

Inlämningstid
Kl:

ELEKTROTEKNIK

MASKINKONSTRUKTION

KTH

## TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2013-10-31

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 publiceras 18:00.

Tentamensresultatet anslås 2013-11-14

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.**

**Fyll ej i tabellen nedan:**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>

<b>Σ Poäng</b>

1(2) Ett bilbatteri har 12,5 V i tomgångsspänning och vid start av bilmotorn sjunker spänningen till 9 V eftersom startmotorn förbrukar så pass mycket ström, låt oss säga 110 A.

a) Antag att bilbatteriet kopplas loss och ansluts till en batteriladdare och att den laddar batteriet med 6A. Beräkna batteriets klämspänning (batterispänningen) vid laddning.

Då bilen kör levereras maximalt 130 A från generatoren. En del av strömmen från generatoren levereras till förbrukare i bilen, lampor, och mycket går till luftkonditioneringen varma sommardagar. En del av strömmen laddar dock batteriet.

b) Hur stor ström laddar batteriet om generatoren levererar den brukliga spänningen 14 V (vi antar att batteriet har samma tomgångsspänning 12,5 V som tidigare).

2(2) Kretsen i figuren matas med en sinusformad växelspänning.

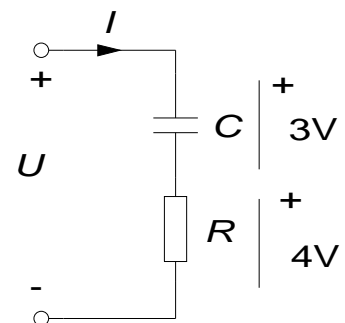
$R = 100 \Omega$  och  $f = 1000 \text{ Hz}$ .

a) Beräkna  $I$ .

b) Beräkna  $U$ .

c) Beräkna  $C$ .

d) Beräkna effektutvecklingen i kretsen.



3(2) Först ligger brytaren en lång tid i läge v. Vid  $t = 0$  slås den om till läge h.

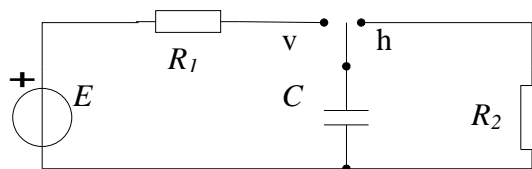
Utgå ifrån att

$E = 10 \text{ V}$

$C = 50 \mu\text{F}$

$R_1 = 15 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 30 \text{ k}\Omega$



a) Beräkna spänningen över kondensatorn strax efter omslag till läge h.

b) Beräkna spänningen över kondensatorn vid  $t = 2 \text{ s}$ .

Vid  $t = 2 \text{ s}$  slås omkopplaren tillbaka till läge v.

c) Beräkna spänningen över kondensatorn direkt efter 2 s (dvs direkt efter tillbakakopplingen)

d) Beräkna spänningen vid  $t=3\text{s}$  (dvs 1 s efter tillbakakopplingen).

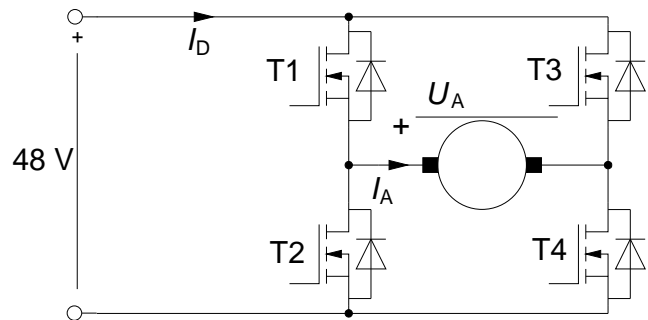
- 4(3) En permanentmagnetiserad likströmsmotor matas från ett switchat matningsdon enligt figuren. Transistorerna arbetar med en pulsfrekvens på 20 kHz. Transistorernas bottenspänning och diodens framspänningsfall får anses vara försumbara.

Motorn har bl a följande data:

$$R_A = 0,7 \Omega$$

$$L_A = 1,7 \text{ mH}$$

$$K_2 \Phi = 0,2 \text{ Nm / A}$$



Matningsspänningen 48 V fås från 4 seriekopplade bilbatterier. Transistorerna är styrda så att motorn roterar med 812 varv/minut i tomgång (Friktionsförlusterna är försumbara). Motorn roterar medurs och  $U_A$  är positiv.

a) Beräkna  $I_D$ .

b) Beräkna ankarspänningen  $U_A$ .

