

ELEKTROTEKNIK  
MASKINKONSTRUKTION  
KTH

## TENTAMENSUPPGIFTER I ELEKTROTEKNIK MED SVAR

Elektroteknik MF1016

2015-08-24 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.*

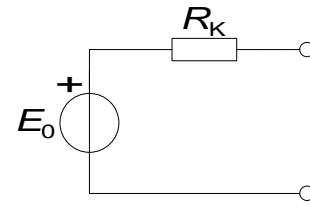
**OBS! Skriv ditt personnummer på varje blad.**

Lösningar läggs ut på kursens hemsida 18:00

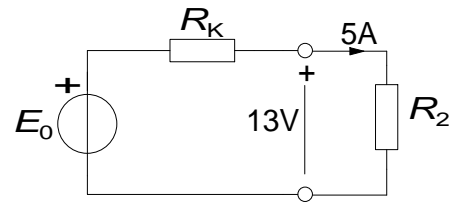
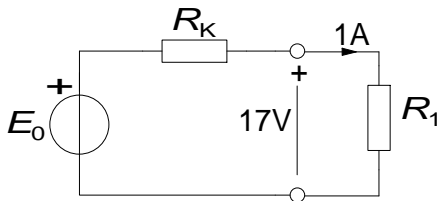
**Uppgift: 1 (2 poäng)**

Man vill bestämma  $E_0$  och  $R_K$  hos kretsen som avbildas till höger.

För den skull genomför man två mätningar varvid man belastar kretsen med två olika motstånd och mäter ström och spänning.



Resultatet av mätningarna visas i nedanstående figurer:



- a) Beräkna  $R_1$  och  $R_2$
- b) Beräkna  $E_0$  och  $R_K$

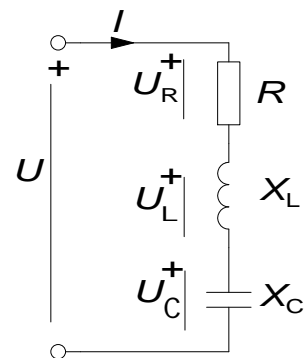
**Uppgift: 2 (2 poäng)**

Spänningen  $U$  i figuren är en sinusformad växelspanning.

Motståndets resistans  $R = 3\Omega$ , spolens reaktans är

$\omega L = X_L = 6\Omega$  för kondensatorn gäller  $\frac{1}{\omega C} = 2\Omega$ .

Spänningen över motståndet,  $U_R$ , är 6V.



- a) Beräkna strömmen  $I$ .
- b) Beräkna spänningen  $U$ .
- c) Beräkna kretsens fasvinkel.
- d) Beräkna kretsens impedans.



**Uppgift: 5 (2 poäng)**

En ny PM likströmsmotorserie ska byggas och värmeberäkningar göras så att man räknar med att kunna ha 4 A märkström. Isolermaterialet är av klass H vilket innebär att lindningen får bli max 165 °C vid märkdrift.

En prototyp byggs och ett värmeprov görs.

Då motorn har varit obelastad en längre tid uppmäts lindningens resistans till 2 Ω vid omgivningstemperaturen 40°C. Lindningen är av aluminium och har därför

temperaturkoefficienten  $4,3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{K}$  (K = grader Kelvin). Detta innebär att

resistansen följer en rät linje och ökar enligt följande linjära samband:

$$\frac{R(\vartheta)}{R(\vartheta_{ref})} = \frac{\vartheta + 213^{\circ}C}{\vartheta_{ref} + 213^{\circ}C}$$

$R(\vartheta)$  är resistansen vid temperaturen  $\vartheta$

$R(\vartheta_{ref})$  är en känd resistans vid den kända temperaturen  $\vartheta_{ref}$  och är i vårt fall 2Ω och 40°C.

Värmeprovet görs enligt följande: Motorn körs först i tomgång och därefter ökas lastmomentet succesivt tills strömmen blir 4A. Motorn belastas under lång tid och lindningstemperaturen blir därför konstant. Därefter avslutas provet och motorn kopplas bort från sin spänningskälla. Omedelbart därefter mäts lindningens resistans till 2,9Ω. Omgivningstemperaturen är 40°C under hela provet.

a) Beräkna motorlindningens temperatur och övertemperatur, strax efter värmeprovet

b) Beräkna motorns termiska resistans.

c) Kan motorn ha en märkström på 4A?

d) Vad blir lindningens temperatur om strömmen är 2A vid kontinuerlig drift (låt oss för enkelhets skull anta att lindningsresistansen är 2,4Ω). Omgivningstemperaturen är fortfarande 40°C.

