

ELEKTROTEKNIK
MASKINKONSTRUKTION
KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2017-01-14 09:00-13:00

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.

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).

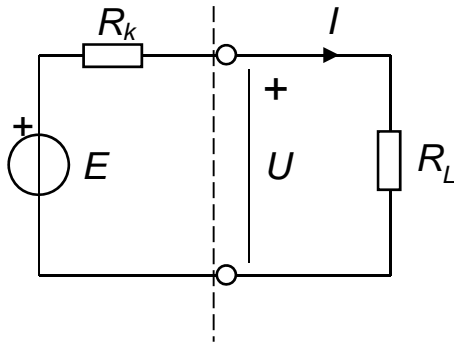
Vid behov kan Du skriva på baksidan.

OBS! Skriv ditt personnummer på varje blad.

Uppgift: 1(2)

Till en spänningskälla är ett motstånd anslutet. För spänningskällan gäller:

$$E = 12V, R_k = 4\Omega$$



- Vad bli spänningen U , om R_L är 2Ω ?
- Hur stor effekt utvecklas i R_L ?
- Vad blir strömmen I , om man byter ut R_L till 8Ω ?
- Hur stor effekt utvecklas nu i R_L ?

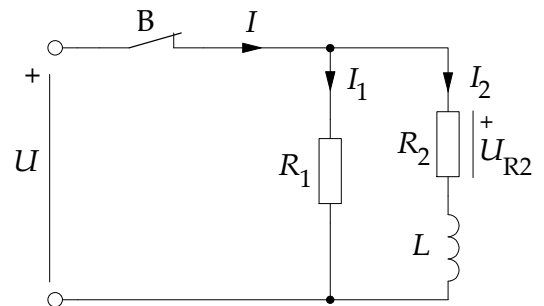
Uppgift: 2(2)

U är en växelspanning på $48V$, 50 Hz .

Brytaren B är sluten.

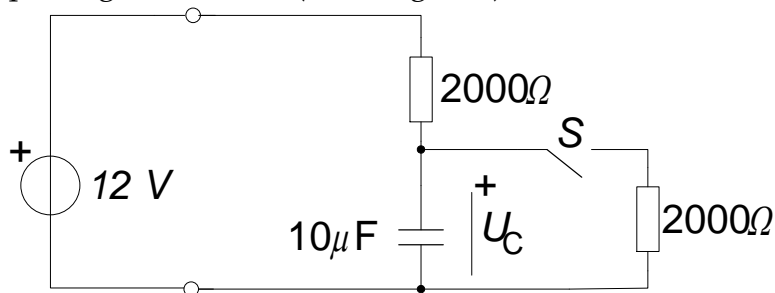
$$R_1 = 880\ \Omega, R_2 = 400\ \Omega, L = 815\ \text{mH}$$

- Beräkna I_1 .
- Beräkna I_2 .
- Beräkna U_{R2} .
- Beräkna I .



Uppgift: 3(1)

S är en strömbrytare som vid tidpunkten $t = 0$ stått sluten flera sekunder när den plötsligt slås S ifrån (som i figuren) .



- Vad är spänningen över kondensatorn direkt efter frånslaget?
- Vad blir spänningen över kondensatorn några sekunder efter frånslaget?

Uppgift: 4(2)

Ett företag ska tillverka ett trefasigt värmeelement med den totala effekten 6 kW. Nätspänningen är 400 V huvudspänning.

- Hur stor blir linjeströmmen och strömmen genom motstånden vid Y-koppling
- Vilken resistans ska vart och ett av de tre motstånden ha om de är Y-kopplade?
- Hur stor blir linjeströmmen och strömmen genom motstånden vid D-koppling?
- Vilken resistans ska motstånden ha om de är D-kopplade?

