

# Frekvensomriktare



guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet



Energimyndigheten



Teknikföretagen

**ELFORSK**

Denna guide har sammanställts av:

Sven-Erik Berglund, SEB-Elkonsult  
Rejdar Gustavsson, NORBO Kraftteknik AB  
Gunnar Englund, GKE Elektronik AB  
John Åkerlund, Avbrottsfria Kraftnät UPN AB

på uppdrag av Elforskprojektet "Kunskapsplats elkvalitet"

Stockholm i november 2004

Åke Sjödin  
Projektledare, Elforsk

# Sammanfattning

*Frekvensomriktare används för varvtalsstyrning av en rad olika elmotordrifter inom såväl fastigheter som industrianläggningar. Varvtalsstyrning är ett effektivt och energibesparande sätt att reglera olika processer.*

*I installationer med frekvensomriktare förekommer inte sällan EMC-problem på grund av brister vid såväl anskaffning som vid installationen av frekvensomriktare. Dessa EMC-problem kan yttra sig som svårigheter med driften av den installerade frekvensomriktaren eller som svårigheter med annan utrustning som också är ansluten till det aktuella elnätet.*

*För att kunna ta tillvara fördelarna med bra varvtalsreglering och undvika problem och svårigheter vid användning av frekvensomriktare behöver elementär kunskap om de viktigaste förutsättningarna för framgångsrikt anskaffnings- och installationsarbete spridas till så många som möjligt.*

*Guidens ska ge en gemensam kunskapsgrund och kunna vara en mall för diskussioner mellan parterna i en upphandling av frekvensomriktare och installation av dessa. Elkvalitet är resultatet av ett samspel mellan tre intressenter och parter: köparen och anläggningsinnehavaren, elnätägaren och utrustningsleverantören. Parterna har här ett gemensamt ansvar och intresse av en så störningsfri drift i anläggningen som möjligt. Kunden och köparen måste kunna ställa specificerade krav för att hans anläggning ska få en god driftsäkerhet.*

## Dokumentets struktur

*Dokumentet består av tre delar:*

*Del 1 är ett prefix som innehåller en checklista och två sammanfattningar av huvudinnehållet i dokumentet. Checklistan, som är mycket konkret och praktiskt inriktad, är avsedd att ge förutsättningar för en framgångsrik installation.*

*Del 2 utgör den egentliga rapportdelen. Här förs en diskussion om vad som är viktigt att tänka på vid införande av frekvensomriktardrifter.*

*Del 3 är en bilaga som ger en grundläggande förståelse för problematiken vid frekvensomriktardrifter. Det är ett omfattande kunskapsområde och för att göra rapporten hanterlig men samtidigt förvissa oss om att diskussionen i den blir begriplig har denna bilaga sammanställts. Den kan läsas fristående av den som så önskar och i rapportdelen finns det kontinuerligt hänvisningar till fördjupningsstycken i bilagan för respektive del i rapporten.*



***Prefix***



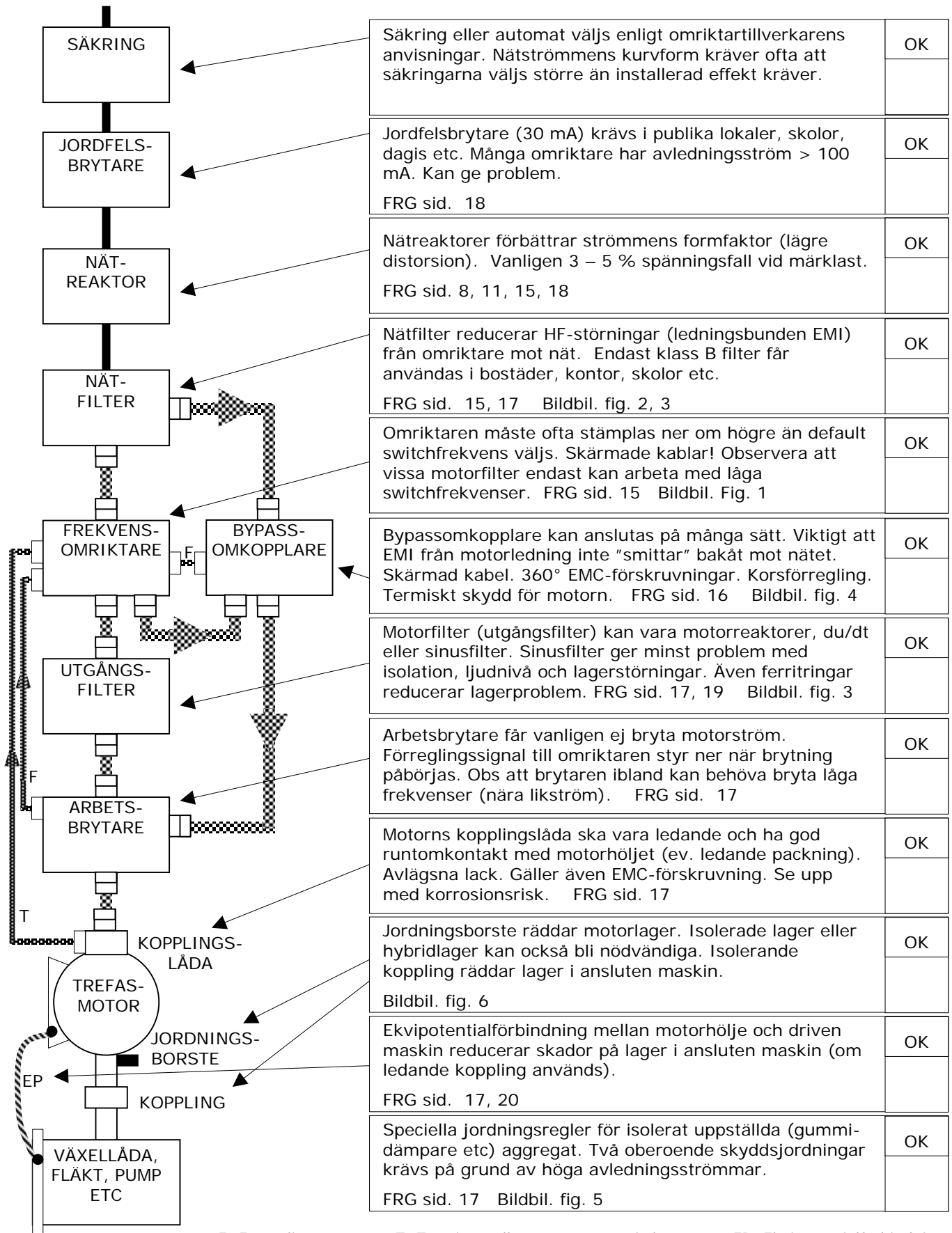
## CHECKLISTA FÖR PWM FREKVENSSOMRIKTARINSTALLATIONER

Följ tillverkarens rekommendationer för EMC, lagerström etc. Anpassa till aktuell installation genom att kryssa bort ej aktuella komponenter

FRG: Elforsks "Frekvensomriktare, guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet"

ANL: \_\_\_\_\_ POS: \_\_\_\_\_ U: \_\_\_\_\_ V P: \_\_\_\_\_ kW

Anm: \_\_\_\_\_ sign: \_\_\_\_\_ datum: \_\_\_\_\_



F: Förregling

T: Termistor eller temperaturswitch

EP: Ekvipotentialförbindning

EMCFÖRSKRUVN. AVLÄGSNA LACK  
RUNT HÅL! SKRUVA EJ I ISOLERADE  
FLÄNSAR ETC! KORROSIONSSÄKRA!

KRAFTKABEL

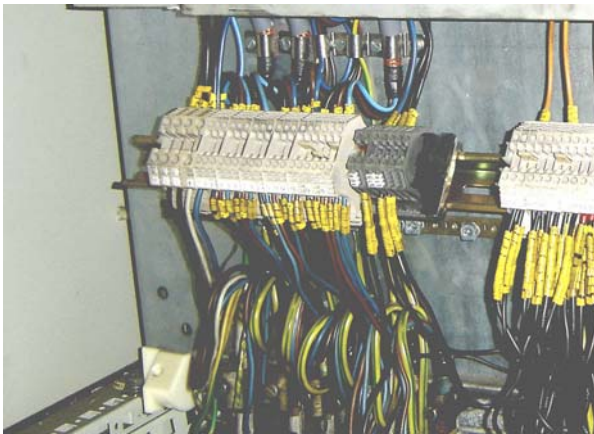
SKÄRMAD KRAFTKABEL

SKÄRMAD SIGNALKABEL

BLANK Cu

## CHECKLISTA FÖR PWM FREKVENSBOMRIKTARINSTALLATIONER

Bildbilaga. Några bilder från verkliga installationer. Bild 1-4 är varnande exempel. Bild 5 och 6 visar korrekta åtgärder. Foto: NEA och GKE.



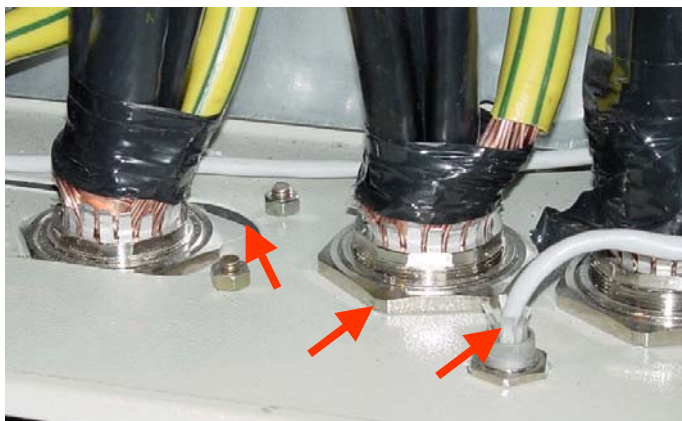
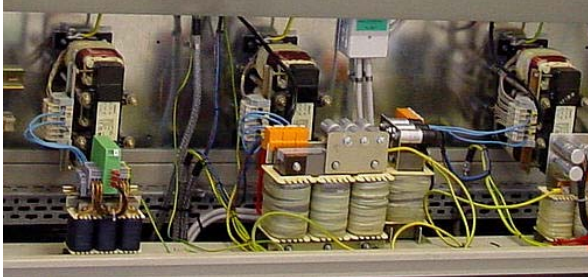
1 Inkonsekvent kabelval för motoranslutning. Skärmdade kablar i apparatskåpet och oskärmda efter plintraden. Oskärmda motorkablar i anläggningen ger hög störstrålning och är ej tillåtna vid PWM motorspänning.



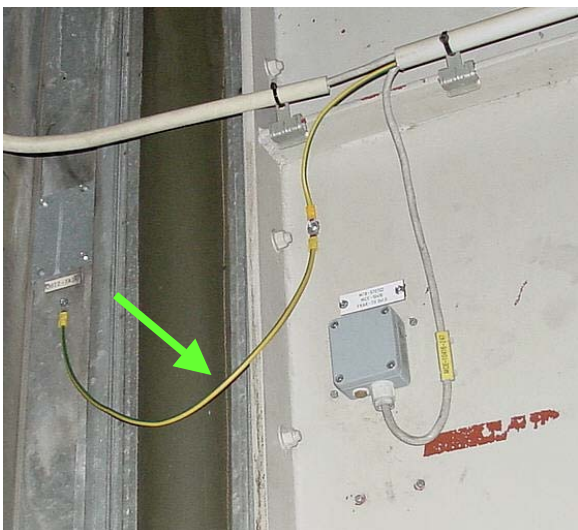
2 Ovan: Lägg aldrig störda och ostörda ledare i samma kabelkanal! Här ligger motorledare till och från reaktorerna till vänster tillsammans med nätkablar till och från filter. Även styrkablar ligger i kanalen i denna ambitiösa men totalt felaktiga installation.



3 Till vänster: Planera in alla filter från början! Och montera dem! Annars tvingas du ta till dåliga, dyra och ineffektiva improvisationer i efterhand.



4 Nedan: EMC-förskrivningar får inte monteras direkt i lackad plåt eller flänsar med isolerande packning. Avlägsna lack, se till att flänsar har ledande packning eller god metallisk kontakt med apparatlådan. Styrkabeln i EMC-förskrivning ej avmantlad. Röda pilar visar feLEN.



5 Isolerat uppställda fläktaggregat måste förses med extra jordledare för att enstaka fel (brott i jordledare) inte ska orsaka personfara på grund av hög avledningsström i filter, kablar och motor. Grön pil visar extra jordning.



6 Jordningsborstar ofta nödvändiga för att skydda lagren mot EDM (elektrokorrosion på grund av strömgenomgång). Här visas dubbelmontage med en lågresistiv och en slipande borste som håller kontaktytan ren. Gröna pilar visar på borstarna.



# Sammanfattning dimensionering

## *Vi sammanfattar dimensioneringsavsnittet i en punktlista där vi repeterar några viktiga punkter:*

- Vilken lasttyp tillhör den aktuella lasten  $d v s$  var inom lastens varvtalsområde har vi största momentkravet?
- Ställs det några speciella krav på driften angående acceleration/ retardation?
- Inom vilket varvtalsområde kommer motorn att arbeta? Får vi rimliga effektkrav på motorn eller skall vi välja en växellåda (en vanlig lösning om lastvarvtalet är lågt)?
- Uppvisar det matande nätet stora spänningsvariationer? Undersök och dimensionera motorn för den lägsta spänning som kan accepteras.
- Frekvensomriktardrifter skall inte faskompenseras!
- Dimensionera frekvensomriktaren efter motorns märkström.
- Vilken typ av frekvensomriktare skall användas?

## *Det styrs bla av följande fyra punkter:*

1. Vilka krav ställs på moment- och/eller varvtalsreglering? Räcker det med en enkel frekvensomriktare eller krävs det vektorreglering? Vid höga krav på varvtalsnoggrannhet krävs det även en pulsgivare.
  2. Kräver driften snabba inbromsningar? Små drifter använder lämpligast en bromschopper. För stora drifter kan det vara lämpligt att använda nätåtermatning, eventuellt i samband med ett gemensamt mellanled om det skall installeras många drifter.
  3. Vilka kommunikationskrav ställs på frekvensomriktaren? Räcker det med en start- och stoppknapp eller krävs det större kontrollmöjligheter för en operatör?
  4. Vilket fabrikat skall väljas?
- Hur ser det matande nätet ut med avseende på övertoner, hur stor är spänningsdistortionen innan frekvensomriktaren installeras? Kommer installationen att ge störande nivåer av spänningsdistorsion i nätavsnittet.

- Hur stor är spänningsobalansen i den tänkta matningspunkten för frekvensomriktaren? Är den större än 1-2 %?
- Hur stora spänningsdippar kan vi normalt förvänta oss i matande nät.

## *Vid en spänningsminskning kan vi identifiera tre problem:*

1. Vid en spänningssänkning kommer den i frekvensomriktarens lagrade energin att förbrukas.
  2. Vid en spänningssänkning kommer frekvensomriktarens lastström att öka och därmed dess förlusteffekt.
  3. Vid en spänningssänkning kommer motor-driftens reglerprestanda att försämrats.
- Om det matande nätet uppvisar spänningsdippar som stör driften kan något av följande förslag vara en lösning:
  - Öka den elektriska energi som finns lagrad i omriktarens mellanled dvs större mellanled.
  - Använda/öka den rörelseenergi som driftens roterande delar uppvisar  $d v s$  kinetisk buffring.
  - För små frekvensomriktare kan vi eventuellt använda en "On Line" UPS för att klara korta spänningsdippar.
  - Om UPS-drift skall användas måste vi försäkra oss om att denna även klarar av crestfaktorn för frekvensomriktarens lastström och inte bara dess RMS-värde.
  - Om vi vill kunna direktmata motorer vid ett frekvensomriktarhaveri måste vi försäkra oss om att matande nätavsnitt och dess apparater kan hantera motorernas startström. Vi måste även försäkra oss om att driften rent mekanisk kan hantera de momentstötter som uppstår vid direktstart. Motorn måste också skyddas termiskt genom ett separat skydd eftersom skyddssystemet i frekvensomriktaren inte är verksamt.

# Sammanfattning installation

*Vi sammanfattar installationsavsnittet i en punktilista där vi repeterar några viktiga punkter:*

- Planera installation. Det innebär att även undersöka vilka övriga störkänsliga apparater som finns i närmiljön till frekvensomiktaren. Hur ser ledningsdragningarna ut för dessa apparater. Hur ser befintligt jordsystem ut?
- 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.
- 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 feritringar 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 motvarandra inte är målade. Eftersträva hela tiden så stora kontaktytor som möjligt.
- Undvik generellt att mata frekvensomriktare via jordfelsbrytare. Det kan vara mycket svårt att lyckas med detta utan att brytaren löser ut under drift.
- Kontrollera anläggningens allmänna funktion med avseende på störningar efter frekvensomriktarinstallationen. Observera att anläggningar som uppvisar olika körsätt kan fungera klanderfritt i ett läge men uppvisa stora driftsstörningar i ett annat.

# **FREKVENSSOMRIKTARE**

- Råd för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet vid anskaffning, installation och drift av frekvensomriktare

# Innehållsförteckning

<b>Inledning</b> .....	3
Aspekter på frekvensomriktare .....	3
Varvtalsreglering .....	3
Energibesparing .....	3
EMC .....	4
Frekvensomriktarprojekt .....	4
<b>Förundersökning</b> .....	5
<b>Dimensionering</b> .....	7
Inledning .....	7
Lasttyp .....	7
Motortyp och storlek .....	7
Frekvensomriktare .....	8
Faskompensering .....	8
Storlek och typ .....	8
Automatisk uppstart .....	8
Nätåterverkan .....	9
Spänningsobalans .....	9
Spänningsdippar .....	9
Energilager .....	10
Kinetisk buffring .....	12
UPS-drift .....	13
Nöddrift .....	13
<b>Installation</b> .....	15
Produkt och materialval .....	15
Montage .....	15
Motorkablar .....	15
Jordning .....	16
Frekvensomriktare .....	16
Jordfelsbrytare .....	16
Idriftsättning .....	17
<b>Ombyggnad befintlig motordrift</b> .....	18
<b>Sammanställning standarder för frekvensomriktare</b> .....	19
<b>Referenslista</b> .....	20

# Inledning

## Aspekter på frekvensomriktare

Asynkronmaskinen är den absolut vanligaste elmotorn som används idag. Det är en robust konstruktion som kräver ett minimum av underhåll och som oftast tål betydande kortvariga överlast. Motorerna finns i standardiserade byggstorlekar med avseende på effekt och varvtal (poltal) och axelhöjd. Det har gjort det möjligt att bygga samman motorn med laster såsom pumpar och fläktar i motsvarande storlekar så att när vi har valt en önskad pump eller fläkt så finns det en passande motor som vi kan ta direkt från "hyllan". Det är lite som att bygga med lego.

Genom att mata växelströmsmotorn från en frekvensomriktare erhåller vi möjlighet att med hög noggrannhet styra motorns varvtal/ vridmoment. Därmed öppnas nya tillämpningsområden vilka tidigare endast var lämpliga för likströmsdrifter.

När en elmotor ska matas från en frekvensomriktare måste vi vara observanta på förändringar som vi kan tvingas göra. Vi kan komma att tvingas till förändringar av drivsystemet för att kompensera för de problem som en frekvensomriktardrift kan ge upphov till. Vid ombyggnad av befintliga motordrifter till frekvensomriktardrifter måste vi t.ex. försäkra oss om att den befintliga motorn uppvisar en tillräckligt hög isolationsnivå. Detta för att klara de spänningstransienter som kan uppstå vid frekvensomriktardrift. Vi måste även försäkra oss om att den använda motorkabeln och dess anslutningar uppfyller de krav som en frekvensomriktardrift ställer på den ur EMC-synpunkt. Kabeln kan annars bli en kraftig störsändarantenn.

## Varvtalsreglering

Det har alltid funnits behov av att i olika sammanhang kunna variera den drivna maskinens varvtal. Under lång tid har likströmsdrifter varit den enda realistiska lösningen för drifter som kräver noggrann varvtalsreglering och/eller snabb momentreglering. När de första frekvensomriktarna började användas för ca 25 år sedan blev det plötsligt möjligt att varvtalsstyra vanliga växelströmsmotorer.

De första frekvensomriktarna var behäftade med många problem. Det var t.ex svårt att arbeta vid låga frekvenser och varvtal då maskinens avgivna moment varierade grovt vilket gav upphov till bl.a vibrationer. Det var svårt att åstadkomma snabba och noggranna regleringar av varvtal och moment för de tidiga frekvensomriktarna. Varvtalsnoggrannheten kunde hanteras med hjälp av tachometer/pulsgivare.

Men momentreglering var mycket svårt att åstadkomma då det inte gick att mäta rotorströmmen vilken är proportionell mot avgivet vridmoment. Det var likströmsdrifternas starka sida dvs enkelheten att mäta likströmsmaskinens ankarström och därmed kunna erhålla snabb momentreglering. 10-20 ms är ett mått på hur snabbt momentregleringen för en likströmsdrift kan kompensera för en momentändring i lasten.

Man började tidigt försöka beräkna via olika motormodeller det vridmomentet maskinen belastades med. Det krävs dock många och snabba beräkningar för att kunna få tillförlitliga och aktuella momentvärden. Det är först sedan mikroprocessortekniken har utvecklats som det har blivit möjligt att förse frekvensomriktarna med tillräcklig beräkningskapacitet för rimliga pengar. Med dagens mest avancerade frekvensomriktare kan vi erhålla momentregleringar som har en regleringstid av 2-4 ms.

När vi arbetar med frekvensomriktare som inte använder någon motormodell utan enbart styr varvtalet utifrån frekvensändringar pratar vi om skalärstyrning, eller u/f-styrning. När frekvensomriktaren använder en motormodell för att försöka beräkna lastmomentet samt rotorvarvtal, pratar vi generellt om vektorreglering.

## Energibesparing

Då asynkronmaskinen inte har kunnats varvtalsreglerats enkelt utan frekvensomriktare har man tidigare i många tillämpningar använts principen att "gasa och bromsa" samtidigt. Om luftflödet från en fläkt behöver justeras användes spjäll för att styra flödet, maskinen går dock på fullvarv. Samma förhållande gäller de flesta pumpdrifter. Strypreglning är vanligt även i

pumpdrifter. Flödet justeras då med en strypventil.

Fläktdrifterna i Sverige förbrukade ca 10 TWh år 2002, till en kostnad av 6 miljarder kronor. Denna energiförbrukning motsvarar ca 1,5 kärnkraftverk. Genom att byta ut spjällreglering (eller strypreglering) mot varvtalsreglering i vårt fläktextempel finns det möjlighet att spara energi. Visserligen minskar fläktens energiförbrukning något när spjället stängs, men inte lika markant som vid varvtalsreglering.

Om vi minskar varvtalet på en vanlig fläkt med kvadratisk moment från fullt varv till halva varvtalet kommer effektförbrukningen att sjunka till en åttondel av effektförbrukningen vid fullvarv. Intresset för energieffektivitet vid fläkt- och pumpdrifter är gammalt, men tidigare saknades enkla och kostnadseffektiva metoder att reglera varvtalet hos asynkronmaskiner.

## EMC

Frekvensomriktaren är en potentiell störsändare. Frekvensomriktaren skapar den önskade utspänningen vid en viss frekvens genom elektronisk switchning. Utspänningen kommer att vara uppbyggd av korta spänningspulser. Spänningspulsernas branta flanker dvs korta stigtider, ger upphov till mycket högfrekventa spänningsövertoner. Dessa kan ge upphov till störningar på frekvenser över 100 MHz.

Vi kan återfinna dessa störspänningar både på frekvensomriktarens nät- och motoranslutningar. Den största störkällan vid frekvensomriktardrifter är omriktardelens anslutna motor-kablar. Dessa matar den anslutna asynkronmaskinen med en pulsbreddsmodulerad spänning vars spänningspulser, vid 400 V nätspänning, uppvisar en amplitud av 540 V. På grund av missanpassning av motorimpedansen mot kabelimpedansen vid längre kablar (över ca 10 meter) erhåller vi spänningsreflektioner vid

motoranslutningen. De kan ge upphov till spänningsspikar vid motoranslutningen på dubbla mellanledningsspänningen dvs över 1000 V.

Om asynkronmaskinen är ansluten via en oskärmad kabel, dvs en vanlig fyrledarkabel med PEN-ledar, kommer denna att fungera som en sändarantenn och vi kan få stora störfält som stör bl a radiokommunikation. Det uppstår även kapacitivt kopplade jordströmmar i anläggningen. Om matande kabel till asynkronmaskinen är dragen via kabelstegar och/eller nära jordade metallytor kopplas en viss ström via jorden tillbaka till matande frekvensomriktare via transformatorns/centralens PEN-kretsar.

Vi finner i dag många frekvensomriktardrifter som förorsakar diverse störningar i närliggande apparatur som t.ex. mätgivare, styrsystem, datorkommunikationer osv. Vid en närmare undersökning av dessa installationer finner man att det oftast har brustit i installationen ur ett EMC-perspektiv. Det går t.ex. inte att montera en frekvensomriktare med oskärmade motorkablar.

EMC-problematiken är ett svårt område i samband med frekvensomriktardrifter.

## Frekvensomriktarprojekt

Vi kan dela in ett projekt för införande av frekvensomriktare i tre viktiga delmoment som bestämmer slutresultatet.

1. Förundersökning
2. Dimensionering
3. Installation

# Förundersökning

Förundersökningen måste göras med avseende på både dimensioneringen och installationen. Dimensionering och installation kan påverka varandra och bör göras med tanke på detta. Vi måste alltid planera frekvensomriktarinstallationen, så att den tar hänsyn till övriga installationer. Den måste ses som ingående i en helhet och inte som en isolerad företeelse.

Frekvensomriktare är en potentiell störningskälla och risken för störningar kan minimeras om förundersökningen görs med tanke på denna risk. Frekvensomriktaren får inte skapa nya problem som kanske blir större än de problem den avses lösa. Förundersökningen måste kunna svara på följande frågor:

- Var ska vi placera frekvensomriktaren
- Vilka störcänsliga apparater finns i dess närhet
- Vilka kabelvägar finns tillgängliga och vilken typ av kablar finns redan dragna där

Men innan vi kan fördjupa oss i förundersökningen för installationen av eventuella frekvensomriktare måste vi först dimensionera och bestämma oss för storleken på motor, kablage samt frekvensomriktare och matning. När detta är klart och vi har uppfattningar om dessa saker kan vi gå vidare med förundersökningen för installationen.

När vi har undersökt hur det omgivande anläggningsavsnittet är konstruerat är det nu dags att studera installationsanvisningarna från valt frekvensomriktarfabrikat. Om vi skall utföra en komplett nyinstallation är det förhållandevis enkelt att anpassa installationen så att den optimeras ur EMC-synpunkt.

Om vi däremot skall utföra en nyinstallation/ombyggnad av en frekvensomriktardrift i en äldre anläggning, så kan vi nu med facit av undersökningen av befintlig anläggning samt med installationskraven från tillverkaren skapa oss en klar bild av vad som krävs för en god installation. Ofta finner vi att installationen blir mer omfattande och dyrare än vad vi tänkt oss från början då vi inte beaktat vad installationen får för konsekvenser ur EMC-synpunkt. Åter till ritbordet!

Vid en installation av en/eller flera frekvensomriktare måste vi studera tillverkarens rekommendationer för installationen. Observera att om dessa rekommendationer inte följs gäller inte CE-märkningen för driftsavsnittet! Det innebär att det idag finns många motordrifter som inte har en giltig CE-märkning eftersom EMC-direktivets krav inte uppfylls. Det är en oftast dyrbar och alltid besvärlig process att erhålla CE-märkning för ett driftavsnitt. Observera att ett anläggningsavsnitt som inte är CE-märkt inte får användas!

