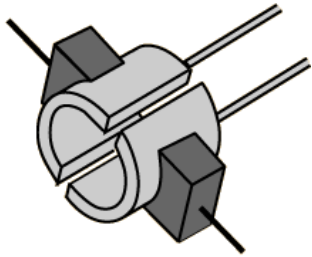
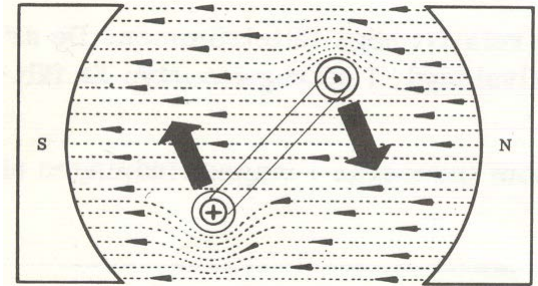
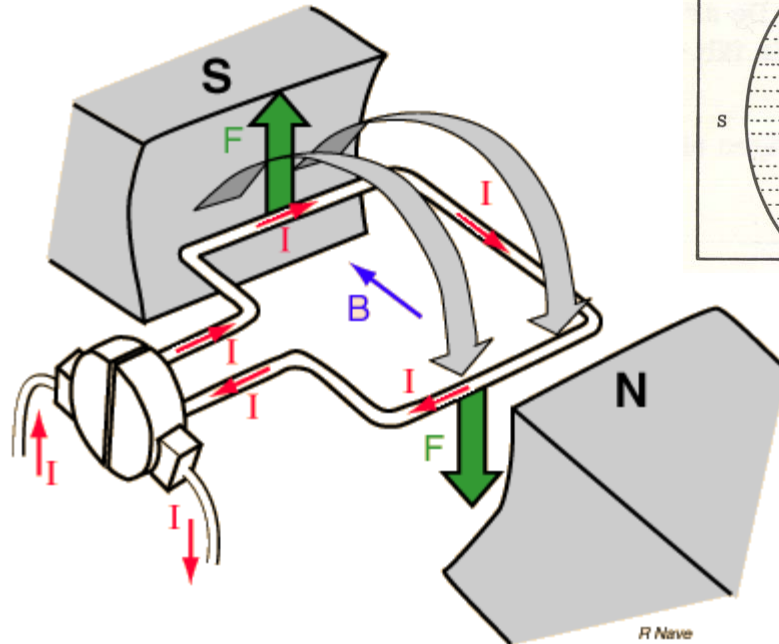


Likströmsmotorn BDC

Kommutator
(strömvändare)



Strömriktningen
kopplas om!

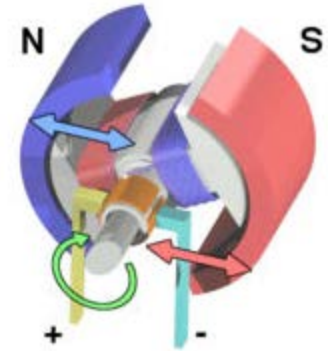


$$F = B \cdot I \cdot l$$

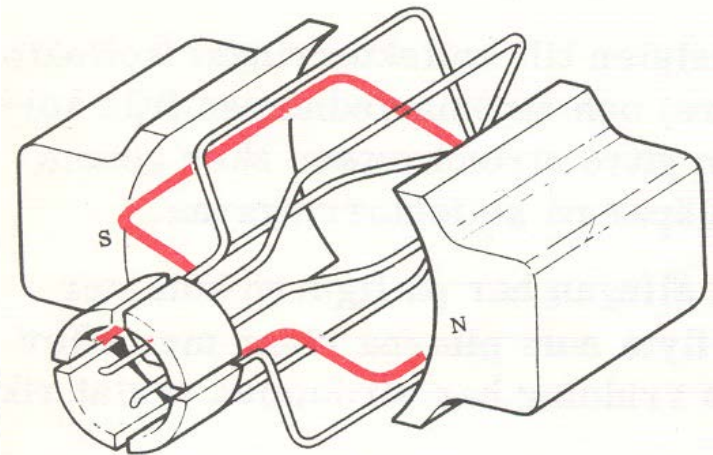
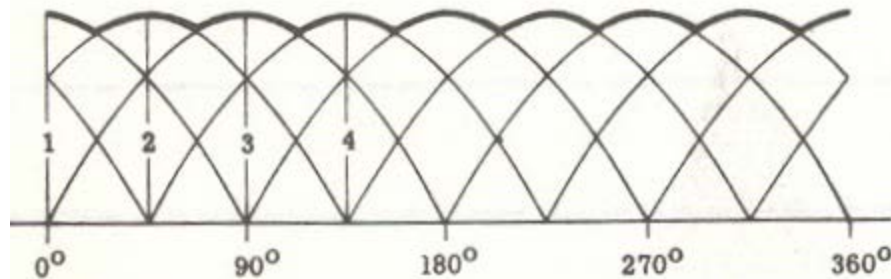
Strömmen I vrider slingan, när den vridits ett halvt varv *kopplas strömriktningen om* så att den vrider sig ytterligare ett halvt varv och så vidare. – Motorprincipen!

Likströmsmotorn BDC

Samtidigt med ”motorprincipen” verkar också ”generatorprincipen”. I slingan som roterar i magnetfältet **induceras en växelspanning** som är **proportionell mot varvtalet**. Omkopplaren, kommutatorn, gör den växelspanningen till en likspänning.



- likspänning



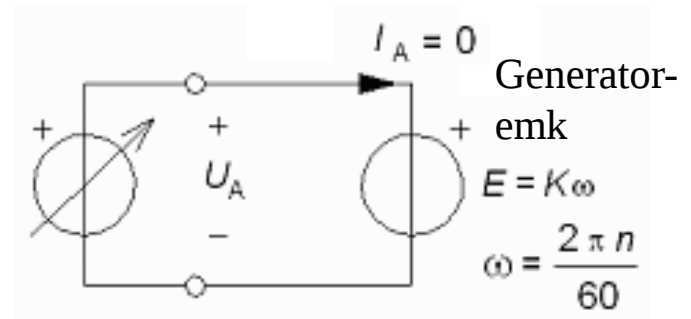
Likströmsmotorn i tomgång

Motorn uppnår det varvtal ω_0 då den matande likspänningens emk exakt balanseras av generatoremken. Då är, idealt sett, strömmen till motorn $I_A = 0$.

- Likströmsmotorns tomgångsvarvtal blir direkt därför proportionellt mot matnings-spänningen U_A .

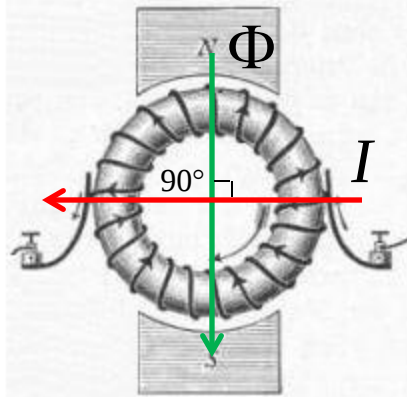
Motorkonstanten:

$$K = \frac{U_A}{\omega} \text{ [V/rad/s]} \quad \text{Spänningskonstant}$$



(Kommutatorn)

Grammes ring

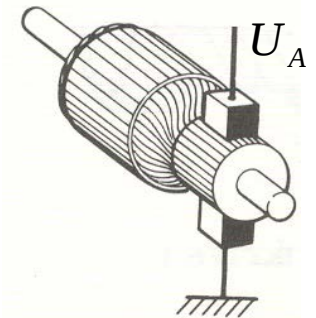


- Den räta vinkeln mellan magnetfältet Φ och strömmen I ger motorn **maximalt** och konstant vridmoment.

Den ursprungliga lindningen från 1800-talet kallades för *Grammes ring*. Den bestod av en spole lindad runt en järnring.

