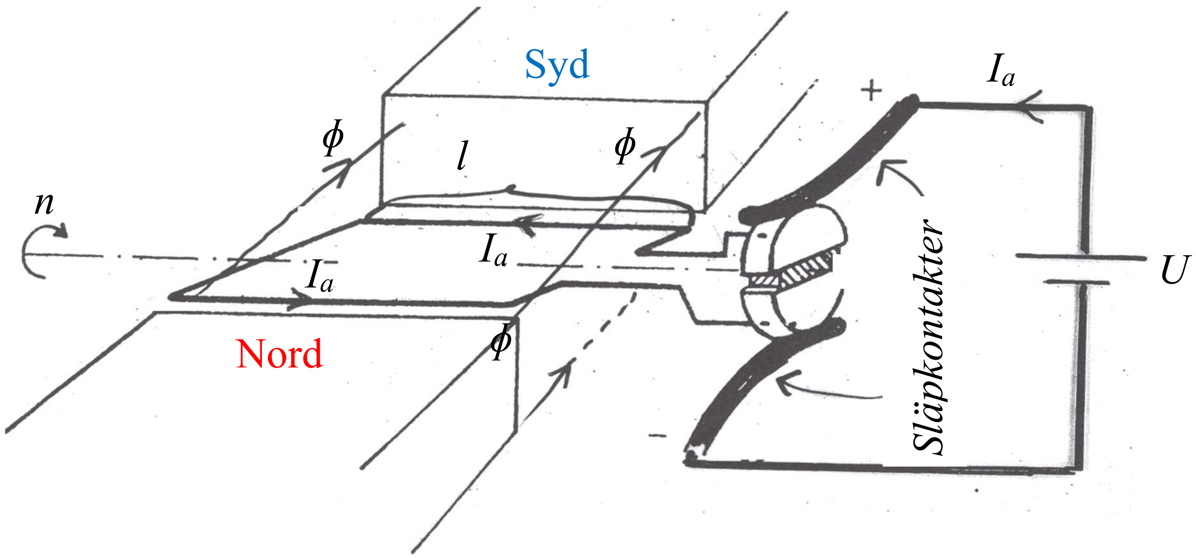
Likströmsmotorer

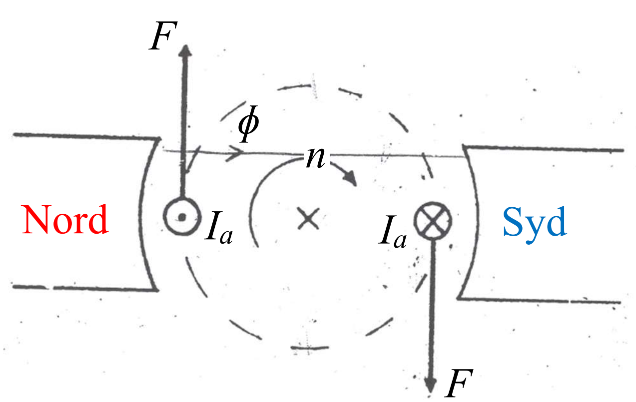
Separatmagnetiserade motorn
Shuntmotorn
Permanentmagnetmotorn
Seriemotorn
Kompoundmotorn

Funktionsprincip

Permanentmagnetmotorn



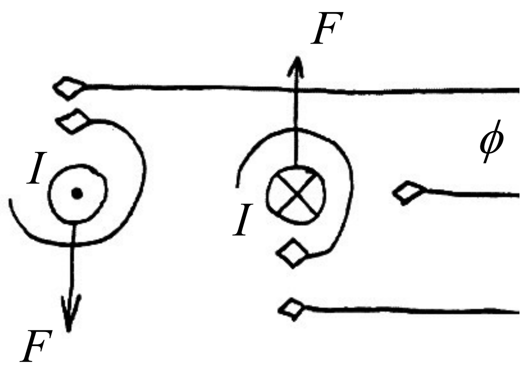
U = ankarspänning
I_a = ankarström
n = motorns varvtal [rpm]



$F = B \cdot I_a \cdot l$

F = kraften som verkar på ena sidan av rotorn (ankaret)
B = magnetiska flödestätheten (ϕ / A)
l = den del av ankarlindningen som är doppad vinkelrätt mot magnetiska flödet

I figuren nedan ses två strömförande ledningar där strömmen I kommer ut från den vänstra ledaren och in i den högra. De två ledarna är placerade vinkelrätt mot det magnetiska flödet ϕ som kommer in från höger.



