

Asynkronmotor och driftreglering

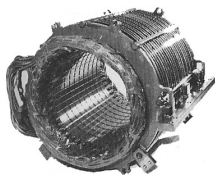
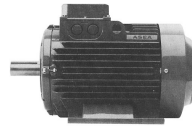


Asynkronmotorn

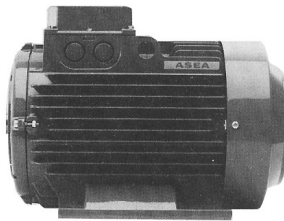
Allmänt

Asynkronmotorn är en av de enklaste konstruktionerna av elmotorer. Motorn består av 3 huvuddelar:

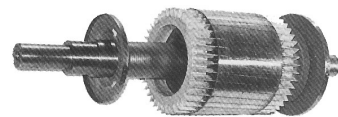
- Statorlindningar
- Fundament (chassi/hus och lager)
- Rotor lindningar



Statorlindningar



Fundament/chassi



Rotor med rotorlindningar



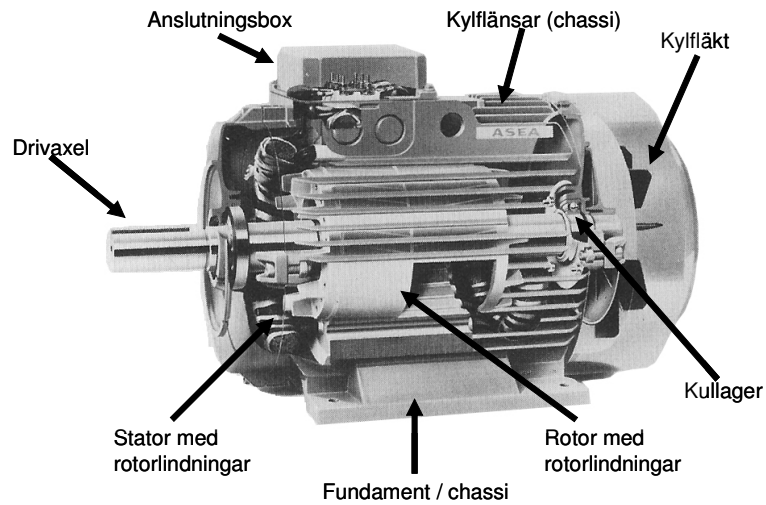
Statorlindningarna sitter monterad på en sk bur (ett slags skelett). Hela statorlindningspaketet sitter sedan monterat inne i fundamentet/chassit. I fundamentets/chassits gavlar sitter kullager för axeln. På toppen finns en anslutningsbox för anslutning av de elektriska ledningarna. Rotorn med dess rotorlindningar sitter placerad i kullagren så rotorn kan rotera fritt kring sin egen axel. Ett litet luftgap finns mellan rotor och stator.



Den enda rörliga delen i motorn är rotorn som roterar inne i statorn. Rotorn är sedan upplagrad på kullager. Därför kräver en asynkronmotor (sk kortsluten asynkronmotor) inget underhåll mer än att tillse att den inte blir nedsmutsad. I och med denna enkla konstruktion är asynkronmotorn (kortsluten typ) billig att tillverka. På rotorns ena axelgavel sitter ett fläkthjul direkt monterat på axeln (ej större motorer och specialmotorer) som ska tillse att forcerad luft kyler av motorns lindningar. På bilden ovan sitter detta fläkthjul innanför kåpan på fundamentets högra del.



Motorns delar



Kortsloten asynkronmotor

Användningsområden

- Pumpar
- Fläktar
- Traverser
- Svarvar
- Bormaskiner
- Verktygsmaskiner
- Drivning i processer (valsar etc)
- etc

Egenskaper

- Enkel konstruktion
- Billig att tillverka
- Inga slitdetaljer
- Litet underhåll
- Högt maxmoment
- Stor startström I_{st} vid direktstart ($6-8 \times I_n$)
- Kräver tröga säkringar
- Induktiv $\rightarrow$ ström och spänning ej i fas ($\cos\phi \sim 0,8 - 0,9$)

Dessutom med dagens styr- och regler teknik

- Begränsad startström $I_{st} = I_n$
- Lätt att varvtalsreglera
- Vektorstyrning (positionering)
- Rel. högt startmoment

Stator (index 1)

Statorns lindningar (som sitter fast monterade) i fundamentet/chassit matas med en växelspanning. Statorns kopplingssätt är ofta Y- eller D-koppling. Vilken aktuell koppling som gäller bestäms bl a av det matande nätets nominella spänning, startsätt och motorns märkspänningar. När statorlindningarna matas med växelspanning kommer ett magnetfält att uppstå som växer och sjunker i intensitet (styrka). Dessutom kommer detta magnetfält att rotera med frekvensen på det matande nätet. För normalfallet (vid 50 Hz) blir magnetfältets varvtal 3.000 r/m ($50 \times 60 = 3000$).

För att magnetfältet inte ska försvagas utan bibehålla flödestätheten är rotorlindningarna lindade på en järnkärna som är laminerad (skivad). Varje laminat (skiva) är också doppad i en isolationslack så de inte har inbördes elektrisk (metallisk) kontakt med varandra. Detta för att motverka virvelströmsförluster.

Rotor (index 2)

Rotorn har precis som statorn lindningar som också är lindade på en laminerad järnkärna. För en s k *kortsluten asynkronmotor* (vilken är den vanligaste typen för mindre och medelstora motorer) är dessa lindningar helt och hållet inkapslade i rotorn. Man kommer med andra ord inte åt dessa elektriskt (man kan inte koppla in något till de). Med kortsluten menar man att lindningarnas ändar är ihopkopplade med varandra.



När det gäller större motorer och även specialmotorer har man s k kommutator (kontaktbana) som lindningarnas ena ände är anslutna till. Genom s k kontaktborst (som glider på kommutatorn) kan man komma åt rotorlindningarna elektriskt för att reglera motorns driftskaraktär. Dessa motorer kallas då för *släpningad rotor/motor*. När statorlindningarna matas med växelspanning uppstår ett roterande magnetfält som rotorns lindningar attraheras av. Då kommer en emk (spänning) att induceras i rotorns lindningar. I och med att lindningarna är ihopkopplade i ändarna kommer en ström att flyta genom lindningarna. Denna ström ger upphov till ett vridande moment. Rotor och axel är upplagrade på kullagren och kommer då att börja rotera. Vi har en motor.

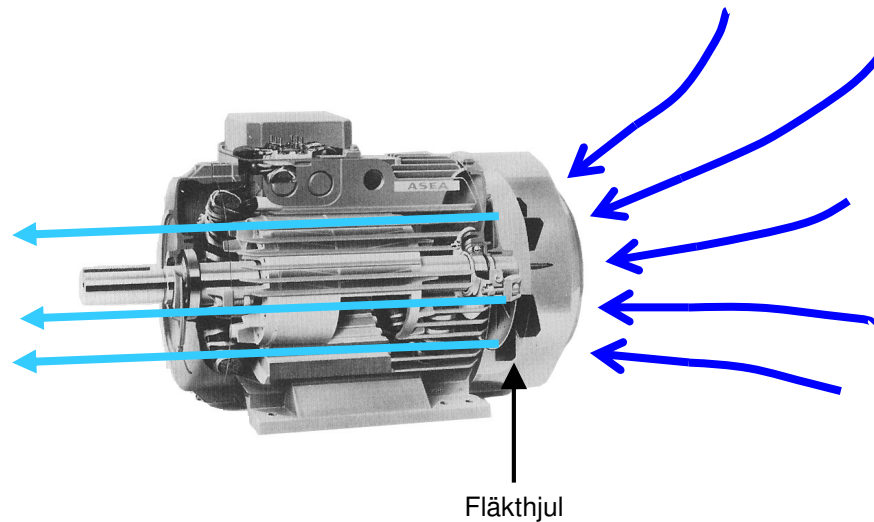
Förloppet kan skildras med uttrycket: $n_1 > n_2 \Rightarrow E_2 \Rightarrow I_2 \Rightarrow M$

Not.

- Stator har index 1
- Rotor har index 2
- n = varvtal
- E = inducerad spänning (EMK)
- I = Ström
- M = Vridmoment

Kylning

En asynkronmotors arbetstemperatur är ca. 70°C efter 1 timmes drift vid märklast. Om den inte skulle kylas av skulle temperaturen bli mycket hög till följd av att lindningarnas tunna isolationsskikt (lack) skulle smälta och lindningarna kortsluts. Det vanligaste sättet att kyla mindre och medelstora (upp till några kW) asynkronmotorer är via ett direktkopplat fläkthjul på rotorns axel. Luft sugas då in från atmosfären och leds på utsidan av fundamentets/chassits kylflänsar som i sin tur leder av värmet till luften. ✓



På större asynkronmotorer sker kylningen i regel med en separat matad fläkt som kan styras (luftflödet) beroende på motorns aktuella temperatur och belastning. Det kallas för "forcerad kylning". ✓

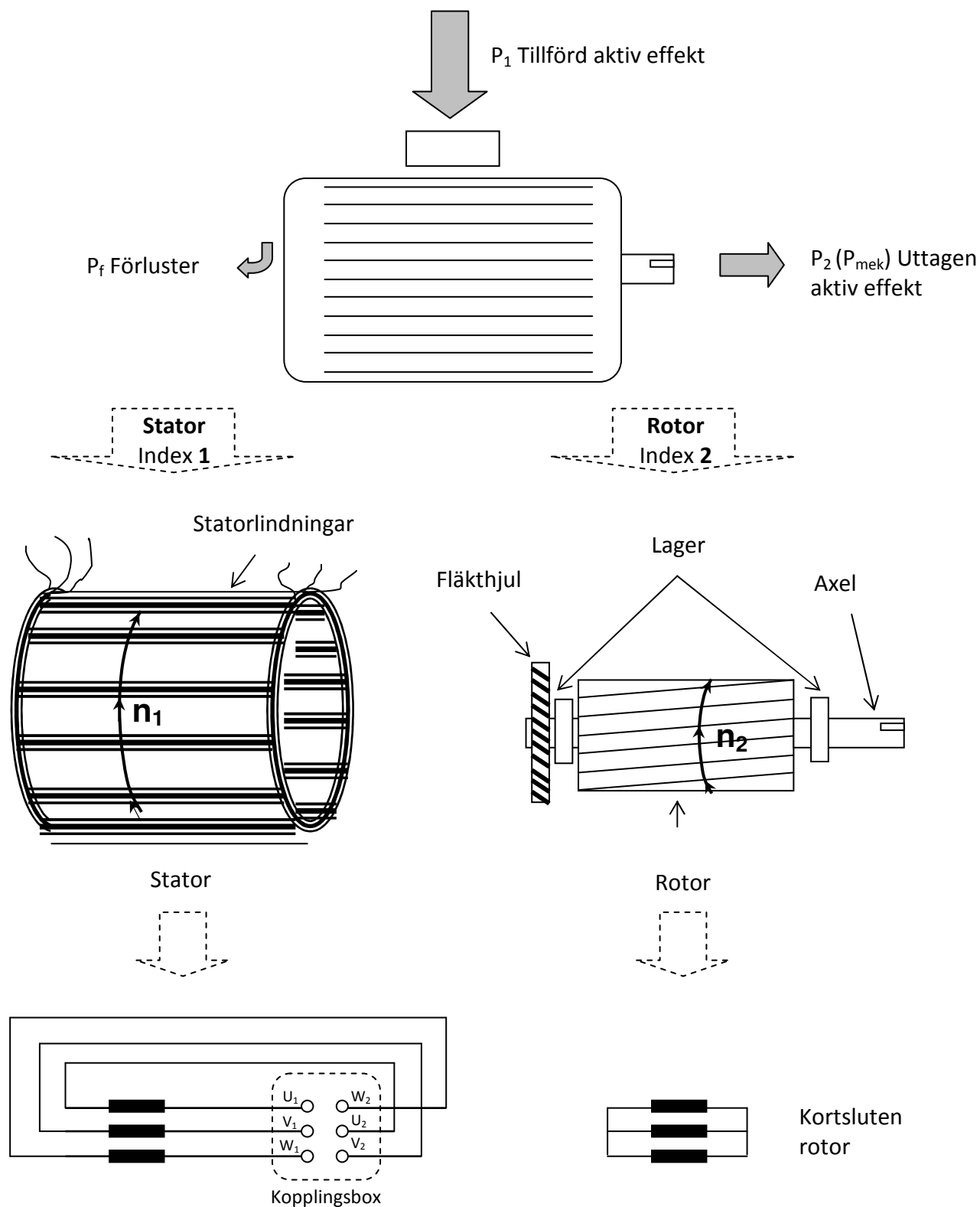
För speciella driftsätt som när en mindre asynkronmotor varvtalsregleras till låga varvtal kommer ett direktkopplat fläkthjul att ge för dåligt luftflöde för effektiv kylning. Då kan man istället använda en specialmotor där den, som större motorer har, även har en separat matad fläkt för kylning. Då säkras man effektiv kylning även vid låga varvtal på asynkronmotorn.