## ***Varför bör vi då vara noggranna med monteringen av frekvensomriktare ur EMC-synpunkt?***

Frekvensomriktaren är en potentiell störsändare där dess omriktardel utgör en mycket större störningskälla än dess likriktardel. Då frekvensomriktaren skapar den önskade utspänningen vid en viss frekvens via switchar kommer utspänningen att vara uppbyggd av korta spänningspulser. Spänningspulsernas branta flanker dvs korta stigtid, ger upphov till mycket högfrekventa spänningsövertoner. Dessa kan ge upphov till störningar på frekvenser över 100 MHz.

Vi kan återfinna dessa störspänningar både på frekvensomriktarens nät- och motoranslutningar. Frekvensomriktarens mellanled är oftast försedda med drosslar för att minimera nätåterverkan från omriktardelens switchar.

Den största störcällan vid frekvensomriktardrifter är omriktardelens anslutna motorkablar. Dessa matar den anslutna asynkronmaskinen med en pulsbreddsmodulerad spänning vars spänningspulser, vid 400 V nätspänning, uppvisar en amplitud av 540 V. På grund av missanpassning av motorimpedansen mot kabelimpedansen vid längre kablar (över ca 10 meter) erhåller vi spänningsreflektioner vid motoranslutningen. Denna kan ge upphov till spänningsspikar vid motoranslutningen på dubbla mellanledningsspänningen dvs över 1000V. Se avsnittet "Motoröverspänningar", bilaga, sidan 40.

Om asynkronmaskinen är ansluten via en oskärmad kabel, dvs en vanlig fyrledarkabel med PEN-ledare, kommer denna att fungera som en sändarantenn och vi kan få stora störfält

som stör bl.a radiokommunikation. Det uppstår även kapacitivt kopplade jordströmmar i anläggningen. Om matande kabel till asynkronmaskinen är dragen via kabelstegar och/eller nära jordade metallytor kopplas en viss ström via jorden tillbaka till matande frekvensomriktare via transformatorns/centralens PEN-kretsar.

Vi finner i dag många frekvensomriktardrifter som förorsakar diverse störningar i närliggande apparatur som t ex mätagivare, styrsystem, datorkommunikationer osv. Vid en närmare undersökning av dessa installationer finner man att det oftast har brustit i installationen ur ett EMC-perspektiv. Det går inte att montera en frekvensomriktare som vi tidigare

har monterat en huvudkontaktor för motorer dvs oskärmad montage i anslutning till övrigutrustning och med oskärmade kablar.

EMC-problematiken är ett komplext ämnesområde. I bilagan finns det grundläggande information om EMC-problematiken i samband med frekvensomriktardrifter:

- Allmänt om EMC, (Elektromagnetisk kompatibilitet) sidan 25
- Högfrekventa störningar, sidan 28
- Störda apparater, sidan 33
- Motorkablar, sidan 38
- Motoröverspänningar, sidan 40
- Lagerströmmar, sidan 45



# Dimensionering

## Inledning

För att kunna utföra en riktig dimensionering måste vi ha stor kunskap om den driftsmiljö vi skall bygga en motordrift för. Ett mycket vanligt fel är att motordriften överdimensioneras, antingen av okunskap eller rädsla för att montera en för liten motor i förhållande till lastens moment. Det kan kännas tryggt att överdimensionera en motordrift. Men det medför onödigt höga maskinkostnader vid inköp samt kostnader för installation av elektrisk matning till drift. Det medför även att en motor som arbetar vid låga belastningsnivåer har en sämre verkningsgrad, dvs en felaktig dimensionering medför oftast att framtida driftskostnader för driften blir onödigt höga.

Vid dimensionering skall vi inte utföra några egentliga avrundningar av våra beräkningsresultat förrän hela dimensioneringen är klar. Därmed försäkras vi oss om att vi inte erhåller några "kedjefel" i våra beräkningar. Samt att vi då även vet om vi väljer att överdimensionera motordriften med t ex 25 % p g a framtida utbyggnadsbehov så blir överdimensioneringen endast 25 % och inget annat. Det är inte ovanligt att man lägger till en "säkerhetsmarginal" i alla enskilda steg i en dimensionering. Men då förlorar vi kontrollen över dimensioneringen! Det finns dock en orsak till att vi eventuellt vill överdimensionera en drift, och det är livslängden. Genom att överdimensionera en motordrift eller enskilda komponenter kan vi öka driftens livslängd. Det kan vara lämpligt för driftskritiska avsnitt där ett haveri kan medföra långa avbrott. Men denna eventuella överdimensionering är lämplig att utföra efter att den generella dimensioneringen är klar. Därmed har vi fortfarande kontroll över processen. Det kan dock bli nödvändigt att göra om dimensioneringen p g a att vi väljer en större komponent. En större motor kan medföra att vi måste öka storleken på matande frekvensomriktare, kablar samt skyddsapparatur.

## Lasttyp

För att kunna göra en riktig dimensionering måste vi veta hur lasten uppför sig inom sitt givna varvtalsområde. Se vidare "Lastens varvtalsområde", bilagan, sidan 13.

Vi kan identifiera fyra huvudtyper av lastmoment:

1. **Konstantmoment**
2. **Konstant uteffekt**
3. **Proportionellt moment**
4. **Kvadratisk moment**

När vi har identifierat lasttypen vet vi även vad vi kan förvänta oss i termer av vridmoment/effektbehov vid en varvtalsändring av lasten. Utifrån lasttypens momentkurva och specifik apparats datablad kan vi nu identifiera det maximala moment som krävs inom varvtalsområdet.

Vi måste även ta hänsyn till eventuella krav på acceleration av lasten. Om det finns minimikrav på hur lång tid det får ta att accelerera och/eller retardera lasten mellan stillestånd och arbetsvarvtal måste vi nu beräkna, utifrån tröghetsmomentet för hela motordriften, hur stort vridmoment som krävs för detta.

Observera att för laster med större tröghetsmoment är det inte ovanligt att accelerationsretardationskravet blir bestämmande för motors storlek, dvs momentet kräver ett större vridmoment än vad som krävs vid normaldrift.

## Motortyp och storlek

När vi har identifierat lastens varvtalsområde och maximala momentbehov är det dags att välja motor. Om lastens maximala varvtal är t ex 1400 rpm och det maximala vridmomentet är 25 Nm ger en snabb titt i en motorkatalog indikationen att en 4-polig asynkronmotor på 4 kW är en lämplig motor. Men det är helt beroende av lastens typ d v s en kvadratisk momentkurva som en pump ofta uppvisar har sin momenttopp vid högsta varvtalet.

En transportör har däremot ett momentbehov som är någorlunda konstant inom varvtalsområdet. Vid frekvensomriktardrift kommer bl a motors kylning att vara en funktion av motorvarvtalet d v s i takt med att varvtalet sjunker även motors kylförmåga. Se även "Kylning", bilagan, sidan 9.

Om vi matar motorn med en spänning som har en frekvens högre än 50 Hz kommer även belastningsgraden att behöva minskas på maskinen då motorströmmen minskar p g a lindningarnas ökande impedans vid frekvensökning. För att undersöka om vi måste överdimensionera den motor vi tänkt använda använder vi en belastningsgraf. Se ”Belastningsgraf” Motor-Frekvensomriktare”, bilagan, sidan 12.

Figuren visar en belastningsgraf för en tänkt 2- till 8-polig motor som matas med en frekvens mellan 0 till 100 Hz. Belastningsgrafen visar även belastningsbegränsningen för en tänkt frekvensomriktare vid start samt vid temporära överlast. Lägg ut lastvarvtalet i grafen. Försök att finna den motor som ger bästa balans mellan förluster över och under 50 Hz.

Om lasten kräver stora moment vid låga varvtalet är det oftast bäst att använda en växellåda för att inte erhålla orimliga effektkrav på drivande motor, se även ”Växellåda”, bilagan, sidan 14. I detta skede kan det ibland krävas betydande jämförelser mellan olika motoralternativ, med och utan växellåda, med och utan extern motorkylning osv för att finna det lämpligaste motoralternativet.

Kom även ihåg att undersöka det matande nätets beteende. Uppvisar nätet markanta spänningsdippar (större än 5 %) måste antagligen motorn överdimensioneras då dess vridmoment är kvadratisk beroende av matande näts spänning. Se även ”Vridmomentets spänningsberoende”, bilagan, sidan 17. (Detta berörs även under avsnittet om frekvensomriktare).

## **Frekvensomriktare**

### **Faskompensering**

**Observera att frekvensomriktardrifter inte skall faskompenseras.** Frekvensomriktarens  $\cos \phi$  vid 50 Hz mot nätet är konstant ca 0,98. (Om vi även tar hänsyn till övertoner erhåller vi ett  $\cos \phi$  på ca 0,94.) Motorn erhåller sin magnetiseringseffekt via frekvensomriktarens mellanled.

### **Storlek och typ**

När vi har bestämt drivande motors storlek är det mycket lätt att välja storlek på frekvensomriktare. Matande frekvensomriktare skall kunna leverera en lastström som är minst lika stor som motorns märkström. Men valet av typ samt fabrikat av frekvensomriktare kan vara betydligt svårare.

### **Nedan följer fyra punkter att beakta.**

#### **1. Vilka krav på varvtalet och/eller momentreglering ställer lasten:**

Räcker det med en frekvensomriktare som arbetar med skalärstyrning för att hantera dessa krav, eller krävs det vektorreglering eller kanske även pulsgivare för att hantera höga noggrannhetskrav.

#### **2. Kräver driften snabba inbromsningar/ minskningar av varvtalet:**

Om så är fallet måste vi fundera på om vi måste installera t.ex en bromschopper för att hantera den bromsenergi som motorn matar in i frekvensomriktaren under retardationsfaserna.

Om vi inte hanterar denna energi kan den, om den är tillräckligt stor i förhållande till motorns förluster, förorsaka en allt för hög höjning av mellanledets spänning varvid frekvensomriktaren löser ur och larmar för hög mellanledningsspänning.

#### **3. Vilka krav på kommunikation ställs på frekvensomriktaren:**

Räcker det med en start och stoppknapp eller krävs det även en möjlighet att styra varvtalet via en potentiometer eller skall motordriften ingå i en avancerad process och kommunicera med överordnade system via ett nätverk?

#### **4. Vilket fabrikat skall vi köpa:**

Vilket pris betingar likvärdiga frekvensomriktare hos olika leverantörer? Vilka frekvensomriktare är sedan tidigare installerade dvs vilka reservdelar finns redan samt vilka typer behärskar vi redan.

Vilken support kan vi erhålla? Om det är ett generationsskifte mellan olika frekvensomriktarfamiljer kan det vara lämpligt att även undersöka andra fabrikat vid en nyinstallation, då en ny generation ofta kan skilja sig från föregående lika mycket som från ett nytt fabrikat.

### **Automatisk uppstart**

Om motordriften är otillgängligt monterad, t ex en pumpdrift ute i ett fjärrvärmenät, så kan vi kanske låta frekvensomriktaren starta upp automatiskt efter ett stopp. Samma bedömningsgrunder för vilka direktstartade motordrifter som skall förses med 0-spänningsutlösning kan oftast användas för att bedöma vilka frekvensomriktardrifter som kan direktstartas efter spänningsbortfall.

Andra drifter kräver att frekvensomriktardriften startas manuell eller styrs via en större automatisk uppstartssekvens t ex för en pappersmaskin.

## Nätåterverkan

En frekvensomriktare som ansluts till det matande nätet kommer att ge upphov till strömövertoner i det matande nätet. Dessa strömövertoner ger i sin tur upphov till spänningsövertoner i det matande nätet pga nätets kortslutningsimpedans. Se ”Övertoner”, bilagan, sidan 26.

Generellt bekymrar vi oss endast om spänningsövertoner i våra nät. Dock kommer allt för stora strömövertoner att ge upphov till ökade termiska förluster i matande transformator. En tumregel är att strömdistorsionen för udda övertoner ej får överstiga 5 % av transformatorns märkström samt att jämna övertoner ej skall överstiga 1- 2 % (beroende på transformator). Det medför att vi kan tvingas att minska belastningen för en transformator som börjar närma sig märkström och har en hög andel olinjära laster, eller byta ut den mot en större transformator.

Enligt SS-EN 50 150 får inte spänningsdistorsionen överstiga 8 % för lågspänningsnät, men generellt rekommenderas att nivån inte överstiger 6 %. Observera dock att vissa industriella elnät kan uppvisa en betydligt högre distorsionsnivå. Dessa är dock dimensionerade för denna nivå. Frekvensomriktare är normalt inte speciellt känsliga för spänningsövertoner på matande nät och skall klara 8% utan problem. Direktanslutna motorer är dock betydligt känsligare för spänningsdistorsion.

Enligt SS-EN 60 034-1 skall inte spänningsdistorsionen för en direktanslutna asynkronmaskin överstiga 2-3 %, beroende av motortyp. Det betyder att om vi har blandade laster, d v s både direktanslutna och frekvensomriktardrivna motorer, måste vi vara observanta. Detta så att vi inte p g a nyinstallationer av frekvensomriktardrifter i nätavsnittet driver upp spänningsdistorsionen över denna nivå.

Om spänningsdistorsionen överstiger detta värde måste belastningen på motorn minskas (gäller motor som arbetar vid märklast) eller en större motor installeras.

För ytterligare information om ström- och spänningsövertonsproblematik i elnätet, se Elforskrapporten ”Elkvalitetsguiden, för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet”.

## Spänningsobalans

Vid installation av frekvensomriktare måste vi vara observanta på eventuella spänningsobalanser i det matande nätet. Redan vid en spänningsobalans av 1 - 2 % kan en frekvensomriktare som arbetar vid märklast drabbas av driftstörningar. Detta då spänningsobalansen ger en lägre utspänning från frekvensomriktaren varvid motorns eftersläpning och ström ökar. Därefter kan det elektroniska motorskyddet i frekvensomriktaren lösa för överström.

Vid lite större spänningsobalans kan strömmen i den fas med lägst spänning upphöra att flyta då fasens toppspänning sjunker under frekvensomriktarens mellanledningsspänning. Detta ger en markant ökning av mellanledets spänningsrippel vilket i sin tur medför att vi erhåller momentvariationerna i motorn, sk pendelmoment

## Spänningsdippar

Vid installation av frekvensomriktare skall vi ta hänsyn till elnätets beteende även med avseende på spänningsdippar. Detta med tanke på att detta är det största enskilda elkvalitetsproblemet för många industrier.

### *Vid en spänningsminskning kan vi identifiera tre problem:*

- 1. Vid en spänningssänkning kommer den i frekvensomriktarens lagrade energin att förbrukas**
- 2. Vid en spänningssänkning kommer frekvensomriktarens lastström att öka och därmed dess förlusteffekt**
- 3. Vid en spänningssänkning kommer motordriftens reglerprestanda att försämrats**

#### **Punkt 1:**

I de flesta elektriska apparater som är reglerade på något sätt finns det ett energilager. I ett nätaggregat finner vi en kondensator vilken fungerar som energilager och därmed skapar en jämn utspänning.

Mellanledskondensatorn i en frekvensomriktare fyller samma funktion. En UPS använder stora kondensatorer eller batterier för att kunna leverera energi vid ett spänningsavbrott.

#### **Punkt 2:**

I takt med att matningsspänningen sjunker kommer apparaten att dra en allt större lastström då regleringen försöker hålla energiförbrukningen konstant. För asynkronmaskinen

kommer vridmomentet att minska och därmed ökar eftersläpning och även strömförbrukningen för frekvensomriktaren.

Vid en spänningsdipp under en viss nivå kommer frekvensomriktaren att lösa ut för underspänning i mellanledet. Det är nu dags att fundera på hur en sådan situation skall hanteras.

### Punkt 3:

Vid en spänningssänkning på matande nät kommer även spänningen till den frekvensomriktardrivna motorn att minska. Denna spänningsminskning kan ge upphov till betydande minskning av motorns vridmoment då detta är kvadratisk beroende av matningsspänningen. Därmed kan driftens reglersystem få avsevärda problem med att hålla varvtalet på önskad nivå vid momentvariationer.

## Energilager

En normal frekvensomriktare är ofta energimäsgit dimensionerad för att klara ett spänningsavbrott dvs 0V med 100 % last under 8-10 ms.

För känsliga drifter kan vi dimensionera mellanledets energilagringens förmåga för att motsvara storleken på de spänningsdippar vi önskar klara. För att bedöma nätets beteende måste vi först göra en nätanalys för att därefter kunna utifrån mätningarna bedöma eventuella storlekar på spänningsdippar.

När vi så har mätningarna kan vi enklare bedöma vad vi anser att det är rimligt att motordriften klarar. Här kan vi använda ITIC-kurvan som ett hjälpmedel för att definiera en graf som visar de gränsvärden vi önskar att frekvensomriktardriften skall klara. Denna graf kan sedan skickas till aktuella leverantörer i en upphandling.

Figur 1 visar ett exempel på en sådan kurva. I figuren ser vi två gränslinjer. Den övre representerar den gräns för överspänningar vi accepterar. Den undre representerar underspänningsgränsen. Y-axeln är graderad i procent av märkspänning och X-axeln är graderad i tid. Observera att denna axel är logaritmisk.

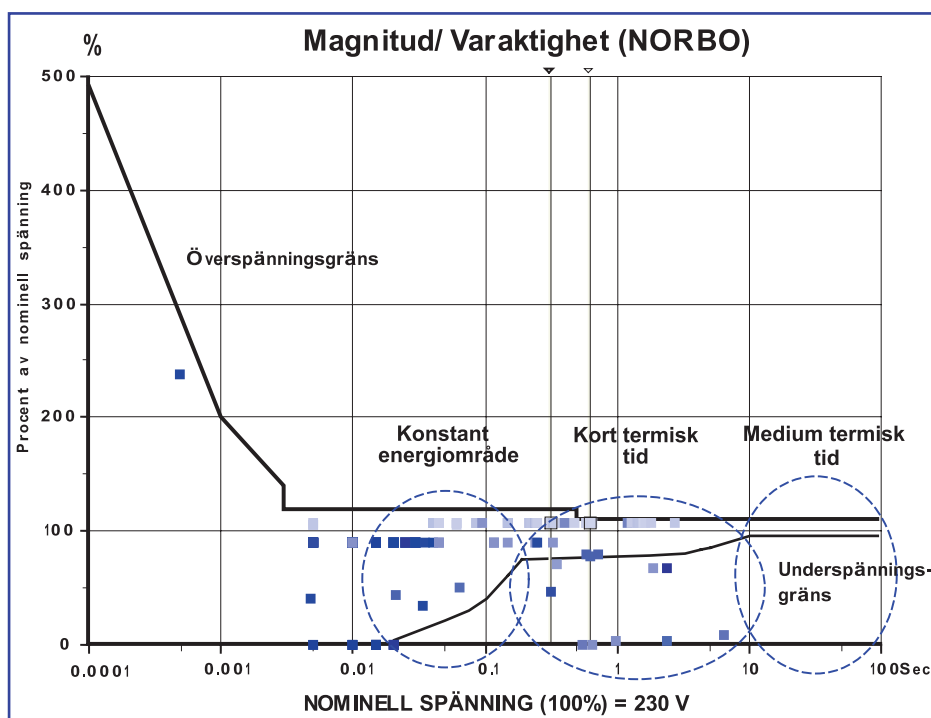


Fig 1.  
Magnitud/  
Varaktighet  
(NORBO)

Frekvensomriktarens känslighet för en spänningsdipp bestäms huvudsakligen av två faktorer:

1. Den elektriska energi som finns lagrad i omriktarens mellanled
2. Den rörelseenergi som driftens roterande delar uppvisar, dvs kinetisk buffring (se "Kinetisk buffring" sidan 13)

I figuren ser vi ett antal punkter som representerar mätvärden. Dessa anger spänningsavvikelsens storlek i procent samt avvikelsens varaktighet i sekunder. De punkter som ligger innanför våra två gränslinjer visar händelser vi kräver att frekvensomriktardriften skall klara. De spänningsvariationer vars mätvärden ligger utanför linjerna kan medföra störningar i driften men dessa accepterar vi.

Vi kommer att koncentrera oss på den undre gränslinjen då spänningsdippar är ett mycket vanligare problem än överspänningar. Den övre gränslinjen motsvarar ITIC:s övre gränslinje.

Extremt korta spänningsavbrott kommer inte att störa vår drift, även om spänningsfallet är 100 %. Detta då energiförlusten är mycket liten. Men någonstans går det en gräns för hur långa 'mikroavbrott' som utrustningen klarar. Denna gräns kan vi bestämma själva d v s det är storleken på frekvensomriktarens energilagring (dess mellanled) som bestämmer hur långa spänningsavbrott vi kan hantera utan driftstörningar.

Vi antar att frekvensomriktarens energiförbrukning är konstant. Det betyder att i takt med att spänningsdippen ökar, minskar den tid som utrustningen kan fungera problemfritt på denna spänningsnivå. Vi kan beskriva det som att ytan av en dip måste vara konstant, dvs om dip A är dubbelt så djup som dip B får dess varaktighet endast vara 50 % av dip B. Om vi kräver att frekvensomriktardriften skall klara en spänningsdip av 65 % under 150 ms finner vi detta krav beskrivet i kurvan i den streckade cirkeln benämnd konstant energiområde. Vårt energilagring, d v s mellanled, är nu dimensionerat för att kunna hantera denna lutning av kurvan. Observera att en standardomriktare skall klara detta värde utan ombyggnad.

Önskar vi klara en större spänningsdip och/eller en längre tid krävs det en ombyggnad av frekvensomriktaren. Observera att det är svårt att bygga om små frekvensomriktare p g a deras kompakta konstruktion.

Det kan vara ett rimligare alternativ att installera en större frekvensomriktare vilken har större energilagringmöjlighet i sitt mellanled. En variant kan även vara att installera en "On Line" UPS som matar en eller flera små frekvensomriktare. Råd gör med tilltänkt leverantör.

***Observera att de gränsvärden vi diskuterar endast avser apparater som arbetar nära eller vid märklast***

För en spänningsdip med en varaktighet längre än 175 ms upp till 10 sekunder finner vi gränsvärdet benämnd kort termisk tid. Detta representerar den termiska profilen för en elektronik- eller en elkraftskomponent som bör klara den ökade lastströmen p g a en spänningsdip med denna varaktighet och djup. Tillåten spänningsdip minskar successivt från 80 % till

95 % av nominell spänning. Om detta avsnitt skall börja vid 70 eller 80 % är en diskussion om hur lågt vi kan tillåta att matningsspänningen sjunker och apparaten fortfarande kan uppfylla sin funktion. Här använder vi 75 %. Observera att vi nu inte skall betrakta enskilda komponenter utan betrakta apparaten som helhet.

***Observera dock att SS-EN 61 000-2-4 anger tillåten spänningsvariation för ett klass 2 nät till +/- 10 %***

***Hur ser det aktuella nätets faktiska spänningsvariationer ut?***

Området från 10 till 100 sekunder avser laster med medium termisk tidskonstant t ex asynkronmaskiner. Dessa skall vara dimensionerade för att hantera en spänningssänkning av minst 5 % under längre tidsavsnitt. Det står oss givetvis fritt att dimensionera dessa apparater för att klara en större lastström som en funktion av en spänningsdip, men det kan vara en god ide att sätta snäva toleranser på de avsnitt som är mer termiska till sin natur. Därmed kan vi enkelt bestämma hur stor termisk buffert vi kräver av en apparat genom vår dimensioneringsberäkning.

Det kan synas enklast att även i detta område av kurvan kräva stora toleransnivåer men detta motsvarar helt enkelt större apparater, d v s de är märkta för en större förlusteffekt. Och det kostar pengar att dimensionera upp en apparat. Ofta mer pengar än att bara kräva att dess energilagringmöjligheter skall förbättras t ex via frekvensomriktarens mellanled.

Vad är då nackdelen med att kräva större energilagring i våra apparater? Ett problem är att när spänningen återvänder efter en kortvarig dip kommer vi att erhålla en uppladdningsström av kondensatorpaketen. Storleken av denna ström är en funktion av skillnadsspänningen mellan kondensatorspänningen och nätspänningen i det ögonblick spänningen återvänder, kondensatorns storlek, stigtiden på spänningsflanken samt storleken på induktanser i nätavsnittet. Vid normal start av t ex en frekvensomriktare är det strömbegränsningsresistorer inkopplade i serie med mellanledet för att begränsa inkopplingsströmmen.

När mellanledningsspänningen närmar sig märkspänning kopplas dessa resistorer bort och frekvensomriktaren är klar för drift. Men vid en spänningsdip under drift finns inte dessa skydds-

funktioner aktiva. Vi kan mildra eventuella strömtoppar genom att koppla induktorer i serie med fasanslutningarna. Därmed får vi en strömbegränsning vars dämpning ökar i takt med att spänningsflankens branthet ökar. Vi måste dock vara uppmärksamma på det spänningsfall som induktorn uppvisar under normaldrift. Det krävs noggranna dimensioneringar för att inte vi skall introducera mer problem än vad vi löser.

Ur ren kostnadssynpunkt kan det nog ibland vara billigare att installera en större frekvensomriktare som kan hantera strömökningen som uppstår när spänningen återkommer. Detta jämfört med ombyggnader av standardomriktare. Detta gäller framför allt mindre frekvensomriktare. En diskussion med aktuell leverantör kan klargöra den mest ekonomiska lösningen utifrån aktuell motoreffekt.

## Kinetisk buffring

En möjlighet som går att utnyttja i vissa driftsfall är att använda lastens tröghetsmoment som en energikälla för att kunna hantera spänningsdippar. Vid en spänningsdipp styr frekvensomriktaren ned utfrekvensen så att rotern roterar vid ett översynkront varvtal varvid motorn nu arbetar som generator och matar energi in till frekvensomriktaren.

“Priset” för denna lösning blir att driftens varvtal hela tiden sjunker då vi nyttjar den kinetiska energin hos lasten som energikälla. Har vi tur återvänder spänningen innan driften stannar annars har vi åtminstone stoppat driften på ett kontrollerat sätt.

