



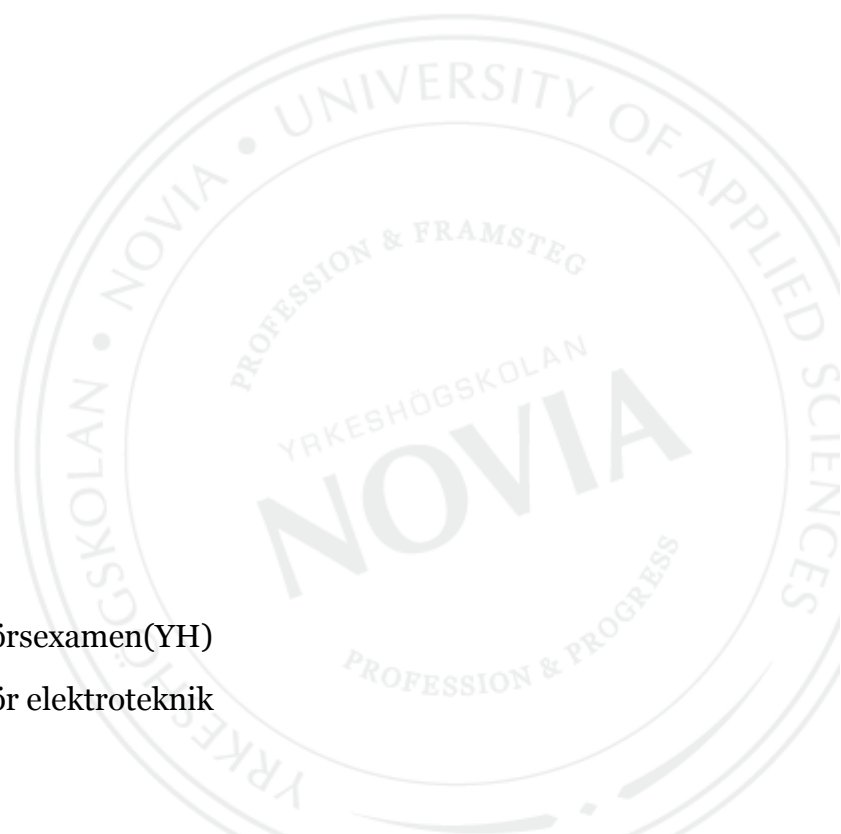
Analys av elkvaliteten vid Vacon

Robert Häggblom

Examensarbete för ingenjörsexamen(YH)

Utbildningsprogrammet för elektroteknik

Vasa 2011



Källförteckning

1	Vacon	1
1.1	Vacons energibesparingsprogram.....	1
2	Elkvalitet i allmänhet	2
2.1	Framtiden	2
2.2	Kostnader.....	2
3	Reaktiv effekt	3
3.1	Kompensering.....	3
3.2	Kostnader.....	4
3.3	Framtiden	5
4	Olinjära laster	6
4.1	Övertoner	7
4.2	Symmetriska övertoner	8
4.3	Övertonernas inverkan	9
4.3.1	Effekt faktorn	10
5	Kompensering	11
5.1	Passiva filter	11
5.2	Resonans	12
5.3	Aktiva filter	14
5.3.1	Activ Front End	15
5.4	Val av filtertyp	16
6	Frekvensomriktaren	16
6.1	Uppbyggnad och funktion.....	17
6.2	Nätåterverkan.....	17
7	Transformatorn	18
7.1	Övertonernas inverkan	18
7.2	Mätning av strömövertoner	19
7.3	Frekvensomriktaren inverkan.....	20

8	Standarden SFS-EN 50160	20
8.1	Spänningsövertoner	22
8.2	Strömövertoner	23
8.3	Andra elkvalitetsstandarder	24
8.4	Mätning av övertoner	26
9	Analys av mätvärden	27
10	Mätningstrustning	28
10.1	Wimo 6CP10	28
10.1.1	Vampset	29
10.2	E700	30
10.3	Fluke 435	30
10.4	Fluke 1744 memobox	31
11	Mätningresultat	32
11.1	Mätningar vid fastighetstransformatorn	33
11.1.1	Analys av enskilda övertoner	36
11.2	Mätningar vid huvudtransformatorn	39
11.2.1	Analys av enskilda övertoner	39
12	Slutord	40
	Källförteckning	41

Bilagor 1-11

EXAMENSARBETE

Författare: Robert Häggblom
Utbildningsprogram och ort: Elektroteknik, Vasa
Inriktningalternativ: Elkraftteknik
Handledare: Martti Hokkanen (Novia)
Stefan Strandberg (Vacon)

Titel: Undersökning av elkvaliteten vid Vacon

Datum: 13.04.2011

Sidantal: 40

Bilagor: 11

Abstrakt

Ingenjörsarbetet är utfört på beställning av Vacon och undersökningen sker i deras interna distributionsnät. Syftet med detta arbete var att undersöka spännings- och strömövertoner, för att få en helhetsbild av elkvaliteten vid Vacon. Deras målsättning är att i framtiden kompensera en del av den reaktiva effekt som förbrukas. En noggrann utredning av elkvaliteten och de harmoniska övertonerna före valet och inställning av filter är viktigt för att undvika framtida problem med utrustningen. Mätningar har gjorts i elnätet vid Vacon för att undersöka övertonerna vid olika situationer i nätet. Enligt planerna i dagsläget kommer kompenseringen i framtiden att utföras med en typ av Active Front End (AFE), som består av ett externt LCL-filter, vars uppgift är att kontrollera och filtrera strömmarna som dras från nätet. Konvertern är uppbyggd av IGBT-transistorbryggor i två nivåer. Den modell av AFE som kommer att användas vid kompenseringen är Vacons egen produkt, men användningsområdet inte så vanligt.

Språk: svenska

Nyckelord: elkvalitet, reaktiv effekt, övertoner

Förvaras: Webbiblioteket Theseus.fi eller Tritonia, Vasa vetenskapliga bibliotek

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Robert Häggblom
Koulutusohjelma ja paikkakunta: Sähkötekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Martti Hokkanen (Novia)
Stefan Strandberg (Vacon)

Nimike: Selvitys Vaconin sähkön laadusta

Päivämäärä: 13.4.2011

Sivumäärä: 40

Liitteet: 11

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on suoritettu Vaconin pyynnöstä ja tutkimus toteutettu heidän omassa sähköverkossaan. Työn tarkoituksena on tutkia ja selvittää jännitteen ja virran yliaallot ja saada kokonaiskuva Vaconin sähkönlaadusta. Vaconin tulevaisuuden tavoite sähkönlaadun suhteen on vähentää osa käytetystä loistehosta. Tarkka selvitys sähkönlaadusta ja harmonisista yliaalloista on kuitenkin tehtävä ennen kompensointilaitteiden valintaa ja niiden säätöä. Sähkönlaadun selvittämällä vältetään mahdolliset ongelmat tulevaisuudessa. Mittaukset on tehty Vaconilla eri tilanteissa, jotta pystytään selvittämään todellinen sähkönlaatu ja yliaaltojen haittavaikutukset. Alkuperäisten ja nykyisten suunnitelmien mukaan Vaconilla tulnaisiin kompensoimaan loisteho Activ Front End (AFE)-tyypisillä aktiivisuodattimilla. AFE koostuu konvertteriosasta ja ulkoisesta LCL-filtteristä, jonka tehtävä on suodattaa virrat verkosta. Konvertterin rakenne koostuu IGBT-transistorisillasta kahdessa tasossa. Malli, jota Vaconilla tullaan kompensoinnissa käyttämään, on heidän oma tuotteensa, mutta käyttö ei tällaisissa tapauksissa ole niin yleistä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: sähkönlaatu, loisteho, yliaaltoja

Arkistoidaan: Verkkokirjastossa Theseus.fi tai Tritoniassa, Vaasan tiedekirjastossa

BACHELOR'S THESIS

Author: Robert Häggblom
Degree Programme: Electrical engineering, Vasa
Specialization: Electrical power engineering
Supervisors: Martti Hokkanen (Novia)
Stefan Strandberg (Vacon)

Title: A survey of the power quality at Vacon

Date: 14 April 2011

Number of pages: 40

Appendices: 11

Abstract

This thesis work comprises a research and analyses of power quality. It has been commissioned by Vacon and the analyses were executed in their internal electrical network. Vacon's goal is to compensate parts of the used reactive power down to a reasonable level. A precise analysis of the electrical quality and the harmonic distortions is required before any filtering equipment can be provided. Measurements have been done in Vacon's internal network, whereby the harmonic distortions in different situations and with different loads have been examined. The goal includes getting a current picture of the power quality in Vacon's internal network and easing their work to improve the power quality and compensate some of the used reactive power. In the future the filtering of the reactive power will be done by a Vacon's Active Front End (AFE) regenerative converter. The AFE has an external LCL-filter which controls the power drawn from the network, and the converter is built with double levelled IGBT-transistors.

Language: swedish

Key words: power quality, reactive power, distortion

Filed at the web library Theseus.fi or at the Tritonia Academic Library, Vaasa

Förord

Detta ingenjörarbete inleddes redan 2007 men fick sin avslutning först nu 2011. Anledningen till det är min totala idrottssatsning mellan 2007–2010. Jag tackar de personer som hjälpt mig att utföra detta lärdomsprov, från Vacon tackar jag Stefan Strandberg, Hannu Saren och Reino Laukkanen för att ni gjorde det möjligt att utföra detta. Även ett stort tack till lärarna på yrkeshögskolan Novia för att ni förstått min situation.

Ingenjörarbetet täckte en stor del av de grundkunskaper som utbildningen för elkraftsingenjör förutsätter, i min litteraturstudie fick jag bl.a. bekanta mig med frekvensomriktaren och dess effektelektronik, transformatorns funktion och uppbyggnad, eldistributionsnätets olika delar och funktion.

Jag är tacksam för möjligheten jag fick att stifta bekantskap med alla dessa delområden i min undersökning av elkvaliteten, med allt vad det innebär. Detta ger med stor sannolikhet viktig kunskap för kommande framtida arbetsuppgifter. Ämnet i sig är också väldigt aktuellt med tanke på framtid och den ständigt ökande användningen av elektronik i hemmet och inom industrin.

Robert Häggblom

1 Vacon

Vacon är ett företag som grundades 1993 till följd av att ABB-enheten i Vasa koncentrerade sin produktion av frekvensomriktare till Helsingfors. Tretton ABB-anställda beslöt då att starta upp en egen produktion av frekvensomriktare. I dag är Vacon en av de ledande leverantörerna av frekvensomriktare för varvtalsreglering av elmotorer och vid produktion av förnybar energi.

Vacon erbjuder frekvensomriktare inom effektområdet 0,2 kW–5 MW för 230, 400, 500, 690 V nätspänning, Vacons produkter görs enligt kundernas behov. Till en av orsakerna för den stora framgången hör också att Vacon satsat mycket på undersökning och produktutvecklingen.

Vacon är ett av de snabbast växande företagen inom branschen, bolaget har 27 försäljningsbolag över hela världen, bl.a. i Storbritannien, Tyskland, Italien, Spanien, Österrike, Holland, Sverige, Kina, Ryssland, Frankrike, Norge, Belgien. Produktionen sker i Finland, USA, Kina och Italien. År 2010 uppgick omsättningen till 338 miljoner euro och Vacon hade 1301 anställda. Vacons målsättningen är att nå en omsättning på 500 miljoner euro till år 2014. /16/

1.1 Vacons energibesparingsprogram

På Vacon Oy har man 2008 ingått ett frivilligt avtal med Arbets- och näringsministeriet, med målsättningen att under perioden 2008–2016 få ner sin totala energiförbrukning med 20 %. Målsättningen skall nås bl.a. genom att kontinuerligt förbättra energieffektiviteten, upplysa och utbilda personalen hur de på sitt eget område kan spara energi samt användning av förnybar energi. Vacon kommer i samband med deras produktutveckling av inverters avsedda för solpaneler, att installera 400 solpaneler på fabrikstaket i Vasa, panelerna har en sammanlagd effekt på 50–60 kilowatt. Energibesparingsprojektet kommer att övervakas av Teknologiateollisuus ry genom en rapport årligen. /16/

Vacon har en möjlighet att gör en del av dessa energibesparingar på att förbättra sin elkvalitet. En förbättring av elkvalitet kan innebära kompensering av den reaktiva effekten och en minskning av störningarna orsakade av övertoner. Övertonerna orsakar bl.a. överföringsförluster i form av värme.

2 Elkvalitet i allmänhet

Övertoner som förekommer i vårt elnät har en betydande roll då man avgör vilken elkvalitet som distribueras till kunden. För den privata elkonsumenten är övertoner och den ström och spänningsstörning som förekommer i elnätet betydande, störningarna inverkar direkt på elektronikens funktion och användning i hemmet.

Inom industrin orsakar nätets dåliga elkvalitet problem i form av avbrott i produktionen, vilket leder till ökade kostnader för företaget. Problem med störningar inom industrin kan också orsaka felaktig produkt som kan blir farlig för användaren. På grund av alla problem som kan uppstå på grund av dålig elkvalitet har en standard införts. I SFS-EN 50160 framgår övre och undre gränser för spänningens karakteristik som måste följas.

Problemet med spänningspendlingar och övertoner är att de orsakar tekniska och funktionella problem vid mätning och underhållning av nätet. I praktiken hamnar alla dessa problem på distributörens axlar, och märks nödvändigtvis inte hos konsumenten. Detta till följd av att lagen säger att distributören är ansvarig för kvaliteten på spänningen som distribueras fram till kunden. Ur distributörens synvinkel betyder det här att nätets planering och val av komponenter har en stor betydelse vid filtreringen av övertoner. Filtreringen av övertoner i elnätet är utmanande, på grund av att en fungerande och ekonomiskt lönsamma filtreringslösningar kan vara svåra att hitta. /2/ /6/

2.1 Framtiden

Framtidens distributionsnät kommer att vara bättre och överföringspålitligare. Det kommer att omfatta en förbättrad pålitlighet statistikmässigt och en bättre elkvalitet i form av mindre störningskällor, förbättringarna skall anpassas till en kostnadseffektiv model. Modeller för en effektivare överföring i låg- och mellanspänningsnätet har tagits fram i VTT:s undersökningsrapport (Alue- ja jakeluverkkojen teknologiavisio 2030). Miljöfrågor kommer också att vara mera beaktade vid tillbyggnad och planeringen av nya delar av distributionsnätet. I framtiden kommer också ökningen av förnybara energikällor att öka, vilket leder till att energikällorna blir fler och utspridda på ett större område, vilket ställer stora krav på flexibiliteten i distributionsnätet. /15/

2.2 Kostnader

Energimarknadsverkets uppgift är att övervaka och utveckla modeller för prissättning av elnätets funktion i den riktningen, så att man under kommande övervakningsperioder kan ta med dessa aspekter i en tänkbar kostnadskalkyl. En kostnadsmodell för avbrott i distributionen till kunden kom 2005, vid avbrott blir elbolaget ersättningsskyldig till kunden beroende på avbrottets tid och antal. Det innebär att elbolagen har ett större ansvar då det kommer till elkvaliteten som förmedlas till kunden. Energimarknadsverket samlar

kontinuerligt information och data, för att i framtiden ha möjlighet att ta med andra elkvalitetsaspekter i sina beräkningar och för att hitta en modell för kostnader av skador som orsakas av dålig elkvalitet. Energimarknadsverket följer också kontinuerligt elkvalitetens karaktär och utveckling för enskilda elbolag. Om det visar sig att elkvaliteten försämrats avsevärt vid ett nätavsnitt kan Energimarknadsverket kräva en utredning av elbolaget ifråga. Energimarknadsverket har också rätt att ta till åtgärder, grundade på elmarknadslagen. /8/ /9/

3 Reaktiv effekt

Mycket av den elutrustning som är kopplad till distributionsnätet behöver reaktiv effekt för att fungera, sådan utrustning är t.ex. elmotorer och transformatorer. Distributionsnätet är alltid i balans när det kommer till aktiv- och reaktiv effekt. Om det i distributionsnätet sker pendlingar i den aktiva effekten (på grund av stora förändringar i belastningen), sker kompenseringen till en början i de roterande motorens rörelseenergi.

Förändringarna i rörelseenergin innebär att det sker en pendling i distributionsnätets frekvens (50 Hz). Grundprincipen inom eldistributionen är att aktiva effektens grundfrekvens hålls stabil på 50 Hz i hela nätet. Aktiva effektens och frekvensens styrning och kontroll ligger oftast nära varandra. Reaktiva effektens förändringar framkommer främst som spännings pendlingar. Den egentliga skillnaden mellan aktiv- och reaktiv effektens styrning beror på kraftledningarnas impedans. Orsaken är att reaktansen i kraftledningarna är betydligt större än resistansen, därför uppstår det stora förluster vid överföring av reaktiveffekt. Därför produceras reaktiveffekt så nära förbrukningen som möjligt. Reaktiveffekt produceras med till exempel olika kondensatorer och kondensatorbatteri. /4/

3.1 Kompensering

Vid planeringen av kompensering måste följande saker beaktas vid val av utrustningen:

- Fastighetens olinjära laster, utrustning som orsakar strömövertoner.
- Spänningsövertoner i elnätet.
- Kompenseringsutrustning som redan finns i fastigheten.

