



KTH Industriell teknik
och management

Basic Electrical Engineering (MF1016 and MF1017)

Övning 7

Kap. 7.6 Krafterlektronik avsnitten Likspänningsomvandlare och Ändring av likspänningsnivån med PWM-modulering sid 7-42

U7:43 Acceleration och varvtalsprofil för PM-likströmsmotor, U7:25

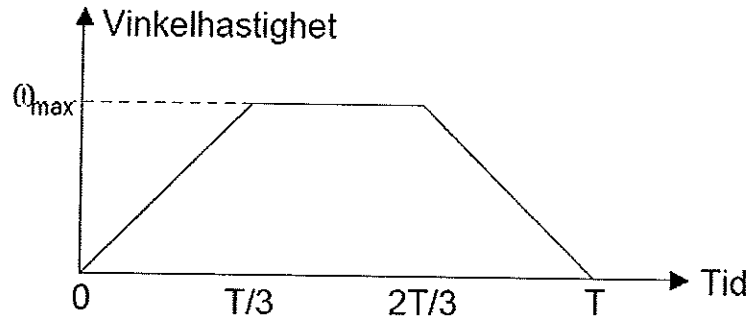
Likströmsmotor matad från H-brygga och U7:28 Likströmsmotor + matningsdon

Texten förberedd av Viacheslav Izosimov, MKK

U 7:43:

En permanentmagnetiserad likströmsmaskin skall driva ett svänghjul. Maskinen skall på tiden $T = 1,5$ s rotera 60 varv med en varvtalsprofil som i figuren nedan.

a) Beräkna ω_{\max}



b) Svänghjulet och motorn har tillsammans tröghetsmomentet $26 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$. Motorn har momentkonstanten $0,54 \text{ Nm/A}$. Rita in motorströmmen i ett diagram.

Svaret:

a) Maskinen hinner rotera 60 varv inom den givna perioden T av 1,5 sekunder. Vi konverterar först rotationer $n = 60$ varv till radianer $\Rightarrow \omega = 2\pi \cdot 60 \text{ rad}$.

Nu kan vi beräkna ω_{\max} . Vi går igenom varvtalsprofilen (i figuren) som inkluderar de $2\pi \cdot 60 \text{ rad}$:

$$\omega = 2\pi \cdot 60 = \frac{T}{3} \cdot \frac{\omega_{\max}}{2} + \frac{T}{3} \cdot \omega_{\max} + \frac{T}{3} \cdot \frac{\omega_{\max}}{2}$$

\Rightarrow Vi får $\frac{\omega_{\max}}{2}$ för att motorn hinner klara av hälften av max varvantal, i den profilen, när det accelereras eller bromsas.

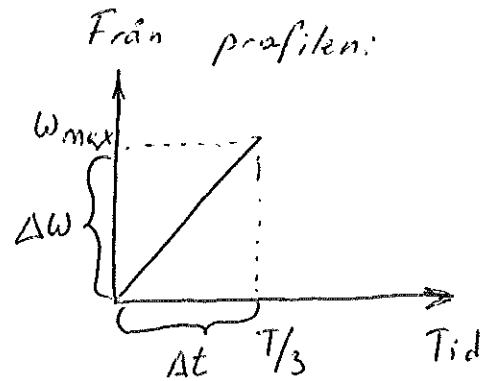
$$\begin{aligned} 2\pi \cdot 60 \text{ (rad)} &= \frac{1,5 \text{ (s)}}{3} \cdot \frac{\omega_{\max}}{2} + \frac{1,5 \text{ (s)}}{3} \omega_{\max} + \frac{1,5 \text{ (s)}}{3} \frac{\omega_{\max}}{2} = \frac{1,5+3+1,5}{6} \omega_{\max} \text{ (s)} \\ &= \frac{6}{6} \omega_{\max} \text{ (s)} = \omega_{\max} \text{ (s)} \Rightarrow \omega_{\max} = 2\pi \cdot 60 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

b) Det här tröghetsmomentet inkluderar motorn och last

$$J = J_{\text{motor}} + J_{\text{last}}$$

och kan användas för att beräkna moment när motorn accelererar

$$\begin{aligned} M &= J \frac{d\omega}{dt} \approx J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \\ &= J \frac{\omega_{\text{max}}}{T/3} = 3J \frac{\omega_{\text{max}}}{T} = \\ &= 3 \cdot 26 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{2\pi \cdot 60}{1,5} = 19,6 \text{ Nm} \end{aligned}$$