Uppgift: 5(2)

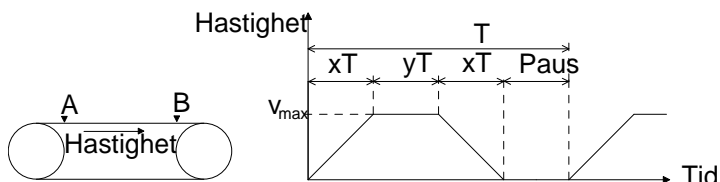
En transportör drivs av en likströmsmotor, som matas av ett elektroniskt matningsdon. Anordningens funktionssätt kan beskrivas så här: Ett arbetsstycke som sätts ner vid A förflyttas till B, där det lyfts bort från bandet. Efter en kort paus då motorn står stilla placeras ett nytt, likadant, arbetsstycke 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 $A \rightarrow B$ är 1 m vilket motsvarar 10 motorvarv.
- Arbetsstycket och anordningens tröghetsmoment är $J=0,013 \text{ kgm}^2$ vilket motsvarar en vikt på 51 kg. (förutom motorns egen vikt och tröghetsmoment)
- Den totala tiden för en arbetscykel, inklusive pausen, ska vara $T = 1,5 \text{ s}$.
- De båda dimensionslösa parametrarna x och y , som definieras i figuren, ska ha värdena $x = y = 0,25$



$$\left(\text{Från mekaniken } M = J \frac{d\omega}{dt} \right)$$

En likströmsmotor med följande data finns till förfogande:

$$J=1,2 \text{ gm}^2, M_N = 3 \text{ Nm}, K_2\Phi = 0,23 \text{ Nm/A}, R_A = 1,0 \Omega.$$

- Beräkna motorströmmen under accelerationsfasen.
- Kan motorn användas för att driva lasten?
- Till förfogande finns även ett matningsdon med märkströmmen 15 A och märkspänningen 48V. Kan detta matningsdon användas för att driva motor med lasten.

Uppgift: 6(2)

Till en elcykel behövs ett batteri med 24V nominell spänning. Ett batteri till cykeln skall byggas genom att koppla ihop ett stort antal småbatterier, AA. Dessa batterier är märkta 2 Ah samt 1,2V. Elmotorn (inklusive matningsdon) drar maximalt 10 A från batteriet.

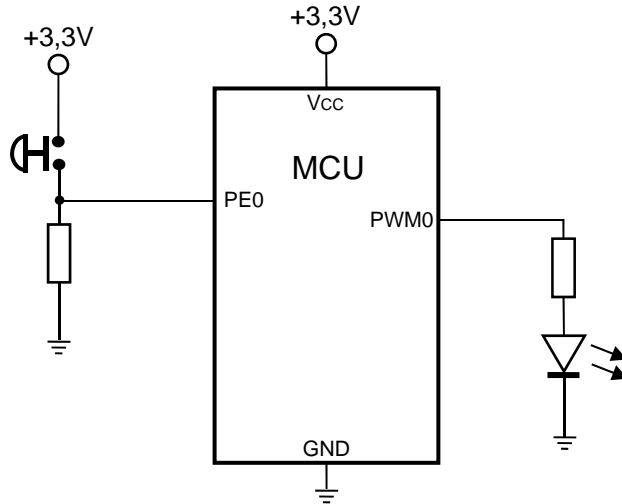
- Hur många batterier behövs åtminstone och hur ska de kopplas?
- Beräkna hur lång tid cykeln kan köras med full fart (maximal ström).
- Hur många batterier behövs sammanlagt om man vill köra i minst 1 timme med full effekt och hur skall dessa kopplas?

Efter inköp av småbatterier mäts spänningen på ett batteri i tomgång till 1,32V. Det belastas och dess ekvivalenta inre resistans uppskattas till $R_k = 0,14\Omega$. Batteriet vägs på brevvåg till 25g. Alla batterier antas vara identiska.

