

Lagerskador på frekvensomriktarstyrda fläktaggregat i hotellfastighet

Mätningar och diskussion

Bakgrund

Ett antal fläktaggregat med 3 kW motorer drivna av ABB ACS 600 frekvensomriktare har onormalt kort gångtid (cirka ett och ett halvt år) på motorlagren. Fläktleverantören har påtalat att den, enligt deras uppfattning bristfälliga installationen (EMC-förskruvningar hade ej använts vid motorens anslutningslådor), troligen var orsak till den korta gångtiden och installationen försågs med EMC-förskruvningar på samtliga aggregat. Gångtiden förbättrades dock ej, den blev snarare kortare – åtta eller nio månader har nämnts. Då denna feltyp ännu är ganska lite känd och förståelsen för felmekanismen än så länge är dåligt spridd finns en genomgång av felmekanismer i separat dokument. Där diskuteras också hur en till synes "bättre" installation kan ge ett sämre resultat ur lagerlivslängdssynvinkel.

Diskussion mellan parterna om vad som orsakar den korta gångtiden och hur situationen skulle kunna förbättras ledde till att GKE ombads av ÖEA att göra en ingående undersökning av installationen. En preliminär mätning den 12 maj visade att axelspänningen var förhöjd och att det förekom elektriska genomslag i lagren som en följd av detta. Efter en ingående diskussion där alla parter bidrog konstruktivt bestämdes att en ny mätning med delvis nytt material, nya lager och modifierad installation skulle göras fredagen den 19 maj. Då skulle även en kontroll av nätspänning med avseende på övertonshalt och ledningsbundna högfrekvensstörningar göras.

Sammanfattning av resultat

Besiktning av installationen u.a. Mätningar visar att spänningen över lagret (axelspänningens effektivvärde) är cirka 1,7 V när EMC-genomföring ej är monterad och cirka 2,8 V när EMC-genomföringen är monterad. Några års drift visar att lagrens gångtid är längre när EMC-genomföringen inte är monterad. Detta är ett resultat som går väl ihop med fysiken bakom denna typ av lagerskador (se appendix 1) men går på tvärs mot gängse uppfattningar, som dock endast tar hänsyn till elektromagnetisk kompatibilitet och inte beaktar problemen med lagerskador.

Övriga mätningar; motorspänning, motorström, nätspänning, övertonshalt och ledningsbunden emission visar inga oroväckande värden. Fenomenet med lagerskador är välkänt från andra fläktinstallationer med mer eller mindre kontinuerlig drift och åtgärdas med filter, sinusomriktare, jordningsborstar eller keramiska lager (hybridlager).

Mätningar den 19 maj

Mätningar på driften gjordes dels med den ursprungliga installationen (utan EMC-förskruvning) dels med EMC-förskruvning och också med extra jordförbindelse över vibrationsdämpande (och isolerade) gummifötter. Ett mått på risken för lagerskador är den bredbandiga (mätt med hög gränshänsyn, minst ca 10 MHz) spänningen mellan axel och stator på motorn. Denna spänning

innehåller ett "virrvarr" av signaler som kopplas kapacitivt från statorlindning till rotor och som så fort tillfälle ges söker sig till jord. Då lagret är den jordförbindelse som ligger närmast till hands sker urladdningen den vägen i form av små gnistor mellan lagerringarna och lagerkulorna. För fläktar i denna storleksordning anses cirka 0,5 volt effektivvärde vara ett säkert värde som inte sänker lagrets livslängd märkbart. Vid cirka 1,0 V bör man se upp och högre värden är definitivt inte nyttiga för lagren.

Mätning med den ursprungliga installationen (ingen EMC-förskruvning)

Effektivvärdet var cirka 1,7 V. Alltså mycket över acceptabelt värde. Det var också vid denna nivå man fick lagerskador efter cirka ett och ett halvt års drift. Exempel på mätning av effektivvärde och en bild av ett genomslag visas i bild 1.



Bild 1. Spänning mellan axel och stator. Utan EMC-förskruvning.

Effektivvärdet av axelspänningen visas under P1:rms(C4). "Mean" visar medelvärdet av ett antal svep (34 stycken i detta fall) och "sdev" visar att mätningen är ganska stabil (92 millivolt standardavvikelse). Data under P2 – P4 är inte intressanta i detta sammanhang.

Mätning med extra jordning

Den extra jordningen bryggar över de isolerande, vibrationsdämpande gummifötterna på fläktenheten. Axelspänningen visas i bild 2.