Vid ett tillfälle ändras styrningen, tändningen av transistorerna, så att motorn accelereras med ett moment på 3 Nm. Detta sker i praktiken så att utrustningens strömgräns ökas till ett visst värde som motsvarar momentet 3 Nm.

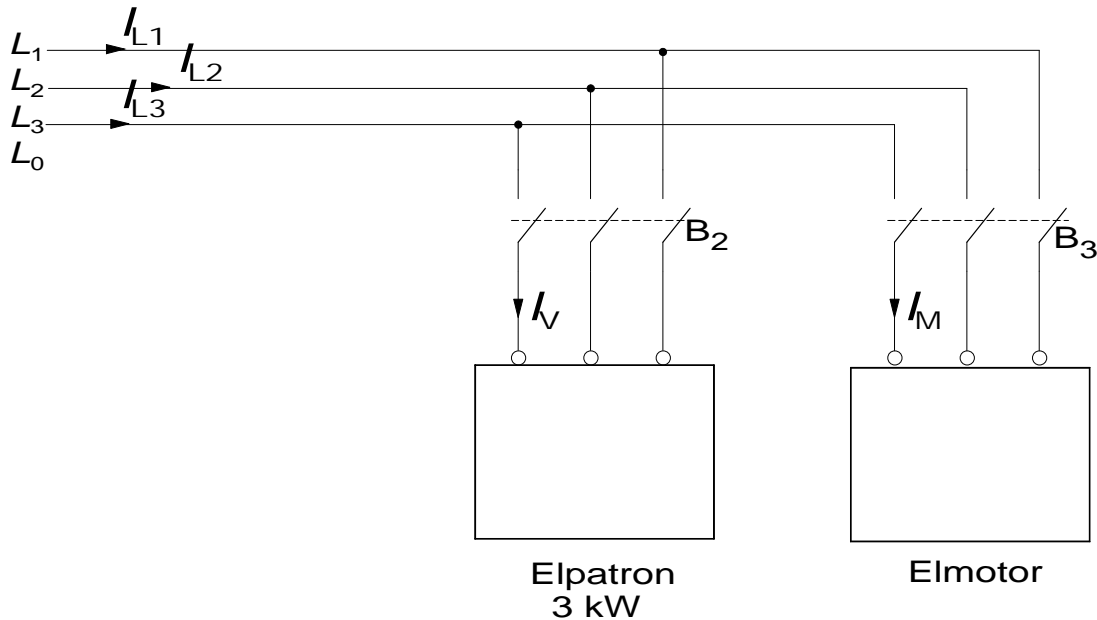
c) Beräkna ankarströmmen  $I_A$  i början av accelerationsförloppet.

d) Beräkna  $U_A$  i början av accelerationsförloppet.

e) Beräkna  $I_D$  i början av accelerationsförloppet.

f) Redogör kvalitativt för effektflödet under accelerationsförloppet.

- 5(2) Hur stor ström tas ut från nätet om 2 symmetriska trefaslaster ansluts. De två lasterna är ett 3 kW värmelement (Elpatron) och en liten 3-fasmotor från ABB. Elnätet har en huvudspänning på 400 V, 50Hz. Motorn och värmeelementet är båda tillverkade för 400 V huvudspänning.



- a) Hur stor är strömmen till värmepatronen ( $I_V$ ) då den är inkopplad?
- b) Hur stor är strömmen till elmotorn ( $I_M$ ) då den är inkopplad? Motordata finns i tabellen nedan. Motorn är belastad med märklaster.

**En ABB 3-fasmotor med märkspänning 400V.**

Motorbeteckning	P axel [kW]	Verkningsgrad vid fullast [%]	Märkvarvtal [varv/min]	Märkström [A]	Effektfaktor vid märkvarvtal
M3BP 71 MA 6	0,18	63,7	900	0,57	0,71

- c) Hur stor är linjeströmmen ( $I_{L2}$ ) då båda utrustningarna är inkopplade?