P.g.a. strömmen i de två ledarna alstras också ett roterande magnetiskt flöde som skruvar sig likt en korkskruv runt sina ledare. Av figuren framgår att ett förstärkt flöde uppstår på ovansidan av den vänstra ledaren, varvid den blir påverkad av en kraft F riktad nedåt. För den högra ledaren gäller det motsatta. Storleken på dessa krafter ges av sambandet:

$\boxed{F = B \cdot I \cdot l}$ där B = magnetiska flödestätheten[1]
l = den längd av ledaren som är doppad i magnetfältet

Magnetiska flödestätheten ges i sin tur av:

$\boxed{B = \frac{\phi}{A}}$ där ϕ = magnetiska flödet[2]
A = tvärsnittsarea

Det fysikaliska fenomenet som beskrivs ovan, utnyttjas exempelvis i elektriska motorer. Då är det flera strömförande ledare som befinner sig i magnetfältet samtidigt och samverkar för att ge motorn tillräckligt med kraft. Det innebär att:

$F = B \cdot I \cdot l \cdot N$ där N = antalet ledare i magnetfältet

Om istället en strömlös ledare dras genom magnetfältet med hastigheten v induceras en spänning E mellan dess ändar. Denna spänning beräknas med formeln:

$$\boxed{E = B \cdot v \cdot l}$$

Det här fenomenet utnyttjas i elgeneratorer. Om man önskar få ut högre spänning från generatorn, seriekopplas flera ledningar. N styck ledningar ger utspänningen:

$$E = B \cdot v \cdot l \cdot N$$

[1] Mäts i Vs/m^2, Wb/m^2 eller T (Tesla)
[2] Mäts i Vs eller Wb (Weber)

FÖR EN LIKSTRÖMSMOTOR GÄLLER:

1) PÅDRIVANDE MOMENTET $M = 2Fr$

ROTORNS MEDELRADIE

DÄR $F = B \cdot J \cdot l \cdot N$

$B = \dfrac{\phi}{A}$

J = ROTORSTRÖM (ANKARSTRÖM)

* ROTORN HAR TVÅ SIDOR SOM ÄR DOPPADE I MAGNETFÄLTET.

$$\Rightarrow M = 2 \cdot \frac{\phi}{A} \cdot J \cdot l \cdot N \cdot r$$

$$\Rightarrow \boxed{M = k_M \phi J} \qquad \left(M = k_2 \phi J_a\right)$$

DÄR $k_M = \dfrac{2lNr}{A}$

2) MOTRIKTADE EMK:N I ROTORN

$E = 2Bvl N$ DÄR

v: *

$B = \dfrac{\phi}{A}$

$v = \omega r$

$\omega = \dfrac{2\pi n}{60}$ n = VARVTAL I VARV/MIN (RPM)

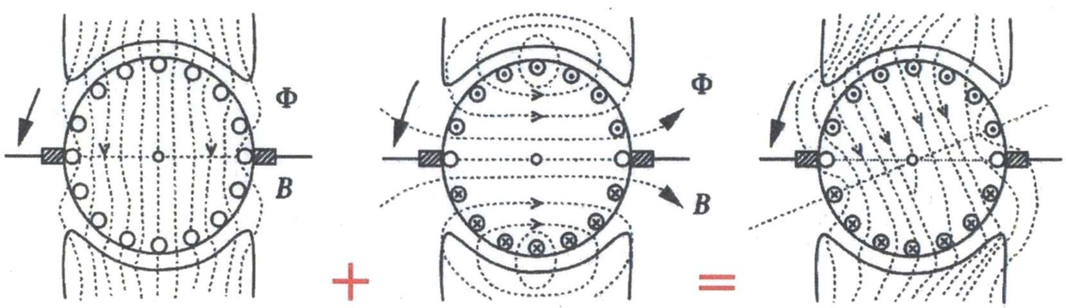
$$\Rightarrow E = 2 \cdot \frac{\phi}{A} \cdot \frac{2\pi n}{60} \cdot r \cdot l \cdot N$$

$$\Rightarrow \boxed{E = k_E \phi n} \qquad \left(E = k_1 \phi n\right)$$

DÄR $k_E = \dfrac{4\pi r l N}{60A}$

3.12 Vid tomgång och 1000 rpm är en shuntgeneratorns ankarspänning 250 V. Ankarkretsen resistans inkl. borstar är 0,5 Ω. Shuntlindningens resistans är 250 Ω. I tomgång drar maskinen som motor 4 A vid 250 V. Beräkna motorns varvtal och verkningsgrad, när den vid samma spänning drar 40 A som belastad motor. Fältförsvagning på grund av ankarreaktionen uppskattas till 4 %.