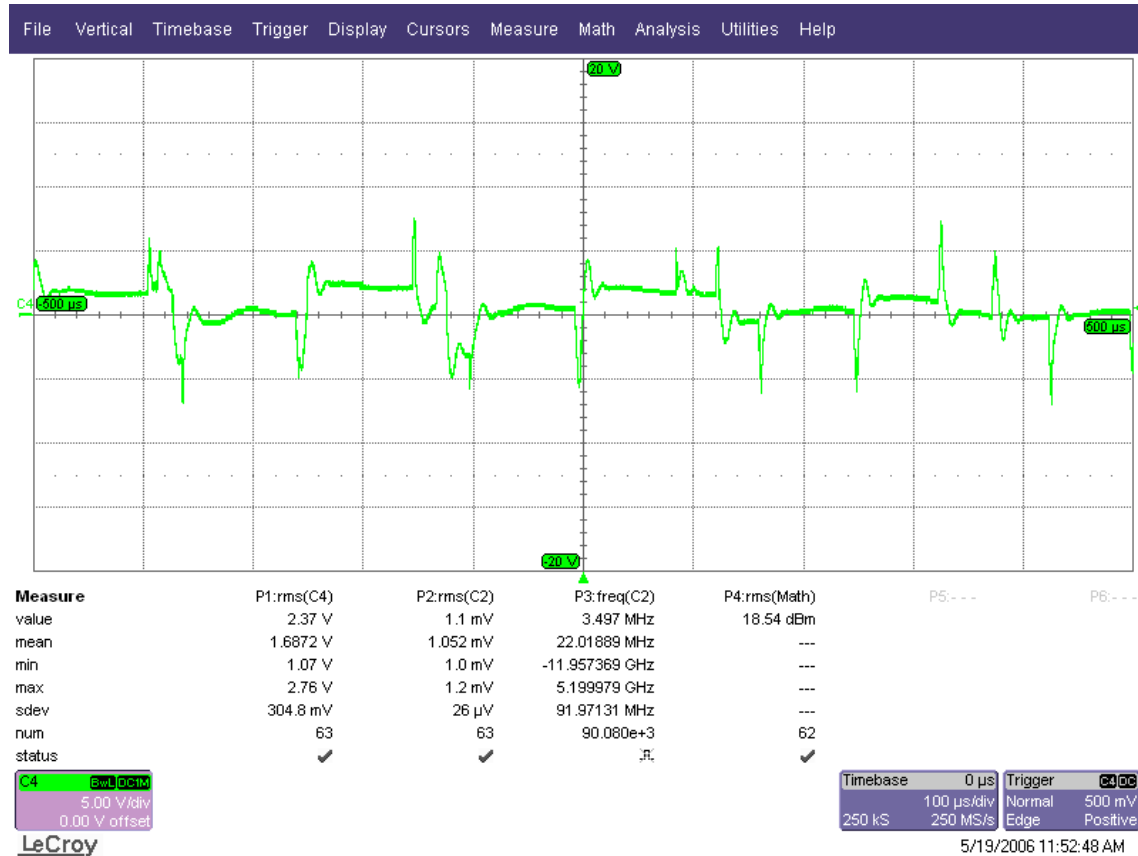


Bild 2. Spänning mellan axel och stator. Utan EMC-förskruvning. Extra jordning lagd.

Registreringen i bild 2 är tagen med snabbare tidbas. Det påverkar spridningen i resultatet (sdev = 304 mV) men medelvärdet är fortfarande cirka 1,7 V.

Switchfrekvensen kan avläsas ur denna registrering. Den är tydligen 8 kHz – 100 mikrosekunder/delning och "major transitions" ligger på 1,25 delningars avstånd. Då switchfrekvensen har stor inverkan på antalet genomslag i motorlagren kan en sänkning av switchfrekvensen ge längre gångtid på lagren. Detta diskuterades vid första mötet, men fläktleverantören ansåg att det högre motorljudet, som en lägre switchfrekvens medför, skulle vara störande. Med tanke på fläktens konstruktion och placering är min uppfattning att denna farhåga är något överbetonad. Halva switchfrekvensen ger erfarenhetsmässigt ungefär dubbla gångtiden på lagren.

Mätning med EMC-förskruvning

EMC-förskruvningen placerades i kopplingslådans vägg och tightades så att god 360 graders kontakt med skärmen på motorkabeln erhöles. Mätresultat visas i bild 3.