**Uppgift: 6 (2 poäng)**

Du har skaffat Dig ett torp, och där har Du en liten verkstad som ligger rätt långt från huvudbyggnaden. Ledningen som matar verkstaden är en enfaskabel.

Vid ett tillfälle är följande belastningar inkopplade i verkstaden.

Såg  $P_S = 1000 \text{ W}$  vid  $\cos \varphi = 0,7$  ind.

Belysningsutrustning  $P_B = 400 \text{ W}$  vid  $\cos \varphi = 0,9$  kap.

Spänningen i verkstaden är 230 V. Kabeln som matar verkstaden är 150 m lång, och ledararean är 2,5 mm<sup>2</sup>. Ledarmaterialet är koppar med resistiviteten  $\rho = 0,017 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

a) Beräkna strömmen i kabeln då endast belysningen är inkopplad

b) Beräkna strömmen i kabeln då både belysningen och sågen är inkopplade.

c) Förlusteffekten i kabeln då både belysningen och sågen är inkopplade.

Frågedel

**Uppgift: 7 (2 poäng)**

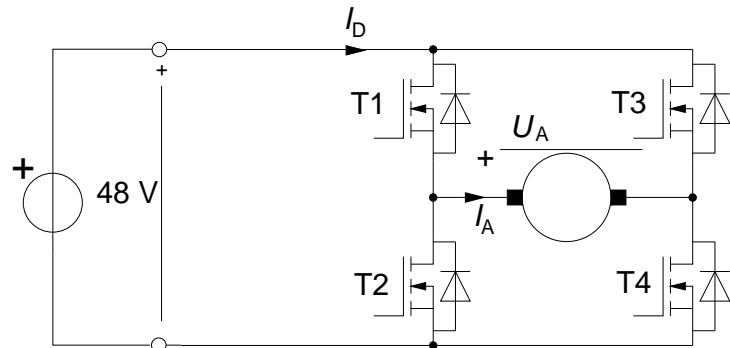
En permanentmagnetiserad likströmsmotor matas från ett switchat matningsdon enligt figuren. Transistorerna arbetar med en pulsfrekvens på 8 kHz. Transistorernas bottenpotential och diodens framspänningsfall får anses vara försumbara.

Motorn har bl a följande data:

$$R_A = 0,7 \Omega$$

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

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



T2 och T3 är strypta och T1 är  
bottenad (leder). T4 styrs med

en PWM med duty cycle på 60% dvs den är bottenad 60% av tiden och strypt under 40% av tiden. Motorn är belastad med 1 Nm.

a) Rita in slutna strömbanor. Bana 1 då T4 leder och bana 2 då T4 är strypt.

b) Beräkna  $I_A$  (betyder medelvärde).

c) Beräkna varvtalet.

d) Plötsligt ändras duty cyclen till 70%. Beräkna motormomentet direkt efter förändringen dvs innan varvtalet har hunnit förändras. Hur stort blir accelerationsmomentet?

**Uppgift: 8 (2 poäng)**

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 direktdrift från en permanentmagnetiserad synkronmotor via ett hjul med radien 0,25m.

elmotordata:

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

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

$R_{pp} = 0,45 \Omega$  (phase to phase)

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

Pole number = 8

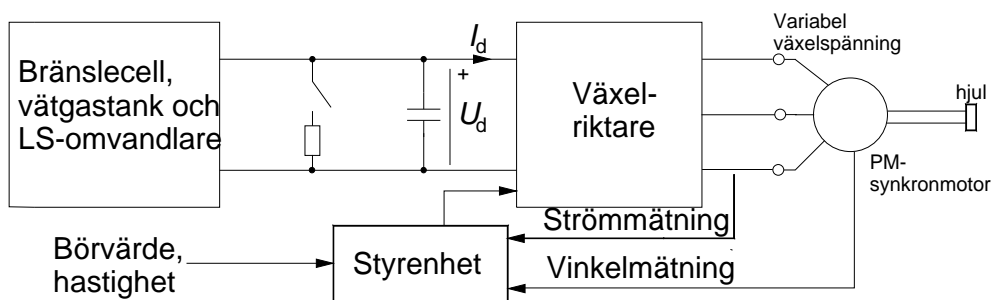
För fordonet gäller:

