

ELEKTROTEKNIK
MASKINKONSTRUKTION
KTH

TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2016-06-07 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.

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.

Lösningar läggs ut på kursens hemsida 18:00

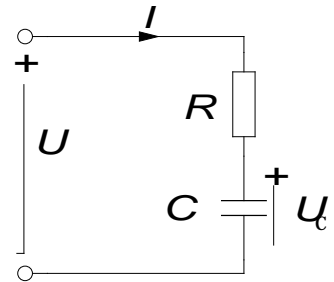
Uppgift: 1(2)

Kretsen i figuren till höger matas av en växelspanning med effektivvärdet $U = 356 \text{ V}$.
Effektutvecklingen i kretsen är 100 W .

Motståndet R är 75Ω .

Frekvensen är 50 Hz .

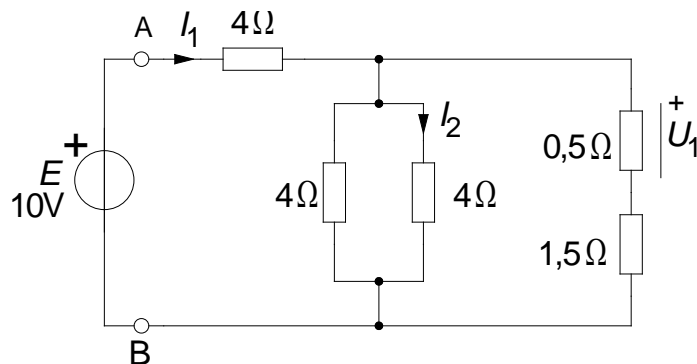
- a) Beräkna strömmen.
- b) Beräkna kretsens impedans (beloppet).
- c) Beräkna spänningen U_C (beloppet).
- d) Beräkna kondensatorns kapacitans.



Uppgift: 2(2)

Beräkna den i figuren markerade strömmen

I_2 och spänningen U_1



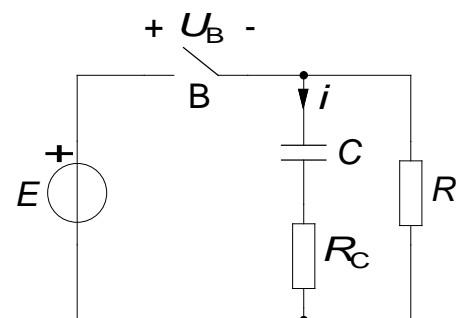
Uppgift: 3(2)

Strömbrytaren B i figuren har under lång tid varit i frånläge. Spänningskällan E ger en likspänning.

Vid tidpunkten $t = 0$ sluts kontakten B.

Utgå ifrån att

- $E = 12 \text{ V}$
- $C = 1 \mu\text{F}$
- $R = 20 \Omega$
- $R_C = 1000 \Omega$



Frågedel

Beräkna

- Spänningen över kondensatorn, omedelbart efter $t = 0$.
- Strömmen i genom kondensatorn omedelbart efter $t = 0$.
- Spänningen över kondensatorn vid $t = 1$ ms.
- Strömmen i genom kondensatorn vid $t = 10$ ms.

Uppgift: 4(2)

Till en elcykel behövs ett batteri med 36V nominell spänning. Emil och Emilia planerar att tillverka ett batteri till cykeln och tänker koppla ihop ett stort antal småbatterier av typen Duracell NiMH size AA. Dessa batterier är märkta 2050 mAh samt 1,2V.

- Hur många batterier behövs åtminstone och hur ska de kopplas?

Elmotorn (inklusive matningsdon) drar maximalt 250 watt (full effekt).

- Beräkna hur lång tid Emilia kan köra cykeln med full fart (full effekt).
- Hur många batterier behövs sammanlagt om man vill köra i minst 1 timme med full effekt och hur ska de 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 full effekt. Batteriet är uppbyggt enligt c)

Uppgift: 5(2)

En permanentmagnetiserad likströmsmotor utan kylfläkt har bl a nedanstående data:

Märkdata: 170 V, 15 A, 2,2 kW, 2000 varv/minut.

