_{el} = \frac{8}{2} \cdot \omega_{mek} = 133 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$X \cdot I = \omega_{el} \cdot L \cdot I = 133 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 4,8V = 1,28V$$

$$U_F = \sqrt{(12,68 + 1,1)^2 + 1,28^2} = 13,8V \quad U_H = 24V$$

b) Om spänningsfallet i havledarna i växelriktaren försummas (1V-2V) bör mellanledningsspänningen vara ungefär lika med toppvärdet:  $U_d = \sqrt{2} \cdot 24V = 34V$

Eftersom det "bara" blir 34V bör kanske inte spänningfallet försummas.

$$c) P_{el} = 3 \cdot U_F \cdot I \cdot \cos \varphi = 3 \cdot (E_F + R \cdot I) \cdot I = 3 \cdot (12,68 + 1,1) \cdot 4,8W = 200W$$

$$d) P_{mek} = F \cdot v = M \cdot \omega = 3E_F \cdot I = 3 \cdot 12,68 \cdot 4,8W = 180W$$

Filename: mop-1410.los.doc  
Directory: C:\Users\paulson  
Template: tentamal.dot  
Title: Inlämningstid  
Subject:  
Author: HANSJ  
Keywords:  
Comments:  
Creation Date: 10/23/2014 3:10:00 PM  
Change Number: 5  
Last Saved On: 10/31/2014 9:57:00 AM  
Last Saved By: Margareta Paulson  
Total Editing Time: 12 Minutes  
Last Printed On: 10/31/2014 9:57:00 AM  
As of Last Complete Printing  
Number of Pages: 14  
Number of Words: 2 111 (approx.)  
Number of Characters: 12 036 (approx.)