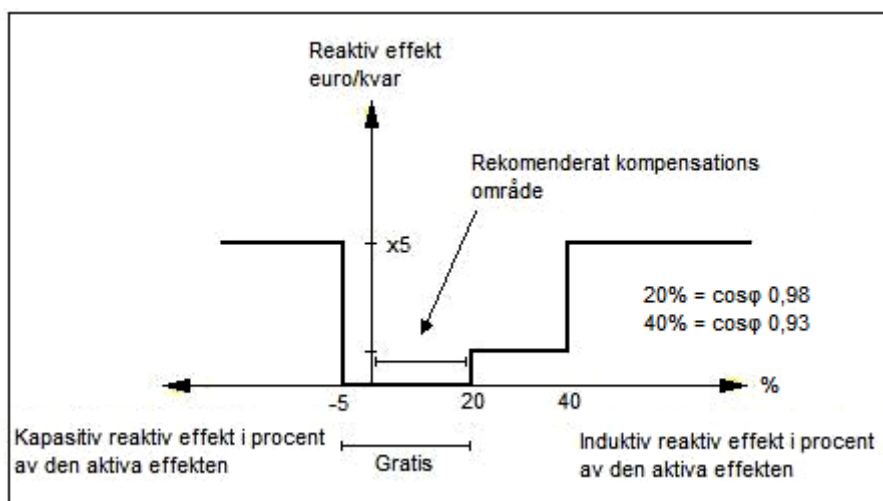
För att få en funktionerande och säker kompensering för reaktiva effekten är det viktigt att man känner till vilka övertonsnivåer som finns i nätet ifråga, vid fel val av komponenter så kan övertonerna orsaka resonans mellan kompenseringsutrustning och nätet med märkbara förändringar. När man planerar att ansluta kompenseringsutrustning till det allmänna distributionsnätet är det viktigt att det finns ett samarbete mellan kunden och

eldistributören. Kunden meddelar planerna för hur kompenserings utrustning i det egna nätet kommer att användas och eldistributören godkänner kundens utrustning samt meddelar sina krav på elkvalitet. Båda parterna har fördelar av ett samarbete. Kunden undviker att investera i fel kompenseringsutrustning och eldistributören har kontroll över elkvaliteten. /14/

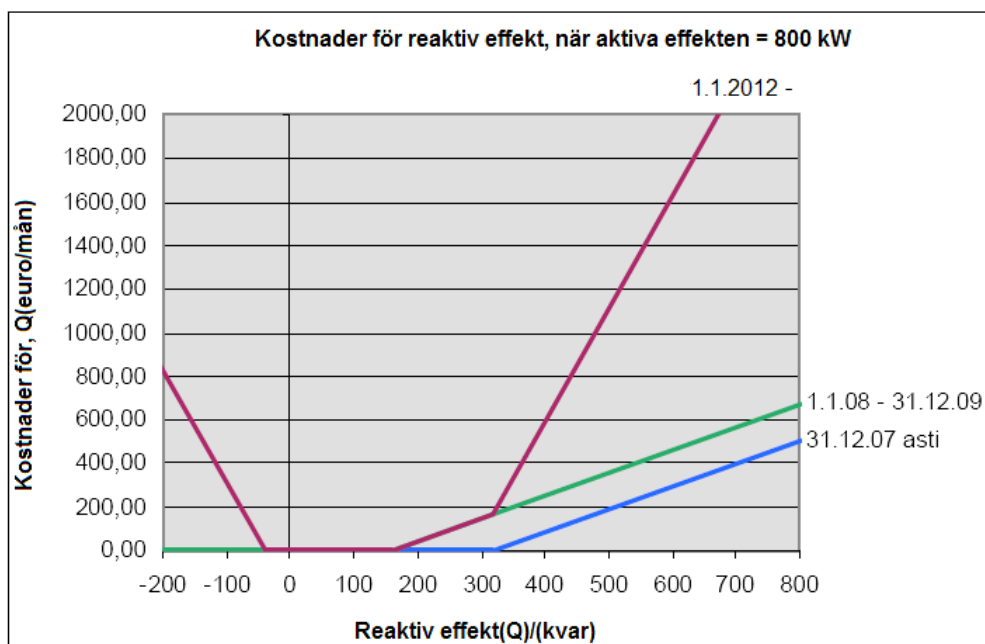
3.2 Kostnader

Kostnader för reaktiv effekt kan ses som böter av elbolaget, med hjälp av dessa regler försöker elbolagen styra kunderna att hållas inom det optimala funktionsområdet för inkopplingspunkten. Stamnätsföretaget Fingrid Oyj:s målsättning med kostnaderna är att få ner reaktiva effekten som dras från stamnätet och styra kompenseringsansvaret ner på distributionsföretagen och lågspänningsnätscustomer. Vid Vasa elektriska som har hand om elöverföringen till Vacon, tar man betalt för reaktiv effekt vid månadens toppvärde under en timme på det som överstiger 20 % av månadens motsvarande aktiva effekts toppvärde (gröna kurvan i figur 2).

I en jämförelse med Tammerfors elverks prissättning, där man från 1.1.2012 övergår till en modell där man tar normalt pris (€/kvar) för reaktiv effekt, mellan 20 – 40 % av den aktiva effekten. Reaktiva effektens pris på det som överstiger 40 % är femdubbelt pris (5x€/kvar). För en anläggning med samma förbrukning som Vacon skulle räkning för reaktiv effekt stiga med 150 % från nuvarande. Figur 2 visar reaktiv effektkostnaderna för en anläggning med en aktiv effekt på 800 kW, där den rödakurvan visar den kostnadsmodell som används på Tammerfors elverk och den grönakurvan modellen som ännu används i Vasa, där man betalar €/kvar för allt som överstiger 20% av den aktiv effekten. /14/ /18/



Figur 1. Kostnadsmodellen för reaktiv effekt som används på Tammerfors elverk. /14/



Figur 2. Kostnadsexempel för en anläggning med aktiva effekten 800 kW. /14/

3.3 Framtiden

Juha Rintamäki verkställande direktör på Vasa Elnät säger vid en intervju (14.02.2011) att inga direkta behov på ändring av kostnadsmodellen förekommer på Vasa Elnät för tillfället. Kundens egna kompenseringlösningar har enligt Juha Rintamäki fungerat bra hittills, men påpekar att om situationen ändras kan det bli aktuellt att styra tariffen så att en möjlig kompensation av reaktiv effekt sker där det förbrukas.

Ari Salo, generalplanerare på Vasa Elnät, säger vid en intervju (14.02.2011) att en undersökning inom eldistributionsbranschen (Energiateollisuus ry) kommer att inledas inom kort. Undersökningens målsättningar är att studera den allmänna tariffupbyggnaden och i samband med den kommer troligen också reaktiva effekten att undersökas. Om man genom undersökningen ser ett behov av att ändra kostnaderna för den kapacitiva och den induktiva reaktiva effekten, så kan modellen som tas i bruk 1.1.2012 i Tammerfors blir ett mera allmänt alternativ i framtiden.

Vasa Elnät har nyligen börjat utveckla en energistrategi för elförbrukningen och distributionen som skulle gälla fram till 2030. Vasa Elnäts framtidsvision kommer att omfatta en analys av situationen för tillfället, förutse hur belastningen av nätet utvecklas i sin helhet samt belastningsutvecklingen regionalt, användningen av tekniken i nätet och att definiera investeringsbehovet i olika områden samt för olika nätkomponenter. Ari Salo säger (14.02.2011) också att Vasa Elnäts egen strategi kommer att innehålla motsvarande allmänna visioner som i VTT:s teknologivision (Alue- ja jakeluverkkojen teknologivisio 2030), men att den inte fungerar som botten i deras egen framtidsvision.

4 Olinjära laster

Distributionsnätets elkvalitet har försämrats under de senaste åren på grund av den ökade användningen av olinjära belastningar. En olinjär last är en sådan last vars lastström inte är sinusformad, även om matningsspänningen är sinusformad. Exempel på olinjära laster är datorer, tv-apparater, lysrörsarmaturer, frekvensomriktare.

Problem med dålig elkvalitet i form av övertoner växer med den ökade användningen av dioder i elektronisk utrustning. Denna typ av utrustning förbrukar en kort strömpuls endast vid toppvärdena i sinuskurvan. Resultatet av detta blir att högfrekventa övertoner uppstår på grundfrekvensen 50 Hz. Störningsnivån har ett direkt samband med frekvensen och amplituden hos strömövertonen. Bidraget av alla strömmens övertonsfrekvenser till grundfrekvensen kallas för total övertonshalt eller THD (Total Harmonisk Distorsion). THD värdet mäts i procent av grundtonen, i SFS-EN 50160 tillåts en total THD-mängd på 8 % av spänningen, standarden säger inget om strömövertonerna. Matematiskt är THD %-kvoten av summan av övertonernas RMS-värde och RMS-värdet hos grundtonen, uttryckt i procent. /2/ /4/ /6/

För strömharmoniska övertoner THDi är ekvationen. /13/

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Ekvationen nere är av samma princip som den övre men lättare att använd om man vet Irms. /12/

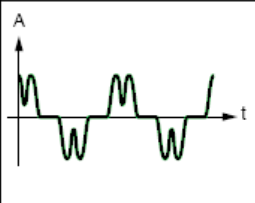
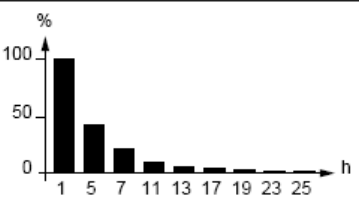
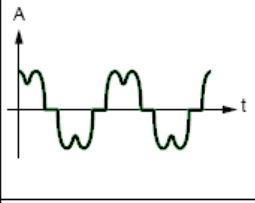
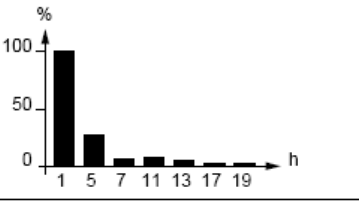
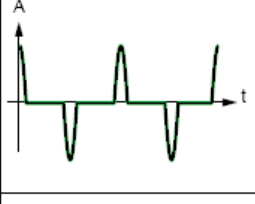
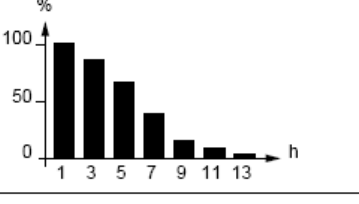
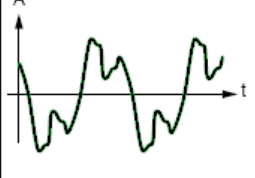
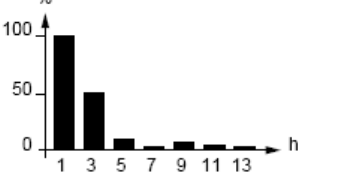
$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

För spänningsharmoniska övertonerna THDu är ekvationen. /13/

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}$$

Där det finns icke-linjär belastning finns det också övertoner i elnätet. I fabriksmiljöer är elektriska effektomvandlare såsom frekvensomriktare en av den största källan till uppkomsten av övertoner. Det är inte ovanligt att ha THD-nivåer på upp emot 45 % på strömmen i vissa industrimiljöer. Övertoner kan skapa en mängd problem. Några exempel är överbelastning i kablar, transformatorer och motorer. I industriella miljöer kan det finnas en stor mängd trefas icke-linjära belastningar. De mest förekommande övertonsfrekvenserna är de som är udda multipler (tre, fem och sju) av grundfrekvensen. Den tredje övertonen (150 Hz) är den överton som kan bidra till mest störningar. /2/

Tabell. 3. Exempel på tänkbara källor till övertoner i ett industrinät.

Icke linjärlast	Strömmens kurvform	Spectrum	THDI
Frekvensomvandlare			44%
Laddare			28%
Datorer			115%
Fluorescent belysning			53%

/13/

4.1 Övertoner

En sinusformad spänning eller strömkurva oscillerar med en frekvens på 50 Hz. Övertonerna är udda eller jämna multiplar av grundfrekvensen, 3:e övertonen för en 50 Hz anläggning är 150 Hz.

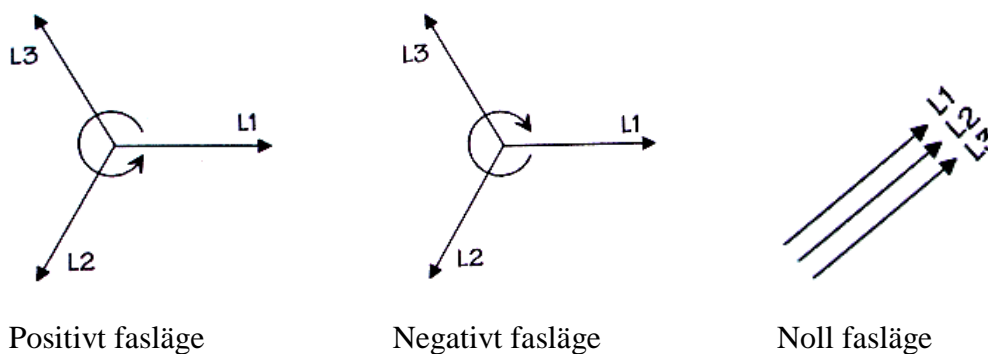
När man undersöker övertonernas inverkan på en elanläggning måste man beakta i vilket fasläge övertonen är. Övertonernas faslägen kan vara endera positiva, negativ eller noll, så länge övertonerna är symmetriska för den negativa och positiva periodhalvan så är de jämna övertonerna försumbara. /2/

Tabell 4. Harmoniska övertonernas fasläge.

NUMMER	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FREKVENS	50	100	150	200	250	300	350	400	450
FASFÖLJD	+	-	0	+	-	0	+	-	0

/2/

Övertoner med ett positivt fasläge är medroterande. Det innebär att övertonsströmmen och dess magnetfält har samma riktning som grundtonens magnetfält i en induktionsmotor. Övertoner med negativt fasläge är mot roterande, vilket betyder att övertonströmmarnas magnetfält roterar i motsatt riktning till grundtonens magnetfält. Det orsakar en negativ inverkan på induktionsmotorn, med sämre vridmoment och större förluster. Övertoner med noll fasläge orsakar ingen rotationsriktning. De vanligaste övertonerna i en elanläggning är de första udda övertonerna såsom 3:e, 5:e och 7:e. Den 5:e och 7:e övertonen är vanliga inom industrin, de genereras främst av olinjära trefaslaster. Den 3:e övertonen genereras främst av olinjära enfaslaster. Jämna övertoner uppstår när strömmens positiva och negativa periodhalva inte är symmetrisk. Sådana laster reglerar effektuttaget med hjälp av dioder. /2/

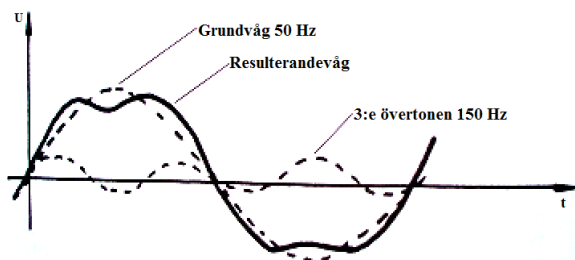


Figur. 5. Rotationsriktning för övertoner med +, - eller nollkaraktär. /2/

4.2 Symmetriska övertoner

Om ett 50 Hz trefassystem är symmetriskt så är spänningens fasförskjutning 120, det vill säga att momentanvärdet på en av faserna alltid motsvaras av summan av de två andra faserna. Det innebär att faserna tar ut varandra och summan av dessa blir noll. Samma gäller när fasströmmarna är symmetriska. Övertoner med positiv och negativ fasvinkel kommer i ett symmetriskt trefassystem att ta ut varandra i nollan.