Termisk tidkonstant: ca 30 minuter

Märkdata gäller under förutsättning att omgivningstemperaturen är 40°C. Med hänsyn till isolermaterialets värmetålighet bör inte temperaturen i lindningen överstiga 145°C (isolationsklass F) vilket även är temperaturen efter lång tid i märkdrift. Tomgångsförlusterna kan försummas. Motorn matas med variabel spänning för att erhålla önskat varvtal.

- Beräkna förlusterna vid märkdrift.
- Vilken ström kan motorn belastas med kontinuerligt. Omgivningstemperaturen är konstant ca 20°C.
- Vilket moment kan motorn belastas med kontinuerligt vid 1000 varv/minut. Omgivningstemperaturen är konstant ca 20°C.
- Vilken effekt kan motorn belastas med kontinuerligt vid 1000 varv/minut. Omgivningstemperaturen är konstant ca 20°C.

Frågedel

Uppgift: 6(2)

I ett provrum för dieselmotordrivna reservverk hade man en belastningsimpedans. Den bestod av tre, inbördes Y-kopplade, resistorer i parallell med tre, inbördes D-kopplade, kondensatorer. Resistorerna och kondensatorerna var inställbara, så att man kunde belasta elverken med önskad ström och effektfaktor. Man mätte generatorns ström, spänning och effekt. Resistorerna har resistansen 14Ω . Kondensatorerna har kapacitansen $55 \mu\text{F}$.

Vid ett tillfälle är $U_H = 395\text{V}$ och frekvensen är 50 Hz

Beräkna

- a) Strömmen genom en kondensator
- b) Strömmen från generatorn.
- c) Lastens effektfaktor, $\cos\phi$.
- d) Effekten från generatorn.

Uppgift: 7(2)

En temperaturgivare ger utsignalen 0 till 1V och har mätområdet 0 till 100°C . Tyvärr har signalen en överlagrad störning med amplituden $0,1\text{V}$ och frekvensen 100 Hz . Dimensionera ett lågpasfilter (RC lågpaslänk) som reducerar störningen till $0,01\text{V}$ (amplitud). Anta för enkelhets skull att givaren har försumbar utresistans.

- a) Rita ett schema för filtret med insignal och utsignal markerade.
- b) Välj värde på motståndet. Kondensatorn skall ha kapacitansen 470 nF .
- c) Utsignalen skall mätas med ett mätinstrument med inresistansen $1 \text{ M}\Omega$. Rita in denna resistans i figuren.
- d) Har denna inresistans en försumbar inverkan på signalens amplitud eller ej?

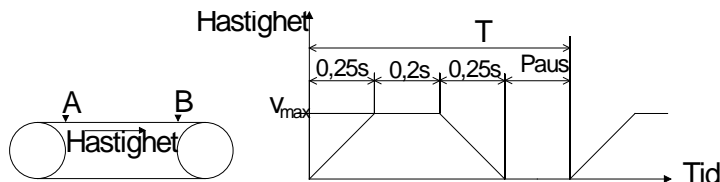
Uppgift: 8(2)

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

En motor med märkmomentet 3 Nm , märkströmmen 13 A , $R_A=1\Omega$ och rotortröghetsmomentet $0,0013\text{ kgm}^2$ är vald för att utföra uppgiften.

a) Beräkna den största ström som motorn kräver för att genomföra driften.

b) Beräkna den maximala spänning som motorn kräver för att genomföra driften.

c) Klarar motorn driften kontinuerligt utan att bli termiskt överbelastad?

Uppgift: 9(1)

Parametrar för en PM-synkronmotor ska bestämmas. På en stillastående motor mäts resistansen mellan två anslutningar till $0,8\ \Omega$. Ett tomgångsprov görs och spänningen mellan två uttag uppmäts till 220 V vid 2000 varv/minut .