Teori motor

Statorns beteckningar anges med index 1.

Rotorns beteckningar anges med index 2.

Man kan jämföra asynkronmotorn vid en transformator där sekundärlindningarna roterar vilket de inte gör i en transformator (statiska).



Funktionsprincip

Nyckeln till asynkronmotorn ligger i att $n_1 > n_2$, i ord "statorvarvtalet (synkrona varvtalet) är större än axelvarvtalet". Detta innebär att statorvarvtalet (synkrona varvtalet) är det varvtal med vilket det roterande flödet roterar och axelvarvtalet är det varvtal som rotorn roterar med.

Händelseförloppet kan tecknas enligt nedan då stator matas med växelspanning:

$$n_1 > n_2 \Rightarrow E_2 \Rightarrow I_2 \Rightarrow M$$

Statorn matas med en växelspanning och skapar ett roterande flöde (magnetfält). Flödet "skär" rotorlindningarna och inducerar en EMK i rotorn. Rotorns lindningar är sammankopplade i sina ändar, därför uppstår en ström i rotorn. Strömmen ger upphov till ett vridande moment på rotorn som gör att rotorn vrider sig kring sin egen axel. Varvtalet för rotorn blir något lägre än flödets varvtal i statorn. Denna differens av n_1 och n_2 kallas eftersläpning och tecknas med s .

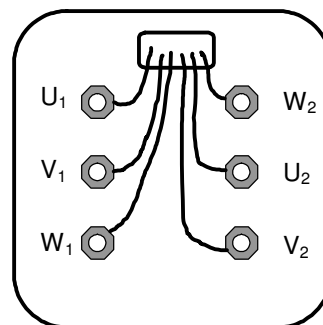
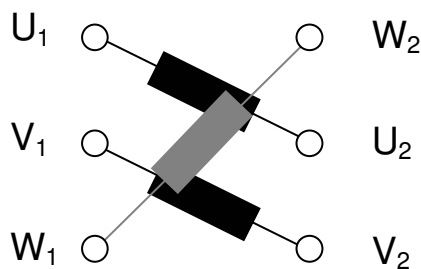
I normal drift är denna eftersläpning några tiondels varv. Eftersläpningen anges oftast i relativa värden eller procent.

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Statorn

Statorn består av lindningar. Dessa kan kopplas på olika sätt. De vanligaste är Y- och D-koppling och dahlanderkoppling (polomkoppling). Kopplingssätt beror dels på nätspänningen, startsätt och naturligtvis motorns märkdata.

Statorlindningarnas trådändar går upp i anslutningsboxen till terminalsruvar. För att enkelt kunna Y- eller D-koppla motorn har man förskjutit lindningarnas biss-sida (""). Se figur nedan.



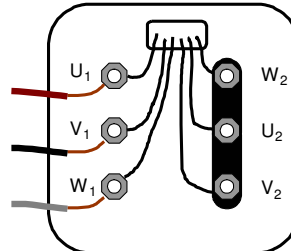
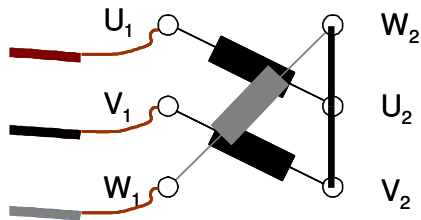
Anslutningsboxens insida

Ofta följer det med kopplingsbleck som passa både horisontellt och vertikalt. På så vis kan man använda dessa för både Y- och D-koppling.



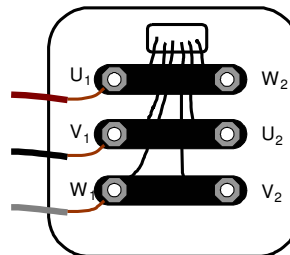
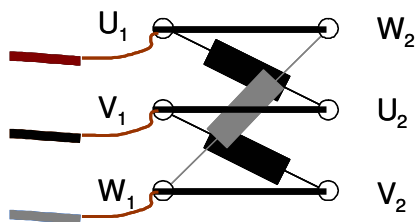
Y-kopplad motor

Kallas också för stjärnkoppling



D-kopplad motor

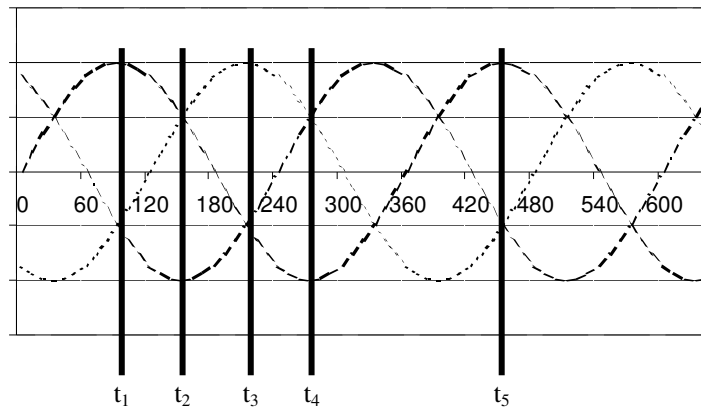
Kallas också för deltakoppling



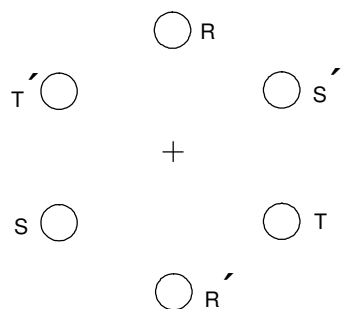
Statorn spänningssätts och ett roterande flöde uppstår i statorn. Flödet förstärks genom den laminerade järnkärnan vilka lindningarna är lindade på. Det roterande flödet kallas: n_1 och benämn: *synkrona varvtalet* eller *statorvarvtalet*

Statorns magnetfält

När de tre statorlindningarna ansluts till en växelspänning kommer ett pulserande roterande magnetfält att skapas i statorn. Vi tecknar ett vågdiagram för de 3 matande faserna L_1 , L_2 och L_3 från elnätet. ✓



Vi sätter ut några godtyckliga momentantider (t_1 - t_5). Då kan vi studera hur statorns lindningar får olika strömriktning och därmed även ett magnetfält som roterar. ✓

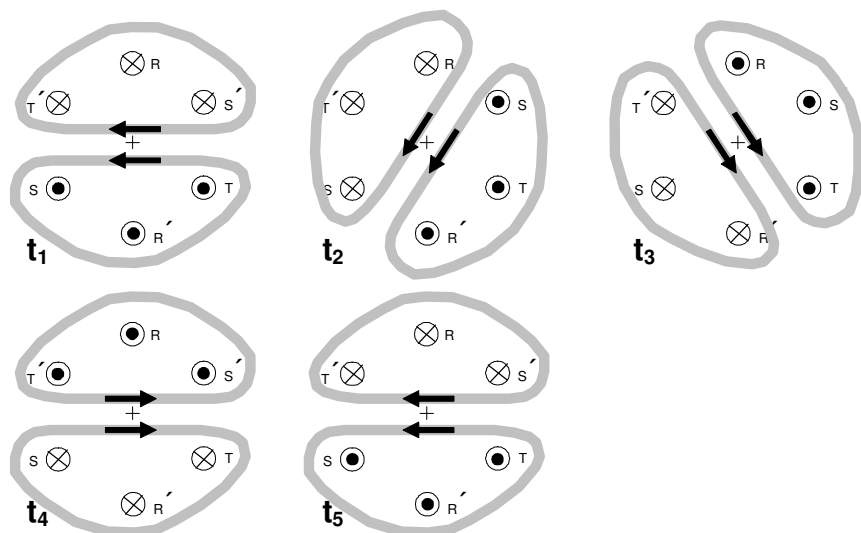


Först tänker vi oss att man gör ett tvärsnitt av motorns 3 statorlindningar. Varje lindning har en ingång och en utgång. För fasen R (L_1) heter ingången R och utgången R' . ✓

När vi skissar på detta förenklar vi det hela genom att endast rita en slinga på varje lindning men i verkligheten består varje lindning av flera hundra och tusen lindningsvarv.

Om vi nu sätter ut var strömmen går in (när fasen är plus +) resp. var den går ut på varje lindning vid de olika tidpunkterna får vi följande roterande magnetfält.

De 2 magnetfälten (polerna) som bildas genom att de 3 slingorna samverkar, roterar i detta exempel moturs. Motoraxeln (rotorn) kommer då också att rotera moturs.



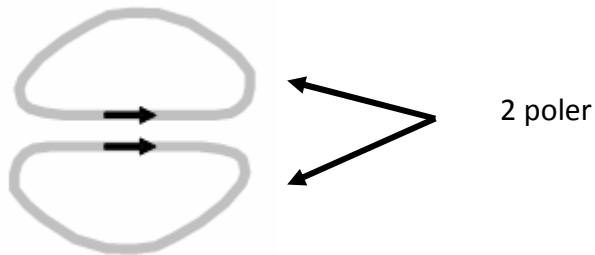
Som vi kan se i detta exempel är det ett 360° mellan t_1 och t_5 (ett varv). Studerar man magnetfältet kan man se att det roterar ett helt varv.



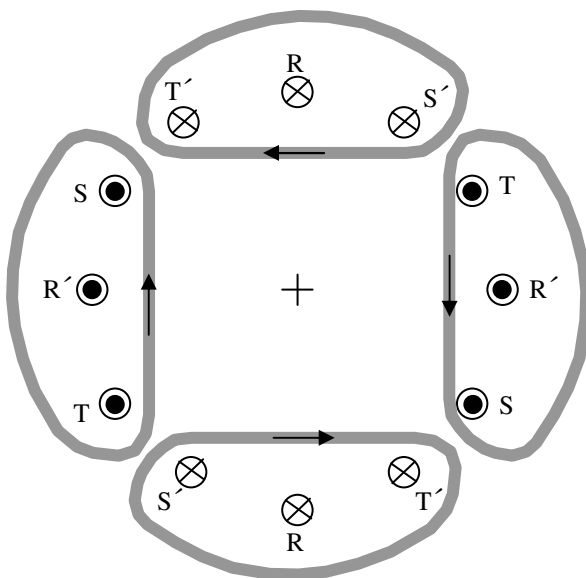
Det innebär att denna motor kommer att rotera med 3000 varv/minut om frekvensen är 50Hz ($50 \times 60 = 3000$).