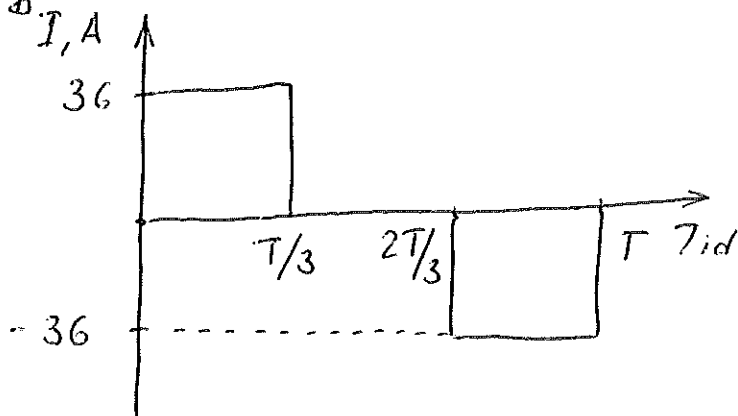
Moment för likströmsmotorn kan beräknas som

$$M = k_2 \Phi I \Rightarrow I = \frac{M}{k_2 \Phi} = \frac{19,6}{0,54} = 36 \text{ A} \quad \left\| \begin{array}{l} k_2 \Phi = 0,54 \text{ Nm/A} \\ \text{är den givna} \\ \text{momentkonstanten} \end{array} \right.$$

Så, strömmen $I = 36 \text{ A}$ när motorn accelererar, dvs. inom $t = [0; T/3]$. Sedan, motorn behåller moment och det behövs inte mer ström till motorn, dvs. $I = 0 \text{ A}$ inom $t = (T/3; 2T/3)$.

Och, slutligen, ska motorn bromsas från ω_{max} till 0, lika mycket som det accelererades från 0 till ω_{max} , ty $I = -36 \text{ A}$ inom $t = [2T/3; T]$.

Diagrammen för motorströmmen kan ritas så här



U 7:25:

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

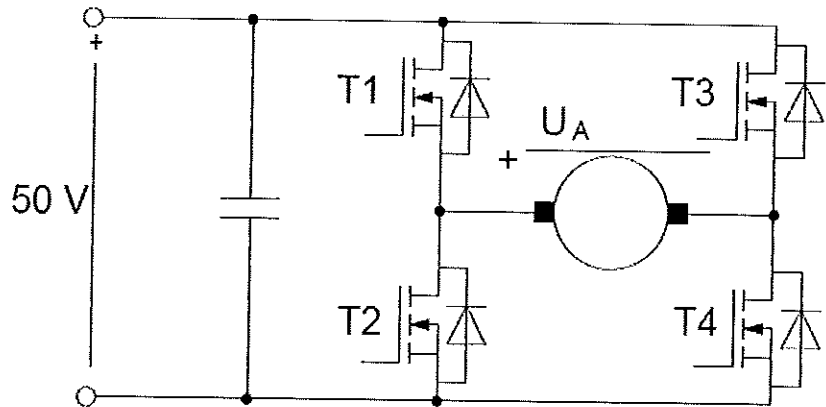
Motorn har bl a följande data:

