

Elektriska drivsystem

Föreläsning 6 - Introduktion till kraftelektronik och reglering av likströmsmotorn

Mattias Krysander

Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet
matkr@isy.liu.se

2010-10-28

Rekapitulering

För att varvtalsreglera en elmotor behöver vi i likströmsmaskinens fall kunna variera ström eller spänningsstyrka.

För växelströmsmaskiner krävs både styrning av frekvens och amplitud av strömmar och spänningar.

Idag ska vi bland annat studera hur man med kraftelektronik kan åstadkomma detta.

Introduktion till kraftelektronik

Kraftelektronik behandlar omvandling av elektrisk effekt med hjälp av elektroniska kretsar.

Kraftelektroniskt styrda elmotorer används inom traktions-tillämpningar, fläktar, pumpar, industrirobotar, valsverk mm

De viktigaste komponenterna inom kraftelektroniken är halvledare som fungerar som "elektroniska strömbrytare". Ex: diod, tyristor och transistor.

Exempel på moderna krafttransistorer är Insulated-gate bipolar transistor (IGBT) och metal oxide semiconductor field effect transistor (MOSFET).

Ämnet kraftelektronik

Ämnet kraftelektronik behandlar dels konstruktionsaspekter

- ▶ dimensionering
- ▶ effektförluster
- ▶ kylare

och dels analys av kretsarna

- ▶ kopplingarnas funktion
- ▶ strömmars och spänningars kurvformer

Här ges en ytlig genomgång av det sistnämnda.

Omvandlare

En enhet som med kraftelektronik omvandlar elektrisk effekt kallas för omvandlare.

Tre huvudtyper av omvandlare är

- ▶ likspänningsomvandlare
- ▶ växelspänningsomvandlare
- ▶ strömriktare
 - ▶ likriktare
 - ▶ växelriktare

En strömriktare kan vara konstruerad att effektmatas i båda riktningarna. I detta fall avgör effektriktningen om strömriktaren körs i likriktardrift eller växelriktardrift.

Här kommer strömriktare att studeras.

Dagens föreläsning

1. Strömventiler
 - ▶ dioder
 - ▶ tyristorer (SCR)
 - ▶ transistorer (MOSFET,IGBT)
2. Likriktare
 - ▶ diodlikriktare: halvågslikriktare
 - ▶ faststyrd halvågslikriktare
3. Växelriktare
 - ▶ H-brygga
 - ▶ pulsbreddsmodulering
4. Elementär hastighetsreglering av likströmsmotorn
 - ▶ fältströmsstyrning
 - ▶ styrning mha ankarlindningsresistans
 - ▶ styrning mha ankarlindningens spänning
5. Momentreglering

— Strömventiler —

Strömventiler

Gemensamt för alla kraftelektronik är användning av strömventiler.

En strömventil har idealt två lägen på och av.

Strömventilen har idealt ingen resistans då den är påslagen och blockerar helt strömmen när den är avslagen.

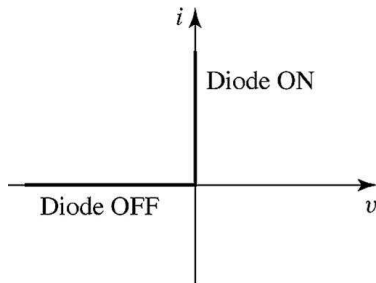
Det är främst den ideala funktionen som kommer analyseras här.

Strömventilerna kan delas in i

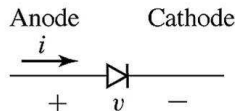
- ▶ ostyrda: dioder
- ▶ styrda: thyristorer, transistorer (MOSFET, IGBT)

Dioden

Dioden är en enkel ströventil med en ledriktning och en spärrriktning.



(a)

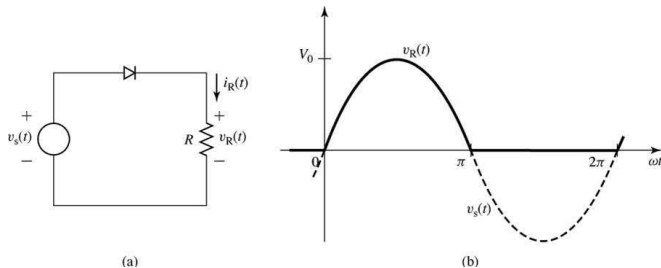


(b)

(a) Ideal spänning-strömkaraktäristik.

(b) Diodens symbol.

Halvvågslikriktare



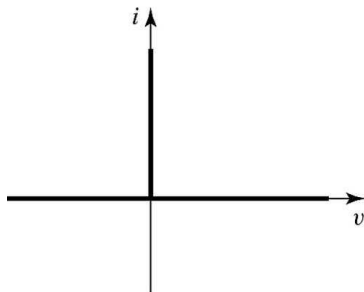
- (a) Halvvågslikriktare med resistiv last.
- (b) Spänningskällans spänning $v_s(t)$ samt spänningen över resistansen $v_R(t)$.

Typisk analys: Beräkna medelvärdet av den likriktade spänningen över och strömmen genom resistansen.

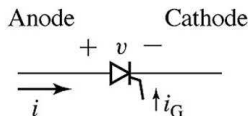
Tyristorn

Tyristorn är en strömstyrd strömventil.

Tyristorn har en tredje ingång som kallas gate. Likt dioden kan tyristorn bara leda ström från anoden till katoden. I motsats till dioden, öppnas ventilen genom en ström in i gaten. Tyristorn är öppen till dess att strömmen blir 0.



(a)

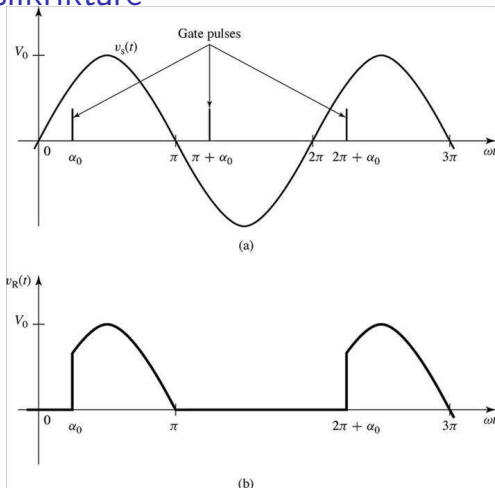
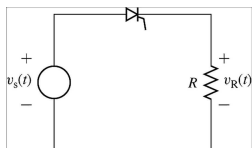


(b)

(a) Ideal spänning-strömkaraktäristik.