Strömmen ansluts till spolen med två "borstar" i rät vinkel i förhållande till motorns permanenta magnetfält. Spolens ström I och motorns permanenta magnetfält Φ ger upphov till en kraft som vrider spolen, men eftersom borstarna hela tiden gör kontakt med "nya" lindningsvarv så kommer ringen med spolen att rotera, utan att spolens magnetfält följer med.

- Dagens likströmsmotorer har lindningar med andra och effektivare utföranden, men med samma kommuteringsprincip.



(DC-motorns Akilleshäls)

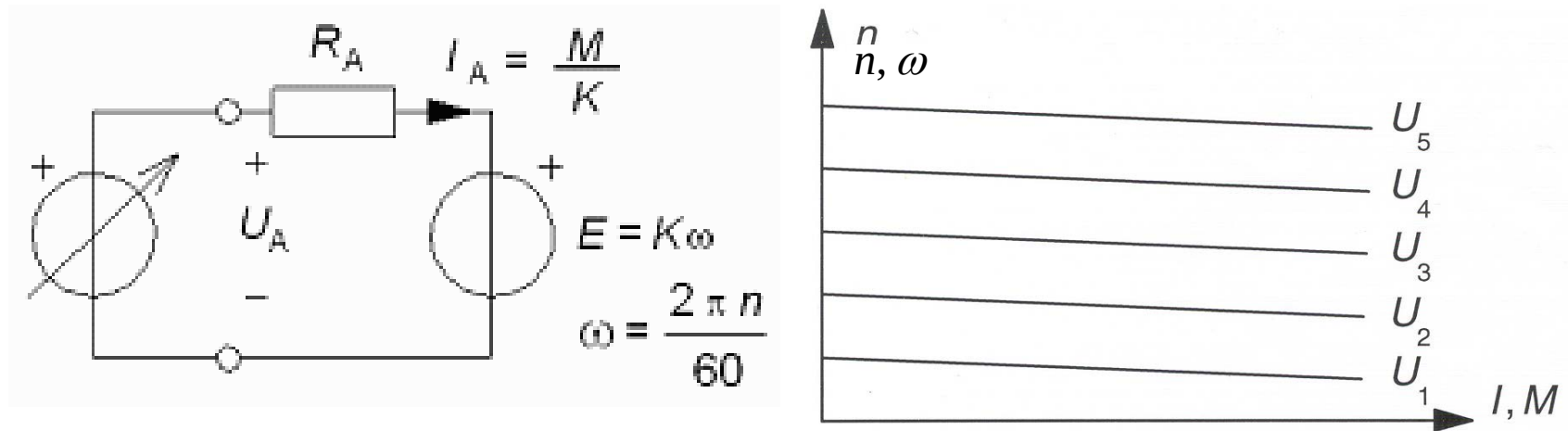
Kommutatorn slits av gnistbildning och måste **renoveras** efter viss tid. **Detta är inget argument mot att använda en DC-motor till en funktionsprototyp**, men kan vara ett problem för en färdig produkt.



En kommutator uppsatt i en svarv för renovering – gropar och ojämnheter efter gnistbildningen svarvas bort – sedan går motorn jämnt igen.

William Sandqvist william@kth.se

Belastad motor



I princip styr man varvtalet med spänningen.

För att ha nytta av en motor måste man belasta axeln mekaniskt med ett vridmoment M . Då flyter det en proportionell ström I_A genom lindningen och det blir ett spänningsfall $I_A \cdot R_A$ i lindningens resistans.

Den spänning som nu matchar generatoremken E blir lägre. $E = U_A - I_A \cdot R_A$.

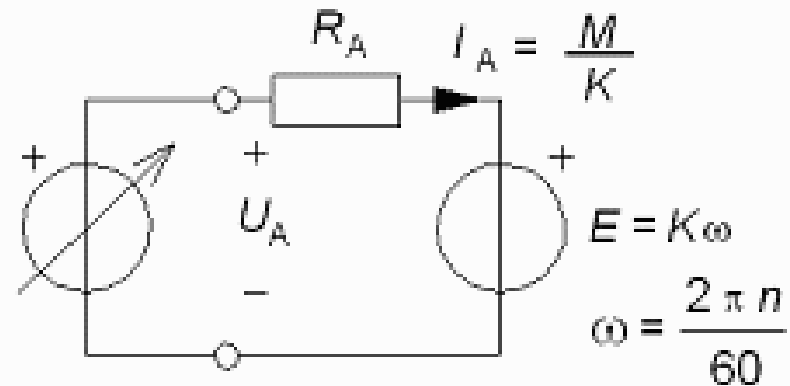
Därför sjunker varvtalet. Vill man ha samma varvtal måste man nu öka spänningen U_A .

$$K = \frac{M}{I_A} \text{ [Nm/A]} \quad \text{Momentkonstant}$$

Motorkonstanten

$$U_A = I_A \cdot R + E$$

$$M = I_A \cdot K \quad E = K \cdot \omega$$



I kataloger används ofta två ”olika” motorkonstanter. En spänning/varvtal-konstant och en moment-konstant. Detta beror på att man inte använder SI-enheter, i så fall hade det blivit **en och samma** konstant.

Ex. En okänd motor?

Ett experiment.

- 12V tomgångsvarvtal n_0 uppmäts till 5700 varv/min.
- Motorn bromsas med en tråkloss mot axeln och då uppmäts strömmen I_{AN} till 10 A och motorvarvtalet n_N till 4500 varv/min.

Spänningsaggregat

- Okänd motor (den var visst billig ...)



12V

10A



5700 rpm
4500 rpm

Tachometer

- Beräkna motorns konstant K .
- Vilket vridmoment M bromsade tråklossen motorn med?
- Vilken resistans R_A har motorns lindning?

Okänd motor!



$$\text{a) } K = \frac{U_A}{\omega} = \frac{U_A}{n \frac{2\pi}{60}} = \frac{12}{5700 \frac{2\pi}{60}} = 0,02$$

$$\text{b) } K = \frac{M}{I_A} \Rightarrow M = K \cdot I_A = 0,02 \cdot 10 = 0,2 \text{ [Nm]}$$

Strömmen ger ett exakt mått på momentet!

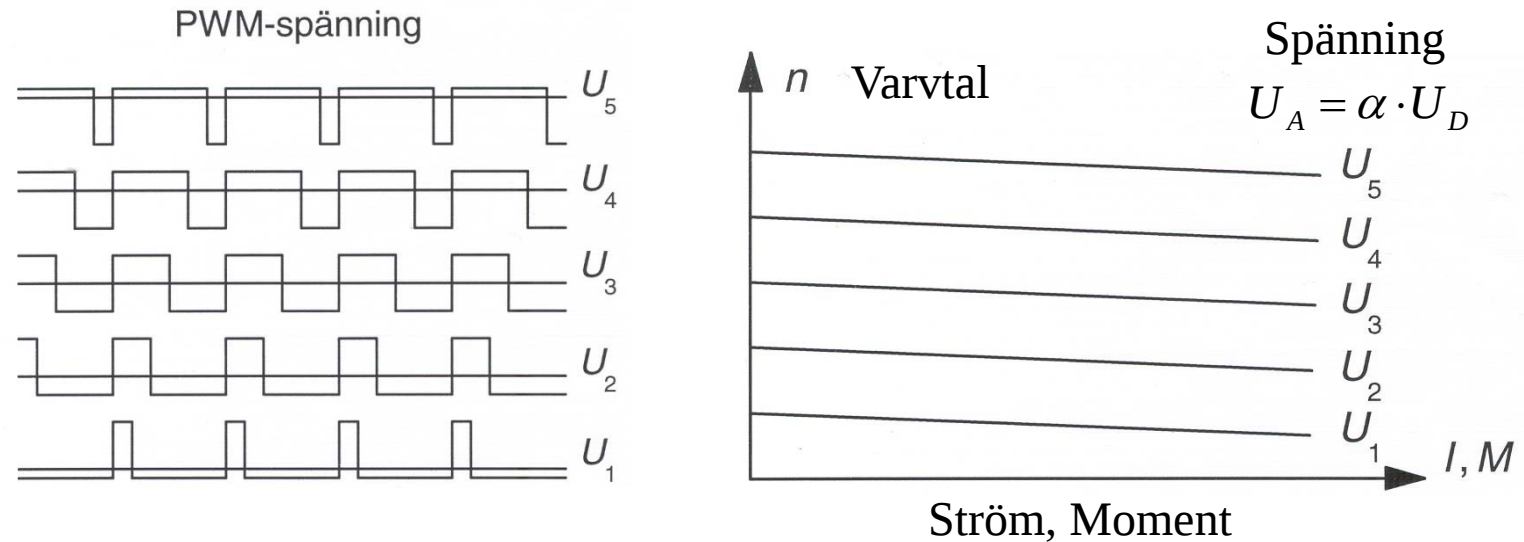
$$\text{c) } U_A = R_A \cdot I_A + E \quad E = K \cdot \omega \quad \omega = n \frac{2\pi}{60} \Rightarrow$$

