

Elektronisk styrning av en värmepumps kompressormotor

Niklas Ek

Examensarbete

Elektroteknik

2012

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Identifikationsnummer:	3793
Författare:	Niklas Ek
Arbetets namn:	Elektronisk styrning av en värmepumps kompressormotor
Handledare:	DI Kim Rancken
Experthandledare	Ing. Jan Söderholm
Uppdragsgivare:	Enervent Ab
<p>Sammandrag:</p> <p>Detta examensarbete omfattar planeringen av en elektronisk styrning för en kompressormotor. Det främsta syftet är att komma fram till vilken frekvensomriktare, i rimlig prisklass som lämpar sig bäst för att använda när Enervent Ab börjar tillverka egna värmepumpenheter för sina ventilationsaggregat.</p> <p>En värmepump är en teknisk anordning som överför värme från en kall till en varm plats. Kompressormotorn är den del av värmepumpenheten som pumpar runt kylmediet i systemet.</p> <p>Som grund för arbetet används en 700 W synkronmotor. För att få fram resultat om vilken frekvensomriktare som passar bäst har en kvantitativ undersökning gjorts. Flera mätningar har gjorts, bla. effektivitetsmätningar, analysering av kurvformer och utredning av upphov av harmoniska övertoner i elnätet. Även ljudintensitetsmätningar har gjorts över ett brett spektrum. Under projektets gång har problem med överstegring i motorn uppstått.</p> <p>I arbetet tas även upp EMC-standarder och –bestämmelser som ställer krav på frekvensomriktaren.</p>	
Nyckelord:	Frekvensomriktare, Synkronmotor, Värmepump, Ventilationsaggregat, EMC, Kopplingsfrekvens, Enervent
Sidantal:	37
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	13.6.2012

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Elektroteknik
Identification number:	3793
Author:	Niklas Ek
Title:	Elektronisk styrning av en värmepumps kompressormotor
Supervisor:	M.Sc. Kim Rancken
Expert supervisor:	B.Sc Jan Söderholm
Commissioned by:	Enervent Ab
<p>Abstract:</p> <p>This thesis covers the planning of an electronic control for a compressor motor. The primary aim is to determine which drives, in a reasonable price range that is best suited for use when Enervent Ab starts producing their own heat pump units for their ventilation units.</p> <p>A heat pump is a technical device that transfers heat from a cold to a warm place. The compressor motor is the part of the heat pump unit that pumps refrigerant around in the system.</p> <p>As a basis for this work, a 700 W synchronous motor is used. In order to receive results about which frequency converter is best suited a quantitative study has been made. Several measurements have been made, these include efficiency measurements, analysis of waveforms and investigation of possible cause of harmonics distortion in the electrical grid. Also sound intensity measurements were made over a wide range. During the project, problems with stalling of the engine occurred. The work is also process EMC standards and regulations that affect frequency converters.</p>	
Keywords:	Frequency converter, Synchronous motor, Heat pump Ventilation unit, EMC, Switching frequency, Enervent
Number of pages:	37
Language:	Swedish
Date of acceptance:	13.6.2012

FÖRORD

Detta arbete har gett mig en omfattande kännedom på flera olika områden, vilket varit både nyttigt och lärorikt.

Jag önskar tacka följande människor för de värdefulla råd de bidragit med till detta examensarbete och i mina ingenjörstudier:

- Kim Rancken
- Jan Söderholm
- Jonas Petterson
- Mikael Karlsson
- Markus Wickholm

Borgå 8.6.2012

Niklas Ek

SAMMANFATTNING

ABSTRACT

FÖRORD

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	8
2	Grundläggande fakta	9
2.1	Allmänt om ventilation.....	9
2.2	Allmänt om värmepumpar.....	11
2.3	Allmänt om synkronmotorer	13
2.3.1	Eftersläpning och motorstoppsproblem	14
2.3.2	Permanentmagnetisering.....	14
2.3.3	Kopplingsfrekvens	15
3	Översikt av drivsystem.....	16
3.1	Drivsystemet.....	16
3.2	Val av frekvensomriktare	18
3.2.1	Effektivitet och värmeutveckling.....	18
3.2.2	Styrmöjligheter och tilläggsutrustning.....	18
3.2.3	EMC-skydd	19
3.2.4	Livslängd och kostnader	19
3.2.5	Orsakande av harmoniska övertoner på elnätet	20
4	Testmätningar.....	22
4.1	Effektivitetsmätning och värmeförlustberäkningar	23
4.2	Utsignalens form	27
4.3	Upphov av harmoniska övertoner i elnätet pga frekvensomriktaren	30
4.4	Ljudnivåmätningar	32
4.5	Överstegringsproblem	34
4.6	Livslängd och pålitlighet.....	34
5	Slutsats	35
5.1	Förbättringsförslag	35
	Källor.....	36

Bilagor

Figurer

Figur 1. Ett exempelschema på hur den roterande värmväxlaren tar värme till vara ...	12
Figur 2. Funktionsprincipen för en värmepump	14
Figur 3. Genomskäring av synkronmotor	15
Figur 4. Blockschemat över drivsystemet	18
Figur 5. Övertoner	22
Figur 6. Kopplingschema för effektmätningen	26
Figur 7. Effektvärdeskurva för frekvensomriktare 1	28
Figur 8. Effektvärdeskurva för frekvensomriktare 2	28
Figur 9. Kopplingschema för sinuskurvanalys	29
Figur 10. Utsignal från frekvensomriktare 1 med 5 kHz kopplingsfrekvens	30
Figur 11. Utsignal från frekvensomriktare 2 med 5 kHz kopplingsfrekvens	31
Figur 12. Ljudspektrum från frekvensomriktare 1	35
Figur 13. Ljudspektrum från frekvensomriktare 2	35

Tabeller

Tabell 1. Resultat från effektmätning	27
---------------------------------------------	----

BEGREPP OCH TERMER

- PWM Pulse Width Modulation, Pulsbreddsmodulation
- IGBT Insulated-gate bipolar transistor
- EMC Elektromagnetisk kompatibilitet
- COP Coefficient Of Performance.
(En värmepumps verkningsgrad mäts i värmefaktor, kallad COP.)
- EF Effektfaktor
- MTBF Mean Time Between Failure.
(Tillverkares givna tid mellan motorhaveri.)
- IEC International Electrotechnical Commission
- EN EN-standard
(Comité Européen de Normalisation (CEN) är en organisation som beslutar om elektromagnetiska kompatibilitetsstandarder och andra standarder.)
- THD Total Harmonic Distorsion
- Q
Tillförd värmemängd i en värmepump.

1 INTRODUKTION

Enervent Ab är ett marknadsledande företag i Finland på ventilationsaggregat för småhus.

Ledningen för produktutvecklingen på Enervent önskar att denna utredning ger i resultat en lösning för hastighetsreglering av kompressormotorn i deras nya värmepumputrustade ventilationsaggregat.

Värmepumpens kompressor som kommer att användas har en 6-polig permanentmagnetiserad synkronmotor på 700 W.

Det finns för tillfället ett väldigt smalt utbud av frekvensomriktare för permanentmagnetiserade synkronmotorer i denna storleksklass på marknaden. Detta beror på att de flesta synkronmotorer är i megawatt-klassen.

För att få fram den optimala lösningen är några frekvensomriktare avsedda för strömvektorstyrning testade och mätningar gjorda.

Följande kriterier har påverkat slutresultatet:

- Effektivitet / Utsignalens kurvformer
- Frekvensomriktarens värmeförluster
- Livslängd / Serviceintervall / Pålitlighet
- Motorns och frekvensriktarens ljudnivå samt ljudfrekvenser

Frekvensomriktaren bör även vara EMC-skyddad för att fungera tillfredsställande i sin elektromagnetiska omgivning utan att orsaka oacceptabla elektromagnetiska störningar för annan utrustning.

