

## 1 INLEDNING

Det här examensarbetet är utformat för att ge läsaren kännedom om begreppet lagerströmmar, samt förklara hur de olika högfrekventa lagerströmmarna uppstår vid frekvensomriktardrift av asynkronmotorer. För att komplettera projektet och handboken har det under projektets gång gjorts mätningar av lagerströmmar i samarbete med Elektroverkstaden AB för att med exempel ytterligare klargöra och bekräfta teorier. Mätobjekten som valts ut att presenteras har haft problem med lagerströmmar sen innan och åtgärder har installerats på vissa av anläggningarna.

Läsaren bör ha kunskap inom el-lära för att kunna förstå och tolka det som framgår i handboken.

## 2 SÅ UPPSTÅR LAGERSTRÖMMAR

Lagerströmmar uppstår vid frekvensomriktardrift då frekvensomriktaren "hackar" upp den inkommande sinusformade spänningen. Frekvensomriktaren skapar en mängd utgående fyrkantsvågor av spänningen som bildar en sinusformad ström genom lasten. Genom att ändra fyrkantsvågornas pulsbredd kan man ändra frekvensen på strömmen, se figur 1.

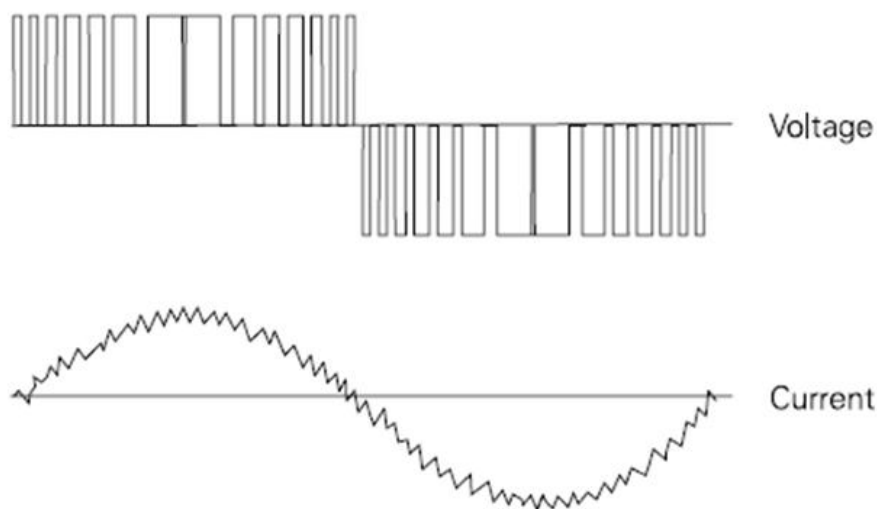


Fig. 1 Den övre delen av bilden visar utspänningens fyrkantsvåg efter frekvensomformaren. Den nedre visar strömmens sinusformade karakteristik.

När IGBT-transistorerna som skapar fyrkantsvågen tänds(börjar leda) skapas höga spänningsderivator som orsakas på grund av de branta flankerna transistorerna tillåter. Dessa höga spänningsderivator orsakar i sin tur spänningstransienter som fortplantar sig i den matande kabeln till motorn.

De spänningstransienter som uppstår ger upphov till strömgenomgångar via motorchassi och motoraxel som kan komma att skada motorlagren och även i vissa fall den drivna enhetens lager.

## 2.1 Common-mode spänning

När en tre-fas asynkronmotor drivs direkt av nätet, inte via frekvensomriktare, är alltid summan av faserna noll.

Summan av faserna under ett ögonblick representeras som fyrkantsvågor i figur 2. Det visar att summan inte alltid är noll när spänningen är modifierad till fyrkantsvågor.