Ankarreaktion



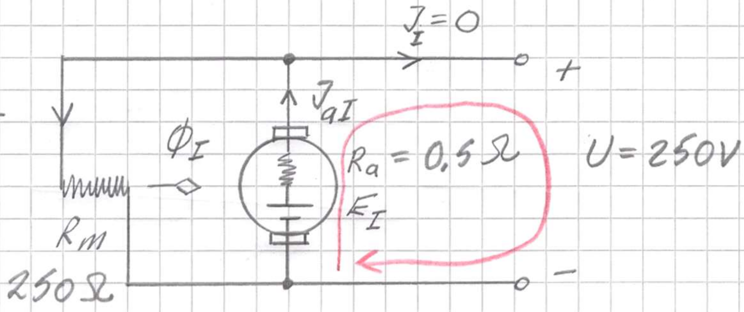
Huvudflöde Ankarflöde Resulterande flöde

FALL I SHUNTGENERATOR I TOMGÅNG

$J_m = J_{aI}$

$J_m = \dfrac{U}{R_m}$

$J_{aI} = 1\,A$

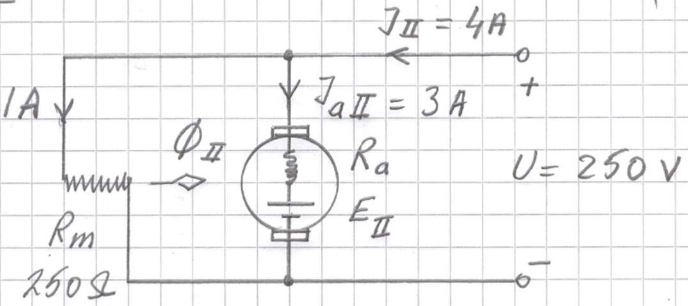


$n_I = 1000$ RPM

FALL II SHUNTMOTOR I TOMGÅNG $(M_{II} = M_{F0})$

FRIKTION OCH VENTILATION

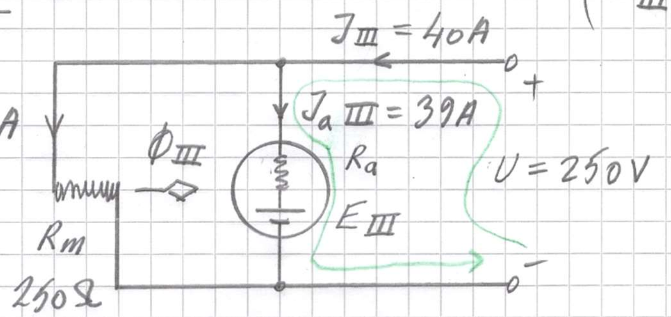
$J_m = 1A$



$\phi_{II} \approx \phi_I$

FALL III BELASTAD SHUNTMOTOR $(M_{III} >> M_{II})$

$J_m = 1\,A$



ANKARREAKTION $4\% \Rightarrow \phi_{III} = 0{,}96\,\phi_I$

SÖKT:

$n_{III} = ?$

$\eta = ?$

FALL I $\Rightarrow$ $+E_I - R_a J_{aI} - U = 0 \quad \ldots (1)$

$E_I = k_1 \phi_I n_I$ INS I (1) $\Rightarrow$

$+ k_1 \phi_I \cdot 1000 - 0{,}5 \cdot 1 - 250 = 0$

$\Rightarrow \quad k_1 \phi_I = 0{,}2505$

FALL III $\Rightarrow$ $+U - R_a J_{aIII} - E_{III} = 0 \quad \ldots (2)$

$E_{III} = k_1 \phi_{III} n_{III} = 0{,}96 \, k_1 \phi_I n_{III}$

INS I (2) $\Rightarrow$ $+250 - 0{,}5 \cdot 39 - 0{,}96 \cdot 0{,}2505 \cdot n_{III} = 0$

$\Rightarrow \quad \underline{n_{III} \approx 958 \text{ RPM}}$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \ldots (3)$$

P_2 ← AVGIVEN EFFEKT

P_1 ← TILLFÖRD EFFEKT

$P_2 = P_1 - P_F$ ← FÖRLUSTEFFEKT

$P_F = P_{F0} + P_{FM} + P_{FB} \quad \ldots (4)$

P_{F0} = TOMGÅNGSFÖRLUST (FRIKTION OCH VENTILATION)