Detta kan vara en stor vinst i vissa driftsfall där ett okontrollerat stopp kan förorsaka stora förluster av bearbetat material eller svåra skrot-

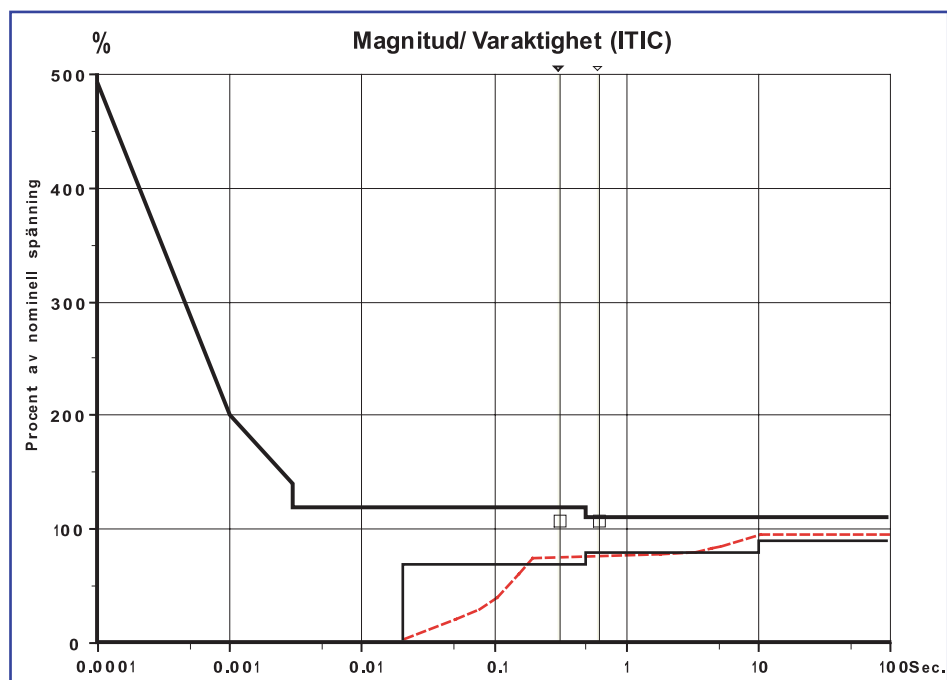


Fig. 2  
Magnitud/  
Varaktighet  
(ITIC)

Figur 2 visar skillnaden mellan den ursprungliga ITIC-kurvan och vår exempelkurva (streckad). Denna kurva kan synas generösare för långa tidsavsnitt, 90 % jämfört med våra 95 % nivå. Men denna skillnad kostar pengar p g a överdimensionering av apparater. Vår kurva ställer betydligt högre krav på apparaten i det korta tidsavsnittet jämfört med ITIC-kurvan. Men detta krav är förhållandevis billigt att uppfylla. Framför allt när vi börjar att ta hänsyn till vad driftstopp för korta spänningsdippar i många fall kostar.

hanteringar t.ex i kaskaddrifter där ett material bearbetas samtidigt i flera drifter t ex ett valsverk eller trådtrageri. Hur stora spänningsdippar /bortfall blir helt en fråga om förhållandet mellan lasternas energiförbrukning kontra hur mycket energi som finns lagrat i driftens rörliga delar. Många motordrifter uppvisar dock endast obetydliga tröghetsmoment i detta sammanhang. En pump är ett exempel på en motordrift med litet tröghetsmoment och därmed litet “energiföråd”. Ett sätt att erhålla ett kinetiskt energilagrar är att montera ett svänghjul

på en drift för att på så vis erhålla en viss immunitet mot spänningsdippar.

Möjligheten finns givetvis att kombinera ett större energilagring i frekvensomriktarens mellanled med att även utnyttja kinetisk buffring för att vinna lite mera tid samt även erhålla kontrollerade stoppsekvenser vid spänningsbortfall.

Denna lösning går enklast att implementera vid en större installation av frekvensomriktardrifter. Om vi låter alla frekvensomriktarna arbeta med en gemensam likriktare och ett gemensamt likspänningsmellanled är det enklare att överdimensionera mellanledet då det byggs i ett eget skåp.

Denna lösning innebär även att om någon motordrift går i översynkront varvtal dvs arbetar som broms/generator så kommer den energin att matas in i det gemensamma mellanledet. Vi kan även öka redundansen enkelt i ett sådan driftsavsnitt genom att låta mellanledet matas av två separata likriktare som matas via separata nätavsnitt/ transformatorer. Faller ett nätavsnitt ur fortsätter driften via det kvarvarande nätavsnittet. Denna lösning kräver dock oftast en större fabriksinstallation för att vara rimlig.

## UPS-drift

Om en UPS-anläggning används för kraftmatning av frekvensomriktare vid ett nätbortfall bör man vara observant på det faktum att strömriktarens nätström uppvisar en crestfaktor som är högre än crestfaktorn för en sinusformad ström. Crestfaktorn är förhållandet mellan toppvärdet och rms-värdet för en kurvform. Det betyder att nätströmmen för en frekvensomriktare kan uppvisa höga toppvärden även om rms-värdet är lägre.

Den lastström som en UPS-anläggning är märkt med anges oftast som en rms-ström med en antagen crestfaktor av 1,4 dvs värdet för en sinusformad ström. Om frekvensomriktardriften har en lastström som motsvarar UPS-anläggningens märkström kommer lastströmmens toppvärde att ge upphov till en överlast varvid det kan inträffa att UPS-anläggningen inte förmår att hålla upp nätspänningen. Det medför att motorns vridmoment minskar varvid lastströmmen ökar ytterligare.

Kontrollera alltid crestfaktorn för frekvensomriktardriften och att UPS-anläggningen kan leverera den nödvändiga toppströmmen utan att drabbas av överlast.

Observera att detta gäller UPS-anläggningar för både för kraft- och hjälpmatningar.

## Nöd drift

Frekvensomriktare går sönder! Det bör man ta i beaktande vid konstruktionen av en motordrift och fundera vilka konsekvenser ett frekvensomriktarhaveri får. Inom processindustrin är det vanligt att frekvensomriktare under en viss effektklass t ex 20 - 30 kW byts mot reservomriktare då felsökning på plats oftast ger stoppkostnader som kan vida överstiga kostnaden för en ny frekvensomriktare. Stora skåpmonterade frekvensomriktare måste oftast felsökas på plats. Reservdelar lagerhålls då som enskilda kretskort och kraftkomponenter.

OBS! Se till att ha aktuella kopior på frekvensomriktarens parameterlistor tillgängliga.

Vi kan spara många timmars stopptid med denna enkla åtgärd. Det kan ta lång tid att försöka återskapa en frekvensomriktares konfiguration om vi måste prova oss fram. Se även till att en manual för frekvensomriktaren finns tillgänglig.

Vissa drifter kan kräva att man även kan direktmata motorn från nät vid ett frekvensomriktarhaveri t.ex evakueringspumpar. En direktstart ställer oftast helt andra krav på ett elnät än en frekvensomriktarmatad motor. En asynkronmotor uppvisar en startström som kan vara 2 - 11 ggr motorns märkström, se t ex ABB:s motorkatalog. Inom tung processindustri utgör detta oftast inga problem då dessa ofta har mycket höga kortslutningseffekter i sina nät. I det borgeliga elnätet kan det dock ge upphov till betydande störningar om en motor direktstartas i nätet.

Om vi installerar en 4-polig 30 kW motor med en märkström av 55A kommer denna att uppvisa en startström enligt motorkatalog som är 8.2 gånger märkströmmen dvs 451A. Denna ström kräver oftast någon form av startapparat som begränsar startströmmen. Detta för att minska spänningsfall i det lokala elnätet vid motorstart samt minska storleken på bakomliggande kabel och ställverksapparat. Observera att en Y/D-start kräver att motorn kan startas obelastad för att ge önskad reduktion av startström. I många fall kan en mjukstart vara ett bra val som startapparat.

En direktstart ställer oftast även större krav rent mekaniskt på de motordrifter som skall kunna direktstartas. Många av dagens frekvens-

omriktardrivna drifter är neddimensionerade rent mekaniskt jämfört med motsvarande direktstartade drift. Detta då de mekaniska belastningarna vid start ofta är betydligt lägre vid frekvensomriktardrifter. Detta måste beaktas om en frekvensomriktardrift även skall kunna direktstartas vid ett frekvensomriktarhaveri.



# Installation

## Produkt och materialval

Produkt- och materialval till frekvensomriktardrifter har stor betydelse för att undvika störningar i näraliggande apparater och anläggningsdelar.

Oftast finner vi rekommendationer från tillverkaren över vilka material som skall användas vid en installation t ex lämpliga nät-och motorkablar. Dock kan dessa rekommendationer vara generella och kanske inte motsvara vad som marknadsförs i Sverige. Eller så skulle dessa produkter medföra att vi får helt nya komponenter i vår anläggning som vi nu bör lagerföra som reservdelar. Det kan då vara lämpligt att välja likvärdiga eller bättre produkter som bättre svarar mot det befintliga produktsortimentet.

## Montage

Grundprincipen för montaget skall vara att frekvensomriktare, motorkablar samt motor utgör ett obrutet skärmsystem en s k Faraday-bur. Detta inkluderar även alla signalkablar till och från frekvensomriktaren.

Det som oftast är svårast att hantera vid konstruktion/montage av frekvensomriktare är det faktum att vi inte längre arbetar vid 50 Hz . Det medför att vi nu arbetar i en anläggning där det flyter betydande strömkomponenter som kan uppvisa frekvenser i MHz-området. Det som utgör ett acceptabelt jordsystem vid 50 Hz kan uppvisa potentialskillnader mellan anläggningsdelar som ger upphov till personfara vid högre frekvenser. En vanlig orsak till problem vid frekvensomriktardrifter är att vi inte tillräckligt har beaktat problematiken med jordledare/återledare och potentialutjämning. Se ”Faraday’s bur”, bilagan sidan 35.

## Motorkablar

Vid frekvensomriktarmatning kommer matningsspänningen till motorn att innehålla många och stora högfrekventa spänningar vilket medför att det kan uppstå stora kapacitiva strömmar till jord i motorn. Dessa strömmar kommer när de återvänder till matningen att ge upphov till spänningsfall i jordplan/jordledare samt i transformatorns PEN-krets. Dessa spänningsfall, då framförallt spänningsfallet i

PEN-kretsen, kan ge upphov till störspänningar i andra anslutna apparater.

För att minska störproblematiken använder vi skärmade motorkablar. Men det gäller att skärmens impedans, d v s växelströmsmotstånd, inte är för högt då den skall leda stora strömmar vid höga frekvenser Om matande kabel uppvisar en hög impedans i skärmen, där den kapacitiva läckströmmen skall retuneras till frekvensomriktaren, kan denna ström vandra ut i anläggningen via skyddsjord och eventuella potentialutjämningar. Därmed erhåller vi en vagabonderande störström i systemet som vi har förlorat kontrollen över.

Motorkablar ska vara trefasledare med skärm. För att försäkra oss om att de kapacitiva läckströmmar vi erhåller bl a i motorn, skall ledas tillbaka till frekvensomriktaren, skall skärmen uppvisa så låg impedans som möjligt. Den ideala skärmen är en tätslutande metallfolie som har lindats runt fasledarna. Vid montage i känsliga miljöer skall vi vara medvetna om att den returström som flyter i kabelns skärm är en potentiell störkälla. Då kan vi använda dubbelisolerade motorkablar där den inre skärmen ansluts både vid motor och frekvensomriktare och den yttre skärmen endast ansluts vid frekvensomriktaren.

I många mindre känsliga installationer kan motorkablar av typ FKKJ med en skärmarea av minst 2,5 mm<sup>2</sup> användas, se installationsanvisningarna från respektive frekvensomriktartillverkare.

Kabeln ska anslutas till motorn med 360 graders kontakt för skärmen. Använd kortast möjliga anslutningslängd av skärm till jordplint i motor. Förskruvningen ska använda ledande bussningar. Det innebär att kabelns mantel måste skalas av så att dess skärm kommer i kontakt med bussningens hela inneryta. Packning mellan lock och hus för motorplint skall vara ledande. Det innebär att lock och hus inte får uppvisa färg på de kontaktytor som packningen berör. Motorkablar skall förläggas på egna kabelstegar för att minimera koppling av störsignaler till andra ledare.

Avstånd till allmänna nätkablar skall vara 30 cm och 50 cm till signalkablar. Alla kabel-

korsningar skall ske i 90 graders vinkel.

## Jordning

Vi kan inledningsvis konstatera att jordproblematiken oftast kan bli komplex vid användandet av frekvensomriktare. Det är svårt att entydigt rekommendera en lösning som passar alla montage.

För att ha full kontroll över jordströmmar bör ett strikt stjärnformat jordsystem användas. Om vi börjar att binda samman komponenter i periferin med varandra erhåller vi ett allmänt jordnät där det är mycket svårt att prediktera vad som händer när vi introducerar HF-strömmar p g a frekvensomriktardrifter. Det är inte ovanligt när vi mäter ström i anläggningsdelar såsom kabelstegar, armeringsjärn, vattenledningsrör, bärande järnbalkar osv att vi finner vagabonderande strömmar på många ampere. Dessa vagabonderande strömmar kan inducera störspänningar i kablar förlagda långt från frekvensomriktardrifterna. De vagabonderande strömmarna ger även upphov till magnetfält i lokalerna. Det kan inte nog betonas vikten av ett genomtänkt jordsystem vid frekvensomriktardrifter.

Strikt stjärnformade jordnät uppvisar dock nackdelar ur potentialutjämnings synpunkt. Detta då potentialutjämnningen mellan närliggande anläggningsdetaljer som jordas via var sin jordlina kan uppvisa betydande potentialskillnader vid en stum kortslutning eller vid ett blixtnedslag. Detta kan innebära livsfara och/eller att diverse utrustning förstörs som t ex olika givare i anläggningen. Inom industrin överdimensionerar man ofta sitt jordnät samt jordar "allt överallt" för att minska risken med potentialskillnader. Det medför att man accepterar en ökning av jordströmmarna.

***Observera att vi även kan erhålla höga potentialskillnader mellan en frekvensomriktarmatad motor och omgivande metallföremål, t ex den pump eller fläkt som motorn driver, om jordningen inte är utförd på ett HF-mässigt riktigt sätt. Det kan ge upphov till personfara!***

Det innebär att vi ska binda samman t ex en fläkt med drivande motor via en jordfläta. Vi kan inte förlita oss på en jordlina som kanske går 5-10 meter till en gemensam jordningspunkt och en jordlina från denna punkt till fläkten. Denna jordning är helt tillfredställande vid 50 Hz, men vid de högre frekvenserna blir

impedansen alldeles för hög. Om fläkten drivs med ett kilrem och om motorn är monterad på avvibrerande gummikuddar kan potentialskillnaden mellan motor och fläktgodset bli hundratals volt!

## Frekvensomriktare

Frekvensomriktare monteras i ett HF-tätt skåp. Tillse att skåpets alla sidor har metallisk kontakt med varandra dvs var observant på om färg finns mellan plåtar. Tillse att skåpdörr är jordad till skåpet via en jordfläta samt att alla packningar/lister i dörr är av ledande typ.

Alla kabelgenomföringar till skåpet skall vara jordade 360 grader, alla packningar i förskruvningar skall vara av ledande typ. Skärm skall följa ledare så långt som möjligt d v s minimera längden av oskärmade kraft- och signalledare. De uppskalade ledarna skall vara maximalt 10 cm. Kraft och signalledare skall ej dras parallellt i skåp. Alla korsningar av kraft- och signalkablar skall ske i 90 grader.

Om frekvensomriktaren förses med ett EMC-filter på nätsidan skall detta anslutas till frekvensomriktaren via en skärmad kabel om montaget sker utanför frekvensomriktarskåpet. Om filtret monteras i skåpet måste stor noggrannhet iakttas så att inte kablar till och från filtret förläggs i motorkablarnas närhet.

Men i industrimiljö utgör sällan ledningsbundna HF-störningar från frekvensomriktarens nätanslutning något problem. Dessa störnivåer är oftast betydligt lägre jämfört med störnivåerna på frekvensomriktarens motorsida. Ett EMC-filter kommer dock att öka strömmarna i jordledarna. Detta kan medföra ökade störningar för annan utrustning via PEN/Jordledare. Exempelvis kan jordfelsbrytare lösa ut okontrollerat.

För känsliga miljöer kan alla in- och utgående signalkablar förses med ferritkärnor för att minimera störsignaler. Försiktighet måste dock iakttas med eventuella pulsgivarkablar då dessa kan innehålla förhållandevis högfrekventa pulser från pulsgivare. Om dessa filtreras för hårt kan det störa eventuella varvtalsregleringar.

## Jordfelsbrytare

Jordfelsbrytarens funktion är att skydda mot farliga strömmar vid felaktiga utrustningar t ex när en apparats metalhölje blivit strömförande. Genom att jämföra den ström som flyter genom faserna med den ström som återvänder

via N-ledaren kan vi avgöra om det har "försvunnit" ström. Detta kan ske t ex vid ett allmänt jordfel eller via den ström som kan flyta genom en person som berör en strömförande detalj samt jord. Därmed kommer en viss ström att återvända till matningspunkten via PE-ledaren, och inte N-ledaren, varvid det uppstår en obalans i jordfelsbrytarens mätkrets varvid brytaren gör nätavsnittet spänningslöst. Jordfelsbrytare avsedda för personskydd uppvisar ofta en brytström på 30 mA. Brytare avsedda för brandskydd bryter vid en felström på 300 mA.

En frekvensomriktare förorsakar generellt jordströmmar mellan 50 och 500 mA. Det innebär att en frekvensomriktare som matas via en jordfelsbrytare avsedd för personskydd omedelbart kommer att lösa ut brytaren. En vanlig rekommendation från frekvensomriktartillverkare är att ansluta frekvensomriktaren till en matning utan jordfelsbrytare för att undvika problem. Det finns i dag inga generella lösningar som möjliggör drift med valfri frekvensomriktare mot 30 mA jordfelsbrytare.

## **Idriftsättning**

Vid igångkörning av en frekvensomriktardrift skall vi vara mycket observanta på tecken som tyder på störningar i kringliggande apparatur. Det är även lämpligt att utföra vissa kontrollmätningar:

- Hur stor är strömdistorsionen? Har installationen ökat den samlade övertonshalten i matningspunkten över den nivå som är acceptabelt ur den matande transformatorns synpunkt. Hur mycket har spänningsdistorsionen ökat efter anslutningen av nya frekvensomriktaren?
- Har det skett en markant ökning av jordströmmarna? Mät i några centrala punkter runt frekvensomriktaren/motorn före - efter installationen.
- Undersök eventuella potentialskillnader runt motorn och närliggande komponenter. Har potentialutjämnningen varit god ur HF-synpunkt eller finns det risk för personfara?

*Observera att dessa mätningar skall utföras med en mätutrustning som uppvisar en bandbredd av minst 20 MHz.*

# Ombyggnad befintlig motordrift

Frekvensomriktarna ger oss möjlighet att via ombyggnad av befintliga direktdrivna motor-drifter erhålla många fördelar. Ett exempel är den energibesparing som kan erhållas när en ventilstyrd flödesreglering byts till en varvtals-reglerat flöde i en pumpdrift. När flödet minskas via en strypning av ventilen erhålls en viss minskning av pumpmotorns effektförbrukning.

Om varvtalet för en pumpdrift sänks från maxvarv till halva varvtalet sjunker effektförbrukningen till en åttondel (vi antar en pump med kvadratisk momentkurva). Om vi undersöker det befintliga pump- och fläktbeståndet som idag är i drift kan vi konstatera att det finns mycket stora energibesparingar att göra med hjälp av en ombyggnad till varvtalsreglering.

Det är ofta lockande att öka ett flöde i en befintlig pump- eller fläktanläggning via en varvtalshöjning av drivande motor. Men om vi höjer varvtalet med 10 % för en pumpdrift med kvadratisk momentkurva kommer momentbehovet att öka med ca 20 %. Generellt ökar då effekten som motorn drar med ca 30 % men om motorn arbetade vid sin märkfrekvens, 50 Hz, vid höjningen måste vi även kompensera för frekvenshöjningen. Det medför att effektbehovet snarast ökar med 40 %, se "Beräkningsexempel: Kvadratiska moment", bilagan, sidan 19.

Vi stöter med jämna mellanrum på exempel där en sådan flödeshöjning har fungerat utan problem, men det betyder inte att vår matematik i exemplen är felaktig, bara att dessa motor-drifter har varit starkt överdimensionerade från början!

Ett problem som ibland uppstår när en flödesreglering byggs om från spjällreglering till varvtalsreglering är att vid ett eller flera varvtal erhålls en resonansvibration i systemet. Denna resonans kan ge upphov till mycket svåra vibrationer i systemet vilket kan ge upphov till mekaniska haverier. De flesta moderna frekvens-

omriktarna erbjuder idag möjligheten att spärra för ett eller flera varvtal där en resonans uppstår i systemet. Därmed kan resonansproblemen oftast minskas betydligt eller helt undvikas.

*När en äldre direktdriven motordrift förses med frekvensomriktare är det några punkter som bör beaktas:*

- Räcker motorns befintliga kylning till när vi sänker varvtalet?
- Räcker motorns befintliga vridmoment till för lastens behov om vi skall arbeta över motorns märkfrekvens?
- Vad betyder en eventuell varvtalshöjning för lagrens livslängd och smörjintervaller?
- Klarar befintliga motorkablar av de kabelöverspänningar som frekvensomriktardriften ger upphov till?
- Består motorkabeln av tre fasledare och skärm så att de kapacitiva spänningso-balanserna minimeras och därmed en av orsakerna till lagerströmmar i motorn?
- Uppvisar befintlig motorkabels skärm en tillräckligt låg impedans för att de kapacitiva läckströmmarna skall ledas tillbaka till frekvensomriktaren via kabeln och inte vandra ut i anläggningens jordnät?
- Är befintliga motorkablar dragna på stegar tillsammans med t.ex signalkabel eller givarkablar vilka kan störas?
- Är den befintliga motorns isolationsklass tillräcklig för att kunna hantera de spänningstransienter som kabelöverspänningarna ger upphov till?
- Hur är motorn jordad mot omliggande anläggningsdelar? Finns det risk för högfrekventa potentialskillnader mellan motor och närliggande metalldelar?
- Finns det närliggande apparatur vilka kan störas av en frekvensomriktardrift? Går det att göra ett EMC-riktigt montage?

# Sammanställning standarder för frekvensomriktare

SS-EN 60204-1

*Maskinsäkerhet - Maskiners elutrustning - Del 1: Allmänna fordringar*

SS-EN 50178

*Elektronikutrustning, inklusive kraftelektronik, i elektriska starkströmsinstallationer*

SS-EN 61800-2

*Varvtalsstyrda elektriska drivsystem - Del 2: Specifikationer och märkdata för lågspända växelströmsdrivsystem med variabel frekvens*

SS-EN 61800-3

*Varvtalsstyrda elektriska drivsystem - Del 3: EMC-fordringar och speciella provningsmetoder*

SS-EN 61800-5-1

*Varvtalsstyrda elektriska drivsystem - Del 5-1: Elektrisk, termisk och mekanisk säkerhet*

SS-EN 55011

*Hörfrekvensutrustningar för industriellt, vetenskapligt och medicinskt bruk (ISM-utrustning) - Radiostörningar – Gränsvärden och mätmetoder*

SS-EN 61000-4-2

*Provning av immunitet mot elektrostatiska urladdningar*

SS-EN 61000-4-3

*Provning av immunitet mot utstrålade radiofrekventa elektromagnetiska fält*

SS-EN 61000-4-4

*Provning av immunitet mot snabba transienter och pulsskurar (Burst)*

SS-EN 61000-4-5

*Provning av immunitet mot stötpulser (Surge)*

SS-EN 55022

*Utrustning för informationsbehandling – Radiostörningar - Gränsvärden och mätmetoder*

SS-EN 61000-6-1

*Generella fordringar - Immunitet hos utrustning i bostäder, kontor, butiker och liknande miljöer*

SS-EN 61000-6-2

*Generella fordringar - Immunitet hos utrustning i industrimiljö*

SS-EN 61000-6-3

*Generella fordringar - Emission från utrustning i bostäder, kontor, butiker och liknande miljöer*

SS-EN 61000-6-4

*Generella fordringar - Emission från utrustning i industrimiljö*

## Referenslista

*Materialet är sammanställt av diverse föreläsnings- och kursmaterial i frekvensomriktardrifter från NORBO KraftTeknik AB*

*LK Utveckling Mellerud, om pumpproblematik*

*Bengt-Arne Walldén, Stora Enso Packaging Boards, Skoghalls Mill*

*Technical guide no. 3 ABB*

*Technical guide no. 4 ABB*

*Technical guide no. 5 ABB*

*Technical guide no. 7 ABB*

*Beskrivning av hårdvara för ASC 600/ACS 800 ABB*

*Installationsanvisningar och hårdvarubeskrivningar för SIEMENS MasterDrive frekvensomriktare*

# Bilaga till Frekvensomriktare

- Guide för elanvändare och allmänt sakkunniga inom elområdet

Denna bilaga innehåller fördjupningar inom olika delar av ämnessområdet frekvensomriktardrifter. Den är avsedd som ett komplement till elforskrapporten om anskaffning, installation och drift av frekvensomriktare.

Projektets syfte är att, i kortfattad form, sammanställa praktiskt användbara råd om hur anskaffning, installation och drift av maskiner med frekvensomriktare kan göras, utan att frekvensomriktaren försämra elkvaliteten för andra elanvändare anslutna till elnätet eller för nätägaren, samt att den egna utrustningen utformas så att den fungerar väl under de förutsättningar som det publika elnätet erbjuder.



<b>Startmetoder</b>	<b>2</b>
Y/D-start	2
Mjukstart (Softstarter)	3
<b>Dimensionering av asynkronmotordrift</b>	<b>4</b>
<b>Asynkronmotorns varvtal</b>	<b>4</b>
Poltal	4
Eftersläpning	5
<b>Vridmoment</b>	<b>6</b>
<b>Kylning</b>	<b>9</b>
<b>Lastmomentets varvtalsberoende</b>	<b>10</b>
Konstant moment	10
Konstant uteffekt	10
Proportionerligt moment	11
Kvadratisk moment	11
<b>Belastningsgraf Motor-Frekvensomriktare</b>	<b>12</b>
<b>Lastens varvtalsområde</b>	<b>13</b>
<b>Växellåda</b>	<b>14</b>
<b>Val av frekvensomriktare</b>	<b>17</b>
Vridmomentets spänningsberoende	17
<b>Beräkningsexempel: Kvadratisk moment</b>	<b>19</b>
<b>Varvtalsreglering</b>	<b>20</b>
<b>Generatordrift</b>	<b>21</b>
<b>Motorskydd</b>	<b>23</b>
<b>EMC (Elektromagnetisk kompatibilitet)</b>	<b>25</b>
<b>Direktiv</b>	<b>25</b>
Immunitet och Emission	26
<b>Frekvensomriktaren som störkälla</b>	<b>26</b>
<b>Övertoner</b>	<b>26</b>
<b>Högfrekventa störningar</b>	<b>28</b>
<b>Störningstyper</b>	<b>30</b>
Ledningsburna störningar	31
<b>Radiostörningar</b>	<b>32</b>
<b>Störda apparater</b>	<b>33</b>
Skärmade ingångar	34



## Innehållsförteckning



<b>Faraday's bur</b>	<b>35</b>
<b>Motorkablar</b>	<b>38</b>
<b>Motoröverspänningar</b>	<b>40</b>
Maskinstorlek	41
Kabellängd	41
<b>du/dt Filter</b>	<b>43</b>
Slumpmässigt lindad maskin	44
Mallindad	44
Ombyggnad av äldre drifter	44
<b>Lagerströmmar</b>	<b>-45</b>
Bakgrund	45
Frekvensomriktardrifter	47
1: Högfrekventa cirkulerande strömmar	47
2: Axeljordade strömmar	50
Extern uppladdning av motoraxel	51
3: Kapacitiva urladdningsströmmar	52
<b>Förebyggande åtgärder</b>	<b>-53</b>
1: Högfrekventa cirkulerande strömmar	53
Common mode och du/dt filter	55
2: Axeljordade strömmar	56
3: Kapacitiva urladdningsströmmar	56
<b>Referenslista</b>	<b>-57</b>

### Författare:

Reidar Gustavsson  
NORBO KraftTeknik AB

## STARTMETODER

Innan vi tittar närmare på dimensionering/konstruktion av frekvensomriktarstyrda motordrifter skall vi titta på två vanligt förekommande alternativa startmetoder.

### Y/D-start

Denna har tidigare varit den vanligast förekommande startmetoden för att minimera ström- och momenttoppar vid inkoppling av asynkronmotorn till det matande nätet. Det är inte ovanligt med startströmmar som är 5-10 ggr motorns märkström. Detta kan ge upphov till betydande spänningsdippar på matande nät vid en direktstart av en motor. Genom att koppla om en motor mellan Y- och D-koppling kan vi begränsa strömtopparna vid start. För ett 400 V nät skall motorn vara märkt 400/690 dvs lindningarna skall vara dimensionerade för 400 V vid D-koppling.