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

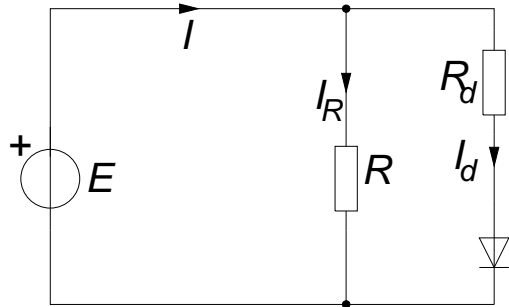


Vid ett tillfälle körs bilen med en konstant fart, 30 km/h på horisontell väg. Hjulen slirar inte. Mellanledningsspänningen  $U_d$  uppmäts till 47 V.

- Beräkna motorströmmen.
- Beräkna motorns klämspänning.
- Beräkna strömmen från mellanled till växelriktare. Växelriktarens kan antas ha verkningsgraden 95% vid den aktuella driftpunkten.

**Uppgift: 9 (2 poäng)**

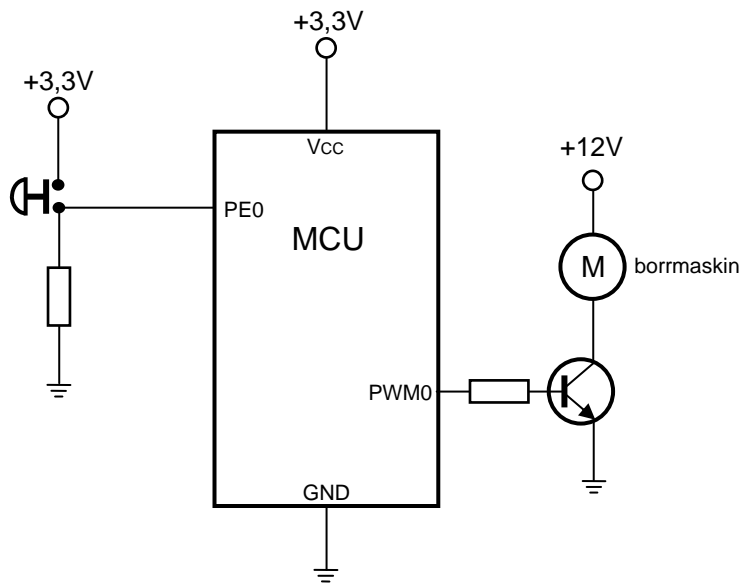
Dioden har framspänningsfallet 0,7 V.  $R = 20\Omega$  och  $R_d = 15\Omega$ .



- a) Beräkna  $I$  då  $E = 2,8V$
- b) Beräkna  $I$  då spänningskällan är inkopplad med motsatt polaritet,  $E = -2,8V$

**Uppgift: 10 (2 poäng)**

En mikrokontroller styr en enkel bormaskin med hjälp av en till/från-knapp. Då knappen trycks in sätts varvtalet till 100%. En ny tryckning av knappen sätter varvtalet till 0%



Rita ett tillståndsdigram för styrningen av bormaskinen.

## SVAR TILL TENTAMEN I ELEKTROTEKNIK MF1016 2015-08-24

**Uppgift: 1 (2 poäng)**

Man har de två ekvationerna:

$$E_0 = R_K \cdot 1 + 17 \quad \text{och} \quad E_0 = R_K \cdot 5 + 13$$

a)  $R_1 = \frac{17}{1} = 17 \Omega$  och  $R_2 = \frac{13}{5} = 2,6 \Omega$

b) Lösningen är:  $E_0 = 18 \text{ V}$  samt  $R_K = 1 \Omega$

**Uppgift: 2 (2 poäng)**

Räkna komplext. Välj strömmen som riktfas, rent reell då det är en seriekrets. Vi har ohms lag:

a)  $U_R = I \cdot R \Rightarrow I = \frac{U_R}{R} = \frac{6}{3} = 2 \text{ A}$  ( $I$  och  $U_R$  pekar åt höger)

b) Vi beräknar delspänningarna över  $L$  och  $C$  och summerar de tre delspänningarna till hela spänningen (Kirchhoffs spänningslag).