2 GRUNDLÄGGANDE FAKTA

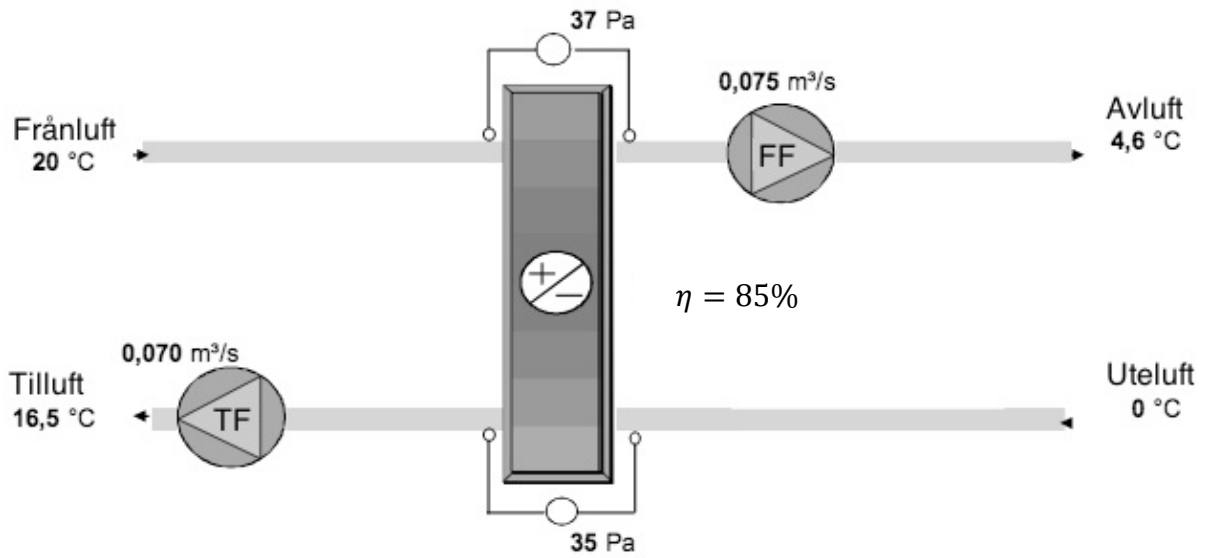
Ett ventilationsaggregat består av mycket mer än två fläktar. Om man därtill installerar en värmepump är det många delområden man bör tänka på vid planering. Några av de viktigaste områdena om behandlas i detta kapitel.

2.1 Allmänt om ventilation

Ett ventilationsaggregats uppgift är att byta inomhusluften i ett hus till ny fräsch luft som tas utifrån. Detta sker mekaniskt med hjälp av fläktar. Vanligtvis är det två stycken fläktar i ett ventilationsaggregat, en för inkommande och en för utgående luft. Förutom att utomhusluften filtreras innan den kommer in i huset så används nästan alltid någon slags värmeåtervinning.

Värmeåtervinningen fungerar så att frånluften (den utgående luften) går genom en värmeväxlare som värms upp av den varma frånluften. Denna värmeenergi förflyttas sedan över till den inkommande sidan där uteluften passerar på väg in. Där värms uteluften upp och varm luft blåses vidare in i huset.

De mest energieffektiva värmeväxlarna är av roterande modell. Den roterande värmeväxlarens värmeåtervinningsförmåga är betydligt större än den traditionella plattvärmeväxlarens. Det beror på att den roterande värmeväxlaren har en betydligt större massa och värmeöverföringsyta än plattvärmeväxlaren. En större massa kan lagra mera värme i sig. Den roterande värmeväxlaren betalar snabbt tillbaka sig i form av inbesparad värmeenergi. Enervents roterande värmeväxlare för småhus har en verkningsgrad upp till 85 %. I figur 1 visas illustration av en värmeväxlarens värmeåtervinning.



Figur 1. Ett exempelschema på hur den roterande värmeväxlaren tar värme till vara. /1/

2.2 Allmänt om värmepumpar

En värmepump är en teknisk anordning som överför värme från en plats till en annan. För att detta ska vara möjligt måste energi i någon form tillföras, enligt termodynamikens andra huvudsats:

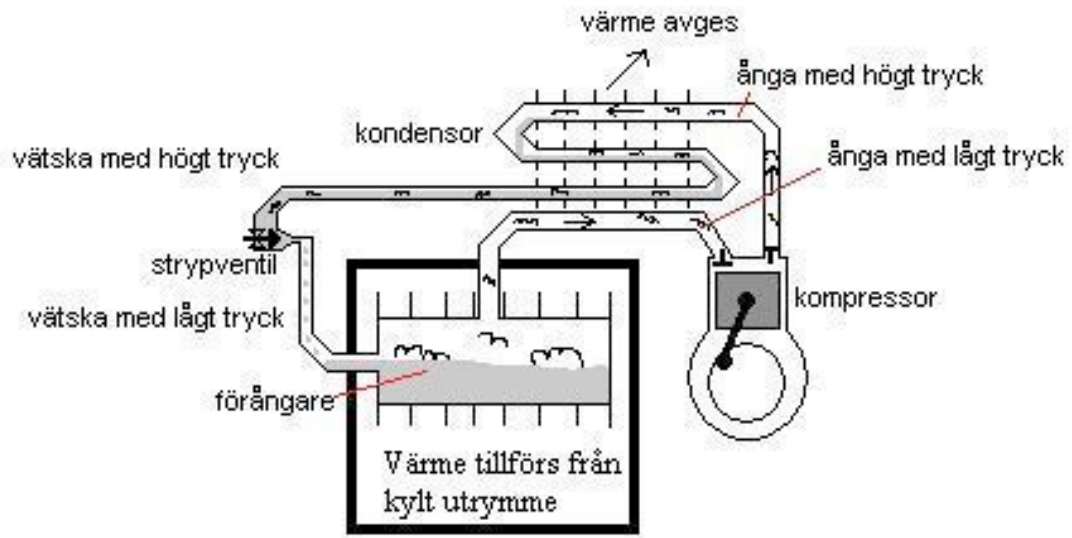
$$\eta = \frac{W}{Q} \quad [1]$$

Energien tas primärt exempelvis ur den kalla uteluften. Detta sker genom att energiinnehållet i den processade mängden uteluft minskas och flyttas till annan plats, dvs inomhus. Man "kramar" värmeenergin ur uteluften varvid utelufttemperaturen sänks ytterligare. Naturligtvis måste en mindre mängd energi tillföras för att driva processen. Förhållandet mellan tillförd drivenergi och utvunnen värmeenergi anges som COP-värdet (Coefficient of Performance).

Vanligtvis nås ett COP-värde på 5, vilket motsvarar en verkningsgrad på 500 %.

Den metodik man oftast använder i värmepumpar kallas för kompressorprocessen. Den är uppbyggd av fyra huvudkomponenter: förångare, kompressor, kondensor och strypventil. Absorptionsprocessen ger i allmänhet lägre verkningsgrad och används nästintill enbart för vissa kylskåpstillämpningar, där ljud kan bli störande.

Den kylalstring man eftersträvar i en kylanläggning erhålls genom att köldmediet går från ett högt tryck till ett mycket lägre genom en strypventil. Det lägre trycket medför där en lägre temperatur. Köldmediet passerar sedan förångaren, där det förångas av värme från omgivningen. Ångorna passerar därefter kompressorn där det återigen komprimeras till ett högre tryck och går vidare till kondensorn. Vid kondensorn kondenseras detta och det övergår sedan till vätskeform. I detta skede frigörs värme som måste bortföras. Det är den värmen som används hos värmepumpar. /2/ Principen visas i figur 2.