P_{FM} = FÖRLUST I MAGNETKRETSEN

P_{FB} = BELASTNINGSFÖRLUST

? ?

$$\left(P_{FO} = M_{II}\cdot \omega_{II} = M_{II}\cdot \frac{2\pi n_{II}}{60}\right)$$

$$P_{FO} = E_{II}\cdot J_{aII} = \left(U - R_a J_{aII}\right)\cdot J_{aII}$$

$$P_{FO} = (250 - 0{,}5\cdot 3)\cdot 3 = 745 \text{ W}$$

$$P_{FM} = R_m\cdot J_m^2 \Rightarrow P_{FM} = 250\cdot 1^2 = 250 \text{ W}$$

$$\left(P_{FM} = U\cdot J_m \quad \text{ELLER} \quad P_{FM} = \frac{U^2}{Rm}\right)$$

$$P_{FB} = R_a\cdot J_{aIII}^2 \Rightarrow P_{FB} = 0{,}5\cdot 39^2 \approx 761 \text{ W}$$

$$\text{INS I (4)} \Rightarrow P_F = 745 + 250 + 761 \approx 1756 \text{ W}$$

$$P_1 = U\cdot J_{III} \Rightarrow P_1 = 250\cdot 40 = 10000 \text{ W}$$

$$\text{INS I (3)} \Rightarrow \underline{\eta} = \frac{10000 - 1756}{10000} \approx 82\%$$

6.3 Förberedelseuppgifter till laboration 4

1a) Rita tidsdiagram för utspänningen från enpulskopplingen i figur 6.1 om tändvinkeln $\alpha = 90°$. Beräkna utspänningens medelvärde U_L.

1b) Rita tidsdiagram för utspänningen från trepulskopplingen i figur 6.2 om tändvinkeln $\alpha = 60°$. Beräkna utspänningens medelvärde U_L.

1c) Rita tidsdiagram för utspänningen från sexpulskopplingen i figur 6.3 om tändvinkeln $\alpha = 0°$. Beräkna utspänningens medelvärde U_L.

2a) Vilket samband kan man förvänta sig mellan pålagd ankarspänning U_a och varvtalet n för den separatmagnetiserade motorn i kapitel 6.3.1 om den körs obelastad och med konstant magnetiseringsspänning U_m?

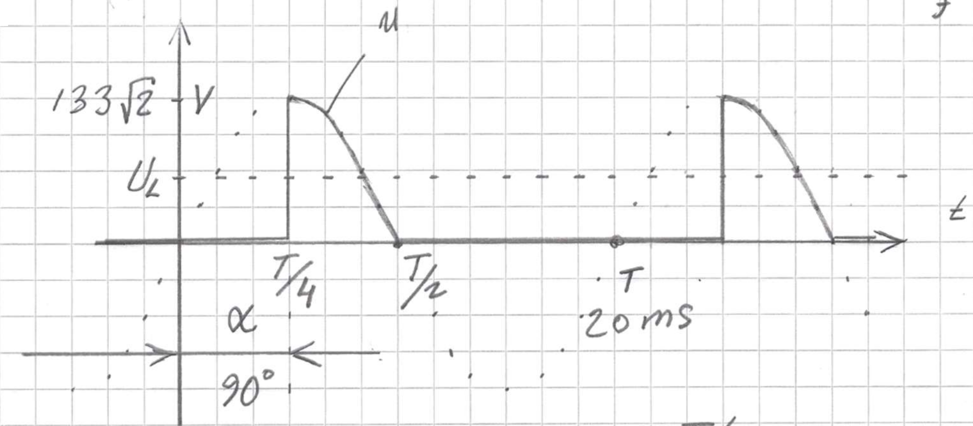
2b) Visa att momentet M är proportionellt mot ankarströmmen I_a för shuntmotorn i kapitel 6.3.2 då ankarspänningen U_a hålls konstant.

2c) Visa att momentet M är proportionellt mot ankarströmmen i kvadrat I_a^2 för seriemotorn i kapitel 6.3.3 då ankarspänningen U_a hålls konstant.

2d) Visa att seriemotorn rusar $n \to \infty$ när den körs obelastad $M \to 0$.