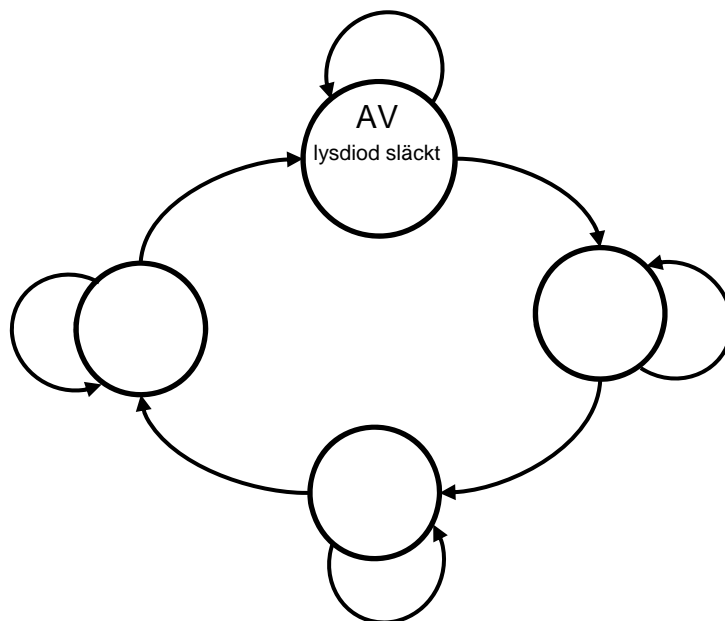
- Beräkna det kompletta cykelbatteriets polspänning vid maximal ström. Batteriet är uppbyggt enligt c)

Uppgift: 7(2)

En mikroprocessor styr en LED-ficklampa så att den lyser olika starkt beroende på hur många gånger man trycker på en knapp. Ljusintensiteten styrs med PWM. Trycker man en gång tänds lysdioden med 50% av maximal spänning. Trycker man ytterligare en gång ökas spänningen till 75%. En tredje tryckning ökar till 100% och trycker man sen en gång till släcks lysdioden (0%) och sekvensen kan börja om.



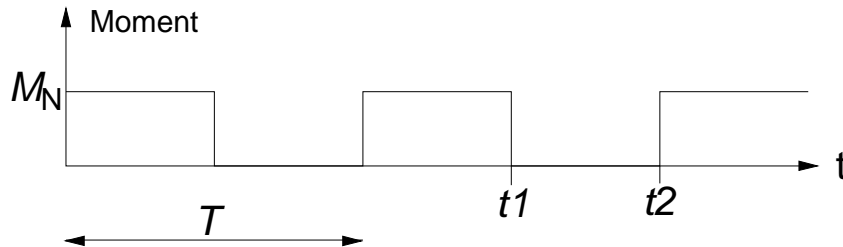
Fyll i tillståndsdigrammet nedan med de signaler som behövs, för att styra lampan. I varje tillstånd ingår en fördröjning, så att knappens kontaktstudsar hanteras, och så att man hinner släppa knappen (trycker man ner knappen lång tid behöver man då inte släppa den för att byta tillstånd). Bortse från denna fördröjning i tillståndsdigrammet.



Uppgift: 8(2)

En PM-synkronmotor har termiska tidkonstanten 10 minuter. Vid märklast uppnås lindningstemperaturen 140 °C vid omgivningstemperaturen 40 °C.

- a) Beräkna lindningstemperaturen om motorn belastas med ett periodiskt intermitterent moment enligt nedan. Periodtiden $T = 1$ s. Omgivningstemperaturen är 40 °C.



- b) Periodtiden ökas till $T = 200$ minuter. Beräkna lindningstemperaturen vid tidpunkterna t_1 och t_2 . Omgivningstemperaturen är 40 °C.

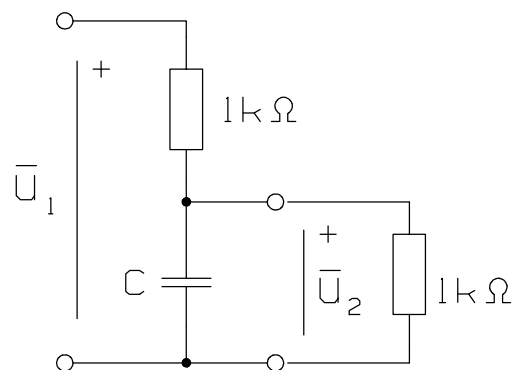
Uppgift: 9(1)

Vid en laboration studerar man egenskaperna hos belastade lågpasllänkar och använder bl a den koppling som visas här.