$\underline{U}_L = j \cdot \omega L \cdot \underline{I} = j \cdot 6 \cdot 2 = j12 \text{ V}$  Effektivvärdet på spänningen är 12V,  $j$  betyder vridning  $90^\circ$  framåt, moturs så  $U_L$  pekar rakt uppåt. Spänningen över en induktans ligger  $90^\circ$  före strömmen (strömtrög).

$$\underline{U}_C = \frac{1}{j \cdot \omega C} \cdot \underline{I} = \frac{j}{j^2 \cdot \omega C} \cdot \underline{I} = \frac{j}{-1 \cdot \omega C} \cdot \underline{I} = \frac{-j}{\omega C} \cdot \underline{I} = -j \cdot 2 \cdot 2 = -j \cdot 4 \text{ V}$$

Effektivvärdet på spänningen är 4 V och  $-j$  betyder vridning  $90^\circ$  bakåt, dvs rakt nedåt. Spänningen över en kondensator ligger  $90^\circ$  grader efter strömmen (spänningströg).

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C = 6 \text{ V} + j12 \text{ V} - j4 \text{ V} = 6 \text{ V} + j8 \text{ V}$$

Effektivvärdet är beloppet eller längden  $U = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \text{ V}$

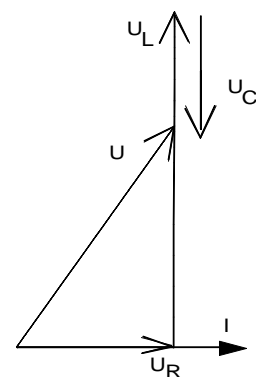
Summationen kan även göras med ett visardiagram om man vill.

c) Spänningen har argumentvinkeln  $\alpha \tan(8/6) = 53^\circ$

Strömmen har vinkeln  $0^\circ$ .

Fasvinkeln är vinkeln mellan spänning och ström =  $53^\circ$

d)  $U = Z \cdot I \Rightarrow 10 \text{ V} = Z \cdot 2 \text{ A}$  ger  $Z = 5 \Omega$ .

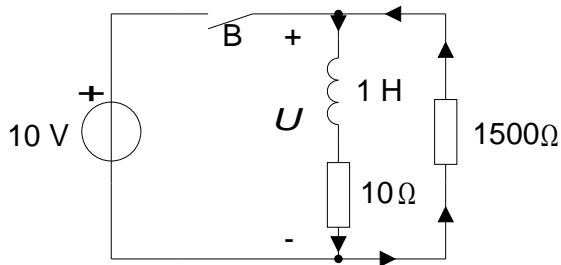


Svaren



**Uppgift: 3 (2 poäng)**

- a) Före brytning går strömmen  $I_1 = 10\text{V}/10\Omega = 1\text{A}$  genom grenen med spolen och  $I_2 = 10\text{V}/1500\Omega = 6,67\text{ mA}$  genom grenen med  $1500\Omega$ 's motståndet.
- b) Omedelbart efter brytningen går en ström runt som visas i figuren. Strömmen genom induktansen kan ej brytas språngvis  $I_1 = 1\text{A}$ .  $I = 0$  ty B öppen.  
Strömlag:  $I_1 + I_2 = I = 0$  ger  $I_2 = -1\text{A}$
- c) Spänningslag ger:  $U - 1500\Omega I_2 = 0$  ger  $U = -1500\text{ V}$ .
- d) Spänningslag ger:  $10 - U_B - U = 0$  ger  $U_B = 10 - U = 10 - (-1500) = 1510\text{ V}$ .  
 $+ U_B -$

**Uppgift: 4 (2 poäng)**

- a) Då vippknappen vippas upp skall fönstret gå upp tills knappen släpps eller fönstret är uppe. Då vippknappen vippas ner skall fönstret gå ner tills knappen släpps eller fönstret är nere.
- b)

