

ELEKTROTEKNIK

MASKINKONSTRUKTION

KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2012-08-17

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 2012-09-10

Efternamn, förnamn (texta)
Namn-teckning
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 flerval- och kryssfrågor).

Vid behov kan Du skriva på baksidan.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Σ Poäng

- 1(2) En grävmaskin är försedd med två varningsljus, de orange lamporna i bilden. Varje lampa är stämplad 50W/24V. Lamporna matas från två 12V batterier. Varje batteri har inre resistansen $0,3 \Omega$.



- a) Rita kopplingen med batterier och varningsljus (orange) som beskrevs ovan.
- b) Hur stor ström flyter genom ett batteri då de två lamporna är tända? (Arbetsstrålkastaren, den vita lampan är inte tänd.) Du får betrakta lamporna som rena resistanser.
- c) Hur stor ström flyter genom ett batteri då även arbetsstrålkastaren på 35 W (35W/24V) tänds? (Rita gärna in lampan i din figur i a)

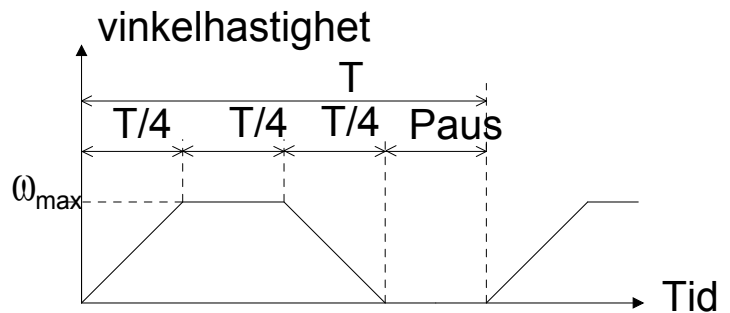
2(2)

En likströmsmotor ska driva en last. Lastens och motorns tröghetsmoment är tillsammans $J = 4 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$. Lasten ska vridas en viss vinkel på tiden $T = 1 \text{ s}$ inklusive paus enligt varvtalsprofilen i figuren där $\omega_{\max} = 160\pi \text{ rad/s}$.

En permanentmagnetiserad motor med nedanstående data användas för att driva lasten.

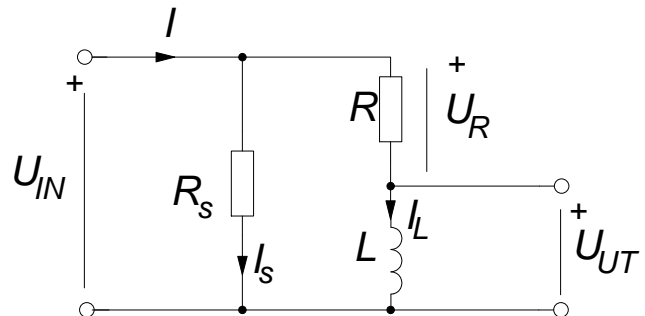
$$K_2\Phi = 0,21 \text{ Nm/A} \quad R_A = 0,36 \Omega$$

- Beräkna den spänning som motorn skall matas med under perioden med konstant vinkelhastighet ω_{\max} .
- Vilken är den högsta spänning som krävs av matningsdonet?
- Vilken spänning krävs i början av retardationsfasen?
- Hur stor energimängd omvandlas från elektrisk till mekanisk energi under accelerationsfasen?

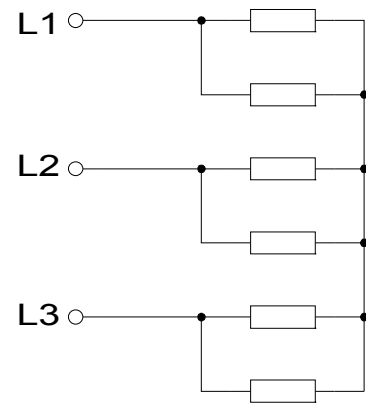


3(2) En växelspänning med frekvensen 1 kHz ansluts på ingången till kretsen. På utgången uppmäts $U_{ut} = 6,2 \text{ V}$. Induktansen i kretsen är $L = 10 \text{ mH}$ och motståndet $R = 50 \Omega$. Motståndet $R_s = 100 \Omega$.

- Beräkna I_L .
- Beräkna U_R .
- Beräkna U_{IN}
- Beräkna I .