När vi startar maskinen Y-kopplad matas lindningarna med 230 V dvs ca 58% av huvudspänningen. Därmed reduceras startströmmen till ca 1/3 av startströmmen vid direktstart. Avgivet vridmoment minskar till ca 25% av vridmomentet vid märkspänning.

Fig 2.1

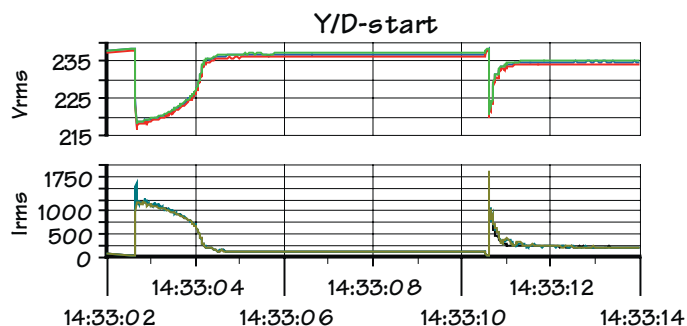


Fig 2.1 visar fasspänning och ström vid en Y/D-start av en 235 kW asynkronmotor. Observera att omslagstiden mellan Y och D kan minska från ca 6 sekunder till 1-2 sekunder i detta exempel.

Nackdelen med Y/D-starters är att om inte motorn når minst 90% av märkvarv i Y-läge innan vi kopplar om till D-läge kan vi erhålla en ström och momentstöt vid omkoppling som närmar sig den vid en direktstart. Det betyder i praktiken att vi endast bör använda Y/D-starten för drifter som kan startas obelastade.

### **Mjukstart (Softstarter)**

En variant av spänningsvariation vid start för att styra ström och vridmoment är mjukstartern. Den ger oss möjlighet att variera spänningen över motorn steglöst. Den arbetar med samma princip som en ljusdimmer, dock är den 3-fasig. Mjukstartern är i dag vanligt förekommande vid start av större fläkt och pumpdrifter. Spänningen ökas upp till märkspänning enligt en inställbar ramp. Många mjukstarter ger även möjlighet att minska spänningen efter en valbar ramp. Detta är en fördel t.ex vid pumpdrifter där man arbetar med en vertikal vattenpelare och backventiler. Genom att sänka spänningen enligt önskad ramp minskar flödet kontrollerat och man slipper tryckstötter och skadade backventiler då pumptrycket försvinner abrupt vid direktfrånkoppling av drivande motor. Observera dock att en softstarter inte kan användas för att styra en motors varvtal, endast den matande spänningen till motorn.

## DIMENSIONERING AV ASYNKRONMOTORDRIFT

### Asynkronmotorns varvtal

#### Poltal

Fig 2.2



1883 konstruerade Nikola Tesla den första 3-fas maskinen. Denna byggdes med utpräglade poler. I dagens moderna maskiner så är fältet uppbyggt av lindningshärvor där varven ligger förskjutna i spår i statorn, se Fig 2.2. Detta brukar kallas för en steglindning (*lap winding*). Dessa lindningar består av en uppsättning fasgrupper vilka är jämt fördelade i spår runt statorn innerväggar. Antalet grupper bestäms av antalet poler. Samt spolar som respektive faslindning är uppdelad på. Minimiantalet spår för en 4-polig maskin med en spole per fas är antalet poler gånger fasantalet. Det ger i detta exempel 12 spår i statorn. Fördelen med att dela upp respektive faslindning i flera spolar är att startmomentet förbättras och maskinen blir tystare. Om vi väljer att fördela faslindningarna på t.ex 5 spolar krävs det 60 spolar som förläggs i 60 spår. Vi inser att maskinens konstruktion försvåras och priset ökar i takt med att lindningsantalet per fas ökar. En billig 4-polig maskin har oftast 2 spolar per fas dvs 24 spolar och spår.

I rotorns lindningar uppstår det ett roterande magnetfält. Detta varvtal kallas för det synkrona varvtalet och bestäms av matande näts frekvens och maskinens poltal. Det synkrona varvtalet är:

#### Beräkning 2.1

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} \quad \text{Där } f = \text{nätfrekvens, } P = \text{maskinens poltal}$$

Vad blir varvtalet för en 2-polig maskin vid 50 Hz?

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ n/min}$$

Vi kan för ett 50 Hz nät förenkla beräkningen till  $n_s = \frac{6000}{P}$

2 pol = 3000 n/min  
 4 pol = 1500 n/min  
 6 pol = 1000 n/min  
 8 pol = 750 n/min  
 10 pol = 600 n/min  
 12 pol = 500 n/min

Det står oss fritt att konstruera en motor med hur många poler som vi vill, det gäller bara att se till att ett tillräckligt antal spår finns i statorn som kan hålla våra lindningar. Om vi tittar i en motorkatalog för standardmotorer ser vi att det högsta poltalet är 8.

Vi kan specialbeställa maskiner med ett poltal upp till 12. Motorer med högre poltal är sällsynta.

## Dimensionering av asynkromotordrift

### Asynkromotorns varvtal

#### Eftersläpning

Observera att rotorns varvtal inte är detsamma som det i statorn roterande magnetfältets varvtal. Fältlinjerna från statorns magnetfält måste "skäras" av stegens ledare, eller burens stavar för att rotorn skall bilda ett eget magnetfält. Det betyder att rotorns varvtal måste vara lägre än magnetfältet i statorns varvtal.

Den asynkrona motorn uppnår aldrig det synkrona varvtalet utan dess varvtal är en balans mellan det vridande moment som utvecklas och det arbete som belastningen kräver. Även om motorn roterar utan yttre belastning så måste fortfarande lagerfriktioner och den last som den inbyggda fläkten trots allt utgör övervinnas. Tomgångsvarvtalet ligger mycket nära det synkrona varvtalet, skillnaden är oftast mindre än 0.1% för lite större maskiner.

Vid märklast skiljer sig inte varvtalet mycket från det synkrona varvtalet, eftersläpningen för en stor motor på t ex 1 MW överstiger sällan 0.5% och för små, 10 kW eller mindre sällan mer än 4%.

Eftersläpningen (kallas för *slip* på engelska) beräknas enligt:

#### Beräkning 2.2

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \text{Där } n_s = \text{synkrona varvtalet och } n = \text{det aktuella varvet}$$

Antag en 2-polig asynkronmaskin vars märkvarvtal, dvs det varvtal maskinen uppvisar vid märklast, är 1450 n/min. Hur stor eftersläpning uppvisar denna maskin vid märklast:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033$$

En eftersläpning på 1 betyder att motorn står stilla, en eftersläpning större än ett betyder att motorn drivs baklänges, en eftersläpning lika med 0 betyder att motorn roterar med synkront varvtal.

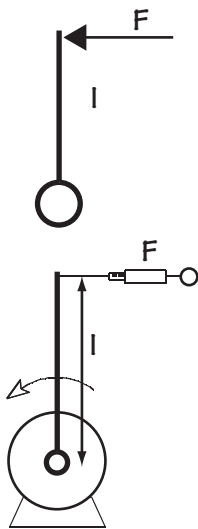
Om eftersläpningen är negativ, så driver lasten motorn till ett varvtal som är större än det synkrona varvtalet.

Observera att eftersläpningen är sortlös. Om vi multiplicerar eftersläpningen med 100 får vi eftersläpningen i% av det synkrona varvtalet. I ovanstående beräkning får vi en eftersläpning av 3.3%.

## 5 Elforskrapport

## Vridmoment

Fig 2.3



Vridmomentet är ett mått på styrkan av en vridande kraft och dess definition är:

**Kraften gånger det vinkelräta avståndet från kraftens anslutningspunkt till momentpunkten**

Momentpunkten är den punkt runt vilken rotationen sker.

$T = F \times l$  (T är en förkortning av det engelska uttrycket för vridmoment, Torque). Enheten för vridmomentet blir [Nm]. Omvandlingen mellan mekaniska effekten på en motoraxel och det avgivna vridmomentet sker enligt följande samband:

### Beräkning 2.3

$$T = \frac{P}{\omega [\text{rad/s}]} = \frac{P \times 9,55}{n}$$

Där P är i watt och n är varv per minut.

Vridmomentet för en 4-polig motor som utvecklar 4 kW vid 1425 n/min är:

$$T = \frac{4000 \times 9,55}{1425} = 26,8 \text{ Nm}$$

Det betyder att det nominella vridmomentet på motoraxeln är ca 27 Nm. Men kom i håg, som enheten indikerar, att vridmomentet är 27 Nm i ytterpunkten på en hävstångsarm av 1 meters längd, monterad på motoraxeln. Om armen vore 0.5 meter så skulle det uppmätta momentet vara 54 N, och om armen vore 2 meter lång så blev det uppmätta momentet 13.5 N.

Vi kan givetvis stuva om formeln i Beräkning 2.3 för att beräkna den effekt som krävs för önskat vridmoment vid ett givet varvtal:

### Beräkning 2.4

$$P = \frac{n \times T}{9,55}$$

Beräkning 2.4 visar att effektbehovet förhåller sig linjärt till varvtalet dvs om vi fördubblar varvtalet för ett givet moment fördubblas även effektbehovet.

## Dimensionering av asynkronmotordrift

### Vridmoment

Fig 2.4

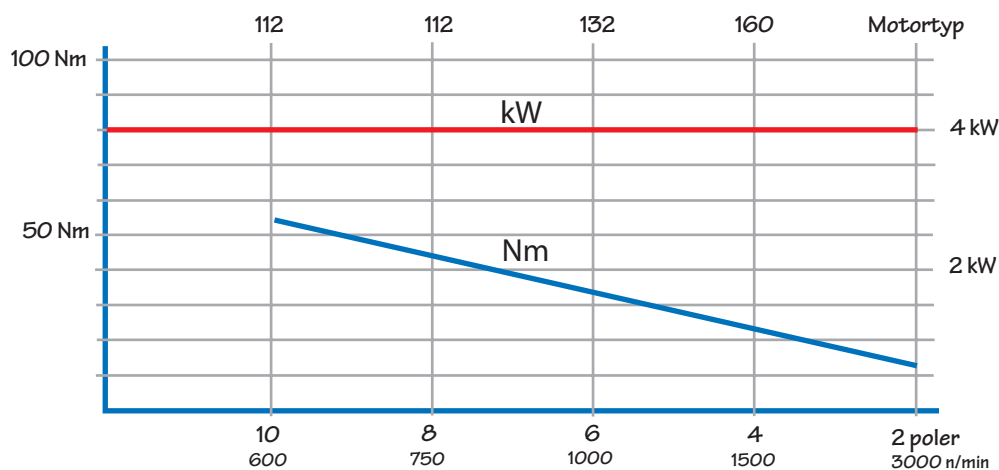
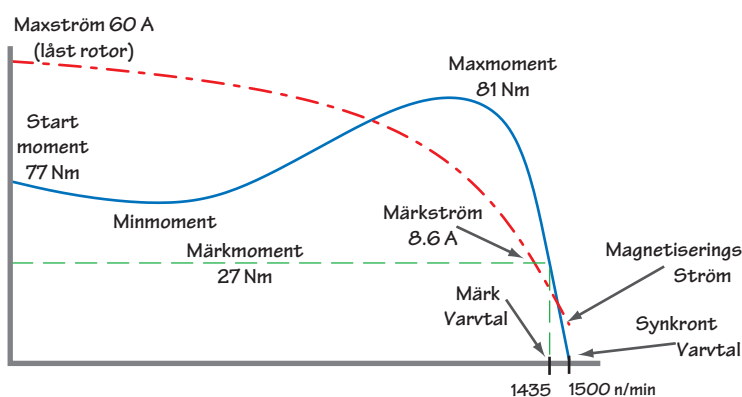


Fig 2.4 visar förhållandet mellan avgivet vridmoment och varvtal/poltal för olika motorer med märkeffekten 4 kW och

Fig 2.5



Observera att strömkurvan i grafen inte är skalenlig, märkström kontra maxström

Fig 2.5 visar asynkronmaskinens momentkurva. Vi antar här en 4-polig maskin på 4 kW. Vi kan belasta maskinen med maximalt ett vridmoment av 27 Nm kontinuerligt för termisk stabilitet. Om vi överstiger denna nivå kommer maskinens temperatur att överskrida tillåten maxtemperatur och förstörs slutligen. Vi ser i grafen att vid märklast blir varvtalet 1435 n/min dvs en eftersläpning på 4.3%.

## 7 Elforskrappport

Det maximala momentet vi kan belasta maskinen kortvarigt med är ca 83 Nm. Överstiger lastmomentet detta värde kommer maskinen att stanna. Det vridmoment maskinen utvecklar vid start är 78 Nm. Som grafen visar finns det ett minställe på momentkurvan dvs vi finner ett vridmoment som är lägre än startmomentet. Det innebär att ansluten lasts momentbehov vid detta varvtal inte får överstiga maskinens avgivna vridmoment. Om detta är fallet kommer maskinen att under uppstart stanna vid det varvtal där lastens momentbehov övertiger maskinens avgivna vridmoment. Som du ser uppvisar momentkurvan ett olinjärt förhållande till varvtalet. Det är bl.a en funktion av att rotorfrekvensen varierar med eftersläpningen.

Fördelarna med detta utseende är flera, vi får en maskin som är styv mot lastberoende varvtalsförändringar dvs vid ökad last vilket medför att varvtalet sjunker. Momentet kommer att öka snabbt så att momentökningen balanserar ut lastökningen redan vid en liten minskning av varvtalet. Det ger oss möjlighet att använda maskinen i oreglerade konfigurationer och ändå vara säkra på goda regleregenskaper.

Den höga momenttoppen ger oss en stor tolerans mot tillfälliga belastningstoppar dvs maskinen kan kortvarigt överlastas med 150 - 250% av märkmomentet beroende på konstruktion. Det är en stor fördel att inte behöva överdimensionera motorn för att hantera tillfälliga lasttoppar då maskinens verkningsgrad och effektfaktor minskar med minskande last. Priset vi får betala för den ökande "styvheten" mot lastberoende varvtalsförändringar är högre startströmmar.

Vi bör m.a.o. undvika utdragna startförlopp och eller täta starter med denna maskin då värmeförlusterna är mycket stora under startförloppet. Förlusteffekterna i motorn uppgår till mellan 25 och 36 ggr förlusteffekterna vid märklast om startströmmen är 5 - 6 gånger märkströmmen. För små motorer är statorförlusterna störst medan för större motorer är rotorförlusterna störst. För stora motorer utgör rotorförlusterna ca 10% av maskinens märkeffekt. Angående eventuella begränsningar av antalet tillåtna starter inom ett givet tidssegment, se respektive motortillverkares motordata.

Verkningsgraden för små maskiner är inte överdrivet god, 0.25 kW = 70%, 3 kW=87%, 30 kW=93%, 90 kW=95%. För stora motorer kan verkningsgraden vara 98% eller bättre (större än 1 MW).



## Dimensionering av asynkronmotordrift

### Kylning

#### Kylning

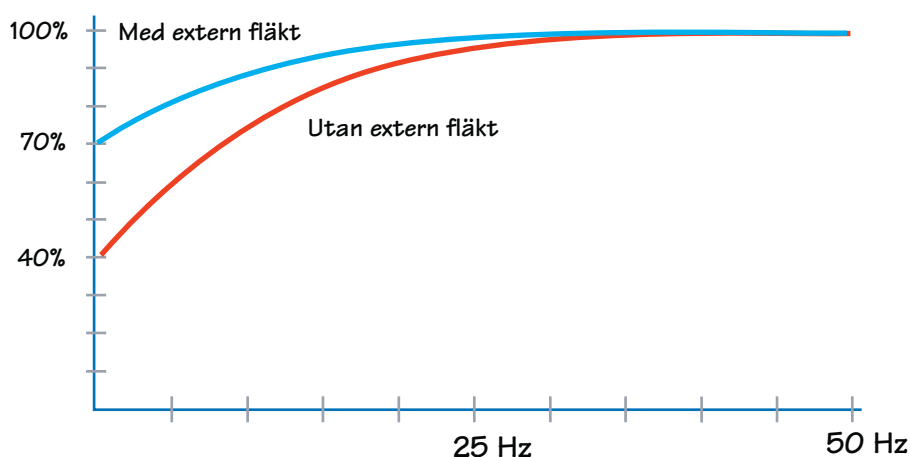
Fig 2.6



Alla förluster ger upphov till värme vilken måste ledas bort från maskinen. En ordinarie asynkronmaskin är försedd med kylflänsar över vilka fläkten blåser luft. Rotorn är inkaplad i statorn och kyls inte av någon extern kylluft. Den är försedd med någon form av fläkt för att förbättra transporten av värme från rotorn till statorn. Normalt utgör rotorförlusterna ca 10% av maskinens märkeffekt vid märklast

För att erhålla full kylning är det viktigt att maskinen är ren och inte täckt med främmande material som t.ex. sågspån. Fläktgalrett måste också vara rent för att ge möjlighet till största möjliga flöde av kylluft.

Fig 2.7



Den interna kylningen av rotorn minskar i takt med att varvtalet minskar. Det medför att vi måste minska maskinens belastning vid drift med frekvensomriktare och vid låga varvtal. Vi kan förbättra kylningen vid låga varvtal genom att montera en extern eldriven fläkt på asynkronmaskinen i stället för den som levereras fast monterad på motoraxeln. Fig 2.7 visar en graf som anger belastningsgrad som en funktion av maskinens varvtal. Utan extern el-fläkt kan vi belasta maskinen med maximalt 40% av märkmomentet vid låga varvtal. Med en extern kylfläkt monterad kan vi öka belastningsgraden till ca 70% vid låga varvtal. Observera att dessa kurvor är generella. För säker dimensionering skall du undersöka kurvorna för aktuell maskin.

## 9 Elforskrappport

## Lastmomentets varvtalsberoende

Vi skall undersöka hur ett antal tänkta laster uppför sig över det varvtalsområdet som de är tänkta att arbeta inom. Lastmomentet är ofta en funktion av olika komponenter som ger momentkurvan ett utseende som är individuellt för olika lasttyper. Vi skall undersöka ett antal lasttyper med avseende på moment och effekt som en funktion av varvtalet. Observera att vi oftast inte påträffar så "renodlade" momentkurvor i verkliga processer.

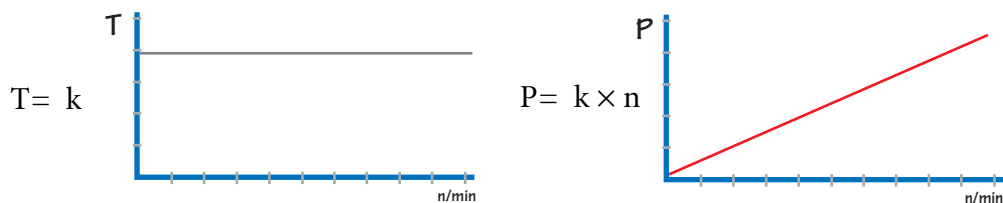
### Konstant moment

Lastens momentkrav är konstant över varvtalsområdet vilket betyder att lastens effektkrav blir en funktion av varvtalet, se Fig 2.8. Om du repeterar formeln för effekten som en funktion av moment och varvtal så förstår du enklare sammanhanget.

$$T = \frac{P \times 9,55}{n}$$

$$P = \frac{n \times T}{9,55}$$

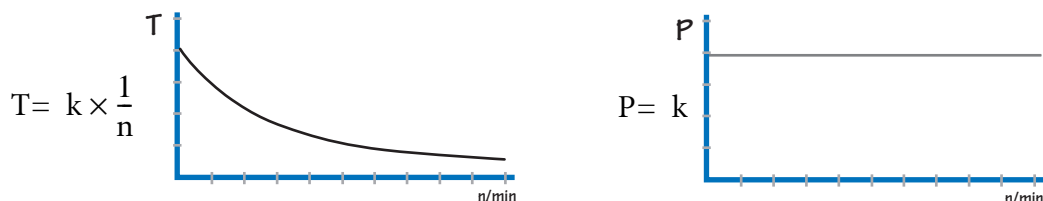
Fig 2.8



Vi återfinner det konstanta momentet i ett antal belastningstyper som rullbanor, transportband, hissar, barktrummor, kulkvarnar, skruvkompressorer osv.

### Konstant uteffekt

Fig 2.9



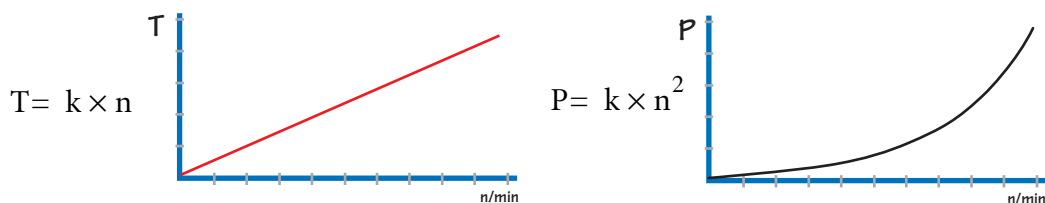
## Dimensionering av asynkronmotordrift

### Lastmomentets varvtalsberoende

För laster som uppvisar ett konstant effektkrav över sitt varvtalsområde så kan vi konstatera att de uppvisar ett fallande momentbehov, se Fig 2.9. Momentkurvan blir hyperbolisk. Typisk last för ett fallande moment med stigande varvtal är haspeldrifter där vi lindar upp papper eller järn till rullar av önskad storlek. Vid start är diametern liten och momentarmen blir därmed kort och nödvändiga momentet lågt, varvtalet är dock högt då rullens omkrets är liten. När så omkretsen på rullen växer så ökar momentarmens längd och därmed även momentbehovet, men varvtalet sjunker då längden hasplat material per varv ökar.

### Proportionerligt moment

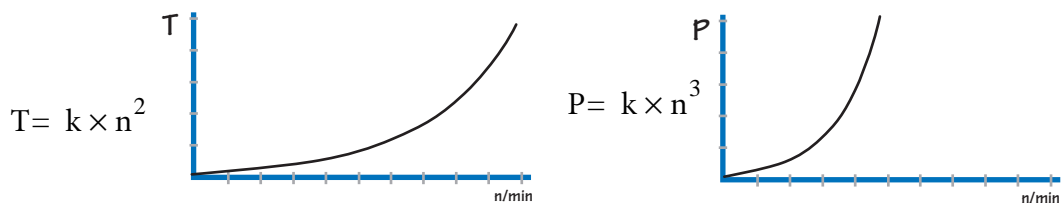
Fig 2.10



Proportionerligt och omvänt proportionerligt moment är sällsynt, snarast en teoretisk storhet, se Fig 2.10. Kolvpumpen är antagligen den belastning som kommer närmast ett proportionerligt momentbehov.

### Kvadratisk moment

Fig 2.11

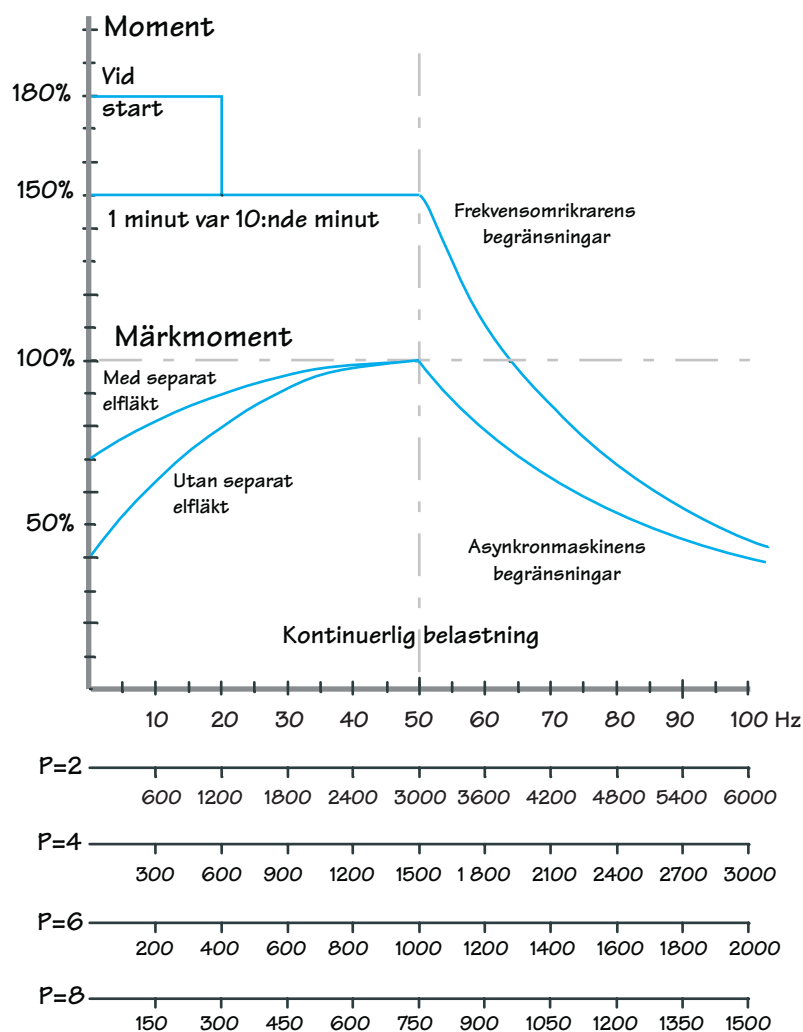


I gruppen för kvadratiska moment, se Fig 2.11, återfinns vi huvuddelen av de belastningar som drivs av motorer. Men som för övriga belastningstyper så finner vi att momentkurvorna för våra belastningar kan variera, här från nästan konstant till kubiskt moment. Här återfinns vi pumpar och fläktar.

## II Elforskrapport

## Belastningsgraf Motor-Frekvensomriktare

Fig 2.12



Verifiera dina beräkningar mot de faktiska kurvorna för det maskin- och frekvensomriktarfabrikat du väljer att arbeta med

Fig 2.12 visar en belastningsgraf för en tänkt 2- till 8-polig motor som matas med en frekvens mellan 0 till 100 Hz. Belastningsgrafan visar även belastningsbegränsningen för en tänkt frekvensomriktare vid start samt vid temporära överlastar,

## Dimensionering av asynkronmotordrift

### Lastens varvtalsområde

Den undre kurvan beskriver belastbarheten för våra motorer vid kontinuerlig belastning, med och utan separat eldriven kylfläkt upp till 50 Hz. Över 50 Hz minskar det moment maskinen kan belastas med pga att maskinen arbetar med märkspänning men lindningarnas reaktans ökar med ökande frekvens.

Under grafen visas de synkrona varvtal för 2-8 poliga motorer som en frekvens mellan 0-100 Hz motsvarar.

Den mellersta kurvan beskriver belastbarheten för frekvensomriktaren vid intermitterent överlast, 1 minut arbete / 10 minuter vila.

Den översta kurvan beskriver det maximala och kortvarigt uttagbara momentet som motorn, vid matning från omriktaren, kan ge vid start. Som du ser är det maximala momentet betydligt lägre än om vår motor vore direktansluten till nätet, då skulle vi kunna nå ca 250% av märkmomentet. Det är switchkomponenterna i omriktardelen som begränsar strömuttaget till motorn vid momentana belastningar.

Olika tillverkare lämnar olika data för sina frekvensomriktare, på samma sätt som motorfabrikanterna lämnar egna data angående belastbarhet vid frekvensomriktardrift.