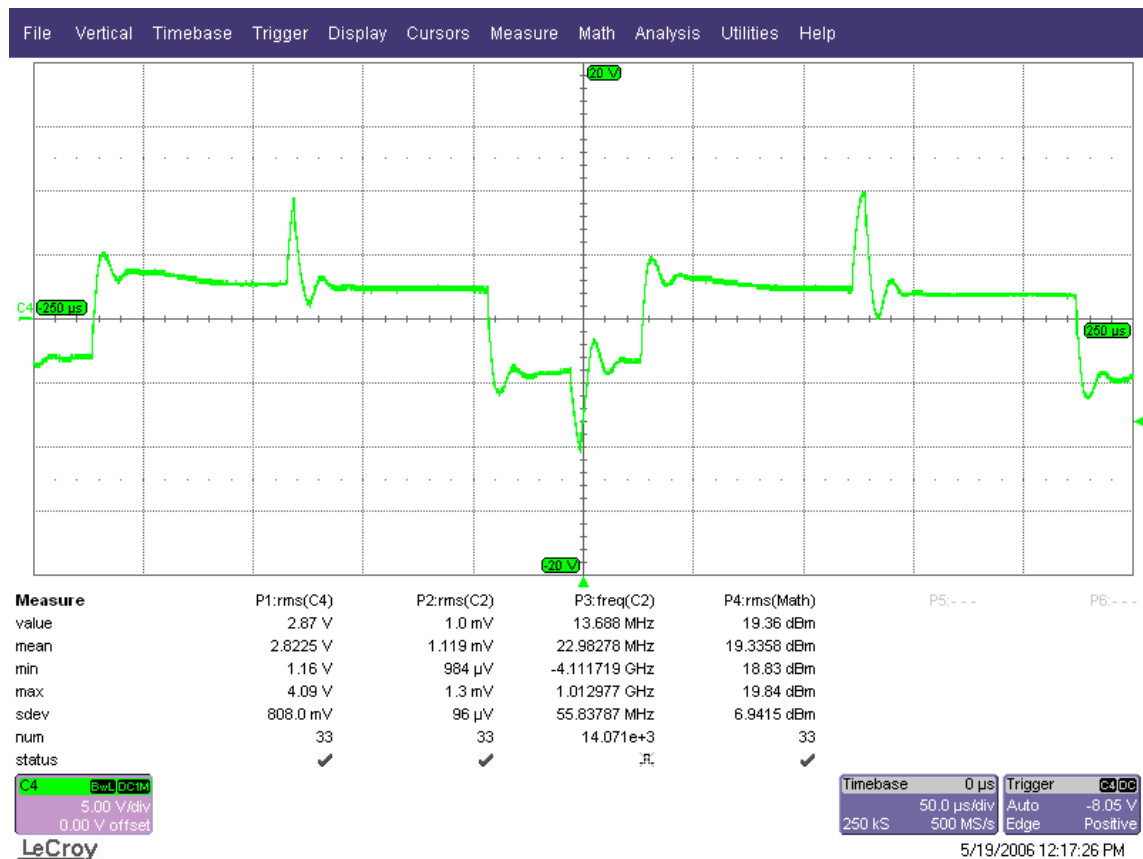


Bild 3. Spänning mellan axel och stator. Med EMC-förskruvning. Extra jordning lagd.

Denna registrering är gjord med ytterligare avkortad tidbas. Effektivvärdet är 2,8 V med standardavvikelsen 808 mV. Här syns switchfrekvensen mycket tydligt. För att inte behöva oroa sig för inkonsistenta mätvärden togs även en mätning med längre tidbas. Bild 4 visar resultatet.

Båda mätningarna visar att EMC-förskruvningen ger ett sämre resultat med avseende på axelspänningen. Detta kan verka förbryllande, men har sin förklaring i att en EMC-förskruvning endast har till uppgift att ge EMC (Electro Magnetic Compatibility dvs elektromagnetisk förenlighet) och inte är avsedd att ge, eller har någon, positiv inverkan på elektrisk aktivitet i lagret. Detta förklarar att man, sedan EMC-förskruvningar monterats, fått en kortare gångtid.

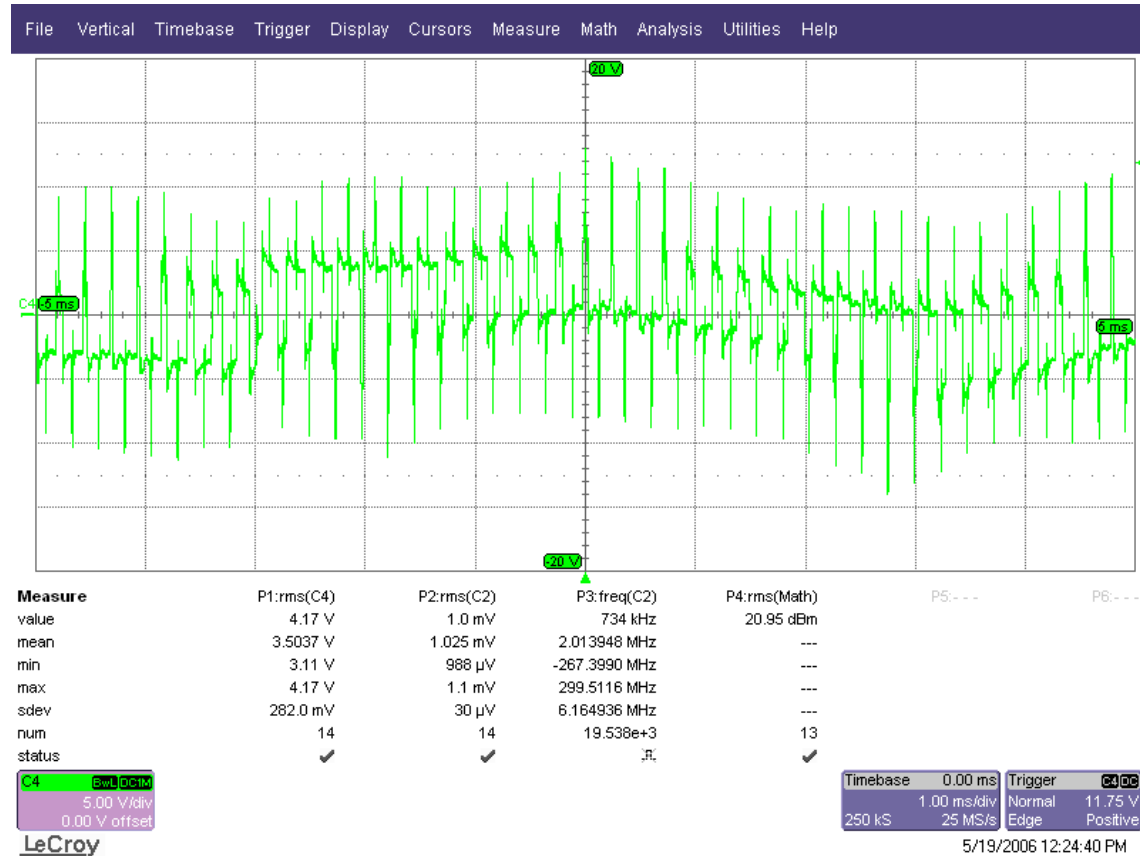


Bild 4. Spänning mellan axel och stator. Med EMC-förskruvning. Extra jordning lagd.