1a)

$f = 50\,Hz \quad T = \frac{1}{f} = 20\,ms$

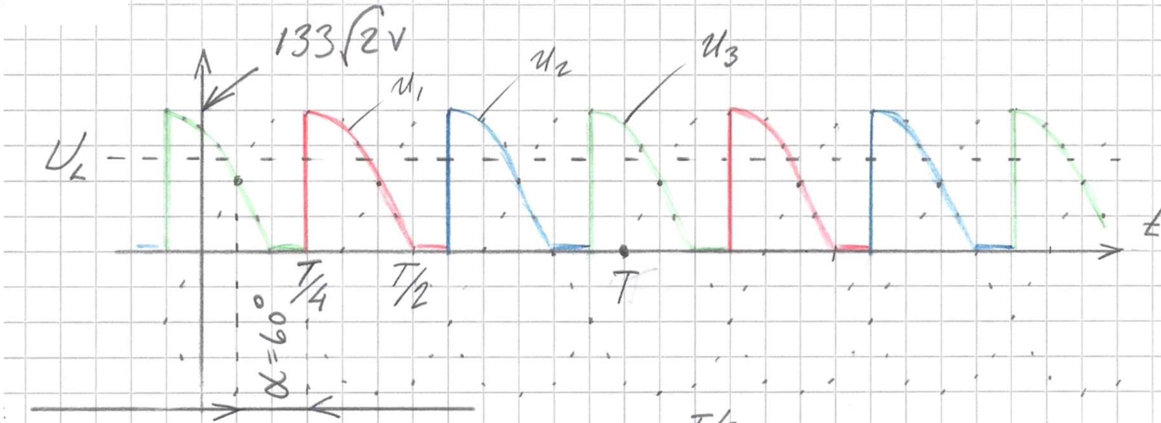


$$U_L = \frac{1}{T}\int_0^T u\,dt = \frac{1}{T}\int_{T/4}^{T/2} 133\sqrt{2}\sin(\omega t)\,dt =$$

$$= \Big/ T = \frac{2\pi}{\omega} \Big/ = \frac{\cancel{\omega}}{2\pi}\cdot 133\sqrt{2}\left[\frac{-\cos(\omega t)}{\cancel{\omega}}\right]_{\frac{\pi}{2\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} =$$

$$= \frac{133\sqrt{2}}{2\pi}\left[-\cos\pi + \cos\frac{\pi}{2}\right] \approx \underline{29{,}9\ V}$$

1b)



$$U_L = \frac{1}{T}\int_0^{T} u\,dt = \frac{3}{T}\int_{T/4}^{T/2} u_1\,dt =$$

$$= \frac{3}{T}\int_{T/4}^{T/2} 133\sqrt{2}\sin(\omega t)\,dt = \Big/\, T = \frac{2\pi}{\omega} \,\Big/ =$$

$$= \frac{3\cancel{\omega}}{2\pi}\cdot 133\sqrt{2}\left[\frac{-\cos(\omega t)}{\cancel{\omega}}\right]_{\frac{\pi}{2\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} =$$

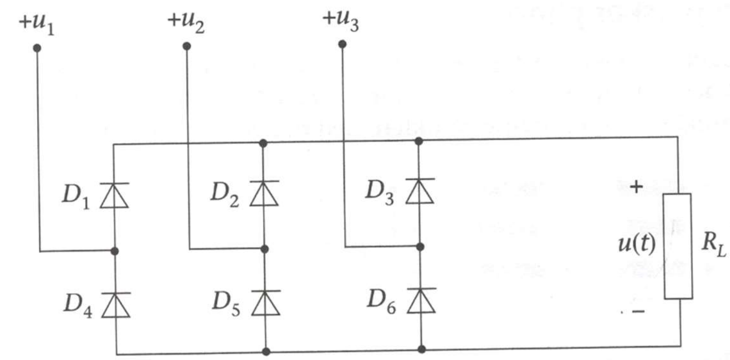
$$= \frac{3\cdot 133\sqrt{2}}{2\pi}\left[-\cos\pi + \cos\frac{\pi}{2}\right] = \underline{89{,}8\text{ V}}$$

Den av de tre tyristorerna som leder (blir framspänd) avgörs av vilken av de tre fasspänningarna u_1, u_2 eller u_3 som är störst.