$R_A = 0,7 \Omega$

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

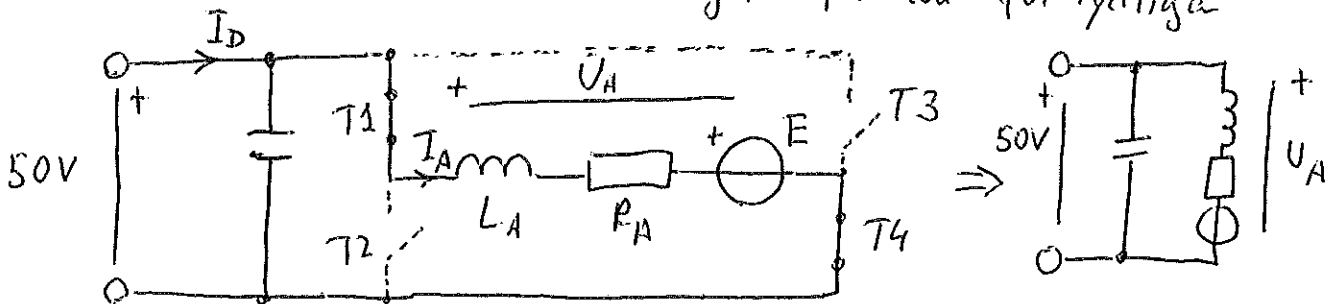
$K_2 \Phi = 0,2 \text{ Nm / A}$

- a) Vilket värde antar u_A om T1 och T4 leder? (T2 och T3 är samtidigt strypta.)
- b) Hur lång tid skall T1 vara bottenad respektive strypt i varje period för att medelvärdet U_A på motorspänningen skall bli 27 V? T4 är nu bottenad. T2 och T3 är strypta.
- c) Beräkna tomgångsvarvtalet då transistorerna är styrda enligt b).
- d) Hur stort blir medelvärdet I_A på motorströmmen om motorn belastas med 2 Nm?
- e) Vilket värde antar u_A om T2 och T3 leder? (T1 och T4 är samtidigt strypta)
- f) Hur många kvadranter kan motorn arbeta i med det aktuella matningsdonet?

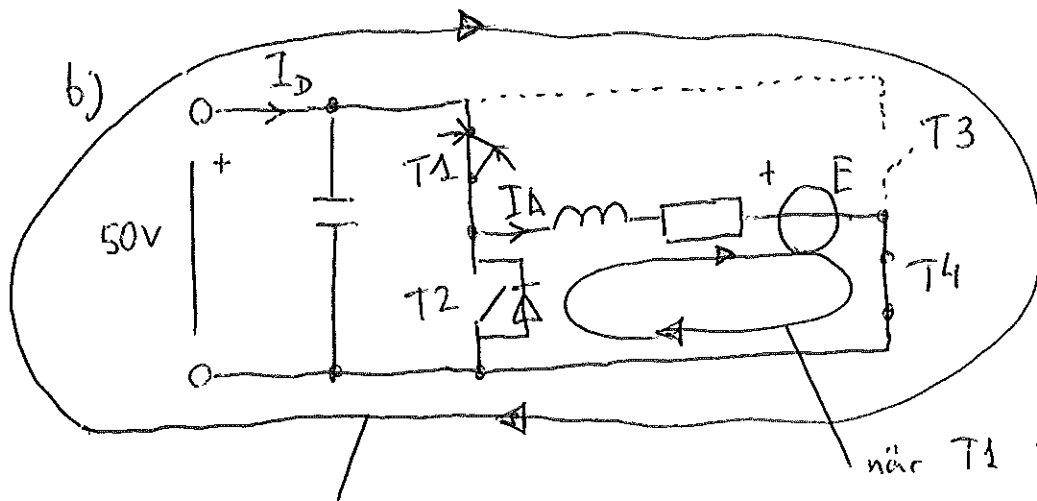


Svaret:

a) Vi kan rita om scheman något för att förtydliga



Det är klart att $u_A = 50V$ när T1 och T4 leder (bottenade) samt att T2 och T3 är strypta.



när T1 är bortlad,
strömmen går igenom
kretsen och $U_A = U = 50V$.

när T1 är stoppt strömmen
cirkulerar här (tack till dioden
av T2) samt att $I_D = 0 \Rightarrow$
 $\Rightarrow U_A = 0$.

Vi behöver nå $27V \Rightarrow \frac{27}{50} 100\% = 54\%$

Dvs. T1 ska vara bortlad 54% av sin tid för att U_A ska vara
27V. Om vi beräknar detta tidsmässigt

$$T_{TR1} = \frac{1}{f_{TRI}} = \frac{1}{8000} = 125 \mu s \Rightarrow 125 \mu s \cdot 0,54 = \underline{68 \mu s}$$

(så mycket ska T1 vara bortlad)

$125 \mu s - 68 \mu s = \underline{57 \mu s} \Rightarrow$ så mycket ska T1 vara stoppt.

c) $U_A = 27V$ samt att vi har +omgång $\Rightarrow U_A = E = 27V$

För likströmsmotorn, $E = k_2 \Phi \omega \Rightarrow \omega = \frac{E}{k_2 \Phi} = \frac{27}{0,2} = 135 \text{ rad/s}$

När vi konverterar ω till n

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \Rightarrow n = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} = \underline{1289} \text{ varv/minut}$$