Bild 4 visar spänningen mätt över längre tid. Effektivvärdet är här 3,5 V med standardavvikelsen 282 mV. Det är alltså ett ganska pålitligt värde. Vid denna relativt långa tidbas ser man inte bara switchfrekvensen utan även motorfrekvensen i form av en underliggande sinusformad variation, vilket bidrar till det högre effektivvärdet.

Några exempel på faktiska genomslag – så som de ser ut när både extra jord och EMCförskrivning installerats visas i bild 5 och 6. Observera att tidbasen nu är mycket kort. En delning motsvarar två mikrosekunder. Vertikalt är skalan fem volt per delning. Genomslagen sker alltså från 12 till 15 V. Genomslaget är de snabba spänningsprången i registreringens mitt. Tid för genomslaget är i storleksordningen 0,05 mikrosekunder.

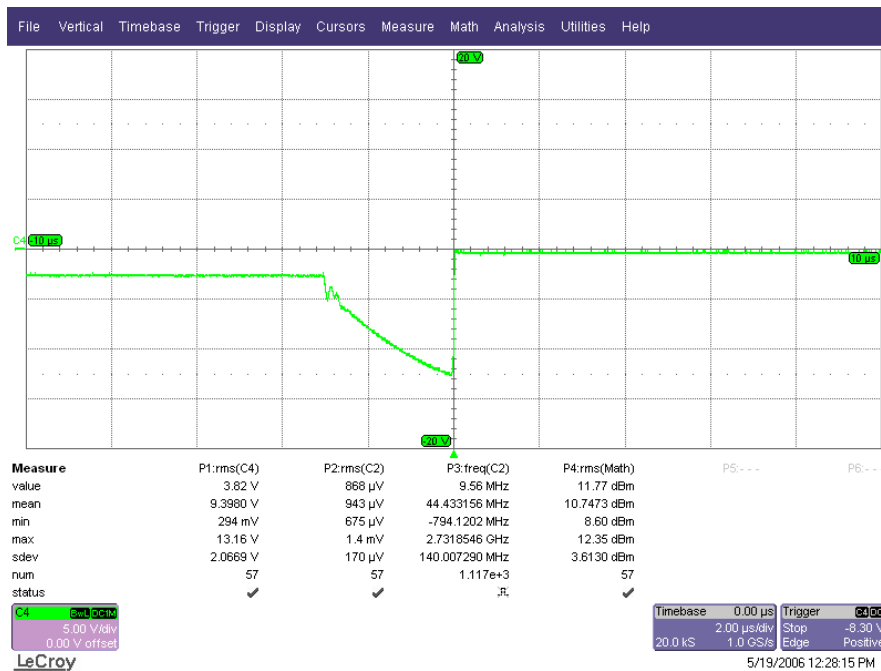
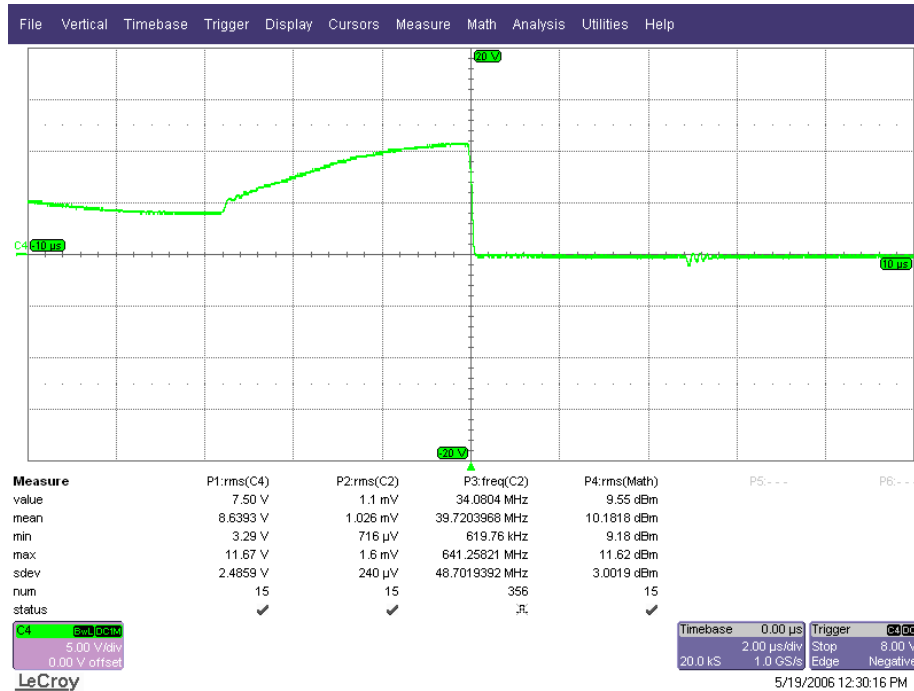


Bild 5 och 6. Genomslag från positiv och negativ nivå. 2 mikrosekunder/delning.

De båda bilderna visar genomslagens utseende i detalj. Typiska värden för oljefilmens genomslagsspänning är fem till femton volt. Mindre lager med täta toleranser visar ofta lägre genomslagsspänning och hög temperatur sänker också genomslagsspänningen.