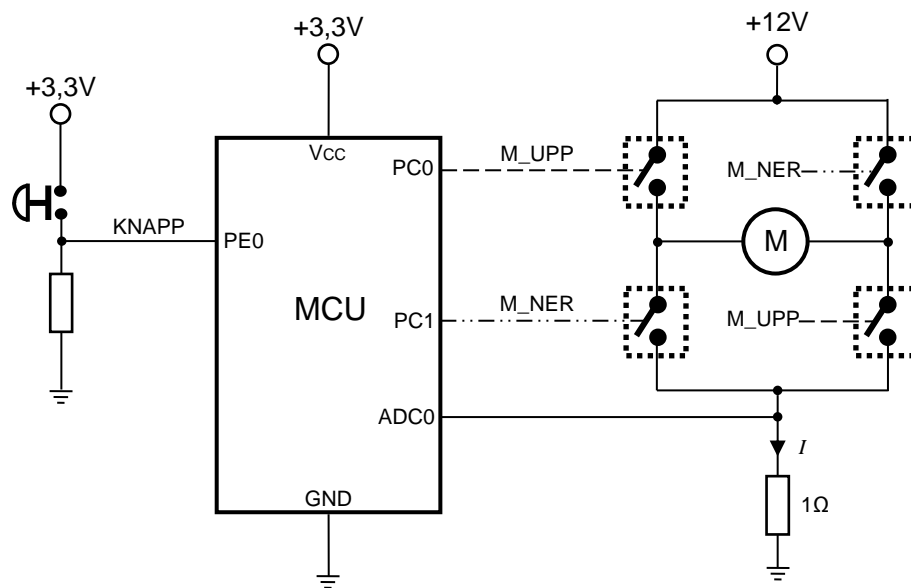
Beräkna motorns momentkonstant.

Uppgift: 10(2)

En fönsterhiss fungerar så att en knapptryckning får fönstret att gå **hela** vägen ner eller upp. Motorn styrs åt ena eller andra hållet av en enkel H-brygga (schematiskt ritad nedan).

I ändlägena bromsas hissmotorn mekanisk till stillestånd (*mekanisk kortslutning* => $E = 0 \Rightarrow I_A = \max$) och då blir strömmen i motorn ≥ 2 A.

Motorströmmen flyter genom ett motstånd $R = 1\Omega$, så att man får en mätspänning till en mikrokontrollers AD-omvandlare.

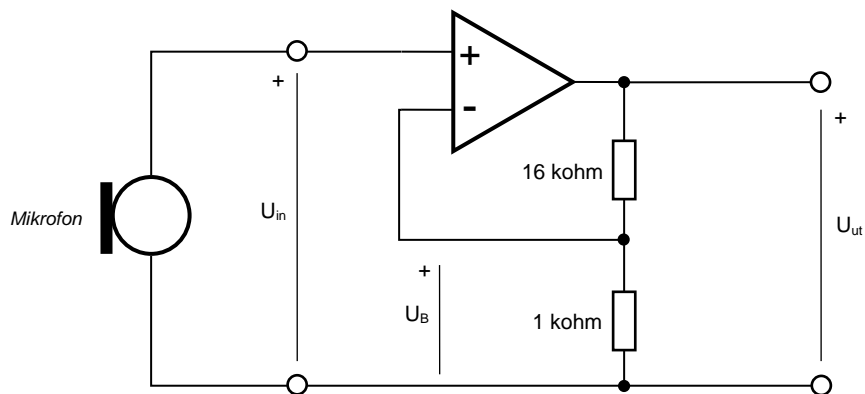


- a) (0,5p) Antag att AD-omvandlaren använder 10 bitar och har en referensspänning på 3,3 V. Vad blir heltalsvärdet av den AD-omvandlade mätspänningen vid motorströmmen $I=2$ A?
- b) (1,5p) Hissmotorn styrs upp av signalen M_UPP och ned av signalen M_NER. Då motorströmmen blir ≥ 2 A sätts signalen MAX_STRÖM till 1.