6(2)

Measuring voltage	V	32
No-load speed	rpm	6100
Stall torque	mNm	720
Max. continuous current	A	2,3
Max. recommended speed	rpm	9000
Max. continuous output power	W	75
Back-EMF constant	V/1000rpm	5,2
Terminal resistance, $R_A$	ohm	2,2
Torque constant	mNm/A	49,7
Rotor inertia	$\text{kgm}^2 \cdot 10^{-7}$	71,4
Thermal time constant, rotor	s	60
stator	s	920
Thermal resistance rotor-body	$^{\circ}\text{C/W}$	3,5
Body-ambient	$^{\circ}\text{C/W}$	8
Max. permissible coil temperature	$^{\circ}\text{C}$	100

Ovan visas data för en PM-likströmsmotor.

Det anses att märkmoment är det moment motorn kan utveckla kontinuerligt vid omgivningstemperaturen  $40^{\circ}\text{C}$ , utan att motorn blir för varm. Vid detta moment flyter en ström som kallas märkströmmen.

- Beräkna denna märkström.
- Beräkna märkmomentet.

Vid matning med märkspänningen, i detta fall 32 V enligt databladet ovan, och belastning med märkmomentet uppkommer märkvarvtalet. Den mekaniska effekt som då går ut på axeln kallas märkeffekten.

- Beräkna detta märvarvtal.
- Beräkna märkeffekten.

- 7(2) Ett batteridrivet cykellyse med lysdioder skall styras med en återfjädrande knapp. En tryckning på knappen skall göra att dioderna lyser och de skall förbli lysande då knappen släpps. Trycks knappen ned då lysdioderna lyser skall de släckas och förbli släckta även när knappen släpps.

Det finns en insignal med namnet knapp och en utsignal med namnet lys. Signalernas funktion framgår av tabellerna nedan.

Opåverkad knapp ger	knapp = 0
Nedtryckt knapp ger	knapp = 1

lys = 0	ger släckta dioder
lys = 1	ger lysande dioder

Rita ett tillståndsdigram som beskriver systemet.

- 8(2)

Utgå från uttrycket  $\bar{A} = \bar{x}yz + x\bar{y}z + xy\bar{z}$

*Inga minuspoäng vid val av fel alternativ!*

- a) Vilket av de nedanstående sanningstabeller gäller för A. OBS att det står  $\bar{A} = \dots$  i uttrycket ovan.

Svar: Ringa in siffran för rätt alternativ.

1) x y z A

0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

2) x y z A

0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

3) x y z A

0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

b) Vilken av de tre Karnaughdiagrammen motsvarar den sanningstabell Du valt? Ringa in rätt bokstav. (Det finns endast ett korrekt Karnaughdiagram för varje sanningstabell.)

Svar: Ringa in siffran för rätt alternativ.

		yz			
		00	01	11	10
x	0	1	1	0	1
	1	1	1	0	0

A

4)

		z	
		0	1
xy	00	1	1
	01	1	0
	11	0	1
	10	1	0

A

5)

		z	
		0	1
xy	00	1	1
	01	0	0
	11	1	1
	10	1	1

A

6)

b) Vilken av de fyra transmissionsfunktionerna nedan ger lösningen till det Karnaughdiagram Du valt? Ringa in rätt bokstav. (Det finns endast en korrekt transmissionsfunktion varje karnaughdiagram)

7)  $A = \bar{y} + \bar{x}\bar{z}$

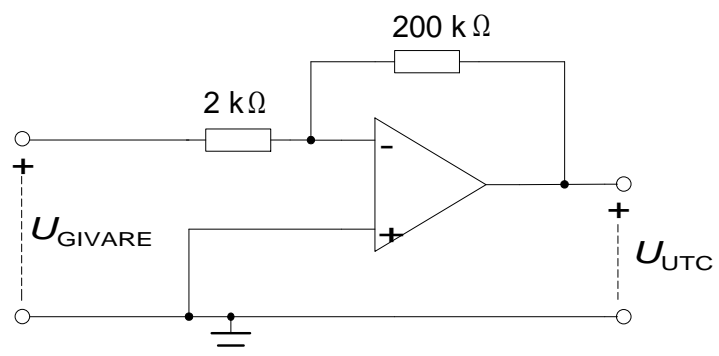
8)  $A = \bar{y} + x$

9)  $A = \bar{x} \cdot \bar{y} + \bar{x} \cdot \bar{z} + \bar{y} \cdot \bar{z} + xyz$

10)  $A = \bar{x} \cdot \bar{y}z + x\bar{y}z + xy\bar{z}$

9(1)

En OP-förstärkarkoppling enligt figuren används vid förstärkningen av en givarsignal. Givarens inre resistans får antas vara mycket liten. För OP-förstärkaren gäller att matningsspänningen är  $\pm 12V$ ,  $U_{CN} = \pm 10V$  och  $I_{CN} = \pm 6$  mA.



a) Beräkna  $U_{UTC}$  för det fall där givarsignalen  $U_{GIVARE} = 50$  mV.

b) Vid vilket värde på  $U_{GIVARE}$  når OP-förstärkarkopplingen gränsen för sitt linjära område?