		GU GN			
		00	01	11	10
Upp Ner	00	0	0	$\Phi$	0
	01	0	0	$\Phi$	0
	11	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$
	10	1	1	$\Phi$	0

M+

		GU GN			
		00	01	11	10
Upp Ner	00	0	0	$\Phi$	0
	01	1	0	$\Phi$	1
	11	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$	$\Phi$
	10	0	0	$\Phi$	0

M-

c)  
Hopt  
agnin

g av de två ettor och två  $\Phi$ :

ger:  $M+ = Upp \cdot \overline{GU}$  respektive  $M- = Ner \cdot \overline{GN}$

**Uppgift: 5 (2 poäng)**

$$a) \frac{2,9}{2} = \frac{\vartheta + 213^{\circ}\text{C}}{40^{\circ}\text{C} + 213^{\circ}\text{C}} \text{ ger } \vartheta = 155^{\circ}\text{C}$$

$\vartheta_{\infty} = 155^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C} = 115^{\circ}\text{C}$  det måste ju vara slutövertemperaturen eftersom värmeprovot görs under tillräckligt lång tid.

$$b) P_f = R \cdot I^2 = 2,9 \cdot 4^2 = 46,4 \text{ W}$$

$$115^{\circ}\text{C} = R_{th} \cdot 46,4 \text{ W} \text{ ger } R_{th} = 2,5^{\circ}\text{C/W}$$

c) Ja eftersom temperaturen  $155^{\circ}\text{C}$  blir lägre än  $165^{\circ}\text{C}$ .

$$d) P_f = R \cdot I^2 = 2,4 \cdot 2^2 = 9,6 \text{ W} \quad \vartheta_{\infty} = 2,5 \cdot 9,6^{\circ}\text{C} = 24^{\circ}\text{C}$$

Temperaturen i lindningen blir  $24^{\circ}\text{C} + 40^{\circ}\text{C} = 64^{\circ}\text{C}$

**Uppgift: 6 (2 poäng)**

$$a) P = UI \cdot \cos \varphi \text{ ger } I_{bel} = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{400}{230 \cdot 0,9} = 1,93 \text{ A}$$

$$b) \text{Sågströmmen blir } I_{såg} = \frac{P}{U \cos \varphi} = \frac{1000}{230 \cdot 0,7} = 6,2 \text{ A}$$

aktiva strömkomponenter  $I \cdot \cos \varphi$ :  $I_{bel}P = 1,93 \text{ A} \cdot 0,9 = 1,74 \text{ A}$   $I_{såg}P = 6,2 \text{ A} \cdot 0,7 = 4,34 \text{ A}$

Kabelströmmens aktiva komponent:  $IP = 1,74 \text{ A} + 4,34 \text{ A} = 6,08 \text{ A}$ .

reaktivaströmkomponenter  $I \cdot \sin \varphi$ :  $I_{bel}Q = 1,93 \text{ A} \cdot 0,44 = 0,84 \text{ A}$

$I_{såg}Q = 6,2 \text{ A} \cdot 0,71 = 4,43 \text{ A}$

Kabelströmmens reaktiva komponent:  $IQ = 0,84 \text{ A} + 4,43 \text{ A} = 5,26 \text{ A}$ .

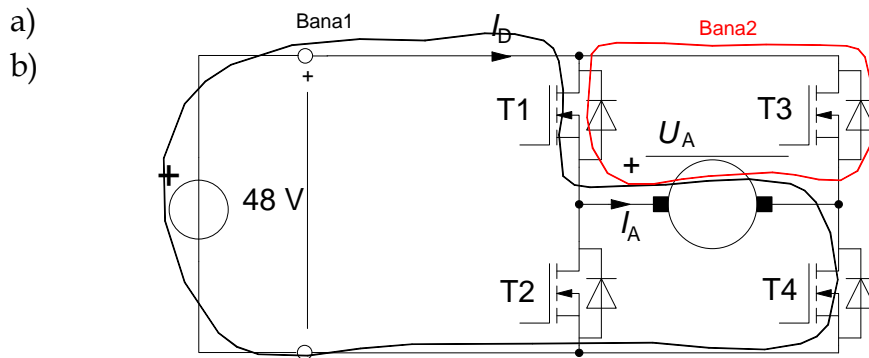
Kabelströmmen  $I = \sqrt{6,08^2 + 5,26^2} = 8,04 \text{ A}$

$$c) \text{ledarens resistans: } R = 0,017 \cdot \frac{150}{2,5} = 1,02 \Omega$$

Förlusteffekten blir:  $P_f = 2 \cdot 1,02 \cdot 8,04^2 = 132 \text{ W}$  faktorn 2 kommer av att det är 2 ledare i kabeln