(b) Tyristorns symbol.

Tyristorstyrd halvågslikriktare

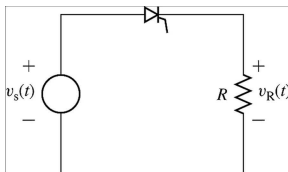


Notera att det står ωt på x-axeln.

- (a) Spänningskällans spänning $v_s(t)$ samt gate-pulser vid $\alpha_0 + n\pi$, där $n \in \mathbb{N}$.
- (b) Spänningen över resistorn $v_R(t)$. Tyristorn slås på vid $\alpha_0 + 2\pi n$ och stängs av vid $\pi + 2\pi n$ för $n \in \mathbb{N}$.

Tyristorstyrd halv vågslikriktare - exempel

Givet: Antag en tyristorstyrd halv vågslikriktare matad med en fyrkantsvåg med amplitud V_0 .



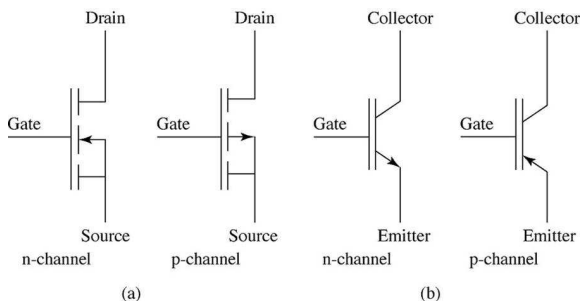
Sökt: Teckna medelspänningen V_{dc} över resistansen som funktion av firing delay angle α_0 .

Lösning:

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_R(t) d(\omega t) = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_0}^{\pi} V_0 d(\omega t) = \frac{V_0}{2\pi} (\pi - \alpha_0) = \frac{V_0}{2} \left(1 - \frac{\alpha_0}{\pi}\right) \end{aligned}$$

Transistorn

Transistorn är en spänningsstyrd strömventil, dvs spänningen över gate-source (MOSFET) eller gate-emitter (IGBT) styr om transistorn är öppen eller sluten. I likhet med tyristorn är strömmen enkelriktad, men i motsats till tyristorn så kan ventilen aktivt stängas av.

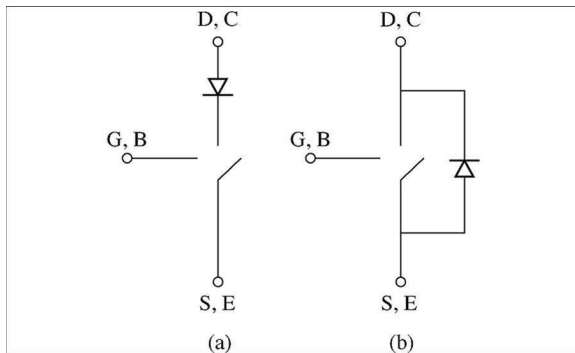


(a) N-kanal/P-kanal MOSFET.

(b) N-kanal/P-kanal IGBTs.

Strömmen går i den indikerade riktningen.

Transistorn - en idealmodell



(a) Ideal ventilmodell för en MOSFET eller IGBT.

(b) En ideal ventil med backriktningsskydd.

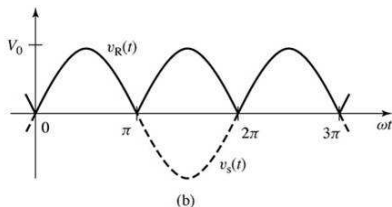
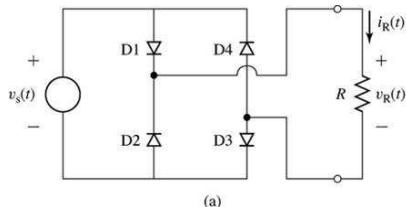
(G,D,S) refererar till MOSFET och (B,C,E) till IGBT.

— Likriktare —

Likriktare

- ▶ Diodlikriktare: halvågslikriktare
- ▶ Fastyrd halvågslikriktare

Diodlikriktare: halvågsl rikriktare



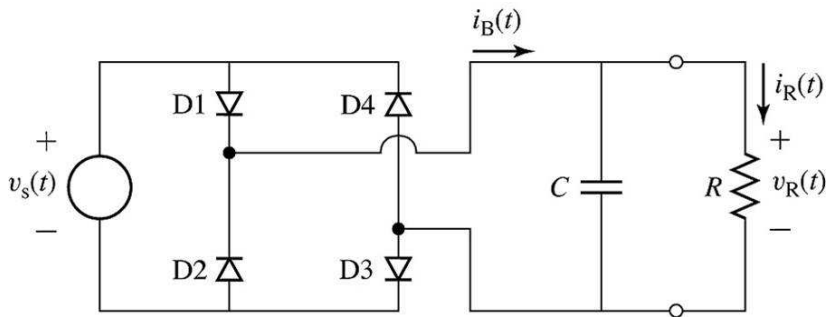
Idealt beteende:

- ▶ $v_s(t) = V_0 \sin \omega t$
- ▶ $v_s(t) > 0 \Rightarrow$ D1 och D3 på $\Rightarrow v_R(t) = v_s(t)$
- ▶ $v_s(t) < 0 \Rightarrow$ D2 och D4 på $\Rightarrow v_R(t) = -v_s(t)$
- ▶ $v_R(t) = |v_s(t)|$
- ▶ $V_{dc} = \frac{2}{\pi} V_0$

Spänningen är långt ifrån konstant vilket oftast är önskvärt.

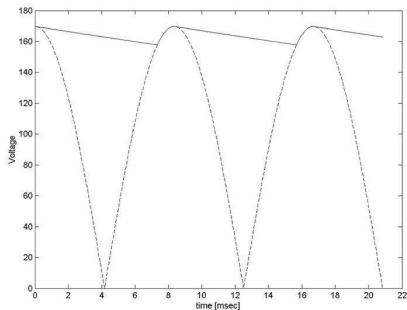
Spänningsstyvt filter

Spänningen stabiliseras genom att koppla in en kondensator över lasten enligt:

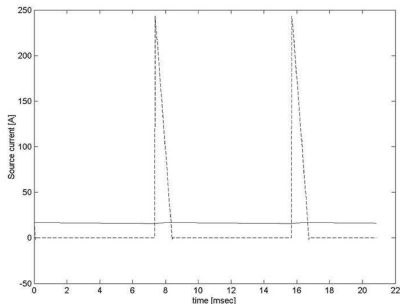


Om tidskonstanten RC är stor jmf med v_s :s periodtid blir v_R relativt konstant.