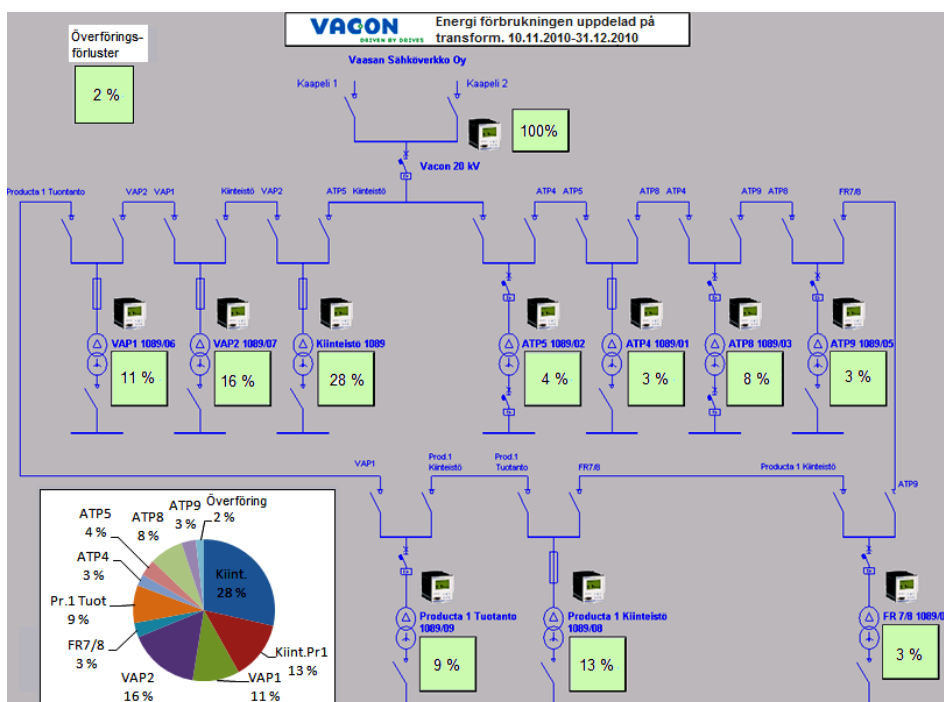
Den tredje multipelns strömövertoner med noll fasläge har ingen fasförskjutning i förhållande till varandra vilket betyder att de inte kommer att ta ut varandra. De 150 Hz strömmarna kommer därför att adderas i nollan och den totala strömmen i nollan kommer att vara summan av de tre 3:e fasströmmarna. I figur 6 kan man se att grundtonen (50 Hz) har en normal fasförskjutning på 120 grader, den 3:e övertonen (150 Hz) har däremot ingen fasförskjutning i förhållande till varandra. Samma gäller för alla 3,6,9,12,15... trippelövertonerna. /2/



Figur 6. Grundvågen 50 Hz och 3:e övertonen 150 Hz samt resulterandevågen av de båda tonerna. /4/

4.3 Övertonernas inverkan

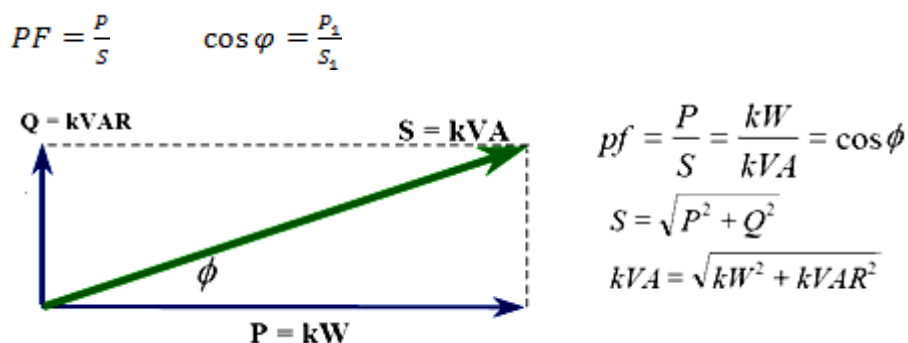
Övertonernas inverkan på utrustning är varierande. I roterande maskiner framkommer övertoner i form av dielektriska förluster, försämrade effektfaktor, vilket leder till störningar i motorns moment. I kondensatorer orsakar övertonerna överbelastning då impedansen i kondensatorn avtar med frekvensen. Övertoner orsakar också strömförträngning i koppar, vilket leder till ökade värmeförluster i ledare och transformatorer. Följderna blir föråldring av elutrustningen i förtid, sämre driftsäkerhet samt brandfara. Överhettning i nollledaren orsakas av tredje multipelns övertonsströmmar som inte tar ut varandra utan adderas i nollledaren. Strömövertoner är sällan ett problem så länge kablar och transformatorn är rätt dimensionerad för förlusterna som skapas av strömövertonerna. I figur 7 kan vi se en uträkning av överföringsförluster vid Vacon, förlusterna ligger på ca 2 %. Ett större problem är spänningsövertoner som alstras p.g.a. strömövertoner. /2/ /6/



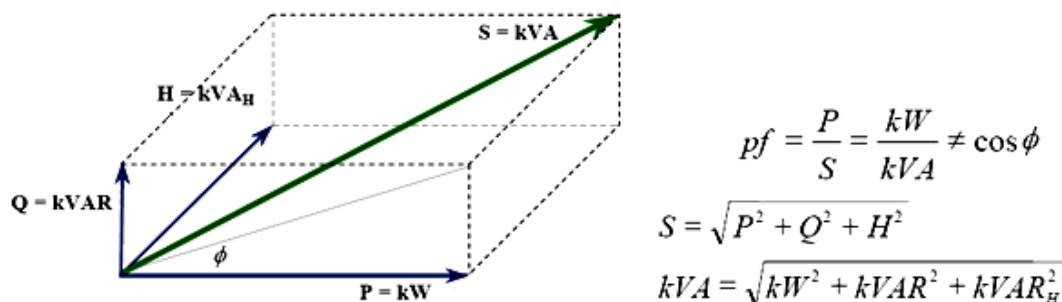
Figur 7. Uträkning av överföringsförluster vid Vacon.

4.3.1 Effektfaktorn

Effektfaktorn (Power Factor) PF är förhållandet mellan den aktiva effekten P och skenbara effekten S. Det sker ofta en förvirring mellan effektfaktor och $\cos \phi$, $\cos \phi$ räknas endas vid den fundamentala frekvensen (50 Hz). I effektfaktor PF-ekvationen är harmoniska övertonerna beaktade. En indikation på att det finns harmoniska övertoner är när den uppmätta effektfaktorns värde är lägre än det uppmätta $\cos \phi$. /13/

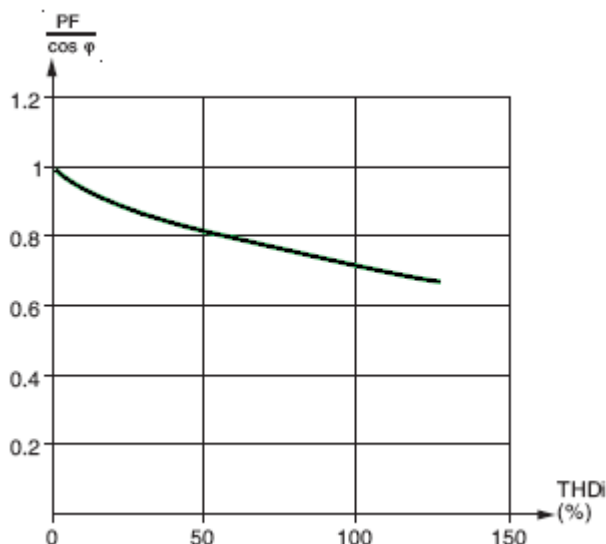


Figur 8. Effekttriangeln för linjärlast /12/



Figur 9. Effekterna för olinjärlast. /12/

Med linjärlast ser effekttriangeln ut som i figur 8 och olinjärlast blir effekttriangeln som i figur 9. Harmoniska övertonerna H i figur 9, är de effekterna som uppstår av övertoner som bildas av de olinjära lasterna. Med andra ord så påverkar övertonerna endast den skenbara effekten, den aktiva och reaktiva effekten påverkas inte direkt av övertonerna. I figur 10 kan vi se hur PF (effektfaktor) påverkas av strömövertonerna (THDi).



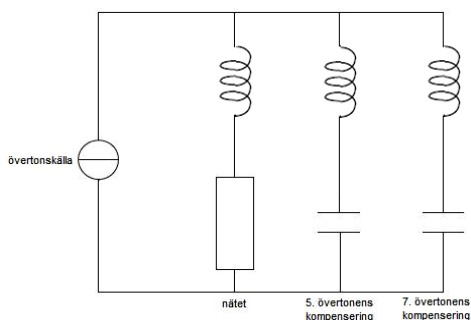
Figur 10. Förhållande mellan PF (effektfaktorn) och $\cos \varphi$ som en funktion av THDi, när THDu är = 0. /13/

5 Kompensering

Att hitta och reducera övertoner i ett industrinät kan vara svårt eftersom de lätt sprider sig i nätet. För att reducera övertoner som måste man först ta reda på varifrån de kommer, samt vilken last som orsakar dem. Detta innebär att man måste mäta i flera punkter i nätet för att orientera sig till problemet. Den vanligaste åtgärden för att reducera övertoner är att filtrera bort dem med övertonsfilter. Genom att installera övertonsfilter uppnår man flera fördelar, förutom att övertonerna minskar så kompenseras även den reaktiva effekten. Det finns i princip två typer av filter: passiva filter och aktiva filter. En tredje typ av filter kan vara en kombination av aktiva- och passivafilter, ett så kallat hybridfilter. /1/ /6/

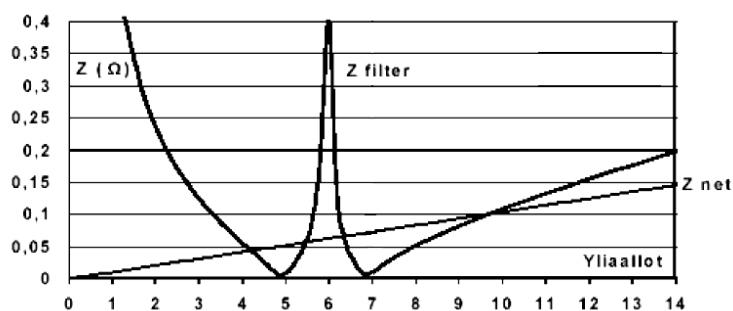
5.1 Passiva filter

Ett passivt filter är uppbyggt av passiva komponenter såsom kondensatorer, reaktorer och ibland motstånd, tillsammans bildar de en serieresonans krets. De finns som bandpassfilter som ger en mycket bra filtrering vid en specifik frekvens och lågpasfilter som dessutom har ett dämpmotstånd som effektivt dämpar höga frekvenser och ger större bandbredd. Varje övertons tal kräver ett eget passivfilter som är justerat för den specifika frekvensen. Figur 11 visar ett exempel av kompensering av 5:e och 7:e. /1/ /2/



Figur 11. Passivfiltreringskrets för 5:e och 7:e övertonen. /1/

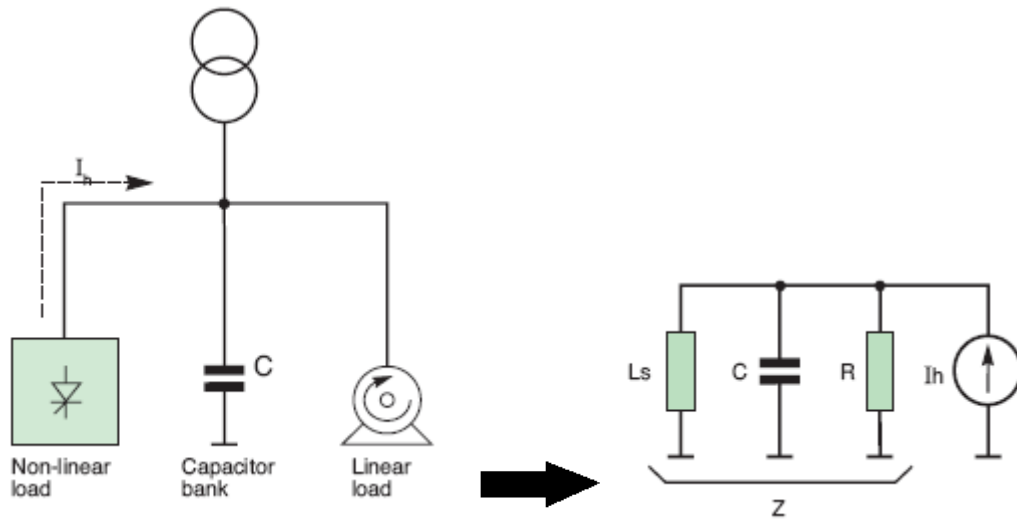
Övertensfiltrets impedans är kapacitiv vid grundfrekvensen och producerar därmed reaktiv effekt till nätet. Vid kompensering av övertoner och reaktiv effekt i nätet kan det uppstå problem med passiva filter. Filtret kan hamna i resonans med nätet som det skyddar, vilket kan leda till att övertonerna som skulle filtreras bort i värsta fall flerdubblas. Figur 12 nedan visar impedanskurvan för filtret i figur 11. /1/



Figur 12. Impedanskurva för 5:e och 7:e passiva övertonsfiltret. /1/

5.2 Resonans

Användningen av kapacitiv och induktiv utrustning i distributionsnätet resulterar i en parallell- eller serieresonans orsakad av endera mycket högt eller ett väldigt lågt värde på impedansen. Variationen i resonansen modifierar strömmen och spänningen i distributionsnätet. Det mest vanliga är den parallella resonansen. Ett exempel på en krets som kan tänkas orsaka parallellresonans, figur 13, består av en transformator som matar en icke-linjär förbrukning, kondensatorbatteri för korrektion av effektfaktorn samt en linjärlast. /1/ /2/ /13/



Figur 13. Belastningsschema för en industrianläggning. /13/

$$Z = \frac{jL_s\omega}{1-L_sC\omega^2}$$

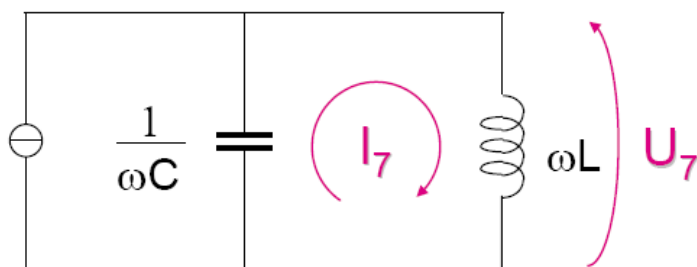
L_s = Induktansen i nätet (nätet och transformator)

C = Kapacitansen i kondensatorbatteriet

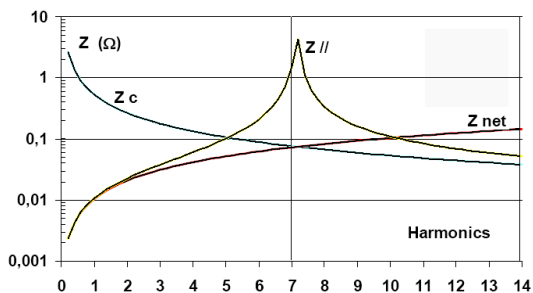
R = Resistansen i linjära lasten

I_h = Harmoniska strömmen I_{thd} (övertoner)

Resonans uppstår när $1-L_sC\omega^2$ kretsen strävar mot noll, det vill säga induktansen i L_s och kapacitansen i C tar ut varandra. Den frekvens som uppstår av detta kallas resonansfrekvens i kretsen. Vid den frekvensen är impedansen vid sitt maximum och orsakar höga nivåer av spänningsdistorsion THDu. Spänningsövertonerna blir insugna i L_s+C kretsen, av att det flödande harmoniska strömövertonerna är större än den som lasterna drar. Det leder till att distributionsnätet och kondensatorbatteriet som kontrollerar effekt faktorn blir utsatta för stora harmoniska strömövertoner och kan överbelastas. Figureorna 14 och 15 visar hur den 7:e övertonen orsakat resonans mellan kondensatorn och nätet. /13/

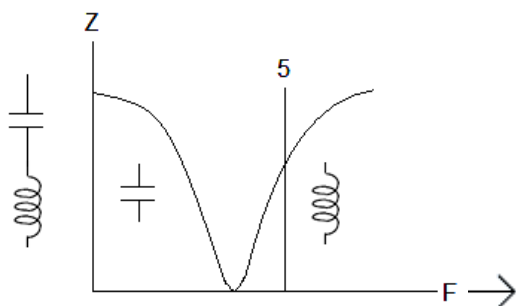


Figur 14. Resonans mellan kompenseringskondensatorn och nätet. /1/



Figur 15. Resonanskurva för kretsen i bild 14. /1/

Problemet kan åtgärdas genom att i stället för att använda endast vanliga kompenseringkondensatorer, förse dessa med filterdrosslar eller förse filtret med olika dämpmotstånd. Man kan också välja en snedare avstämmt filter för att styra placeringen av resonanspunkten. /2/



Figur 16. Impedanskurva av ett snedavstämmt filter för 5:e övertonen.

5.3 Aktiva filter

Principen med aktiva filter är att de kan generera samma övertoner med samma frekvens som förekommer i nätet. Filtrets aktiva kraftkomponenter motsvarar mellanled och omriktar delen för en frekvensomriktare. Som switchkomponenter är IGBT-krafttransistor (Insulated-gate bipolar transistor) vanligast idag, IGBT är en tre-terminalseffekt semiconductor känd för sin höga verkningsgrad och snabba omkoppling.

Filtret består av tre strömtransformatorer som mäter övertonerna i varje fas. Det aktiva filtrets digitala kontrollenhet styr IGBT-transistorerna som genererar övertoner och injicerar dem i mot fas. Aktiva filter kan på det viset minimera övertonerna i alla tre faserna, filtret eliminerar också tredje multipelns överton. De aktiva filtertyperna är vanligen programmerbara, så att man kan filtrera en vis överton till önskvärd nivå. Aktiva filter används för laster med höga filteringskrav och krav på hög effektfaktor. /2/ /6/

5.3.1 Activ Front End

Vacons AFE (aktiv front end) är en tvåvägs (regenerativ) effektkonverter för styrning av motorer. Vid Vacon kan det bli aktuellt att kompensera den reaktiva effekten samt de harmoniska övertonerna med en form av AFE. Modellen som produceras vid Vacon är inte gjord för detta ändamål. Om planerna på en kompensering förverkligas så kan enligt Vacons produktutvecklingschef Stefan Strandberg, AFE:s digital enhet omprogrammeras för ändamålet som aktivt filter.