$$R_A = \frac{U_A - K \cdot n \frac{2\pi}{60}}{I_A} = \frac{12 - 0,02 \cdot 4500 \frac{2\pi}{60}}{10} = 0,26 \Omega$$

Resistansen kan även mätas direkt med en OHM-meter om man "låser" motoraxeln

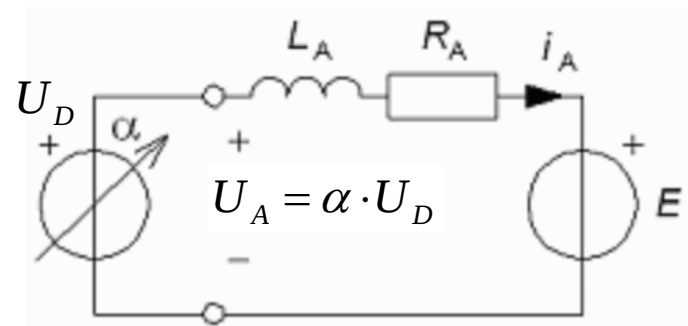
• Motorn förblev inte okänd länge!

PWM-drift

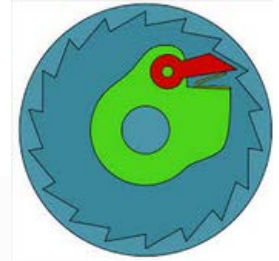


Likströmsmotorns varvtal styrs enkelt med spänningen. Motorns eget **tröghetsmoment** utjämnar spänningspulser – så det går lika bra med medelvärdet av en PWM-spänning som med en konstant likspänning.

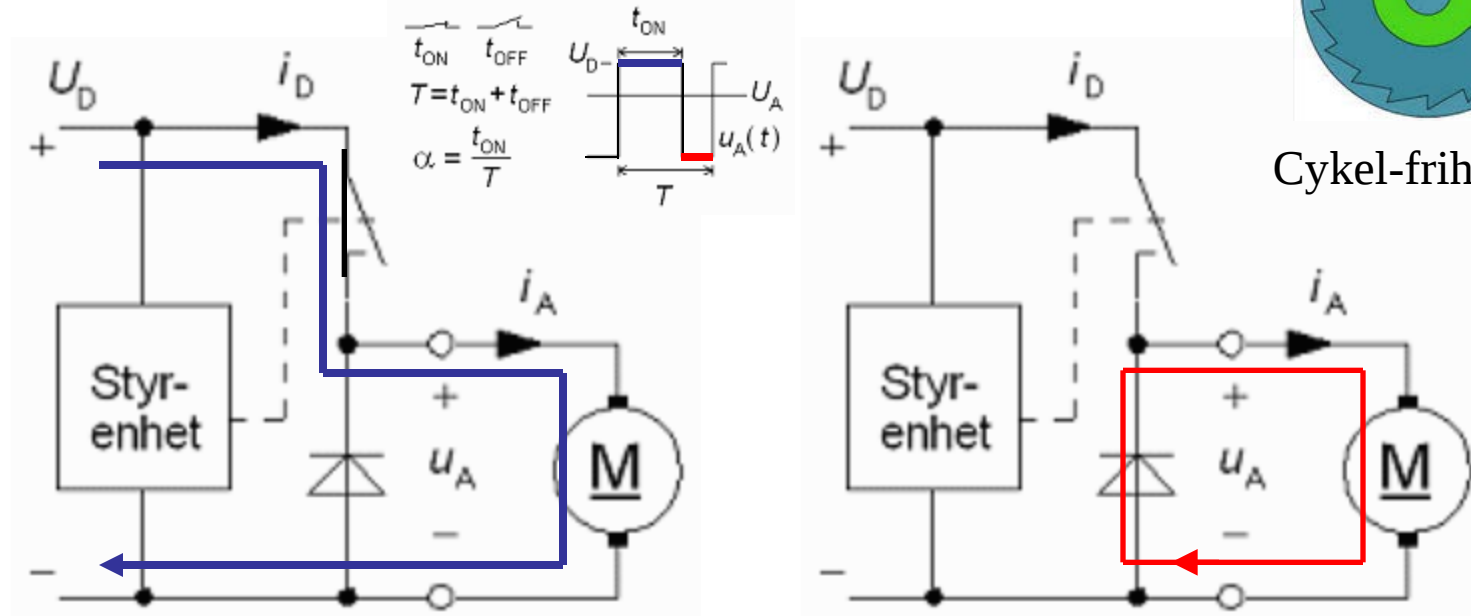
$$\text{DutyCycle} = \alpha \quad U_A = \alpha \cdot U_D.$$



Pulsdrift, frihjulsdiod



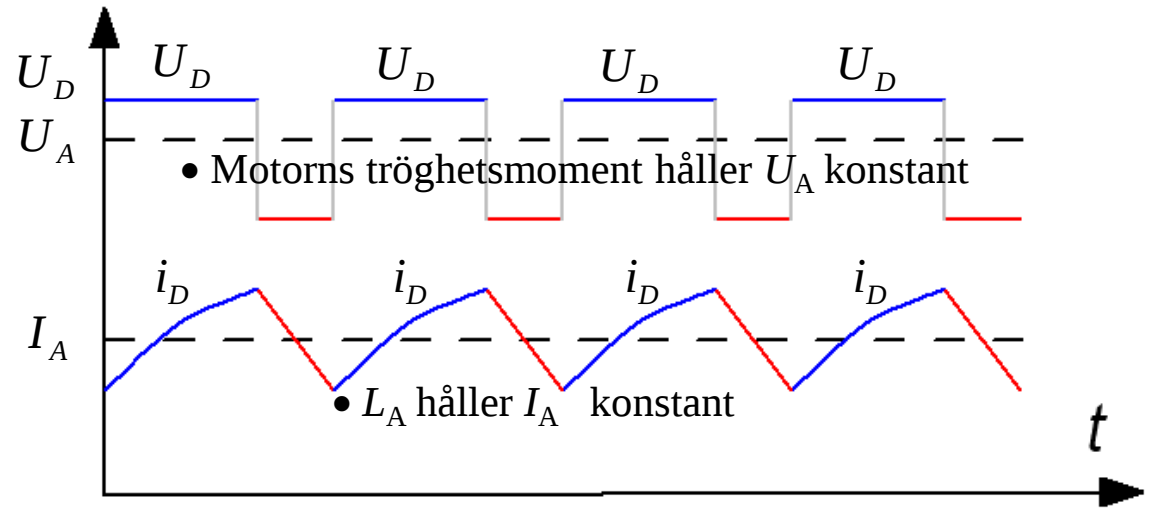
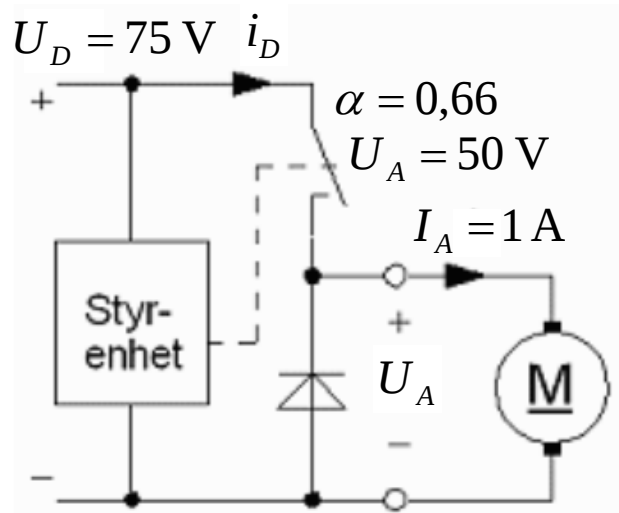
Cykel-frihjul



Vid pulsdrift behöver vi även ta med **motorlindningens induktans** L_A . Strömmen genom en induktans måste vara kontinuerlig (liksom motormomentet), därför har man en "frihjulsdiod" som strömmen kan fortsätta igenom under den delen av PWM-tiden då spänningen är 0.