Spänningsstyvt filter



(a)



(b)

a) streckad $|v_s(t)|$, heldragen $v_R(t)$

b) heldragen $i_R(t)$, streckad $i_B(t)$

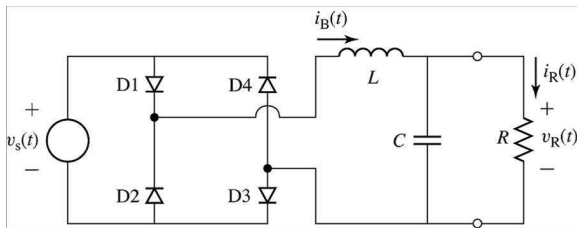
Dioder är påslagna under den del av perioden då $|v_s(t)| = v_R(t)$.

Under den tiden måste bryggan leverera en ström $i_B(t)$ som räcker till att förse resistansens med ström i_R tills nästa uppladdning av kondensatorn, $\int_0^\pi i_B d(\omega t) = \int_0^\pi i_R d(\omega t)$.

Stabilisering av spänning på bekostnad av kraftiga strömstötter.

Ström och spänningsstyvt filter

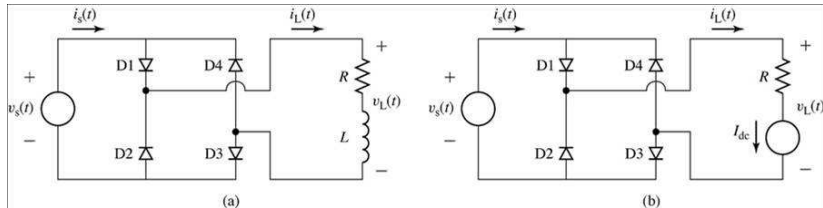
Strömmatningen kan ske relativt jämt genom införandet av en induktor enligt:



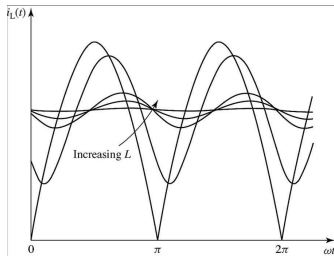
Om induktorns reaktans till beloppet är stor jmf med parallellkopplingens impedans genereras en approximativ likspänning med en relativt konstant ström från bryggan.

Strömstabilisering med induktans

Både då lasten är induktiv eller om en induktans är del av likriktaren kan strömmen genom lasten approximeras med en ideal strömkälla, se fig (b), då induktansen är stor.

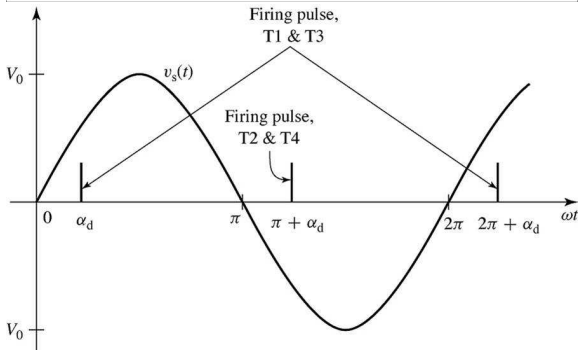
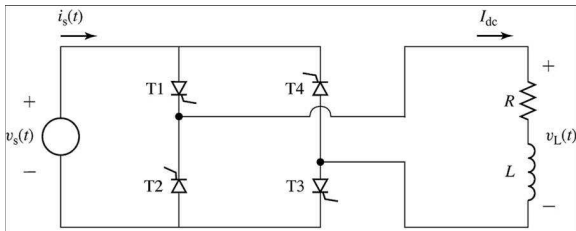


Strömmens stabilisering för växande induktans:



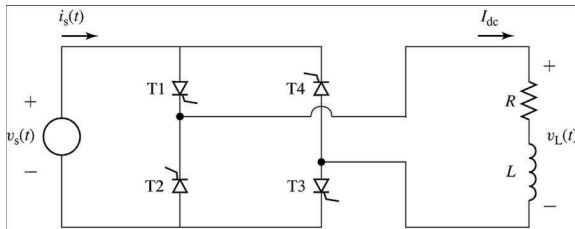
Fastyrd halvåglikriktare

Betrakta samma krets som förut, men nu med styrbara ventiler.



Fasstyrd halvågsl riktare - översikt

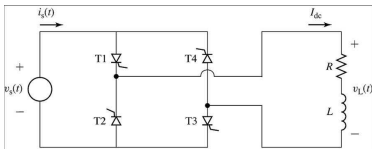
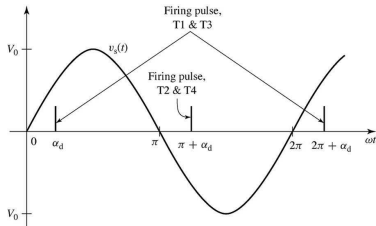
- ▶ Beskriva hur ventilerna är på och avslagna under en period.
- ▶ Visa strömmen $i_s(t)$ som lasten drar från spänningskällan.
- ▶ Teckna spänningen $v_L(t)$ över lasten.
- ▶ Teckna likspänningen över resistorn V_{dc} .
- ▶ Teckna likströmmen genom lasten I_{dc} .



Fasstyrd halvågsl riktare - ventilposition

Antag att L är så stor jmf med R att strömmen genom lasten approximativt kan antas vara konstant I_{dc} .

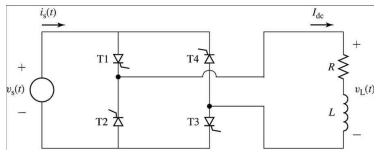
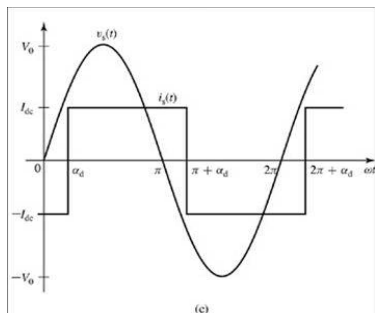
- ▶ T1 & T3 slås på vid α_d .
- ▶ Notera att T2 & T4 är av till $\pi + \alpha_0$.
- ▶ För att dra en konstant ström I_{dc} måste alltså T1 & T3 vara påslagna till det att T2 & T4 slås på.