Sexpulskoppling

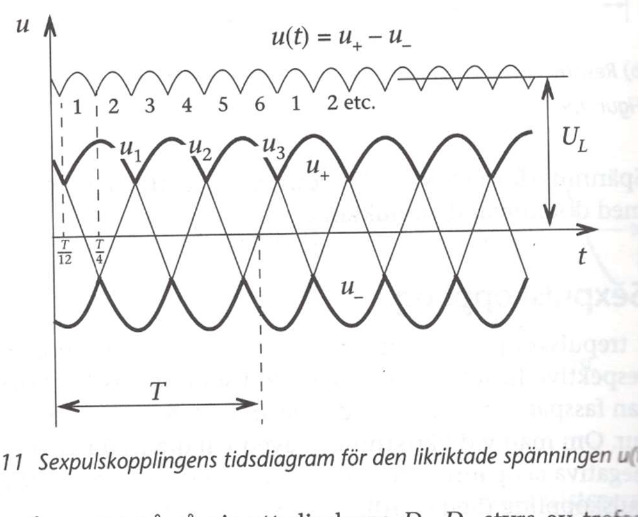
I trepulskopplingen enligt tidigare, styrs de tre dioderna av sina respektive fasspänningar. Den diod som utsätts för högst momentan fasspänning blir ledande. De andra två spärrar i avvaktan på sin tur. Om man vid likriktningen även vill dra nytta av och få fram de negativa fasspänningspulserna till lasten R_L, används istället en sexpulskoppling (figur 9.10).

Den likriktade spänningen $u(t)$ enligt tidsdiagrammet nedan, kännetecknas av att sex pulser per helperiod T kommer fram till lasten R_L. Därav namnet sexpulskoppling. I tidsdiagrammet är de sex pulserna numrerade från 1 till 6 för att förenkla kommande funktionsbeskrivning.



Figur 9.10 Sexpulskoppling med dioder.

De negativa och positiva fasspänningstopparna betecknas u_- respektive u_+. En helperiod T motsvarar 20 ms om nätfrekvensen är 50 Hz.



Figur 9.11 Sexpulskopplingens tidsdiagram för den likriktade spänningen $u(t)$.

Kopplingen fungerar på så vis att dioderna D_4–D_6 styrs av trefasspänningens negativa pulser. Den av fasspänningarna som är mest negativ öppnar sin diod. Fasspänningen u_1 öppnar alltså D_4 när den är mer negativ än både u_2 och u_3 medan D_5 och D_6 spärrar i avvaktan på sin tur då fasspänningarna u_2 respektive u_3 blir mest negativa. Dioderna D_1–D_3 styrs av trefasspänningens positiva pulser där

D_1 öppnas då u_1 är större än u_2 och u_3 osv. Det är hela tiden två dioder, en "positiv" och en "negativ", som leder växelvis. Arbetssättet framgår av funktionsbeskrivningen nedan där pulsnumreringen anknyter till det föregående tidsdiagrammet.

Puls nr	$u(t) =$	Dioder som leder
1	$u_1 – u_2$	D_1 och D_5
2	$u_1 – u_3$	D_1 och D_6
3	$u_2 – u_3$	D_2 och D_6
4	$u_2 – u_1$	D_2 och D_4
5	$u_3 – u_1$	D_3 och D_4
6	$u_3 – u_2$	D_3 och D_5

Figur 9.12 Funktionsbeskrivning av sexpulskopplingen.

För att beräkna medelvärdet av den likriktade spänningen, används integralberäkning. Beräkningsarbetet underlättas avsevärt om man inser att ytan som begränsas av de negativa spänningstopparna är densamma som den som begränsas av de positiva spänningstopparna. Ytorna under varje enskild av de sex likspänningspulserna är också lika stora varför man vid integralberäkningen kan nöja sig med att utföra beräkningen i tidsintervallet $T/12$ till $T/4$ och multiplicera med 6. Här följer beräkningsgången:

$$U_L = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T (u_+ - u_-)dt = /\int_0^T u_+dt = \int_0^T u_-dt\,/ =$$

$$= \frac{2}{T}\int_0^T u_+dt = 6\cdot\frac{2}{T}\int_{\frac{T}{12}}^{\frac{T}{4}} u_1dt = /\,T = \frac{2\pi}{\omega}\,/ = \frac{6\omega}{\pi}\int_{\frac{\pi}{6\omega}}^{\frac{\pi}{2\omega}} \hat{U}_F\sin(\omega t)dt =$$