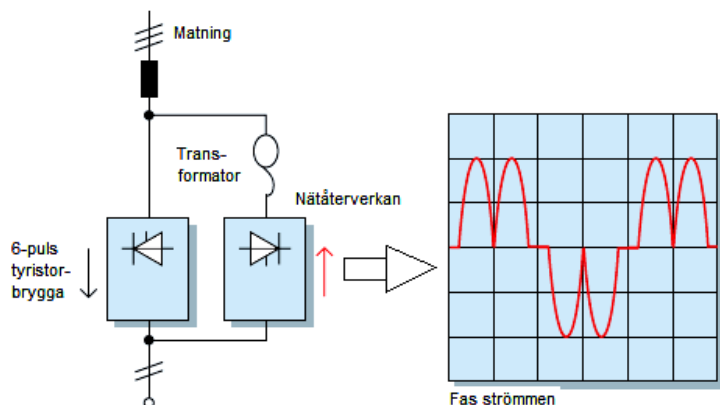
AFE-konvertern fungerar med en IGBT-transistorbrygga i två nivåer, konverter orsakar minimal harmoniska störningar på effekten som matas tillbaka till nätet. Ett externt LCL-filter används vid inmatningen för att stabilisera och modifiera strömmen som dras från nätet. Fördelar med AFE, förutom låga harmoniska störningar är, effektfaktorkontroll, kapacitet att genererar reaktiv effekt och att kompensera harmoniska övertoner. Dessa har alla tidigare kompenserats med kondensatorer och synkroniserade generatorer. Den regenerativa teknologin är väl anpassad för nya miljövänliga energi källor som solpaneler, vindkraftverk med varierande rotationshastighet, samt bränsleceller. Fördelar vid användningen av AFE är följande. /7/ /16/

- **Matar energi tillbaka till nätet**

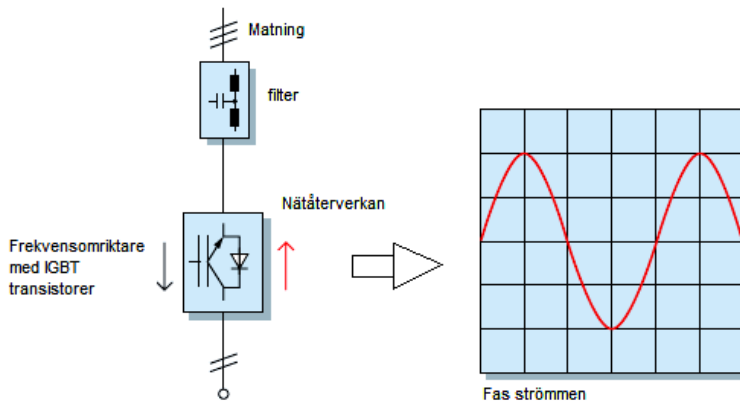
Med denna funktion behöver man inte ödsla onödig energi på användning av bromsresistorer vid inbromsningen av en massa. I praktiken kommer denna funktion till användning ibland annat hissar och kranar där inbromsningen av en massa är viktig. /7/

- **Övertonsfri konverter**

Det största problemet med den traditionella 6-puls likriktaren är att den orsakar stora harmoniska strömövertoner. Med en rätt dimensionerad chopper (likriktare) kan man få ner till den totala ström distorsionen 30 %, med fel dimensionerad likriktare kan värden vara upptill 70 %. Med AFE kan man få ner strömövertonerna till endast några få procentenheter. /7/



Figur 17. 6-pulslikriktares funktionsprincip. /7/



Figur 18. AFE-funktion och kurvform. /7/

5.4 Val av filtertyp

Passiva komponenter kan användas endast i ett nät med stabila värden. I ett nät där det förekommer variationer i övertoner och reaktiv effekten kompenseras nätet med aktivt filter. Problemet med aktivt filter är enligt Reino Laukkanen på Vacon deras kapacitet att kompensera i ett nät som innehåller höga halter av övertoner och stora lastströmmar är begränsade. Det innebär att många större industrier inte kan kompenseras med en aktiv filterlösning. Vid val av filter för övertoner och kompensering av reaktiv effekt är det viktigt att veta vilka krav som ställs på filterutrustningen, filtret skall vara driftsäkert, flexibelt samt uppfylla de krav som elleverantören ställer. Uppgifter om filtreringskrav får man genom mätningar, uppgifter om behovet på reaktiv effekt fås även från elräkningen av elbolaget. Det är också viktigt att filtret uppfyller behov som uppstår i framtiden. /6/ /14/

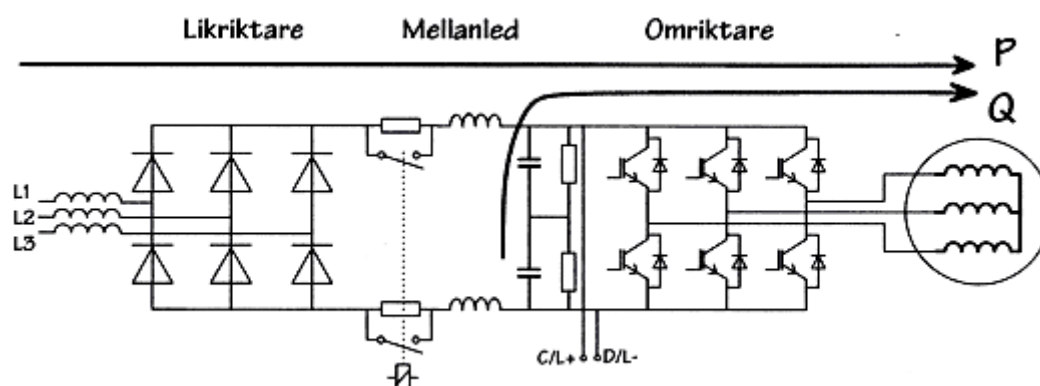
6 Frekvensomriktaren

Inom industrin används frekvensomriktaren vid start och styrning av asynkronmaskiner, vid start för att minska startströmmarna och värmeutveckling i motorn och på det viset förlänga motorns livslängd. Vid styrning av asynkronmotorn reglerar frekvensomriktaren varvtal och/eller moment genom att variera dess frekvens och spänning. Det betyder att motorn alltid jobbar med det optimala momentet oberoende av varvtal. Ytterligare fördelar med frekvensomriktaren är att man endast belastar nätet med aktiv effekt. Den reaktiva effekten pendlar mellan maskinen och frekvensomriktaren. Nackdelen med frekvensomriktaren är att den orsakar stora övertonsströmmar i det matande nätet, övertoner i sig är inget stort problem så länge anläggningen är rätt dimensionerad. /2/

6.1 Uppbyggnad och funktion

En frekvensomvandlare består av tre delar: likriktare, mellanled och omriktare. Likriktaren består av 6–24 pulsliriktare. Likriktaren följs av mellanledet vars uppgift är att filtrera den likriktade spänningen till en ren likspänning. Mellanledet består bland annat av resistorer vars uppgift är att reducera inkopplingsströmmen då kondensatorerna är urladdade. När ca 60 % av arbetsspänningen är nådd kortsluts de båda resistorerna med ett relä. Mellanledet består oftast av ett antal parallellkopplade kondensatorer som även är seriekopplade för att bättre hantera spänningen i mellanledet.

Över kondensatorbatteriet ligger en parallellkopplad resistorkedja vars uppgift är att fördela spänningen jämt över kondensatorerna. Resistorerna skall också se till att mellanledskondensatorerna laddas ur. Omriktarens uppgift är att förvandla likspänningen som kommer ur mellanledet till växelspänning med önskad frekvens. Väckelspänningen som kommer ur omriktaren är fyrkantspänning, för att få ett önskvärdt beteende på asynkronmotor krävs en sinusformad ström. Här utnyttjas det faktum att asynkronmotorns statorlindningar uppvisar en induktans, vilket skapar en ström som är något så nära sinusformad. /2/

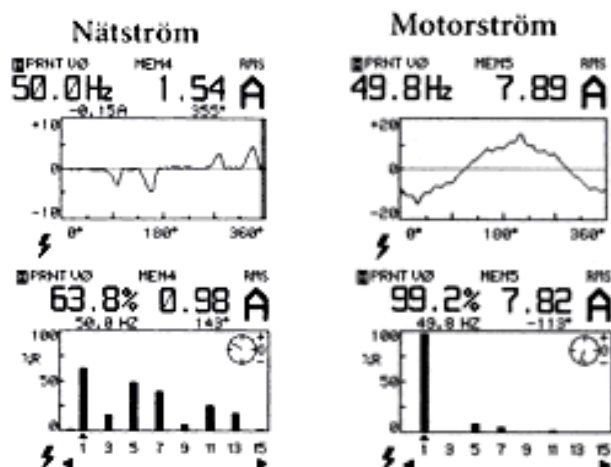


Figur 19. Frekvensomriktarens uppbyggnad. /2/

6.2 Nätåterverkan

Dagens frekvensomriktare skapar en sinusformad ström med crestfaktor på ca 1,5 i motorn, vilket betyder skillnaden mellan en vågforms toppvärde och dess medelvärde, värdet för en ren sinusvåg ligger på $\sqrt{2} = 1,414$. Däremot är crestfaktorn för den ström som frekvensomriktaren tar från nätet betydligt större och ligger runt 2,5. Orsaken är att frekvensomriktarens nätingång består av diodlikriktare som drar ström i korta pulser. Figur 20 nedan är en mätning på en frekvensomriktare (tillverkare okänd).

Om vi tittar närmare på mätningen så ser man trippelövertonen i nätströmmen. Detta beror på att likriktarbryggan inte är symmetrisk, man ser också att strömtopparna inte är lika stora, vilket resulterar i mera övertoner i nätströmmen. /2/



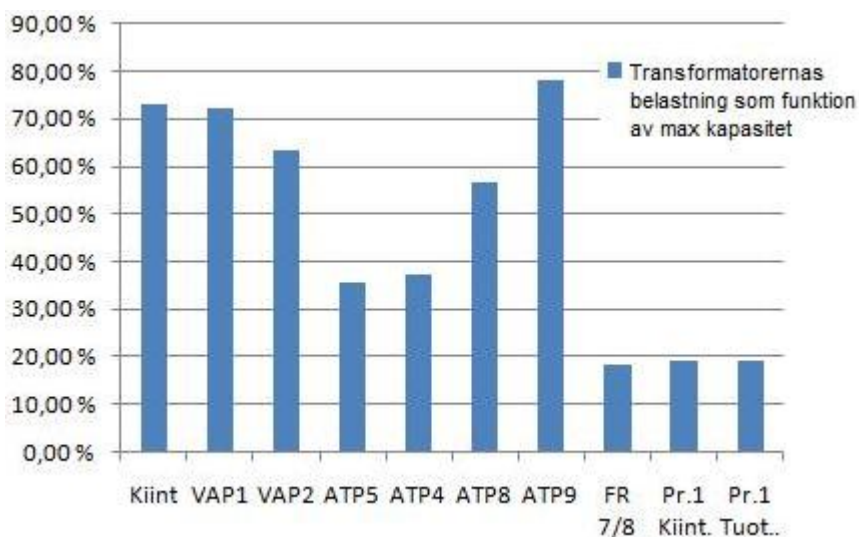
Figur 20. Nätström och motorström för en frekvensomriktare kopplad till en asynkronmotor. /2/

När man mäter strömmarna till en frekvensomvandlare kopplad till en asynkronmotor, som är obelastad, märker man att motorströmmen är större än nätströmmen. Det betyder att frekvensomvandlare lämnar en större effekt än vad den tar från nätet, man måste ändå veta vilka effekter man talar om. I det här fallet så är det frågan om den skenbara effekten, summan av den aktiva- och reaktiva effekten. En asynkronmotor behöver nämligen 25–45 % magnetiseringsström av strömmen vid märklast, magnetiseringsströmmen är en reaktiv ström, vilket asynkronmaskinen får från frekvensomvandlarens mellanledskondensatorer. Detta betyder att när asynkronmotorn går obelastad tar den endast dess förluster och den ström som frekvensomvandlare behöver från nätet. När man kopplar in många frekvensomvandlare i samma matningspunkt måste man dimensionera transformatorns belastningsgrad så att man lämnar utrymme för övertoner. /2/

7 Transformatorn

7.1 Övertonernas inverkan

Övertoner som förekommer i vårt elnät orsakar överloppsförluster och värmeutveckling i transformatorn. Dessa har en negativ inverkan på transformatorns livslängd. Övertoner i nätet orsakar ett osymmetriskt förhållande mellan ström- och spänningskretsen. Inom industrin är frekvensomvandlaren, underdimensionerade transformatorer och asynkronmotorer stora övertonskällor. En underdimensionerad transformator belastad med en frekvensomvandlare kan ses som en övertongenerator, som matar övertonsströmmar i vårt elnät. En lämplig belastningsnivå för en transformator i ett övertonshaltigt elnät är ca 85 %. Detta lämnar utrymme för övertoner och lasttoppar. Ur figur 21 kan vi se att det finns bra med belastningsutrymme vid Vacons enhet i Vasa, tabellen är ett medelvärde av lasttopparna för Sn varje månad under 2010. /2/ /3/



Figur 21. Belastningen av de enskilda transformatorerna vid Vacon.

Alla transformatorer har en impedans, orsakat av det elektriska motståndet i transformatorns lindningar, vilket orsakar att strömmen ger upphov till ett spänningsfall i nätet. Problem uppstår när lastströmmen på transformatorn inte är sinusformad, det betyder att spänningsfallet inte kommer att vara sinusformat. Det vill säga att strömövertoner ger spänningsövertoner. På grund av denna osymmetri kan det förekomma likströmskomponenter i transformatorns sekundärströmmar. Detta leder till ett ökat magnetiseringsflöde (mättad transformator), vilket i sin tur orsakar mera övertoner på primärsidan, Strömövertoner orsakar bl.a. virvelströmsförluster i lindningen och i transformatorns övriga delar. Spänningsövertonerna orsakar järnförluster i transformatorns kärna. /3/

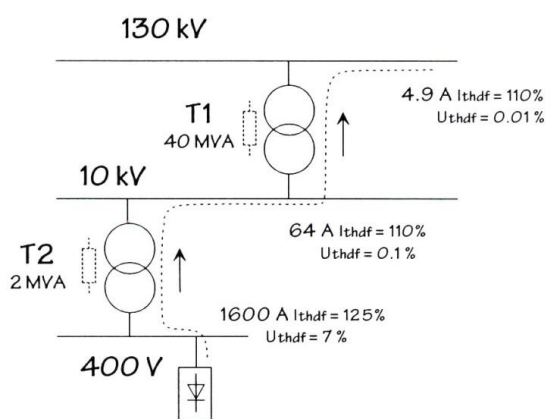
En frekvensomvandlare som fungerar bra i ett starkt nät kan ha negativa följder när den kopplas till ett svagt elnät. Det vill säga, ett starkt nät har en låg impedans och ett svagt nät har en hög impedans. En frekvensomvandlare kopplad till ett svagtnät orsakar högre nivåer av harmoniska övertoner än om den kopplas till ett starkt nät. Det svaga nätet kan också ha problem att mata frekvensomvandlaren med den effekt som den behöver för att fungera korrekt. Problem kan också uppstå när frekvensomvandlaren skall mata effekt till ett svagt nät. /2/ /6/

7.2 Mätning av strömövertoner

Vid mätning av strömövertoner vid transformatorn finns det vissa saker som måste beaktas. En fallgrop när vi mäter på en transformator som matar 1-fasiga olinjära laster är att det kan förekomma varierande resultat mellan mätningarna mellan sekundär- och primärsidan. Orsaken till skillnaden kan vara om transformatorns primärsida är D-kopplad, då kommer alla tredje multipelns övertoner att fastna på primärsida. När belastningen innehåller tredje multipelns övertoner vid en D/Y-kopplad transformator, så måste vi mäta på transformatorns sekundärsida. /2/

7.3 Frekvensomriktaren inverkan

Figur 22 visar ett exempel på en transformator enhet belastad med frekvensomriktare. Om man ansluter ett antal frekvensomriktare under T2 som sammanlagt drar 1600 ampere (av 2800 A tillgängliga) med en strömdistorsion av ca 125 % ger det upphov till en spänningsdistorsion av ca 7 % på T2:s sekundärsida. Detta på grund av att den olinjära strömmen ger ett spänningsfall över T2:s kortslutningsimpedans. Strömomsättningen i transformatorn är 25 ggr, vilket betyder att strömmen blir endast 64 A på T2 primärsida. Då T2 är D/Y-kopplad så minskar strömdistorsion till ca 110 %. När denna ström genomflyter T1 kommer det att uppstå ett spänningsfall, men på grund av omsättningen i T2 kommer kortslutningsimpedansen vara betydligt mindre T1. Detta betyder att spänningsdistorsionen på T1 sekundärsida kommer att vara mycket lägre än på T2 sekundärsida, spänningsdistorsionen på T1 primärsida blir knappt mätbar. /2/



Figur 22. Övertoner i en anläggning som belastas med frekvensomriktare. /2/

8 Standarden SFS-EN 50160

Standarder är till för att förenkla vardagen för det industrialiserade samhället. Standarder ger oss också en möjlighet att jobba över landsgränserna, så länge samma standarder gäller för alla. För att fördelarna med standarder skall framgå så måste man också förstå inom vilka ramar som standarderna gäller. Ett exempel på problem om detta inte iaktas kan vara att, apparatstandarderna kan stå i konflikt med nätstandarderna på så vis att nätstandarderna tillåter en högre störningsnivå än vad apparatstandarderna gör. Här kan det vara lämpligt att ta upp ett citat ur SFS-EN 50160.