Fastyrd halvågsl riktare - matningsströmmen

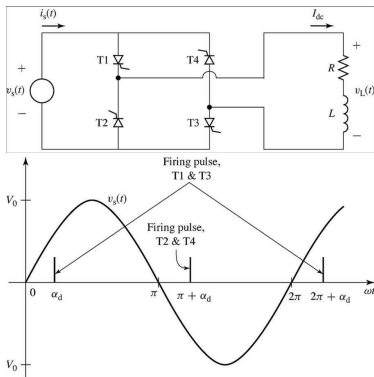
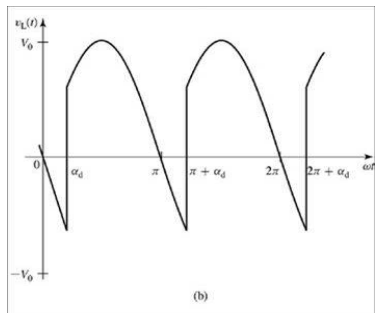
- ▶ T1 & T3 är påslagna i $[\alpha_d, \alpha_d + \pi] =: \mathcal{I}_1$
 $\Rightarrow i_s(t) = I_{dc}$, för $\omega t \in \mathcal{I}_1$
- ▶ T2 & T4 är påslagna i $[\alpha_d + \pi, \alpha_d + 2\pi] =: \mathcal{I}_2$
 $\Rightarrow i_s(t) = -I_{dc}$, för $\omega t \in \mathcal{I}_2$

Matningsströmmen blir en fyrkantsvåg med amplitud I_{dc} och fasförsjuten α_d radianer.



Fastyrd halvågsl riktkare - spänningen över lasten

- ▶ T1 & T3 är påslagna i $[\alpha_d, \alpha_d + \pi]$
 $\Rightarrow v_L(t) = v_s(t)$
- ▶ T2 & T4 är påslagna i $[\alpha_d + \pi, \alpha_d + 2\pi]$
 $\Rightarrow v_L(t) = -v_s(t)$



Fasstyrd halvågsl riktare - likspänningen över resistorn

Medelspänningen över induktorn är 0 då strömmen är periodisk ty:

$$v = L \frac{di}{dt} \Rightarrow$$

$$i(t + T) - i(t) = 0 = \frac{1}{L} \int_t^{t+T} v(t) dt \Rightarrow$$

$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} v(t) dt = 0$$

Likspänningen över resistorn är lika med medelspänningen över lasten $V_{dc} = \bar{v}_L$ i detta fall ty

$$\bar{v}_L = \bar{V}_{dc} + \bar{v} = V_{dc}$$

Likspänningen över resistorn kan alltså beräknas som:

$$V_{dc} = \frac{V_0}{\pi} \int_{\alpha_d}^{\alpha_d + \pi} \sin x dx = \frac{2V_0}{\pi} \cos \alpha_d \text{ där } 0 \leq \alpha_d \leq \pi$$

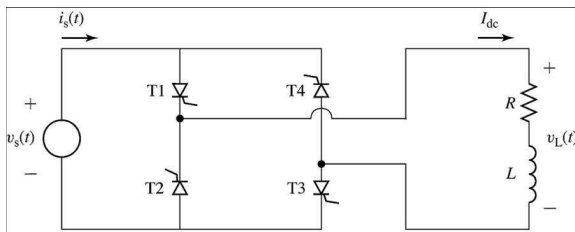
Fastyrd halvåglikriktare - likströmmen genom lasten

Likspänningen över resistorn kan alltså beräknas som:

$$V_{dc} = \frac{2V_0}{\pi} \cos \alpha_d \text{ där } 0 \leq \alpha_d \leq \pi$$

Strömmen genom lasten är:

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{2V_0}{R\pi} \cos \alpha_d \text{ där } 0 \leq \alpha_d \leq \pi$$

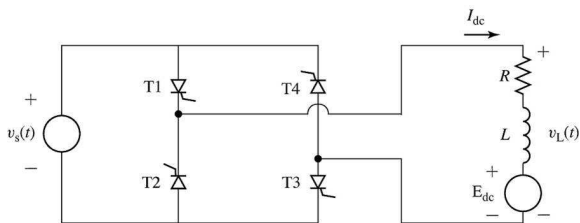


Motorexempel

Givet: En pm dc-motor styrs mha en fastyrdd brygga. Bryggan matas med växelström med frekvens f och amplitud V_0 . DC-motorns ankarlindningsresistans är R och induktans L där $L/R \gg 1/f$. Tomgångshastigheten är n_0 då ankarlindningen matas med $E_{dc,0}$. Tomgångsmomentet får antas försumbart.

Sökt: Beräkna tomgångsfarten n som funktion av styrvinkeln α_d .

Lösning: Kretsen som modellerar motor och likriktare:



Motorexempel

Lösning: Farten ges av

$$n = n_0 \frac{E_{dc}}{E_{dc,0}}$$

Eftersom induktansen är stor i jmf mot resistansen kan strömmen genom lasten antas vara konstant. Eftersom tomgångsmomentet är litet, dvs

$$T = K_m I_{dc} \approx 0 \quad \Rightarrow \quad I_{dc} = 0 \quad \Rightarrow \quad V_{dc} = E_{dc}$$

Med denna approximation erhålls

$$E_{dc} = \frac{2V_0}{\pi} \cos \alpha_d$$

vilket ger

$$n = n_0 \frac{2V_0}{E_{dc,0}\pi} \cos \alpha_d$$

Bryggan kan bara förse motorn med positiv ström, dvs uttrycket ovan gäller för $0 \leq \alpha_d \leq \pi/2$.