Det är frihjulet som gör att cyklisten kan vila på tramporna i nedförsbacken. Därav namnet "frihjulsdiod".

Pulsdrift, frihjulsdiod



$$P_1 = U_D \cdot I_A \cdot \alpha$$

$\Leftrightarrow$

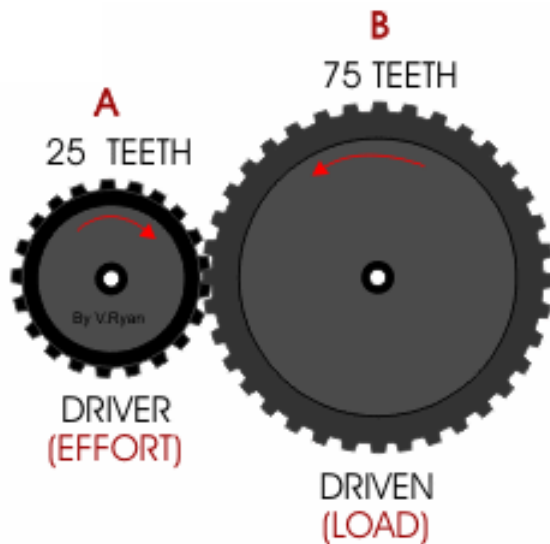
$$P_2 = U_A \cdot I_A$$

$$\alpha = 0,66 \quad I_A = 1 \text{ A} \quad U_D = 75 \text{ V} \quad U_A = \alpha \cdot U_D = 0,66 \cdot 75 = 50 \text{ V}$$

$$P_1 = U_D I_A \cdot \alpha = 75 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 0,66 = 50 \text{ W}$$

$$P_2 = U_A \cdot I_A = 50 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 50 \text{ W}$$

Kuggväxel



Likströmsmotorer har ofta högt varvtal n och svagt moment M – det vanliga är att vi behöver precis det motsatta, låga varvtal och kraftiga moment.

Kuggväxlar kan växla **ned varvtalet** och i motsvarande proportion växla **upp momentet**!

$$\frac{M_B}{M_A} = \frac{75}{25} = 4 \quad \frac{n_B}{n_A} = \frac{25}{75} = 0,25$$



Legomotorn

Det är mycket möjligt att vi nu har överdrivit teoriavsnittet om likströmsmotorer när man betänker vilken motor det är vi kommer att laborera med!



PLC-processors PWM

FIGURE 11-3: SIMPLIFIED PWM BLOCK DIAGRAM

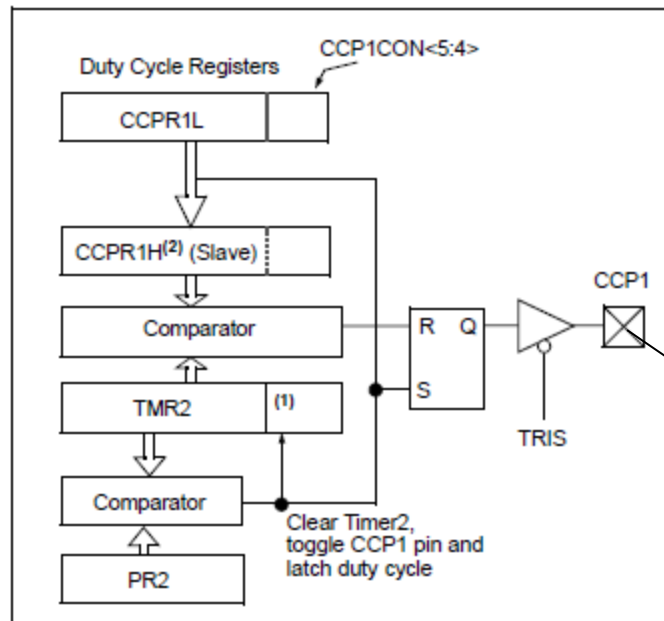
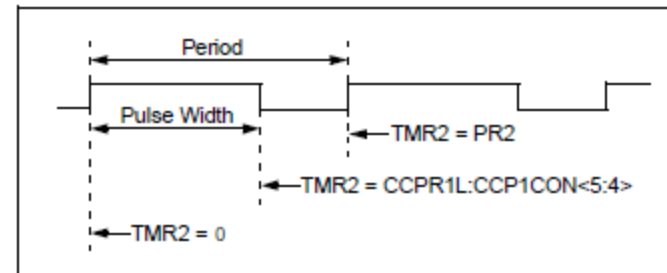
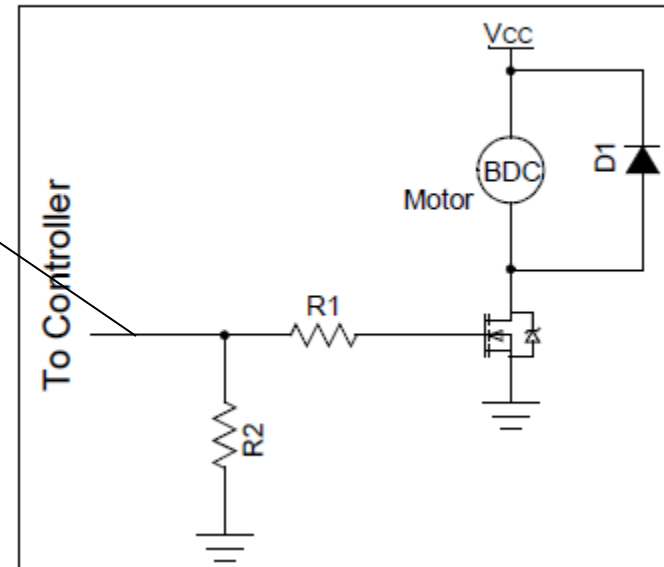


FIGURE 11-4: CCP PWM OUTPUT



LOW-SIDE BDC MOTOR DRIVE CIRCUIT



Varvtalsstyrning av motorn – en rotationsriktning.