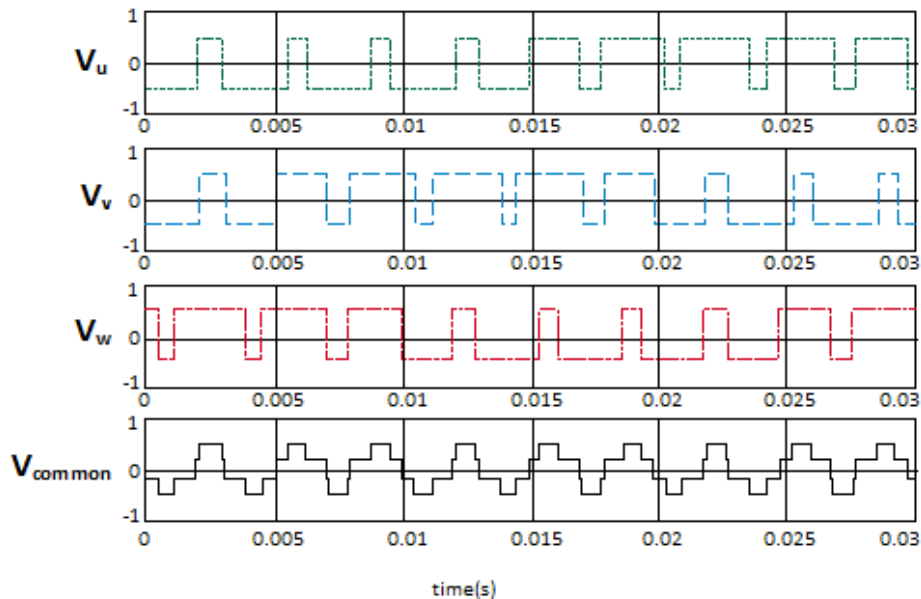


Fig. 2 Bilden ska visa spänningen efter en frekvensomriktare. De tre övre graferna visar utspänningen för varje fas, och den fjärde visar common-mode spänningen. (Bilden är tagen från SKF)

I figur två framgår att den fjärde grafen ( $V_{common}$ ) inte alltid är noll. Mellan neutralpunkt och jord på en Y-kopplad motorplint kommer nu en spänning uppstå som har samma karaktär som  $V_{common}$ , det är denna spänning som är common-mode spänning.

Frekvensen på common-mode spänningen är speglad av switchnings-frekvensen som frekvensomriktaren använder sig av.

## 2.2 Olika lagerströmmar

Man kan dela in högfrekventa lagerströmmar i olika typer. Det finns ingen tydlig gräns där enbart en typ av lagerströmmar förekommer, en tumregel är att motorstorlekar över 100kW har induktivt kopplade lagerströmmar som den dominerande typen. Vid motorstorlekar under 100kW, cirka en axelhöjd < 280mm är det kapacitivt kopplade lagerströmmar som är den dominerande typen.

Det finns en till typ av lagerström som uppstår på grund av att impedansen är hög i återledaren till frekvensomriktaren, axeljordade lagerströmmar, denna typ av lagerström förekommer således i samtliga motorstorlekar om installationen tillåter.

### 3 INDUKTIVT KOPPLADE LAGERSTRÖMMAR

Common-modespänningen driver högfrekventa läckströmmar genom motorns parasitiska kapacitanser vilket ger upphov till ett pendlande magnetfält som inducerar spänning på motoraxeln.

Den inducerade spänningen mellan axeländarna rör sig i motfas, positiv potential i den ena axeländen och negativ potential i den andra, med en medelpunkt (noll) i mitten av rotorn.

De induktivt kopplade lagerströmmarna dominerar i större motorer, det vill säga motorer med en axelhöjd > 280mm.

Induktivt kopplade lagerströmmar har funnits sedan asynkronmotorn uppfanns. Det beror på att när tillverkning av elmotorer började var inte alltid magnetfältet i centrum av axeln, det orsakades av dåliga toleranser och medförde att spänning inducerades i axeln.

Problemet har övervunnits eftersom tillverkningen av elmotorer har förbättrats.

Frekvensomriktardriften har dock ökat de senaste åren och åter satt problemet på kartan med högfrekventa lagerströmmar, även vid de minsta motorstorlekarna.

Vid cirkulerande lagerströmmar passerar strömmen genom lagren via chassit till motsatta änden av axeln som då är negativ.

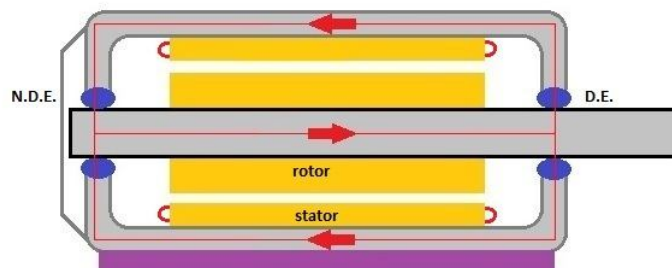


Fig. 3 Bilden illustrerar en elmotor som har cirkulerande lagerströmmar. Där den högra sidan har den positiva potentialen och den vänstra sidan har en negativ potential.