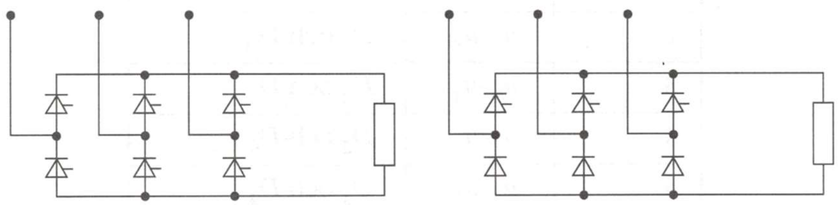
$$= \frac{6\omega\hat{U}_F}{\pi}\left[\frac{-\cos(\omega t)}{\omega}\right]_{\frac{\pi}{6\omega}}^{\frac{\pi}{2\omega}} = \frac{6\hat{U}_F}{\pi}\left[-\cos\left(\frac{\pi}{2}\right)+\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)\right] = \frac{3\sqrt{3}\hat{U}_F}{\pi}$$

$$\hat{U}_H = \sqrt{3}\hat{U}_F \Rightarrow U_L = \frac{3\hat{U}_H}{\pi}$$

För en sexpulskoppling med dioder, kopplad till ett trefasnät med huvudspänningen 400 V, blir alltså det likriktade medelvärdet:

$$U_L = \frac{3 \cdot 400\sqrt{2}}{\pi} \approx 540 \text{ Volt}$$

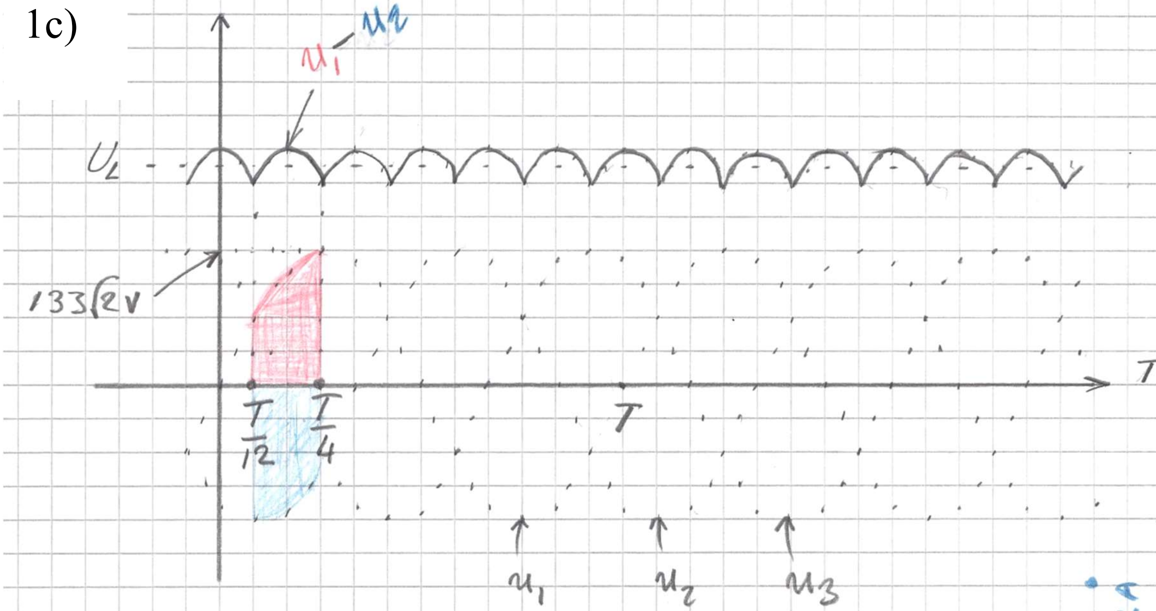
Medelvärdet går att styra ner till lägre värden om man ersätter dioderna helt eller delvis med tyristorer.



Figur 9.13 a) Helstyrd sexpulskoppling. b) Halvstyrd sexpulskoppling.

Den halvstyrda kopplingen medger endast likriktning medan den helstyrda även medger växelriktning. Växelriktning innebär att kopplingen även kan köras bakvänt, dvs. omvandla likspänning till växelspänning.

1c)



$$U_L = \frac{1}{T}\int_0^T u\,dt = \frac{6}{T}\int_{T/12}^{T/4} (u_1 - u_2)\,dt =$$