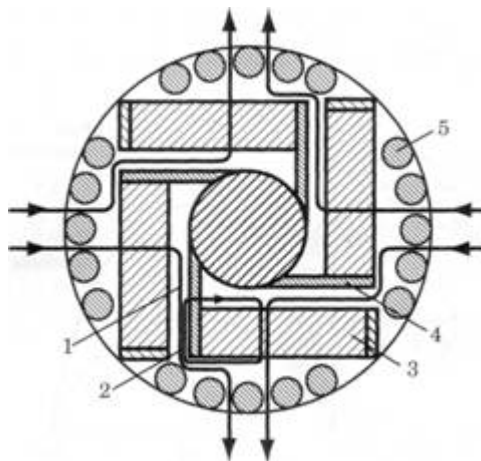


Figur 2. Funktionsprincipen för en värmepump /3/

2.3 Allmänt om synkronmotorer

Statorns uppbyggnad är densamma för synkronmotorer och asynkronmotorer. Synkronmotorers rotor har utstickande magnetpoler. Motorn som används i kompressormotorn i detta projekt har permanentmagneter (se figur 3). Större synkronmotorer kan också ha elektromagneter.

Rotorn har två eller flera polpar och kan således också användas till lågvarvsmotorer. En vanlig synkronmotor startar inte direkt av sig själv då den ansluts till nätspänningen. Orsaken är rotorns masströghetsmoment och det roterande fältets höga varvtal. Rotorn måste därför genom yttre hjälp ges samma varvtal som det roterande fältet. Självstartande synkronmotorer finns för frekvensomriktardrift och används för krävande industri-tillämpningar. Frekvensomriktaren bör ha en speciell mjukvara anpassad för synkronmotorer.



Synkronmotor med permanentmagnet

1. Verksamt flöde
2. Inneslutet flöde
3. Permanentmagnet
4. Distansplatta (omagnetisk)
5. Startbur

Figur 3. Genomskäring av synkronmotor. /4/

2.3.1 Eftersläpning och motorstoppproblem

Rotorns konstruktion framtvingar helt synkron drift, d.v.s. ingen eftersläpning. Om motorn belastas, ökar avståndet mellan rotorpolerna och det roterande fältets poler. Rotorn kommer alltså att rotera en vinkel ν (belastningsvinkeln) "bakom" det roterande fältet (som är lika med tomgångsläge) Synkronmotorer går med konstant varvtal oberoende av belastningen men de klarar inte större belastning än vad starteffekten mellan rotor och magnetfält klarar av. Om belastningen överstiger maxeffekten faller motorn ur sin synkronism och stannar. Detta kallas för överstegring (eng. stall).

Därför måste alltid frekvensomriktare användas med synkronmotorer för att få den att gå med elnätets 50 Hz frekvens. Alternativt kan en mindre motor användas för att köra upp synkronmotorn till rätt hastighet och sedan koppla in elmatningen. /5/

2.3.2 Permanentmagnetisering

Den permanentmagnetiserade synkronmotorn har en rotor som är en permanentmagnet. Man skiljer på permanentmagneter som ger ett konstant magnetfält och elektromagneter, som bara skapar ett magnetfält när de matas med elektrisk ström.

Verkningsgraden hos själva synkronmotorerna är oftast hög, 95-98%.

Mindre permanentmagnetiserade synkronmotorer kallas även för borstlösa DC-motorer, även om de i själva verket är AC-motorer. /6/

2.3.3 Kopplingsfrekvens

Kopplingsfrekvensen är den frekvens vilken frekvensomriktarens tyristorer eller IGBT-transistorer öppnar och sluter. Med en högre kopplingsfrekvens får man en mjukare sinuskurva på utspänningen. Nackdelarna med en hög kopplingsfrekvens är att det leder till en lägre verkningsgrad, dvs. högre värmeutveckling.

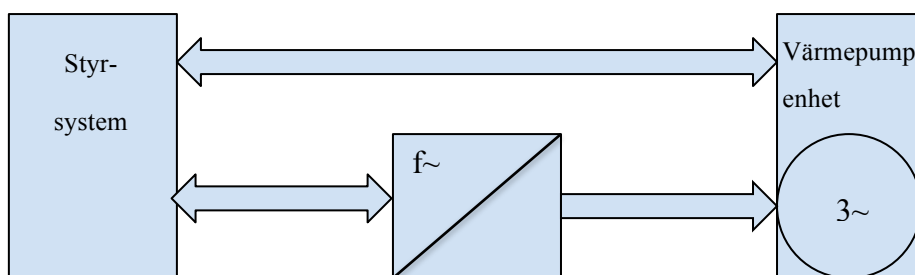
Man kan med kopplingsfrekvensen justera motorns ljudfrekvens eller "ylande" till en lägre nivå.

Om installationen kräver långa kablar mellan frekvensomriktaren och motorn bör man använda sig av en lägre kopplingsfrekvens eftersom kapacitansen i de långa kablarna tillsammans med höga kopplingsfrekvenser orsakar läckströmmar som kan leda till att frekvensomriktarens felströmsrelä slår av.

3 ÖVERSIKT AV DRIVSYSTEMET

3.1 Drivsystemet

I figur 4 presenteras ett principiellt blockschema över drivsystemet innehållande ett styrsystem, en frekvensomriktare och en värmepumpenhet. I värmepumpenheten finns elmotorn.



Figur 4. Blockschema över drivsystemet.

Styrsystemet skickar en styrsignal till frekvensomriktaren om hur snabbt kompressormotorn skall rotera. Därefter pumpar kompressormotorn sedan runt kylmediet i värmepumpenheten och värmeöverföringen sker.

Styrsystemet styr förutom frekvensomriktaren också värmepumpens mekanik, t.ex. ventiler. Dessutom får styrsystemet temperaturinformation från ett flertal olika ställen i värmepumpkretsen.

Dimensioneringen för drivsystemet är gjord för värmepumputrustade ventilationsaggregat med luftmängder på -170/+180 l/s, dvs i egnahemshus-klassen.

I alla omvandlingar sker det förluster och målet är att minimera dessa förluster så långt som det är ekonomiskt och tekniskt lönsamt. Detta innebär att effektiviteten skall vara hög hos motorn och frekvensomvandlaren. Dessutom måste kabeldragningar vid förverkligande vara dimensionerade så att stora överföringsförluster inte sker.

Även frekvensomriktarens fysiska storlek skall vara så pass liten att den får plats i ett ventilationsaggregats elskåp.

3.2 Val av frekvensomriktare

Vid val av frekvensomriktare finns det flera kriterier man bör ta i beaktande. När man till det tillägger att frekvensomriktarutbudet för permanentmagnetiserade synkronmotorer är väldigt litet så blir det inte många kandidater kvar.

3.2.1 Effektivitet och värmeutveckling

Vid alla omvandlingar sker det förluster. Det betyder att elenergi kommer att förvandlas till värme vilket inte är önskat.

Eftersom frekvensomriktarens fysiska plats kommer att vara inne i ventilationsaggregatets elskåp, var luften inte ventileras, så får frekvensomriktarens värmeutveckling inte vara för kraftig. Gärna skulle frekvensomriktaren få ha kylribbor på undersidan. Genom en öppning i elskåpets botten, var frekvensomriktaren skulle placeras, skulle frekvensomriktaren sedan kylas ner av tilluften.

3.2.2 Styrmöjligheter och tilläggsutrustning

Förutom att frekvensomriktaren bör kunna styra en synkronmotor så får den gärna ha några tilläggsfunktioner. Den bör absolut kunna styras med externa styrsignaler för hastighetsreglering. Ventilationsaggregatets styrsystem ger en styrsignal på 0-10 volt. Dessutom skall det finnas en vippa i frekvensomriktaren som sluts vid ett eventuellt alarm.

Någon slags datorförbindelse för programmering av parametrar är att föredra så man vid produktionen inte behöver trycka in för hand alla parametrar på frekvensomriktarens styrpanel.