PIC enhanced-PWM

FIGURE 11-5: SIMPLIFIED BLOCK DIAGRAM OF THE ENHANCED PWM MODE

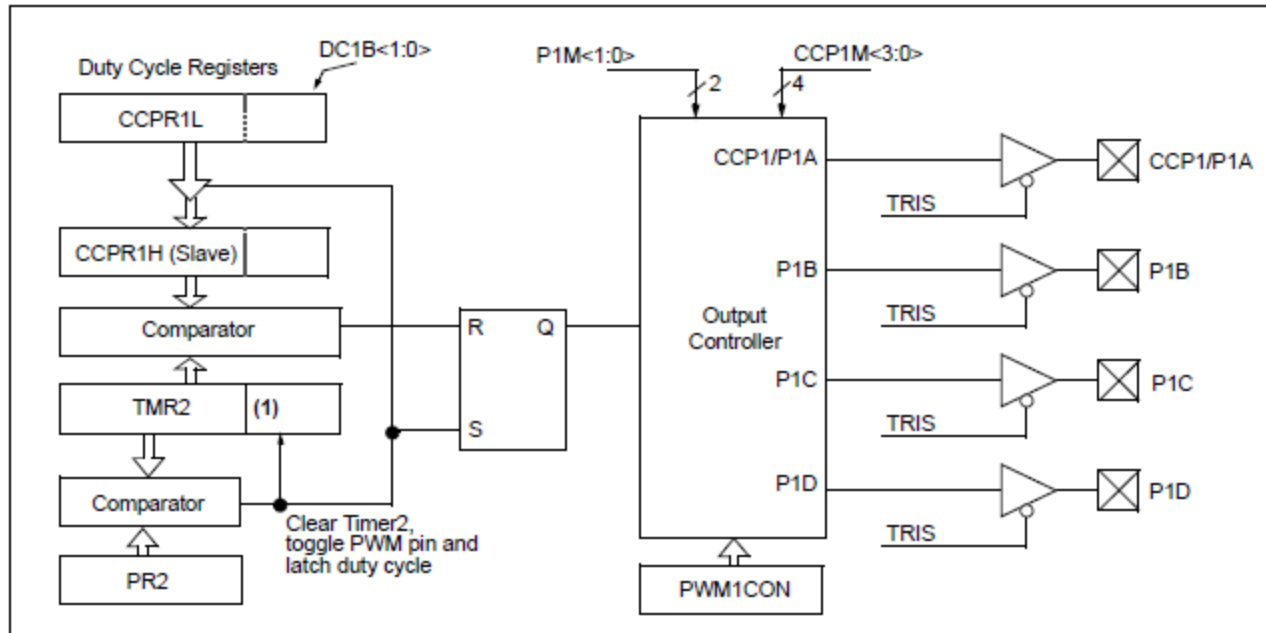


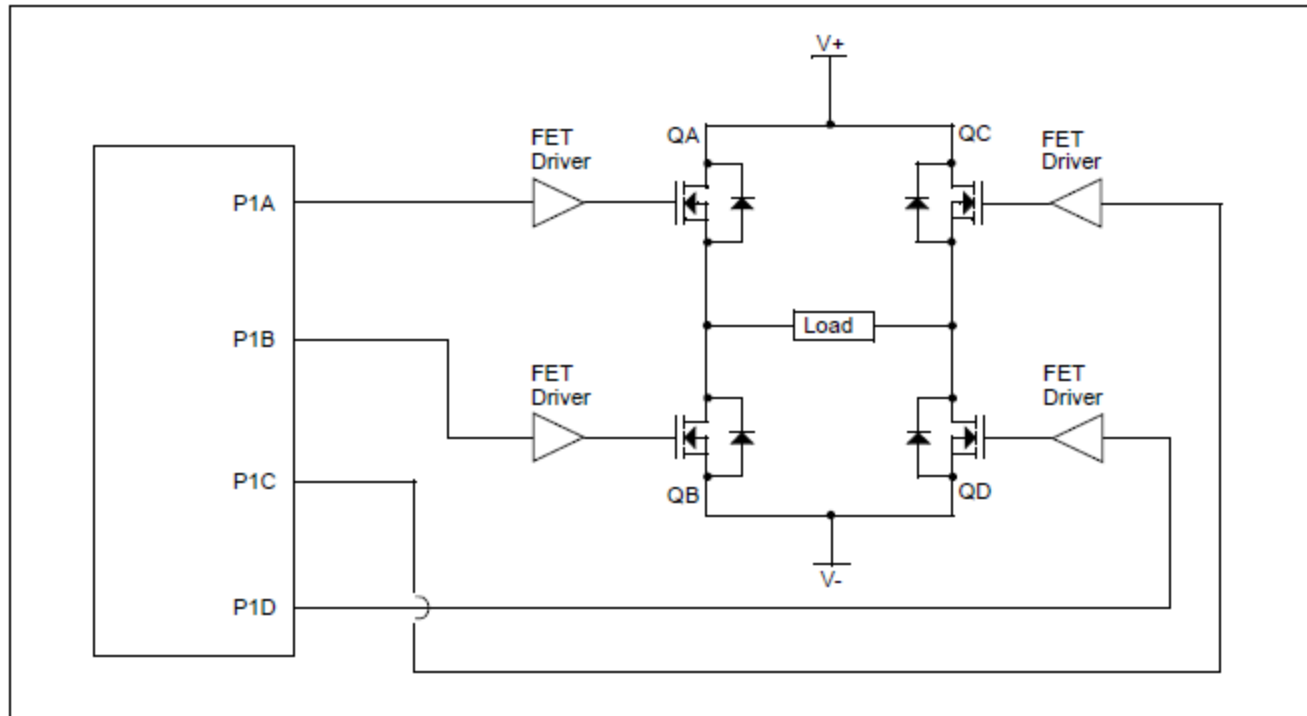
TABLE 11-4: EXAMPLE PIN ASSIGNMENTS FOR VARIOUS PWM ENHANCED MODES

ECCP Mode	P1M<1:0>	CCP1/P1A	P1B	P1C	P1D
Single	00	Yes ⁽¹⁾	Yes ⁽¹⁾	Yes ⁽¹⁾	Yes ⁽¹⁾
Half-Bridge	10	Yes	Yes	No	No
Full-Bridge, Forward	01	Yes	Yes	Yes	Yes
Full-Bridge, Reverse	11	Yes	Yes	Yes	Yes

Note 1: Pulse Steering enables outputs in Single mode.