—— Växelriktare ——

Växelriktare

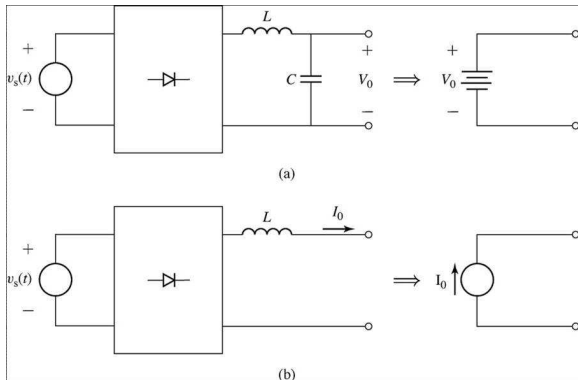
Växelriktare omvandlar likström/spänning till växelström/spänning med variabel frekvens och amplitud.

Vi kommer att diskutera följande typer av växelriktare:

- ▶ Switchad H-brygga
- ▶ Pulsbreddsmodulering

Insignalsrepresentation av växelriktare

För styrning av växelströmsmaskiner krävs en växelspanning med variabel frekvens och amplitud. Vid växelspanningskälla görs ofta spanningen först om till likspänning för att sedan växelriktas.

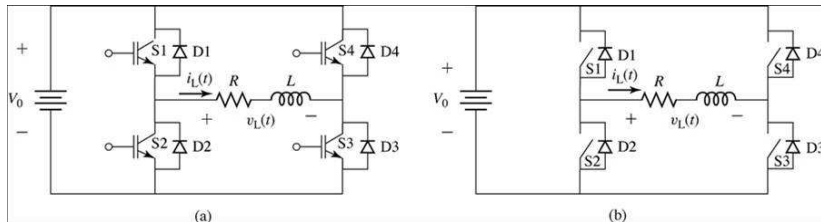


(a) Ideal spänningskälla.

(b) Ideal strömkälla.

H-bryggan

Enfas-H-brygga som växelriktare. I detta fall matas kretsen med en likspänning. Strömmatning följer analogt med spänningsfallet.



(a) Typisk konfiguration med IGBTs.

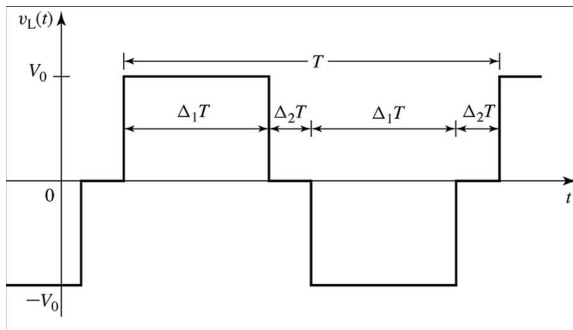
(b) Generisk konfiguration med ideala ventiler.

Antagande: switchningstiderna \gg tidskonstanten L/R

$\Rightarrow i_L = V_L/R$ approximativt.

H-bryggan - typisk utspänning

Utsignalen som ska produceras ser typiskt ut som:

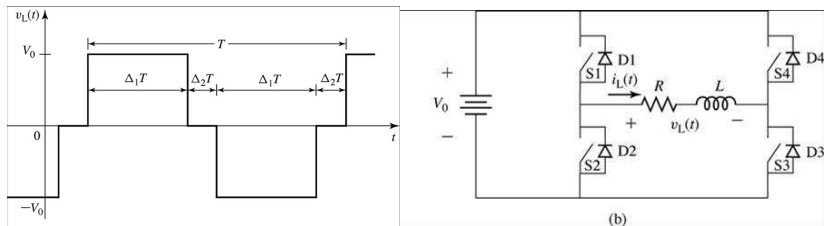


Även om spänningen inte liknar en sinusvåg fungerar den rakt av i många motorapplikationer.

Att köra med sådan spänning ger i jmf med en sinusformad spänning ökad uppvärmning av motorn och sämre verkningsgrad.

LC-filter kan reducera effekten i övertonerna.

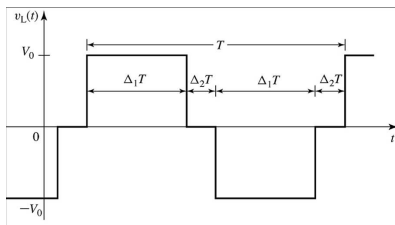
H-bryggan - switchning



- ▶ S1 och S3 är på
 $v_L = V_0$.
- ▶ S1 av, S3 på. (Går att slå av S3 istället.)
Strömmens väg: lasten - S3 - D2. $i_L \rightarrow 0$
 $v_L = 0$
- ▶ S3 av, S2 och S4 på.
 $v_L = -V_0$.
- ▶ Slå av antingen S2 eller S4.

En period är genomgången.

H-bryggan - switchningstiming



Vågformen beskrivs av en parameter t ex Δ_1 ty

$$2(\Delta_1 + \Delta_2) = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \Delta_2 = \frac{1}{2} - \Delta_1$$

Fourierutveckling ger:

$$V_{L,n} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin(nt) dt = \frac{V_0}{\pi} \int_{\frac{1}{2}\Delta_2 2\pi}^{(\frac{1}{2}\Delta_2 + \Delta_1)2\pi} \sin(nt) dt = \dots$$

$$V_{L,n} = \frac{4V_0}{n\pi} \sin(n\Delta_1\pi) \quad \text{där } n = 1, 3, 5, \dots$$

H-bryggan - exempel

Givet: 3 enfas-H-bryggor driver med $1/3$ periods fasskiftning en 3-fas 4-polig motor. Motorn är Y-kopplad och likriktarna inkopplade mellan fas och 0:an. Anta att matningsspänningen är $V_0 = 125$ V, periodtiden $T = 20$ ms, och $\Delta_1 = 0.44$.

Sökt: Motorns hastighet och amplitudens spänning mellan fas och 0:an.

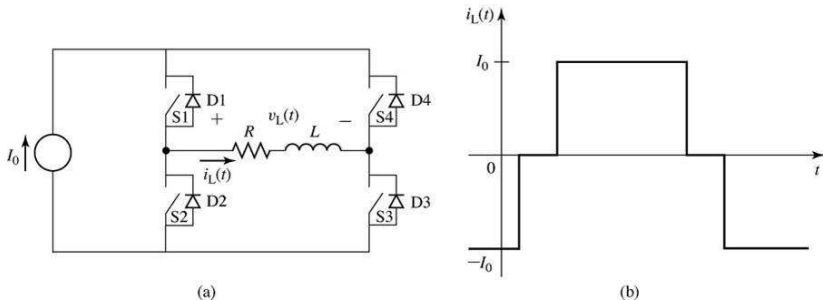
Lösning:

$$f = \frac{2}{p} f_e = \frac{2}{pT} = 25 \text{ Hz}$$

$$V_{L,1} = \frac{4V_0}{\pi} \sin(\Delta_1\pi) = 156 \text{ V}$$

H-bryggan - strömmatning

Sökt: Bestäm en switchningsordning för kretsen i fig (a) så att strömmen genom lasten principiellt blir som i fig (b).