### Lastens varvtalsområde

Vid varvtalsreglering av en last måste vi bestämma inom vilket varvtalsområde lasten skall arbeta

Vi bestämmer först förhållandet mellan de två varvtalsområdena vi skall arbeta inom, t.ex:

**Beräkning 2.5**

$$\Delta n = \frac{\text{Maxvarv}}{\text{minvarv}} = \frac{1450}{600} = 2,4$$

Vi beräknar därefter den minfrekvens vi skall arbeta vid om max är lika med 50 Hz:

**Beräkning 2.6**

$$F_{\min} = \frac{F_{\max}}{\Delta n} = 20,8\text{Hz}$$

Det betyder att vi måste arbeta inom ett ca 30 Hz brett frekvensområde under drift.

Då övre varvtalsgränsen var 1450 rpm är motorvalet inte så svårt, vi väljer en 4-polig motor.

## 13 Elforskrapport

Men vilken effekt skall motorn vara på?

Antag att lasten är märkt 25 Nm vid 1450 n/min. Enligt Beräkning 2.4, sidan 6, blir effektbehovet ca 3.8 kW. Vi kan därmed välja en 4-polig motor på 4 kW. Men observera att detta val är endast säkert vid 1450 n/min. Vi antar att lasten är en flisskruv som skall varvtalsregleras. Den uppvisar ett förhållandevis konstant moment. Det betyder att momentkravet vid 600 n/min är 25 Nm. Men om vi studerar Fig 2.12, sidan 12 ser vi att vi endast får belasta motorn med ca 80% av dess märkmoment. Vi måste då överdimensionera motorn med 20% för att den inte skall överlastas och förstöras termiskt. Det ger en motoreffekt av 4.75 kW. Närmaste större motor är på 5.5 kW.

Men om vår last istället är en fläkt förenklas dimensioneringen. Denna uppvisar ett kvadratisk moment vilket medför att momentbehovet är mycket lågt vid 600 n/min jämfört med märkvarv, se Fig 2.11, sidan 11. Det innebär att vi endast behöver dimensionera motorn för det maximala varvtalet dvs 4 kW vid 1450 n/min.

### Växellåda

Men om vår last uppvisar ett varvtalsområde av 150-360 n/min, hur väljer vi då lämpligaste motor?

Vi upprepar vår kontroll av varvtalsförhållandet:

**Beräkning 2.7**

$$\Delta n = \frac{\text{Maxvarv}}{\text{minvarv}} = \frac{360}{150} = 2,4$$

Vi beräknar därefter den minfrekvens vi skall arbeta vid om max är lika med 50 Hz:

**Beräkning 2.8**

$$F_{\text{min}} = \frac{F_{\text{max}}}{\Delta n} = 20,8 \text{ Hz}$$

Det betyder att vi måste arbeta inom ett ca 30 Hz brett frekvensområde under drift. Vi erhåller samma resultat som tidigare!

Men observera att det faktiska frekvensområdet blir betydligt lägre!

Om vi väljer att arbeta med en 8-polig motor (för att erhålla ett lågt basvarv) måste motorn arbeta mellan 10 till 24 Hz

## Dimensionering av asynkronmotordrift

### Växellåda

Om vi antar att lasten uppvisar ett linjärt momentbehov kommer motorns belastbarhet endast att vara ca 60% vid 10 Hz. Det betyder att (om vi antar samma momentbehov som tidigare 25 Nm) vår motor måste vara på minst 6.7 kW och närmast större motor är på 7.5 kW.

Alternativet är givetvis att förse motorn med en separat elfläkt varvid belastbarheten ökar till ca 80% och effekten blir 4.75 kW dvs närmaste större motor är 5.5 kW. Det är dags att undersöka olika konfigurationers kostnad innan vi väljer lösning. I takt med att poltalet ökar även motorns inköpspris. Det kan vara dags att överväga att använda en växellåda.

Hur stor utväxling skall vi då arbeta med?

Om vi har ritat in det tänkta frekvensområde vi skall arbeta inom dvs 20 - 50 Hz i Fig 2.12, sidan 12 får vi automatiskt det varvtalet som respektive poltal ger upphov till. Vi kan välja att beräkna utväxlingen för varvtalet vid 50 Hz dvs maxvarvtalet (för en överslagsberäkning kan vi använda det synkrona varvtalet för respektive poltal):

#### 2-pol

**Beräkning 2.9**

$$\text{utv} = \frac{n_n}{n_{\text{last}}} = \frac{3000}{360} = 8,3 \text{ ggr}$$

#### 4-pol

**Beräkning 2.10**

$$\text{utv} = \frac{n_n}{n_{\text{last}}} = \frac{1500}{360} = 4,2 \text{ ggr}$$

#### 6-pol

**Beräkning 2.11**

$$\text{utv} = \frac{n_n}{n_{\text{last}}} = \frac{1000}{360} = 2,8 \text{ ggr}$$

Nästa steg blir att beräkna det vridmoment maskinen måste utveckla som en funktion av:

- Lastbehov 25 Nm vid 50 Hz
- Maskinens belastbarhet ca 0.88
- Förluster i växellåda ca 0.85 (ett antaget värde)

- Växellådans utväxling 8.3, 4.2, 2.8 ggr (beroende på poltal)

**Beräkning 2.12**

$$Nm_{\text{motor50}} = \frac{25}{0,88 \times 0,85 \times \text{utv}}$$

Vi erhåller följande vridmoment

- 2-Pol: 4 Nm
- 4-Pol: 8 Nm
- 6-Pol: 12 Nm

Vad motsvarar det för effekt? Vi använder vår standardformel:

**Beräkning 2.13**

$$P = \frac{n \times T}{9,55} \quad \text{Efter uträkning får vi följande effekter:}$$

- 2-Pol: 1.25 kW
- 4-Pol: 1.25 kW
- 6-Pol: 1.25 kW

Låt oss välja en 4-polig maskin som en kompromiss mellan maskinstorlek och växellådans omsättning. Om vi nu undersöker motorkatalogen för 4-poliga maskiner med en avgiven effekt av 1.25 kW finner vi att närmaste större maskin är 1.5 kW och med ett avgivet vridmoment av 10 Nm. Det betyder att vi har en överdimensionering av ca 25%.

Observera att dessa beräkningar är att betrakta som en överslagsberäkning för att erhålla någorlunda rimliga värden på lastmoment och utväxlingsbehov. Nästa steg blir nu att kontrollera vilka faktiska utväxlingar vi kan erhålla och vilka förlusterna blir för dessa växellådor. Beroende på vilka växellådor som finns tillgängliga kan vi tvingas att förskjuta maskinens varvtal i belastbarhetsdiagrammen och därmed få förändrad belastbarhet för drivande maskin.

När vi nu har verkningsgraden för en faktisk växellåda och eventuell ny belastbarhet för maskinen ser vi om vi måste göra om beräkningarna för att kontrollera om vi får en ny maskinstorlek pga de ändrade värdena.

Om driften är försedd med växellåda mellan last och maskin måste vi räkna om lastmoment och tröghetsmoment för last enligt nedan:

(Observera att de beräknade värdena är lasten sedd från växellådans drivsida dvs det den drivande maskinen "ser".)



## Dimensionering av asynkronmotordrift

### Val av frekvensomriktare

#### Lastmoment

Överfört moment skalas linjärt med växellådans omsättning.

##### Beräkning 2.14

$$T_{L_G} = \frac{T_L \times n_L}{n_n} \quad T_L = \text{Lastens momentbehov. } n_L = \text{Varvtal last}$$
$$T_{L_G} = \text{Nytt lastmoment} \quad n_n = \text{Varvtal maskin}$$

#### Tröghetsmoment

Överfört tröghetsmoment skalas kvadratisk mot växellådans omsättning

##### Beräkning 2.15

$$J_{L_G} = J_L \times \left(\frac{n_L}{n_n}\right)^2 \quad J_L = \text{Lastens tröghetsmoment}$$
$$J_{L_G} = \text{Latens nya tröghetsmoment}$$

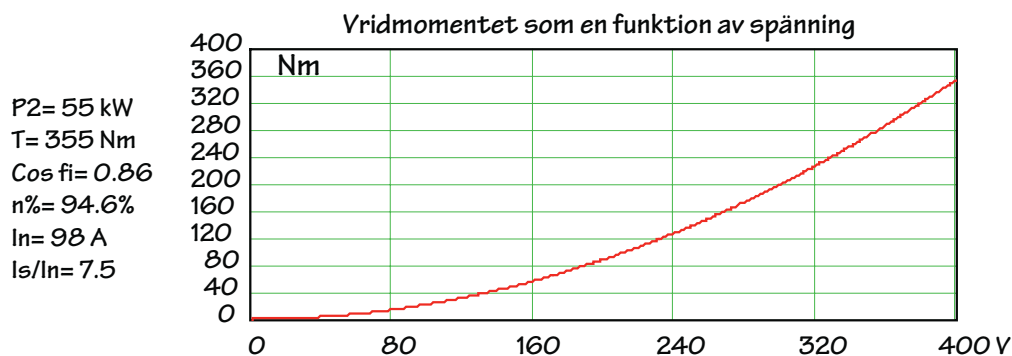
(Observera att diskussionen om tröghetsmoment ligger utan för detta grundläggande materials område, se t.ex en gymnasial fysikbok.)

### Val av frekvensomriktare

Frekvensomriktarens storlek väljer vi helt enkelt utifrån våra framräknade motordata dvs frekvensomriktaren skall klara motorns märkström

### Vridmomentets spänningsberoende

Fig 2.13



Vi har nu utfört en dimensionering av en motordrift. Men för att detta skall vara rätt måste vi vara säkra på att matande spänning till maskinen är lika med dess märkspänning. Är spänningen lägre kommer avgivet vridmoment att minska, se Fig 2.13.

## Dimensionering av asynkronmotordrift

### Val av frekvensomriktare

Asynkronmaskinens vridmoment är kvadratisk beroende av dess nätspänning. Grafen visar ett exempel på en momentkurva som en funktion av matande spänning för en 4-polig maskin på 55 kW.

När maskinens matningsspänning minskar, minskar dess vridmoment. Om vi antar att maskinen arbetar vid märklast kommer varvtalet att minska i takt med att matningsspänningen minskar dvs eftersläpningen ökar. Detta kommer att få till följd att maskinens strömuttag ökar i takt med att eftersläpningen ökar. Detta får till följd att även maskinens termiska förluster ökar och maskinen kan till slut överhettas. Allmänt gäller att nätspänningen får variera max +/- 5% från märkspänning för en maskin som arbetar vid märklast se SS-EN 60034-1. (Observera dock att SS-EN 60204-1 anger +/- 10 % för kompletta maskiner/motordrifter.) Vid lägre spänningar måste vi minska maskinens belastning som en kvadratisk funktion av spänningsminskningen:

**Beräkning 2.16**

$$T_{ny} = \left( \frac{U_{nom}}{U_{rms}} \right)^2 \times T_{nom}$$

Detta gäller oberoende om maskinen är direktansluten eller matas via en frekvensomriktare.

Spänningsobalansen får vara max 2-3% för en direktansluten asynkronmaskin beroende på motortyp. Observera att vi då måste acceptera en eventuell reducerad livslängd på motorn.

Om maskinen matas via en frekvensomriktare och bägge arbetar vid märkström bör inte spänningsobalansen överstiga 1-2%. Vid högre obalans har det förekommit problem med omriktare som löst ut för termisk överlast. Vid spänningsobalanser som överstiger ovan angivna värden måste motorernas märklast reduceras.

Vi skall även undersöka hur framtidsplanerna ser ut för denna drift. Kommer man att vilja höja produktionskapaciteten inom en förutsägbar framtid?

Inom tung processindustri ser vi hela tiden en strävan mot högre produktionshastigheter och det betyder oftast även högre effektbehov. Är belastningen av typen konstant, linjärt eller kvadriskt moment vet vi att en höjning av produktionshastigheten innebär krav på högre effekter från drivande maskiner. Men det är svårt att förutsäga framtiden och veta hur mycket som är rimligt att överdimensionera en drift.

## Dimensionering av asynkronmotordrift

### Beräkningsexempel: Kvadratisk moment

#### Beräkningsexempel: Kvadratisk moment

En ventilationsanläggning skall moderniseras med varvtalsreglering för att spara energi, pga utbyggnader så skall även toppkapaciteten ökas i anläggningen. Fläkten uppvisar ett kvadratisk momentbehov vilket betyder att vi endast måste beräkna effektbehovet vid max varvtal. Fläktens ordinarie varvtal var 3000 rpm men då vi skall varvtalsreglera den och öka kapaciteten på ventilationsanläggningen blir det nya varvtalsområdet 1100 - 3300 rpm. Enligt fläktens momentkurva så är momentbehovet 150 Nm vid 3000 rpm (ca 47 kW), då momentet ökar kvadratisk mot varvtalet får vi följande moment vid 3300 rpm: **(observera att varvtalet höjs 10%)**

#### Beräkning 2.17

$$T = \left(\frac{3300}{3000}\right)^2 \times 150 = 181,5 \text{ Nm} \quad (\text{Momentet har ökat ca 20\%})$$

Om vi nu undersöker belastbarheten för vår motor vid ett varvtal av 3300 rpm i Fig 2.12, sidan 12 så finner vi att den är ca 85%, vilket ger följande motormoment:

#### Beräkning 2.18

$$T = \frac{181,5}{0,85} = 213,5 \text{ Nm}$$

Då det önskade maxvarvtalet är 3300 rpm så väljer vi en 2-polig motor vars synkrona varvtal är 3000 rpm, det ger oss följande effektkrav på vår motor:

#### Beräkning 2.19

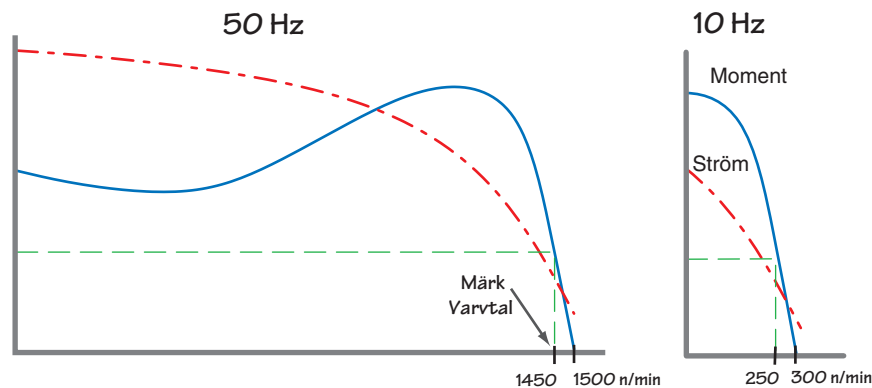
$$P = \frac{n \times T}{9,55} = \frac{3000 \times 213,5}{9,55} = 67 \text{ kW} \quad (\text{Effekten har ökat ca 40\%})$$

Vi väljer närmast större motor ur vår motorkatalog och frekvensomriktaren dimensioneras efter motorns märkström.

Ovanstående beräkningsexempel visar problematiken med att försöka höja varvtalet för en motordrift över det ursprungliga varvtalet med hjälp av en frekvensomriktare. När vi höjde varvtalet 10% ökade momentbehovet 20% och effektbehovet 40%! Om vi inte byter ut den drivande motorn mot en ny som är anpassad för den nya belastningen kommer den gamla motorn att överbelastas och förstöras termiskt. Om det går att använda den gamla motorn utan termiska problem betyder det att motorn blev grovt överdimensionerad i den ursprungliga dimensioneringen!

## Varvtalsreglering

Fig 2.14



Vid frekvensomriktardrift arbetar asynkronmaskin inom ett brett frekvensspektrum vilket kommer att påverka dess egenskaper och beteende så som vi tidigare sett. Vi skall nu undersöka vad frekvensändringar kommer att betyda för förhållandet mellan synkront varvtal, belastat varvtal och eftersläpning. Fig 2.14 visar moment - varvtalskurvorna för en asynkronmaskin vid 50 Hz respektive 10 Hz matning. Om vi arbetar med en 4-polig maskin vid 50 Hz kommer vårt synkrona varvtal att bli 1500 n/min och märkvarvtalet ca 1450 för vår tänkta maskin.

Det innebär att eftersläpningen är:

### Beräkning 2.20

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 3,3\%$$

Om vi sänker frekvensomriktarens frekvens till 10 Hz kommer det synkrona varvtalet för vår maskin att minska till 300 n/min. Om vi undersöker moment/varvtalskurvan för vår maskin vid 10 Hz, i Fig 2.14, högra kurvan, ser vi att den har förflyttats ned i frekvens. I vår teoretiska kurva kan vi se att momentkurvans lutning är den samma runt lastpunkten som vid 50 Hz. Det betyder att vid samma lastmoment vid 10 Hz som vid 50 Hz kommer vi att få en eftersläpning som i n/min motsvarar den vid 50 Hz. Men vad har hänt med eftersläpningen i%:

## Dimensionering av asynkronmotordrift

### Generatordrift

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{300 - 250}{300} = 16,7\%$$

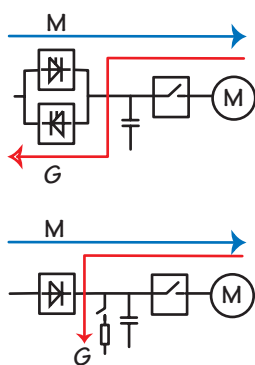
Som vi ser har laststyvheten försämrats avsevärt om vi betraktar eftersläpningen i %. Men i verkligheten kommer styvheten att försämras ytterligare pga de ökande förlusterna vi får i statorresistansen, som medför att eftersläpningen ökar. Ovanstående diskussion visar att om vi önskar noggrann varvtalsreglering vid låga varvtal måste tillgripa någon form av reglering då en ren frekvensstyrning inte är nog. Det innebär att vi måste koppla på en pulsgenerator på asynkronmaskinen för att mäta det faktiska varvtalet. Många moderna frekvensomriktare har inbyggda reglerkretsar som vi kan ansluta pulsgivaren till. Dock uppvisar en frekvensomriktare som arbetar med skalär styrning en långsam momentreglering vilket medför att det tar tid att åtgärda en varvtalsavvikelse pga en laständring.

Om vi väljer att arbeta med en frekvensomriktare som arbetar med vektorreglering är det möjligt att erhålla en varvtalsnoggrannhet av ca 0.5% av varvtalet från tomgång till 150% av märklust.

Önskas det en högre noggrannhet måste en pulsgivare användas för att kontrollera det faktiska varvtalet. Då är en noggrannhet av 0.01% möjligt att uppnå.

### Generatordrift

Fig 2.15



Vi skall nu undersöka asynkronmaskinens beteende i generatordrift. Generatordrift uppstår när rotorn roterar vid ett översynkront varvtal. Detta kan uppstå om vi snabbt sänker fältets varvtal men rotorn roterar kvar vid det tidigare varvtalet t.ex vid stort tröghetsmoment hos lasten. Maskinen kommer nu att arbeta som generator tills rotationen har bromsats in och rotorn åter roterar vid ett varvtal lägre än fältets varvtal.

Genom att använda asynkronmaskinen som generator kan vi snabbt bromsa in en maskin som roterar för fort t.ex vid en varvtalssänkning eller om lasten plötsligt minskar. Det ställer dock kravet på frekvensomriktaren att denna skall kunna hantera den energi som generatordriften matar in i omriktaren. Enda sättet att lagra energi i ett kapacitet mellanled är att höja mellanledningsspänning. Men detta är något som vi inte vill göra då vi förlorar kontrollen över spänningen. Det finns två lösningar på det problemet:

- Återmatning till matande nät
- Energin "bränns" bort i en resistor (ett bromsmotstånd)

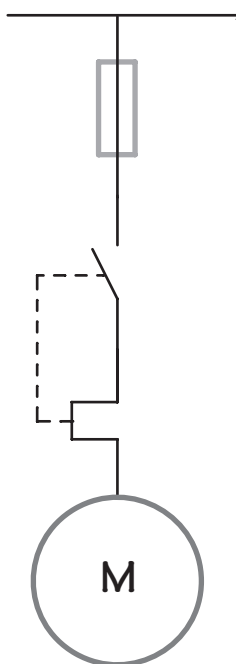
Fig 2.15 visar exempel på de två kopplingsmöjligheterna. Den övre kopplingen visar en frekvensomriktare där likriktaren har bytt ut mot en dubbel tyristorbrygga. Den övre bryggan används för att likriktad nätspänningen vid normal motordrift. Vid generatordrift blockeras likriktarbryggan och den undre tyristorbryggan aktiveras för återmatning varvid den från maskinen inmatade energin återmatas till det matande nätet. Observera dock att denna lösningen oftast ger en större övertonshalt jämfört med en enkel likriktarbrygga. Vid återmatning kommer även växelriktarbryggan att ge upphov till ett lägre  $\cos \phi$  under retardationen.

Om energimängderna som vi måste bromsa bort är små eller bromsningen sker sällan kan det vara olönsamt att investera i en frekvensomriktare med nätåtermatning. Då kan det vara bättre att ansluta vad som kallas för en bromsschopper till frekvensomriktaren, se undre bilden i Fig 2.15. Den består av en switch kopplad i serie med ett motstånd. Genom att styra switchen med pulsbredsmodulation är det enkelt att reglera hur mycket energi som bränns bort i motståndet och därmed hålla mellanledningsspänningen konstant under de moment som maskinen arbetar som generator.

Om lastens tröghetsmoment är litet och/eller behovet av snabba varvtalsminskningar är litet kan ofta det räcka att minska varvtalet efter en förinställd ramptid. Om ramptiden är för kort blir energilagringen för stor i frekvensomriktaren och den larmar antagligen för överspänning i mellanledet. Då bör ramptiden förlängas

#### Motorskydd

Fig 2.16



En asynkronmotor måste skyddas mot onormala drifttillstånd som kan uppstå under drift. Sådana kan vara:

- Överbelastning av motorn
- Fel nätfrekvens
- Felaktig nätspänning
- Osymmetrisk nätspänning
- Blockerad kylning av motor
- För hög temperatur på kylsluft
- För hög start/inbromsningsfrekvens
- Felaktiga start- och skyddsapparatur

Alla dessa feltillstånd ger upphov till för höga temperaturer i motorlindningarna vilket får till följd att isolationsmaterialet för lindningarna åldras snabbare. En tumregel är att för varje höjning av lindningstemperaturen med 10 grader halverar vi isolationens livslängd. Om vi låter motorn arbeta vid dubbla märkströmmen kan livslängden förkortas till kanske en halv timme och vid 6 ggr märkströmmen till kanske en halv minut eller mindre.

Dessa temperaturhöjningar får till följd att isolationsskiktet spricker upp och motorlindningens isolationsresistans kommer att variera med luftfuktigheten och eventuella främmande partiklar runt lindningarna. Den sänkta resistansen gör att det uppstår läckströmmar som snabbt kan bli stora och förstöra motorn.

För att förhindra att för stora strömmar flyter i vår motor som ger upphov till för höga temperaturer använder vi oss av i huvudsak 2 olika skydd, se Fig 2.16, nämligen:

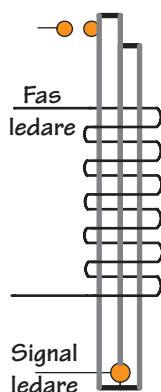
#### 1 Kortslutningsskyddet

#### 2 Överlastskyddet

1: Kortslutningsskyddet består av smältsäkringar vilka har till uppgift att skydda motorn, överlastskyddet och det matande nätet mot för höga strömmar. För det mesta kan vi välja tröga säkringar till motoranläggningar.

För direktstart av motorn väljer vi en säkring som är minst 150% av motorns märkström och för Y/D-start ett säkringsvärde som är minst lika stort som märkströmmen vid D-drift.

Fig 2.17



Dock får inte säkringsvärdena väljas för höga då de skall skydda matande ledningar och överlastskyddet mot skadliga strömmar. Se bestämmelserna för olika kabelareor och motorskyddets märkdata.

2: Överlastskyddet har till uppgift att skydda motorn mot måttliga överströmmar som kan värma upp motorn till skadliga temperaturer. Skyddet består av en bimetallfjäder för varje fas som är lindad med några trådvarv och tråden genomflytes av fasströmmen, se Fig 2.17. Den kommer att dynamiskt kunna spegla belastningen i motorn dvs om bimetallen värms upp lite grann med jämna mellanrum och om tiden mellan uppvärmningarna är för kort för att temperaturen att återgå till det normala kommer uppvärmningarna att adderas och spegla motorns termiska beteende. Och när temperaturen blir för hög bryter hjälpkontakten hållkretsen för huvudkontaktern och motorn kopplas ur. Omstart kan inte ske förrän bimetallen har svalnat. Av ovanstående framgår att vi inte kan ta vilket motorskydd som helst och koppla till vår motor, det måste vara ett som passar till just denna motor, så vi måste läsa motorskyddets data noga.

Inställningen av motorskyddet är normalt väldigt enkelt. Vi ställer helt enkelt in motorskyddet för märkströmmen för vår aktuella motor.

I princip alla växelströmsmotorer är försedda med ett motorskydd. Det är inte ovanligt att ett motorskydd löser ut under drift. Det beror oftast på att maskinens belastning är för hög i förhållande till maskinens märkeffekt. En orsak till att lasten är för hög kan givetvis vara att driften är feldimensionerad från början dvs motorn är för liten. Eller att maskinen fastnat på något vis. Men vanligt är att man i många industrier har höjt produktionstakten vilket medför att man ökar belastningen på maskinen utöver vad den är konstruerad för.

Det är då inte ovanligt att man ställer om motorskyddet för att kunna belasta maskinen lite ytterligare för att kunna "rycka" igång lasten eller kunna belasta lite till under driften. Det är en kortsiktig lösning som innebär att maskinen inte längre är tillfredställande skyddad under drift och risken för okontrollerade driftstopp ökar markant. En drift som går för tungt i förhållande till installerad motoreffekt måste byggas om för att vi skall kunna försäkra oss om en driftstabil anläggning.

Moderna frekvensomriktare har oftast inbyggda elektroniska motorskydd. Vid kaskaddrift dvs en frekvensomriktare driver flera motorer krävs det individuella motorskydd för varje motor.



## EMC (Elektromagnetisk kompbilitet)

### Direktiv

## EMC (ELEKTROMAGNETISK KOMPABILITET)

### Direktiv

EU har utfärdat 3 direktiv som styr konstruktion, montage och handhavande av elektriska apparater och maskiner:

- Maskindirektivet
- Lågspänningsdirektivet
- EMC-Direktivet

EMC begreppet har i dag stor spridning inom branschen. Det innebär att en elektrisk apparat skall fungera tillfredställande i sin elektromagnetiska miljö. Apparaten får inte heller inverka störande på denna miljö. För att nå detta mål finns det i dag ett antal standarder som är accepterade i Europa, t.ex. emissionsstandarder, immunitetsstandarder, installationsstandarder och produktstandarder.

Observera att EMC-direktivet inte anger några nivåer. De standarder som styr olika nivåer för t.ex. tillåtna störnivåer har tagits fram av olika branschorganisationer. Dessa standarder godkänns av EU-kommissionen och anses därmed harmonisera med EMC-direktivet. I och med att standarden harmonierar med EMC-direktivet blir den en Europaanorm och därmed tvingande inom EU. Motsvarande gäller för andra standarder som harmoniseras mot övriga direktiv. Ett exempel på dessa standarder är EN 61800-3, huvudstandard för varvtalsreglerade elektriska drifter dvs för lik- och växelströmsdrifter. Vad innebär det då att en apparat uppfyller EMC-direktivets krav? Det innebär bl.a. att den har genomgått ett antal tester.