Spänningen induceras mellan axeländarna, som har i ena änden (D.E.) en positiv potential och den andra (N.D.E.) en negativ potential samt en medelpotential i mitten av rotorn. Det krävs en viss spänning för att ett genomslag ska kunna slå igenom oljefilmen, denna spänning kallas för oljefilmens genomslagsspänning. Typiska värden för oljefilmens genomslagsspänning ligger mellan 5-15 volt, detta beror på vad för typ av olja, drifttemperatur, varvtal, och toleranser som lagret har. När axeländarna når den spänning som överstiger oljefilmens genomslagsspänning kommer ett genomslag i lagret att ske.

Figur 3 illustrerar cirkulerande lagerströmmar, de förekommer vid låga varvtal, höga lager-temperaturer och i lager där oljefilmen är otillräcklig, när metall får kontakt med metall. De cirkulerande lagerströmmarna är dock inte den enda typen av induktivt kopplade lagerströmmar.

När det talas om induktivt kopplade lagerströmmar kan det tänkas att axelns potential är likt en gungbräda med medelpotentialen i mitten. När spänningen induceras kommer axeländarna att "väga" potentialmässigt åt det ena eller andra hållet. Det beror på att kapacitansen mellan rotor och stator kommer att försöka hålla den inducerade växelspanningen till noll, följaktligen har axeln en medelpotential i mitten och tippar åt olika håll i axeländarna.

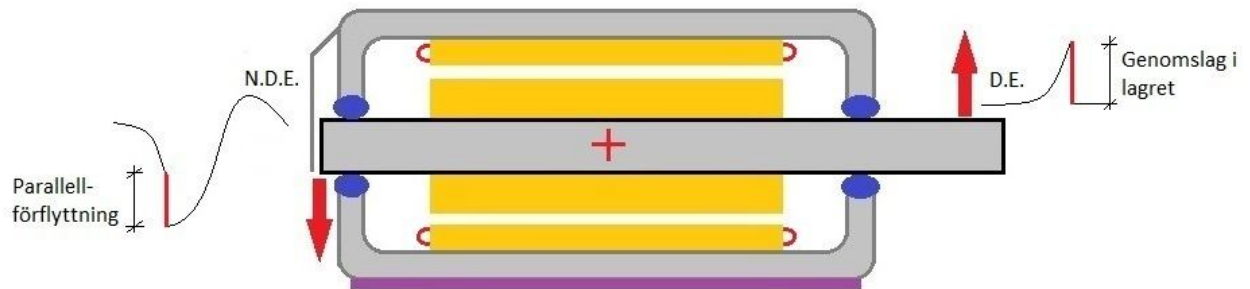


Fig. 4 Bilden ovan illustrerar ett genomslag som sker i lagret på D.E. Det röda krysset i mitten av axeln visar var medelpotentialen ligger. När urladdningen påbörjas visar grafen för N.D.E. att spänningen sjunker mot ett negativt värde, samtidigt som D.E. stiger mot ett positivt värde. I detta exempel sker genomslaget först i D.E. som visas av det röda strecket, samtidigt syns att N.D.E. flyttar sig lika mycket potentialmässigt i negativ riktning.

När D.E. i figur 4 stiger potentialmässigt i positiv riktning kommer N.D.E. att potentialmässigt sjunka i negativ riktning. D.E. når sin genomslagsspänning och ett genomslag sker i lagret.

Axeln förskjuts parallellt i negativ eller positiv potentialriktning när ett genomslag inträffar i ett lager då rotorkapacitansen laddas ur, men den redan befintliga inducerade spänningen i axeln kommer upprätthålla förskjutningen.

Eftersom när genomslaget sker i lagret på D.E. kommer hela rotorn potentialmässigt att flyttas parallellt i negativ riktning. Det medför att N.D.E. ytterligare kommer öka i potential och därmed riskera nå en spänning som är högre än genomslagsspänningen för lagret.