3.2.3 EMC-skydd

Frekvensomriktaren får inte förorsaka några elektromagnetiska störningar för komponenter i sin omgivning. Alla ventilationsaggregat bör uppfylla EU-standarden för elektromagnetisk kompatibilitet. Detta betyder att frekvensomriktaren i sig själv bör vara EMC-skyddad eller så måste den göras det med hjälp av störningsskyddad kabel och EMC-filer på matningsspänningen.

3.2.4 Livslängd och kostnader

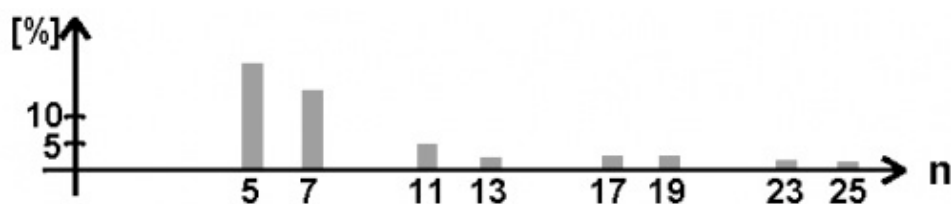
Man vill inte gärna byta ut frekvensomriktare alltför ofta pga. att den gått sönder, så därför bör den ha en lång livslängd. Detta går inte att mäta i denna utredning så man får lita på tillverkarens givna siffror för körtid (eng. failure time) och livslängd (eng. Mean Time Between Failure).

Priset på frekvensomriktaren spelar även en stor roll eftersom varje komponents kostnad spelar in på det slutliga försäljningspriset. Dock kommer inga summor att presenteras i denna utredning även om de tas i beaktande vid val av frekvensomriktare.

3.2.5 Orsakande av harmoniska övertoner på elnätet

Om övertonerna tillåts omvandlas frekvensomriktaren oavsiktligt till en radiosändare.

Harmoniska övertoner är störningar i spänning och ström i elnätet, vilka har en frekvens som är en multipel av grundtonens frekvens. Elnätet har en grundtonsfrekvens på 50 Hz. Vanligtvis är övertonernas amplitud avtagande med deras ökande frekvens. Se figur 5.



Figur 5. Övertoner och dess relativa amplitud. /7/

I ett 3-fas nät förekommande övertoner kan beräknas enligt formel 2:

$$n = pm + /- 1 \quad [2]$$

Där n är övertonens ordningstal, p är likriktarens pulstal och m ett godtyckligt heltal (1,2,3...)

De flesta utrustningar med aktiva komponenter inom kraftelektroniken ger upphov till dessa övertoner. Detta på grund av att de är så kallade icke-linjära laster, laster som drar ström pulsvis eller på annat sätt påverkar och förvränger sinusformen hos strömkurvan. Detta innebär att de konverterare som finns i frekvensomriktare bland annat ger upphov till dessa övertoner.

All utrustning som ansluts till dagens elnät är anpassad att fungera med en ideal sinusformad 50 Hz grundfrekvens som matningsspänning. Detta gör att när det förekommer multiplar av grundfrekvensen på nätet kan inte utrustningen ta upp den energi som dessa övertoner innehåller.

Med andra ord, då utrustningen inte är anpassad till att ta tillvara övertonernas energi kommer det leda till outnyttjad effekt. Eftersom den är outnyttjad blir den i det stora sammanhanget en förlust i elnätet.

Utöver denna effektförlust orsakar övertoner diverse påfrestningar på kraftutrustning och andra elektriska apparater. Övertoner på elnätet kan ge upphov till oönskad värmeutveckling i kraftutrustning (t.ex. motorer / generatorer) och till följd av det minskad verkningsgrad. De låga multiplarna av harmoniska övertoner faller också inom människans hörselområde och leder till ökade brusnivåer i diverse elektriska apparater och störningar exempelvis i telefonnätet. /7/

4 TESTMÄTNINGAR

Efter att ett flertal frekvensomriktare har varit under jämförelse har nu följande frekvensomriktare tagits in för vidare tester:

- Frekvensomriktare 1
- Frekvensomriktare 2

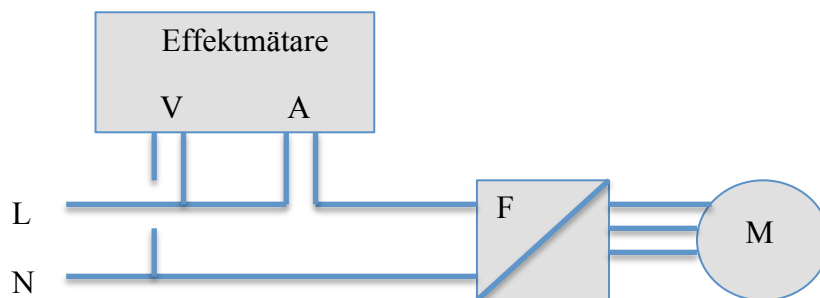
Av sekretesskäl publiceras inte frekvensomriktarens tillverkare och modell.

Följande tester kommer att göras:

- Effektivitetsmätning och (värme-)förlustberäkningar
- Utsignalens form
- Upphov av harmoniska störningar i elnätet pga frekvensomriktaren
- Ljudnivåmätningar
- Överstegringsproblem (eng. stall problem)
- Livslängd och pålitlighet

4.1 Effektivitetsmätning och värmeförlustberäkningar

Dessa mätningar har gjorts med en effektmätare från ZES Zimmer. Modellen är LMG95. Mätningarna har gjorts med frekvensomriktaren körande synkronmotorn på 70, 100 och 140 Hz med kopplingsfrekvenserna 2, 5 och 10 kHz enligt mätningens kopplingsschema (figur 6).



Figur 6. Kopplingsschema för effektmätningen

Från denna mätning får man som resultat:

-Effektfaktorn (EF) $EF = \lambda = \frac{|P|}{S}$ [3]

-Strömförbrukning (I), trms [4]

-Aktiv effekt (P), $P = \frac{1}{T} \int_{t=0}^T u(t)i(t)dt$ [5]

-Reaktiv effekt (Q), $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ [6]

-Skenbar effekt (S), $S = U_{trms} * I_{trms}$ [7]

-Impedans (Z), $Z = U_{trms} / I_{trms}$ [8]

Effektfaktorn är kvoten mellan den aktiva effekten som används i en krets och den skenbara effekten som levereras av strömkällan. Som man kan se i figurerna 7 och 8 samt i tabell 1 så stiger effektfaktorn aningen ju högre hastighet frekvensomriktaren och motorn körs på. Detta beror på att den skenbara effekten stiger i proportion till den aktiva effekten. Resultatet från denna mätning visar att effektfaktorn ligger på omkring 0,55 vilket är mycket lägre än t.ex. en direkt driven motor skulle ha. Denna effektivitetsmätning kan dock inte jämföras med effektiviteten hos en direkt driven synkronmotor eftersom förlusterna hos frekvensomriktaren är medräknade.

Orsaken till den dåliga effektfaktorn beror på kapacitanser och induktanser som bildas av frekvensomriktaren. Exempelvis kan en orsak vara värmeutveckling på grund av effektförluster i motorlindningar och frekvensomriktare. I denna konstruktion visade sig också att användande av en högre kopplingsfrekvens inte påverkar negativt på effektfaktorn. Effektfaktorn håller sig lik vid alla testade kopplingsfrekvenser.

Den magnetiserande strömmen som kallas för reaktiv ström, motsvarar det energiutbyte mellan strömkällan och motorn som inte omvandlas till aktiv effekt.

Det är svårt att mäta hur stor del av energin som går till värme, men man kan ändå konstatera att nästan hälften av energin går förlorad, varav största delen antagligen som värme.