$A_{RÖD} = A_{BLÅ}$

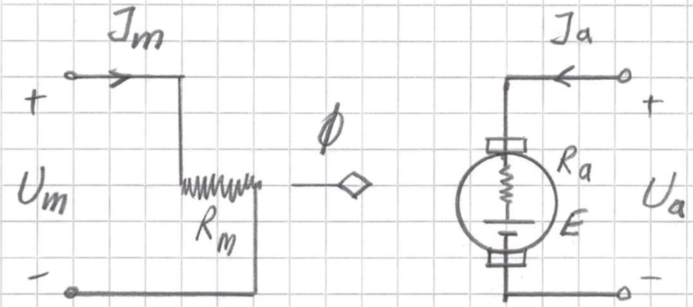
$$= 2\cdot\frac{6}{T}\int_{T/12}^{T/4} u_1\,dt = \Big/\; T = \frac{2\pi}{\omega} \;\Big/ =$$

$$= \frac{2\cdot 6\,\omega}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{6\omega}}^{\frac{\pi}{2\omega}} 133\sqrt{2}\sin(\omega t)\,dt =$$

$$= \frac{6\cancel{\omega}}{\pi}\cdot 133\sqrt{2}\left[\frac{-\cos(\omega t)}{\cancel{\omega}}\right]_{\frac{\pi}{6\omega}}^{\frac{\pi}{2\omega}} =$$

$$= \frac{6\cdot 133\sqrt{2}}{\pi}\left[-\cos\frac{\pi}{2} + \cos\frac{\pi}{6}\right] \approx \underline{311\text{ V}}$$

2a)



$$+U_a - R_a J_a - E = 0 \quad \ldots (1)$$

$$M = k_2 \phi J_a \quad \ldots (2)$$

$$E = k_1 \phi n \quad \ldots (3)$$

$(2) \Longrightarrow J_a = 0$ OM $M = 0$ (OBELASTAD)

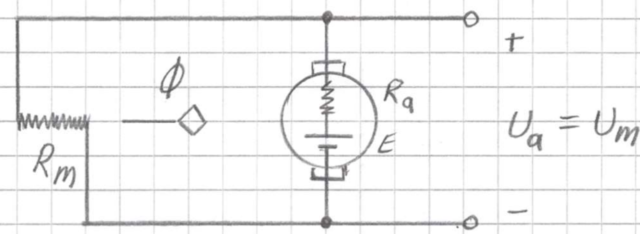
INS I $(1) \Longrightarrow$ $\qquad$ ϕ KONSTANT OM U_m ÄR KONSTANT

$$+U_a - R_a \cdot 0 - k_1 \phi n = 0$$

$$\Longrightarrow U_a = \underbrace{k_1 \phi}_{\text{KONSTANT}} n$$

ALLTSÅ, PROPORTIONALITET MELLAN U_a OCH n.

2b)



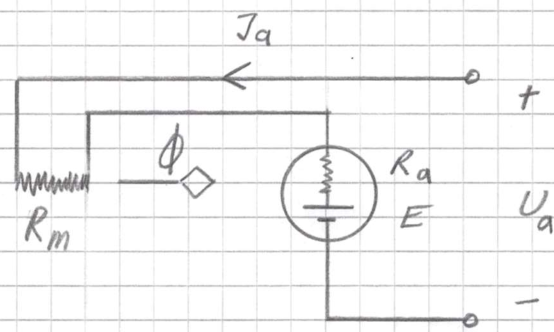
SHUNTMOTOR :

U_a KONSTANT $\Rightarrow$ U_m KONSTANT $\Rightarrow$ ϕ KONSTANT

$$M = \underbrace{k_2 \phi}_{\text{KONSTANT}} J_a$$

ALLTSÅ, PROPORTIONALITET MELLAN M OCH J_a.

2c)



$$M = k_2 \phi J_a$$

$$\phi = k_3 J_a$$

$$\Longrightarrow \quad M = \underbrace{k_2 k_3}_{\text{KONSTANT}} \cdot J_a^2$$

ALLTSÅ, PROPORTIONALITET MELLAN M OCH J_a^2

2d)

$$E = k_1 \phi n \quad \ldots\ldots (1)$$

$$M = k_2 \phi J_a \quad \ldots\ldots (2)$$

$$\phi = k_3 J_m \quad \ldots\ldots (3)$$

SERIEMOTOR $J_m = J_a$

(3) INS I (2) $\Rightarrow \quad M = k_2 k_3 J_a^2$

(3) INS I (1) $\Rightarrow \quad E = k_1 k_3 J_a n$

$$\Rightarrow J_a = \frac{E}{k_1 k_3 n} \Rightarrow$$

$$M = k_2 k_3 \left(\frac{E}{k_1 k_3 n} \right)^2 \Rightarrow$$

$$n = \frac{E}{k_1 k_3} \cdot \sqrt{\frac{k_2 k_3}{M}}$$

$\Rightarrow \quad n \to \infty$ DÅ $M \to 0$

ALLTSÅ, SERIEMOTORN RUSAR DÅ DEN KÖRS OBELASTAD.