Fig 2.18

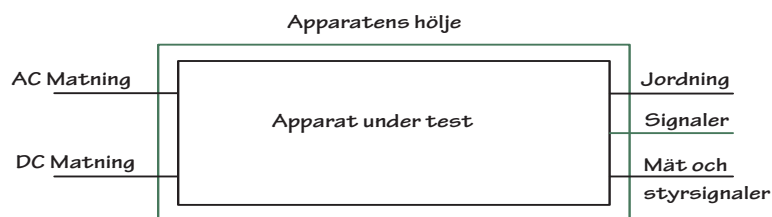


Fig 2.18 visar en generell beskrivning av en apparat som skall genomgå en EMC-test. Beroende på apparatens utformning kommer de anslutningar som är tillämpliga att testas för två saker (observera att även apparatens hölje räknas som en anslutning):

## Immunitet och Emission

En apparat som är försedd med en CE-märkning har genomgått ett antal, för den specifika apparaten tillämpliga, kompatibilitetstester. Dessa försäkrar oss om att denna apparats störkänslighet dvs dess immunitet inte är under angivna kompatibilitetsnivåer i de standarder apparaten berörs av. På samma sätt garanteras vi att apparaten inte avger störningar (emission) som överstiger kompatibilitetsnivåerna i de standarder apparaten berörs av. Dvs normerna skall vara en garant för att en nätansluten apparat varken störs eller stör det elnät den är ansluten till.

Dock fungerar det inte alltid så enkelt i verkligheten. Även om en enskild komponent t.ex. en frekvensomriktare uppfyller EMC-kraven kan denna förorsaka stora problem för angränsande utrustningar. Frekvensomriktaren är endast en av många komponenter som skall sammankopplas för att få en fungerande anläggning. Det krävs kunskaper om hur vi skall installera en frekvensomriktare i en anläggning för att den inte skall förorsaka störningar eller bli störd.

## FREKVENSSOMRIKTAREN SOM STÖRKÄLLA

Vi skall titta lite närmare på hur en frekvensomriktare kan störa annan utrustning

### Övertoner

Fig 2.19

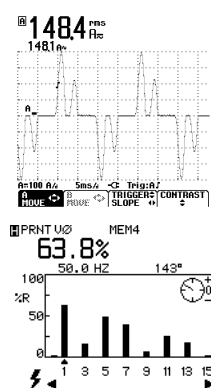


Fig 2.19 visar ett exempel på en fasströms utseende på nätsidan av en frekvensomriktare samt strömmens övertoner.

Strömövertonerna är i sig sällan ett problem förutsatt att vi dimensionerat matande kablar och transformatorer för att hantera de förluster som övertonerna ger upphov till. Vi är däremot mer bekymrade för de spänningsövertoner som kan uppstå pga strömövertonerna. Principen är den att den icke sinusformade strömmen ger upphov till ett icke sinusformat spänningsfall över nätimpedansen vilket ger upphov till spänningsövertoner

## Frekvensomriktaren som störkälla

### Övertoner

Fig 2.20

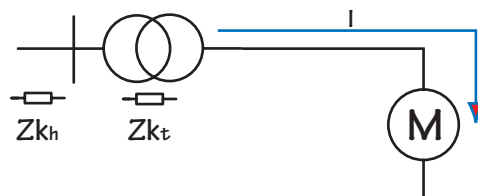


Fig 2.20 visar ett nätavsnitt som matar en asynkronmotor. Motorns belastningsström är sinusformad och ger endast upphov till ett sinusformat spänningsfall över nätavsnittets kortslutningsimpedanser. Vi erhåller inga spänningsövertoner.

Fig 2.21

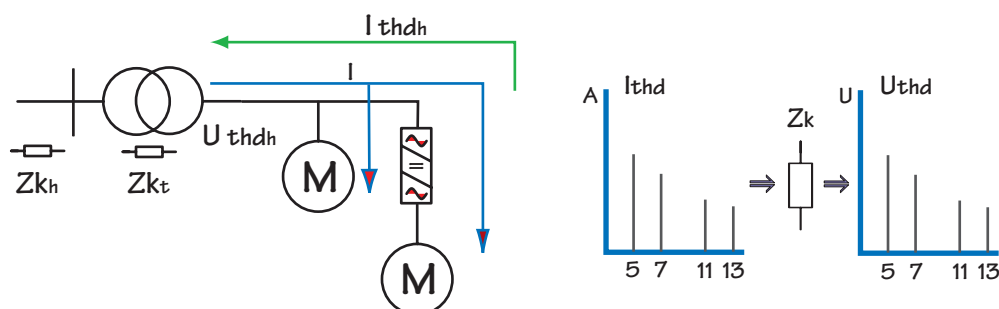


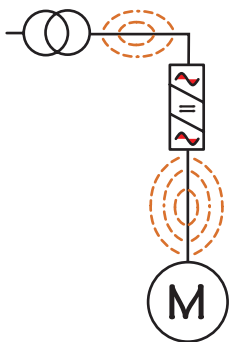
Fig 2.21 visar samma nätavsnitt men nu har vi här även monterat en frekvensomriktardrift motor. Vi kan nu betrakta den aktiva ström som bägge lasterna drar som sinusformad och betrakta den övertonsström som frekvensomriktaren ger upphov till som separat och motriktad lastströmmen. Övertonsströmmen kommer nu att ge upphov till spänningsövertoner. Storleken på dessa är en funktion av nätets kortslutningsimpedans vid respektive frekvens samt ström-övertonernas storlek dvs ohm's lag.

Enligt SS-EN 50 150 får spänningsdistorsionen inte överstiga 8% för lågspänningsnät men generellt rekommenderas att nivån inte överstiger 6%. Observera dock att vissa industriella elnät kan uppvisa en betydligt högre distorsionsnivå. Dessa är dock dimensionerade för denna nivå.

Enligt SS-EN 60 034-1 skall inte spänningsdistorsionen för en direktansluten asynkronmaskin överstiga 2-3%, beroende av motortyp. Om spänningsdistorsionen överstiger detta värde måste belastningen på motorn minskas (gäller motor som arbetar vid märklast) eller en större motor installeras.

## Högfrekventa störningar

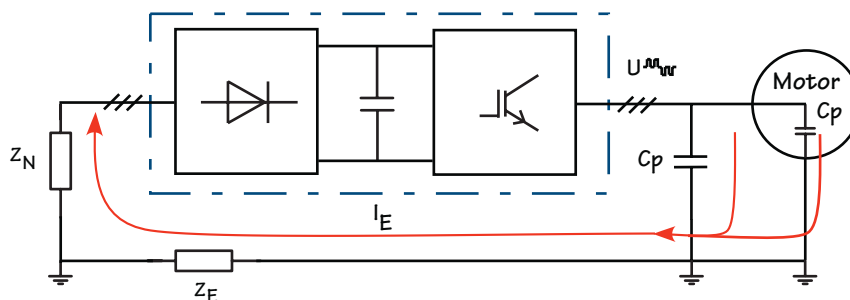
Fig 2.22



Frekvensomriktarens omriktardel utgör en mycket större störningskälla än dess likriktardel. Då frekvensomriktaren skapar den önskade utspänningen vid en viss frekvens via switchar kommer utspänningen att vara uppbyggd av korta spänningspulser. Spänningspulsernas branta flanker dvs korta stigtid, ger upphov till mycket högfrekventa spänningsövertoner. Dessa kan ge upphov till störningar på frekvenser över 100 MHz.

Vi kan återfinna dessa störspänningar både på frekvensomriktarens nät- och motoranslutningar. Frekvensomriktarens mellanled är oftast försedda med drosslar för att minimera nätåterverkan från omriktardelens switchar. Den största störkällan vid frekvensomriktardrifter är omriktardelens anslutna motorkablar. Dessa matar den anslutna asynkronmaskinen med en pulsbredsmodulerad spänning vars spänningspulser, vid 400 V nätspänning, uppvisar en amplitud av 540 V. Vid långa kablar kan dock spänningen på motorplintarna närma sig 1000V, se "Motoröverspänningar" sidan 40.

Fig 2.23



Om asynkronmaskinen är ansluten via en oskärmad kabel kommer denna att fungera som en sändaranten och vi kan få stora störfält som stör bl.a radiokommunikation. Det uppstår även kapacitivt kopplade jordströmmar i anläggningen. Om matande kabel till asynkronmaskinen är dragen via kabelstegar och/eller nära jordade metalltytor kopplas en viss ström via jorden tillbaka till matande frekvensomriktare via transformatorns/centralens PEN-kretsar. Observera att kabelstegarna skall vara jordade.

## Frekvensomriktaren som störkälla

### Hörfrekventa störningar

Vi har givetvis samma kapacitiva koppling för direktmatade asynkronmaskiner. Men då dessa matas av en 3-fasmatning med sinusformade spänningar blir summaspänningen över parasitkapacitanserna i det närmaste 0 V.

Spänningens frekvens är 50 Hz och sinusformad. Det innebär att den kapacitiva reaktansen är stor varvid den kapacitiva strömmen som kan uppstå pga obalans i matande spänning eller kabelkapacitanser blir liten.

Vid frekvensomriktarmatning kommer matningsspänningen till maskinen att innehålla många och stora hörfrekventa spänningar vilket medför att det kan uppstå stora kapacitiva strömmar. Dessa strömmar kommer när de återvänder till matningen att ge upphov till spänningsfall i jordplan/jordledare samt i transformatorns PEN-krets. Dessa spänningsfall, då framförallt spänningsfallet i PEN-kretsen, kan ge upphov till störspänningar i andra anslutna apparater.

Fig 2.24

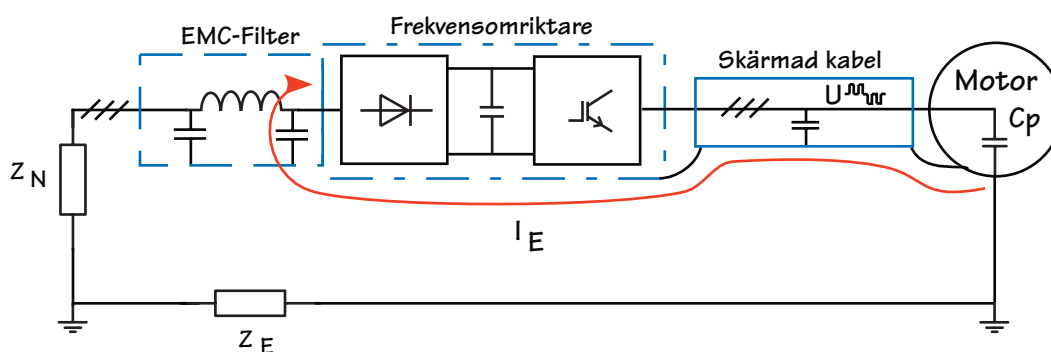


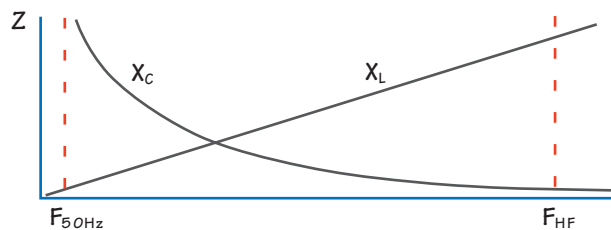
Fig 2.24 visar ett exempel på en lämplig uppkoppling av en frekvensomriktare mot en maskin. Som vi ser kommer de kapacitiva jordströmmarna att söka sig tillbaka till frekvensomriktaren via kabelns skärm. Vi har kopplat ett EMC-filter på frekvensomriktarens ingång för att minska störningarna. För att den kapacitivt kopplade strömmen i motorns gods verkligen skall kopplas tillbaka via motorkabelns skärm så krävs det att skärmens impedans är betydligt lägre än jordimpedansen  $Z_E$ .

Den kapacitiva kopplingen mellan motorkabelns ledare och skärm kommer att ge upphov till en kapacitiv ström i skärmen som skall ledas tillbaka till omriktaren via skärmen.

## Störningstyper

Som elektriker har vi tidigare bara behov bekymra oss om matande spänning dvs en 50 Hz komponent. Det mest komplexa som vi då drabbas av brukar vara jordfel och dess utbredning i anläggningen samt potentialskillnader mellan olika anläggningsdelar

Fig 2.25



När vi introducerar högfrekventa signaler introducerar vi även en helt ny 'världsbild' för vår anläggning. Små strökapacitanser som vid 50 Hz är omärkliga kan vid frekvenser av kanske 50 kHz och högre ge upphov till stora strömmar som flyter oönskade vägar. På motsvarande sätt kan de små kabelinduktanser som en jordledare uppvisar vid 50 Hz inte på något vis störa jordströmmar men vid höga frekvenser ger denna induktans upphov till stora induktiva reaktanser. Fig 2.25 visar sambandet mellan frekvens och reaktans.

Detta kan medföra att högfrekventa jordströmmar kan ta vägar som vi inte har tänkt oss, men då dessa uppvisar lägre reaktanser än jordledaren, väljer strömmen dessa returvägar åter till matningskällan. Därmed har vi erhållit vad som kallas för vagabonderande strömmar i vår anläggning. Dessa kan ge upphov till oönskade spänningsfall som tidigare beskrivits samt stora magnetfält i anläggningen.

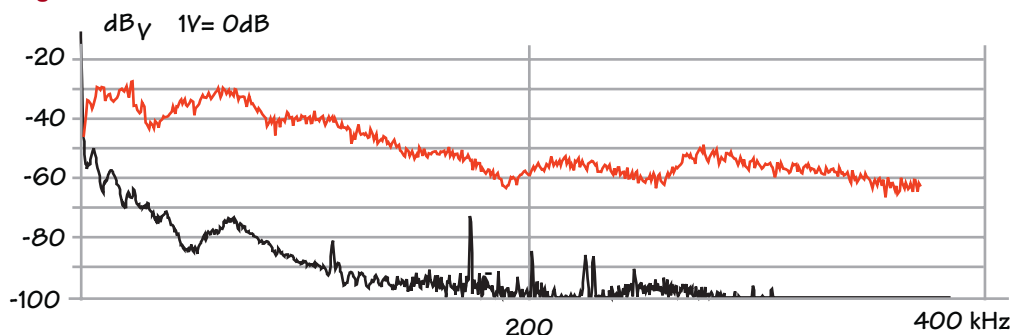
## Frekvensomriktaren som störkälla

### Störningstyper

#### Ledningsburna störningar

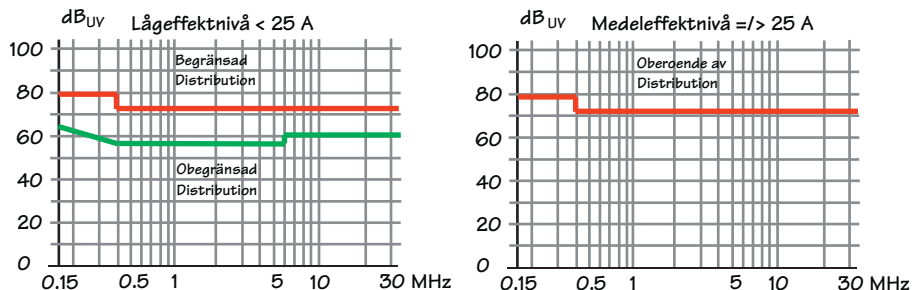
Dessa störningar fortplantar sig i anläggningen via elektriska ledare samt jordplan, vattenledningsrör, armeringsjärn samt andra ledande konstruktionsdetaljer

#### Mätning 2.1



Mätning 2.1 visar exempel på två mätningar av ledningsburna störningar. Den övre kurvan visar Hf-brus från en UPS, mätt på 230 V matningen. Undre kurvan visar en mera normal brusnivå för ett allmänt elnät i stadsmiljö

Fig 2.26



Ovanstående gränsvärden gäller för elmiljö av typ 1 dvs allmänna elnät som även matar privata abonnenter  
Gränsvärden för elmiljö typ 2, Industriella nät har ännu ej fastställts i standard

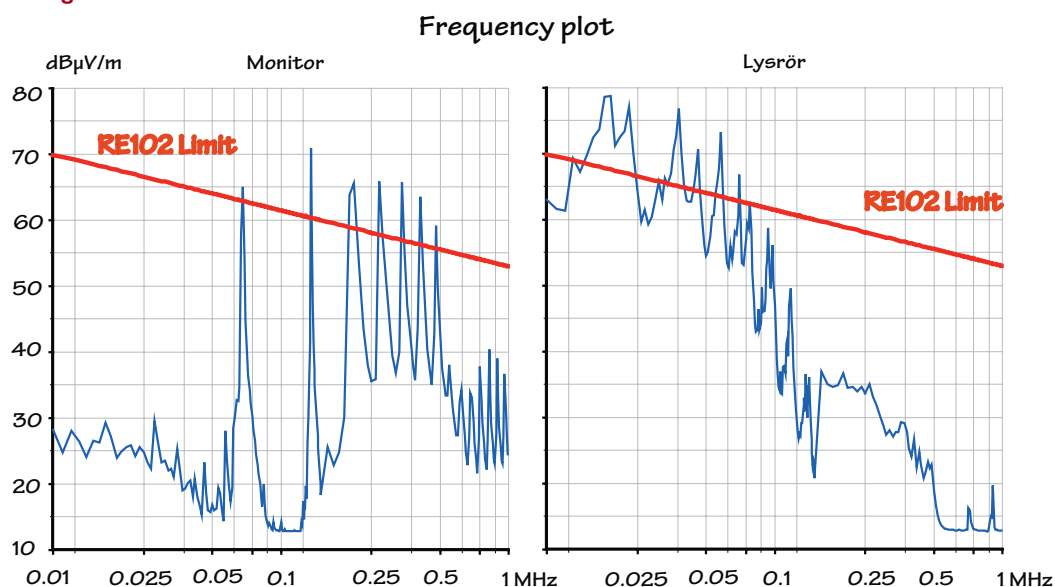
Fig 2.26 visar de maximala störnivåer som gäller enligt SS-EN 61800-3. Obegränsad distribution innebär att apparaten är en komplett produkt dvs användaren behöver endast koppla in matningen för att uppnå önskad funktion. Apparaten är även 'tät' ur EMC-synpunkt.

Begränsad distribution betyder att det krävs ytterligare kopplingar för att uppnå önskad funktion och detta skall utföras av person med nödvändig kunskap om EMC-problematik. Apparaten är inte 'tät' ur EMC-funktion

## 31 Eلفorskrapport

## Radiostörningar

### Mätning 2.2



Mätning 2.2 visar exempel på två mätningar där vi ser emissionsnivåerna från en monitor och en lysrörsarmatur.

Fig 2.27

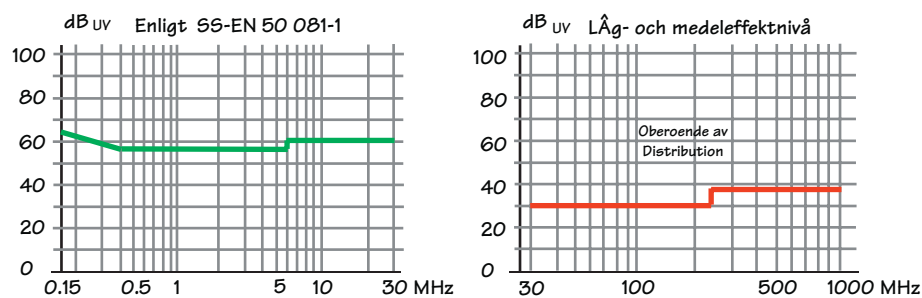


Fig 2.27 högra grafen anger maximala emissionsnivåer enligt SS-EN 61 800-3. Lågeffektsdrifter mäts på 10 meters avstånd och medeleffektsdrifter på 30 meters avstånd. Denna standard anger inga nivåer under 30 MHz. För frekvenser under 30 MHz visas maximala emissionsnivåer enligt SS-EN 50 081-1. Allmänt anses att emissionsstörningar under 30 MHz utgör ett mindre problem än de mera högfrekventa. Detta pga den längre våglängden för dessa frekvenser.

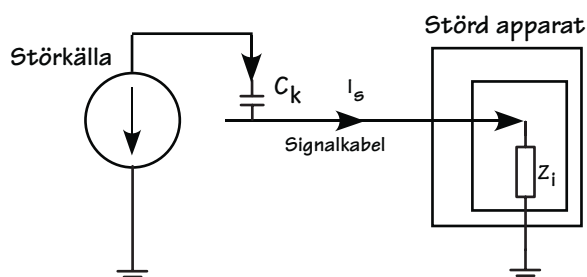


## Frekvensomriktaren som störkälla

### Störda apparater

## Störda apparater

Fig 2.28



En störsignal kan kopplas till en störd utrustning galvaniskt, kapacitivt eller induktivt. Det kan vara ingången på t.ex. en PLC.

### Galvaniskt

Störsignalen är direkt elektriskt kopplad till det störda systemet. Det kan t.ex. bestå av en stor högfrekvent ström som flyter genom systemets 0-ledare enligt tidigare beskrivning. Denna ström ger upphov till ett spänningsfall i systemet vilket visar sig som en varierande spänning över ingången.

### Kapacitivt

Fig 2.28 visar exempel på hur en störspänning kan kopplas kapacitivt från en ledare som bär störspänningen till ledaren som är kopplad till ingången. Spänningen kommer att driva en ström genom ingångskretsens impedans,  $Z_i$ . Denna ström ger upphov till ett spänningsfall över impedansen och om detta är tillräckligt stort kommer spänningen att störa den ordinarie ingångssignalen.

### Induktivt

Frekvens-Våglängd  
3 MHz - 100 meter  
30 MHz - 10 meter  
300 MHz - 1 meter

Starka magnetfält från kablar som genomflyts av stora strömmar kan induktivt kopplas till en ingångsledare och ge upphov till stora inducerade strömmar enligt beskrivningen för kapacitiv koppling

En ledare fungerar som en radioantenn om den utsätts för en radiosignal dvs det induceras en spänning i ledaren. För att den kopplade störspänningen skall kunna driva en ström genom en lågohmig krets måste även antennen vara lågohmig. Detta uppnås om ledaren är minst en 1/4 våglängd av den störda frekvensen. För mycket högohmiga ingångar kan kortare våglängder ge störningar.

## Skärmade ingångar

Fig 2.29

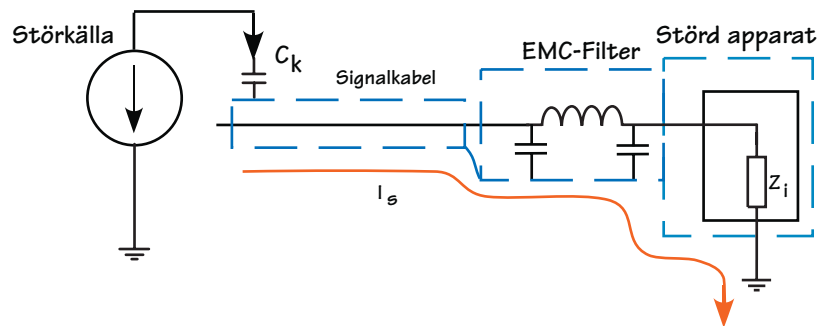


Fig 2.29 visar en idealisk lösning på störproblemet. Vi har försett den störda signalkabeln med en skärm samt kopplat in ett EMC-filter.

Begreppet EMC-Filter kan vara lite förvirrande. Man skulle kunna tro att det är ett filter som tar bort alla störningar som omfattas av EMC-begreppet, men så är inte fallet. Det är egentligen ett filter som skall dämpa högfrekventa störningar, vad som tidigare brukade kallas RFI-filter. Men begreppet EMC-filter är idag ett etablerat begrepp, så vi använder det även om vi oftast menar ett RFI-filter.

Observera att EMC-filtret kan utgöra ett problem för ingångar som hanterar snabba signaler då filtrets uppgift är att spärra högfrekventa signaler. Pulsgivaringångar är ett exempel på snabba signalingångar. För denna typ av ingångar får vi nöja oss med en noggrann skärmning av signalledaren.

Generellt gäller att analoge signalledares skärm endast skall jordas i en ände, oftast den sida som är ansluten till en ingång. Detta för att undvika att skärmen kommer att galvaniskt koppla samman två olika jordpotentialnivåer i anläggningen. Om så vore fallet kan skärmen leda höga strömmar vilka kan inducera störspänningar i innerledaren. Skärmen jordas lämpligast i andra änden via en kondensator på 10-100 nF och minst 200 V. Därmed har vi försäkrat oss om att skärmen är jordad ur HF-synpunkt men öppen med avseende på lågfrekventa signaler som 50 Hz jordströmmar.

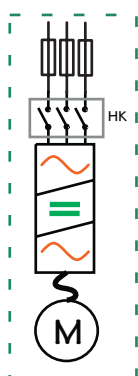
Skärmen för kablar som överför digitala signaler jordas dock oftast i bägge ändar. Använd om möjligt skärmade partvistade ledare. Detta gäller även analoge signaler.

## Frekvensomriktaren som störkälla

### Faraday's bur

#### Faraday's bur

Fig 2.30



Den idealiska lösningen ur störningssynpunkt vore givetvis att vi monterade hela driften i en skärmbur och därmed stänga in alla störningar som frekvensomriktaren skapar. En sådan skärmbur kallas för Faraday's bur och används bl.a på radiolaboratorier för att stänga ute alla externa störningar vid mätningar på radiosystem.

Detta är en lösning som vi endast kan tillämpa på små drifter som är kapslade t.ex. små varvtalsreglerade klimatanläggningar. För större drifter blir det en omöjlighet att bygga in hela anläggningen i en skärmbur. Observera även att alla apparater som befinner sig på burens insida har full möjlighet att störa varandra och bli störda. Men vi kan använda iden med en faradaybur när vi konstruerar anläggningen för att erhålla bästa skärmning och därmed även hålla emissionen av oönskade störningar från anläggningen på ett minimum.

Fig 2.31

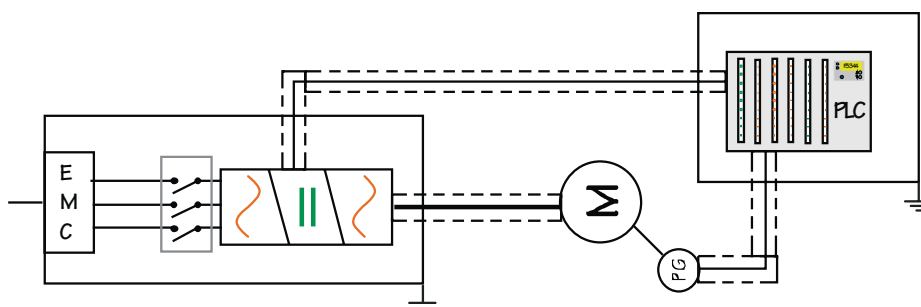
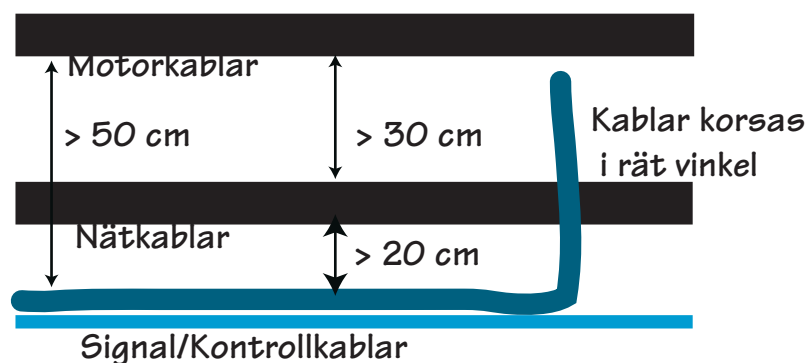


Fig 2.31 visar en installation av en frekvensomriktardrift med tillhörande styrsystem. Här har frekvensomriktaren moterats i ett metallskåp. Anslutningen av asynkronmaskinen görs via en skärmad 3-ledare. Genomföringen av alla kablar till skåpet med frekvensomriktaren skall vara av ledande material och omsluta 360 grader av ledarens skärm. Observera att skärmen inte skall tas bort vid genomföringen. Den skall omsluta ledaren upp till plintarna och där anslutas till omriktarens jordplint, se Fig 2.36, sidan 39. Kabelanslutningen i motorn skall även den förses med en 360 graders tät förskruvning av ledande material. Om det finns en packning mellan locket och motorns kopplingslåda skall denna vara av halvledande material, se Fig 2.37, sidan 39. Det samma gäller för eventuella packningar för montageskåpens dörrar. Detta för att förhindra läckage av störsignaler.