Det är en 2-polig motor. Att det är en 2-polig motor kan vi också se genom att magnetfältet som skapats har just 2 poler.



Om man stoppar in en dubbling av alla de lindningar får man en 4-polig motor.



Om vi gör samma sak här för t_1 får vi följande. Observera att vi nu har dubbla R, R' och samma för S och T.

Vi kan se att det blir 4 poler.



Om vi fullbordar 360° enligt t_1 - t_5 kommer man att se att de 4 magnetfälten roterar $\frac{1}{2}$ varv. Då kommer varvtalet bli 1500 varv/minut vid frekvensen 50Hz ($25 \times 60 = 1500$).

Poltal

Som vi kunde se i tidigare exempel bestäms motorns varvtal av frekvensen på det matande elnätet och motorn poltal, ju fler poler ju lägre varvtal. ✓

Det varvtal som flödet kommer att rotera med bestäms av det matande nätets frekvens och motorns poltal enligt:

$$n_1 = \frac{120 \times f}{p}$$

p är i detta fallet motorns poltal.
Poltalen är alltid en multipel av 2 d.v.s. jämnt antal. ✓

Om nätfrekvensen är 50Hz kan tabellen fyllas i:

Nätfrekvens 50 Hz	
Poltal (p)	$n_1 = n_s$
2	3000
4	1500
6	1000
8	750
10	600
12	500
O.S.V	

Statorvarvtalet n_1 är samma som det synkrona varvtalet n_s .

De vanligaste motorerna som lagerförs är 2- och 4-pol. Genom att använda motorer med flera lindningar kan man få s k. 2-hastighetsmotorer (sitter ofta i t ex. svarvar, pelarborr).

Exempel

Beräkna det synkrona varvtalet för en motor med 4 poler. Nätfrekvensen är 50 Hz.

$$\begin{aligned} &4\text{-poler, } 50\text{ Hz} \\ n_1 &= \frac{120 \cdot f}{p} \Rightarrow n_1 = \frac{120 \cdot 50}{4} \Rightarrow n_1 = \underline{\underline{1500 \text{ r/m}}} \end{aligned}$$

Beräkna det synkrona varvtalet för samma motor om man höjer nätfrekvensen till 60 Hz.

$$n_1 = \frac{120 \cdot 60}{4} \Rightarrow n_1 = \underline{\underline{1800 \text{ r/m}}}$$

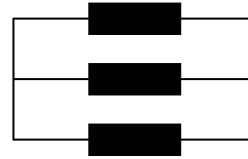
Ändra rotationsriktning

För en asynkronmotor är det lätt att ändra rotationsriktning. Genom att skifta 2 faser t ex L_1 (R) mot L_2 (S) leder man istället in strömmen där den tidigare gick ut. Då kommer magnetfältet att rotera åt andra hållet och även rotorn. ✓

Rotorn

I rotorn ligger en stor del av asynkronmotorns tillämpningsproblem. Det är här moment, kraft och varvtal skall distribueras till axeln.

Rotorns lindningar för en "kortsloten" asynkronmotor är sammankopplade i sina ändar. De är därmed inte åtkomliga elektriskt.

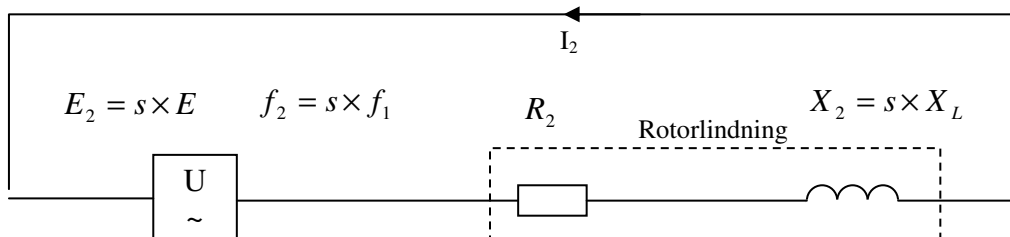


En släppringad asynkronmotor däremot, har s k kommutator där lindningarnas ena ände går att elektriskt komma åt.

Varvtalet på rotorn är det vi praktiskt har nytta av och kallas *axelvarvtal*, *mekaniskt varvtal* eller *rotorvarvtal*. Det betecknas med n_2 . Detta varvtal är inte lika enkelt att teckna en formel för som för statorns del, det är flera olika faktorer som påverkar och dessa faktorer är sällan konstanta.

Vi börjar med händelseförloppet: $n_1 > n_2 \Rightarrow E_2 \Rightarrow I_2 \Rightarrow M$

För att det skall vara en asynkronmotor måste $n_1 > n_2$. Då induceras en spänning i rotorlindningarna. Man kan skissa kretsen för en rotorlindning så här.



Eftersom den inducerade spänningen E_2 i rotorn beror på hur snabbt flödet i n_1 "skär" lindningarna i rotorn kommer E_2 att vara proportionellt mot hur stor skillnad det är på n_1 och n_2 .

Eftersläpning

Denna skillnad kallas för motorns eftersläpning och är ett relativt tal. Formeln för s :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$



Rotorfrekvens

Eftersom eftersläpningen avgör E_2 kommer även frekvensen i rotorn att bero på eftersläpningen s enligt:

$$f_2 = s \times f_1$$

Rotorreaktans

I elläran har vi lärt oss att $X_L = 2 \times \pi \times f \times L$, alltså reaktansen beror på frekvensen. Då kommer rotorreaktansen att bero på eftersläpningen s .

Rotorströmmen

Strömmen I_2 som uppstår bestäms nu av: $I_2 = \frac{s \times E_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (s \times X_2)^2}} \leftarrow Z_2$

Man måste även ta hänsyn till fasförskjutningen i rotorn. Den kallas för $\cos\phi_2$ och bestäms enligt allmän trigonometri: $\cos\phi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (s \times X_2)^2}}$ Detta innebär följande:

Om s eftersläpningen ökar (minskat rotorvarvtal/högre uttaget axelmoment):

1. Rotorströmmen I_2 ökar
2. Fasförskjutningen ökar ($\cos\phi_2$ minskar)

Startögonblicket

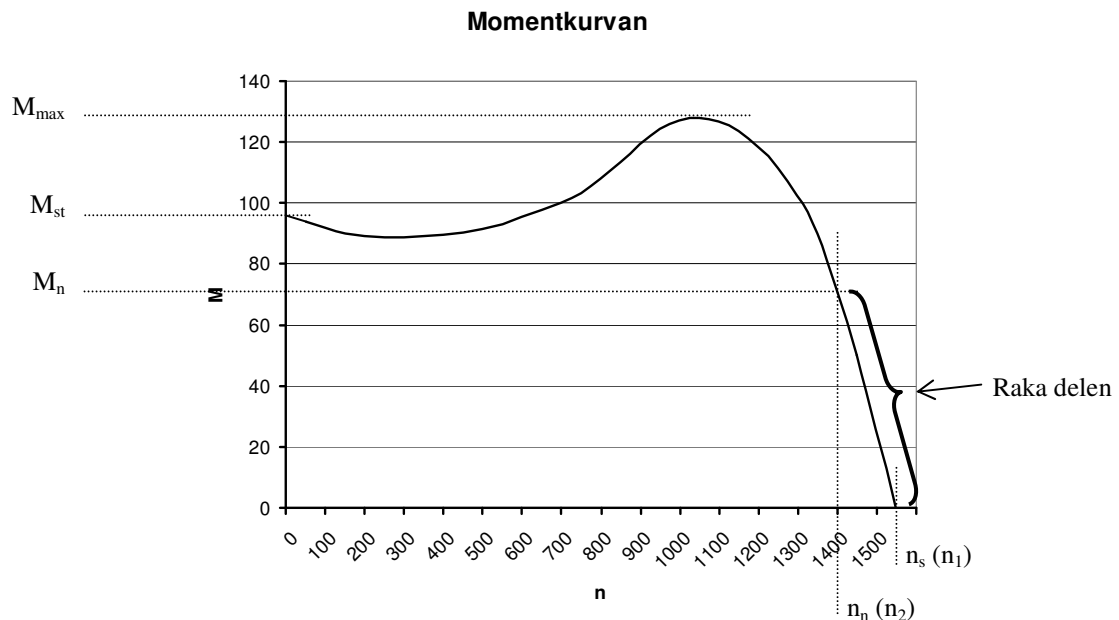
Vid start av en asynkronmotor är startströmmen 6-8 ggr märkströmmen (förutsätter att axeln belastas med märkmoment vid startögonblicket). Anledningen till detta beror delvis på att E_2 och X_2 är som störst.

Momentet

Strömmen i rotorledarna ger upphov till ett vridande moment vilket vrider rotor och axel runt.

Momentkurvan

Momentkurvan för en asynkronmotor ser ut enligt:



I princip är det följande som är praktiskt intressant:

- M_{st}
- $M_{\max}$
- M_n
- Raka delen på kurvan (varvtal och moment).

Den kraft som rotorn utsätts för bestäms av formeln $F = k \times \hat{B} \times I_2 \times \cos \varphi_2$. För en given motor är momentet en funktion av kraften enligt $M = k \times F$ vi kan nu teckna formeln

$$M = k \times \hat{B} \times \left(\frac{s \times E_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (s \times X_2)^2}} \times \frac{R_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (s \times X_2)^2}} \right) \leftarrow F$$

$\uparrow$ I_2 $\uparrow$ $\cos \varphi_2$

Flödestätheten $\hat{B}$ är direkt proportionell mot nätspänningen ($\hat{B} \sim U_1$)

Ur spänningen E_2 bryter vi ur s och sätter E_2 lika med U_1 (s är förhållandevis liten). Konstanten k kallar vi för k_M för att härleda den till momentekvationen. Konstanten är beroende av motorns konstruktion och nätfrekvensen f_1 . Är nätfrekvensen konstant (i de flesta fall) är formeln tillämpbar.

$$M = k_M \times \hat{B} \times \left(\frac{s \times E_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (s \times X_2)^2}} \times \frac{R_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (s \times X_2)^2}} \right)$$

$\hat{B} \sim U_1$ $\uparrow$ U_1
 $\uparrow$ k_M $\swarrow$ $\searrow$ $\swarrow$ $\searrow$
 tar ut varann

Vi kan nu teckna momentformeln för asynkronmotorn:

$$M = k_M \times U_1^2 \times \left(\frac{s \times R_2}{(R_2)^2 + (s \times X_2)^2} \right)$$

Momentformeln

Förenkling

Under vissa omständigheter kan momentformeln förenklas. Förenklingar av det här slaget ger dock inget exakt svar men ger ändå så pass noggrant svar att det tillämpas i praktiken.

Förenkling 1 av formeln

På momentkurvas raka del kommer eftersläpningen s att vara relativt liten (ca 5%) jämfört R_2 vilket innebär att X_2 kan försummas.

$$M = k_M \times U_1^2 \times \left(\frac{s \times R_2}{(R_2)^2 + (s \times X_2)^2} \right)$$

Om X_2 försummas kan vi också reducera R_2 , vi får:

$$M = k_M \times U_1^2 \times \left(\frac{s}{R_2} \right)$$

Förenkling för den raka delen på momentkurvan.