- 4(2) En elektrisk ugn är stämplad, 400 V (huvudspänning), 24 kW. Den har sex inbördes lika element, som är kopplade enligt figuren. Man vill reducera ugnens effekt med 20 á 30 %. Man funderar därför på att seriekoppla elementen två och två och övergå till D-koppling.



Beräkna ugnens effekt med den nya kopplingen. Den ska matas med 400 V.

- 5(2)

En permanentmagnet synkron servomotor (AC-servo) av fabrikat Kollmorgen SEIDEL

6SM37L-4000 har nedanstående data:

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

Voltage constant $K_E = 54 \text{ mVmin}$

Rated Torque 1,2 Nm

Winding resistance Phase-Phase 15,5 ohm

Winding inductance Phase-Phase 30 mH

Rotor moment of inertia 1 kgcm^2 .

Motor pole no. 6

Thermal time constant 15 min

Weight standard 2,9 kg

Den matas från en servoförstärkare av typ SERVOSTAR 600 1,5 A (kan även kallas matningsdon). Servoförstärkaren kan leverera en spänning från 0 till ungefär 230 V mellan två klämmor eftersom den matas enfasigt från nätet med 230 V enfas. Frekvensen kan bli så hög som behövs.

- Beräkna maxvarvtalet i tomgång och motsvarande frekvens (den elektriska).
- Motorn körs i tomgång med halva maxvarvtalet enligt a). Beräkna erforderlig spänning (mellan två klämmor) och frekvensen (den elektriska).
- Kan motor komma upp i 4000 varv/minut om den belastas med märkmoment?

6(2) Vid kontinuerlig drift med märklast uppnår lindningen i en asynkronmotor en slutövertemperatur som är 125°C (efter belastning med märklast under lång tid \gg termiska tidkonstanten). Märklast är specificerad vid omgivningstemperaturen 40°C och sluttemperaturen i lindningen blir därför 165°C . Motorns termiska tidkonstant är 30 minuter.

- a) Vad blir slutövertemperaturen i lindningen om motorn kontinuerligt belastas med 1,3 ggr märkström (låt oss anta att lindningen tål detta experiment, vilket är mindre troligt).

Man planerar att låta en motor arbeta med följande arbetscykel: Drift med överlast under 45 minuter, med en ström som är 1,3 ggr märkströmmen, vila i 45 minuter och därefter drift med överlast osv. Omgivningstemperaturen är hela tiden 20°C .

- b) Vad blir övertemperaturen respektive temperaturen i lindningen i början av första belastningsperioden?
- c) Vad blir övertemperaturen respektive temperaturen i lindningen i början av första viloperioden?
- d) Vad är ert utlåtande om planerna?

7(2)

Strömbrytaren B i figuren har under lång tid varit i fränläge. Spänningsskällan E ger en likspänning.

Vid tidpunkten $t=0$ sluts kontakten B.

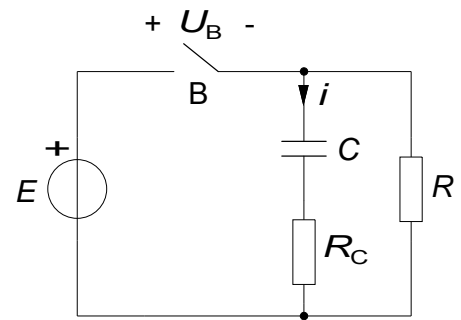
Utgå ifrån att

$$E = 10 \text{ V}$$

$$C = 1 \text{ } \mu\text{F}$$

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

$$R_C = 900 \text{ } \Omega$$



Beräkna

- Spänningen över brytaren, U_B omedelbart före $t=0$.
- Strömmen i genom kondensatorn omedelbart efter $t=0$.
- Tidskonstanten (τ) för det transienta förlopp som följer.
- Strömmen i genom kondensatorn vid $t=\tau$.

8(2)

En enkel bankomat som inte drar in kortet och som bara ger ut en 500 kr sedel per uttag (inga andra belopp). Styrsystemet har tre insignaler.

- **card:** Ger etta då då ett korrekt kort har satts in.
- **code:** Ger etta då korrekt PIN-kod har knappats in (kod till det insatta kortet).
- **take:** Ger etta då sedeln ligger i position för att tas av kund.

Styrsystemet har en utsignal, **money**. Då utsignalen money sätts hög matas en sedel ut (positiv flank). Rita ett tillståndsdigram för bankomatens styrsystem.

9(2)

I ett projekt ska man använda en starkt lysande 3-färgs lysdiod, en kapsel som i praktiken innehåller tre lysdioder. De har gemensam anod.