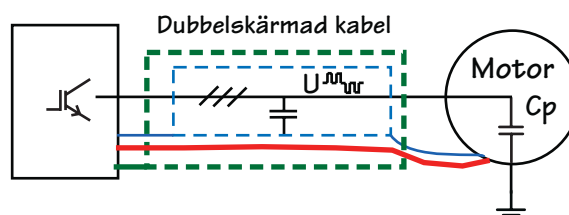
Anslutningar av kontrollkablar skall utföras på samma sätt som motorkablarna dvs skärmen skall anslutas i genomföringen och följa ledarna ända till anslutningsplinten. Nätanslutningen görs via EMC-filter. Observera att de flesta frekvensomriktare kräver ett EMC-filter på nätanslutningen för att uppfylla EMC-kraven för att anslutas i elmiljö av typ 1 dvs i det allmänna elnätet.

Fig 2.32



Försök om möjligt att inte förlägga nät och motorkablar för frekvensomriktare tillsammans. Vid en riktig installation av frekvensomriktare där vi använder rätt sorts motorkablar kommer motorkablarnas skärm att leda högfrekventa jordströmmar från motorn till frekvensomriktaren. Det finns då risk för att dessa strömmar kommer att inducera störningar i nätkablarna, se "Störda apparater" sidan 33. Idealet är om motorkablarna kan förläggas på egna kabelstegar.

Fig 2.33



För att minska kopplingen mellan motorkablelns skärm och närliggande kablar kan vi använda dubbelskärmade kablar, se Fig 2.33. Inre skärmen jordas i bägge ändar men yttre skärmen skall endast jordas vid frekvensomriktare.

## Frekvensomriktaren som störkälla

### Faraday's bur

Blanda aldrig kraft och signalkablar i samma kabelkanaler. Det bör vara ett avstånd på minst 0.5 meter mellan dessa ledare. Alla korsningar av dessa kablar skall ske vinkelrätt

Styrsystem och andra känsliga system skall monteras på samma sätt i egna isolerade skåp och alla kabelanslutningar skall även här vara försedda med ledande kabelgenomföringar.

Ovanstående text om installation av frekvensomriktare är endast en enkel introduktion. Se respektive frekvensomriktarfabrikats monteringsinstruktioner för närmare detaljer angående konstruktionsdetaljer och montage. Observera att dessa instruktioner skall följas för att en anläggning skall anses uppfylla EMC-kravet och anses CE-märkt.

Fig 2.34

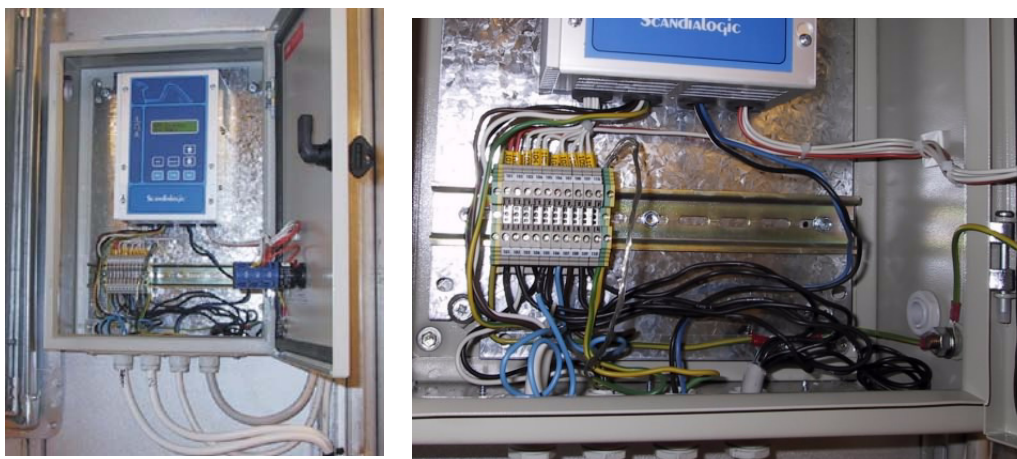


Fig 2.34 Vänstra bilden visar ett exempel på ett olämpligt montage av en frekvensomriktare för drift av ett ventilationsystem. Högra bilden visar en närbild av kabelanslutningarna. I denna anläggning uppstod det problem med styrsystemet som styrde ventilationsanläggningen.

## Motorkablar

Fig 2.35

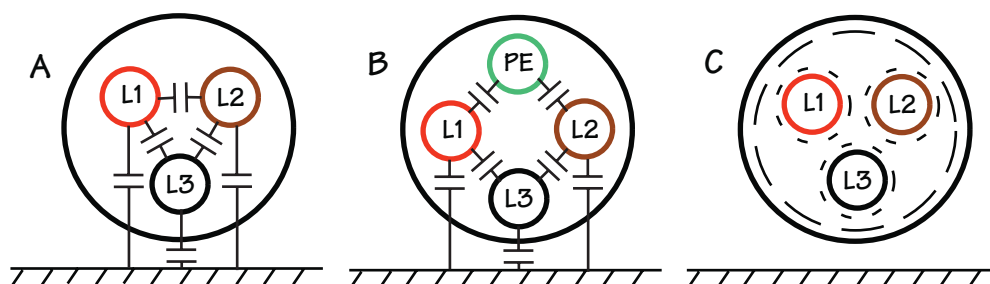


Fig 2.35 A visar de kapacitanser som finns i en 3-ledar kabel. Kapacitanserna mellan ledarna är lika stora. Kapacitanserna mellan respektive ledare och jord är en funktion av ledarens avstånd till jordplanet. Oftast blir dock ledarna skruvade vid längre kabeldragningar varvid ledar kapacitanserna mot jord blir någorlunda jämt fördelade mellan faserna.

Om vi då väljer att använda en fyrledare till motormatningen så borde vi ha löst problemet med återledning av jordströmmarna? Om vi studerar Fig 2.35 B ser vi att så inte är fallet. När vi placerar en fjärde ledare i kabeln kommer vi att bryta den kapacitiva symmetrin mellan fasledarna. Denna osymmetri kan förvärra eventuella lagerströmproblem i ansluten maskin, (lagerströmsproblematiken beskrivs närmare i ett senare avsnitt). Som figuren visar kommer inte införandet av en fjärde ledare för jordströmmar att lösa problemet med jordströmmar pga ledarkapacitanserna mot jord

Om vi använder skärmade kablar kan vi minska problematiken med jordströmmar avsevärt. Fig 2.35 C visar ett önskvärt arrangemang av skärmar dvs vi skärmar respektive ledare samt en yttre skärm.

För att säkerställa en god återledningsförmåga i motorkablarnas skärm skall inte skärmens impedans överstiga 0.1 ohm/meter vid 100 MHz. Observera att i takt med att ledarens längd ökar måste skärmens impedans minska för att inte erhålla ett för stort spenningsfall över ledaren vid högfrekventa strömmar.

För att skärmen skall vara så "tät" som möjligt för störsignaler skall den helst vara konstruerad som ett metallrör, t.ex en perforerad aluminiumskärm. I takt med att skärmens optiska täthet ökar, ökar även dess skärmning av oönskade signaler.

## Frekvensomriktaren som störkälla

### Motorkablar

Fig 2.36

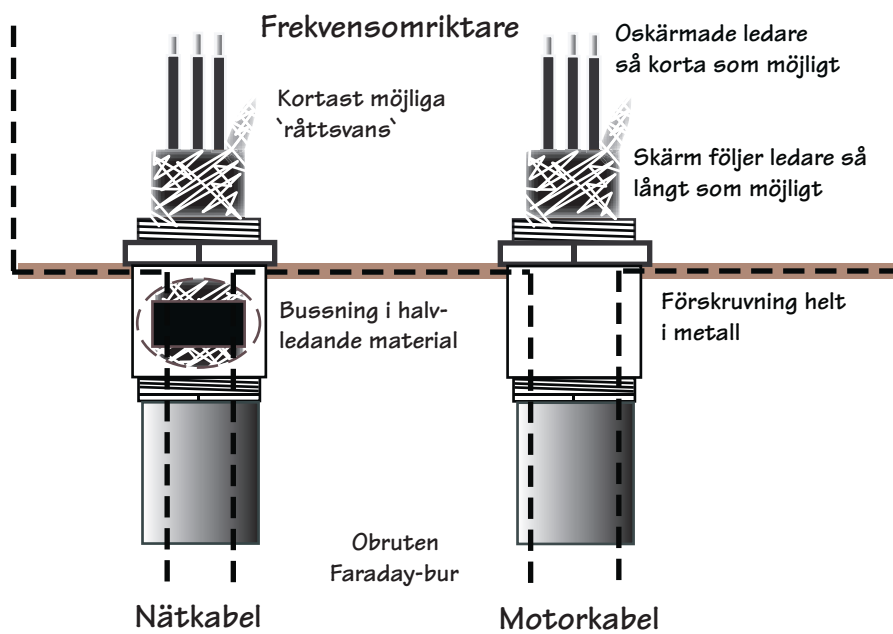
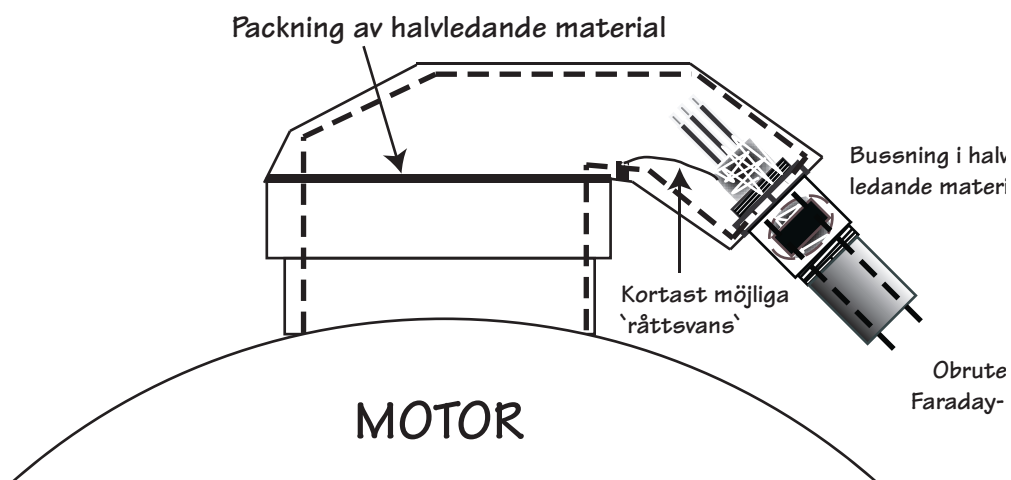
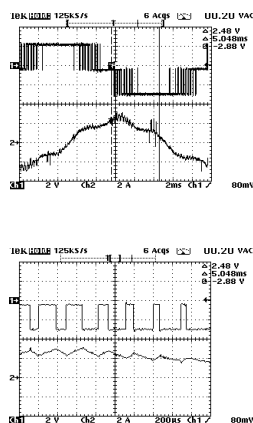


Fig 2.37



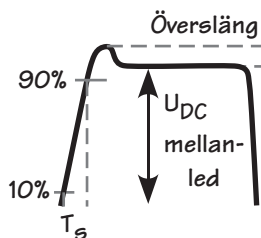
## Motoröverspänningar

### Mätning 2.3



### frekvensomriktare

Fig 2.38



På grund av den teknik vi använder för att skapa en ny växelspänning med önskad frekvensen, kommer spänningen vi ansluter till asynkronmaskinen att vara uppbyggd av ett stort antal pulser. Pulsteknikens stora fördel är att vi minimerar förlusterna i switchelementet jämfört med om vi matade maskinen med en sinusformad spänning med variabel frekvens.

Mätning 2.3 övre mätningen visar utspänningen från en frekvensomriktare samt en fasström, utfrekvens 50 Hz. Undre mätningen visar ett inzoomat avsnitt i övre mätningen

Fig 2.38 visar en schematisk bild av en spänningspuls. Spänningens amplitud är lika med  $U_n \times 1,35$  för en 6-puls 3-fas likriktare. Det betyder att för en 400 volts matning mellanledningsspänningen är 540 V och vid 690 volt blir mellanledningsspänningen 1035 V

Vid switchning av bryggan tar det alltid en viss tid att förändra bryggans spänningsnivå. Denna tid  $T_s$  är den tid det tar för spänningen att stiga från 10% till 90% av mellanledningsspänningen. Stigtiden styrs av valet av switchelement i bryggan samt deras storlek. Typiska stigtider för en modern IGBT-bestykad omriktare är 0.05-0.8  $\mu$ s.

Beroende bl.a på konstruktionen av omriktarens switchbrygga kan vi erhålla en översläng på switchpulsens framkant. Vid användandet av IGBT-switchar är oftast överslängen minimal 0-10% av mellanledningsspänningen.

Vi har nu studerat hur frekvensomriktarens utspänning ser ut på dess utgång, men hur kommer spänningen över motorn att se ut? Det spontana svaret är att spänningen givetvis har samma utseende. Men vi måste komma ihåg att asynkronmaskinen alltid är ansluten till frekvensomriktaren med en kabel av varierande längd. Det som utgör ett problem är att kabelns karakteristiska impedans är mycket lägre än den som asynkronmotorns lindningar uppvisar. Det medför att vi kommer att erhålla en spänningsreflektion i kabeländarna och därmed kan vi erhålla en sammanlagring av den ursprungliga spänningspulsen och reflektionen på motorplintarna.

Storleken på den maximala spänningstoppen mellan faserna för den anslutna asynkronmaskin är beroende av 3 saker:

- Maskinstorleken
- Stigtiden
- Kabellängden

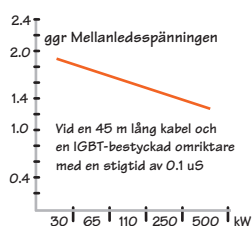


## Frekvensomriktaren som störkälla

### Motoröverspänningar

#### Maskinstorlek

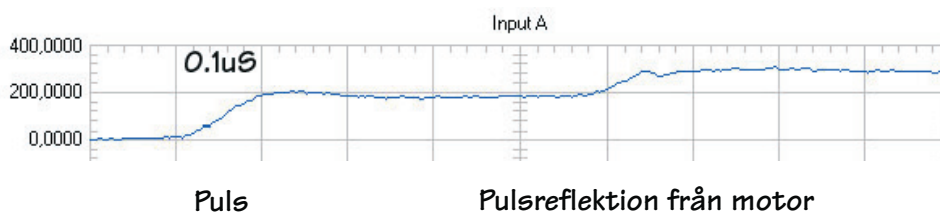
Fig 2.39



Maskinstorleken bestämmer tillsammans med kabelimpedansen storleken på den maximala spänningen som kommer att utvecklas över en lindning. Då kabelimpedansen oftast är mycket lägre än motsvarande impedans för den anslutna asynkronmaskinen (10-100 x) kan vi närmast betrakta kabeln som om den vore oansluten för mindre maskiner, se Fig 2.39. I takt med att maskinens storlek ökar minskar dess impedans vilket medför att spänningsspikens storlek minskar då missanpassningen mot kabeln minskar.

#### Stigtid

Fig 2.40



Stigtiden för moderna IGBT-switchar är idag 0.1 - 0.8 us, stigtiden ökar i takt med omriktarens storlek pga ökande kapacitanserna i switchelementen. Fig 2.40 visar mätningen av stigtiden för en liten 0.75 kW enfasis frekvensomriktare. Mellanledsspänningen är 300 V. Observera att vi här även ser reflexionen från den anslutna maskinen.

#### Kabellängd

Kabellängden och dess betydelse är beroende av stigtiden på den spänningssvåg som färdas genom kabeln. Om stigtiden är kort kommer vi att få stora svängningar i spänningen vid laständan vid förhållandevis korta kablar. Vid en switchtid av 0.1 microsekund och en kabellängd av 10 till 15 meter) är det fullt möjligt att erhålla spänningsspikar på närmare 2 ggr mellanledsspänningen över lasten. Det betyder för en huvudspänning av 400 V att vi kan erhålla spänningar på drygt 1000 V mellan faserna och vid en huvudspänning av 690 V kan vi erhålla spänningstransienter runt 2000 V mellan faserna. I takt med att kabellängden ökar kommer kabelns dämpning att medföra att spänningstransientens amplitud minskar

Fig 2.41

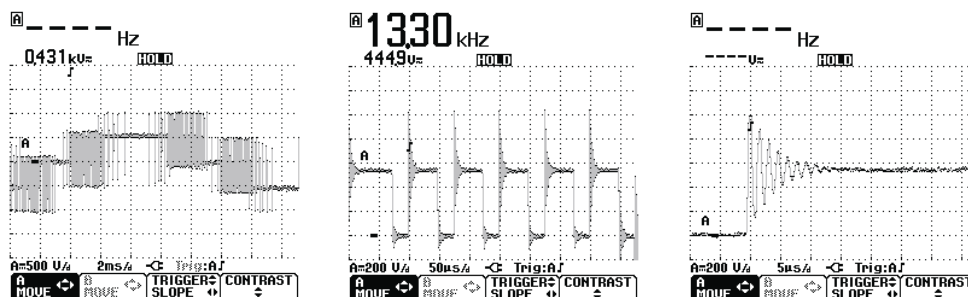


Fig 2.41 Visar mätningen av en huvudspänning på en frekvensomriktardriven motor som matas via en 50 meter lång kabel. Vänstra mätningen visar en period av spänningen vid 50 Hz utfrekvens. Den mittere mätningen visar inzoomningar av några switchpulser i vänstra mätningen. Högra mätningen visar slutligen en enskild switchpuls med "ringning".

Då spänningsflanken är mycket brant kommer vi att få en ojämn fördelning av spänningen över respektive statorlindning då spänningen inte hinner fördela sig jämt över spolens alla varv. Större delen av spänningsspiken kommer att hamna över lindningens yttersta varv vilket medför att isoleringen på dessa varv tenderar att åldras snabbare än isoleringen på övriga varv. Detta kallas för dielektrisk stress och medför att isoleringen bryts ned varvid vi erhåller små genomslag som börjar i små håligheter i isoleringen. Energiinnehållet i dessa genomslag är mycket litet pga den korta pulstiden. Därmed sker ingen egentlig jonisering och vi erhåller inga regelrätta genomslag. Maskinens isolering kan dock utveckla skador som kan medföra att vid t.ex långa driftuppehåll kan kondens förorsaka överledning mellan ledare och jord eller mellan faser. När så maskinen kopplas in ökar risken för överslag och ett regelrätt haveri i maskinen. Frekvensomriktarna kan däremot ofta detektera detta förlopp och larmar då för jordfel. När så motorn monteras ned och sedan mäts på verkstad kan inget fel påvisas. Faran är då att maskinen ställs in i motorförådet som felfri.

Observera att även matande kabel utsätts för dessa spänningsspikar i motoränden vilket ställer stora krav på spänningstålighet. Vi kan se ett samband med ökande kabeljordfel och frekvensomriktarmätningar.

## Frekvensomriktaren som störkälla

### du/dt Filter

#### du/dt Filter

Vad kan vi då göra för att minska amplituden på spänningstransienten?

Om vi väljer att kopplar induktanser i serie med kabeln så kommer spänningamplituden att minska, Hur stor minskningen blir är en funktion av induktansens impedans. Men om vi väljer en för stor induktans kommer spänningsfallet över den att bli för stort och frekvensomriktaren kommer att få problem med att reglera varvtal och moment tillfredställande. Priset vi får betala för att minska spänningstransientens storlek blir att i takt med att vi 'skymmer' motorn för frekvensomriktaren minskar reglermöjligheterna. Kom i håg att maskinens vridmoment minskar kvadratisk mot en spänningsminskning av maskinens matningsspänning. Dock är detta knappast ett problem för de allra flesta drifter vilka inte ställer extrema krav på reglerprestanda, t.ex. vanliga pump- och fläktdrifter.

Det finns ett antal kommersiella lösningar i form av du/dt filter för att minska spänningsslankens stigtid och därmed även minska spänningstransienternas storlek i maskinen. Vad som är lämpligt för respektive frekvensomriktare kan leverantörerna av frekvensomriktare ge upplysningar om.

Fig 2.42

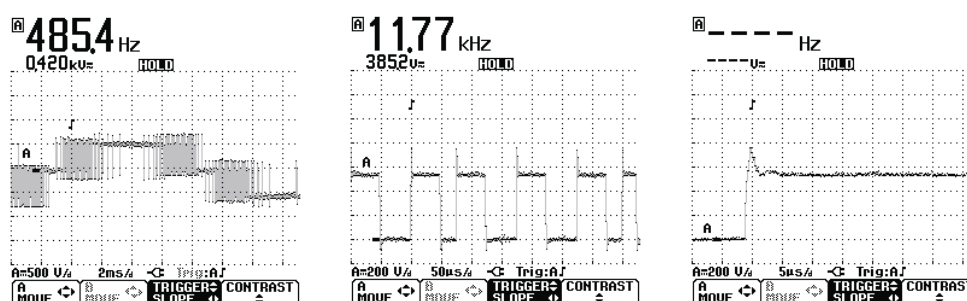


Fig 2.42 Visar samma uppkoppling som mättes i Fig 2.41 efter det att vi kopplat in ett du/dt filter på frekvensomriktarens utgång. Om vi jämför mätningarna ser vi att spänningens rms-värde över motorn har minskat med ca 10 V. Det innebär att om vi väljer denna lösning måste kontrollera att motorns vridmoment inte blir lägre än önskad nivå!

Nedanstående tabell ger upplysningar om isolationskrav för en ansluten asynkronmaskin som en funktion av matande näts huvudspänning och frekvensomriktarens stigtid. Värdena är hämtade från ABB och avser maskiner anslutna till ACS 600 och ACS 800

### Slumpmässigt lindad maskin

Matande näts huvudspänning	Peakspänning mellan motorfaser
$U_H \leq 420V$	$U_{peak} \geq 1300V$
$420V < U_H \leq 500V$	$U_{peak} \geq 1300V + du/dt\text{-filter}$ $U_{peak} \geq 1600V$ och $\Delta t \leq 0,2\mu s$
$500V < U_H \leq 600V$	$U_{peak} \geq 1600V + du/dt\text{-filter}$
$600V < U_H \leq 690V$	$U_{peak} \geq 1800V + du/dt\text{-filter}$

### Mallindad

För en maskin vars lindningar är mallindade och vars isolation klarar en Peakspänning på maximalt 2000 V kan anslutas utan du/dt filter så länge som stigtiden inte understiger 0.3 us. Vid kortare stigtider rekommenderas användning av du/dt filter.

### Ombyggnad av äldre drifter

Vid ombyggnad av äldre direktdrivna motorer till frekvensomriktardrifter måste vi vara mycket uppmärksamma på befintlig motor och matande kablers spänningstålighet för att vi inte skall erhålla jordfel efter en tids frekvensomriktardrift.

## Lagerströmmar

### Bakgrund

## LAGERSTRÖMMAR

### Bakgrund

Med lagerströmmar menar vi strömmar som av någon anledning cirkulerar genom rotoraxel och ett eller flera av asynkronmaskinens lager. Lagerströmmar är ingen ny företeelse i samband med elektriska motordrifter utan har varit en del av "vardagsbekymren", framförallt i samband med likströmsdrifter, men även för stora växelströmsmotordrifter. Problematiken har varit känd under lång tid.

Fig 2.43

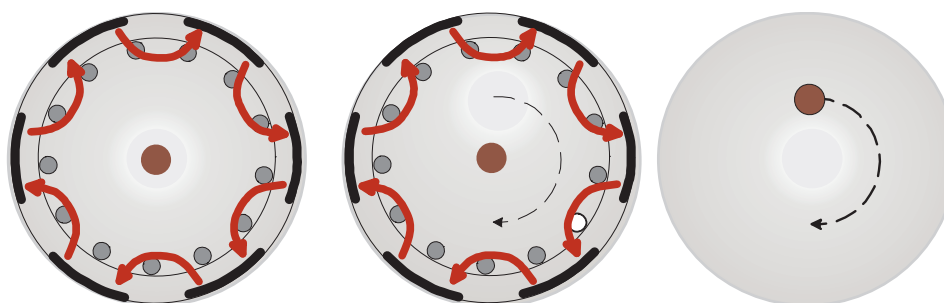


Fig 2.43 visar ett exempel på hur ett skadat lager kan se ut när det har delats. Vi ser framförallt i den yttre lagerbanan de karakteristiska "blixtlåsmönster" vi får vid en lagerströmsskada. Även lagerkulorna uppvisar den karakteristiska matta ytan pga lagerströmmen.

Den "klassiska" lagerströmsproblematiken för direktmatade asynkronmaskiner är giltigt för stora, få-poliga maskiner, i första hand 2-men även 4 poliga maskiner. För mindre och mångpoliga växelströmsmaskiner är magnetfältsosymmetrin i luftgapet mindre och därmed minskar även lagerströmmarna.

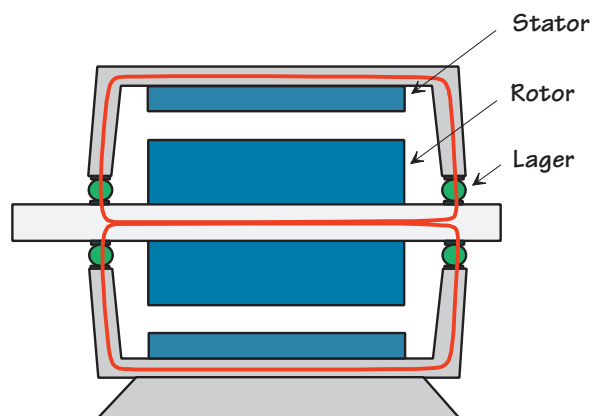
Fig 2.44, sidan 46, vänstra bilden, visar en asynkronmaskin i genomskärning. Om vi matar statorlindningarna med en sinusformad spänning kommer rotoraxel att hela tiden befinna sig i 0-punkten av det magnetfält som statorn skapar. Därmed kommer ingen spänning att induceras i motoraxel.

Fig 2.44



Men om en fasimpedans avviker från de andra kommer fasströmmarna och därmed även magnetfältet i luftgapet att bli osymmetriska. Det innebär att rotoraxel inte längre befinner sig i den magnetiska 0-punkten. Om vi väljer att undersöka vad som sker i rotoraxel med magnetfältets 0-punkt som centrum, se högra figuren, blir det enklare. Då kan vi betrakta rotoraxel som en stav i rotorn och vi inser att den i axeln inducerade spänningen är en funktion av magnetfältets styrka och den hastighet med vilken axeln skär magnetfältet.

Fig 2.45



Den i rotoraxel inducerade spänningen kommer att ge upphov till en potentialskillnad mellan rotoraxelns ändar. Detta medför i sin tur att denna potentialskillnad även kommer att återfinnas över maskinens lager. Om spänningspotentialen är tillräckligt hög kommer det att uppstå ett genomslag och det flyter en ström genom lagret och maskinens statorgods, se Fig 2.45.