PWM H-brygga

FIGURE 11-10: EXAMPLE OF FULL-BRIDGE APPLICATION

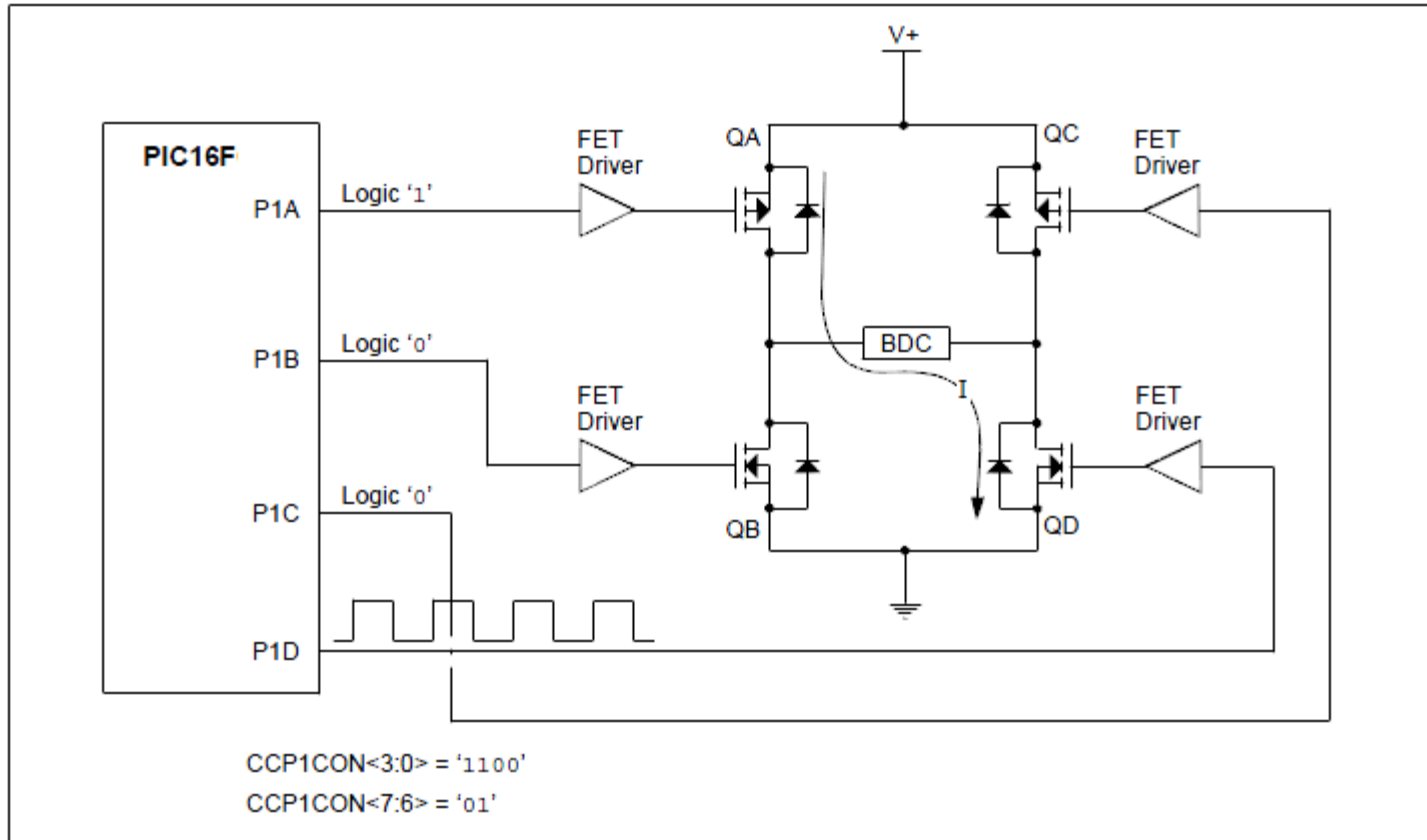


REGISTER 11-1: CCP1CON: ENHANCED CCP1 CONTROL REGISTER

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
P1M1	P1M0	DC1B1	DC1B0	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0
bit 7				bit 0			

PWM H-brygga CW

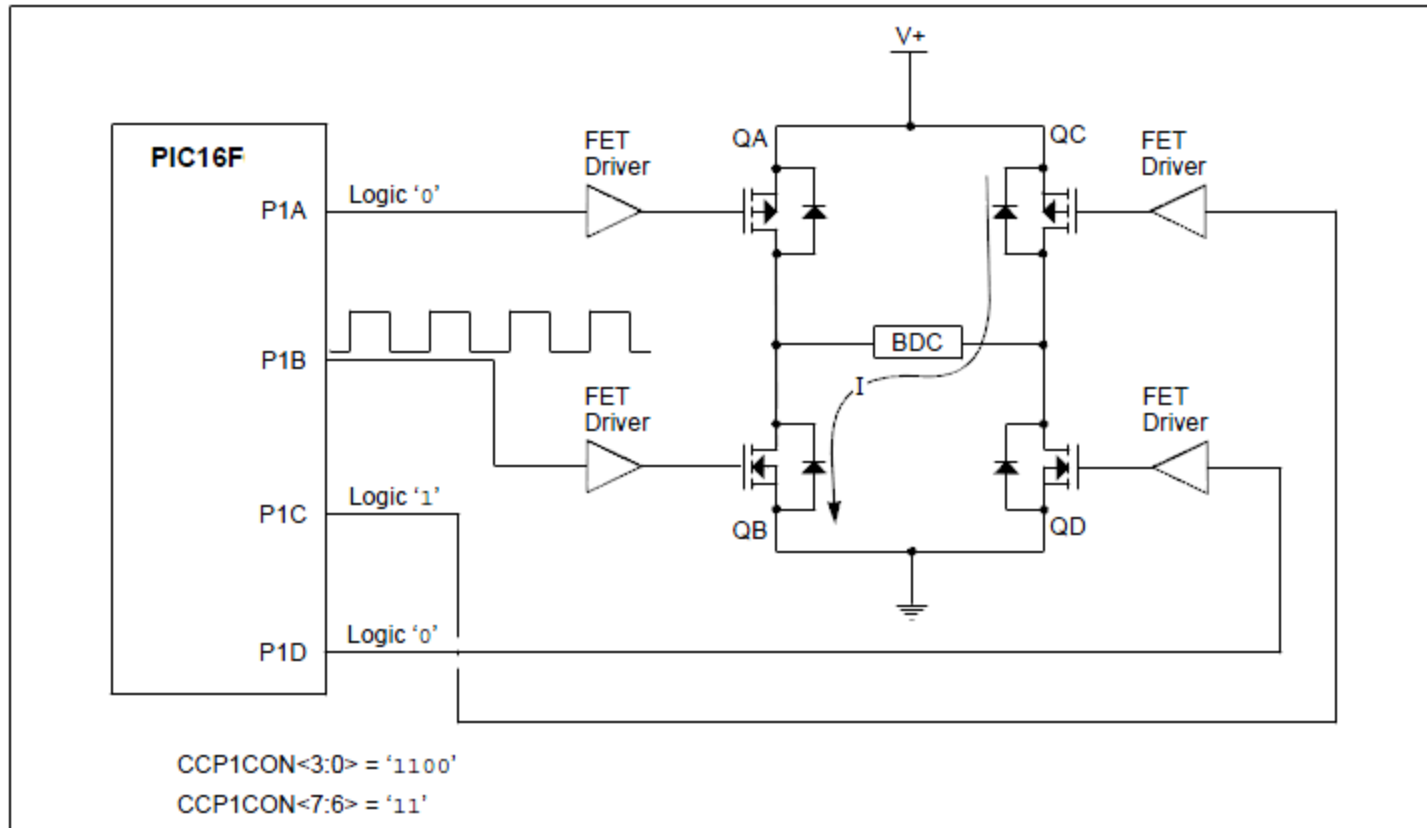
FULL-BRIDGE FORWARD CURRENT FLOW DIAGRAM



CCP1CON.7 = 0; • Ändra en bit i CCP1CON.