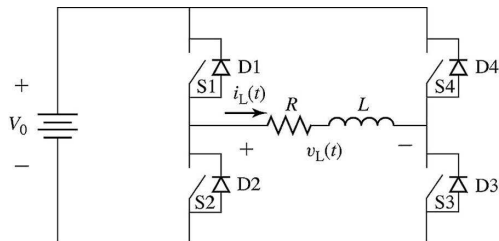


Lösning: När strömmen över lasten ska vara noll, kortsluts strömmen I_0 antingen genom att slå på S1 och S2 eller S3 och S4.

$i_L(t)$	S2	S1	S3	S4
0	på	på		
I_0		på	på	
0			på	på
$-I_0$	på			på

Pulsbreddsmodulerad (PWM) växelriktning

Enfas pulsbreddsmodulerad spänningsmatad H-brygga som växelriktare. Strömmatad växelriktning behandlas analogt.

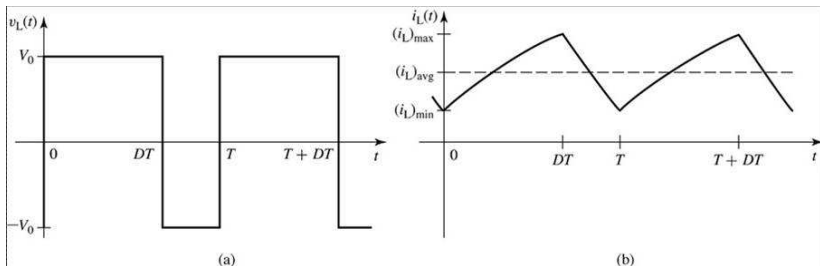
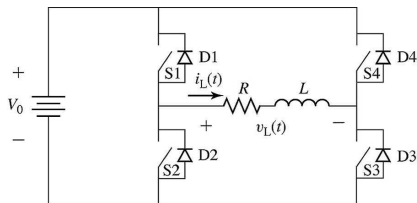


Switchningsstrategi:

- ▶ S1 och S3 påslagna tiden DT .
- ▶ S1 och S3 avslagna resterande tid, dvs $(1 - D)T$.

Styrning genom att välja tillslagstiden DT .

Pulsbreddsmodulerad växelriktning - signalkaraktäristik



$$(v_L)_{\text{avg}} = V_0(2D - 1), \quad (i_L)_{\text{avg}} = \frac{V_0}{R}(2D - 1), \quad -\frac{V_0}{R} \leq (i_L)_{\text{avg}} \leq \frac{V_0}{R}$$

Genom att välja T litet kan ripplet göras godtyckligt litet.

Varierande tillslagstid

Antag att $D(t)$ varierar långsamt mot periodtiden T och lastens tidkonstant L/R .

$$(v_L)_{\text{avg}}(t) = V_0(2D(t) - 1), \quad (i_L)_{\text{avg}}(t) = \frac{V_0}{R}(2D(t) - 1)$$

Antag en sågandformad våg W_{saw} med amplitud 1.

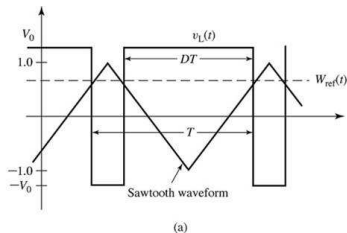
Antag en referenssignal W_{ref} mellan -1 och 1.

Regler:

$$W_{\text{ref}} > W_{\text{saw}} \implies \text{S1 och S3 påslagna}$$

$$W_{\text{ref}} \leq W_{\text{saw}} \implies \text{S2 och S4 avstängda}$$

Varierande tillslagstid



Tillslagstiden beror av referenssignalen enligt:

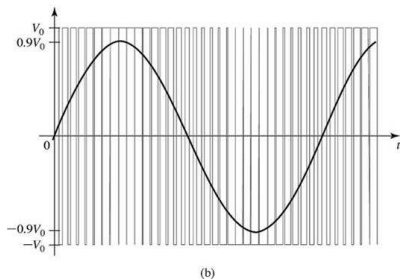
$$D(t) = \frac{1 + W_{ref}(t)}{2}$$

Det ger att

$$\begin{aligned} (v_L)_{avg}(t) &= (2D(t) - 1)V_0 = \\ &= W_{ref}(t)V_0 \end{aligned}$$

dvs en spänningsförstärkare har konstruerats.

Fig (b) visar last- och medellastspänningen för $W_{ref} = 0.9 \sin t$.



Sammanfattning kraftelektroniken

- ▶ Dioder, tyristorer, IGBTs, MOSFETs har analyserats som ideala strömventiler.
- ▶ Kraftelektroniken till en typisk variabel frekvens, variabel spänningsstyrning av en motor kan indelas i följande 3 delar:
 1. likriktning
 2. filtrering för att skapa relativt konstant ström eller spänning
 3. växelriktning
- ▶ Två typer av likriktare, en med styrbar likspänning/ström och en fix.
- ▶ Två typer av växelriktare
 - ▶ Enkel switchning, stegformad signal, variabel frekvens, amplituden styrs bäst i likriktningssteget.
 - ▶ Pulsbreddsmodulering. Styrning av hela vågformen, både frekvens och amplitud.

Elementär hastighetsreglering av
likströmsmotorn

Elementär hastighetsreglering av likströmsmotorn

Denna del behandlar styrning av likströmsmotorn under stationär drift.

Typiskt regleras hastigheten genom att variera

- ▶ fältströmmen,
- ▶ resistansen i ankarlindningen eller
- ▶ ankarspänningen.

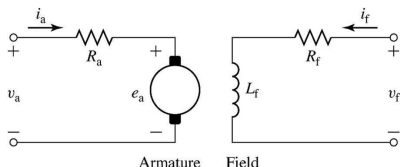
Dessa tre fall skall vi studera närmre.