Förenkling 2 av formeln

Då s , R_2 och X_2 är oförändrade (konstanta). Detta förutsätter att rotorvarvtalet är konstant. Nu kan dessa variabler införas i k_M . Vi kallar denna nya konstant för k . Vi får formeln:

$$M = k \times (U_1)^2$$

Förenkling då s , R_2 och X_2 är konstanta.

Märkskylt

På alla elektriska maskiner och utrustningar skall finnas en märkskylt med uppgifter om: Spänning, ström, effekt, frekvens mm. I princip all relevant data.

Uppgifterna skall anges vid märkdrift vilket avser när maskinen går med fullt effektuttag (100%).



Exempel på märkskylt för en asynkronmotor:

VEB Elektromotorenwerke Thurm DDR					
KMFR 112 M2					
064178 175			D	MOT	
2880	U/min		50	Hz	
220/380	V		14.6/8.45	A	
5.4Hp/4kW		cosφ	0.87		
W-kl B		IP	54	32	Kg
TGL 20675					

Så här kan man tolka märkuppgifterna:

Motorn är 2-polig. Det synkrona varvtalet är 3000r/m. Motorn kan endast Y-kopplas till ett 380V nät.

Om motorn Y-kopplas och ansluts till 380V med frekvensen 50Hz och man belastar motoraxeln med 4kW kommer varvtalet att bli 2880 r/m. Strömmen blir då 8,45A.

Om man tar ut mindre än 4kW kommer motorvarvtalet att bli högre än 2880 r/m, dock ej 3000r/m samt strömmen bli lägre än 8,45A.

Exempel

En motor med har följande märkskylt

VEB Elektromotorenwerke Thurm DDR					
AB11-09 BM 12					
1264198 98			Y	MOT	
960	U/min		50	Hz	
220/380	V		25/43	A	
15.0Hp/11kW		cosφ	0.76		
W-kl B		IP	54	175	Kg
TGL 20675					

Hur många poler har den och vad är det synkrona varvtalet (vid 50 Hz)?

$$n_1 = \frac{120 \cdot f}{p} \Rightarrow p = \frac{120 \cdot f}{n_1} = p = \frac{120 \cdot 50}{1000} = p = \underline{\underline{6 \text{ pol}}}$$
$$n_1 = 1000 \text{ r/m (närmast över 960)}$$

Exempel

En kortsluten asynkronmotor har följande märkdata.

22 kW och 1475 r/m

a) Beräkna motorns märkmoment

b) Beräkna eftersläpningen (vid märklast)

c) Beräkna motorns eftersläpning vid 100 Nm och motorns varvtal

$$a) P_{mek} = \frac{\pi}{30} \cdot M \cdot n \Rightarrow M = \frac{P_{mek}}{\frac{\pi}{30} \cdot n} \Rightarrow$$

$$M = \frac{22 \cdot 10^3}{\frac{\pi}{30} \cdot 1475} \Rightarrow M_n = \underline{\underline{142 \text{ Nm}}}$$

b) 1475 r/m är vid märklast (22 kW).

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \Rightarrow s = \frac{1500 - 1475}{1500} = \underline{\underline{0,017}}$$

$$c) M = k \cdot s \Rightarrow k = \frac{M}{s} \Rightarrow \frac{142}{0,017} = 8520$$

$$s = \frac{M}{k} \Rightarrow s = \frac{100}{8520} \Rightarrow \underline{\underline{s = 0,012}}$$

$$n_2 = n_1 (1 - s) \Rightarrow n_2 = 1500 (1 - 0,012) \Rightarrow$$

$$n_2 = \underline{\underline{1482 \text{ r/m}}}$$

Beräkna rotorfrekvensen vid märklast för motorn ovan (nätfrekvensen är 50 Hz)

$$f_2 = s \cdot f_1 \Rightarrow f_2 = 0,012 \cdot 50 \Rightarrow f_2 = \underline{\underline{0,59 \text{ Hz}}}$$

En kortsluten asynkronmotor har följande märkdata

380 V (50 Hz)

15 kW

1450 r/m

M_{max} 270 Nm

M_{st} 147 Nm

Beräkna motorns M_{max} och M_{st} vid nätspänningen 360 V.

$$M = k \cdot U_1^2 \Rightarrow k = \frac{M}{U_1^2}$$

k max moment

$$k_{max} = \frac{270}{380^2} \Rightarrow k_{max} = 1,87 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{max}(360V) = k_{max} \cdot U_1^2 \Rightarrow 1,87 \cdot 10^{-3} \cdot 360^2 \Rightarrow \underline{\underline{242 Nm}}$$

k start moment

$$k_{st} = \frac{147}{380^2} \Rightarrow k_{st} = 1,02 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{st}(360V) = k_{st} \cdot U_1^2 \Rightarrow 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot 360^2 = \underline{\underline{132 Nm}}$$

En kortsluten asynkronmotor har följande märkdata

380 V (50 Hz)

30 kW

2940 r/m

M 98 Nm

a) Beräkna motorns varvtal om den belastas med 75 Nm och nätspänningen är 380 V.

b) Beräkna varvtalet för samma belastning men vid nätspänningen 325 V.

$$a/ \quad M = k_M \cdot \frac{U_1^2 \cdot s}{R_2 + R_g}$$

Dä $R_2 + R_g$ är okända
sätter vi denna summa
till 1.

$$M = k_M \cdot \frac{U_1^2 \cdot s}{1} \Rightarrow M = k_M \cdot U_1^2 \cdot s$$

$$k_M = \frac{M}{U_1^2 \cdot s} \Rightarrow \frac{98}{380^2 \cdot \left(\frac{3000 - 2940}{3000}\right)} \Rightarrow k_M \approx 0,034$$

n_2 vid 75 Nm och 380 V

$$s = \frac{M}{k_M \cdot U_1^2} \Rightarrow s = \frac{75}{0,034 \cdot 380^2} \Rightarrow s \approx 0,015$$

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s) \Rightarrow n_2 = 3000(1 - 0,015) \Rightarrow n_2 \approx \underline{\underline{2954 \text{ r/m}}}$$

b/ n_2 vid 75 Nm och 325 V

$$s = \frac{75}{0,034 \cdot 325^2} \Rightarrow s \approx 0,021$$

$$n_2 = 3000 \cdot (1 - 0,021) \Rightarrow n_2 \approx \underline{\underline{2937 \text{ r/m}}}$$

Man har valt en kortsluten asynkronmotor till en traverslyft. Traverslyften belastas med maximalt 250 Nm. Den direktstartas i båda riktningarna. Startmomentet är 40 % högre än märkmomentet.

Motorns märkdata

660 V, 50 Hz

22 kW

710 r/m

50 A

η 86 %

$\cos \phi$ 0,77

$M_{\max} 2,5 \times M_n$

a) Beräkna motorns varvtal i normal drift (traverslyft 250 Nm).

b) Vad blir axeleffekten (mekaniska effekten) då?

c) Hur låg får nätspanningen bli utan att motorn "tappar" taget om lasten (vi utgår från att varvtalet är samma/konstant)?

a/ $M = k_m \cdot U_1^2 \cdot s \Rightarrow k_m = \frac{M}{U_1^2 \cdot s} \Rightarrow$

$P_{\text{mek}} = \frac{\pi}{30} \cdot M \cdot n \Rightarrow M_n = \frac{P_{\text{mek}}}{\frac{\pi}{30} \cdot n} \Rightarrow$

$M_n = \frac{22 \cdot 10^3}{\frac{\pi}{30} \cdot 710} \Rightarrow M_n = 296 \text{ Nm}$

$k_m = \frac{296}{660^2 \cdot \left(\frac{750-710}{750}\right)} \Rightarrow k_m = \frac{296}{23232} \approx 0,013$

$s = \frac{M}{k_m \cdot U_1^2} \Rightarrow s = \frac{250}{\frac{296}{23232} \cdot 660^2} \Rightarrow s = 0,045$

$n_2 = n_1 \cdot (1-s) \Rightarrow n_2 = 750 \cdot (1-0,045) \Rightarrow n_2 = \underline{\underline{716 \text{ r/m}}}$

b/ $P_{\text{mek}} = \frac{\pi}{30} \cdot M \cdot n \Rightarrow P_{\text{mek}} = \frac{\pi}{30} \cdot 250 \cdot 716 \Rightarrow P_{\text{mek}} = \underline{\underline{18,7 \text{ kW}}}$

c/ $M = k_m \cdot U_1^2 \cdot s \Rightarrow$ konstant varvtal $\Rightarrow$

slå ihop k_m och s , (k_{ms}) eller $M = k \cdot U_1^2$

$M = k_{ms} \cdot U_1^2 \Rightarrow k_{ms} = \frac{M}{U_1^2} \Rightarrow$

$k_{ms} = \frac{296}{660^2}$

$U_1 = \sqrt{\frac{M}{k_{ms}}} \Rightarrow U_1 = \sqrt{\frac{250}{\frac{296}{660^2}}} \Rightarrow U_1 = \underline{\underline{606 \text{ V}}}$

Verkningsgrad

Förluster

Som de flesta maskiner har asynkronmotorn förluster och en aktiv verkningsgrad. I likhet med en transformator har asynkronmotorn kopparförluster och järnförluster vilka vi även kallar belastnings- och tomgångsförluster (asynkronmotorn är inte olik transformatorn, båda är induktiva, har lindningar primärt och sekundärt utan elektrisk kontakt och matas med växelström). För att bestämma dessa förluster utför man precis som för transformatorn, tomgångs- respektive belastningsprov. Nedan tecknas en förenklad variant av motorns förluster, de betecknas P_{cu2} och innehåller både järn- och kopparförluster. De beräknas enligt:

$$P_{cu2} = \frac{s}{1-s} \times P_2$$

där P_2 är utgående axeleffekt (står som kW på märkskylten). Förlusterna ökar alltså med eftersläpningen s . Detta har betydelse vid användning av släpningad motordrift.

Dessutom har asynkronmotorn andra förluster som vi inte tar upp här, men de är bl a.

- Fläkthjulets effekt
- Tröghetsmomentet för att driva runt rotorn
- Friktion

Verkningsgrad

Verkningsgraden beräknas med $\eta = \frac{P_2}{P_1}$



P_2 är lätt att ta reda på, den står angiven på motorns märkskylt.

P_1 kan lätt beräknas med $P = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos \varphi$

Uppgifterna om U , I och $\cos \varphi$ hämtar man från motorns märkskylt eller databladet. Har man tillgång till databladet står oftast även verkningsgraden där.

Start- och stoppmetoder

Direktstart

Den mest vanliga och enklaste startmetoden är direktstart. Med direktstart avses när statorn spänningssätts med märkspänning genom elkopplare / kontaktor etc. Förutsättning för att direktstart ska kunna tillämpas är att det matande elnätet är tillräckligt kraftigt (distributionstransformatorns S_n) för att inte orsaka för kraftiga spänningsfall på nätet och väldimensionerat axel- och transmissionssystem. ✓

Startströmmen blir vid full märklaster $6-8 \times I_n$.