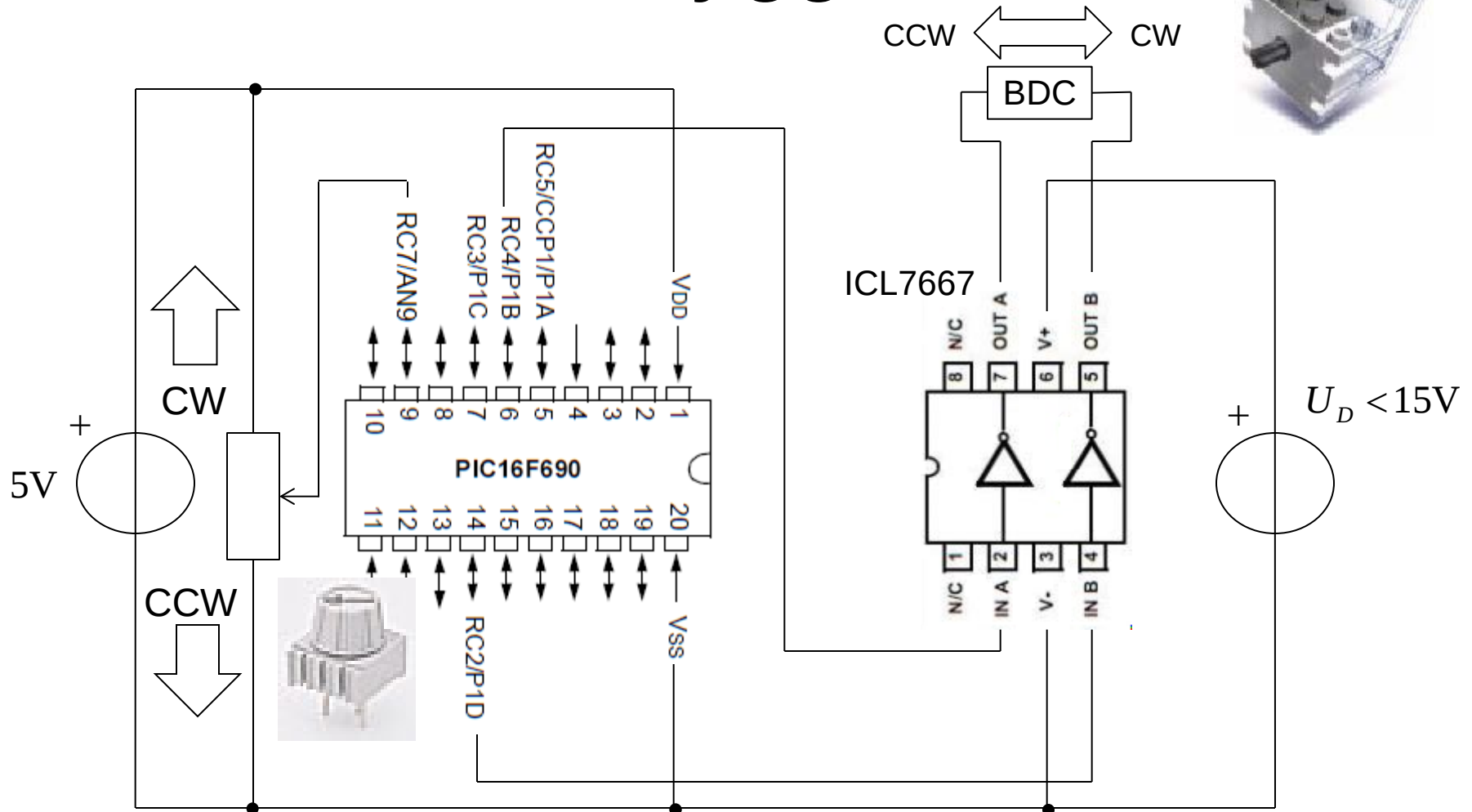
PWM H-brygga CCW

FULL-BRIDGE REVERSE CURRENT FLOW DIAGRAM

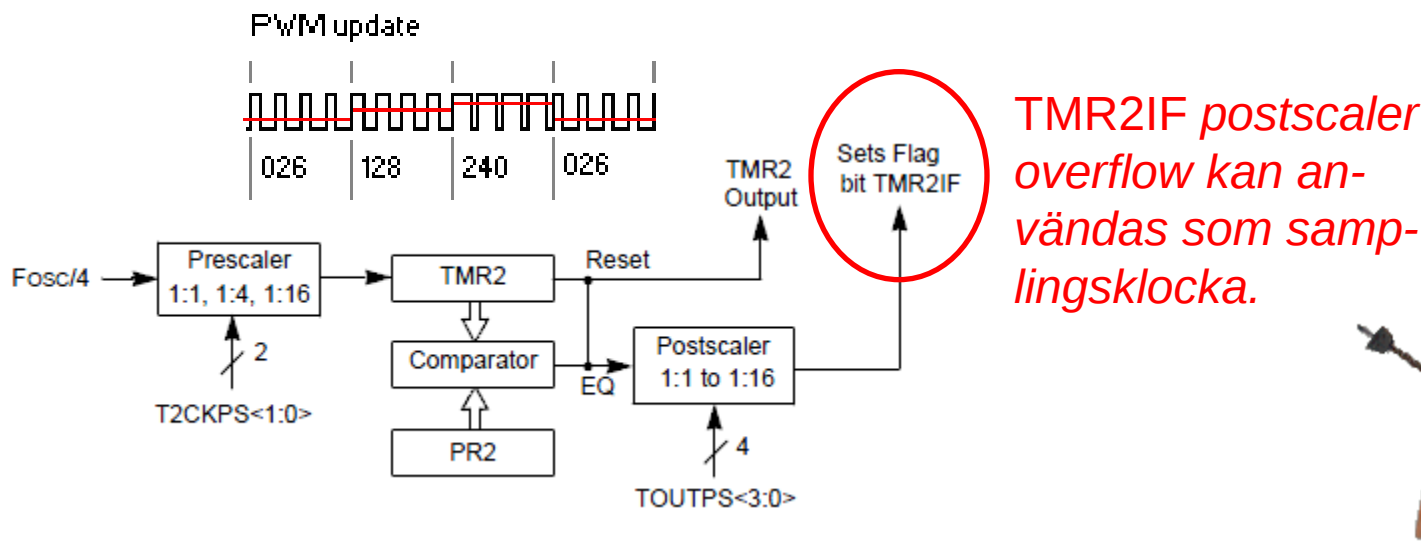


CCP1CON.7 = 1; • Ändra en bit i CCP1CON.

PWM H-brygga vid lab



TIMER2 servo update

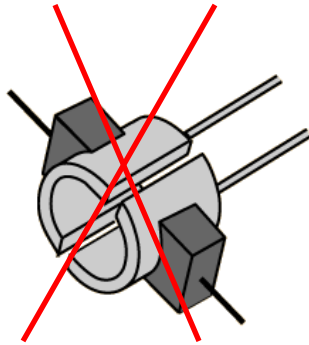


REGISTER 7-1: T2CON: TIMER 2 CONTROL REGISTER

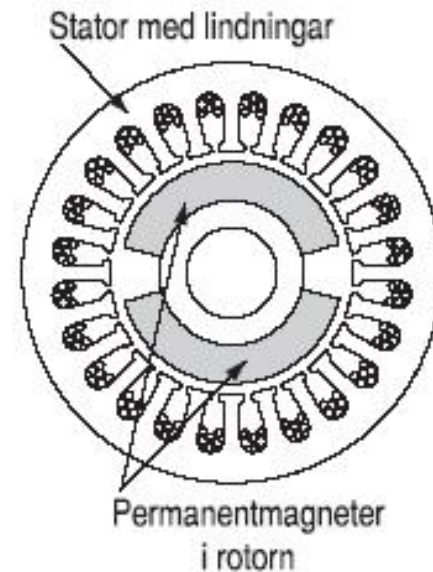
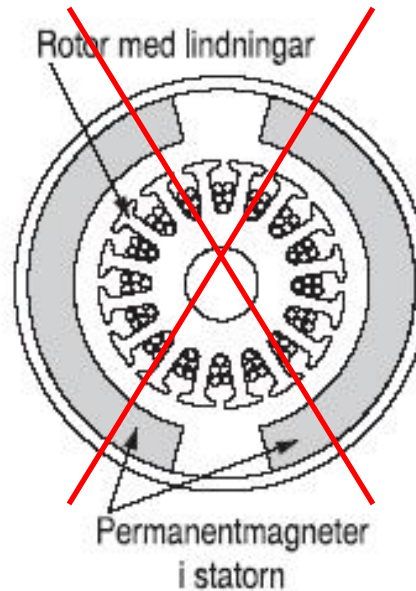
U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0
bit 7							bit 0

Om Timer2 används med ECCP-enheten för att generera en PWM-signal så kan man använda Postscaler'n för att generera avbrott vid tex. var 16:e PWM-puls (1:1 ... 1:16). I avbrottsrutinen kan man läsa av AD-omvandlaren och därefter uppdatera DutyCycle'n.