## Lagerströmmar

### Frekvensomriktardrifter

*Genombrotts spänningen för oljefilmen kan variera mellan 2-3 volt upp till 20 - 30 volt beroende på lagertyp.*

När lagret genomflyts av en elektrisk ström uppstår det likala urladdningar mellan lagrets yttre- och inre lagerbana samt rullkroppen. Hettan som utvecklas vid urladdningen förorsakar en lokal smält-punkt i lagerytan.

Därmed uppstår det en krater i lagerbanan. Materialet i kraterytan återhärdar men nu till en glashård yta. Materialet under kratern återhärdar dock inte utan är nu av härdat dvs mjukare än både kraterytan och underliggande metall. Kraterstorleken för skador som har uppstått vid frekvensomriktardrifter (den vanligaste skadetyper idag) är 5-8  $\mu\text{m}$ . När så rullkroppen passerar kratern kommer de mekaniska vibrationerna som uppstår att ge upphov till det typiska "blixtlås- eller tvättbrädemönstret" i lagerbanorna och rullkropparnas matta yta. Den smälta metallen som lämnar kratern vid urladdningen återfinns i lagrets smörjmedel. Även smörjmedlet påverkas av strömgenomflytningen och brukar mörkna och hårdna vilket medför att dess smörjegenskaper försämras.

Men när frekvensomriktardrifter blir allt vanligare möts vi av nya lagerströmsproblem som framförallt gör sig märkbara i små maskiner där det tidigare aldrig uppstod lagerströmsskador. Det finns ett antal olika orsaker till lagerströmmar som vi skall undersöka samt lämpliga motåtgärder.

### Frekvensomriktardrifter

Vid frekvensomriktardrifter finns det tre huvudtyper av lagerströmmar vilka vi skall studera närmare:

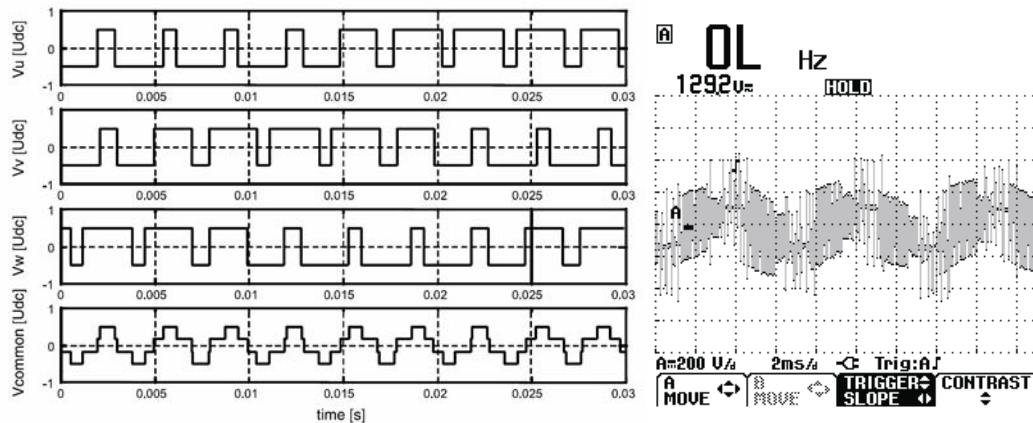
- 1 Högfrekventa cirkulerande strömmar
- 2 Axeljordade strömmar
- 3 Kapacitiva urladdningsströmmar

#### 1: Högfrekventa cirkulerande strömmar

Det finns alltid kapacitanser mellan maskinens lindningar och dess statorgods. Det betyder att när maskinen matas med en växelspanning kommer det att flyta en viss ström genom kapacitanserna och ut i maskinens stator. Då maskinen matas med en symmetrisk 3-fasspanning kommer summaströmmen i statorn att bli 0 pga att de tre fasströmmarna tar ut varandra då fasförskjutningen mellan faserna är 120 grader.

Men vad händer om maskinen matas från en frekvensomriktare?

Fig 2.46



Vid frekvensomriktardrift kommer utspänningen att växla mellan två givna spänningsnivåer per fas dvs 0 och  $U_{dc}$ , mellanledsspänningen. Det betyder att vi kommer att erhålla en nettospänning över lindningskapacitanserna mot statorgodset som inte blir 0,  $V_{common}$  i vänstra bilden i Fig 2.46. Högra bilden visar en mätning av spänningen mellan lindningarnas Y-punkt och maskinens gods. Denna spänning kommer att driva en ström i statorns gods. Denna ström ger upphov till ett högfrekvent magnetfält i luftgapet vilket kommer att inducera en spänning i rotoraxeln. Det motsvarar vad som visas i Fig 2.44, sidan 46.

Fig 2.47

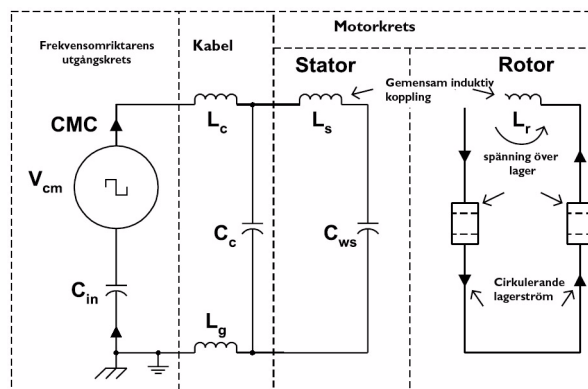


Fig 2.47 visar en bild av hur strömmarna flyter i motorkretsen.

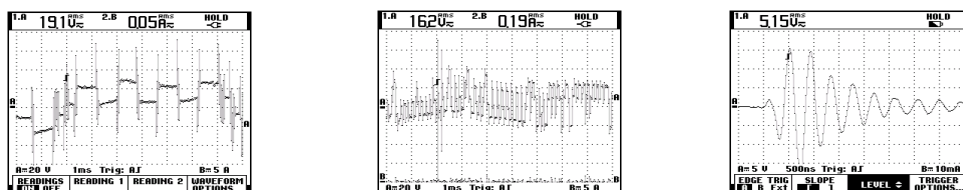


## Lagerströmmar

### I: Högfrekventa cirkulerande strömmar

Om spänningen över lagren blir tillräckligt hög kommer vi att få ett överslag i lagret och en lagerström som följd.

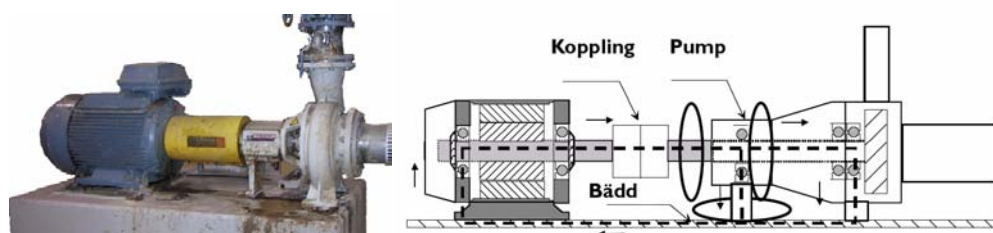
#### Mätning 2.4



Mätning 2.4, vänstra mätningen, visar spänningen över ett lager på en 400 kW, 4-polig asynkronmaskin som är frekvensomriktarstyrd. Mittre mätningen visar lagerspänningen för en 110 kW 2-polig maskin. Slutligen visar högra mätningen en förstoring av en av pulsarna i den mittre mätningen. Observera skillnaden i skalning av Y-axeln mellan mätningarna.

Denna typ av lagerströmmar är vanligast på medium och högeffektsmaskiner. Axelhöjd IEC 315 dvs 100 kW och högre.

Fig 2.48



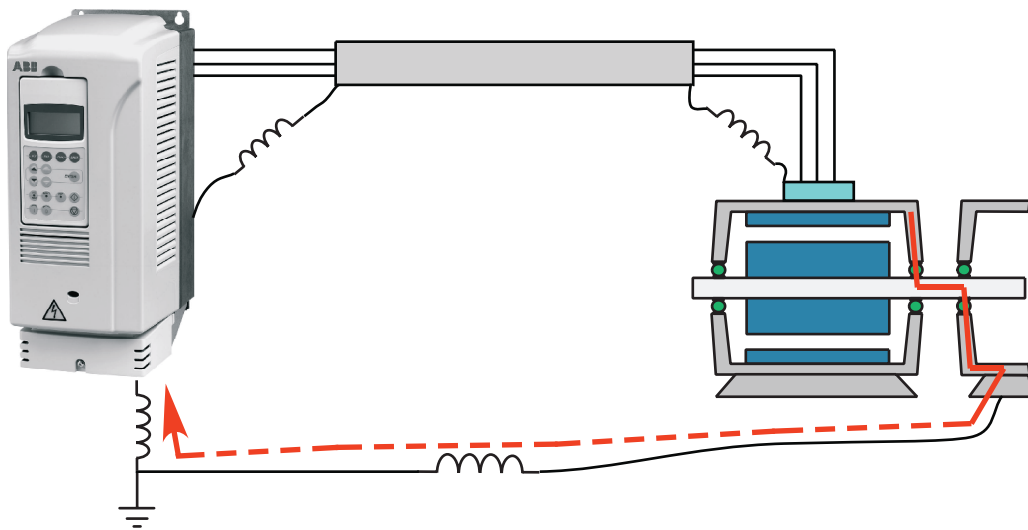
Vi kan erhålla vagabonderande strömmar vid t.ex pumpdrifter eller andra drifter då impedansen mellan maskinens axel och jord uppvisar ett lägre värde, t.ex via lagren i pumpen eller annan ansluten last så som en växellåda, än via drivsidans lager, se Fig 2.48.

Beroende på lagerkonstruktion i den yttre kretsen kan vi erhålla ett lagerhaveri som uppstår mycket tidigare än för fridsidans lager i maskinen. I detta fall har vi helt tappat kontrollen över vilka skador som lagerströmmarna kan ge upphov till. I många fall kan det vara betydligt dyrare och besvärligare att byta ett eller flera lager i t.ex en växellåda jämfört med asynkronmaskinen.

## 2: Axeljordade strömmar

Spänningen som uppstår mellan maskinens lindningar och statorgodset driver en ström i kretsen. Idealiskt sett skall denna ström återvända till frekvensomriktaren via matande kabels skärm.

Fig 2.49



Men då alla ledningar uppvisar en impedans så är det inte säkert att skärmåterledaren från motor till frekvensomriktare uppvisar den lägsta impedansen. Vi måste komma ihåg att vi har strömmar med frekvenser över 1 MHz! Det medför att impedanser som är försumbara vid 50 Hz nu kan uppvisa ett mycket stort motstånd mot den högfrekventa strömmen.

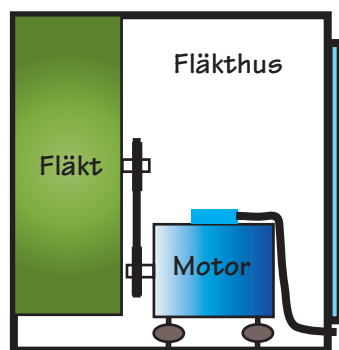
Om då motoraxeln är jordad via lasten kan impedansen via last och övriga jordåterledare vara lägre än impedansen i matande kabel. Det får då till följd att vi får en spänningspotential över motorns lager och om lagerspänningen blir tillräckligt hög kommer vi att få överslag i lagret och det flyter en lagerström. Observera att vi nu även kan få lagerströmmar i lastens lager,

Denna typ av lagerströmsproblematik är oberoende av motorstorlek. Det behövs endast en frekvensomriktardriven motor vars axel är jordad via lasten. Felaktiga motorkablar kan förvärra problematiken men vi återkommer strax till kabelval samt lämpliga åtgärder mot lagerströmmar.

## Lagerströmmar

### 2: Axeljordade strömmar

Fig 2.50



Spänning mellan motor och fläkthus

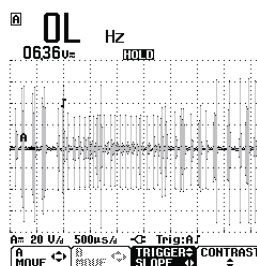


Fig 2.50 visar ett problem med kablar vars skärmimpedans är hög för de högfrekventa strömmar som skall föras till baka till frekvensomriktaren via skärmen. Figuren föreställer ett fläkthus av metall. Den drivande motorn är monterad på vibrationsdämpande fötter. Maskinen är endast förbunden med fläkthusets jord via motorkabelns skärm då motorfötterna är ickeledande.

Om vi resistansmäter mellan motor och fläkthus är resistansen nära 0 dvs potentialutjämnningen ser OK ut.

Men om vi nu startar frekvensomriktaren och nu mäter spänningen mellan motor och fläkthus med ett instrument som klarar högre frekvenser (min 20 MHz) ser vi att vi erhåller ett spänningsfall över motorkabelns skärm. Detta ger oss en betydande potentialskillnad mellan motor och fläkthus under drift. Observera att denna potentialskillnad endast är märkbar för högre frekvenskomponenter, vi ser inga 50 Hz komponenter i mätningen. Mätningen är utförd på en motor som matas via en ca 50 meter lång kabel.

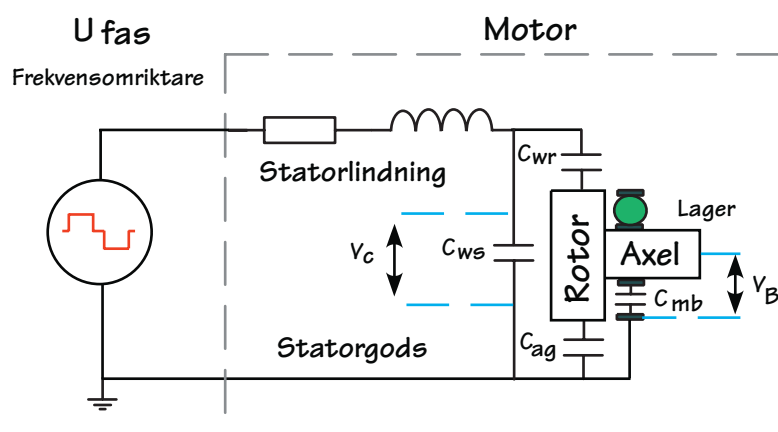
Denna mätning visar på vikten med kablar som har en skärm som är avsedd för att leda högfrekventa strömmar.

### Extern uppladdning av motoraxel

Innan vi studerar den tredje varianten av lagerströmmar vid frekvensomriktar drifter kan vi nämna att vi ibland även kan erhålla lagerströmmar pga statisk uppladdning av motoraxel. Fläktmotorer som driver fläkten via en remskiva och en icke ledande fläktrem är ett exempel på detta fenomen. Observera att detta givetvis kan drabba direktdrivna växelströmsmotorer.

## 3: Kapacitiva urladdningsströmmar

Fig 2.51



Vi kan finna en tredje orsak till lagerströmmar på små motorer, från ca 30 kW och mindre. Om vi undersöker en motor som inte är jordad via lasten, t.ex en fläkt där motorn driver lasten via kilrep, finner vi att det finns två kapacitiva kopplingar från statorsidan. En från statorlindningen till rotorn och en från statorgodset till rotorn. Dessa finner du märkta som  $C_{wr}$  respektive  $C_{ag}$  i Fig 2.51. Dessa två kapacitanser verkar som en spänningsdelare.  $C_{ws}$  är kapacitansen mellan statorlindning och stator gods. Om inte rotorn är jordad kommer spänningspotentialen som uppstår över rotorn att även återfinnas över lagrets kapacitans  $C_{mb}$ .

Spänningen över lagret kan beräknas enligt

**Beräkning 2.21**

$$V_B = \frac{C_{WR}}{C_{WR} + C_{AG}} \times V_C$$

Studerar vi Beräkning 2.21 ser vi att i takt med att kapacitansen  $C_{ag}$  ökar (dvs dess impedans minskar) så minskar även spänningen över lagret.

Den maximala spänning vi kan erhålla över lagret, vid frekvensomriktardrift, är en funktion av motorn olika kapacitanser. Det betyder att denna spänning även går att påverka vid konstruktion av motorn. Det betyder att vi med all sannolikhet får maskiner som i framtiden uppvisar låga spänningar över lagren som en funktion av ovanstående problembeskrivning.

## Förebyggande åtgärder

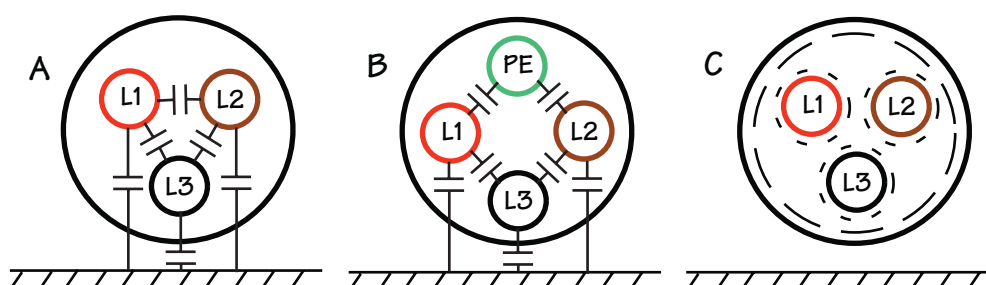
### I: Högfrekventa cirkulerande strömmar

## FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER

Vi skall nu undersöka några lämpliga åtgärder vid konstruktion av motordriften för att minimera problematiken för de olika typerna av lagerströmmar.

### 1: Högfrekventa cirkulerande strömmar

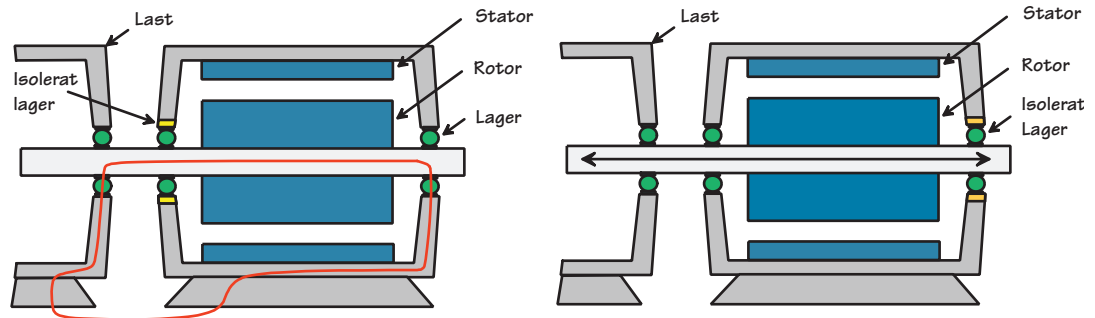
Fig 2.52



För att erhålla en god kapacitiv symmetri i systemet är det viktigt att välja rätt sorts motorkablar. Kabeln skall vara symmetrisk dvs den skall endast innehålla 3 fasledare samt skärm, se kabel C i Fig 2.52. Idealet är en kabel med separata skärmar runt varje fasledare samt en gemensam koncentrisk skärm. Därmed minimeras även oönskade störfält från motorkabeln. Oskärmade kablar och/eller kablar med en PEN-ledare ger onödigt stora kapacitiva kopplingar mot omgivande detaljer samt osymmetriska kapacitiva strömmar vilka kan förvärra lagerströmsproblematiken, se kabel A och B i Fig 2.52.

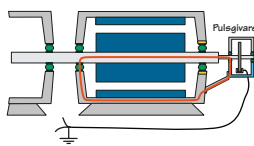
En lösning är att isolera maskinens lager. Dock skall vi inte isolera maskinens bägge lager då vi kan få mycket höga spänningspotentialer mellan rotoraxel och stator pga. kapacitiv koppling mellan stator och rotor. Vi monterar nu endast ett isolerat lager på vår maskin men vi kan inte välja fritt vilket lager vi väljer att isolera. Om vi isolerar drivsidans lager är risken mycket stor att strömmen i vår maskinaxel vandrar in i lasten och via ett lager i lastsidan genom jord och frisdans lager sluter strömkretsen, se vänstra illustrationen i Fig 2.53. Det enda vi lyckats att åstadkomma är att fördela lagerströmsproblematiken på flera maskinenheter vilket knappast är att betrakta som ett framsteg då vi förlorar kontrollen över vilka lager som ev. skadas.

Fig 2.53



Om vi däremot placerar det isolerade lagret på maskinens frisida kommer vi att uppnå önskat resultat dvs. vi bryter strömkretsen men har fortfarande kontroll över rotoraxelns spänningspotential, se högra illustrationen i Fig 2.53.

Fig 2.54



Många av asynkronmaskinerna som används inom industrin driver processer med mycket höga krav på varvtalsnoggrannhet. Det medför att dessa utrustas med pulsgivare för att kunna uppnå den bästa varvtalsregleringen. När pulsgivaren monteras på växelströmsmaskinens frisida måste vi tänka oss för så att vi inte sluter strömkretsen igen! Fig 2.54 visar vad som sker då vi monterar pulsgivaren på asynkronmaskinen. Då pulsgivarens lager är litet kommer det att förstöras snabbare än maskinlagret varvid vi får ett haveri av pulsgivaren som följd. Lagerhaveriet ger upphov till vibrationer vilka kan återfinnas i signalen från pulsgivaren och störa moment/varvtals regleringen. Strömslingan sluts genom staget vid montage av pulsgivaren. Vi måste isolera staget i ena änden för att bryta strömslingan.

Men vi får inte heller glömma bort skärmningen av signalkabeln från pulsgivaren. Då skärmen för signalkabeln är jordad i pulsgivaren kommer vi att åter sluta strömslingan när vi jordar skärmen i kopplingspunkten. Därmed kortsluter vi den isolation som vi utfört på montagestaget för pulsgivaren.

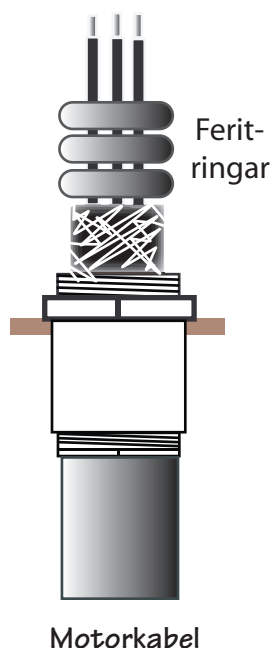
## Förebyggande åtgärder

### I: Högfrekventa cirkulerande strömmar

#### Common mode och du/dt filter

Fig 2.55

Anslutning till  
frekvensomriktare



För att i någon mån minska problematiken med högfrekventa cirkulerande strömmar i statorn kan vi använda något som kallas för common mode filter. Dessa består oftast av en eller flera ferritringar som träds på motorkablarna före skärmen i frekvensomriktaren, se Fig 2.55. Dessa kommer att verka som en lokal induktans för icke sinusformade strömmar. De sinusformade strömmarna kommer att "ta ut" varandra så deras summamagnetfält blir 0! För de strömkomponenter som inte är sinusformade erhåller vi ett summamagnetfält. Detta kommer då att mha ferritringarna ge upphov till en induktanshöjning för dessa strömkomponenter i denna kabelpunkt.

Därmed kommer icke sinusformade strömkomponenter att minska i kabeln. Detta är något som kan minska momentvariationer i ansluten motor pga icke sinusformade strömmar. Detta är dock oftast inte något problem med moderna frekvensomriktare då dessa pga höga switchfrekvenser ger motorströmmar som har en god sinusform.

Det är dock spänningens kurvform som är det stora problemet med typ 1 lagerströmmar. Den påverkas inte av common mode filtret i någon egentlig omfattning. Här har ett du/dt filter större effekt. Då detta filter minskar stigtiden något för spänningspulserna från frekvensomriktaren kommer 0-spänningen mellan lindningar och statorgodset att minska något. Därmed minskar även de strömmar som cirkulerar i statorgodset och ger upphov till en magnetisk koppling till rotoraxel. Dock kan inte du/dt-filtret göras tillräckligt stort för att helt motverka problemet då vi skulle erhålla orimliga spänningsfall över detta.

Observera att vissa frekvensomriktartillverkare påpekar att vid användande av dessa filter får inte omriktaren arbeta i vektorregleringsmode, utan skall arbeta skalärt. Även den maximala switchfrekvensen måste anpassas till använt filter. Kontrollera vad som gäller för det fabrikat som du arbetar med om du skall använda dessa filtertyper.

## 2: Axeljordade strömmar

Fig 2.56



För dessa lagerströmmar är det mycket viktigt att vi har en så låg impedans som möjligt i vår kabelskärm. Detta för att försäkra oss om att de strömmar som har kopplats kapacitivt från motorlindningen till statorgodset återvänder till frekvensomriktaren via skärmen och inte några andra vägar.

Vi skall välja riktiga motorkablar som är symmetriska och med en bra skärm. Vid montage av kabel i motor skall vi försäkra oss om att statorn blir riktigt jordad, även högfrekvensmässigt.

För att försäkra oss om att vi inte får lagerproblem pga potentialskillnader mellan motor och last kan vi använda oss av en isolerad kopplingshalva. Observera att detta ger upphov till problem enligt Fig 2.50, sidan 51. Vi kan även potentialutjämna motor och last om vi inte kan isolera dessa från varandra. Potentialutjämningen bör lämpligast göras med en bred kopparfläta kortaste vägen mellan motor och last. Den bör vara 50 till 100 mm bred för att minimera dess induktans se Fig 2.56.

## 3: Kapacitiva urladdningsströmmar

För att minimera denna problematik är det önskvärt att rotor och stator uppvisar samma potential. Därmed uppstår det inga urladdningsströmmar i motorns lager. Detta kan vi uppnå genom att använda en släpring på motoraxeln tillsammans med ett kol som jordar axeln till statorn. För att undvika eventuella cirkulerande strömmar bör vi även använda ett isolerat lager på maskinens frisida om motorn är lite större. Det finns en osäkerhet om tillförlitligheten med axeljordning via släpring och kol, men det är en metod som har använts länge för likströmsmaskiner så det är en utprovad metod. Den kräver dock ett visst mått av tillsyn och underhåll.

Det finns även rekommendationer om att använda ledande remmar eller kilrep mellan motor och fläktlasten. Därmed avses att jorda rotorn via lasten. Doch är det osäkert vad som sker med lastens lager, har vi bara flyttat problemet från motorn till lasten?



## Referenslista

### 3: Kapacitiva urladdningsströmmar

#### **REFERENSLISTA**

Materialet är sammanställt av diverse föreläsnings- och kursmaterial i frekvensomriktardrifter från NORBO KraftTeknik AB

LK Utveckling Mellerud om pumpproblematik

Bengt-Arne Walldén, Stora Enso Packaging Boards, Skoghalls Mill

Technical guide no. 3 ABB

Technical guide no. 4 ABB

Technical guide no. 5 ABB

Technical guide no. 7 ABB

Beskrivning av hårdvara för ASC 600/ACS 800 ABB

Installationsanvisningar och hårdvarubeskrivningar för SIEMENS MasterDrive frekvensomriktare

Mätningen i fig 1 är utförd av Dick Forsberg, MacGregor Cranes AB



# ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Adress: 101 53 Stockholm  
Besöksadress: Olof Palmes gata 31  
Telefon: 08-677 25 30  
[www.elforsk.se](http://www.elforsk.se)



Teknikföretagen

Elif inom Teknikföretagen

Adress: Box 5510 114 85 Stockholm  
Besöksadress: Storgatan 5  
Telefon: 08-782 08 00  
[www.teknikforetagen.se](http://www.teknikforetagen.se)



**Energimyndigheten**

Adress: Box 310, 631 04 Eskilstuna  
Besöksadress: Kungsgatan 43  
Telefon: 016-544 20 00  
[www.stem.se](http://www.stem.se)