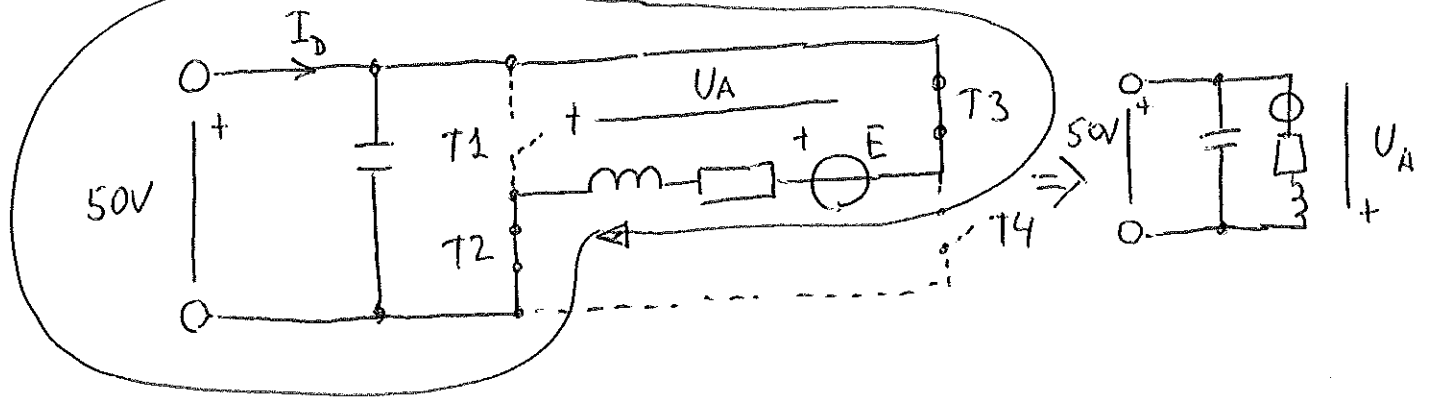
det är för att vi går från "sekunder" till "minuter"

d) Momenten för likströmsmotorn blir

$M = k_2 \Phi I$ och $I = I_A$ i vårt fall samt att $M = 2 Nm$

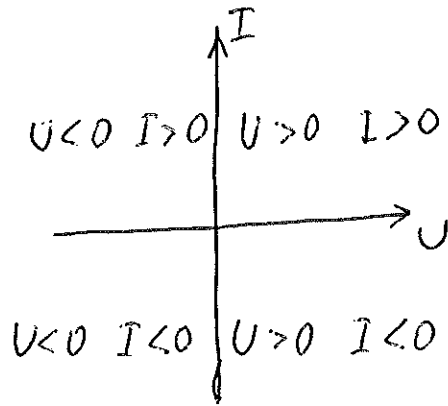
$$\Rightarrow I_A = \frac{M}{k_2 \Phi} = \frac{2}{0,2} = 10 A$$

e) Vi får rita om kretsen för att göra det tydligt vad det är som pågår



Det är nu klart att $U_A = -50\text{ V}$ (dvs. har samma värde som ingående spänning fast pekar åt motsatta riktning). När T2 och T3 leder (bottnade) samt att T1 och T4 är strypta.

f) De kvadranter



I uppgifterna "a)" och "e)" vi har redan sått två av de kvadranter.

De andra två kan man bevisa på liknande sätt.

Dessutom, materialet är beskrivet i kursboken som att det kan arbeta inom alla fyra kvadranter.

Så, svaret är fyra kvadranter.

U 7:28:

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

Motorn har bl a följande

data:

$$R_A = 0,7 \Omega$$

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

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

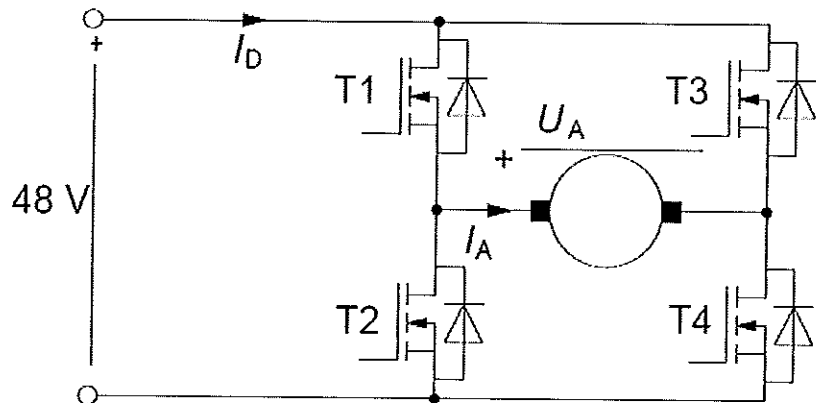
Matningsspänningen 48 V fås från 4 seriekopplade bilbatterier.

Transistorerna är styrda så att

$U_A = 24 \text{ V}$ och motorn är

belastad så att $I_A = 10 \text{ A}$.

Motorn roterar medurs.



a) Beräkna I_D .

b) Beräkna axelmomentet.

c) Beräkna varvtalet.