Axeln förskjuts parallellt eftersom den axelände där genomslaget sker i kommer få en potential noll (jord) under den korta tid då genomslaget sker. Det medför att den andra axeländen kommer få en förhöjning av sin potential, eftersom växelspanningens flödesriktning inte hinner ändras under tiden ett genomslag sker, det resulterar i att axeln förflyttas parallellt i negativ riktning som i figur 4.

Axeln har en inducerad växelspanning, det är den växelspanning som "väger" åt det ena eller andra hållet. Flödesriktningen som denna axelspänning orsakar är dock mycket långsammare på att ändra riktning än tiden det tar för ett genomslag att ske, detta kommer göra att axelns potential "tvingas" i negativ eller positiv riktning under tiden genomslaget sker, för att sedan klinga ut med rotorns egenfrekvens.

Första genomslaget kan ske i N.D.E. eller D.E. Det är inte förutbestämt vilket lager som genomslaget först sker i, det beror på oljefilmens genomslagsspänning. Skillnaden blir den att axelns potential parallellförflyttas positivt eller negativt beroende på vilken axelände urladdningen sker i först.

#### 4 KAPACITIVT KOPPLADE LAGERSTRÖMMAR

Ett ekvivalent schema enligt figur 5 visar en asynkronmotor och dess parasitiska kapacitanser.

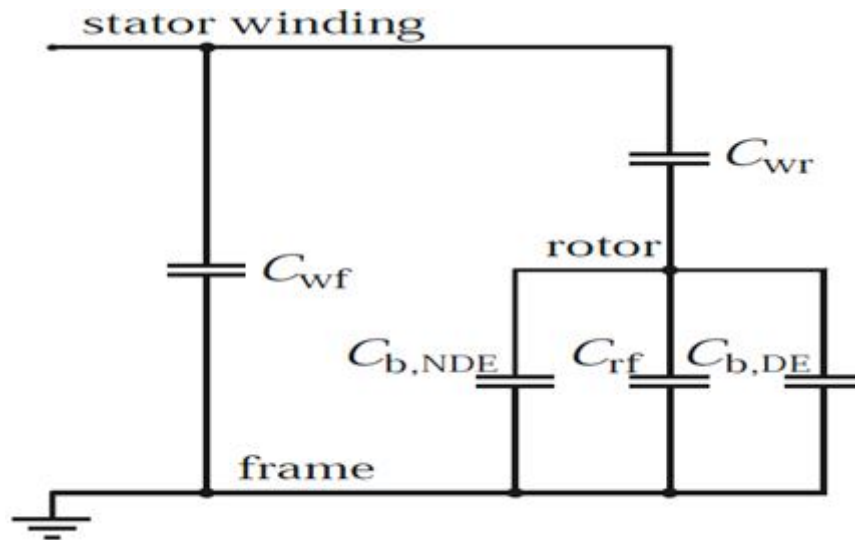


Fig. 5 Bilden visar de kapacitanser i en asynkronmotor som är väsentliga vid kapacitivt kopplade lagerströmmar. (bilden är tagen ur 2004 A. Muetze)

$C_{wf}$  = kapacitansen mellan statorlindning och chassi (winding, frame)  $C_{wr}$  = kapacitansen mellan statorlindning och rotor (winding, rotor)

$C_{b,NDE}$  = kapacitansen mellan rotor och chassi, genom lagret på icke drivsidan

$C_{rf}$  = kapacitansen mellan rotor och chassi (rotor, frame)

$C_{b,DE}$  = kapacitansen mellan rotor och chassi, genom lagret på drivsidan

Vid en intakt oljefilm agerar  $C_{wr}$ ,  $C_{rf}$  samt  $C_b$  som en spänningsdelare och skapar en spänning över lagren som är speglad av common-mode spänningen. Spänningen delar förstås upp sig över kapacitanserna beroende på kapacitansernas storlek och gör att motorstorleken spelar in om denna typ av lagerström är skadlig, eftersom kapacitanserna ändras bland annat med motorstorlek.

Den common-mode spänning som finns på grund av att summan av de tre faserna inte är noll kommer att driva en högfrekvent ström genom dessa ovan nämnda kapacitanser och spänning skapas över lagren.