10(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.

elmotordata:

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

$$K_T = 1,14 \text{ Nm/A}$$

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

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

$$\text{Pole number} = 8$$

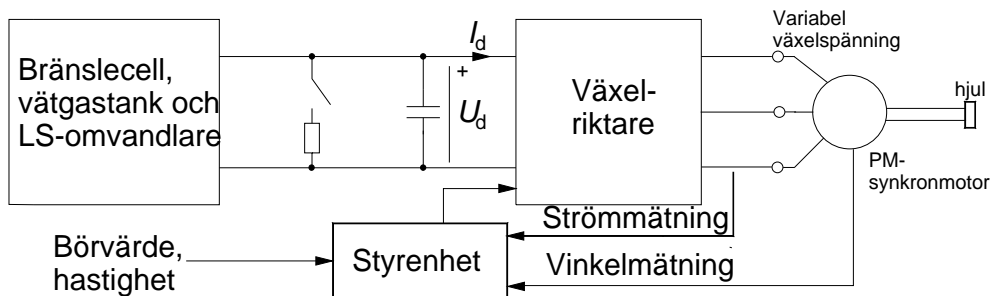
För fordonet gäller:

Rullmotstånd: 10 N (oberoende av varvtal)

Luftmotstånd: 12N vid 30 km/h (proportionellt mot hastigheten i kvadrat)

Översikt av systemet visas i figuren.

Oversikt av drivsystem för spiros



Vid ett tillfälle körs bilen med en konstant hastighet. Hjulen slirar inte. Spänningen mellan två av motorns anslutningspunkter uppmäts till 24V. Strömmen till motorn uppmäts till 4,8 A. Mellanledningsspänningen  $U_d$  uppmäts till 47 V.

- Beräkna motormomentet och motsvarande dragkraft.
- Beräkna bilens hastighet.
- Beräkna effekten som växelriktaren avger.
- Beräkna strömmen från mellanled till växelriktare. Växelriktarens kan antas ha verkningsgraden 95% vid den aktuella strömmen.



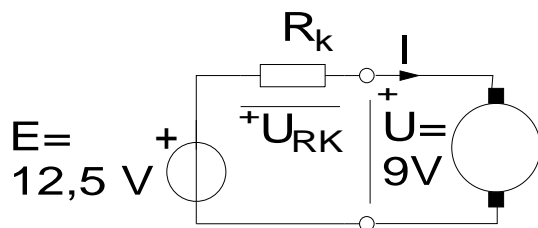
## SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK

## Elektroteknik MF1016

2013-10-31

1(2)

Batteriets tvåpolekvivalent vid drift av startmotorn visas nedan. Batteriets inre spänning är detsamma som tomgångsspänningen 12,5V:



Kirchoffs spänningslag  $E - U_{Rk} - U = 0$  eller  $E - I \cdot R_k - U = 0$  ger  $R_k = 0,03 \Omega$  med siffrorna enligt uppgiften.

Vid laddning med laddare kan samma ekvation användas igen men nu är strömmen motriktad dvs negativ  $I = -6 \text{ A}$  och istället beräknas  $U$  till 12,7 V.

Vid laddning från generatoren är  $U = 14 \text{ V}$  och laddningsströmmen beräknas till  $I = -47 \text{ A}$  (minustecknet anger att det är laddning)

2(2) a)  $I = 4\text{V} / 100\Omega = 40\text{mA}$ 

b) Spänningen över  $R$  ligger i fas med strömmen. Spänningen över kondensatorn ligger  $90^\circ$  fasvriden i förhållande till strömmen. Detta gör att spänningen över motståndet och spänningen över kondensatorn måste ligga  $90^\circ$  ifrån varandra.