Rita ett tillståndsdigram över hisstyrningen. Maximalt fyra tillstånd behövs och signalerna KNAPP, M_UPP, M_NER och MAX_STRÖM ska ingå.

Uppgift: 11(1)

I en karaokemaskin finns en mikrofonförstärkare med fix förstärkning. Operationsförstärkaren matas med ± 5 V och är i övrigt ideal.



Vid ett tillfälle är momentanvärdet på utspänningen är $1,7\text{V}$.

- Beräkna strömmen genom 16 kohm motståndet.
- Beräkna U_{in} .

SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK MF1016 2016-06-07

Uppgift: 1(2)

- a) Motståndet R (75Ω) förbrukar den aktiva effekten P (100 W). Det gäller

$$P = R \cdot I^2 \Rightarrow I = \sqrt{P/R} = 1,15 \text{ A} .$$
- b) $Z = U/I = 308 \Omega$
- c) Spänningen över motståndet blir $U_R = R \cdot I = 75\Omega \cdot 1,15 \text{ A} = 87 \text{ V}$ och ligger i fas med strömmen. U_X ligger fasvriden 90 grader från strömmen och därmed U_R .

$$U_X = \sqrt{U^2 - U_R^2} = 345 \text{ V}$$
- d) $U_X = \frac{1}{\omega C} I \Rightarrow C = \frac{I}{\omega U_X} = \frac{1,15}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 345} \text{ F} = 10,6 \mu\text{F}$

Uppgift: 2(2)

Strömmen I_1 fördelas mellan tre parallellgrenar: $4//4//2 = 1\Omega$. De tre parallella grenarna är seriekopplade med 4Ω . Kretsens resulterande resistans blir därför 5Ω .

$$I_1 = \frac{E}{R_{\text{tot}}} = \frac{10\text{V}}{5\Omega} = 2\text{A} . \text{ Spänningen över de parallell grenarna blir } = 2\text{A} \cdot 1\Omega = 2\text{V}$$

$$\text{Strömmen } I_2 = \frac{2\text{V}}{4\Omega} = 0,5\text{A} . \text{ Strömmen genom } 0,5 \Omega \text{ motståndet blir } \frac{2\text{V}}{(0,5 + 1,5)\Omega} = 1\text{A}$$

$$U_1 = 1\text{A} \cdot 0,5\Omega = 0,5\text{V}$$

Uppgift: 3(2)

- a) När kontakten varit från under lång tid har kondensatorn laddats ur via R och R_c och såväl laddning som kondensatorspänning är noll. Direkt efter tillslag ändras ej kondensatorladdningen språngartat och därmed ej kondensatorspänningen som därför är noll.
- b) Eftersom spänningen över kondensatorn är noll så måste hela spänningen på 12 V ligga över R_c och Ohms lag ger: $i = 12\text{V}/1000\Omega = 12 \text{ mA}$. Samma ström 12 mA flyter genom kondensatorn, de är seriekopplade.
- c) Tidkonstanten för uppladdningen $\tau = R_c \cdot C = 1000 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 1 \text{ ms}$. Med slutvärdet 12V och begynnelsevärdet 0V blir $12\text{V} \cdot (1 - e^{-1}) = 12\text{V} \cdot 0,63 = 7,6\text{V}$
- d) Efter 10 ms , 10 tidkonstanter, har det transienta förloppet i praktiken klingat av och strömmen genom kondensatorn är noll.