**Uppgift: 7 (2 poäng)**

Svaren



$$I_A = M / K_2 \Phi = 1 / 0,2 = 5A$$

c) Spänningsekvationen:  $U_A = R_A \cdot I_A + E \Rightarrow 0,6 \cdot 48V = 0,7\Omega \cdot 5A + E$  ger  $E = 25,3V$  och sedan används  $E = K_2 \Phi \cdot \omega$  som i sin tur ger  $\omega = 126,5rad/s$  och  $n = 1208$  varv/minut.

d) Då varvtalet inte hinner ändras språngvis är även  $E$  oförändrat.

Spänningsekvationen:  $U_A = R_A \cdot I_A + E \Rightarrow 0,7 \cdot 48V = 0,7\Omega \cdot I_A + 25,3$  som i sin tur ger  $I_A = 11,9A$  vilket motsvarar motormomentet  $M = K_2 \Phi \cdot I_A = 2,4Nm$ . Eftersom lastmomentet är på  $1Nm$  blir accelerationsmomentet  $1,4Nm$ .

### Uppgift: 8 (2 poäng)

a)  $M = F \cdot r = (10 + 12)N \cdot 0,25m = 5,5Nm$

$$I = \frac{M}{K_T} = \frac{5,5}{1,14}A = 4,8A$$

c)  $\frac{R_{pp}}{2} I = \frac{0,45\Omega}{2} 4,8A = 1,1V$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{30/3,6}{0,25} = 33rad/s$$

$$\omega_{el} = \omega \cdot \frac{8}{2} = 133 rad/s$$

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

$$n = \frac{\omega}{2\pi} \cdot 60 = 318 \text{ varv/minut}$$

$$E_H = K_E \cdot n = 0,069 \cdot 318 = 22V$$

Svaren

$$E_F = E_H / \sqrt{3} = 22 / \sqrt{3} = 12,7 \text{ V}$$

$$U_F = \sqrt{(12,7 + 1,1)^2 + 1,3^2} = 13,8 \text{ V}$$

$$U_H = \sqrt{3} \cdot 13,8 \text{ V} = 24 \text{ V}$$

c) Mekanisk effekt:

$$P_{mek} = M \cdot \omega = 5,5 \cdot 33 \text{ W} = 183 \text{ W}$$

Förluster i elmotor:

$$P_f = 3 \cdot \frac{R_{pp}}{2} \cdot I^2 = 3 \cdot \frac{0,45}{2} \cdot 4,8^2 \text{ W} = 15,7 \text{ W}$$

Effekt till motor:

$$P_{motor} = 183 \text{ W} + 15,7 \text{ W} = 199 \text{ W}$$

Effekt till växelriktare:

$$P = \frac{P_{motor}}{\eta} = \frac{199 \text{ W}}{0,95} = 209 \text{ W}$$

Ström till växelriktare:

$$I_d = \frac{P}{U_d} = \frac{209 \text{ W}}{47 \text{ V}} = 4,5 \text{ A}$$

### Uppgift: 9 (2 poäng)

$$\text{a) } I_R = \frac{E}{R} = \frac{2,8 \text{ V}}{20 \Omega} = 0,14 \text{ A} \quad I_d = \frac{E - 0,7 \text{ V}}{R_d} = \frac{2,8 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{15 \Omega} = 0,14 \text{ A}$$

$$I = I_R + I_d = 0,14 \text{ A} + 0,14 \text{ A} = 0,28 \text{ A}$$

$$\text{b) } I_R = \frac{E}{R} = \frac{-2,8 \text{ V}}{20 \Omega} = -0,14 \text{ A} \quad I_d = 0 \text{ A}$$

$$I = I_R + I_d = -0,14 \text{ A} + 0 \text{ A} = -0,14 \text{ A}$$

### Uppgift: 10 (2 poäng)