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ V}$$

b) Kondensatorns impedans (eller reaktans) kan beräknas med "ohms lag".

$$|Z_C| = \frac{U}{I} = \frac{3\text{V}}{40\text{mA}} = 75 \Omega$$

$$\text{Härför får vi } C = \frac{1}{75\omega} = \frac{1}{75 \cdot 2\pi \cdot 1000} \approx 2 \cdot 10^{-6} \approx 2 \mu\text{F}$$

c) Den aktiva effekten utvecklas i resistansen.  $P = \frac{U_R^2}{R} = \frac{4^2}{100} = 0,16 \text{ W}$

3(2)

a) Då brytaren legat länge i läge h har kondensatorn laddats upp till 10V. Innan  $t=0$  är spänningen över kondensatorn  $u = 10\text{V}$ . Spänningen över en kondensator ändras inte språngvis så direkt efter omkoppling till h är spänningen fortfarande 10V som är begynnelsevärdet för urladdningen.

b) Om brytaren ligger kvar i läge h en längre tid blir kondensatorn helt urladdad och slutvärdet är därför 0V. Tidkonstanten för urladdningen är  $\tau = R_2 \cdot C = 1,5s$

För transient förlopp har vi:  $u = u_\infty - (u_\infty - u_0)e^{-t/\tau}$  som med insatta värden blir:

$$u = 0 - (0 - 10V)e^{-2/1,5} = 2,6V$$

c) Direkt efter tillbakakopplingen blir spänningen över kondensatorn 2,6 V eftersom spänningen inte kan ändras språngvis som sagt.

d) Efter tillbakakopplingen laddas kondensatorn upp igen till 10 V (slutvärde) från 2,6 V (begränsningsvärde). Tidkonstanten blir  $\tau = R_1 \cdot C = 0,75s$

Insatta värden:  $u = 10V - (10V - 2,6V)e^{-1/0,75} = 8V$

4(3)

a) I tomgång levereras ingen effekt till motorn och ingen effekt behöver tas från batterierna vilket ger  $I_D = 0$ . Här pratar vi tydligen om någon sorts "ideal" tomgång där det inte finns några förluster.

b)  $U_A = R_A \cdot I_A + E = 0,7 \cdot 0 + K_2 \Phi \cdot \omega = 0,7 \cdot 0 + 0,2 \cdot 2\pi \cdot 812/60 = 17V$

c)  $M = K_2 \Phi \cdot I_A$  ger  $I_A = 3/0,2 = 15 A$ .

d) I början av accelerationsförloppet har inte varvtalet och därmed  $E$  hunnit ändras så  $U_A = R_A \cdot I_A + E = 0,7 \cdot 15 + 17 = 27,5V$

e) Effekten till motorn blir  $P = 15 \cdot 27,5 = 412,5W$  och det måste tas från batteriet så  $I_D = 412,5W/48V = 8,6A$

f) Motorn accelereras och går i motordrift. Effekten från batteriet (412,5 W) omvandlas till mekanisk axeleffekt (255 W) och resten som blir förluster i motorns lindningar ( $R_A$ ). (Även andra förluster finns men de omfattas ej av den motormodell som används i kursen t ex järnförluster och friktionsförluster. Friktionsförlusterna kan inkluderas om de ses som ett litet extramoment).

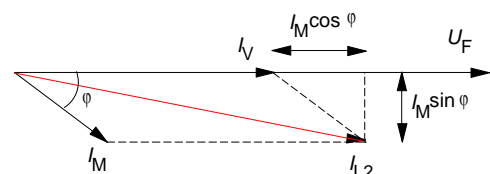
5(2)

a)  $P = \sqrt{3}U_H I_L \cos \varphi$  vilket ger  $I_V = P/(\sqrt{3} \cdot 400) = 3000/(\sqrt{3} \cdot 400) = 4,33 A$

b) Avläses i tabellen. 0,57 A

c)  $\cos \varphi = 0,71$  ger en vinkel mellan ström och spänning på  $44,8^\circ$

$$I_{L2} = \sqrt{(I_V + I_M \cos \varphi)^2 + (I_M \sin \varphi)^2} = \sqrt{(4,33 + 0,57 \cdot 0,71)^2 + (0,57 \cdot 0,704)^2} = 4,77 A$$



6(2) a)  $100^\circ C - 40^\circ C = (3,5 + 8)^\circ C/W \cdot P_f$  ger  $P_f = 5,2 W$