Den spänning som delats upp över lagren kommer att orsaka genomslag om spänningen överstiger lagrets genomslagsspänning. Genomslagen i lagren sker helt oberoende av varandra, eftersom potentialen på hela rotorn är den samma, det vill säga likfas, till skillnad från induktivt kopplade lagerströmmar.

De kapacitiva urladdningsströmmarna dominerar i mindre motorer med en axelhöjd < 280 mm. Som nämnt innan är dessa urladdningsströmmar ett resultat av common-mode spänning och de olika kapacitanserna som uppstår i motorn. För att kapacitiva urladdningsströmmar ska kunna uppstå, måste axeln vara ojordad, det vill säga flytande last.

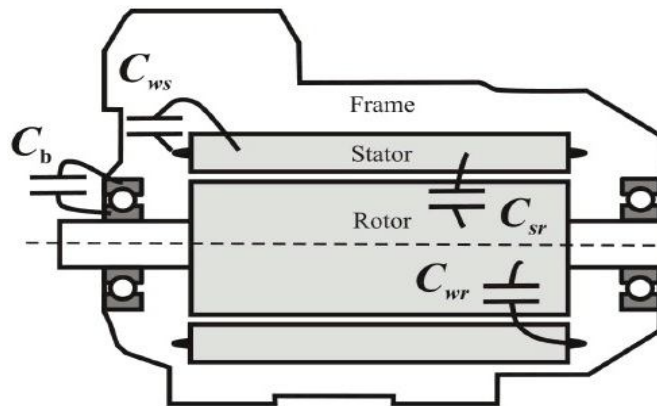


Fig. 6 Bilden visar de kapacitanser i en asynkronmotor som är av betydelse i just denna typ av lagerström.

## 5 STOMSPÄNNING

De läckströmmar som drivs genom motorns kapacitanser mellan lindning och stator på grund av common-mode spänningen skall idealiskt sett återvända till frekvensomriktaren. Men skulle en mätning utföras på spänningsfallet på återledningskabeln vid normal drift och vid frekvensomriktardrift kommer det att erhållas en markant förhöjning av spänningsfallet i kablarna, vid just frekvensomriktardrift. Det beror på att impedansen för de högfrekventa strömmarna som skall återledas till frekvensomriktaren ökar<sup>1</sup>, vilket kommer alstra högfrekventa spänningar i chassit, detta kallas stomspänning.

### 5.1 Axeljordade lagerströmmar

Den ström som common-modespänningen driver genom lindning-stator kapacitansen kommer ta den enklaste vägen till jord. Är impedansen låg nog via lasten, än via återledaren kommer delar av strömmen ta vägen genom lasten och genomslag i lagret äger rum.

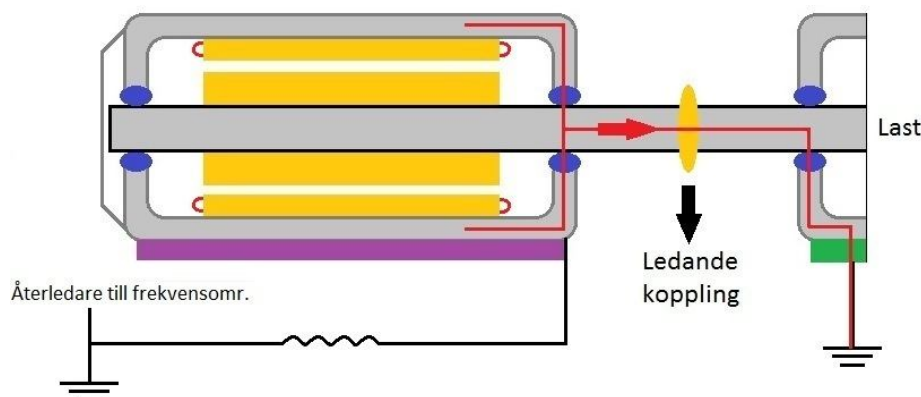


Fig. 7 Bilden visar hur strömmen söker sig till jord via lasten. Är lasten t.ex. en fläkt, som är förbunden till jord via lagren är risken stor att EDM-aktivitet i lastens lager uppstår.

<sup>1</sup> Kabelns induktans bidrar till en högre impedans vid högfrekventa strömmar.