U_1 är sinusformad och har effektivvärdet 10 V.

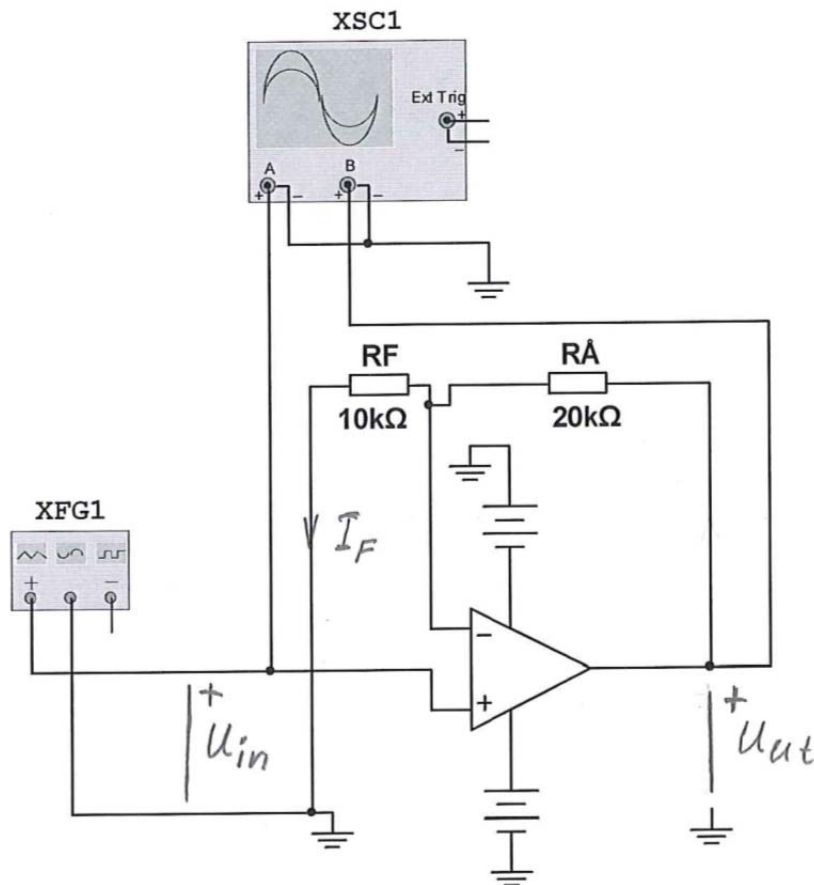
Beräkna effektivvärdet av U_2 vid

- a) mycket låga frekvenser ($\omega \ll \frac{2}{RC}$).
 b) mycket höga frekvenser ($\omega \gg \frac{2}{RC}$).



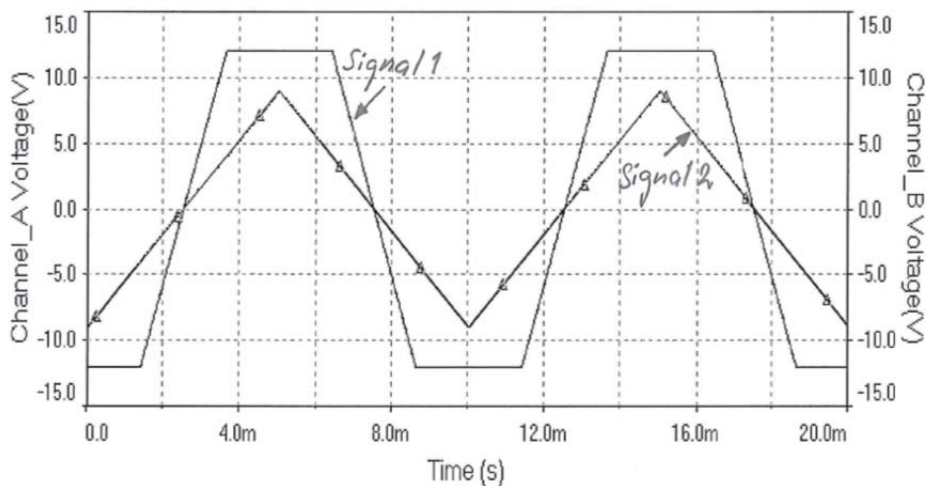
Uppgift: 10(2)

I en OP-förstärkarkoppling har förstärkaren matningsspänningen $\pm 12\text{V}$. Insignalen kommer från tongeneratoren XFG1 i figuren. Insignalen mäts med en scopemeter symboliserad av XSC1 i figuren.