Uppgift: 4(2)

- a) För att få 36V kan $36/1,2 = 30$ st småbatterier seriekopplas till ett batteripaket.
- b) Vid max effekt blir strömmen genom batteriet $I = 250W/36V = 7A$.
Om batteriet laddas ur fullständigt (SOC = 0%) blir tiden $t = 2,05Ah/7A = 0,3h$ eller 18 minuter.
- c) Strömmen per batteri minskas vid parallellkoppling av 36V batteripaket enligt a). Strömmen 2,05Ah (strömmen 1C) laddar ur ett batteri på 1h. Antal parallellkopplade för att komma upp till 7A är $7/2,05 = 3,4$. Emilia och Emil tar därför 4 st i parallell. 120 småbatterier ska således vara ihopkopplade 30 st i seriekopplade paket. 4 st sådana paket skall vara parallellkopplade.
- d) Strömmen genom ett batteri blir $7A/4 = 1,7A$ och spänningen blir
 $U_{cell} = 1,32V - 0,14\Omega \cdot 1,7A = 1,08V$ Seriekoppling av 30 st ger $U = 1,08V \cdot 30 = 32V$.

Uppgift: 5(2)

- a) $P_{fN} = 170 V \cdot 15 A = 2550 W$
- b) Slutövertemperaturen i lindningen är proportionell mot förlusterna.

$$\theta_{\infty} = R_{th} P_{fN}$$

Vid förlusterna 350 W blir övertemperaturen $145^\circ C - 40^\circ C = 105^\circ C$

För maskinen blir därför den termiska resistansen $R_{th} = 105^\circ C/350 W = 0,3^\circ C/W$.

Eftersom omgivningstemperaturen är $20^\circ C$ får övertemperaturen maximalt bli $125^\circ C$ vilket betyder att förlusterna maximalt får bli:

$$P_f = \frac{125}{0,3} W = 417W$$

Motorn resistans fås ur: $P_{fN} = R_A \cdot I_N^2$ ger $R_A = \frac{P_{fN}}{I_N^2} = \frac{350}{15^2} \Omega = 1,56\Omega$

Strömmen blir: $417W = 1,56\Omega \cdot I^2$ ger $I = 16,4A$.

c) Märkmomentet blir: $M_N = \frac{P_N}{\omega_N} = \frac{2200 \cdot 60}{(2 \cdot \pi \cdot 2000)} Nm = 10,5 Nm$

Momentkonstanten: $K_2 \phi = \frac{10,5 Nm}{15A} = 0,7 Nm/A$

och momentet vid 16,4 A blir: $M = 0,7 \cdot 16,4 = 11,5 Nm$.

d) Vid 1000 varv/minut blir den axeleffekten som kontinuerligt kan tillåtas utan att motorn blir för varm

$$P = 11,5 \cdot 2 \pi \cdot 1000/60 = 1200 W.$$

Uppgift: 6(2)

Svaren

a) "Ohms lag" för kondensatorer $U = \frac{1}{\omega C} \cdot I$ ger i detta sammanhang

$$395V = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 55} \Omega \cdot I \text{ ger } I = 6,8 \text{ A}$$

b) Vi räknar per fas pga symmetri.

Vi tänker oss ett R parallellkopplat med ett C anslutet till fasspänningen.

Strömmarna blir då linjeströmmar I_{LR} till R och I_{LC} till C. I_{LR} ligger i fas med fasspänningen och I_{LC} ligger fasvriden 90° i förhållande till fasspänningen, vilket gör att I_{LR} och I_{LC} ligger fasvridna 90° inbördes. Summan av dessa visar ger totala strömmen I_L som är fasvriden ϕ mot fasspänningen. Rita gärna ett visardiagram om det underlättar.