För att kontrollera att kopplingen inte ger för hög effektutveckling i den valda mikrokontrollern (PIC16F54) genomför man en värstafallet effektberäkning.

RB2, RB1 och RB0 är beteckningarna på mikrokontrollerns portpinnar.

För dioderna gäller:

$$U_{DG}=U_{DB}=3 \text{ V och } U_{DR}=1,7\text{V}$$

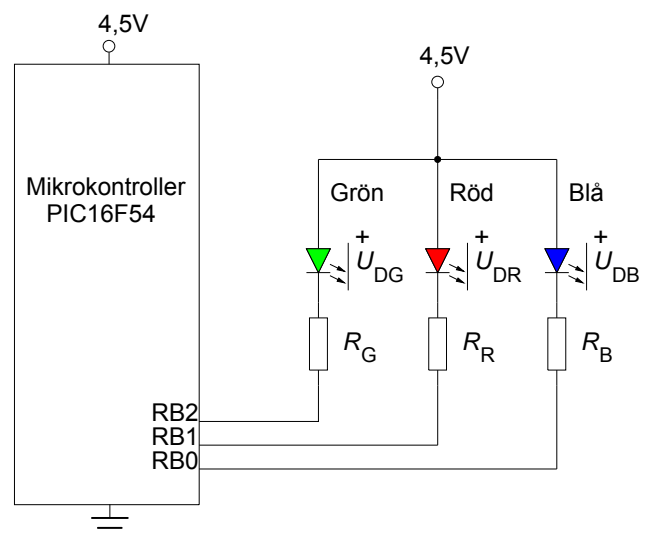
$$R_G=R_B=110 \ \Omega \text{ och } R_R=280 \ \Omega$$

För Mikrokontrollern gäller enligt dess datablad:

VOL	Output Low Voltage					
	I/O ports	—	—	0.6	V	IOL = 8.5 mA, VDD = 4.5V
	OSC2/CLKOUT (RC mode)	—	—	0.6	V	IOL = 1.6 mA, VDD = 4.5V
VOH	Output High Voltage⁽²⁾					
	I/O ports ⁽²⁾	VDD - 0.7	—	—	V	IOH = -3.0 mA, VDD = 4.5V
	OSC2/CLKOUT (RC mode)	VDD - 0.7	—	—	V	IOH = -1.3 mA, VDD = 4.5V

På ett annat ställe i databladet står att Supply Current är max 7,0 mA vid den aktuella oscillatorfrekvensen och matningsspänning. (Den ström som mikrokontrollern behöver för att arbeta.)

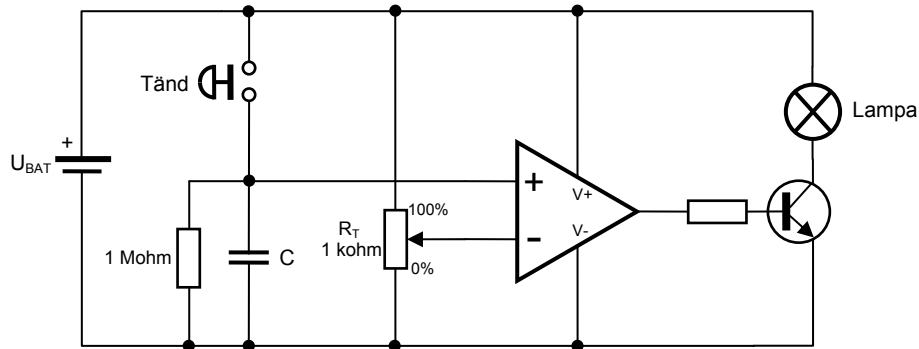
- Markera de strömmar som flyter i systemet.
- Beräkna strömmen genom den gröna lysdioden.



c) Beräkna bidraget till effektutvecklingen i mikrokontrollern från den gröna lysdioden.

d) Beräkna totala effektutvecklingen i mikrokontrollern.

- 10(2) I mörkaste granskogen har Oskuldas kompis Alice en sommarstuga med ett oupplyst utedass. Oskulda bygger en krets som tänd en lampa på dasset då man trycker in en återfjädrande knapp - och fördröjer släckningen, då knappen släpps.



Kretsen matas med ett bilbatteri på 12 V. Operationsförstärkarens utgång blir hög (varvid lampan tänds) om dess icke-inverterande ingång (+) har högre potential än dess inverterande (-), den är alltså kopplad som en komparator.