Fältströmsreglering

Hastighetsreglering mha fältströmmen är vanligt förekommande för separat- och shunt-magnetiserade motorer eftersom effekterna är förhållandevis små i fältlindningen jmf med effekterna i ankarlindningen.

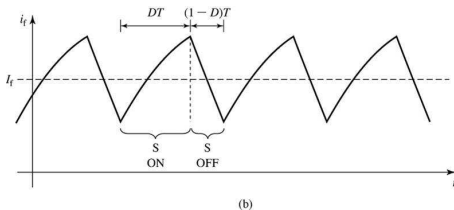
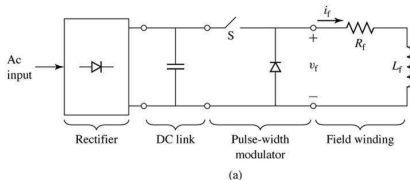
Fältströmmen kan styras antingen genom att

- ▶ seriekoppla fältlindningen med en potentiometer eller
- ▶ genom att styra spänningen över fältlindningen mha kraftelektronik.



Fältströmsreglering via spänningsreglering

Exempel på lösning: Likriktare, spänningsstyvt filter som genererar V_{dc} , pulsbreddsmodulerad likspänning V_f .



Strömmen blir

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = D \frac{V_{dc}}{R_f}$$

Fältströmsreglering - varvtal

Antag konstant moment T_{load} , samt betrakta en separatmagnetiserad eller shuntmagnetiserad motor.

Inducerad spänning och moment kan tecknas som

$$E_a = K_f I_f \omega_m \qquad T_{\text{load}} = \frac{E_a I_a}{\omega_m} = K_f I_f I_a$$

där $K_f = K_a N_f / \mathcal{R}_d$ är en geometrisk konstant.

Varvtalet som funktion av I_f är:

$$\omega_m = \frac{E_a}{K_f I_f} = \frac{V_a - I_a R_a}{K_f I_f} = \frac{V_a - \frac{T_{\text{load}}}{K_f I_f} R_a}{K_f I_f}$$

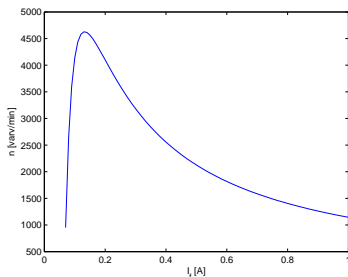
Fältströmsreglering - varvtal,maxeffekt

Varvtalet som funktion av I_f är:

$$\omega_m = \frac{V_a - \frac{T_{\text{load}}}{K_f I_f} R_a}{K_f I_f}$$

$I_a R_a$ oftast liten $\Rightarrow \frac{d\omega_m}{dI_f} < 0$

- ▶ Lägsta hastigheten begränsas av maximal fältström ($I_a = T_{\text{load}}/(K_f I_f)$)
- ▶ Högsta hastigheten begränsas av kommutering, fältförsvagning, etc



Fältströmsstyrning ger drivsystem med konstant maxeffekt ty

$$P = E_a I_{a,\text{max}} \approx V_a I_{a,\text{max}} = \text{konstant.}$$

Fältströmsreglering - exempel

Givet: En shuntmagnetiserad motor har $R_a = 47\text{ m}\Omega$ och $R_f = 187\Omega$. Med $V_a = 240\text{ V}$ och $I_{f,0} = 0.34\text{ A}$, är tomgångsfarten $n_0 = 3600\text{ varv/min}$. Antag att

$$P_{\text{load}} = 22.4 \left(\frac{n}{n_0} \right)^3$$

där n är varvtalet. En potentiometer i serie med shuntlindningen kopplas in för att styra farten.

Sökt: Om V_a är konstant och farten skall kunna regleras så att $n_1 = 1800 \leq n \leq 3600 = n_2$ varv/min, vilket resistansintervall måste potentiometern kunna ställa ut.

Fältströmsreglering - exempel

Lösning:

$$P_{\text{load},i} = 22.4 \left(\frac{\omega_{m,i}}{\omega_{m,0}} \right)^3, \text{ där} \quad \omega_{m,i} = \frac{\pi}{30} n_i$$

$$T_{\text{load},i} = P_{\text{load},i} / \omega_{m,i}$$

$I_{f,i}$ kan lösas ut ur

$$\omega_{m,i} = \frac{V_a - \frac{T_{\text{load},i}}{K_f I_{f,i}} R_a}{K_f I_{f,i}}$$

om K_f är känd. K_f beräknas ur tomgångsdata där $E_a \approx V_a$ ger att

$$K_f = \frac{V_a}{I_{f,0} \omega_{m,0}}$$

$$I_{f,i} = \frac{V_a}{2K_f \omega_{m,i}} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4\omega_{m,i} T_{\text{load},i}}{V_a^2}} \right)$$

R_a litet ger $I_{f,i} \approx V_a / (K_f \omega_{m,i})$, dvs + ska användas.

Fältströmsreglering - exempel, fortsättning

De sökta resistanserna ges av:

$$R_i = \frac{V_a}{I_{f,i}} - R_f$$

Numeriska värden:

i	n_i [varv/min]	$T_{\text{load},i}$ [Nm]	$I_{f,i}$ [A]	R_i [Ω]
1	1800	14.9	0.678	167
2	3600	59.4	0.334	532

Svar: Potentiometern måste kunna varieras mellan 167-532 Ω .

Fältströmsreglering - exempel, fortsättning

Sökt: Samma uppgift som förut fast nu styrning med pulsbreddsmodulering. Mellan vilka värden ska D varieras för att uppnå samma fartvariation.

Lösning: Användning av

$$I_{f,i} = D_i \frac{V_a}{R_f}$$

där $I_{f,i}$ är beräknade i förra uppgiften ger

$$0.334 \leq D \frac{240}{187} \leq 0.678 \quad \Leftrightarrow \quad 0.26 \leq D \leq 0.53$$

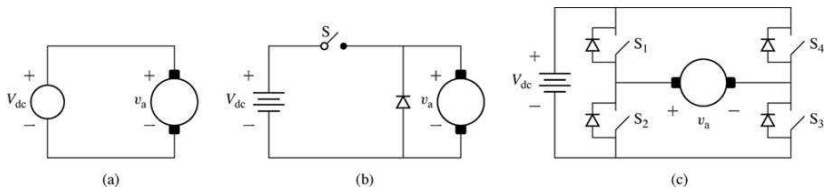
vilket är det sökta svaret.