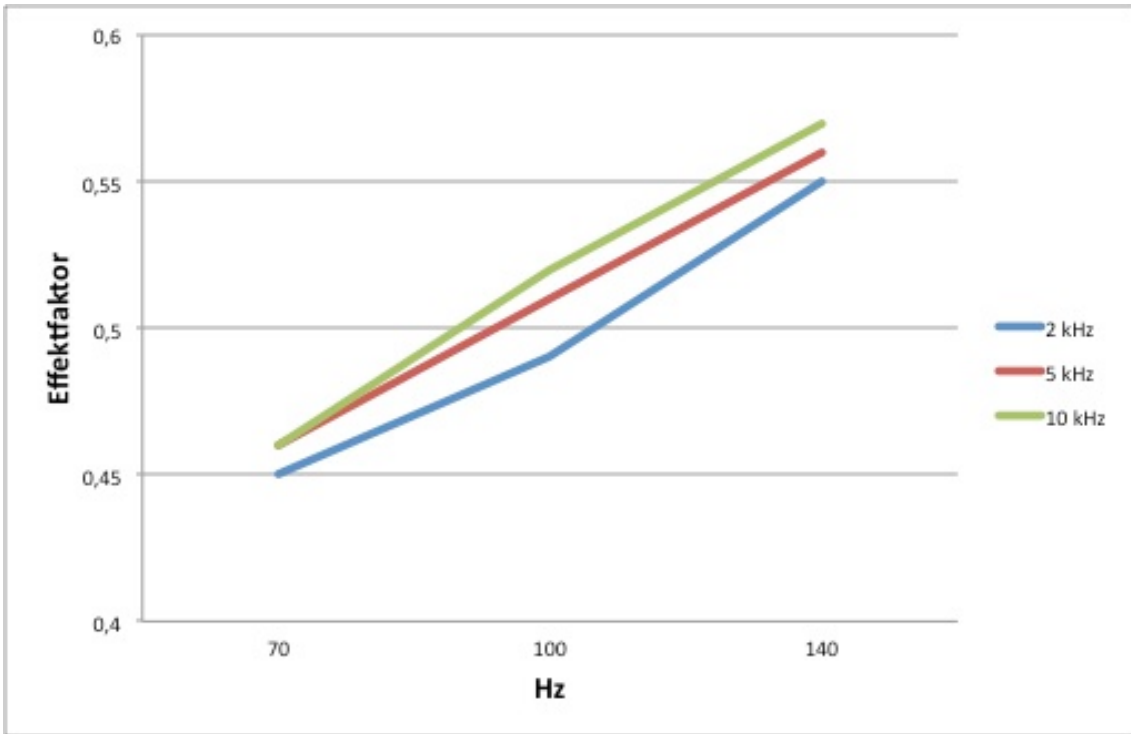
Tabell 1: Resultat av effektmätningar

Frekvensomriktare 1

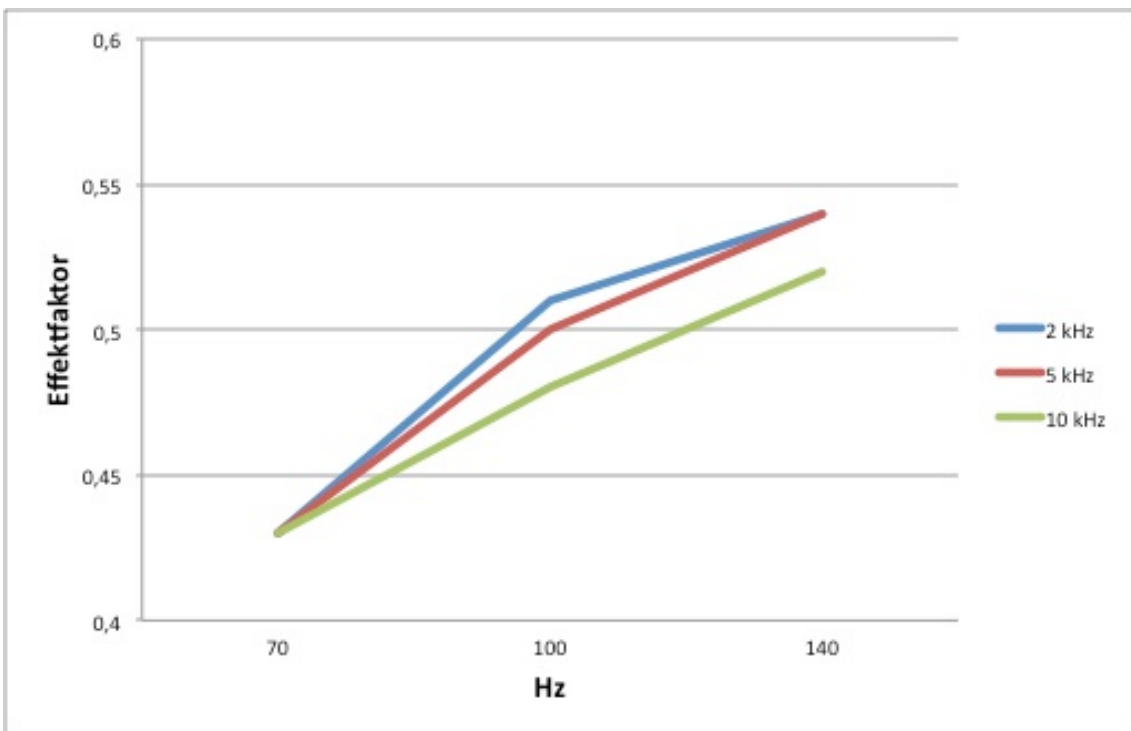
	P					
	I (A)	(W)	Q (VAr)	S (VA)	EF	Z (Ω)
70 Hz @ 2 kHz	1,37	144	275	310	0,46	137
100 Hz @ 2 kHz	1,99	230	385	455	0,51	99
140 Hz @ 2 kHz	2,85	350	528	640	0,56	72
70 Hz @ 5 kHz	1,47	152	296	331	0,46	135
100 Hz @ 5 kHz	2,14	250	414	483	0,51	97
140 Hz @ 5 kHz	2,96	373	552	675	0,56	73
70 Hz @ 10 kHz	1,49	157	301	339	0,46	135
100 Hz @ 10 kHz	2,15	255	414	486	0,52	100
140 Hz @ 10 kHz	1,98	376	563	683	0,57	73
Tomgång	0,16					

Frekvensomriktare 2

	P					
	I (A)	(W)	Q (VAr)	S (VA)	EF	Z (Ω)
70 Hz @ 2 kHz	1,74	170	355	401	0,43	125
100 Hz @ 2 kHz	2,27	261	440	512	0,51	98
140 Hz @ 2 kHz	3,10	377	580	690	0,54	72
70 Hz @ 5 kHz	1,77	176	361	402	0,43	126
100 Hz @ 5 kHz	2,27	258	444	513	0,50	99
140 Hz @ 5 kHz	3,00	370	580	686	0,54	174
70 Hz @ 10 kHz	1,55	161	318	318	0,44	141
100 Hz @ 10 kHz	2,31	255	458	458	0,48	96
140 Hz @ 10 kHz	3,15	368	604	708	0,52	72
Tomgång	0,24					



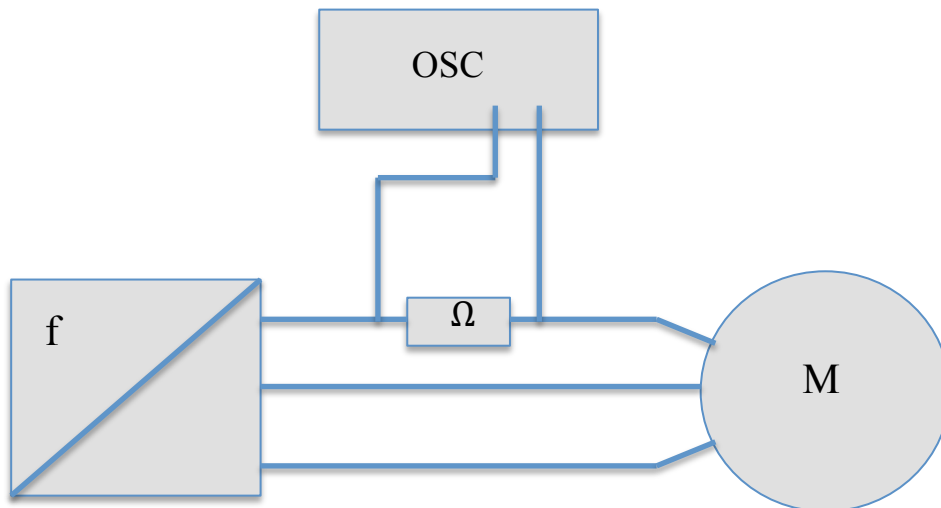
Figur 7. Effektfaktorkurva för frekvensomriktare 1.