- Potentiometern R_T står i mittläget (50%).
Beräkna C så att lampan lyser i 10 sekunder efter det att knappen släppts. (Operationsförstärkaren är ideal.)
- Alice vill öka lystiden och ställer potentiometern så att lampan lyser i 15 sekunder. Vilket procentvärde på R_T motsvarar det?
- Efter ett tags användning har batterispänningen sjunkit till 11,5 V.
Beräkna lystiden nu, om förutsättningarna i a) råder.

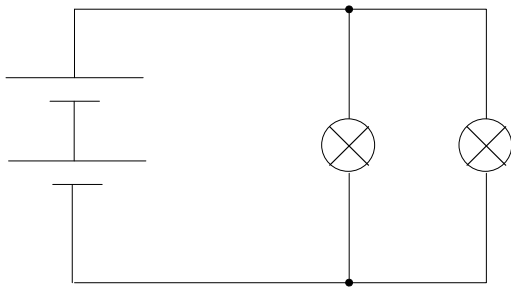
SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK

Elektroteknik MF1016

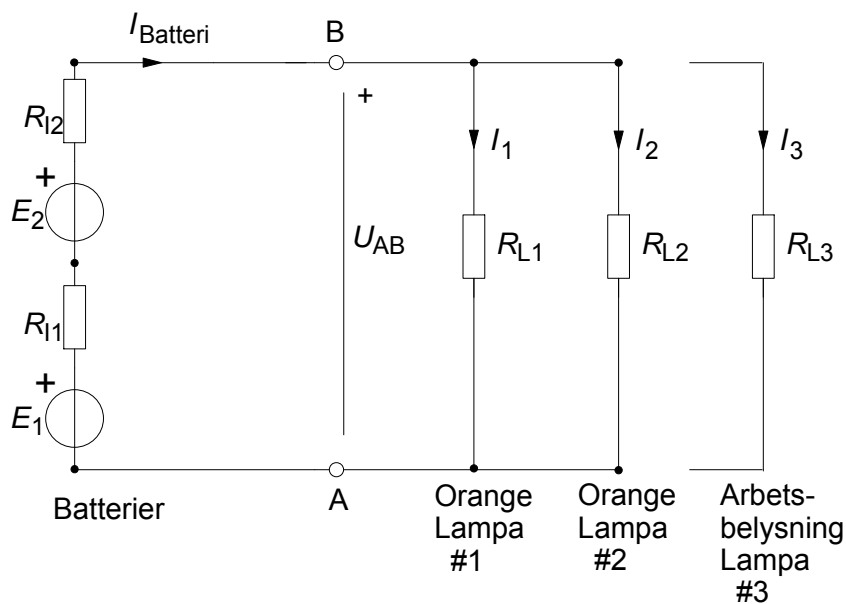
2012-08-17

1(2) a)

Kretsschema



I modellen nedan epresenteras varje lampa av sin resistans och varje batteri av .



b) Börja med att bestämma de orange lampornas resistans. $P=U \cdot I=U^2/R$ ger

$$R_{L1} = R_{L2} = \frac{U^2}{P} = \frac{24^2}{50} = 11,52 \, \Omega$$

Två parallellkopplade lampor ger att batteriet belastas med resistansen $R_{L1/L2} = 11,52/2 = 5,76 \, \Omega$

$$I_{\text{Batteri}} = \frac{2 \cdot 12}{2 \cdot 0,3 + 5,76} = 3,77 \text{ A}$$

Om man bortser från spänningsfall i batterier så kan strömmen beräknas enligt (vanlig överslagsmässig beräkning som ger ganska bra resultat)

$$P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{50 + 50}{24} = 4,2 \text{ A}$$

$$\text{c) } R_{L3} = \frac{24^2}{35} = 16,4571 \text{ } \Omega$$

Batteriet belastas nu med $R_L = \frac{5,76 \cdot 16,4571}{5,7571 + 11,46} = 4,27 \text{ } \Omega$. Detta kan även beräknas som

$$R_L = \frac{24^2}{50 + 50 + 35} = 4,27 \text{ } \Omega$$

$$I_{\text{Batteri}} = \frac{2 \cdot 12}{2 \cdot 0,3 + 4,27} = 4,93 \text{ A}$$

Den överslagsmässiga beräkningen ger: $P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{50 + 50 + 35}{24} = 5,6 \text{ A}$

$$2(2) \quad \text{a) } U_A = R_A I_A + E = R_A I_A + K_2 \Phi \cdot \omega$$

Inget moment då varvtalet konstant ger $I_A = 0$. Insättning av $\omega_{\text{max}} = 160\pi \text{ rad/s}$ och $K_2 \Phi = 0,21 \text{ Nm/A}$ ger $U_A = 106 \text{ V}$.