Vid ett tillfälle ändras styrningen, tändningen av transistorerna, så att motorn bromsas elektriskt.

Resulterande bromsmoment blir 3 Nm och belastningen är densamma som tidigare.

d) Beräkna U_A i början av bromsförloppet.

e) Beräkna I_D i början av bromsförloppet.

f) Redogör kvalitativt för effektlödet under bromsförloppet.

Svaret:

a) I_D - ? Vi börjar med moment som produceras av motorn

$$P_A = U_A \cdot I_A = 24 \cdot 10 = 240 \text{ W}$$

Så, den strömmen som matdonet får

$$I_D = P_A / U_D = 240 / 48 = 5 \text{ A} \rightarrow \text{som tas ut batterier.}$$

b) För likströmsmotorn, axelmoment (eller mekanisk moment) är

$$M = K_2 \Phi I \quad \text{och i vårt fall } I = I_A$$

$$\text{Så, } M = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ Nm.}$$

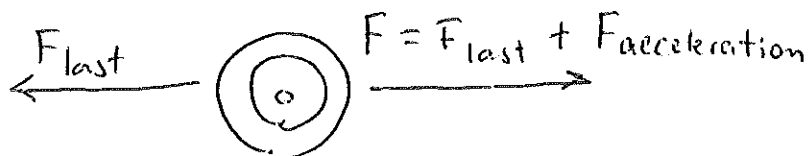
c) För likströmsmotorn, $U_A = R_A I_A + E$ som ger $E = 24 - 0,7 \cdot 10 = 17 \text{ V}$

Den "interna" momenten blir: $P_{\text{motor}} = I_A \cdot E$ eller $P_{\text{motor}} = M \cdot \omega$ (energi läroboken)

$$\text{Så, } \omega = \frac{I_A \cdot E}{M} = \frac{10 \cdot 17}{2} = 85 \text{ rad/s}$$

och, slutligen, varvantalet blir $n = \frac{60}{2\pi} \omega = \frac{60 \cdot 85}{2\pi} = 812 \text{ varv/minut}$
(vi konverterar sekunder till minuter)

d) Allmänt,



dvs., motorkraft måste kompensera för last samt att, om motor ska accelerera, extra kraft för acceleration behövs:

$$M = M_{last} + M_{acc} \quad (M_{acc} \text{ får "-" tecken vid inbromsning})$$

Det är också värd att notera att förändringar i en "elektrisk" moment leder inte direkt till förändringar i en "mekanisk" moment. Det finns viss fördröjning, dvs. för $t_{före}$ och t_{efter}

$$\omega_{före} = \omega_{efter} \quad \text{och} \quad E_{före} = E_{efter} \quad (\text{för att } E = k\omega)$$

(eller $n_{före} = n_{efter}$)

Ne vet vi vad det är som pågår vid inbromsning och kan beräkna U_A utifrån I_A .

I_A : Motorn ska bromsa med $3 \text{ Nm} \Rightarrow$ det krävs -1 Nm i en aktiv inbromsning, dvs. $M_{acc} = -1 \text{ Nm}$.

Så,

$$I_A = \frac{M_{acc}}{k_2 \Phi} = \frac{-1}{0,2} = -5 \text{ A}$$

och

$$U_A = R_A \cdot I_A + E = 0,7 \cdot (-5) + 17 = \underline{\underline{13,5 \text{ V}}}$$

(Notera att E har inte hunnit ändras, $E_{efter} = E_{före}$, se ovanpå)

e) Vi får värka "elektrisk" moment först $P_A = (-5) \cdot 13,5 = \underline{\underline{-67,5 \text{ W}}}$ - det är motorn som laddar batterier, dvs. jobbar som generatorn.

Ty, $I_D = \frac{P_A}{U_D} = \frac{-67,5}{48} = \underline{\underline{-1,4 \text{ A}}}$ som bekräftar att motorn laddar batterier att 1,4 A går till batterierna.

f) Vi börjar med motorn

$$P_{motor} = I_A \cdot E = (-5) \cdot 17 = \underline{\underline{-85 \text{ W}}} \quad \text{och den } P_A = \underline{\underline{-67,5 \text{ W}}}$$

Det betyder att vi har förluster i motorn som motorn behöver kompensera för. Dessutom, den "last" moment som "syhs" $P_{last} = M \cdot \omega = 2 \cdot 85 = \underline{\underline{170 \text{ W}}}$ inbromsning har inte börjat ta fart än.

Och den mekaniska momenten ligger på 2 Nm fortfarande