- Beräkna momentanvärdet u_{in} då momentanvärdet $u_{ut} = 3\text{V}$.
- Beräkna u_{ut} då $u_{in} = 6\text{V}$.

På scopemetern kan man se nedanstående bild.



- c) Vilken signal visas på scopemetersnans kanal A och vilken visas på kanal B.

Uppgift: 11(2)

En PM synkronmotor har bland annat nedanstående data.

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

Pole no = 6

- Beräkna strömmen då varvtalet är 3000 varv per minut och belastningsmomentet är 1Nm.
- Beräkna klämspänningen U_H då varvtalet är 3000 varv per minut och belastningsmomentet är 1Nm.
Plötsligt ska lasten tillsammans med motorns rotor bromsas med 2 Nm.
- Beräkna strömmen i början av bromsförloppet.
- Beräkna klämspänningen i början av bromsförloppet.

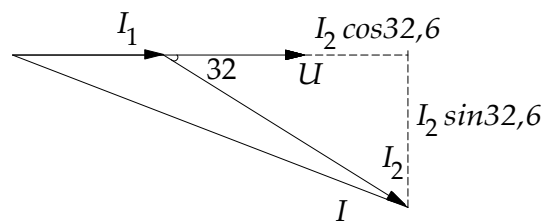
SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK MF1016 2017-01-14

Uppgift: 1(2)

- a) $I = \frac{E}{R_k + R_L} = \frac{12}{4+2} = 2A$, $U = R_L \cdot I = 2 \cdot 2 = 4V$
 b) $P = UI = 4 \cdot 2 = 8W$
 c) $I = \frac{E}{R_k + R_L} = \frac{12}{4+8} = 1A$
 d) $U = R_L \cdot I = 8 \cdot 1 = 8V$, $P = UI = 8 \cdot 1 = 8W$

Uppgift: 2(2)

- a) $\underline{I}_1 = 48/880 = 0,055A$ Fasvinkeln mellan \underline{U} och \underline{I}_1 är noll eftersom R_1 är en ren resistans.
 b) $\underline{I}_2 = 48/(400 + j2\pi 50 \cdot 0,815)$ Här har vi en fasvinkel mellan \underline{U} och \underline{I}_2 som bestäms av nämnaren.



$$|\underline{I}_2| = 48 / \sqrt{400^2 + (2\pi 50 \cdot 0,815)^2} = 48 / \sqrt{400^2 + 256^2} = 0,1A$$

$$\arg(\underline{I}_2) = \arg 48 - \arg(400 + j256) = 0 - \arctan(256/400) = -32,62^\circ$$

c) $|\underline{U}_{R_2}| = I_2 \cdot 400 = 0,1 \cdot 400 = 40V$

d) $|\underline{I}| = |\underline{I}_1 + \underline{I}_2| = \sqrt{(0,055 + 0,1 \cos 32,6)^2 + (0,1 \sin 32,6)^2} = \sqrt{0,0697^2 + 0,0272^2} = 0,15A$

$$\arg(\underline{I}) = -22,0^\circ$$

Uppgift: 3(1)

- a) På grund av komponentvärdena är tidkonstanterna i ms skala och korta i förhållande till några sekunder. Kondensatorn har konstant laddning och det flyter därför ingen ström genom den, som ett avbrott. Samma ström flyter då genom de båda lika stora motstånden de blir som seriekopplade. Eftersom det är samma ström och de har samma resistans blir det lika stor spänning över de båda motstånden. Summan av dessa delspänningar är 12V och de måste därför vara vardera 6V. Spänningen över kondensatorn är samma som spänningen över det nedre motståndet och blir även den 6V. Spänningen över kondensatorn ändras inte språngvis då strömbrytaren bryts utan blir inledningsvis 6V.

b)

Då strömbrytaren är bruten är kondensatorn och det övre motståndet seriekopplade. Efter lång tid, iförhållande till tidkonstanten, är kondensatorn laddad och det flyter

Svaren

ingen ström i kretsen. Då strömmen är noll är även spänningen över det övre motståndet noll och därför ligger hela spänningen 12V över kondensatorn.