b) I slutet av accelerationen är både ω och M (I_A) störst och därför även $U_A = R_A I_A + E = R_A I_A + K_2 \Phi \cdot \omega$

$$I_A \text{ fås ur: } M = J \frac{d\omega}{dt} = J \cdot \frac{\omega_{\text{max}}}{T/4} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{160\pi}{1/4} \text{ Nm} = 8 \text{ Nm}$$

och $M = K_2 \Phi \cdot I_A$ ger $I_A = 38 \text{ A}$.

$$U_A = R_A I_A + E = R_A I_A + K_2 \Phi \cdot \omega = 0,36 \cdot 38 + 106 = 119 \text{ V}$$

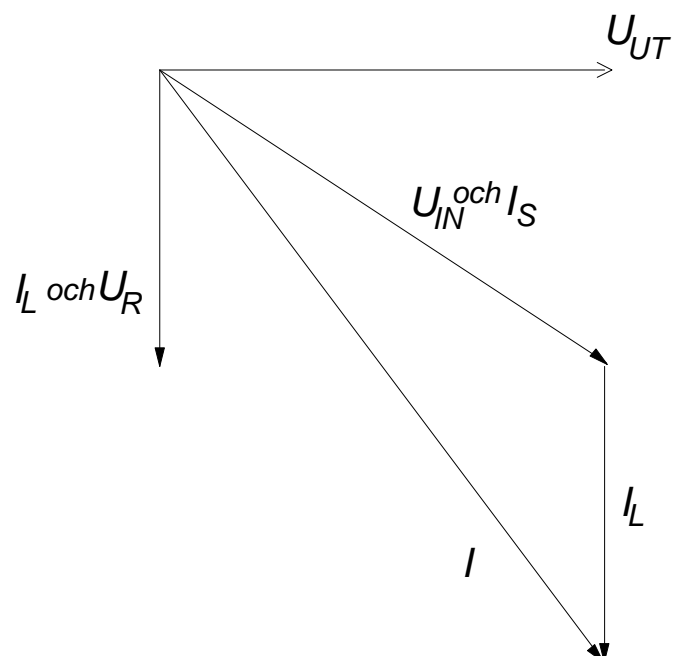
c) I retardationsfasen krävs lika stort moment och därmed lika stor ström som i accelerationsfasen (fast med omvänt tecken).

$$U_A = R_A I_A + E = R_A I_A + K_2 \Phi \cdot \omega = 0,36 \cdot -3$$

3(2) d) Den energi som omvandlas till mekanisk måste vara lika stor som den lagrade rörelseenergin

$$W = \frac{1}{2} J \omega^2 = 4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(160\pi)^2}{2} \text{ Ws} = 505 \text{ Ws}$$

a) U_{UT} väljs till riktfas, reell.



$$\underline{U}_{UT} = j\omega L \underline{I}_L = 6,2V$$

$$\underline{I}_L = \frac{6,2}{j2\pi \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = -j0,1A$$

$$I_L = 0,1 A$$

$$b) \underline{U}_R = R \underline{I}_L = -j5V$$

$$U_R = 5 V$$

$$c) \underline{U}_{IN} = \underline{U}_R + \underline{U}_{UT} = (6,2 - j5)V$$

$$U_{IN} = \sqrt{6,2^2 + 5^2} = 7,9V$$

$$\underline{I}_S = \frac{\underline{U}_{IN}}{R_S} = (6,2 - j5)/100 = (0,062 - j0,05)A$$

$$d) \underline{I} = \underline{I}_L + \underline{I}_S = -j0,1 + 0,062 - j0,05 = (0,062 - j0,15) mA$$

$$\underline{I} = \sqrt{0,062^2 + 0,15^2} = 0,16A$$

- 4(2) I den ursprungliga kopplingen är spänningen $\frac{U_H}{\sqrt{3}}$ över varje element. I den nya kopplingen blir spänningen $\frac{U_H}{2}$ över varje element. Kvoten mellan effekten efter och före omkopplingen blir således $\frac{P_D}{P_Y} = \frac{6 \cdot (\frac{U_H}{2})^2 / R}{6 \cdot (\frac{U_H}{\sqrt{3}})^2 / R} = \frac{3}{4}$ Effekten i den nya kopplingen

blir alltså 18 kW.