Spridningen i genomslagsspänning ökar med förlitning av lagren (flera partiklar och ojämnheter i kontaktytorna som påverkar oljefilmens lokala tjocklek). I detta fall är genomslagsspänningen +12 V respektive -15 V. Detta varierar och man kan nog anse att nivån är typisk för ett fräscht lager som ännu inte kommit upp i drifttemperatur. Vid driftvarma lager av denna storlek är genomslagsspänningen ner mot 6 – 8 V.

Diskussion av besiktning och mätresultat

Besiktningen visar att installationen gjorts enligt gällande regler. Omriktaren har ett EMCfilter mot nätet, men inga filter mellan omriktare och motor. Detta brukar anses acceptabelt vid korta kablängder mellan omriktare och motor. Risken för reflexion och överspänning vid motorn är mycket liten vid de cirka två meter kabel som det handlar om.

EMC-förskruvning eller ej är endast en fråga om strålade störningar och eftersom motorn sitter i en tämligen HF-tät aggregatkapsling är det mest en fråga om formaliteter – i praktiken spelar EMC-förskruvningen mycket liten roll i denna typ av installationer.

Installationen innehåller inga åtgärder för att minska lagerproblemen. Detta är inte förvånande eller onormalt eftersom flertalet installationer klarar sig ganska bra utan att särskilda åtgärder vidtas. Med "ganska bra" menas att lagren klarar sig tre till fem år innan de behöver bytas. Lagerhaverier efter så pass lång tid brukar accepteras och betraktas inte som onormalt. Med tanke på att lager vid direkt drift mot nätet ofta klarar tio till tjugo år så är den reducerade lagerlivslängden ändå ett problem – även om lagren håller tre till fem år.

Livscykelkostnaden blir, räknat på en tjugoförårsperiod ganska hög genom att varje lagerbyte kostar tid för demontage, material, montage och denna kostnad uppträder fyra till sex gånger under fläktens livslängd.

Mätresultaten visar att installation med EMC-förskruvning ger högre elektrisk påkänning på lagren. Erfarenheter från knappt ett års drift med EMC-förskruvning visar att detta också ger kortare gångtid. Förklaringen till att detta faktiskt sker ges i appendix 1. I inget fall (med eller utan EMC-förskruvning eller med eller utan extra jordning) når man ner till säkra värden – dvs under 0,5 V effektivvärde.

Möjliga åtgärder för att öka livslängden

En marginell ökning av livslängden kan nås genom att minska switchfrekvensen från nuvarande 8 till den alternativa switchfrekvensen 4 kHz. Det halverar påkänningen på lagren och ger vanligen en fördubbling av livslängden. Då detta fortfarande ger kort gångtid och dessutom, enligt fläktleverantören inte är önskvärt ur akustisk synvinkel, är det ingen åtgärd som leder till önskat resultat.

Sinusfilter på omriktarens utgång har visat sig vara en effektiv metod att minska lagerpåkänningen. Ett sinusfilter reducerar de skadliga högfrekventa komponenterna i motorspänningen så att den kapacitivt kopplade spänningen i rotorn minskas. Priset för ett sådant filter brukar ligga på strax under hälften av omriktarens pris. Det kan finnas restriktioner vad gäller switchfrekvens i samband med sinusfilter. Omriktarleverantören kan ge besked både om pris och eventuella tekniska begränsningar.

En radikal lösning är att sätta in omriktare med ren sinusspänning. Ett svenskt fabrikkat (NFO Sinus) har med framgång använts på sjukhus och andra lokaler där man önskar total störningsfrihet. Den rena sinusspänningen innebär också att problem med lagren inte finns. För att understryka detta lämnar man fem års garanti mot elskador på lagren. Den totala livslängdskostnaden kan med denna omriktare bli mycket låg genom att lagerlivslängden åter närmar sig vad man tidigare varit van vid – dvs "nästan oändlig".

Observera att den normala livslängdsuppgiften för lager, den så kallade L10-drifftiden, innebär att 10 procent av lagren får visa tecken på förslitning inom den angivna tiden – men de som lever längre kan utan vidare leva fem till tio gånger L10. Dvs 150 000 – 300 000 timmar. Dessa omriktare används framför allt i känsliga miljöer och i anläggningar med kontinuerlig drift eftersom de varken kräver filter eller skärmade kablar – och ingen EMC-förskruvning. De kan monteras i samma apparatskåp som DUCar och PLC, vilket ger enklare provning och platsmontage.

Jordningsborstar på motoraxeln är en bra lösning – om man säkerställa periodisk tillsyn. En variant av jordningsborstar är att montera en så kallad "elektrontransportring" från företaget Electro Static Technology med produkten "AEGIS SGR". Det är en ring med kolfiber som monteras på motorskölden och som ger en effektiv avledning av kapacitivt kopplade laddningar. Livslängden sägs vara mycket god. Problemet med periodisk tillsyn sägs vara eliminerat genom att de tusentals kolfibrerna "sopar rent" på axeln så att inga avlagringar får fäste.

Hybridlager, dvs lager med keramiska kulor är den dyraste, men också säkraste lösningen. Genom att kulorna i lagret är isolerande kan ingen elektrisk överledning ske i lagren. Keramiska lager har också en mycket god livslängd genom att kulornas ytfinhet faktiskt är bättre än stålkulornas. Och problem med att keramiken skulle vara spröd finns inte – det är inte "kaffekoppskeramik" som används utan snarare samma keramik som används i skärplattor i svarvar och fräsar. Nackdelen är kostnaden.