Spänningsfallet som då uppstår i det matande elnätet är:

$$\Delta U \approx \frac{X_n}{X'_k + X_n} \times 100\%$$

$$X_n = \frac{U_n^2}{S_k}$$

$$X'_k = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3} \times I_{st}}$$

$$(X'_k = X_1 + X_2')$$

X_n = nätreaktans (matande elnätet)

S_k = kortslutningseffekten (matande elnätet)

X'_k = motorns kortslutningsreaktans

U_{1n} = motorns märkspänning

I_{st} = motorns startström

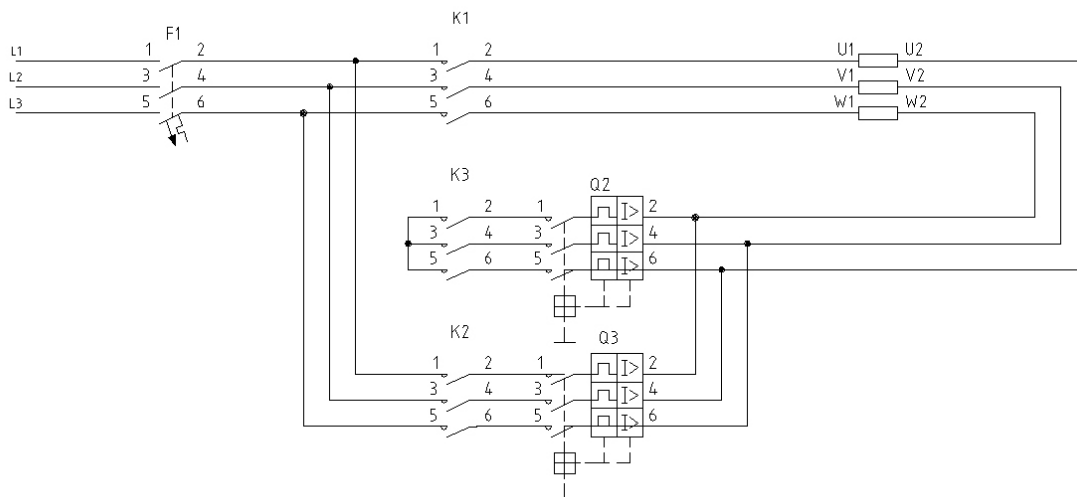
Spänningsfall över 15% är i normala fall oacceptabla.

Den maximala tillåtna direktstartseffekt bestämmer elleverantören. För normala distributionsnät går gränsen vid ca. 4kW motoreffekt. För större industrier som i regel har egna distributionstransformatorer bestämmer de själva maxeffekt för direktstart. Ju större motor som direktstartas, ju kraftigare störningar (upplevs som "blinkningar" på elnätet) uppstår på nätet.

Y/D-start

Y/D-start fungerar så att motorn är D-kopplad under själva startförloppet. När motorns varvtal har stabiliserats kopplas motorn för Y-drift. Med detta startsätt kan man säga att man "lurar" motorn, den får fel (lägre) matningsspänning än märkspänningen under startögonblicket och när sedan Y-läget kopplas in får den rätt märkspänning. ✓

Y/D-start



Exempel:

Om det matande elnätets spänning är 400/230V måste motorns märkspänning vara 690/400V.

Motorns märkspänning 690/400V anger att lindningsspänningen skall vara 400V (varje lindning ska alltså ha 400V). I startskedet är motorn Y-kopplad, varje lindning får då $400/\sqrt{3} = 230V$ alltså för låg spänning. I och med det reduceras också startströmmen men samtidigt blir motorns startmoment reducerat. Detta medför att en motor med Y/D-start inte kan belastas fullt ut under startförloppet (den måste då avlastas). När man sedan slår om till Y-läget får varje lindning rätt spänning (400V). Då går kan den belastas med märklust.

Kopplingsschemat ovan visar en kontaktorstyrd Y/D-start. I startögonblicket drar kontaktor K1 och K2, motorn blir D-kopplad. Efter en stund faller kontaktor K2 och kontaktor K3 drar, då blir motorn Y-kopplad. Överströmsskydden Q1 och Q2 skyddar motorn mot överlast för D- resp. Y-läget.

Mjukstartare

En mjukstartare består i huvudsak av en ström- och spänningstransformator som rampar (ökar) upp matningsspänningen till motorns suggestivt under en förutbestämd tid. Genom att begränsa matningsspänningen till motorn vid startögonblicket reduceras också startströmmen. När tiden löpt ut matas motorn med märkspänning. Vid normala fall blir startströmmen ca $1,5 \times$ motorns märkström I_n .

Frekvensomriktare

En mycket effektiv startmetod är frekvensomformardrift. Denna metod används dock främst för varvtalsreglering. Metoden innebär att matningsspänning och frekvens till motorns stator regleras med viss proportionalitet beroende på motortyp. Med denna metod blir startströmmen lika med eller mindre än motorns märkström. Denna metod beskrivs längre fram.

Stopp utrullning

Den enklaste stoppmetoden är att motorn får rulla ut själv. Denna stoppmetod kan i speciella fall vara förenad med risker. Vid t ex bearbetningsmaskiner där en sågklinga drivs av en motor kommer sågklingan att rotera en stund efter att motorn gjorts spänningslös.



Stopp motströmsbromsning

Motströmsbromsning är en enkel, billig och mycket effektiv broms/stoppmetod. När man ska stoppa motorn kopplar man om matningsspänningen för motsatt rotationsriktning. Motorn kommer då att bromsa in och när motorns varvtal är nära 0 känner en varvtalsvakt av det och slår ifrån spänningen så motorn blir strömlös. Strömmen vid omslaget blir motsvarande startström vid full belastning alltså $6-8 \times I_n$.



Stopp mekanisk bromsning

Med mekanisk broms utrustas motorn med en bromsanordning t ex en skivbroms. Denna styrs elektriskt så att den nyper och bromsar under stoppförloppet.



Stopp likströmsbromsning

Genom att mata motorn med en likspänning under bromsförloppet kommer ett stillastående magnetfält i statorn att bromsa in rotorn.



Stopp genom översynkron bromsning

Genom att driva upp motorn översynkront ($n_2 > n_1$) kommer motorn att gå som generator. Motorn lämnar då energi till det matande elnätet. Denna bromsmetod är vanlig för t ex traverser där lasten firas ned genom just översynkron bromsning.



Varvtalsreglering

Teori

Ur formlerna

$$f_1 = \frac{p}{2} \times n_s \qquad s = \frac{n_s - n}{n_s} \qquad \text{får man} \qquad n = \frac{2}{p} \times f_1 \times (1 - s)$$

Ur denna formel kan man utläsa de faktorer som är möjliga att påverka för ändrat varvtal. De är

- p (poltalet),
- s (eftersläpningen) och
- f_1 (matande frekvensen).

Poltalet (p)

Poltalet för motorn ger fasta varvtal. För det synkrona varvtalet vid 50Hz är ns

$$n_s = \frac{120 \times f_1}{p}$$

2 pol = 3000 r/m

4 pol = 1500 r/m

6 pol = 1000 r/m

8 pol = 750 r/m

o s v

Eftersom n_s och n har ett samband kommer axelvarvtalet n_2 också att ändras.

Eftersläpningen (s)

Eftersläpningen kan ändras genom att motorns matningsspänning U_1 ändras.

$$M \approx k_m \times U^2 \times \frac{s}{R_2}$$

När U ändras påverkas även s (vid konstant belastningsmoment på motorn) då kommer även axelvarvtalet n_2 att påverkas. Eftersläpningen kan då varieras från 0- n_s . Denna metod används främst för kortslutna asynkronmotorer.

Genom att öka rotorresistansen R_2 , vilket kräver släpringad motor, kan eftersläpningen ökas vilket även denna metod påverkar axelvarvtalet n . Denna metod ger dock upphov till ökade effektförluster för motorn och därmed sämre verkningsgrad.

Frekvens f_1

Genom att ändra den matande frekvensen f_1 kommer axelvarvtalet n_2 att påverkas.

$$n_1 = \frac{120 \times f}{p} \qquad s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \Rightarrow n_2 = n_1(1 - s)$$

Frekvensomformardrift

Genom att ändra den matande frekvensen f_1 kommer varvtalet n att påverkas.

Drift av kortsluten asynkronmotor

I det allmänna distributionsnätet är frekvensen 50Hz. Asynkronmotorer som matas med denna frekvens erhåller då olika varvtal på statorns magnetiska flöde (n_1).

$$n_1 = \frac{120 \times f}{p}$$

2-pol	3000 r/m
4-pol	1500 r/m
6-pol	1000 r/m
8-pol	750 r/m
o s v	

Om n_1 ändras kommer också n_2 (axelvarvtalet) att påverkas. $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \Rightarrow n_2 = n_1(1 - s)$.

Detta kan man åstadkomma genom att driva asynkronmotorn med en frekvensomriktare. En frekvensomriktare modulerar frekvens (f) och spänning (U) till motorn. Det synkrona varvtalet kan därmed ändras.

Konstant flöde

En asynkronmotor bör arbeta med konstant magnetiskt flöde β i statorn. För att uppnå detta vid olika frekvenser måste även spänningen U ändras proportionellt lika mycket som frekvensen. Man säger att spänningen är proportionellt mot frekvensen $U_1 \sim f$. Förhållandet U/f bör alltså hållas konstant.

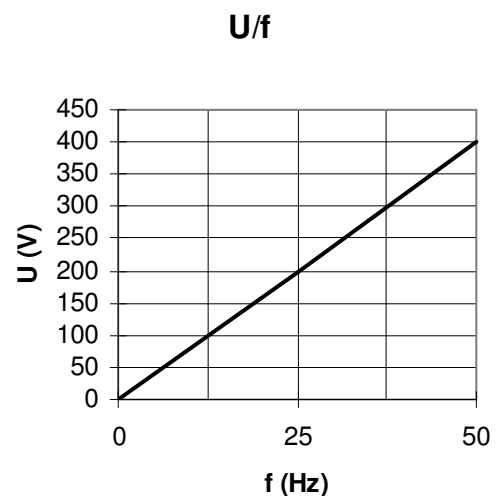
Med den s k transformatorformeln (även kallad 4,44 formeln) $U = 4,44 \times \beta \times A_{Fe} \times N \times f$ kan detta bevisas. Om β ska vara konstant vid olika frekvenser måste spänningen U och ändras proportionellt lika mycket. De övriga (A_{Fe} och N) härleds till lindningarnas konstruktion och påverkar inte.

Volt per hertz (frekvensomformardrift)



En asynkronmotor med märkspänningen 400V och 50 Hz gäller att förhållandet mellan U och f är 8V/Hz ($400/50=8$) vilket är normalt för en standardmotor. Detta innebär att vid frekvensen 50Hz ska frekvensomriktaren mata ut

400V till motorn (8×50) och vid 25Hz matningsspänningen 200V (8×25) o s v. Detta resonemang "håller" upp till den spänningen som frekvensomriktaren matas med, t ex 400V.



Om motorn ska matas med en högre frekvens måste således även spänningen till motorn öka. Vid t.ex. 70 Hz, skulle motorn behöva 560 V.

Drift över märkvarvtal

Frekvensomriktare kan inte mata ut en högre spänning än vad den inkommande är d.v.s. 400 V för en "normal" omformare. Därför kan inte det magnetiskt flöde β i statorn att hållas konstant vid högre frekvenser än märkfrekvensen (50 Hz). Om man ändå ökar frekvensen till motorn kommer det ske på bekostnad av det vridande momentet som då kommer att sjunka, motorn blir "svagare". Det innebär att man inte kan belasta motorn lika mycket som vid märkdrift (50 Hz). Önskar man driva motorn med frekvensen 100Hz skulle motorn behöva matas med 800V för att förhållandet U/f ska upprätthållas (konstant magnetiskt flöde).

Därför ska man normalt dimensionera en motor så den inte behöver gå med högre frekvenser än 50 Hz. Viss överfrekvens kan dock vara möjlig. Då kan man styra ner frekvensen under 50Hz och på så vis säkerställa ett 100%:igt moment. Praxis är att dimensionera motorn så att det arbetsområde man önskar ska ligga runt ~25-60Hz.