Uppgift: 4(2)

a) Effekten i varje motstånd ska vara 2000 W och spänningen över motstånden

$400/\sqrt{3} \text{ V} = 230\text{V}$ och strömmen blir $I = \frac{2000}{230} = 8,7\text{A}$. Linjeströmmen flyter genom motstånden.

b) samt resistansen $R = \frac{230}{8,7} = 27\Omega$.

d) Vid D-koppling ligger huvudspänning över varje motstånd och strömmen

genom varje motstånd blir $I_G = \frac{2000}{400} = 5\text{A}$. Strömmen genom motstånden är även

grenströmmen och linjeströmmen blir därför $I = \sqrt{3}I_G = 5\text{A} = 8,7\text{A}$ (samma linjeström som vid Y-koppling såklart, det är ju samma effekt)

c) Motstånd blir $R = \frac{400}{5} = 80\Omega$

Uppgift: 5(2)

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

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

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

accelerationsmomentet blir $M_{acc} = J \frac{d\omega_{\max}}{dt} = 3,17\text{Nm}$

$M = K_2 \Phi \cdot I_A \Rightarrow I_A = \frac{3,17\text{Nm}}{0,23\text{Nm/A}} = 14\text{A}$

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

$$M_C = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot (3,17^2 \cdot 0,25T + 0 + 3,17^2 \cdot 0,25T + 0)} = 2,24\text{Nm}$$

Motorn har märkmomentet $3\text{Nm} > 2,24\text{Nm}$ och blir därför inte termiskt överbelastad.

Svaren

c) Märkströmmen 15A större än de 14 A som behövs vid acceleration. En förutsättning är att matningsdonet även kan ta emot 14A vid retardation (regenerativ bromsning, negativ ström) vilket inte framgår av uppgiften.

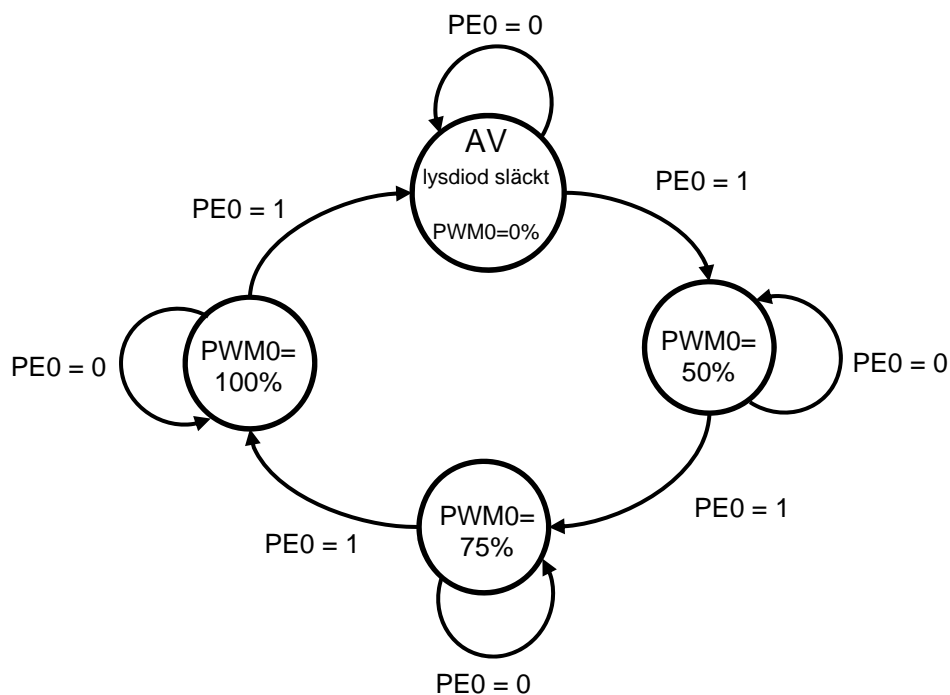
I slutet av accelerationsfasen är spänningsbehovet störst.