Ett annat problem med hybridlager är att man genom åren kommer att råka ut för andra skador än lagerskador på motorerna och det är då inte troligt att motorer med hybridlager kommer att monteras som ersättare.

Isolerade lager, SKF har varumärket "Insocoat", fungerar inte vid denna feltyp. De är bra vid låga frekvenser och vissa typer av induktiva axelspänningar. Men här är kapacitansen i isolerskiktet så stor att man inte får en effektiv undertryckning av urladdningarna. Mätningar visar att de faktiskt kan orsaka högre energi i urladdningarna genom att ytterringen först laddas till en polaritet av en första urladdning och när sedan nästföljande flank med motsatt polaritet kommer så sker urladdning med högre spänningsskillnad, vilket ger större skadeverkan genom att energin är proportionell mot spänningen i kvadrat. Insocoatlager med isolering på innerringen är en bättre lösning. Tyvärr är den inte tillgänglig för smålager. Kostnaden för Insocoatlager är relativt låg. Åtminstone jämfört med hybridlager.

Kontroll av motorspänning och motorström

Motorspänning och motorström, visas i bild 7.

Den undre kurvan är en del av en period och visar det typiska PWM-utseendet med branta flanker. Den övre kurvan visar motsvarande motorström. Man ser hur motorlindningens induktans glättar strömmen så att den blir rimligt sinusformad. "Taggarna" är de störningar som alltid omger en frekvensomriktardrift. I

strömmätningen blir de extra tydliga genom att denna sker med hög känslighet i mätkanalen. Strömskalan är 5 A/delning. Observera att spänningsmätningen sker mellan faserna och strömmätningen sker i en fas. Det som ser ut som en nära nog perfekt effektfaktor är i själva verket en fasförskjutning på drygt 30 grader ($\cos\phi$ ca 0,85).



Bild 7. Motorspänning och motorström.

Ytterligare mätningar gjordes för att kontrollera spänningens och strömmens effektivvärden och kurvform. De redovisas i bild 8 och 9. Där har respektive kanal filtrerats (Math) så att mätningen sker på grundton i stället för den sammansatta PWMsignalen, vilket ger ett felaktigt värde.

Bild 8 visar spänningens effektivvärde 382 V och bild 9 visar strömmens effektivvärde 5,5 A. Värdena är helt normala. Omriktarfrekvensen arbetade upp sig mot gränsen 75 Hz medan mätningen (öppet aggregat) pågick. I spänningsmätningen är den 67,97 Hz och vid strömmätningen är den uppe i 74,94 Hz.

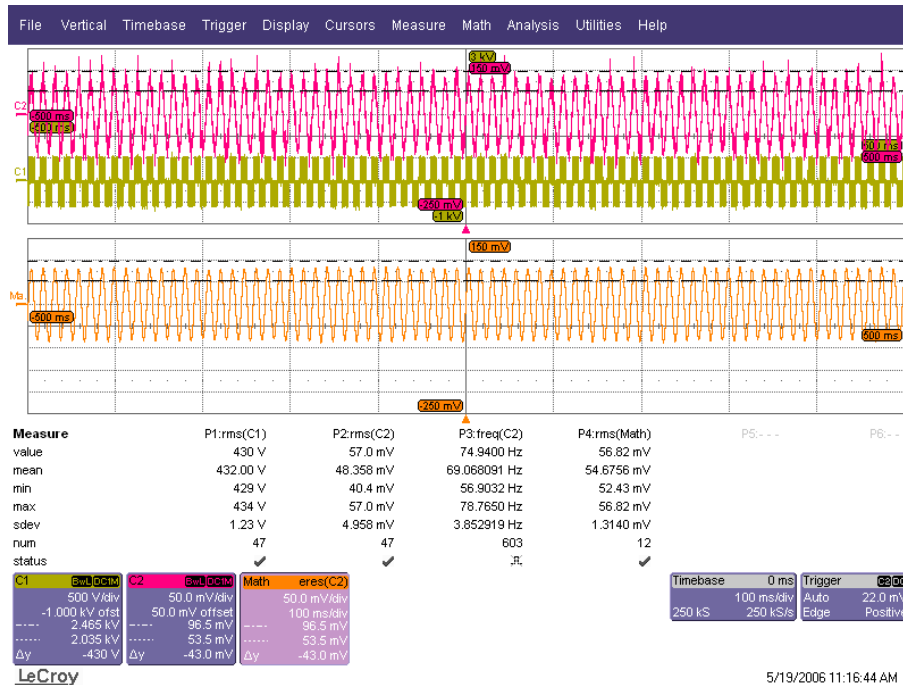
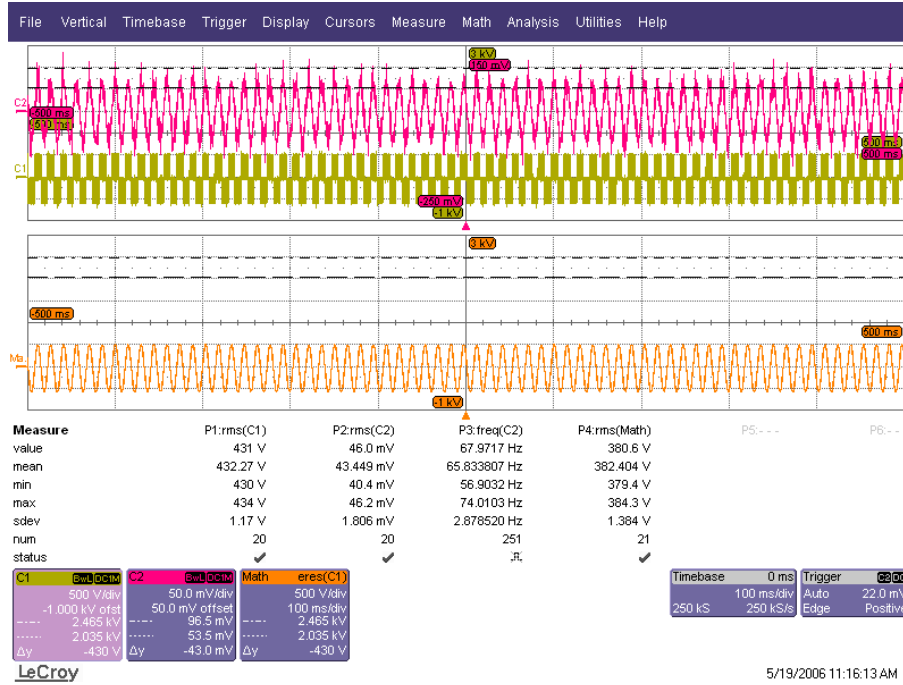