Grenströmmen 6,8A ger en linjeström på $I_{LC} = \sqrt{3} \cdot 6,8A = 11,8A$.

$$\text{Linjeströmmen till resistorerna } I_{LR} = \frac{U_F}{R} = \frac{395V / \sqrt{3}}{14\Omega} = 16,3A.$$

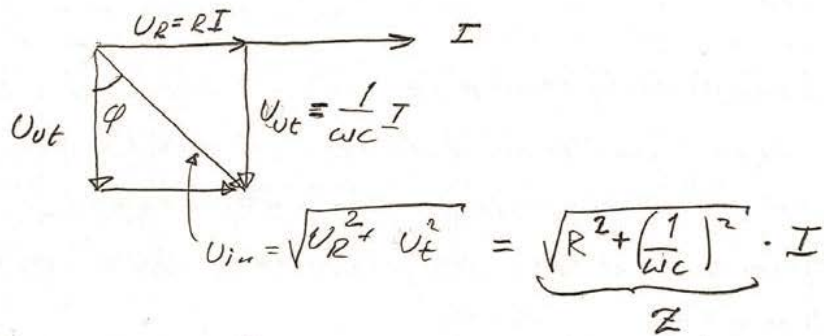
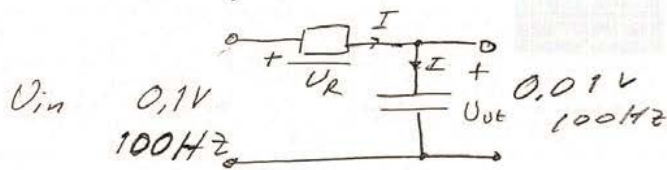
Strömlag, 90° fasförskjutning ger $I_L = \sqrt{11,8^2 + 16,3^2} A = 20A$.

c) $\cos\phi = 16,3/20 = 0,8$.

$$\text{d) } P = 3U_F I_L \cos\phi = 3 \cdot \frac{395V}{\sqrt{3}} \cdot 20A \cdot 16,3/20 = 11kW$$

Uppgift: 7(2)

Lösning:



$$U_{Ct} = \frac{1}{\omega C} I = \frac{1}{\omega C} \cdot \frac{U_{in}}{Z} = \frac{1}{\omega C} \frac{U_{in}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} =$$

$$= \frac{U_{in}}{\sqrt{1 + (\omega R C)^2}} = \frac{U_{in}}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}} \quad \text{där } \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

siffror: $0,01 = \frac{0,1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \cdot 100}{\omega_0}\right)^2}}$

$$1 + \left(\frac{2\pi \cdot 100}{\omega_0}\right)^2 = 100$$

 f_0 [Hz]

$$\Rightarrow \frac{2\pi \cdot 100}{\omega_0} \approx 10 \Rightarrow \omega_0 = 2\pi \cdot 10 \text{ rad/s}$$

(gränsfrekvens 10 Hz tydligen)

$$\Rightarrow \tau = \frac{1}{\omega_0} = R \cdot C = \frac{1}{2\pi \cdot 10} \text{ s} = 0,016 \text{ s}$$

Vi räknar ha $C = 470 \text{ nF} \Rightarrow R = \frac{0,016}{470 \cdot 10^{-9}} \Omega \approx 34 \text{ k}\Omega$

Välj; $C = 470 \text{ nF}$

Som ovan men parallellt med C ligger $R_2 = 1000 \text{ k}\Omega$ som representerar mätinstrumentet. Vid parallellkoppling blir det minsta motståndet dominerande.

Vid 100 Hz blir $\frac{1}{\omega C} = \frac{10^9}{2\pi \cdot 100 \cdot 470} = 3,39 \text{ k}\Omega$

1000k Ω parallellt med 3,39k Ω blir i stort sett 3,39k Ω ("all" ström går minsta motståndets väg, i detta fall kondensatorn). R_2 kan försummas vid sidan av $1/\omega C$ och samma beräkning som tidigare gäller. Mätinstrumentet har därför försumbar inverkan och störningen på filtrets utgång eller mätinstrumentets ingång blir fortfarande 0,01V, motsvarande 1 grad C i temperatur.