Figur 8. Effektfaktorkurva för frekvensomriktare 2.

4.2 Utsignalens form

Dessa mätningar gjordes med ett oscilloskop. Dessutom användes ett $10\text{ m}\Omega$ shuntmotstånd för mätning av motorström.

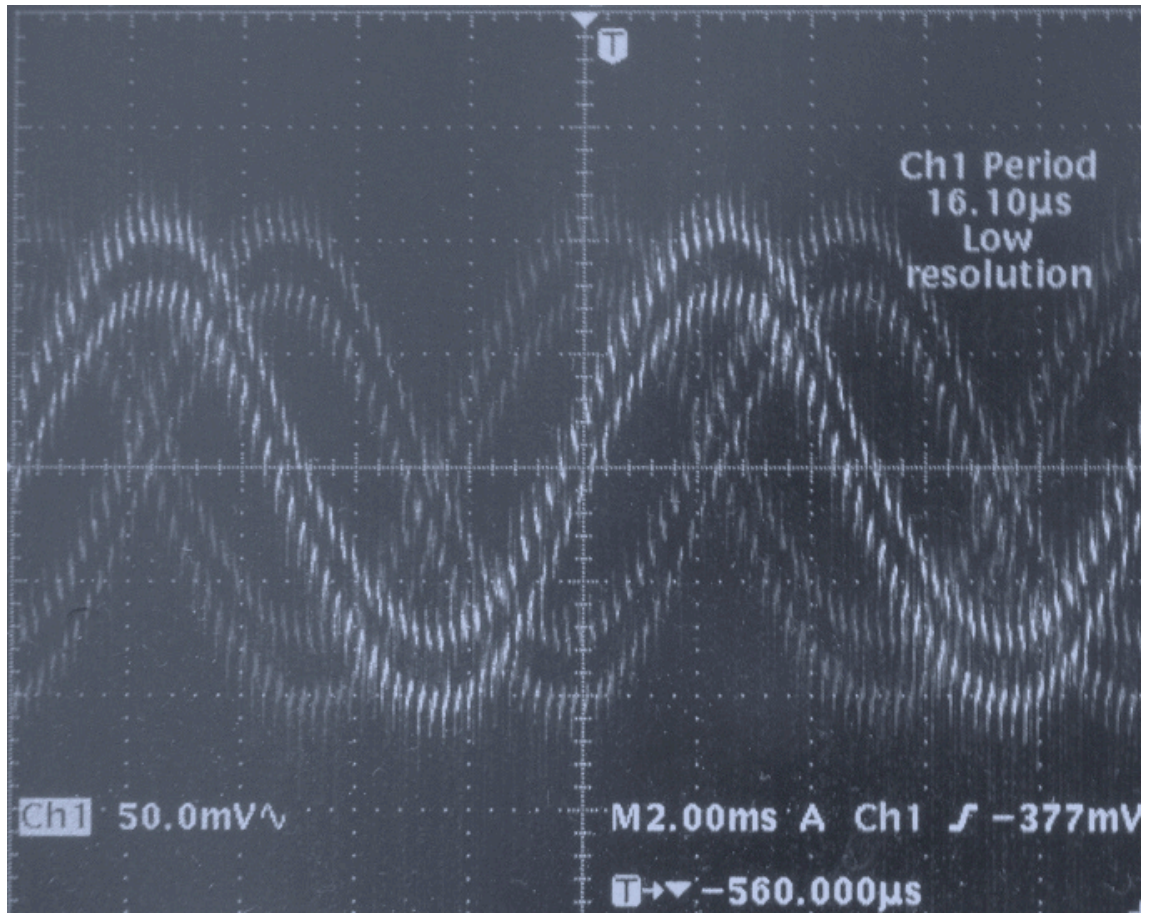


Figur 9. Kopplingsschema för sinuskurvanalys.

Utsignalens form beror på hur frekvensomriktaren är konstruerad och vilken kopplingsfrekvens som används. Kopplingsfrekvensen är den frekvens vilken frekvensomriktarens tyristorer eller IGBT-transistorer öppnar och sluter. Med en högre kopplingsfrekvens får man en mjukare sinuskurva. Vanligtvis körs frekvensomriktare med kopplingsfrekvenser på 2 -16 kHz.

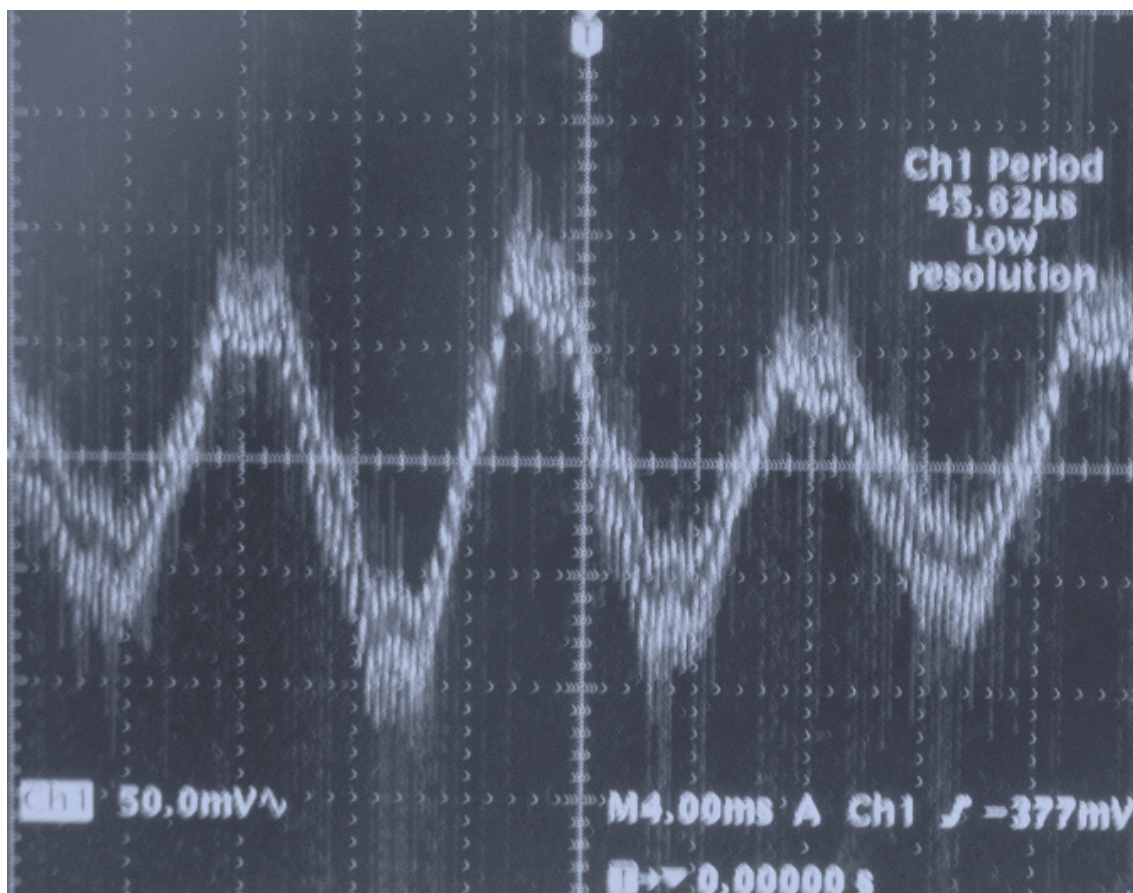
I figur 10 kan man tydligt se steg som orsakas av att frekvensomriktarens tyristorer slår av och på, 5000 gånger i sekunden. Det kan se ut som två sinuskurvor utanpå varandra, men i själva verket är det samma kurva som går snabbt upp och ned. Denna signals frekvens är 100 Hz och kopplingsfrekvensen 5 kHz. Därmed finns det 50 steg per period.