Bild 8 och 9. Filtrerad motorspänning och filtrerad motorström.

Nätspänning, övertonshalt och ledningsbunden emission

Denna kontroll gör vi normalt med dedicerad nätspänningsanalysator. Då denna inte var tillgänglig gjordes motsvarande mätningar med LeCroy-skopet. Redovisningen skiljer därför från vad man vanligen ser, men resultatet är detsamma.

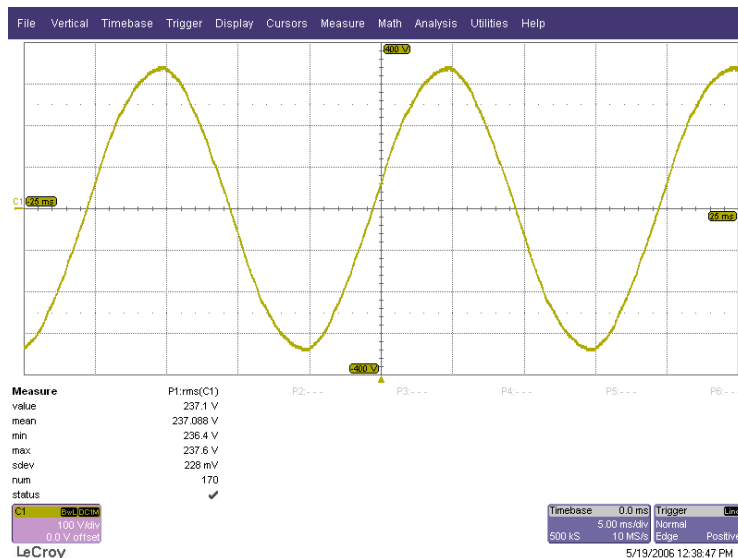


Bild 10. Nätspänning fas-nolla. Ren och fin sinusform. Bra effektivvärde.

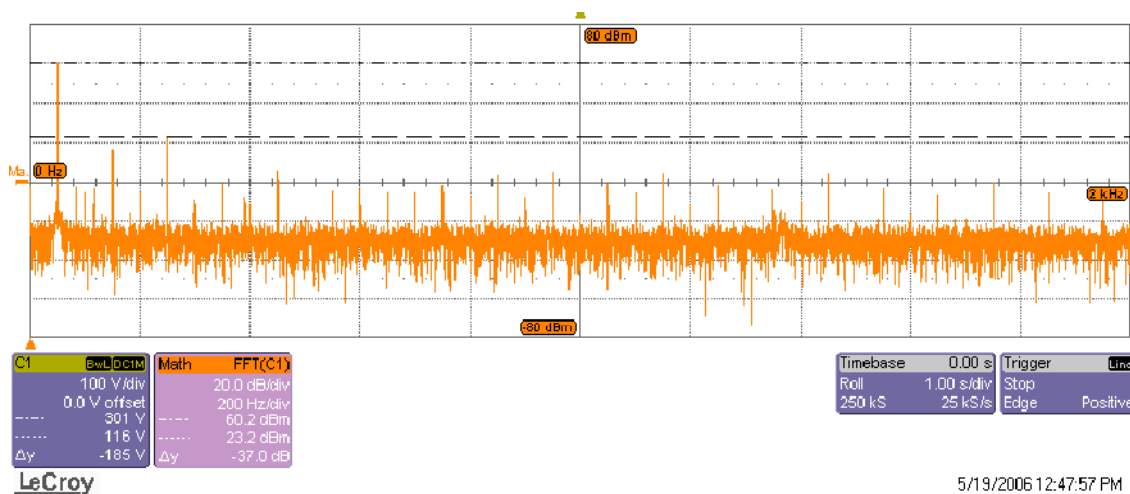


Bild 11. Nätspänningens spektrum upp till 40:e delton.

Dominerande delton är femte delton (250 Hz) som ligger 37 dB under grundtonen. Det motsvarar 1,4 procent. Övriga deltoner ligger långt under detta värde varför den totala övertonshalten med säkerhet ligger under två procent. Ett måttligt värde som

underskrider både salig Elverksföreningens rekommendationer och Europanormens gränsvärden.