”Spänningens egenskaper i denna standard är inte direkt avsedd att definiera fordringar i produktstandarder men bör beaktas. Det bör särskilt noteras att en utrustnings funktion kan påverkas om utrustningen utsätts för distributionsförhållanden som inte beaktas i produktstandarderna.”

Om man studerar inkopplingsfallet utifrån ett elektriskt perspektiv kan vi oftast förhållandevis enkelt beskriva vad som sker vid en eventuell inkoppling av aktuell

apparatur. Efter inkopplingen kan man sedan ta hjälp av standarderna för att kontrollera om konsekvenserna är acceptabla. Det kommer att finnas fall där inkopplingen inte orsakar någon störningar för annan apparatur i nätet, fast störningarna är större än standarderna tillåter. Observera att standarderna inte är absolut tvingande, om detta säger SFS-EN 50160.

”Vad som anges i denna standard kan upphävas helt eller delvis genom särskilda villkor i kontrakt mellan kunder och elleverantören.”

Här gäller det förstås att ha en överblick över distributionsnätet och dess funktion innan man gör speciallösningar, det kan nämligen orsaka svårigheter vid en eventuell tillbyggnad av nätavsnittet i framtiden.

Matningsspänning

Matningsspänningen U_c är det samma som spänningens effektivvärde för ett mätögonblick mätt i ett tidsintervall. Då man pratar om matningsspänning i vanliga fall, pratar man om den nominella systemspänningen U_n (230V)

Mätkrav enligt SFS-EN 61000-4-30 klass A instrument

Mätvärdet skall vara RMS-värdet för medelvärdet av en mätintervall på tio perioder. Mätintervallet skall vara kontinuerligt och inte överlappa varandra.

Observera att för utvärdera av mätsignalen kan tre olika medelvärdesbildningsintervall användas

1. Cykliskt intervall

150/180 cykler bestående av medelvärden från ovanstående tio perioders intervall.

2. Tio minuters intervall

Mätvärdet för detta tidsintervall skall också sammanställas av ovanstående tio perioders intervall.

3. Två timmars intervall

Mätvärden för detta tidsintervall skall sammanställas av tolv stycken tio minuters intervall.

Mätnoggrannhet

$\Delta U = 0,1 \%$ av U_c

Variationer i matningsspänningen

Under en veckas tid skall 95 % av tio minuters intervallerna ligga mellan -10 % och + 6 % av det angivna matningsspänningen för låg- och mellanspänning. Varje tio minuters medelvärde får variera högst +10 % och -15 % av angivna matningsspänningen (195-253V). /2/ /5/ /8/

8.1 Spänningsövertoner

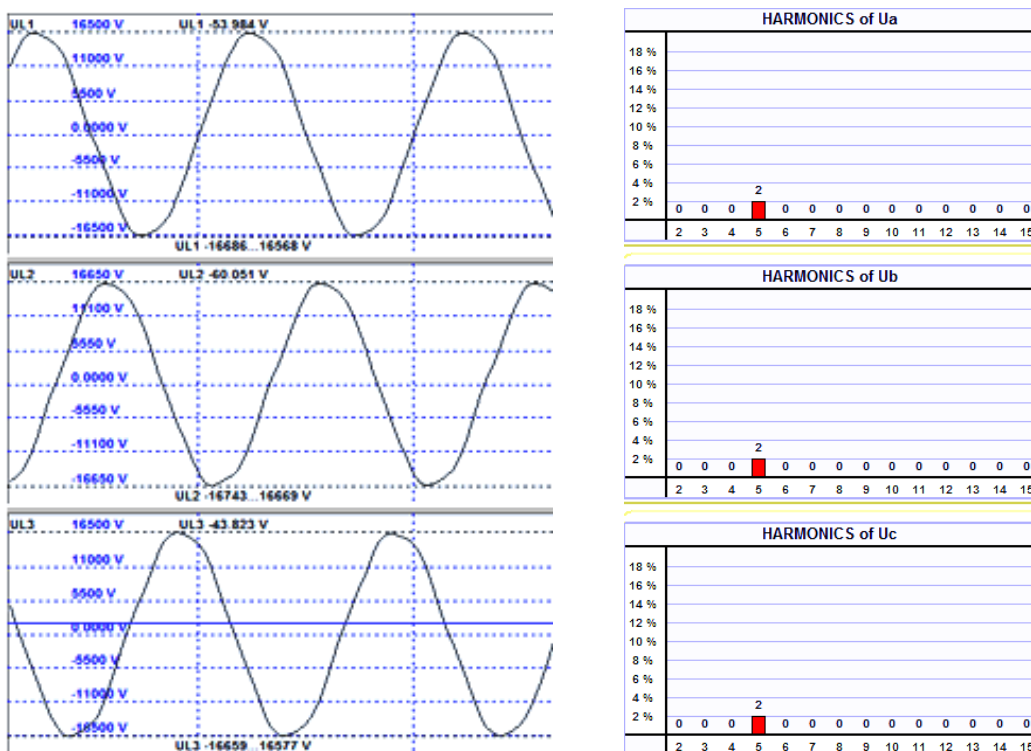
Enligt standarden SFS-EN 50 160 är en total spänningsdistorsion på 8 % av den nominella spänningen tillåten i låg- och mellanspänningsnätet.

Enligt SFS-EN 50160 får i normal förbrukningsomgivning under en veckas tid förekomma 95 % av den enskilda harmoniska spänningsövertoneffektivvärde under tio minuter medeltal vara mindre än värdena angivna i tabell 23. Distributionsspänningen totala harmoniska distorsion (THD), medräknat alla harmoniska övertoner upp till ordningstal 40, får maximalt vara upp till 8 %. Men i praktiken kan en spänningsdistorsion orsaka problem för vis apparatur redan vid 3 %. Figur 24 är en mätning på Vacons fasspänningar på 20 kV sidan, kurvan ser relativt ren ut men har en total övertons nivå på ca 2–3 % . /2/ /6/ /8/

Tabell 23. Tillåtna nivåer för spänningsövertonerna enligt SFS EN 50160.

Udda övertoner odelbara med tre		Udda övertoner delbara med tre		Jämna övertoner	
Ordnings- nummer h	Spännings- överton %	Ordnings- nummer h	Spännings- överton %	Ordnings- nummer h	Spännings- överton %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

/6/



Figur 24. Spänningsövertoner på Vacon.

8.2 Strömövertoner

Standarden för det allmänna distributionsnätet SFS-EN 50160 behandlar endast spänningsövertoner, för strömövertoner finns det endast rekommendationer. Rekommendationen är, att vid elkundens anslutningspunkt till distributionsnätet tillåts strömövertoner enligt tabell 25. Om dessa strömgränser överskrids, borde elkunden minska på strömövertoner eller komma överens med distributören om en större anslutning. Genom att hänvisa till referensströmmen får man en rättvis situation för alla parter. Med distributörens tillåtelse kan elkunden med hänvisa till spänningsstandardens överstiga tillåtna strömövertoner, om situationen så tillåter. I sådana fall måste elkunden vara beredd på att minska på sina strömövertoner, ifall andra elförbrukare behöver sin del av distributionsnätets övertonskapacitet.

Strömgränserna måste följas extra noggrant vid val av kondensatorer, kompenseringstrustning och när spänningsövertoner är högre än vanligt. Vid val av kompenseringstrustning är det viktigt att strömövertoner 5:e och 7:e hålls inom gränserna. Referensström är huvudsäkringens nominella ström vid inkopplingspunkten. /2/ /6/ /8/

Tabell 25. Rekommendationerna för strömövertoner i lågspänningsnätet vid anslutningspunkten.

Referensströmmar	Rekommendation	
≤ 25 A	Får användas apparatur enligt apparat standarden	
> 25 A - 200 A	Strömmens totala harmoniska distorsion får vara högst 10 % av referensströmmen	
> 200 A	Den totala distorsionen får högst vara 8 % av referensströmmen, men minst 20 A tillåts. För enskilda övertoner gäller	
	Ordnigstallet n	Tillåtet värde av referensströmmen
	< 11	7,0 %
	11 till 16	3,5 %
	17 till 22	2,5 %
	23 till 33	1,0 %
	>34	0,5 %

/6/

Tabell 26. Rekommendationerna för strömövertonerna i högspänningsnätets anslutningspunkt.

Referensström	Rekommendation	
Alla	Strömmens totala harmoniska distorsion får vara högst 8 % av referensströmmen. Enskilda övertoner gäller	
	Ordnigstallet n	Tillåten procent av referensströmmen
	< 11	7,0 %
	11 till 16	3,5 %
	17 till 22	2,5 %
	23 till 34	1,0 %
	>34	0,5 %

/6/

8.3 Andra elkvalitetsstandarder

- Frekvens

Distributionsnätets nominella frekvens skall vara 50 Hz. I normala användningsförhållanden skall grundfrekvensens medeltal mätt med 10 s perioder ligga mellan: /8/

- 50 Hz ±1 % 99,5 % av året

- 50 Hz +4 %/-6 % 100 % av tiden

- Snabba spänningsvariationer

Dessa orsakas främst i kundens interna elnät vid förändringar i lasten och i samband vid omkopplingar. Vid normala förhållanden överstigs sällan värdena för snabb spänningsvariation: $\pm 5\%$ U_n , men korta förändringar kan ligga upptill $\pm 10\%$ U_n , kan i vissa miljöer förekomma några gånger om dagen. Variation i spänningen kan orsaka blinkande lampor, kallas för flicker. Vid normala förhållanden, under vilken tid i veckan som helst skall störningsindex orsakad av spänningsvariation ligga på: /8/

- $Plt \leq 1.95\%$ av tiden

- Spänningsgropar

Det finns inga gränsvärden för spänningsgropar. Men standarden behandlar ett sätt att definiera spänningsgropar. I lågspänningsnätet orsakas spänningsgropar, när spänningen sjunker snabbt 1...90 % av nominella spänningen och återkommer efter en kort stund. Största delen av spänningsgroparna är under 1 s långa och deras storlek under 60 % sänkning av spänningen. /8/

- Korta spänningsavbrott

Med korta avbrott menar man övergående fel som orsakar högst tre minuters avbrott. Vid normala driftförhållanden förekommer korta avbrott årligen från några tio till många hundra. Ungefär 70 % av de korta avbrotten är under en sekund långa. /8/

- Långa spänningsavbrott

Med långa avbrott menar man bestående fel som orsakar över tre minuters avbrott. Vid normala driftförhållanden kan antalet långa avbrott variera från under 10 upptill 50 beroende på område. /8/

- Spännings transienter

Transienta överspänningars toppvärde överstiger sällan 6 kV, men kan ibland förekomma mycket större värden. Dess stigningstid varierar mellan millisekunder och mycket under mikrosekunder. Transienter orsakade av åskan har ofta större amplitud, men mindre energiinnehåll än de överspänningar orsakade av omkopplingar. /8/

- Distributionsspänningens osymmetri

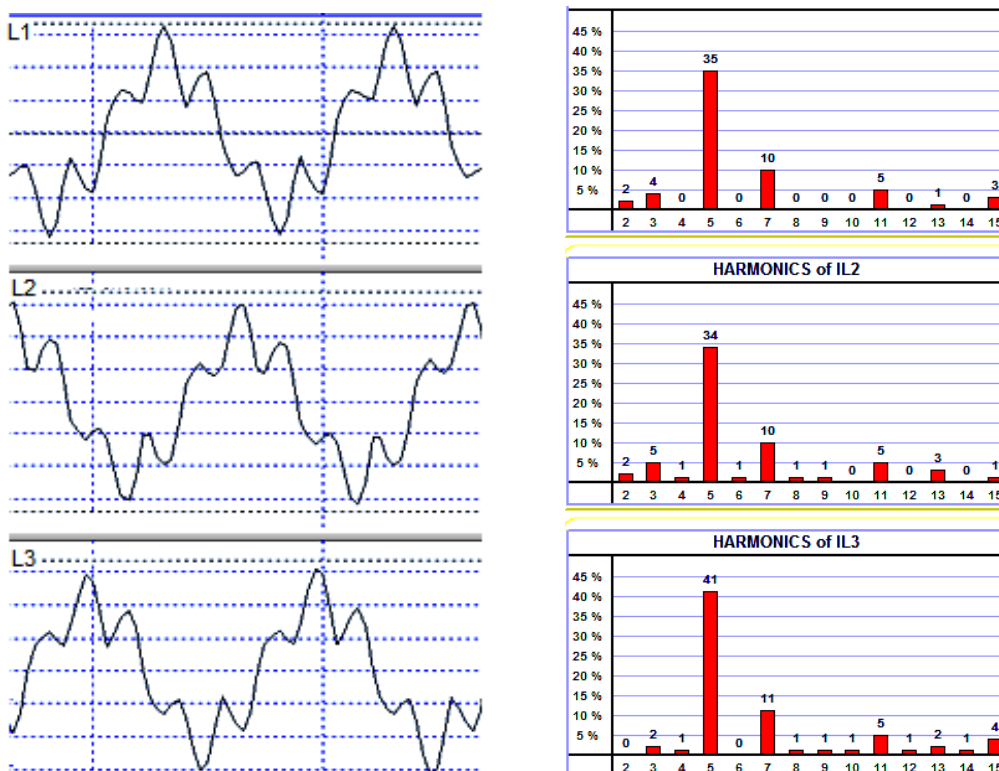
Vid normala driftsförhållanden, under varje , skall 95 % av 10 min. medelvärde på distributionsspänningens minuskomponent i förhållande till pluskomponenten vara mellan 0...2 %. Osymmetri mellan faserna förorsakas oftast av snedbelastning i enfasnätet, de 1-fasiga lasterna störs normalt inte av spänningsosymmetri så länge spänningen hålls inom arbetsområdet för apparaterna kopplade till nätet ifråga. Osymmetri ger dock upphov till strömmar i nolledaren. Största problemen förekommer i trefas lasterna där osymmetri kan orsaka störningar och överhettning i t.ex. frekvensomriktare och direktanslutna asynkronmotorer som arbetar nära märkläst. /8/

8.4 Mätning av övertoner

Tillvägagångssättet vid mätning av övertoner skall följa reglerna i SFS-EN 50160 för spänningen. Tidpunkten för mätningen bör väljas så att man får den största tänkbara strömdistorsion på ett 10 min. medeltal för anläggningen i fråga. Uppföljningstiden kan vara en vecka, ett dygn eller en timme. Om man känner till anläggningens spänningsdistorsion, kan man bättre utse tidpunkten för strömdistorsions mätningen. Mätningen kan utföras genom att mäta med en minuts mellanrum, eller tätare om det är tekniskt möjligt.

Av mätningen skall räknas ett medeltal, medeltalet för perioderna på tio minuter skall räknas från minst tio olika mätresultat. Om en av 10-minuters perioderna överskrider de tillåtna värdena så anses anläggningen samt anslutningen som bristfällig. Normalt väljs mätpunkterna på den spänningsnivå där övertonerna genereras, men även nätet under och över transformatorn kan var intressanta, det finns vanligen ett samband mellan dessa. Övertonerna på överliggande nät kan sugas ner genom distributionstransformatorn om t.ex. ett kondensatorbatteri bildar en serieresonans med transformatorns sekundärlindning.

När det kommer till åtgärder av spännings- och strömdistorsion är det oftast distributören som står för spänningsdistorsionen, och kunden ansvarar för strömdistorsions åtgärderna. Figur 27 visar fasströmmarna på Vacons 20 kV sida, man kan se att kurvan innehåller stora halter av 5:e och 7:e övertonen och har en total övertonsnivå på ca 40–45 %. /2/



Figur 27. Mätning av Vacons strömövertoner vid 20 kV huvudtransformatorn.

9 Analys av mätvärden

Genom att analysera våra mätvärden hittar vi förhoppnings vis problemen som vi söker. En systematisk analys av mätvärdena ger ett bättre slutresultat. Det är till en början bra att kontrollera om det förekommer transienter i nätet som undersöks. Transienter är överspänningar mellan spänningsförande ledare och jord. Dessa orsakas vanligen av åsknedslag eller kopplingar i elnätet. Även om det pratas mycket om övertonsproblematik så är det transienterna som orsakar största delen av problemen i nätet.

Om vi undersöker en anläggning eller en industri genom att mäta inkommande matning så måste vi reda ut om störningarna förekommer i fastigheten eller om det är frågan om en yttre störning. En inre störning känner man bra igen ifall en momentan spänningssänkning samtidigt orsakar en strömökning, motsvarande så har en yttre störning inte motsvarande strömökning. Om anläggningen är belastad med en asynkronmaskin kan resultatet vara svårt att tolka. Vid en spänningssänkning kommer varvtalet att minska med den påföljden att eftersläpningen ökar och därmed också maskinens lastström.