Borstlösa likströms-motorn



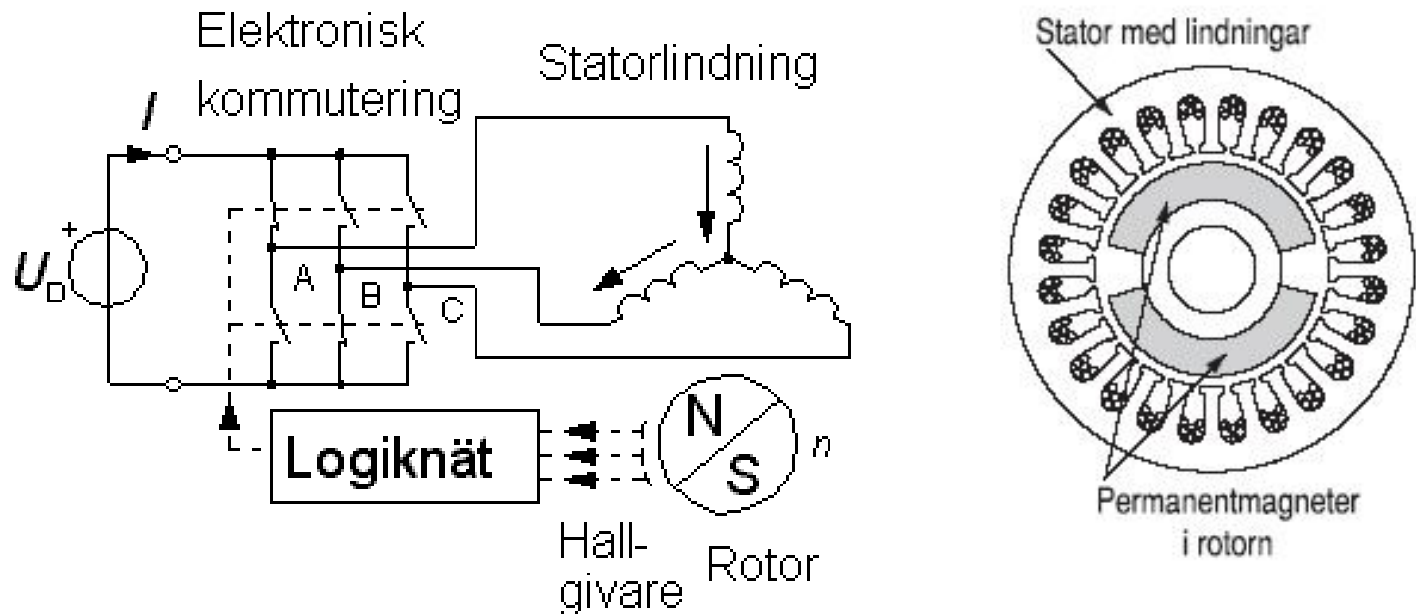
Kommutatorns förslitning är ett stort problem för den borstförsedda likströmsmotorn.



Till vänster den vanliga borstförsedda BDC-motorn, till höger den borstlösa BLDC-motorn.

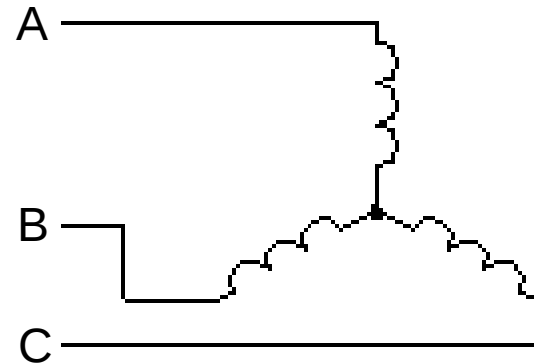
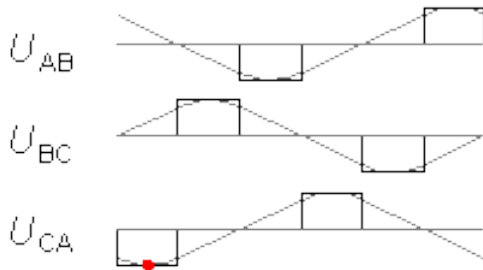
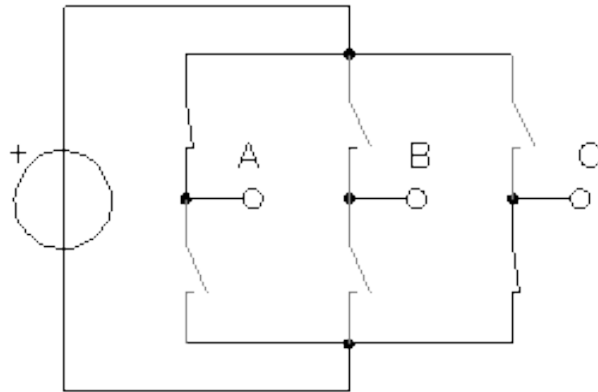
Med **elektronisk** kommutering kan man undvika gnistbildning i motorn. Genom att vända motorn "ut och in", med permanentmagneterna på rotorn och lindningarna i statorn, slipper man överföra ström till rotorn.

Borstlösa likströms-motorn



Inkopplingen av lindningarna sker med halvledarswitchar (transistorer) och rotorns vinkel avkänns med magnetfältskänsliga Hall-givare. Halvledarswitcharna kan samtidigt pulsbreddsmodulera spänningen så att varvtalet styrs.

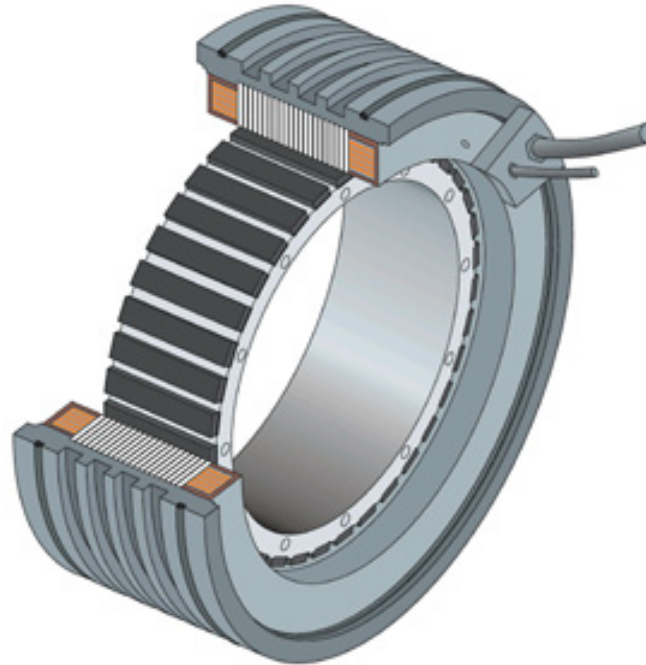
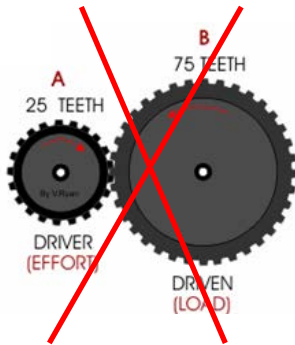
Borstlösa likströms-motorn



BLDC-motorn är vanlig för små-motorer, men numera även för större.

Med hjälp av sex transistorswitchar kan en likspänning "hackas" upp till pulser. Switchsekvensen består av sex steg. Switcharna styrs så att det i varje ögonblick är två switchar i olika grenar som är inkopplade, en till spänningen och en till jord. Den tredje grenen är "urkopplad".

Moment-motor

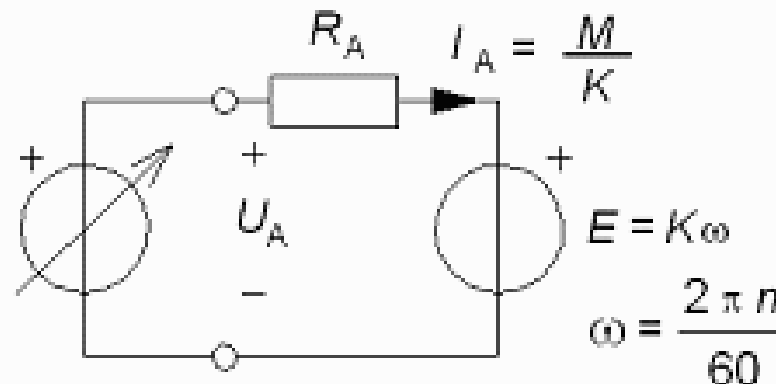


Med magneterna på rotorn kan man öka antalet magnetpoler – det får samma verkan som en nedväxling av varvtalet (och uppväxling av Momentet), men utan de förluster som hade blivit med en mekanisk växel.

Är detta en likströmsmotor?

$$U_A = I_A \cdot R + E$$

$$M = I_A \cdot K \quad E = K \cdot \omega$$



Man kan använda exakt samma beräkningsmetoder som för likströmsmotorer. Det är därför motiverat att kalla **BLDC**-motorn för en "borstlös *likströmsmotor*" trots att det ju är uppenbart att det handlar om ett slags växelströmsmotor.