Ett mer matematiskt resonemang ger:

Parallellkopplingen (bold är komplext tal)

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{1000k\Omega} + \frac{1}{-j3,39k\Omega} = \frac{1}{-j3,39k\Omega} \left(\frac{-j3,39}{1000} + 1 \right) = \left(\frac{-j3,39}{1000} \text{ försummas} \right) \approx \frac{1}{-j3,39k\Omega}$$

$$Z_2 \approx -j3,39k\Omega$$

Uppgift: 8(2)

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

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

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

$J = (0,0025 + 0,0013) \text{ kgm}^2 = 0,0038 \text{ kgm}^2$

accelerationsmomentet blir $M_{acc} = J \frac{d\omega_{\max}}{dt} = 4,24 \text{ Nm}$

$K_2 \Phi = 3 \text{ Nm/13A} = 0,23 \text{ Nm/A}$

vilket ger strömmen $I_{acc} = \frac{M_{acc}}{K_2 \Phi} = 18,4 \text{ A}$

b) Spänningsekvationen: $U_A = 1 \cdot 18,4 + 0,23 \cdot 279 = 83 \text{ V}$

c) Det konstanta moment som ger samma temperaturstegring som det aktuella

variabla blir. $M_C = \sqrt{\frac{1}{1,1} \cdot (4,24^2 \cdot 0,25 + 0 + 4,24^2 \cdot 0,25 + 0)} = 2,8 \text{ Nm}$

Uppgift: 9(1)

Axeffekten blir $E_F \cdot I$ per fas och för tre faser gäller:

$3 \cdot E_F \cdot I = M \cdot \omega_{mek} = K_T \cdot I \cdot \omega_{mek}$ där K_T är momentkonstanten.

Vid till exempel 2000 varv/ minut erhålls $E_F = 220 \text{ V} / \sqrt{3}$ eftersom mätningen mellan två uttag (faser) ger huvudspänning.

Insättning ger: $3 \cdot 220 \text{ V} / \sqrt{3} \cdot I = K_T \cdot I \cdot 2\pi \cdot 2000 / 60$ ger $K_T = 1,82 \text{ Nm/A}$

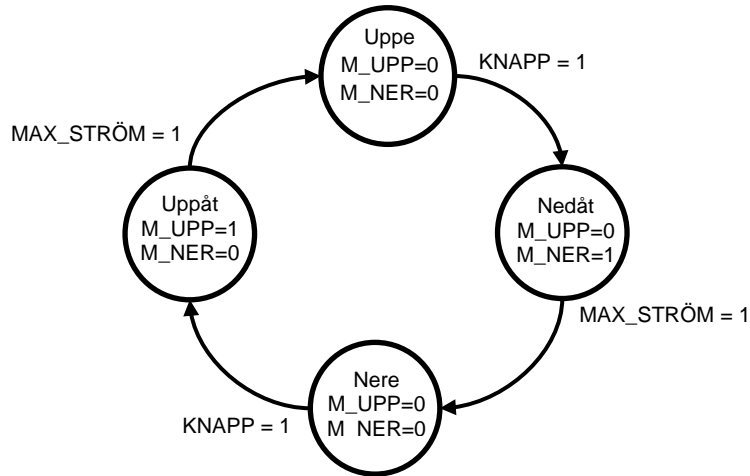
Svaren

Uppgift: 10(2)

Lösning

$$a) = \frac{R \cdot I}{V_{REF}} \cdot (2^N - 1) = \frac{1 \cdot 2}{3,3} \cdot (2^{10} - 1) = 620$$

b)

**Uppgift: 11(1)**

a) Ideal operationsförstärkare ger: $R_{in} = \infty \Rightarrow I_- = 0$

Det blir samma ström (seriekoppling) genom 16kohm och 1 kohm motstånden.

$$\Rightarrow I = \frac{U_{ut}}{R_A + R_F} = \frac{1,7V}{16k\Omega + 1k\Omega} = 0,1mA$$

b) Ideal operationsförstärkare som linjär förstärkare ger:

$$U_A - U_B = 0 \Rightarrow U_B = U_{in}$$

$$\text{Ohm's lag ger } U_{in} = U_B = 0,1mA \cdot 1k\Omega = 0,1V$$