- 5(2) a) Klämspänning motsvarar huvudspänningen. I tomgång $M = 0$ ger $I = 0$ finns bara den spänning som induceras på grund av rotationen.

1) $E_H = 54 \cdot 10^{-3} \cdot n_a = 230$ ger $n_a = 4260$ varv/minut vilket motsvarar den mekaniska frekvensen 71 Hz och med 6 polig motor ger det $71 \cdot 6/2 = 213$ Hz elektriskt.

b) Halva varvtalet ger halva spänningen enligt 1) det vill säga 115 V.

c) Beräkning per fas görs: $E_f = 54 \cdot 10^{-3} \cdot 4000 / \sqrt{3} = 125V$

$$1,2 = 0,96 \cdot I \text{ ger } I = 1,25 A$$

$$\text{Resistivt spänningsfall: } R_f \cdot I = \frac{15,5}{2} \cdot 1,25 = 9,7V$$

Elektrisk vinkelhastighet: 4000 varv/minut ger 67 Hz vilket motsvarar 200 Hz elektriskt eller 400π rad.

$$\text{Induktivt spänningsfall: } \omega L_f \cdot I = 400\pi \cdot \frac{30 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 1,25 = 23,6V$$

$$U_f = \sqrt{(125 + 9,7)^2 + 23,6^2} = 136,8V \text{ ger } U_H = \sqrt{3} \cdot U_f = 237 V \text{ dvs } 230 V \text{ räcker inte.}$$

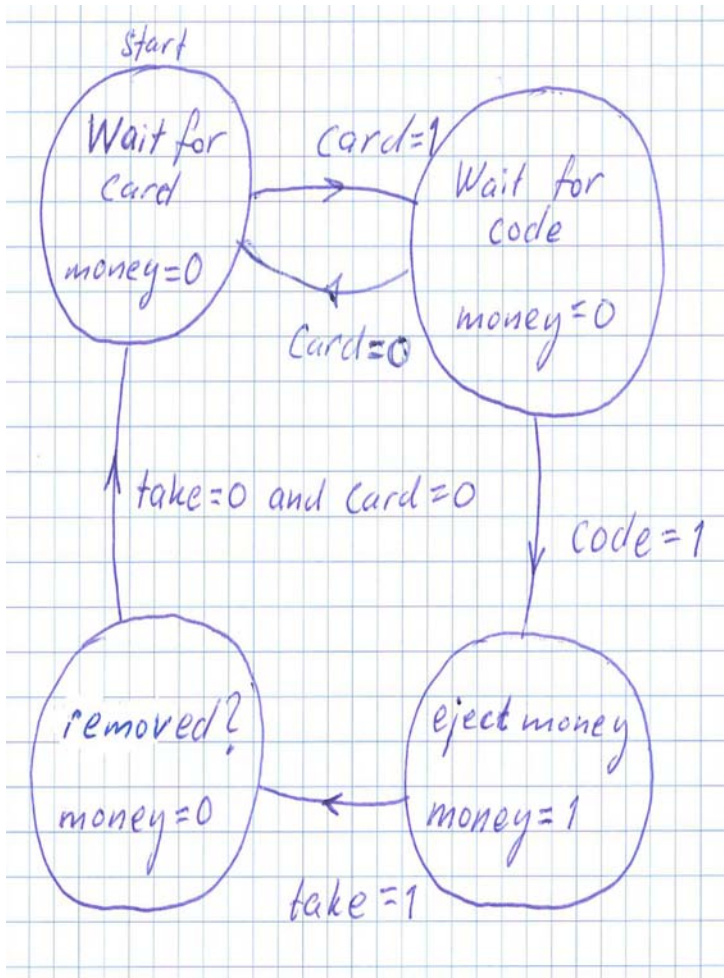
- 6(2) a) 1,3 ggr märkström ger $1,3^2$ ggr = 1,69 ggr förluster ($P_f = RI^2$). I fortvarighet är temperaturstegringen proportionell mot förlusterna $\mathcal{G}_{\infty} = R_{th} \cdot P_f$ (all effekt avgår till omgivningen och ingen effekt lagras upp och orsakar temperaturökning). Slutövertemperaturen blir därför:
 $\mathcal{G}_{\infty} = 1,69 \cdot 125^\circ C = 211^\circ C$
- b) Om motorn har varit obelastad en längre tid och varit placerad i rummet med temperaturen $20^\circ C$ så antar motorlindningen omgivningstemperaturen $20^\circ C$. I början av första belastningsperioden har temperaturen inte hunnit ändras och är därför $20^\circ C$. Övertemperaturen är därför $0^\circ C$.
- c) Det transienta övertemperaturförloppet under första belastningsperioden har begynnelsevärdet $0^\circ C$, slutvärdet $211^\circ C$ och tidkonstanten 30 min och kan därför skrivas: $\mathcal{G}_t = 211^\circ C \cdot (1 - e^{-t/30 \text{ min}})$. I slutet av första belastningsperioden blir övertemperaturen $= 211^\circ C \cdot (1 - e^{-45 \text{ min}/30 \text{ min}}) = 164^\circ C$ och lindningstemperaturen blir $20^\circ C + 164^\circ C = 184^\circ C$. Temperaturerna i början av första viloperioden är lika stora som i slutet av första belastningsperioden (de ändras ej språngvis).
- d) I slutet av första viloperioden blir övertemperaturen $= 164^\circ C \cdot e^{-45 \text{ min}/30 \text{ min}} = 36^\circ C$ och i slutet av andra belastningsperioden blir övertemperaturen $= 36^\circ C \cdot e^{-45 \text{ min}/30 \text{ min}} + 211^\circ C \cdot (1 - e^{-45 \text{ min}/30 \text{ min}}) = 172^\circ C$. Lindningstemperaturen blir $192^\circ C$.