Specialfall

En 2-polig motor som har märkspänningen 230V är förhållandet U/f 4,6V/Hz ($230/50=4,6$). Denna motor kan teoretiskt matas via en frekvensomriktare (med matningsspänningen 400V) med en frekvens på $50 \times \sqrt{3}$ Hz alltså 87Hz och ändå bibehålla momentet. Det synkrona varvtalet n_1 skulle då bli 5220r/m. Normalt tar motorn inte skada elektriskt av detta men de mekaniska påkänningarna måste beaktas. Man ska därför rådgöra med tillverkaren före.

Normalfall

Standardiserade asynkronmotorer klarar normalt 20% högre frekvens än den nominella (i Sverige 50Hz). Det finns även specialmotorer (högfrekvensmotorer) som klarar av frekvenser från 40 upp till 320Hz. Dessa motorer har ofta en liten diameter i förhållande till sin längd för att hålla nere periferikrafterna vid höga varvtal.

Motorns kylning

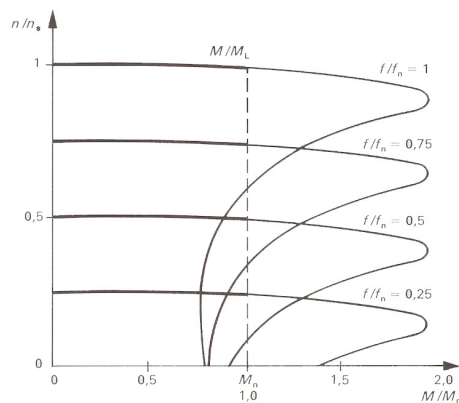
När motorn drivs med lägre frekvenser måste man försäkra sig om att motorn kyla av tillräckligt. För motorer med självventilerande system (de vanligaste motorerna med ett fläkthjul på motoraxeln) kan det bli aktuellt att eftermontera en separat kylfläkt som ombesörjer kylningen. Då kallas det för forcerad kylning.

Motorer för frekvensomformardrift är ofta utrustade med en termistor eller termisk kontakt som registrerar temperaturen på motorns lindningar. Om temperaturen överskrider tillåtet värde ger den signal och stoppar.

Det går alltså inte att använda överströmsskydd i form av motorskydd till en motor som drivs och regleras med en frekvensomriktare eftersom ett sådant skydd ställs in för en viss motorström.

Varvtalsförhållande

Följande diagram visar förhållandet mellan moment och varvtal vid frekvensreglering av asynkronmotor.



f frekvens
 f_n märkfrekvens
 n varvtal
 n_s synkront varvtal vid märkfrekvens
 M belastningsmoment
 M_n märkmoment

Varvtalreglering

Med frekvensomriktardrift kan man reglera frekvensen inom ett brett frekvensområde. Vid lägre frekvenser till en motor kommer laststyvheten att försämrats samt ökade förluster i rotorresistansen beroende på att eftersläpningen s ökar procentuellt sett mycket. För att få en noggrann varvtalreglering vid de lägre frekvensbanden måste man återkoppla det aktuella varvtalet med t.ex. en pulsgivare. Att inte återkoppla den aktuella hastigheten kallas för skalär (linjär) reglering vilket innebär att U/F -förhållandet är linjärt över hela reglerområdet. Detta är inte lämpligt vid lägre frekvenser och vid laster som har olinjära momentkurvor som fläktar och pumpar (kvadratiske kurvor).

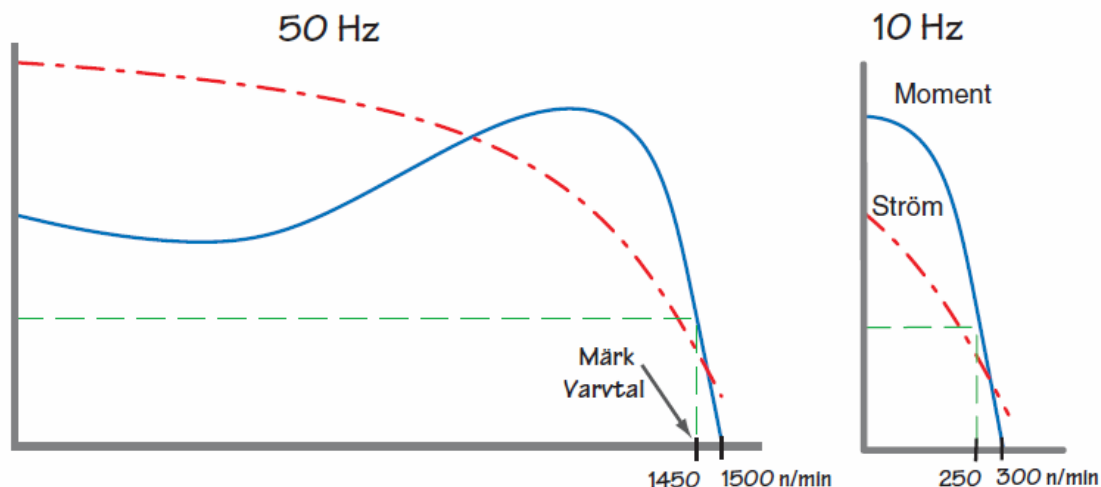
Exempel.

En motor är märkt 1450 r/m, 50z.

Motorn är således en 4-polig motor med $n_s=1500$ r/m

Eftersläpningen $s=(1500-1450)/1500=0,033$ (3.3%)

Momentkurvan ser ut enligt:



Den vänstra grafen är vid 50 Hz och den högra vid 10 Hz.

Som vi kan se har den raka delen av kurvorna samma lutning.

Som vi kan se är eftersläpningen lika stor i r/m i båda fallen (50 resp. 10 Hz).

Om vi nu räknar på eftersläpningen vid 10 Hz blir motorns synkrona varvtal i stället 300 r/m
Bevis: $10/50 = 0,2$ (20%) $\Rightarrow 0,2 \times 1500 = 300$ r/m

Om vi för in det synkrona varvtalet i den högra grafen (som har samma lutning som den vänstra) kan vi se att eftersläpningen är lika stor i r/m = 50 r/m som vid 50 Hz.

Motorns märkvarvtal blir 250 r/m ($300-50=250$).

Om vi nu räknar på eftersläpningen vid 10 Hz blir den:

$S=(300-250)/300 \Rightarrow s=0,167$ (16.7%) (vid 50Hz var eftersläpningen=3,3%)

Vid så stor eftersläpning påverkar det frekvensomriktaren att kunna reglera linjärt.

Laststyvheten kommer att försämrats och förlusterna i rotorn ökar.

För att erhålla en bättre varvtalreglering bör man välja vektorreglering.

Vektorreglering sker genom att aktuellt varvtal återkopplas till frekvensomriktaren.

Omriktaren utför beräkningar över de olika tillstånden och kan med moderna omriktare reglera med en noggrannhet på 0,01% av varvtalet (från tomgång till 150% last).

Typer frekvensomriktare

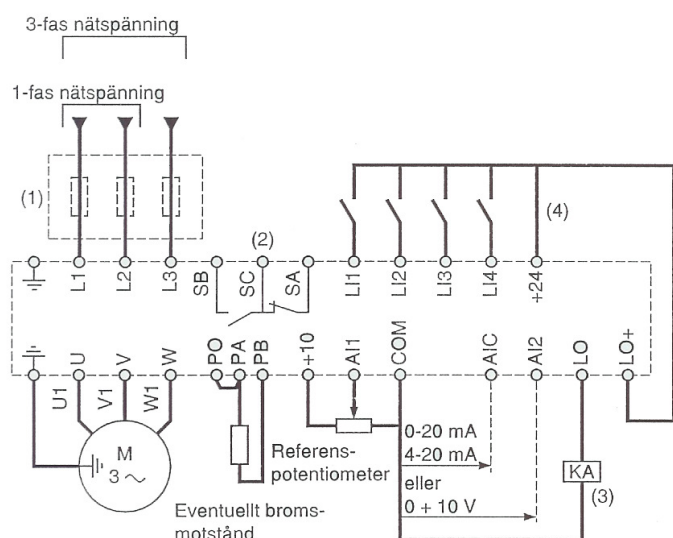
Det finns två typer av frekvensomriktare, direktomvandlaren och den indirekta omvandlaren (mellanledsomriktare).

Direktomvandlaren omvandlar den inkommande spänningen direkt till en utström utan mellanled som den indirekta har. Den används främst till motorer i megawatt-området och vid låga frekvenser.

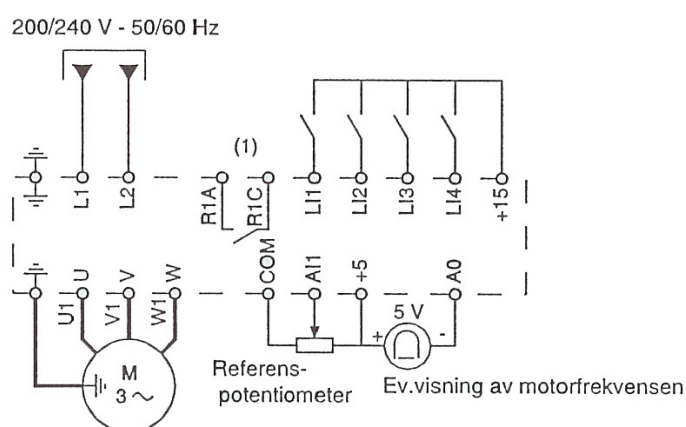
I den indirekta frekvensomvandlaren likriktas den inkommande spänningen för att sedan växelriktas innan den skickas ut. Den växelriktade utspänningen är av PWM-teknik.

Inkoppling

Nedan visas ett vanligt kopplingsexempel frekvensomriktare som matar en kortsluten 3-fas asynkronmotor.



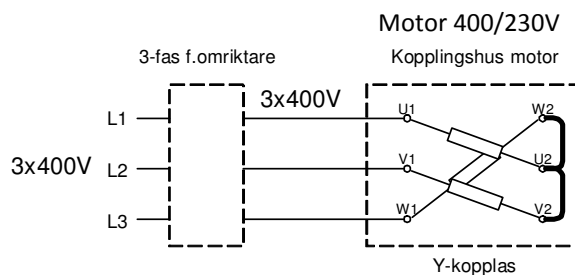
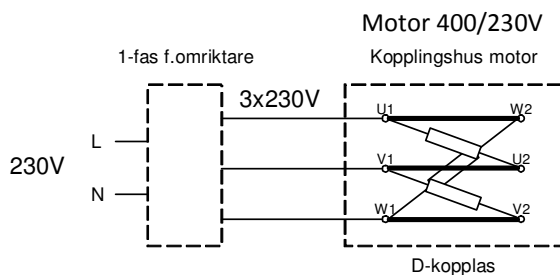
Med 3-fasmatning



Med 1-fasmatning

Exempel:

En motor med följande märkspänning 400/230V ansluts till 2 olika frekvensomriktare (1-fas och 3-fas).

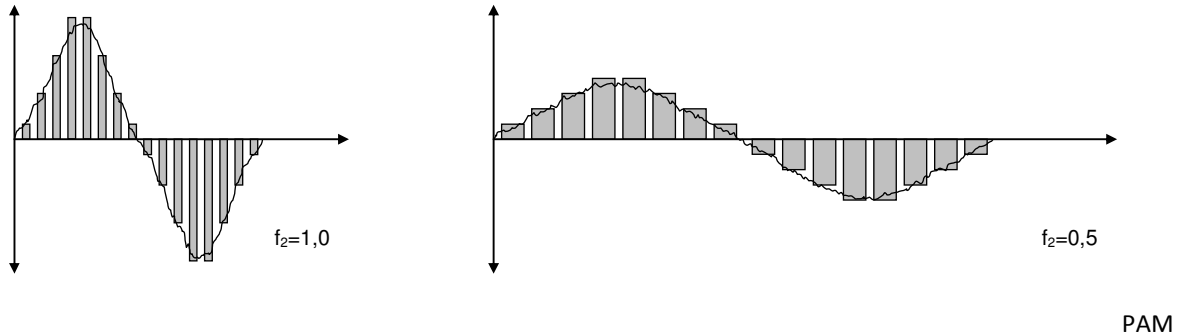


Enfasfallet måste motorn D-kopplas och för trefasfallet ska den Y-kopplas.