Resistansreglering

- ▶ Minska hastigheten genom att införa ett variabelt motstånd i serie med ankarlindningen.
- ▶ Kan används i serie, shunt, och komppoundmotorer.
- ▶ Kraftig beroende mellan moment och varvtal.
- ▶ Stor effektförlust över resistansen, speciellt vid låga varvtal (E_a liten).
- ▶ Billig i tillverkning.
- ▶ Används oftast i billiga seriemotorer med kortvarig drift i med dellast.

Ankarspänningsreglering

Tre typiska konfigurationer för ankarspänningsreglering:



- (a) Variabel likspänningsmatning genererad av fasstyrd halvåglikriktare med kapacitivt slutsteg.
- (b) Konstant spänningskälla (genererad av en diodlikriktare med kapacitivt slutsteg) + pulsbreddsmodulering. $V_a = DV_{dc}$
- (c) Konstant spänningskälla + H-brygga + pwm. Möjliggör polaritetsväxling: $-V_{dc} \leq V_a \leq V_{dc}$.

Ankarspänningsstyrning - varvtal, maxmoment

En trevlig regleregenskap är att ankarspänningen är proportionell mot hastigheten då huvudflödet är konstant enligt:

$$V_a \approx E_a = K\Phi_d\omega_m$$

Påverkan av ett moment ses i

$$\omega_m = \frac{V_a - \frac{T_{\text{load}}}{K_f I_f} R_a}{K_f I_f}$$

Momentet påverkar inte hastigheten nämnvärt. För exempel 11.3 i boken gäller

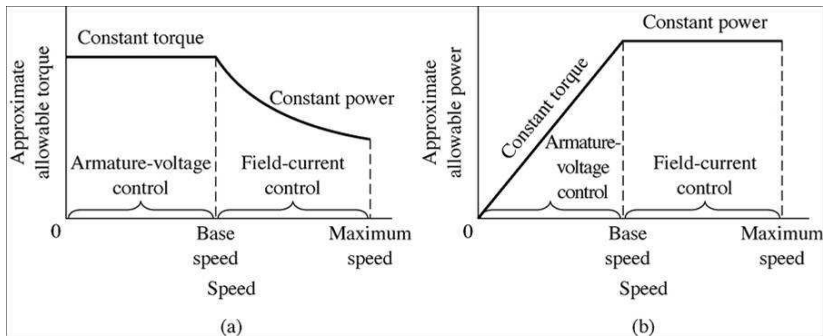
$$\omega_m = \frac{1}{40}(20V_a - T_{\text{load}}) \text{ där } 250 \leq V_a \leq 500 \text{ V, } 0 \leq T_{\text{load}} \leq 250 \text{ Nm}$$

Momentet kan sänka farten med max 6.25 rad/s och motorns lägsta tomgångshastighet är 125 rad/s.

Maxmomentet är konstant ty $T_{\text{load}} = K_f I_f I_{a,\text{max}} = \text{konst.}$

Styrning för att åstadkomma maximalt varvtalsområde

Kombinerad styrning av ankarspänningen och fältströmmen ger maximalt varvtalsområde.

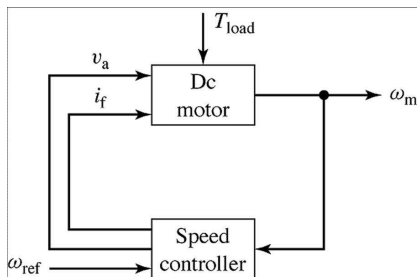


- ▶ För att öka farten ovanför den nominella hastigheten minskar fältströmmen. $\omega_{\max} \approx 4\omega_b$
- ▶ För att sänka farten minskar ankarspänningen. $\omega_{\min} \approx \omega_b/10$

Maximalt varvtalsområde: max/min 40:1.

Varvtalsreglering

Blockdiagram för hastighetsreglering av en shunt eller separatmagnetiserad motor.



Regulatorn innehåller både reglerlogik och kraftelektronik.

— Momentreglering —

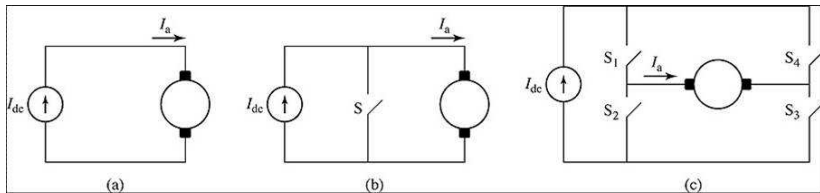
Momentreglering

Momentreglering är proportionell mot I_a enligt

$$T_{\text{mech}} = K_f I_f I_a$$

$$T_{\text{mech}} = K_m I_a$$

Tre typiska konfigurationer för att styra ankarströmmen I_a :

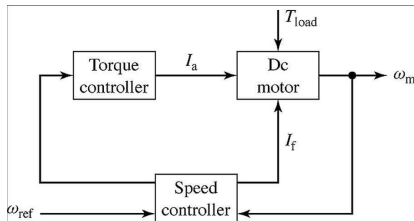


- (a) Variabel likströmsmatning genererad av fasstyrd halvåglikriktare med induktivt slutsteg.
- (b) Konstant strömkälla (genererad av en diodlikriktare med induktivt slutsteg) + pulsbreddsmodulering.
- (c) Konstant strömkälla + H-brygga + pwm.

För att undvika spänningsspicar över ankarlindningen i koppling (b) och (c) används en stor parallellkopplad kondensator.

Momentreglering

Blockdiagram för momentreglering av en shunt eller separatmagnetiserad motor.



Varvtalsregulatorn genererar en momentreferenssignal T_{ref} som matas till momentregulatorn/strömregulatorn.

En fördel med att inkludera momentreglering är att ankarströmmen blir begränsade under alla driftförhållanden.

Se exempel 11.6 i boken.

Sammanfattning: styrning av likströmsmotorer

Hastighetsreglering

- ▶ Tre typer av styrning
 1. fältströmmen (potentiometer, pwm)
 2. resistansen i ankarkretsen (potentiometer)
 3. ankarspänningen (kraftelektronik, 3 alt.)
- ▶ Maximalt varvtalsområde genom att kombinera 1 och 3.

Momentreglering

- ▶ Styrning av ankarströmmen (kraftelektronik, 3 alt.)