Att långa tider ligga en bra bit över $165^\circ C$ inverkar negativt på lindningsisoleringen. Det kan kanske gå ett tag men livslängden på motorn blir kort. Det är bättre att välja en större motor.

- 7(2) a) När kontakten varit från under lång tid flyter ingen ström och därför är spänningen över R noll volt. Pga Kirchhoffs spänningslag måste då spänningen över brytaren vara 12 V.
- b) Spänningen över kondensatorn före $t = 0$ är 0, den är ju urladdad. Spänningen över kondensatorn kan inte ändras språngvis och blir därför 0 V direkt efter $t = 0$ dvs som en kortslutning.
- Strömmen $i = \frac{E}{R_C} = \frac{10}{900} = 11 \text{ mA}$.
- c) Tidskonstanten (τ) [ms] för det transienta förlopp som följer är $\tau = R_C \cdot C = 900 \cdot 10^{-6} = 0,9 \text{ ms}$
- d) Det transienta förloppet följer ekvationen:

$$I = 11 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-t/\tau}. \text{ Vid tidpunkten } \tau \text{ är strömmen } I = 11 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-1} = 4,05 \text{ mA}$$

8(2)



9(2) a) Se figur

b) Kirchhoffs spänningslag ger:

$$E - I \cdot R_G - U_{DG} - 0,6 = 0 \quad \rightarrow$$

$$I_{Grön} = \frac{E - U_{DG} - 0,6}{R_G} = \frac{4,5 - 3,0 - 0,6}{110} = 8,182 \text{ mA}$$

c) $P_{Grön} = 0,6 \cdot 0,008182 = 4,91 \text{ mW}$

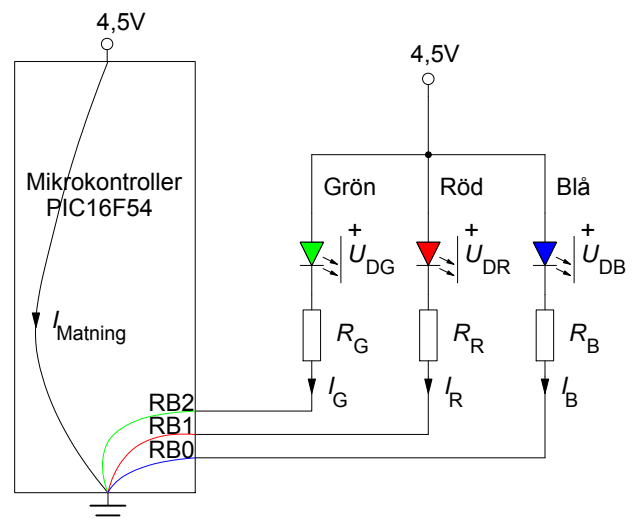
d)

$$I_{Röd} = \frac{E - U_{DR} - 0,6}{R_R} = \frac{4,5 - 1,7 - 0,6}{280} = 7,857 \text{ mA}$$

$$P_{Röd} = 0,6 \cdot 0,007857 = 4,71 \text{ mW}$$

$$P_{Matning} = 4,5 \cdot 0,007 = 31,5 \text{ mW}$$

$$P_{Totalt} = P_{Matning} + P_{Grön} + P_{Röd} + P_{Blå} = 31,5 + 4,91 + 4,71 + 4,91 \text{ mW} = 46 \text{ mW}$$



ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS:(Ta=25°C)

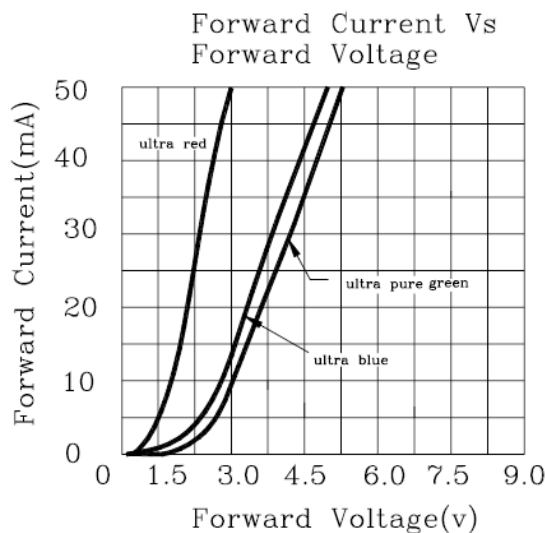
SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
VF	Forward Voltage	IF=20mA	Ultra Red	2.0	2.6	V
			Ultra Pure Green	3.5	4.0	V
			Ultra Blue	3.5	4.0	V
IR	Reverse Current	VR=5V	Ultra Red		100	μA
			Ultra Pure Green		100	μA
			Ultra Blue		100	μA
λD	Dominant Wavelength	IF=20mA	Ultra Red	625		nm
			Ultra Pure Green	525		nm
			Ultra Blue	460		nm
Δλ	Spectral Line Half-Width	IF=20mA	Ultra Red	20		nm
			Ultra Pure Green	22		nm
			Ultra Blue	30		nm
2θ1/2	Half Intensity Angle	IF=20mA	Ultra Red	40		deg
			Ultra Pure Green	40		deg
			Ultra Blue	40		deg
IV	Luminous Intensity	IF=20mA	Ultra Red	1500	2100	mcd
			Ultra Pure Green	4200	5800	mcd
			Ultra Blue	1100	1500	mcd

DRAWING NO. : DS-35-04-0636

DATE : 2005-10-19

Page : 2

<http://www.hebeild.com.cn/led.datasheet/540R2GBC-CA.pdf>



https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/dsMicrochip_MicroCont-PIC15F5_EN.pdf (8-bits mikrokontroller PIC16F5X med Flashminne)

- 10(2) a) Kondensatorn laddas omedelbart upp till 12 V då knappen trycks in och ska sedan laddas ur långsamt via motståndet på 1 Mohm. (Den ideala operationsförstärkarens inimpedans är oändlig, så ingen urladdning sker den vägen.) Uttrycket för omladdning i en RC-krets:

$$u_C = u_{C\infty} - (u_{C\infty} - u_{C0})e^{-t/\tau} \quad \text{I vårt fall (urladdning) gäller: } u_{C\infty} = 0$$

$$\Rightarrow u_C = u_{C0}e^{-t/RC}$$

Komparatorns icke-inverterande ingång har potentialen 6 V då potentiometern står på 50%. Komparatorns utgång blir därför låg (lampan

släcks) då $u_C \leq 6V$. Vi löser ut C:

$$u_C = u_{C0} e^{-t/RC} \Rightarrow \ln\left(\frac{u_C}{u_{C0}}\right) = -\frac{t}{RC} \Rightarrow C = -\frac{t}{\ln\left(\frac{u_C}{u_{C0}}\right) \cdot R} = -\frac{10s}{\ln\left(\frac{6}{12}\right) \cdot 1M\Omega} = \underline{14,4\mu F}$$

b) Vi sätter in $t=15$ s i vår formel och räknar ut ett nytt värde på u_C :

$$u_C = u_{C0} e^{-t/RC} = 12 \cdot e^{-15/1M\Omega \cdot 14,4\mu F} = 4,24V \quad \text{Procentvärdet för } R_T \text{ blir: } \frac{4,24}{12} = \underline{35\%}$$

Lystiden är oberoende av batterispänningen tack vare att referensspänningen på komparatorns icke-inverterande ingång tas från batterispänningen och därmed sjunker i motsvarande mån som uppladdningsspänningen över kondensatorn.