$P_f = R_A \cdot I_A^2$  ger  $I_A = 1,1 A$

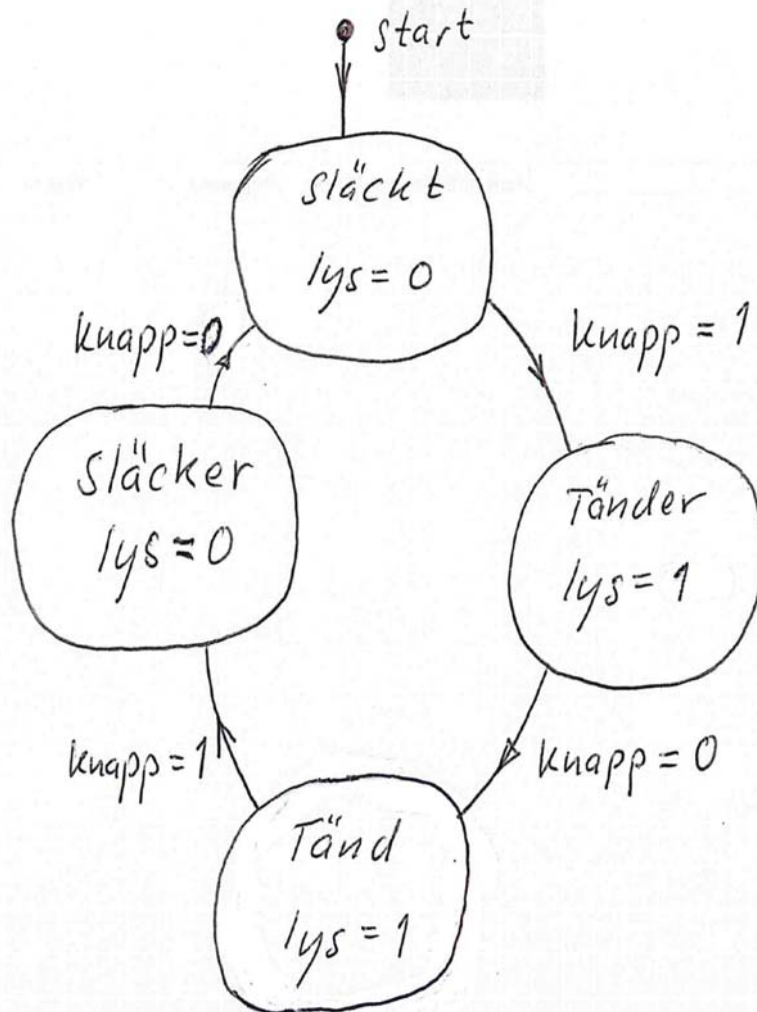
b)  $M = K_T \cdot I_A = 49,7 mNm/A \cdot 1,1 A = 54 mNm$

c)  $U_A = R_A \cdot I_A + E$  ger  $E = 30 V$

$$E = K_E \cdot n \text{ ger } n = 5700 \text{ varv/minut}$$

$$d) P = M \cdot \omega = 54 \cdot 2\pi \cdot 5700 / 60 \text{ mW} = 32 \text{ W}$$

7(2)



8(2) Rätt sekvens är att A motsvaras av 1) 5) och 9) ger 2p.

Ett fel i den rätta sekvensen ger 1p.

I övrigt hör följande två sekvenser ihop 2), 4), 7) och 3), 6), 8) och ger 1p.

Två korrekta efter varandra i en av de två sekvenserna ger 0,5p.

9(1)

$$F_s = -200/2 \text{ ggr} = -100 \text{ ggr.}$$

$$\text{a) } U_{UTC} = -100 \cdot 0,05 = -5 \text{ V}$$

b) Gränsen för det linjära området nås då  $U_{UTC} = -100 \cdot U_{GIVARE} = -10 \text{ V}$  vilket ger  $U_{GIVARE} = 100 \text{ mV}$ .

10(2)

$$\text{a) } M = K_T \cdot I = 5,5 \text{ A} \quad F = M / r = 22 \text{ N}$$

b) Vid 30 km/h = 8,33 m/s blir luftmotstånd och rullmotstånd 22 N enligt data för fordonet, vilket passar bra eftersom elmotorn levererar just 22N.

$$\text{c) } P_{mek} = F \cdot v = 183 \text{ W}$$

$$P_F = 3 \cdot R \cdot I^2 = 31 \text{ W}$$

$$P_{EL} = P_{mek} + P_f = 213 \text{ W}$$

$$\text{d) } P_d = P_{EL} / \eta = 225 \text{ W} \quad I_d = P_d / U_d = 4,8 \text{ A}$$