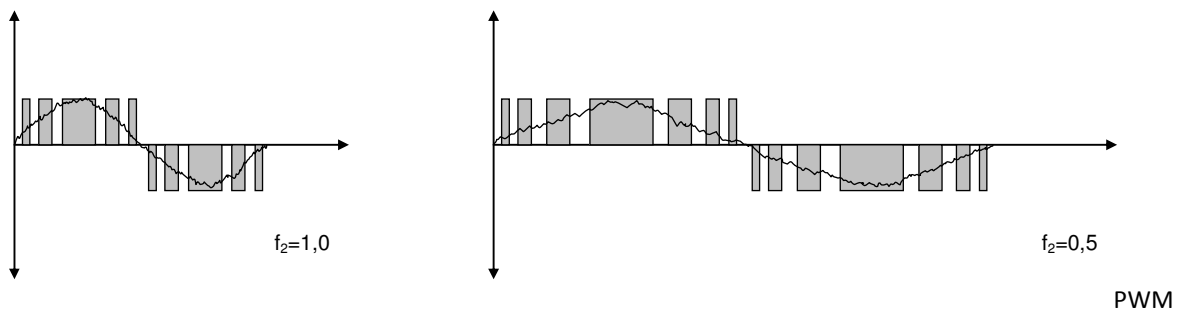
Eftersom en frekvensomriktare inte lämnar högre spänning än den matas med får man anpassa kopplingssättet på motorn efter både frekvensomriktarens matningsspänning och motorns märkspänning.

Moduleringsteknik

Det finns 2 olika tekniker för att reglera ut frekvensen från frekvensomriktaren till motorn. Den ena kallas **PAM** och betyder *pulse amplitude modulation* och den andra **PWM** och betyder *pulse width modulation*. Den första, PAM, är mindre vanlig metod. Tekniken innebär att amplituden moduleras (ändras) och på så vis kan den digitaliserade sinusspänningen regleras ut, se skiss. Den "taggiga" grafen visar sinussignalen ut från frekvensomriktaren som den ser ut vid mätning med ett oscilloskop. Figurerna visar vid 2 olika frekvenser.



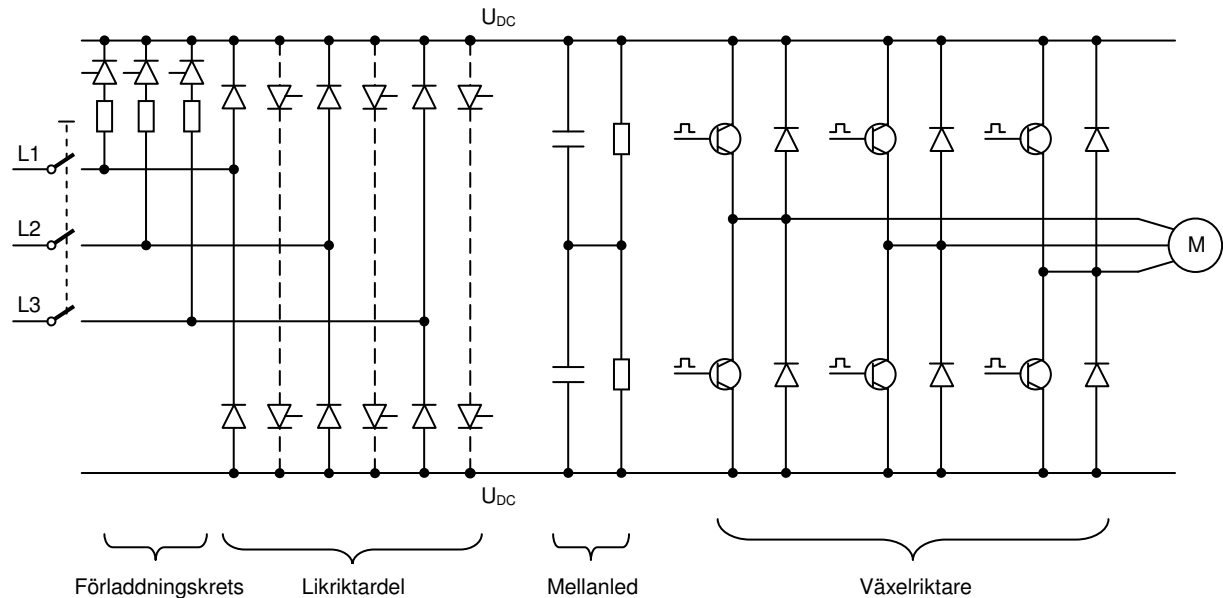
Den andra metoden, PWM är den mest använda och innebär att man modulerar pulsbredden. För att kunna reglera den digitala sinusspänningen modulerar (ändrar) man pulsens längd, hur lång signalen ska vara och på så vis skapar man en digital sinusspänning, se skiss. Figurerna visar vid 2 olika frekvenser.



Anledningen till att PWM är vanligast beror bl a på att det är enklare att reglera en pulslängd i stället för dess amplitud.

Frekvensomriktare konstruktion

En frekvensomriktare som arbetar med PWM-teknik likriktar den inkommande växelspanningen därefter "glättas" den likriktade spänningen för att sedan växelriktas innan den styrs ut till motorn. Här kan vi se en typisk PWM-krets med sexpulsl riktare.



Förenklat schema

Förladdningskrets

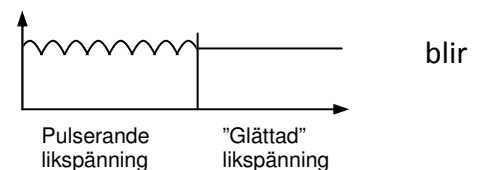
Är till för att fördröja starten (med någon sekund) om motorn skulle utsättas för hög start- och stopp frekvens (många start/stopp per tidsenhet) vilket skulle kunna skada kraftelektroniken i omformaren.

Likriktardel

I denna del likriktas växelspanningen. I figuren ovan visas sexpulsl riktare.

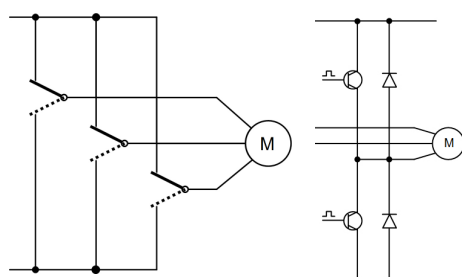
Mellanled

Här "glättas" den pulserande likspänningen så den jämn och stabil. Glättning sker med induktorer och kondensatorer.



Växelriktare

Via halvledare styrs matningsspänningen till motorn. Genom att den övre resp. nedre halvledaren öppnar och stänger (synkroniserat) matas en digitaliserad växelspanning till motorlindningarna enligt PW-teknik.

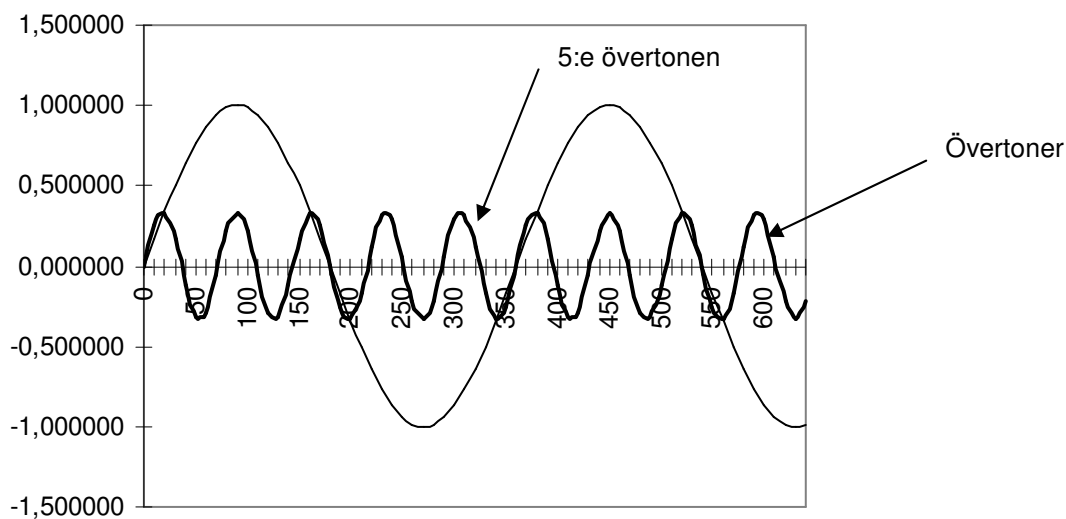


Halvledarna fungerar som snabba strömställare (se figur här).

Med den frekvens som de går till/från kallas för switschfrekvens eller moduleringsfrekvens.

Moduleringsfrekvensen/Switchfrekvens och övertoner

På de flesta frekvensomriktare kan man ändra den s k switchfrekvensen även kallad moduleringsfrekvensen. Moduleringsfrekvensen bestämmer hur mycket "staplarna" ska hackas sönder. Ju oftare desto jämnare blir den digitaliserade sinuskurvan. Men samtidigt blir övertonerna högre med högre moduleringsfrekvensen. Vid höga moduleringsfrekvensen kan man även höra att motorn går "hårdare" det skapas en slags resonans i motorn som återges i högre ljud från motorn. När en halvledare går till/från skapas en överton (som ligger på en frekvens över det matande nätet 50Hz och som är hörbar) som genereras tillbaka på det matande nätet. Dessa övertoner stör annan utrustning och får därför (enligt lag) inte vara alltför stora. För att ta hand om dessa övertoner kopplar man i induktanser på de matande ledarna till frekvensomriktaren. Dessa induktanser benämnes ofta EMC-skydd (electromotoric compability = elektromotorisk kompabilitet).



Den 5:e övertonen är normalt icke önskvärd.