De svagare identiska kurvorna som också kan ses i oscilloskopbilderna är signaler som slås tillbaka från motorn, dvs. störningar.



Figur 10. Utsignal från frekvensomriktare 2 med 5 kHz kopplingsfrekvens.

Signalen från frekvensomriktare 1(figur 11) är inte lika jämn och fin som motsvarande kurva från frekvensomriktare 2 (figur 10). Den är inte identiskt upprepande och man kan även se att den svackar in i topparna. Man kan också se att stegen, som orsakas av tyristorerna som slår av och på, har stora svängningar och är ojämna.



Figur 11. Utsignal från frekvensomriktare 2 med 5 kHz kopplingsfrekvens.

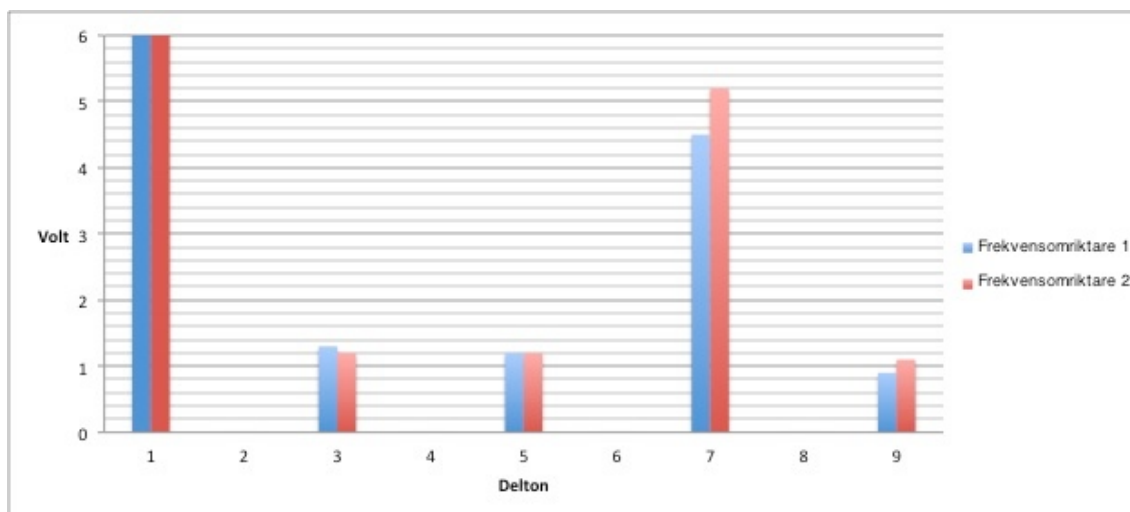
4.3 Upphov av harmoniska övertoner i elnätet pga frekvensomriktaren

Mätningen gjordes med en Fluke 345-effektanalysator och mättes på frekvensomriktarens ingående elmatningsterminal.

Inga större harmoniska övertoner kunde hittas i elnätet som skulle ha orsakats av frekvensomriktaren (se figur 12). Det visade sig att en bärbar dators switchande nätaggregat orsakar nästan dubbelt så stora mängder av harmoniska övertoner än de testade frekvensomriktarna.

Orsaken till att de båda frekvensomriktaren orsakade så svaga störningar är att bägge frekvensomriktaren är utrustade med avstörningsfilter.

Frekvensomriktare har ett internt avstörningsfilter som uppfyller IEC-61800-standarden. Frekvensomriktare 1 är ett externt EMC-filter kopplat före matningsspänningen. Även utan EMC-filtret uppfyller den kraven för EN 50081-2-standarden.



Figur 12. Övertoner i nätet orsakade av frekvensomriktaren och synkronmotor vid 140 Hz.

Den totala harmoniska distorsionen kan räknas genom att man adderar effekterna från övertonerna och dividerar det med effekten från grundfrekvensen (se formel 8).

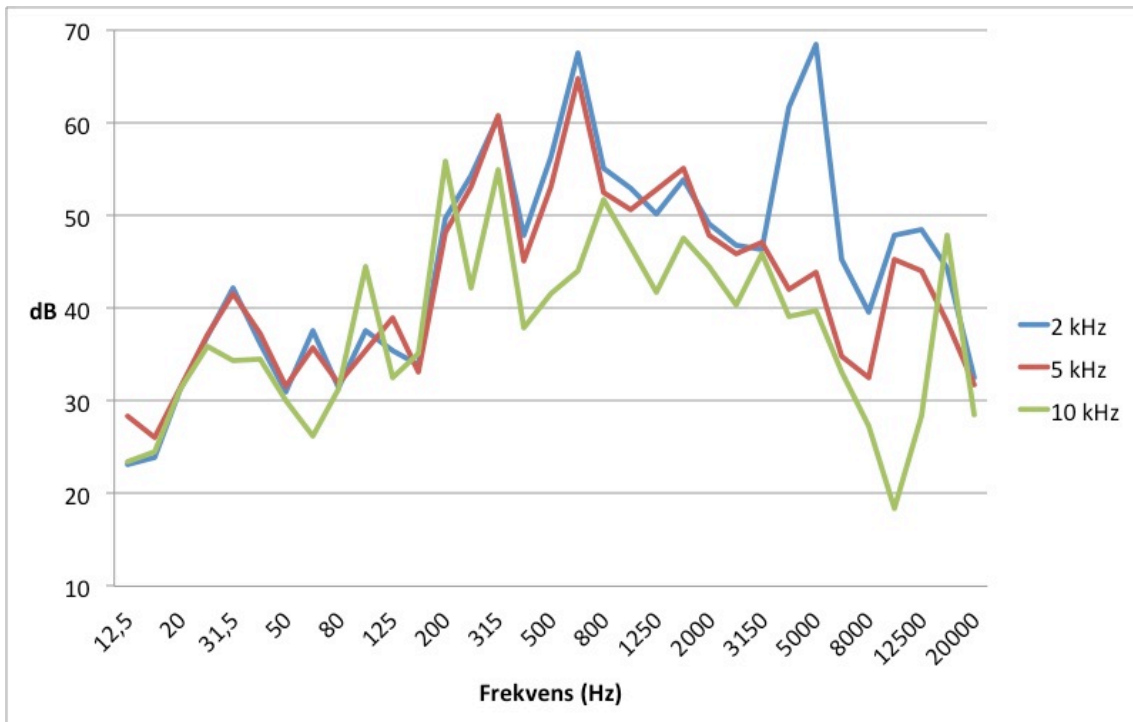
$$THD = \frac{P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_n}{P_1} \quad [8]$$