Spänningsekvationen för likströmsmotorn ger $U_A = 1,0 \cdot 14 + 0,23 \cdot 83,8 = 34V$ och därför räcker märkspänningen 48V. En annan förutsättning är dock att matningsdonet kan leverera en variabel spänning eftersom varvtalet styrs med spänningen. Ytterligare förutsättningar finns också, men faller utanför ramen för denna uppgift.

Uppgift: 6(2)

- För att få 24V kan $24/1,2 = 20$ st småbatterier seriekopplas till ett batteripaket.
- Om batteriet laddas ur fullständigt (SOC = 0%) blir tiden $t = 2Ah/10A = 0,2h$ eller 12 minuter.
- Ett paket räcker 12 minuter, det behövs 5 paket för att komma upp till 60 minuter. Dessa skall såklart vara parallellkopplade eftersom det fortfarande skall vara 24 V. Då blir strömmen genom varje batteri 5 ggr lägre och batteriet räcker 5 ggr längre.
- Strömmen genom ett batteri blir $10A/5 = 2A$ och spänningen blir $U_{cell} = 1,32V - 0,14\Omega \cdot 2A = 1,04V$ Seriekoppling av 20 st ger $U = 1,04V \cdot 20 = 21V$.

Uppgift: 7(2)



Uppgift: 8(2)

a) Övertemperaturen i märkdrift blir $\vartheta_{\text{ÖN}} = 140\text{ °C} - 40\text{ °C} = 100\text{ °C}$

Förlusterna i märkdrift är $P_{fN} = 3RI_N^2$

Motorns termiska resistans blir: $\vartheta_{\text{ÖN}} = R_{th} \cdot P_{fN} \Rightarrow R_{th} = \frac{\vartheta_{\text{ÖN}}}{3RI_N^2}$

Förlusterna under belastningsperioden blir $P_1 = P_{fN} = 3RI_N^2$

Förlusterna under tomgångsperioden blir $P_2 = 0$

Medelvärdet av förlusteffekten blir $P_{medel} = P_1/2 = 3RI_N^2/2$ eftersom delperioderna är lika stora.

Övertemperaturen vid halva märkmomentet blir (då är det även halva

märkströmmen). $\vartheta_{\text{ö}} = R_{th} \cdot P_f = \frac{\vartheta_{\text{ÖN}}}{3RI_N^2} \cdot \frac{3RI_N^2}{2} = 50\text{ °C}$

Lindningstemperaturen blir $50\text{ °C} + 40\text{ °C} = 90\text{ °C}$

Uppvärmningen bestäms av förlusteffekten som ökar med kvadraten på strömmen.

Förlusteffekten blir därför större för en pulsad ström med samma medelvärde som en konstant ström.

b) Vid tidpunkten t_1 har motorn varit belastad med märkmoment i en tidsperiod som är 10ggr större än tidkonstanten. Motorn har därför antagit sin sluttemperatur som är 140 °C . Vid tidpunkten t_2 har motorn varit obelastad i en tidsperiod som är 10ggr större än tidkonstanten och har därför svalnat till omgivningstemperaturen 40 °C .

Uppgift: 9(1)

Reaktansen ("motståndet") för en kondensator är $1/\omega C$. Vid låga frekvenser blir det stort som ett avbrott (ingen ström flyter). Vid höga frekvenser blir det litet, som en kortslutning, spänningen över kondensatorn blir noll.

a) $U_2 = 5\text{ V}$. (Vid låga frekvenser uppför sig kondensatorn som ett avbrott och spänningens delas lika över de två motstånden)

b) $U_2 = 0\text{ V}$. (Vid höga frekvenser kortsluter kondensatorn och spänningen över den blir 0).