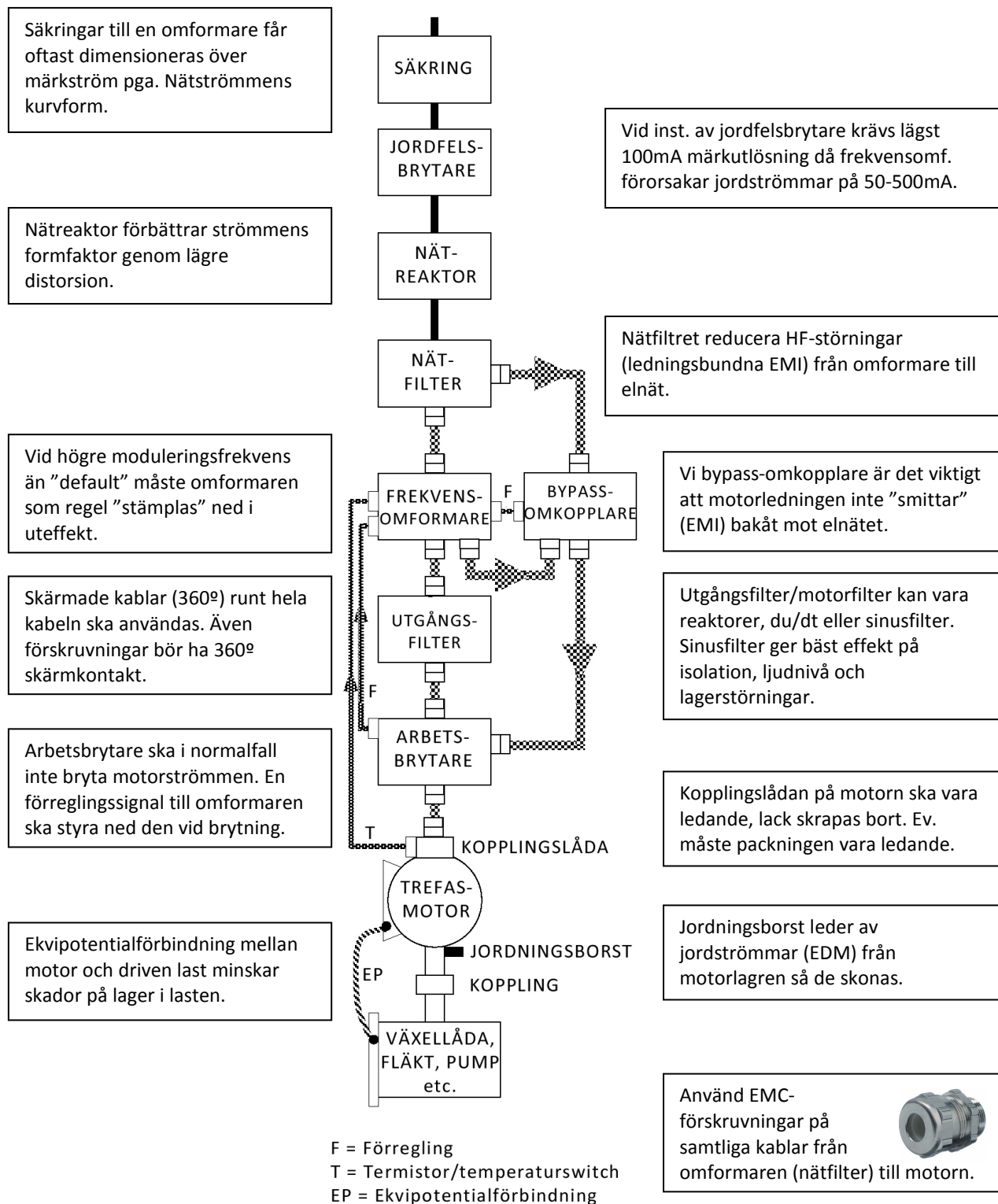
De jämna övertonerna 2, 4 o.s.v. tar ut sig själva och är normalt inget större problem.

EMC

EMC (Electro Magnetic Compatibility) översatt till svenska -Elektromagnetisk förenlighet. Med EMC avses komponenter som ingår i ett system skall fungera i harmoni med övriga komponenter i samma system. En komponent får inte störa eller påverka andra komponenter som skulle kunna leda till fel.

De övertoner som kan uppstå med halvledarteknik som i en frekvensomriktare, måste förebyggas annars kan det störa andra komponenter i nätet. För att eliminera dessa ska kablage till motor vara försedd med skärm som jordas och frekvensomriktaren ska förses med ingångsfiler på matningssidan (induktanser).

Installation frekvensomriktare



Nätreaktor

Nätreaktorer används för att minska elnätets distorsion (förvrängning) och förbättra därmed formfaktorn i växelströmmen. Med nätreaktorer skyddar man elektroniken i frekvensomriktare, servoförstärkare och annan elutrustning ifrån transienter och spikar ifrån elnätet.

- fas eller 3-fas -matning
- Nätpänning 230 V-690 V
- Märkström 1-2100 A
- Kortslutningsspänning $U_k=2\%$, $U_k=4\%$



Nätfiltret (EMC)

Nätfiltret reducerar HF-störningar. Det används för att elektriskt avskärma elapparater, frekvensomriktare, servo, tvättmaskiner, fläktar, datorer etc. Filtret ska anslutas på inkommande ledare före frekvensomriktaren.

- 2-,3- och 4-fas filter
- Matningspänning 230-690 V
- Märkström från 1-2.500 A



dU/dt-filter

Ett dU/dt-filter ska monteras direkt efter frekvensomriktaren på motorkablarna. Filtret ser till att dämpa spänningsspikar som uppkommer i moderna frekvensomriktare med snabba stigtider och höga moduleringsfrekvenser. dU/dt-filter skyddar isolationen i motorlindningarna samt minskar lagerströmmar som uppkommer vid frekvensomriktardrift. Detta är speciellt viktigt vid korta kabellängder.

- Minskar lagerströmmarna i motorn
- Skyddar isolationen i motorlindningarna
- Reducerar spänningsspikarna



Sinusfilter

Sinusfilter ansluts mellan frekvensomriktarens utgång och motorn. Det monteras i direkt anslutning till frekvensomriktaren. Sinusfiltret ombesörjer att de fyrkantformiga spänningspulserna omvandlas till nära nog perfekt sinusform mellan motorfaserna. Dessutom får man en signifikant reduktion av motorströmmens övertonshalt. Filtret reducerar spänningens stigtid du/dt och förhindrar transienter på motorplinten. Därtill kommer laddningsströmspikarna att minska då man har långa motorkablar såväl som tillsatsförluster i motorn.

Sinusfilter är konstruerade för en viss moduleringsfrekvens hos frekvensomriktaren. Den minimala moduleringsfrekvensen som skall ställas in på frekvensomriktaren är beroende av filtret. Sensorlös vektorreglering kan inte tillämpas.

- Minskar lagerströmmar i motorn
- Skyddar isolationen i motorlindningarna
- Spänningen blir nära nog perfekt sinusform mellan motorfaserna
- Tillåter långa skärmade motorkablar (<300m)



Installation av frekvensomriktare (checklista)

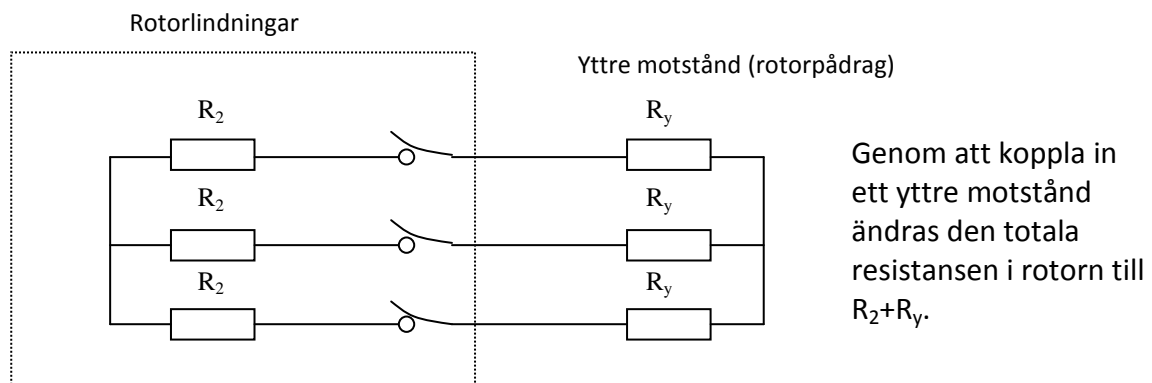
- Planera installation. Det innebär att även undersöka vilka övriga störkänsliga apparater som finns i närmiljön till frekvensomriktaren. Hur ser ledningsdragningarna ut för dessa apparater. Hur ser befintligt jordsystem ut?
- Dimensionera frekvensomriktaren efter motorns märkström.
- Tillse att installationen genomförs efter tillverkarens instruktioner. Detta för att CE-märkningen skall gälla!
- Behåll en obruten skärm, "Faradaybur", från motor till frekvensomriktarens nät sida. Denna skärmning omfattar även till frekvensomriktaren anslutna signalkablar.
- Använd alltid tri-symmetrisk motorkabel d v s tre fasledare och skärm. Vid montage i mycket störkänsliga miljöer kan en kabel med dubbla skärmar användas. Yttre skärmen jordas då endast i frekvensomriktaren.
- Tillse att motorkabeln har en hög spänningstålighet, om dess längd överstiger 5-10 meter, så att inte isolationen åldras i förtid pga överspänningar på motorsidan. Detta kan ge upphov till en ökad frekvens av jordfel i motorkabel. Sinusfilter ger extra skydd av ledarisationen.
- Förlägg inte motorkablar bredvid nät- och eller signalkablar. Avståndet till nätkablar skall vara minst 30 cm och till signalkablar minst 50 cm. Alla kabelkorsningar mellan motorkablar och eller kraft- och signalkablar skall ske men 90 graders vinkel.
- Motorkablar skall jordas med 360 graders jordning i både motor och i frekvensomriktarskåp.
- Signalkablar mellan frekvensomriktare och övriga apparater skall jordas 360 grader i bägge ändarna.
- Vid installation i känsliga miljöer kan utgående motorkabel i frekvensomriktaren förses med ferritringar eller du/dt-filter för att minska störnivåer i motorkablar. Denna åtgärd är oftast även gynnsam för att minska lagerströmsproblematiken i frekvensomriktardrivna motorer.
- Kabelstegar skall jordas.
- Tillse att alla metallytor på motorer, skåpdetaljer, kabelstegar osv som skall ligga mot varandra inte är målade. Skapa i så fall god kontakt. Eftersträva hela tiden så stora kontaktytor som möjligt.
- Undvik generellt att mata frekvensomriktare via jordfelsbrytare då jordströmmar på 500mA inte är ovanligt. Det kan vara mycket svårt att lyckas med detta utan att brytaren löser ut under drift.
- Frekvensomriktardrifter skall inte faskompenseras!

Släpringad Asynkronmotor

Vi har hittills talat om asynkronmotorer där rotorn varit "ihopkopplad" i sina ändar. Denna typen av motor är den vanligaste och kallas för *kortsluten asynkronmotor*. Motsatsen till denna typ är en släpringad asynkronmotor. Den släpringade asynkronmotorn blir alltmer sällsynt då den är dyr relativt den kortslutna och sämre driftekonomi. De drifttegenskaper en släpringad asynkronmotor har kan man i regel idag lösa med modern kraftelektronik som t ex mjukstartsdon, frekvensomriktare.

En släpringad asynkronmotor har en kollektor/kommutator så att rotorlindningarna elektriskt sett är åtkomliga för "yttrevärlden". Anledning till att ha denna anordning är för att kunna ändra R_2 värdet och på så vis kunna reglera rotorns varvtal.

En släpringad asynkronmotor har relativt bra startmoment.



Om R_2 som i detta fall får repr. rotorns totala resistans, kommer eftersläpningen (s) att ändras, då kommer också rotorns varvtal (n_2) att påverkas.

$$M = \frac{k_M \times U_1^2 \times s}{R_2}$$

Rotorns varvtal beräknas nu enligt:

$$n_2 = n_1(1 - s)$$

Om man tex. varvtalsstyr en släpringad asynkronmotor så att eftersläpningen är 0,5 kommer enligt formeln (tidigare)

$$P_{cu2} = \frac{s}{1 - s} \times P_2$$

att ge dubbelt så stora förluster. Eller rättare sagt man får lika stor axeleffekt som förluster. Detta innebär "onödig" uppvärmning av yttre motståndet (även kallat -rotorpådrag). Skall man varvtalsstyra är det ur ekonomisk perspektiv bättre att använda en frekvensomriktare det blir också förmodligen billigare (driftkostnaden).