4.4 Ljudnivåmätningar

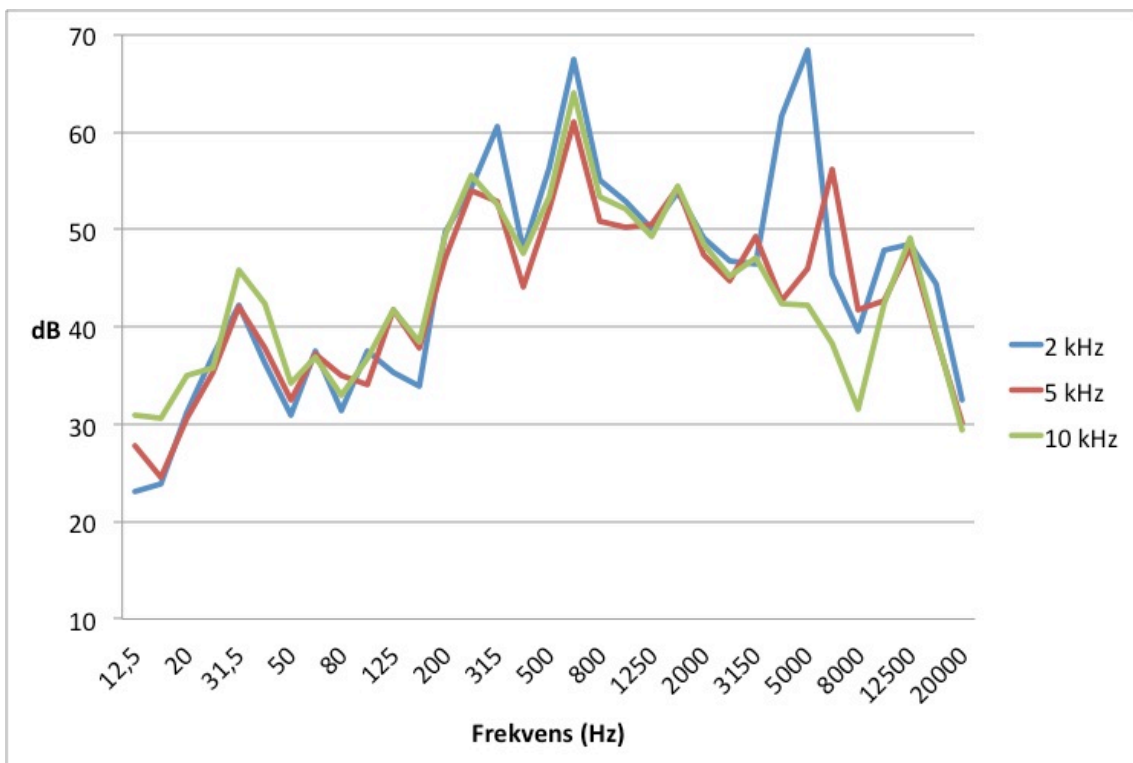
Ljudmätningarna är utförda i ett ljudisolerat utrymme avsett för ljudmätningar. Som ljudmätningssinstrument användes Bruel & Kjær 2260 Observer. Mätningarna gjordes på sex olika punkter i utrymmet och medeltalet för punkterna har räknats ihop med en algoritmkalkyl från Akukon Oy. Motorn kördes med en hastighet på 100 Hz och mätningar med tre olika kopplingsfrekvenser gjordes (2, 5, 10 kHz).

Från resultaten (se figur 13 och 14) kan man se att kurvorna är lik varandra ända till ungefär 4 kHz. Eftersom spektrumet före 4 kHz är så lika på alla kurvor består det antagligen av mekaniska ljud från motorn, tex. kullager. Efter 4 kHz får de tre olika signalerna sina ljudtoppar. Exempelvis har 2 kHz-signalen sin topp vid 5 kHz och 10 kHz-signalen sin på 12500 Hz. Detta visar att kopplingsfrekvensen inte direkt har ett samband med ljudfrekvensen, eftersom ljudfrekvensen är aningen högre.

De högre kopplingsfrekvenserna, så som 10 kHz-signalerna, har en lite lägre ljudnivå över nästan hela spektrumet på bägge frekvensomriktarna.



Figur 13. Ljudspektrum från frekvensomriktare 1.



Figur 14. Ljudspektrum från frekvensomriktare 2.

4.5 Överstegringsproblem

Överstegringsproblem kunde endast konstateras med en av frekvensomriktaren, frekvensomriktare 1. Överstegringar uppstod då man för snabbt accelererade från 140 Hz och uppåt, samt då man från medelhög fart satte styrsignalen till 0 och lät den bromsa in så kom den att ”tappa greppet” vid 40 Hz och neråt. Flera försöka att ändra parametrar för acceleration och inbromsning gjordes men utan lyckat resultat.

En möjlighet kunde vara att frekvensomriktare 1:s utsignals kurvform (se figur 11) har en mycket ojämnares sinuskurva och hackigare linje pga. kopplingsfrekvensen. Då sinuskurvan är ojämn så orsakar den en kraftigare klycka än en ren sinuskurva skulle göra, och tappar då greppet.

4.6 Livslängd och pålitlighet

Livslängderna för frekvensomriktarna har inte kunnat mätas så man får lita på de värden som tillverkaren anger. Dessa värden är ändå riktgivande och många faktorer inverkar på livslängden. Båda tillverkarnas värden för MTBF är verkligt höga. Så höga, att de knappast kommer vara den svagaste länken i värmepumpenheten.

Tillverkarens givna MTBF är:

Frekvensomriktare 1: 28 år

Frekvensomriktare 2: 21 år

5 SLUTSATS

Efter att flera tester har utförts, och deras pålitlighet beaktats så är det dags att utse den frekvensomriktare som skall tas i produktion.

Frekvensomriktare 1 har den fördelen att den är liten och har sådana installationsmöjligheter att den går att fälla in genom elskåpets botten, för att få kylribborna kylda av tilluften. Den behöver dock ett EMC-filter kopplat före spänningsmatningen (se s. 30).

Frekvensomriktare däremot roterar jämnare, har inga överstegringsproblem och låter lite behagligare. Den har även en behagligare kontrollpanel och klarare parametermenyer.

Det vassare strået drar då till slut tillverkare 2 som är aningen bättre på alla de områden som tagits i beakt och den har dessutom en användarvänligare kontrollpanel.

5.1 Förbättringsförslag

I framtiden har säkert utbudet för frekvensomriktare för permanentmagnetiserade synkronmotorer ökat och då kan en ny undersökning göras. När detta examensarbete gjordes så hade flera tillverkare, så som NFO Drives, Vacon och ABB möjliga frekvensomriktare under utveckling.

En annan möjlighet vore att använda en asynkronmotor i värmepumpenheten. Utbudet av frekvensomriktare för asynkronmotorer i denna storleksklass är enormt mycket större. Då måste förstås motorns varvtal kontrolleras på något annat vis än enbart med motorns matningsfrekvens.

KÄLLOR

/1/. Enervent Ab, 2012

/2/. Juva, Henri. 1982. Maalämpö ja lämpöpumput

Rakentajain Kustannus Oy. 11 s. ISBN: 951-676-226-3

/3/. Wikipedia, 2012 : Värmepump

Tillgänglig: <http://sv.wikipedia.org/wiki/Värmepump>

/4/. Drivteknik, 2012 : Synkronmotor

Tillgänglig: <http://www.drivteknik.nu/skolan/motor/synkronmotor>

/5/. Wikipedia, 2012 : Eftersläpning

Tillgänglig: <http://sv.wikipedia.org/wiki/Eftersläpning>

/6/. Elektronikforumet.com, 2006 : AC-motor

Tillgänglig: <http://www.elektronikforumet.com/wiki/index.php/AC-motor>

/7/. En students anteckningar , 2009 : Harmoniska övertoner

Tillgänglig: <http://jocoophv.wordpress.com/2009/08/03/harmoniska-overtoner/>

BILAGOR

Av sekretesskäl publiceras inga bilagor.