Ledningsbunden emission

Det handlar i första hand om det normerade området 0,15 – 30 Mhz. Men eftersom det förekommer fjärravläsning av elmätare och värmemätare via PLC (Power Line Communication) i fastigheten är det även intressant att titta på bandet mellan 9 och 150 kHz, där kommunikationen sker. Bild 12 visar en översikt.

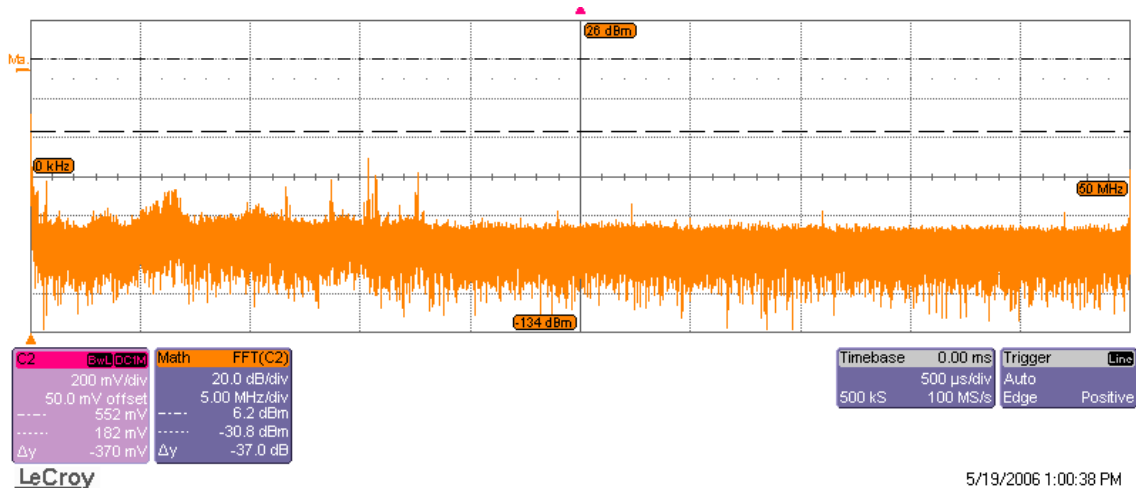


Bild 12. Spektrum 0 – 50 MHz. Topp vid 15,4 MHz.

Toppen vid 15,4 MHz ligger på cirka -46 dBm. Det motsvarar lite drygt 70 dBμV, vilket överskrider tillåtet värde för bostäder, kontor och lätt industri. I övrigt syns inga kraftfulla störningar som skulle kunna ha ett ens avlägset samband med lagerskadorna. En statistisk utvärdering av störnivåerna mellan 0 och 100 kHz gjordes också. Bild 13 visar resultatet.

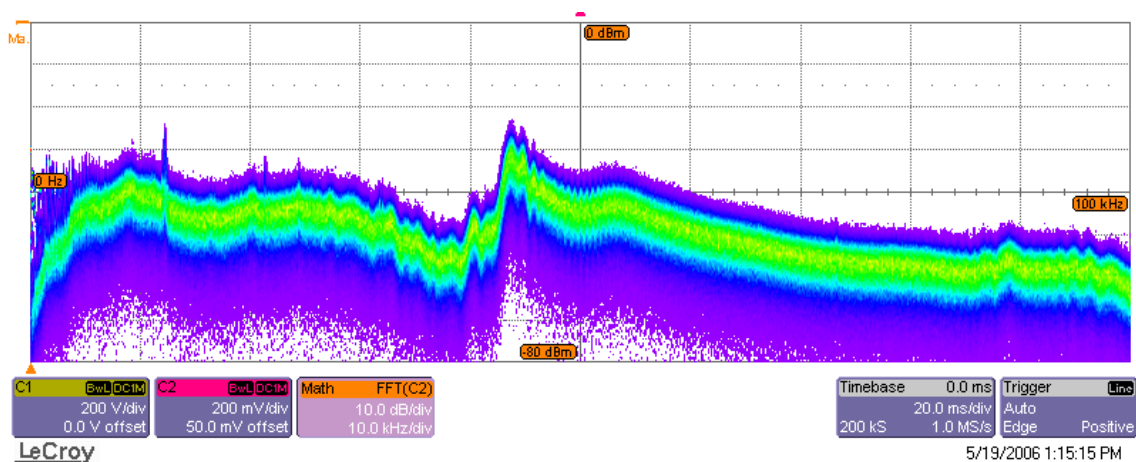


Bild 13. Störnivå i frekvensbandet 0 – 100 kHz.

Registreringen visar hur stor del av signalerna som statistiskt sett finns på en viss nivå. Violet färg innebär att signalen sällan har den aktuella nivån. Blått innebär mera vanlig nivå medan grönt och gult markerar var signalen i allmänhet befinner sig.

Nivån ligger i snitt på -40 dBm – dvs cirka 77 dBµV eller -53 dBV. Med tanke på att PLCmodemen arbetar med nivåer ner till -72 dBV innebär detta att störnivån kan innebära svårigheter att nå de mätare som befinner sig "långt in" i anläggningen, dvs mätare för fjärrvärme etc. Toppen vid cirka 44 kHz ligger på -23 dBm, eller 94 dBµV.

Granbergsdal den 22 maj 2006

Gunnar Englund