En analys av variationer i U/I-kurvor för en viss tid kan ge mycket information om nätet. Exempel: När har vi lasttoppar? Har vi max 2–3 % spänningssvariation? Har vi spänningssosymmetri mellan faserna? Om anläggningen är belastad med asynkronmaskiner

får osymmetrin helst inte överstiga 1–2 %, en större osymmetri orsakar att maskinens vridmoment minskar, vilket i sin tur orsakar en högre ström.

Genom att undersöka spännings- och strömdistorsion kan vi få information om vad som händer i nätet. Vi kan analysera om lastströmmen i anläggningen orsakar spänningsövertoner eller om det är frågan om överliggande laster som är orsaken till problemet. Vid en analys av spänningsdistorsion väljer vi att presentera distorsionen som en funktion av grundtonen (50 Hz). Vid strömdistorsion är det svårare att avgöra vad man skall referera distorsionsvärdena till. /2/

10 Mätningstrustning

Undersökningen av elkvaliteten vid Vacon utfördes med två typer av mätare för att få en resultatjämförelse. Mätare som användes är Wimo 6CP10, som är fastmonterade vid transformatorerna i Vacons ringmatningsnät. Wimo mätarna utför en kontinuerlig uppföljning av elkvaliteten vid Vacon, mätvärden finns tillgängliga via intranätet. Vasa Elnät gjorde på en begäran från min sida en fem dygns uppföljning på huvudtransformatorn (20 kV) samt på fastighetstransformatorn (kiinteistö), föra att fastställa Wimo 6CP10 mätvärdenas riktighet. Vasa elnäts mätningar utfördes av Magnus Nylund, utrustning som mätningarna utfördes med var Fluke 435 och Fluke 1744, vilka båda uppfyller de senaste standarderna för elkvalitetsmätning.

10.1 Wimo 6CP10

Wimo 6CP10 är tillverkad av Vamp Oy. Vamp Oy är ett företag som under sin 16-åriga historia specialiserat sig på skyddsrelän, mätning- och övervakningsteknik för låg- och mellanspänningsnät. Deras produkter används i allt från luftledningsskydd, el- och industrianläggningar samt som ljusbågsskydd. Huvudkontoret ligger i Vasa. Vamp Oy:s produkter används redan i 80 länder, i olika övervakningssammanhang. /17/

Wimo 6CP10 är en mätning- och övervakningsenhet tillverkad av Vamp Oy för park- och fastighetstransformatorer. Wimo är i praktiken ett förenklat skyddsrelä, vars mätning och bevakning sker med reläteknik som ger möjlighet till mångsidig och noggrann mätningsskapacitet. En av Wimo:s viktigaste funktioner är förmågan att upptäcka jordningsfel samt kortslutningar i lågspänningsnätet. På grund av den mångsidiga mätningsskapaciteten kan Wimo även användas vid granskning av distributionsnätets elkvalitet, den kan genom att mäta eller räkna behandla följande information.

- Faströmmarna (10 min. medeltal av effektivvärdet).
- Fas spänningen (10 min. medeltal av effektivvärdet).

- Spänningsdippar (storlek och tid) och spänningsspikar (storlek och tid).
- Spänningens nivå (min och max).
- Aktiv- och reaktiveffektens medeltal/h.
- Aktiv- och reaktivenergi i båda riktningarna.
- PQ- diagram.
- THD samt 2-15. harmoniska övertoner från spänning och ström.

Wimo sparar informationen av mätningarna och situationer enligt tid och datum inställningarna. Största delen av mättningsdata används för att följa upp kvaliteten på lågspänningsnätet, men den kan även övervaka fördelningstransformatorers belastning. Wimo:s mättningsdata lagras i en månad, data kan även distansavläsas från minnet genom att förena Wimo:n till databas med en RS-kabel. Wimo kan även skicka alarm om kritiska avvikelser i spänningskvaliteten uppstår. Överbelastning av transformatorn kan övervakas med hjälp av Pt100-givare kopplad till enheten. Övervakning av andra situationer som, rök- och dörralarm kan även utföras med Wimo, eftersom den är utrustad med tre digitala ingångar för givare. /19/



Bild 28. Wimo 6CP10. /19/

10.1.1 Vampset

Vampset är ett behandlingsprogram för inställningar, parameterisering och konfigurering av Vamp relä. Användaren av Vampset behöver inga kunskaper om Vamp reläernas hårdvara, programmet läser in all information direkt från mätobjektet. Allt som behövs är en PC med Windows operativ system. /19/

10.2 E700

E700 seriens mätare fungerar som Vacons kWh mätare och är utvecklade att klara av den kvalitet och funktionskrav som elmarknaden ställer. Mätaren är kombinerade med bra mätresurser samt mångsidiga dataöverföringsfunktioner, bl.a. RS232-, RS485- och CS-portar samt inbyggt PSTN-modem eller ett utomstående GSM-modem. Mätaren erbjuder bästa möjliga lösning för mätningar i industrimiljöer. E700-serien fyller alla kraven i standarderna SFS-EN 61036, IEC 62052-11, IEC 62053-21 och SFS-EN 60687, IEC 62053-22. E700 mätarserien har mångkvadratiskmätning, med storheterna P, Q, S, I, U, $\cos\phi$ samt timserier kan mätas med samma mätare. Aktiva energin (kWh) mäts med noggrannhetsklass 0,2S, 0,5S eller 1. Reaktiva energin (kVAR/h) mäts i noggrannhetsklass 2. E700-mätarens funktioner kan uppdateras för att klara av framtida tariffutvecklingar via Enermet Windows E700UI-program. (Enermet E700 produktblad)



Figur 29. Effektmätaren E700.

10.3 Fluke 435

Fluke 435 trefas elkvalitet mätare är utvecklad för att lokalisera, förutspå samt undvika problem i tre- och enfas distributionsnätet. Felsökningen går snabbare med displayen som visar kurvorna samtidigt som lagringen av data sker. Den nya IEC-standarden för flicker, harmoniska och effektkvalitet är skapad för att undvika misstag inom elkvalitetundersökningen. Fluke 435 är utvecklad för att skydda användare samt utrustningen, mätaren är klassad för att användas i CAT IV 600 V och CAT III 1000 V områden. Fluke 435 mätare fyller IEC 61000-4-30 Klass- A- standarden med en mätnoggrannhet på 0,1 % V_{nom} . Med den kapaciteten kan alla mätvärden anses pålitliga med hänvisning till de senaste internationella standarderna. Mätaren mäter verkliga - rms och peak-värden på spänning och ström, frekvensen, dips och swells, transienter, avbrott, effekt, effektförbrukning, harmoniska upp till 50th övertonen, icke-harmoniska, flimmer, signaler och obalanser. /11/



Figur 30. Fluke 435. /11/

10.4 Fluke 1744 memobox

Fluke 1744 Power quality logger är en mätare utvecklad för datainsamling och analys av elkvalitet i låg- och mellanspänningsnätet, undersökningsperioden definieras av användaren. Mätare är isolerad för användning utomhus i alla väder med IP 65 klassen. PQ Log programmet for Windows bruk laddar ner data från mätaren. Data kan sedan studeras i av form grafer och tabeller. Mätare har ingen brytare, men kommer på automatiskt när den kopplas till spänningen. Mätaren kan kopplas till en standard väggkontakt med hjälp av en adapter eller med klämmor direkt till öppenedare. Mätaren klarar av korta elavbrott på 3 s, vid längre elavbrott stänger mätaren av sig automatiskt och fortsätter mätningen när spänningen återvänder.

1744 Modellen har två typer av mätningsfunktioner, A (Advanced) och P (Power). Funktionen A är mätning av alla tänkbara parametrar samt spänning och ström harmoniska och icke-harmoniska övertoner, funktion P är optimerad mätning och studie av olika belastningar. Funktionen P innehåller alla funktioner som A förutom övertonsanalys. Fluke 1744 mätningsfunktioner och parametrar: RMS-spänningen för varje fas (medelvärde, min, max), RMS-strömmen för varje fas och nollledare (medelvärde, min, max), Spänningsförändringar (dips, swells, avbrott), Effekt (kW, kVA, kVAR, effekt faktor), Energi och total energi, Flimmer, Spännings THD, Ström THD, Strömmens Crest Faktor (CF), Spänningens harmoniska övertoner till 50th, Spänningens icke-harmoniska övertoner, Obalans och Frekvensen. /10/

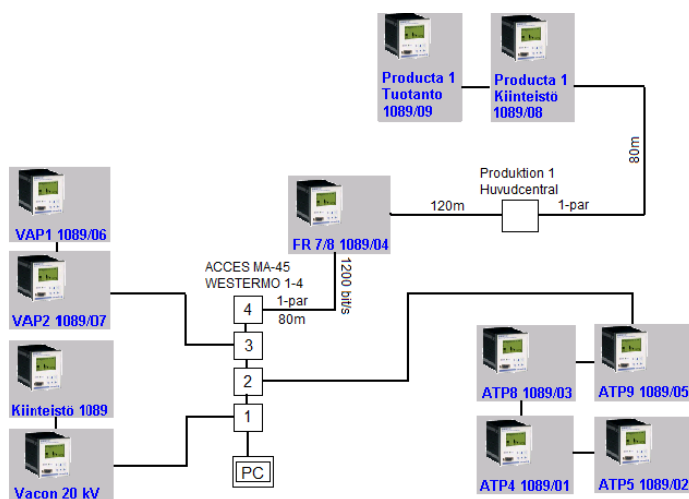
11 Mätningresultat

Mätningarna gjordes både med Vacons egna mätare Wimo 6CP10 inkopplade vid alla fördelningstransformatorer enligt figur 31. Vasa Elnät utförde mätningar på huvudtransformatorn samt fastighetstransformatorn, med Fluke 1744 och Fluke 435.

Mätresultat från Wimo 6CP10 distansuppföljning av övertonerna 3, 5, 7, 9, 11, 13 vid fördelningstransformatorer vid Vacon, kommer att presenteras i form av frekvensspektrum av spännings- och strömövertoner i bilagorna 6–11

- Bilaga 6. 20 kV huvudtransformator
- Bilaga 7. Kiinteistö och Produkta 1 Kiinteistö
- Bilaga 8. ATP 4 och ATP 5
- Bilaga 9. Produkta 1 tuotanto och FR 7/8
- Bilaga 10. ATP 8 och ATP 9
- Bilaga 11. VAP 1 och VAP 2

Från frekvensspektrumen i bilagorna kan vi se att den 5:e övertonen är dominerande både på spänningen och strömmen, undantag är ATP 8 där den 3:e övertonen är högre på spänningen vid granskningstillfället. Vi kan också notera ett undantag vid transformator ATP 9 där 3:e strömövertonen är högre än den 5:e strömövertonen. På dess transformatorer finns ingen längre uppföljning av övertonsnivåer tillgänglig för detta arbete.

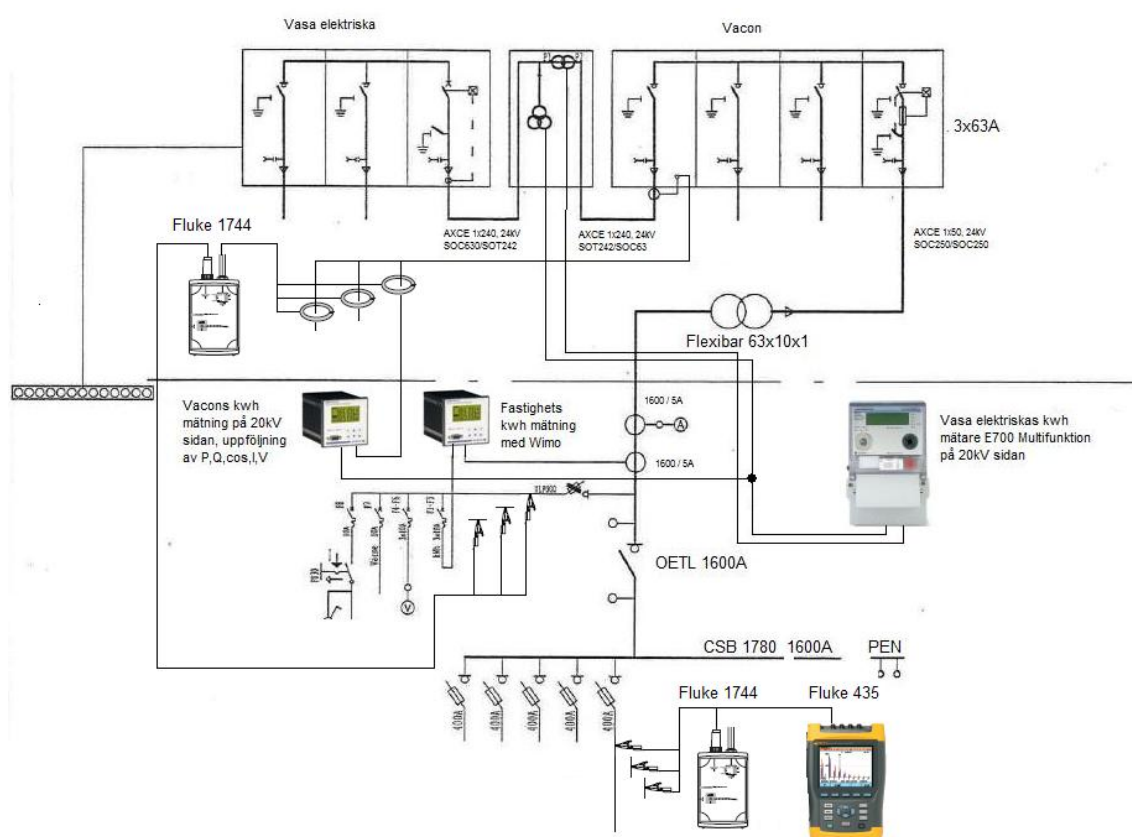


Figur 31. Wimo 6CP10 kopplingsschema.

Vid mätningen på huvudtransformatorn och fastighetstransformatorn (kiinteistö) kopplades Fluke 1744 strömångarna till Wimos strömtransformatorer. Spänningen togs från fastighetstransformatorn enligt figur 32, för att det enligt Reino Laukkanen, elsäkerhetsansvarig på Vacon, (17.3.2011) ansågs var en säkerhetsrisk att koppla

spänningen från skenorna. Det innebär att Vasa Elnät inte fick spänningsmätningar på övertonerna från 20 kV sidan, endast strömövertonerna. Däremot utför Wimo 6CP10 även spänningsmätningar på 20 kV sidan enligt inkopplingen som syns i figur 32. Wimo:s spänningsmätningen på 20 kV sidan är kopplad från Vasa elektriskas spänningstransformatorer men strömmen togs från egna strömtransformatorer, Vasa elektriska gav inte lov att bruka deras strömtransformatorer, orsaken är att det föreligger en risk att deras effektuppföljning störs.

På fastighetstransformatorn gjordes förutom med Vacons Wimo mätare också en uppföljning av spänningens karaktär med Fluke 1744 och Fluke 435. Dessa kopplades lite längre ner i transformatorkretsen. Dessa mätningar gjordes endast för att kontrollera och jämföra mätvärdenas riktighet och kommer inte att behandlas noggrannare i resultatredogörelsen.



Figur 32. Mätarnas placering i huvudschemat.

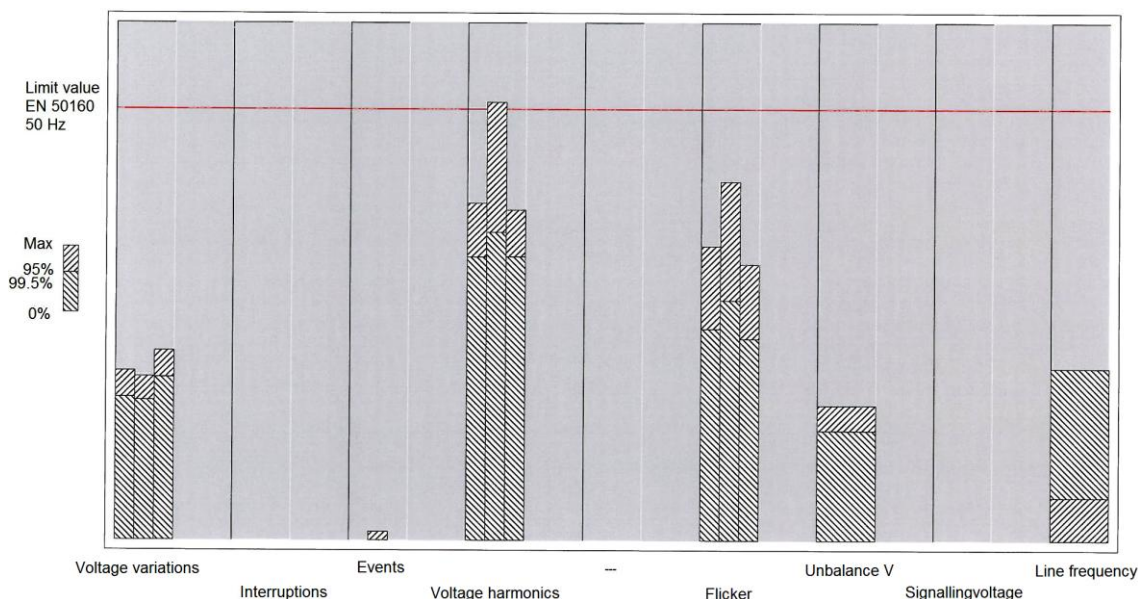
11.1 Mätningar vid fastighetstransformatorn

En noggrannare analys gjordes vid Vacons Fastighetstransformator, orsaken till detta är att fastigheten är mera belastad med enfas olinjära laster än de andra transformatorerna. De enfas olinjära lasterna orsakar tredje multipelns strömövertoner t.ex. 3:e, 6:e, 9:e, 12:e, 15:e som alla belastar nolledaren.