Går även att räkna på om man vill:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{R \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}}{\frac{R \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}} = \frac{\frac{R}{Rj\omega C + 1}}{R + \frac{R}{Rj\omega C + 1}} = \frac{1}{1 + Rj\omega C + 1} = \frac{1}{2 + Rj\omega C} = \frac{1}{2} \frac{1}{1 + \frac{Rj\omega C}{2}}$$

$\omega=0$ ger $\frac{1}{2}$ och $\omega=\infty$ ger 0.

)

Uppgift: 10(2)

KVL (potentialvandring):

$$(1) U_{ut} - R_A \cdot I_F - R_F \cdot I_F = 0$$

$$(2) U_{in} - \Delta u - R_F \cdot I_F = 0$$

Där Δu är spänningen mellan OP-förtärkarens +(A) och -(B) ingång.

a) Antag OP-förstärkaren i linjära området $\Rightarrow \Delta u = 0$

$$(1) \Rightarrow I_F = \frac{3V}{30k\Omega} = 0,1mA$$

$$(2) \Rightarrow U_{in} = 10k\Omega \cdot 0,1mA = 1V$$

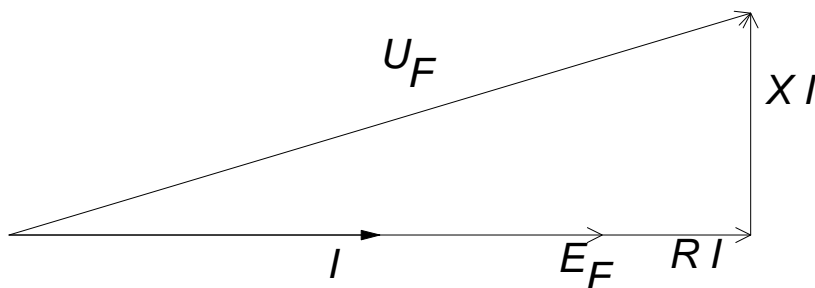
b) Samma antagande som i a) ger $U_{ut} = 18V$, men den kan max bli $12V \Rightarrow U_{ut} = 12V$.

c) Från a) har vi att $1V \rightarrow 3V$ och från b) har vi att $6V \rightarrow 12V$ vilket stämmer med att signal 2 \rightarrow signal 1. Signal 2 är U_{in} som är kopplad till kanal A. Signal 1 är kanal B som är U_{ut} .

Uppgift: 11(2)

$$a) I = M / K_T = 1Nm / 0,96(Nm/A) = 1A$$

b) I tomgång induceras $3000 \cdot 54 \cdot 10^{-3} = 162V$ mellan klämmorna (huvudspänning), vilket motsvarar fasspänningen $E_F = 162V / \sqrt{3} = 93,5V$. 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.

$$RI = \frac{15,5\Omega}{2} \cdot I = 8,1V$$

Detsamma gäller för induktansen. Den elektriska frekvensen är 3 ggr större än den mekaniska eftersom maskinen är 6-polig.

$$XI = \omega_{el} \cdot L \cdot I = 3 \cdot 2\pi \cdot \frac{3000}{60} \cdot \frac{30 \cdot 10^{-3}}{2} \Omega \cdot I = 14,7V$$

$$U_F = \sqrt{(93,5 + 8,1)^2 + 14,7^2} \text{ V} = 103 \text{ V} \quad \text{och klämspänningen } U_H = \sqrt{3} \cdot 103 \text{ V} = 178 \text{ V}$$

c) I början av bromsförloppet är varvtalet oförändrat och lastmomentet är 1 Nm dvs lasten bromsar med 1Nm av sig självt. Motorn skall därför bidra med 1 Nm för att bromsande momentet skall bli 2 Nm. Tecknet på motormomentet skall bli -1Nm för att bromsa, vilket gör att strömmen skall bli - 1 A

$$I = M / K_T .$$

$$d) U_F = \sqrt{(93,5 - 8,1)^2 + (-14,7)^2} \text{ V} = 87 \text{ V} \quad U_H = \sqrt{3} \cdot 103 \text{ V} = 150 \text{ V}$$