Logger	404b 50/60Hz F1744, Serial number: 21084CAWO
Measurement data	L:\53_KäyttöMätningar\Mätningar Memobox\Omat mittaukset Memobox\vacon
Measurement function	A (230 V, P-N, 50 Hz; 50 A; 50 A)
Yritys:	Vaasan Sähköverkko / Vasa Elnät
Osasto:	53
Syöttö:	
Muuntaja:	
Ref:	
Mittaustunnus:	Sähkönlaatu / Elkvalitet
Measurement period	Th, 17.3.2011 11:28:20 - Tu, 22.3.2011 13:09:09
Measurement segments	not programmed
Intervals	10 minutes, linear
Nominal voltage	230 V
Input Range	230 V, P-N, 50 Hz
Voltage transformer	-
Min-Max-value	0.5 periods
Number of interharmonics	not programmed
Recording as events	-10.00/+10.00% of 230 V
Memory model for events	linear
Hysteresis:	0.00 %
Limit value level file	C:\Program Files\Fluke\PQ Log\En50160-50Hz.gwd
Measurements within tolerance	95 %
Frequency measurement within tolerance	99.5 %

Figur 33. En summering av inställningarna på Fluke 1744.

I figur 34 visas ett stapeldiagram för elkvalitets mätningar gjorda i fastighetstransformatorn, i form av spänningsvariation, avbrott, händelser, harmoniska övertoner, flicker, spänningsosymmetri mellan faserna och frekvensen som en funktion av standarden SFS EN 50160 för 50 Hz. Alla värden på elkvalitetsmätningen håller sig inom standarden förutom maxvärdet för någon av de harmoniska övertonerna. Standarden SFS EN 50160 tillåter att maxvärdet tillfälligt överskrids, noggrannare utredning av standarderna i kapitel 10.



Figur 34. Gränser för värden på elkvalitet enligt standarden SFS EN 50160 för 50 Hz (Fluke 1744).

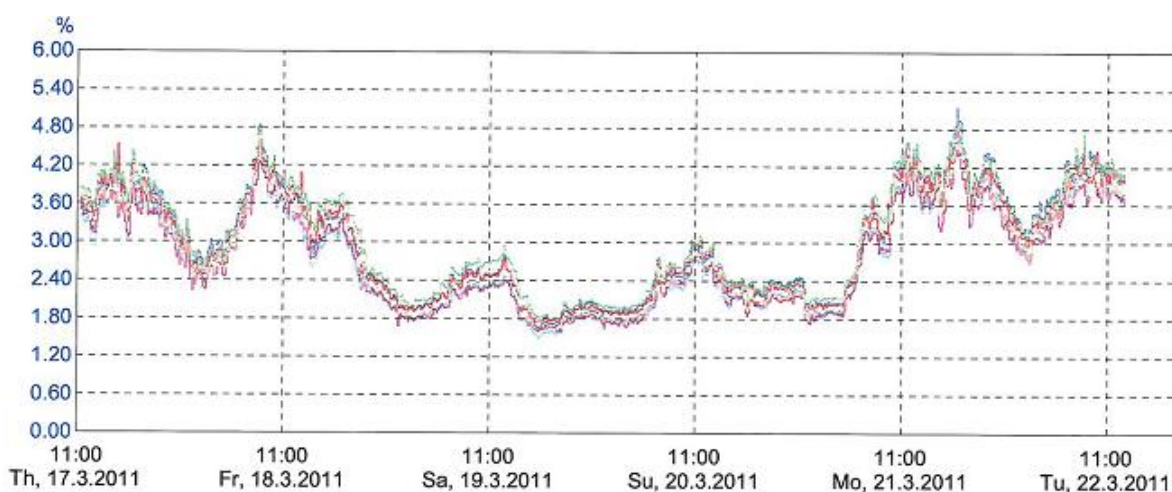
Tabell 35 är en sammanfattning av spänningens elkvalitet, mätningen gjordes på fastighetstransformatorn mellan torsdag 17.3.2011 kl 11.28 till tisdag 22.3.2011 kl 13.09 av Vasa Elnät. Från mätvärdena framgår att fasspänningarnas medelvärde ligger på 3,46 % över den nominella spänningen $V_n=230V$ 95 % av tiden och har ett max medelvärde på 4,04 %.

Elkvaliteten kan anses som god eftersom antal händelser (events) endast är två, vilket innebär antal gånger som elkvaliteten överskridit nivåer som anges i standarden. Man kan från tabellen se att den 15:e harmoniska övertonens maxvärde tillfälligt överskridit denna nivå (0,5 %) på fas L2. Från mätningarna framgår inte vilken nivå som överskridits den andra gången, det kan konstateras att det skett på fas L2. Standarderna är bättre förklarade i kapitel 10.

Tabell 35. Sammanfattning av elkvalitets mätningen på fastigheten (Fluke 1744).

Parameter	Unit	En50160-50Hz.gwd	Maximum value			95%-value		
			L1	L2	L3	L1	L2	L3
Voltage variations		230V						
Maximum 100% / 95%	% [Vn]	+10.00/+10.00	3.93	3.80	4.40	3.33	3.25	3.79
Minimum 100% / 95%	% [Vn]	-15.00/-10.00	0.01	-0.01	0.42	0.01	-0.01	0.42
Interruptions < 1%	Number of	100	0	0	0			
Events	Number of	100	0	2	0			
Voltage harmonics								
5. Harm.	% [Vn]	5.00	4.70		4.60	3.95		3.95
9. Harm.	% [Vn]	1.50	1.32	1.37	1.17	1.18	1.23	1.08
15. Harm.	% [Vn]	0.50		0.55			0.36	
Current harmonics	A			No				
Flicker Pst	Ph	1.000	0.883	0.833	0.641	0.492	0.558	0.469
Unbalance V	%	2.00		0.63			0.51	
Signaling voltages	% [Vn]			No				
frequency		50 Hz						
Maximum 100% / 99.5%	%	+4/+1		0.40			0.40	
Minimum 100% / 99.5%	%	-6/-1		-0.80			-0.40	

Max value above limit value
 95% (99.5%) - value above limit value



Figur 36. Spänningens THDu-mätning med Fluke 1744 på fastighetstransformatorn.

En jämförelse mellan mätarna och mätvärdena i figur 36 och bilaga 1 på totala spänningens distorsionens THDu vid samma tidpunkt visar att toppvärdena för de båda mätarna visar procentuellt lika stora värden. Vid mätningens minimivärden så visar Fluke 1744 ett ca 25 % lägre värde i figur 36 än Wimo mätningen i bilaga 1. Delar av resultatvariationen kan också bero på att Fluke 1744 har en noggrannare skala och mäter upp till 50:e övertonen, då Wimo 6CP10 endast mäter upp till den 15:e övertonen.

Totala THDu för fastigheten mätt med Wimo 6CP10 ligger på 3,30 %, Fluke 1744 har ett total THDu på 3,5 %, variationen är 4,8 %, men denna jämförelse på totala THDu är missvisande, på grund av att Wimo mätningen är kortare. Wimo mätningen slutar måndagen morgon 21.3.2011, då Fluke 1744 mäter till tisdag eftermiddag 22.3.2011, THDu nivån är ca 1,5 % lägre under helgen, under arbetsveckan ligger THDu på ca 4 %.

THDu nivå på 2,5 % under helgen kan bero på att datorer är i standby läge och helgarbete. Man kan tydligt urskilja dag och natt ur mätningens värden i figur 36, lasttopparna nås på förmiddagarna ca kl. 10.00 på vardagar och kl 11.00 på helger, på måndag morgon kan man notera lite brus på morgonen och toppen nås lite senare. Av detta kan man dra slutsatsen att de flesta av fastighetens övertoner mestadels orsakas av datorer och eventuell belysning.

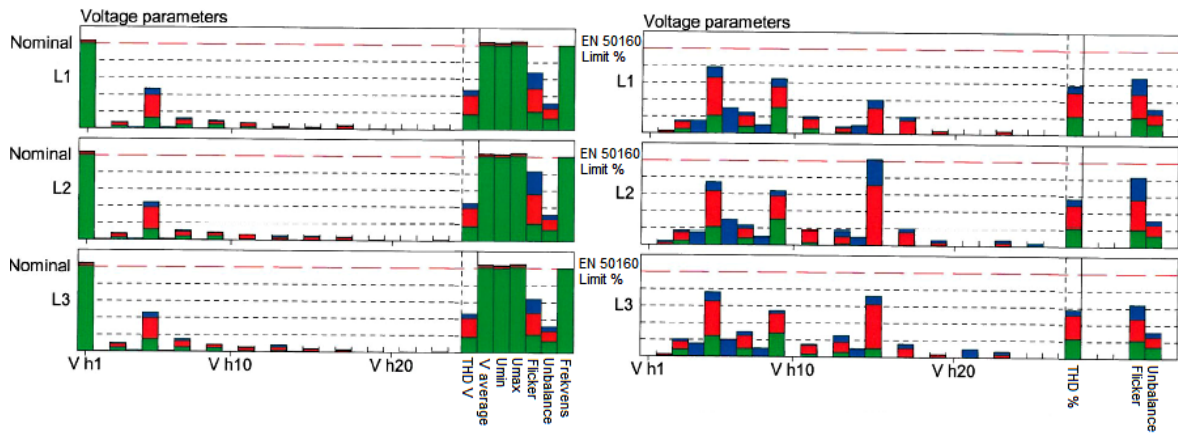
Från kurvorna i bilaga 1 kan man också dra den slutsatsen att störningarna och övertonerna kommer från Vacons interna elnät, eftersom en sänkning på spänningsövertonerna orsakar en ökning av strömövertonerna. Det kan också påpekas att THDi-nivån ligger på en relativt jämn högnivå över helgen.

11.1.1 Analys av enskilda övertoner

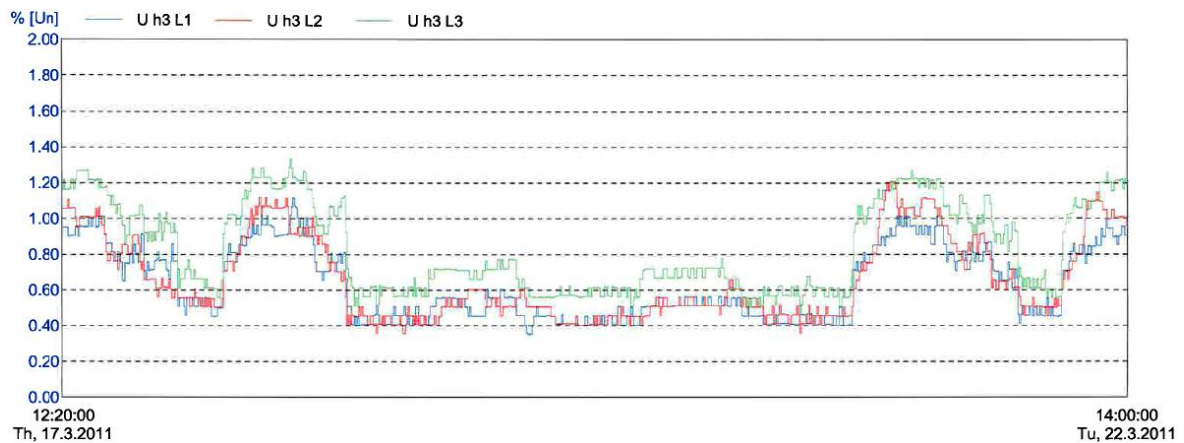
I figur 37 kan vi studera fastighetens övertoner i ett frekvensspektrum, i det vänstra frekvensspektrumet ser man förutom övertonerna också spänningens medelvärde, U_{max} , U_{min} och frekvensvärden som funktion av deras nominella nivå. Flicker och obalans anges som procentvärden av de maximalt tillåtna, THD_v anges i volt, i det högra frekvensspektrumet kan man se samma värden som en funktion av standardens gränser i procent.

Genom att studera 3:e och 5:e spänningsövertonernas kurvform i figur 38 och 39, vid fastighetsmätningen, kan man notera en klar skillnad i övertonsnivåer mellan vardag och helg. Om vi studerar den 7:e övertonen i figur 40 kan man notera att nivån inte sjunker märkbart mycket under helgen, men att variationerna mellan de tre faserna blir mindre.

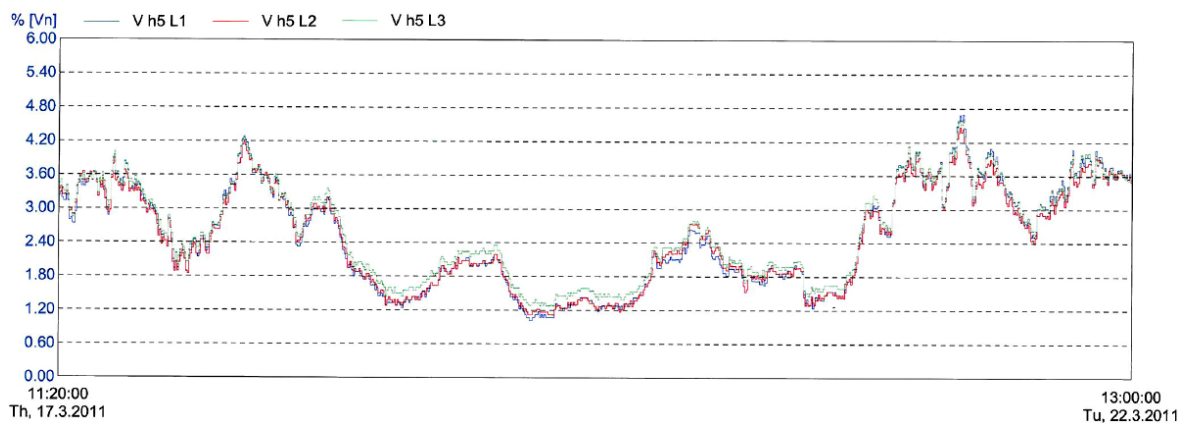
Om vi tittar närmare på 9:e och 15:e övertonen i figur 41 och 42, kan vi konstatera att nivån inte sjunker alls under helgdagarna, vi har till och med lasttoppar under natten till måndag 21.3.2011 på den 15:e övertonen. Vi kan från detta dra slutsatsen att den inte beror på belastning från datorer och belysning. Värdena kan möjligen vara ”flytande” övertoner från någon av de transformatorer som matar produktionen som är igång dygnet runt alla veckodagar.



Figur 37. Diagram av elkvaliteten vid fastighetstransformatorn, till vänster enligt U_n i Volt och höger i % enligt standarden (Fluke 1744).



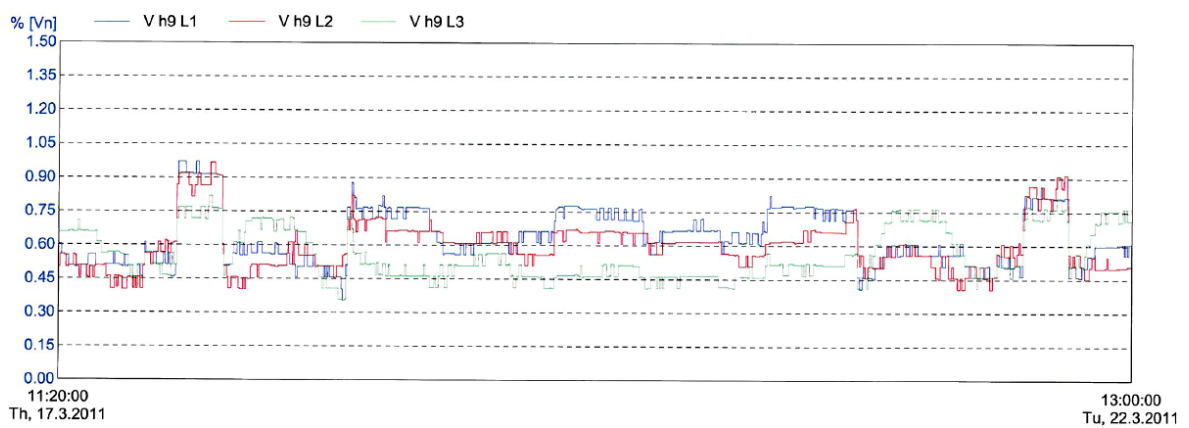
Figur 38. Kurvformen för den 3:e övertonen vid fastighetstransformatorn (Fluke 1744).



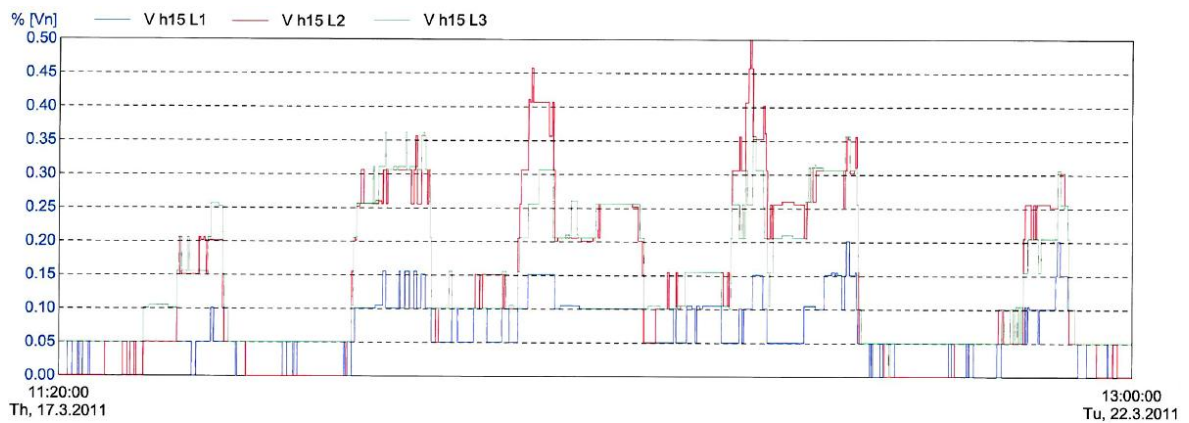
Figur 39. Kurvformen för den 5:e övertonen vid fastighetstransformatorn (Fluke 1744).



Figur 40. Kurvformen för den 7:e övertonen vid fastighetstransformatorn (Fluke 1744).



Figur 41. Kurvformen för den 9:e övertonen vid fastighetstransformatorn (Fluke 1744).



Figur 42. Kurvformen för den 15:e övertonen vid fastighetstransformatorn (Fluke 1744).

11.2 Mätningar vid huvudtransformatorn

Mätarinkoppling kan studeras från figur 32. Vid närmare granskning av kurvorna i bilaga 2 från huvudtransformatormätningen kan vi se att i vissa fall, orsakar en sänkning på spänningsövertonerna inte en ökning av strömövertonerna.

Om vi t.ex. tittar på söndag morgon 20.3.2011 från kl. 05.30 kan vi se att ström och spänningsövertonerna ökar samtidigt. Det kan tänkas att dessa spänningsövertoner är orsakade av de höga nivåerna på strömövertonerna, eller så beror de på någon form av störning utifrån. I jämförelse med tidigare mätningar kan vi ändå konstatera att THDi ligger på en relativt låg nivå i denna mätning, tidigare har nivåer upptill 40 % på THDi mätts.

Totala spänningsövertonerna THDu ligger på 1,9 %. Det sker en relativt stor dämpning av de övertoner som når huvudtransformatorn från fastighetstransformatorn. Skillnaden mellan fastighets- och huvudtransformatormätningen är skillnaden på THDu 1,4 %.

11.2.1 Analys av enskilda övertoner

Om vi tittar närmare på de enskilda spänningsövertonerna vid huvudtransformatorn kan vi se att den 5:e spänningsövertonen i bilaga 4 är dominerande med ett medelvärde på 2 %, mätningen är gjord från torsdag förmiddag 17.3.2011 till måndag morgon 20.3.2011. Toppvärdet på runt 4 % mättes på fredag morgon.

Den 3:e spänningsövertonen i bilaga 3 förekommer endast som tillfälliga pikar mellan 1 % och 3 %. Om vi tittar på den 7:e spänningsövertonsmätningen i bilaga 5, så kan man ställa sig något kritisk till värdena vid första ögonkastet. Men vid en noggrannare granskning av frekvensspektrumet för de enskilda transformatorerna i bilagorna 6–11, kan man konstatera att den 7:e spänningsövertonen ligger vid 1 % i de fall där den existerar.

12 Slutord

Min uppgift var att med detta ingenjörarbete få en bild av elkvaliteten och de harmoniska övertoner som förekommer i Vacons elnät för tillfället. Vid utgångsläget för detta arbete var det prat om en kompensering av reaktiv effekt, men att en utredning av elkvaliteten i form av övertoner och dess nivåer skall utföras före. Men att reda ut hur övertonerna påverkar utrustningen på Vacon var inte min arbetsuppgift, dock tog jag med en hel del allmän teori om ämnet samt spekulationer kring övertonernas uppkomst i mina mätvärden. Det kan ändå konstateras att övertoner existerar vid Vacon som i alla elnät nyförtiden, elnätet vid Vacon har relativt högnivåer av den 5:e övertonen som är dominerande i bl.a. frekvensomriktare och datorer som båda testas och används flitigt på Vacon. Kompenseringen av dessa övertoner samt den reaktiva effekten blir ett projekt för Vacons ingenjörer i framtiden, speciellt eftersom det lutar mot att den reaktiva effektens prisnivå kommer att stiga.

Under tiden jag gick igenom litteratur i ämnet hamnade jag in på en rad olika sidospår angående reaktiv effekt och övertoner. Några av dessa sidospår beslutade jag att ta med i mitt arbete för att jag ansåg att det kan vara av nytta för Vacon i framtiden, bl.a. kan avsnittet med reaktiv effekt i framtiden anses som ett sidospår, men kan ha en eventuell finansiell betydelse.

Då det kommer till elkvaliteten vid Vacon så kan den anses som god och elnätet är på en bra belastningsnivå. Och det kan också påpekas att Vacon inte har några större funktionella problem på grund av sin elkvalitet i dagsläget, men att ett friskt framtidstänkande sker förutom i produktutvecklingen också i form av elkvalitet i deras egna faciliteter. Ett bevis på detta är det sparprogram som Vacon frivilligt ingått med Arbets- och näringsministeriet. Enligt några beräkningar jag gjort i detta arbete finns det en teoretisk möjlighet för Vacon att göra en ca 3 % inbesparing på en förbättrad elkvalitet i form av reaktiv effekt och överföringsförluster orsakade av övertoner.

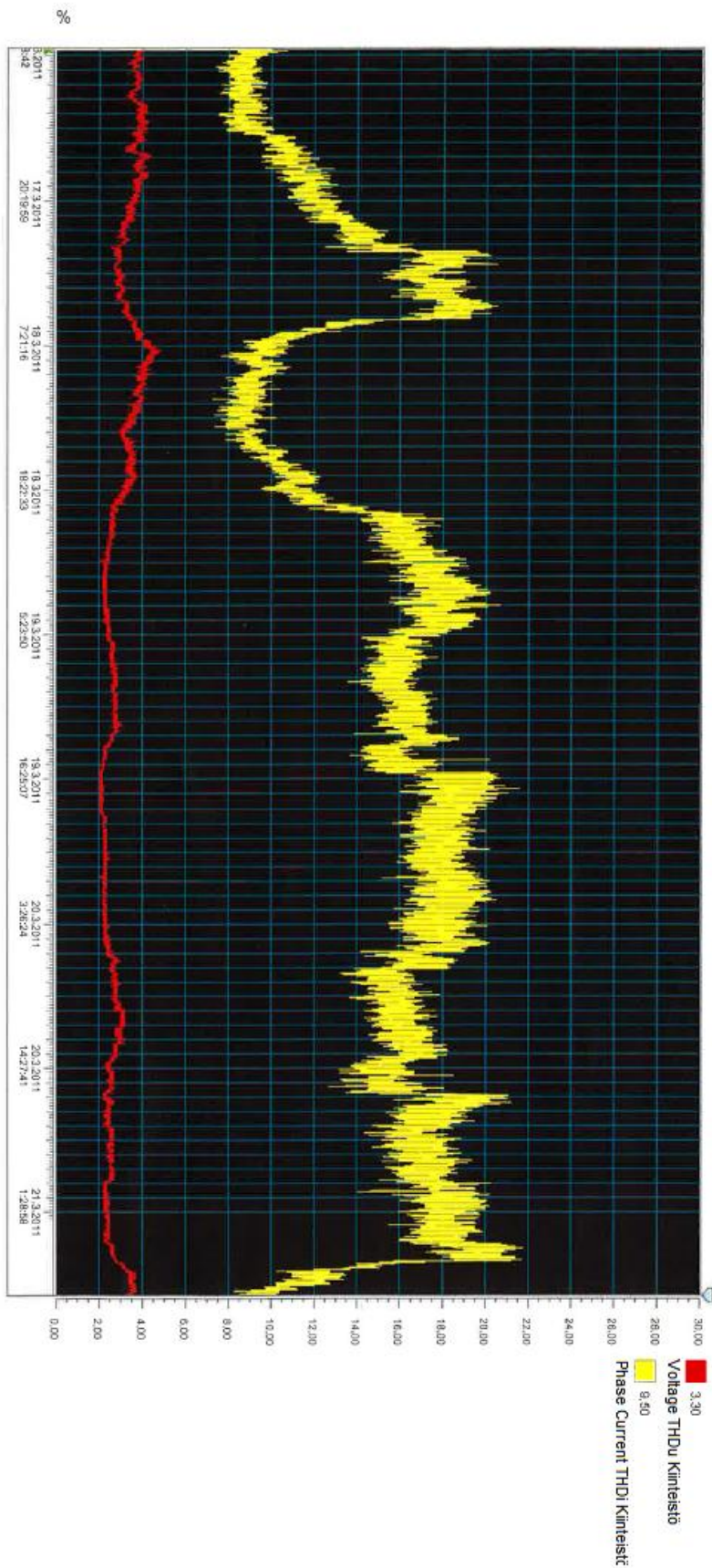
Källförteckning

- /1/ ABB (2000). *Teknisiä tietoja ja taulukoita, (TTT-käsikirja)*. tionde upplagan. ISBN 951-99366-0-2, Ykkös-Offset Oy, Vasa
- /2/ Gustavsson, R. (2003). *Praktisk elkvalitet*, första upplagan. Norbo, Sverige. NORBO Kraft Teknik , ISBN 91-974844-0-7
- /3/ Ingenjörorganisationernas skolningscentral ry (1981). *Loistehon kompensointi ja yliaaltojen suodattaminen*. Helsinki. ISBN 951-793-458-0
- /4/ Jaatinen, J. (1991). *Pinjänniteverkon kompensointi*. Helsingfors. Hakapaino Oy, ISBN 951-9284-66-4
- /5/ SUOMEN STANDARDISOIMISLIITO SFS (2000). *SFS-EN 50160, Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet*. Andra upplagan
- /6/ SÄHKÖ- JA TELEURAKOITSIJALIITTO, STUL ry (2006). *Yliaallot ja kompensointi*. Esbo

Elektroniska källor

- /7/ 06.03.2007. Active front end – simovert masterdrive.
https://www.sea.siemens.com/us/internet-dms/dt/DrivesSolutions/DrivesSolutions/docs1/DRV-masterdrives_active_front_end-brochure.pdf
- /8/ 10.2.2011. Energiamarkkinaviraston julkaisu 1 (2003). *Sähkön laatu jakeluverkkotoiminnan arvioinnissa*.
http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Sahkon_laatu_TTY-LTY_1_2003.pdf
- /9/ 10.2.2011. Energiamarkkinaviraston julkaisu (2006). *DEA-mallin suoritettavavan tehokkuusmittauksen kehittäminen*.
http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/DEA-jatkokehitys_LUT_20061208.pdf

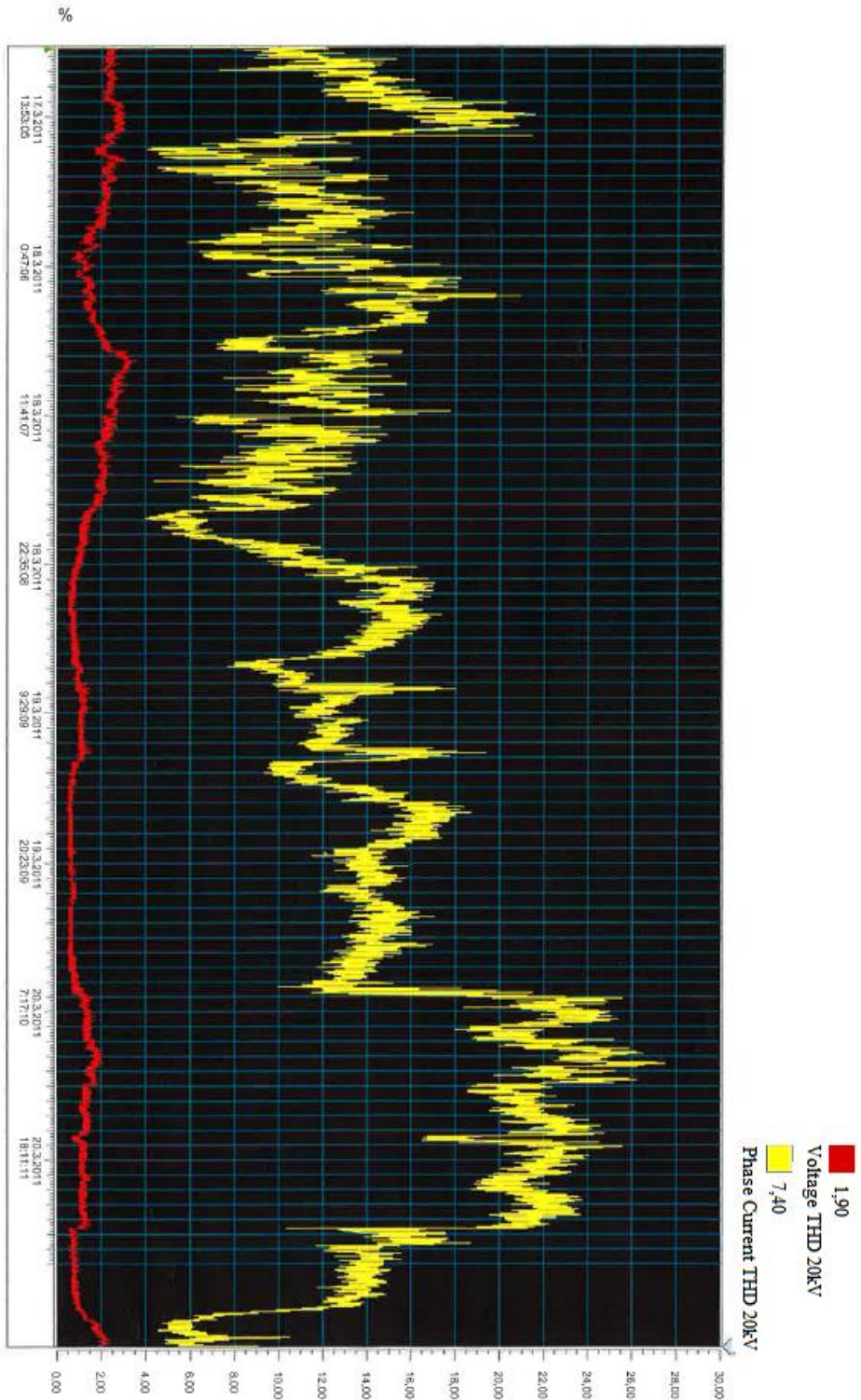
- /10/ 15.3.2011. Fluke 1743-1744 Series, Users Manual (2006). *1744/1743 power quality logger*. http://www.testequipmentdepot.com/fluke/pdf/1743-1744_manu.pdf
- /11/ 15.3.2011. Fluke 430 series, Technical data sheet (2011). *Three phase power quality analyzers*.
http://www.alliedelec.com/Images/Products/Datasheets/BM/FLUKE_ELECTRONICS_POMONA/730-0319.PDF
- /12/ 03.03.2007. 2002 MIRUS International Inc
- /13/ 06.03.2007. Schneider Electric - Electrical installation guide (2010). *Harmonic management*. <http://www.electrical-installation.org/w/images/7/73/M-Harmonic-management.pdf>
- /14/ 10.02.2011. Tammerfors elnät AB (2010). *Loistehon hinnoittelu ja kompensointi*.
http://www.tampereensahkolaitos.fi/NR/rdonlyres/B4C52258-7DAF-4BC7-8EEC-B06DFEDAF911/0/TSV_loisteho_ohje_20101117.pdf
- /15/ 25.03.2011. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT (2006). *Verkkovisio 2030. Jakelu ja alueverkkojen teknologiavisio*. Esbo
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2361.pdf>
- /16/ 25.02.2011. <http://www.vacon.fi>
- /17/ 15.02.2011. Vamp Oy (2011).
<http://www.vamp.fi/Suomeksi/Vamp%20Oy/Default.aspx>
- /18/ 10.02.2011. Vasa elnät AB (2011). *Effekt överförnings avgifter*.
http://www.vaasansahkoverkko.fi/template_verkkopage2.asp?sua=5&lang=2&s=539&q=y
- /19/ 15.02.2011. Wimo 6CP10 Mittaus- ja valvontayksikkö (2011).
[http://www.vamp.fi/Suomeksi/Tuotteet/Mittaus-%20ja%20valvontayksik%
%c3%b6t/WIMO%206CP10%20Mittaus-%20ja%20valvontayksik%
%c3%b6/Default.aspx](http://www.vamp.fi/Suomeksi/Tuotteet/Mittaus-%20ja%20valvontayksik%c3%b6t/WIMO%206CP10%20Mittaus-%20ja%20valvontayksik%c3%b6/Default.aspx)



maanantai, maaliskuu 21, 2011 - Dataset1[2011031708]

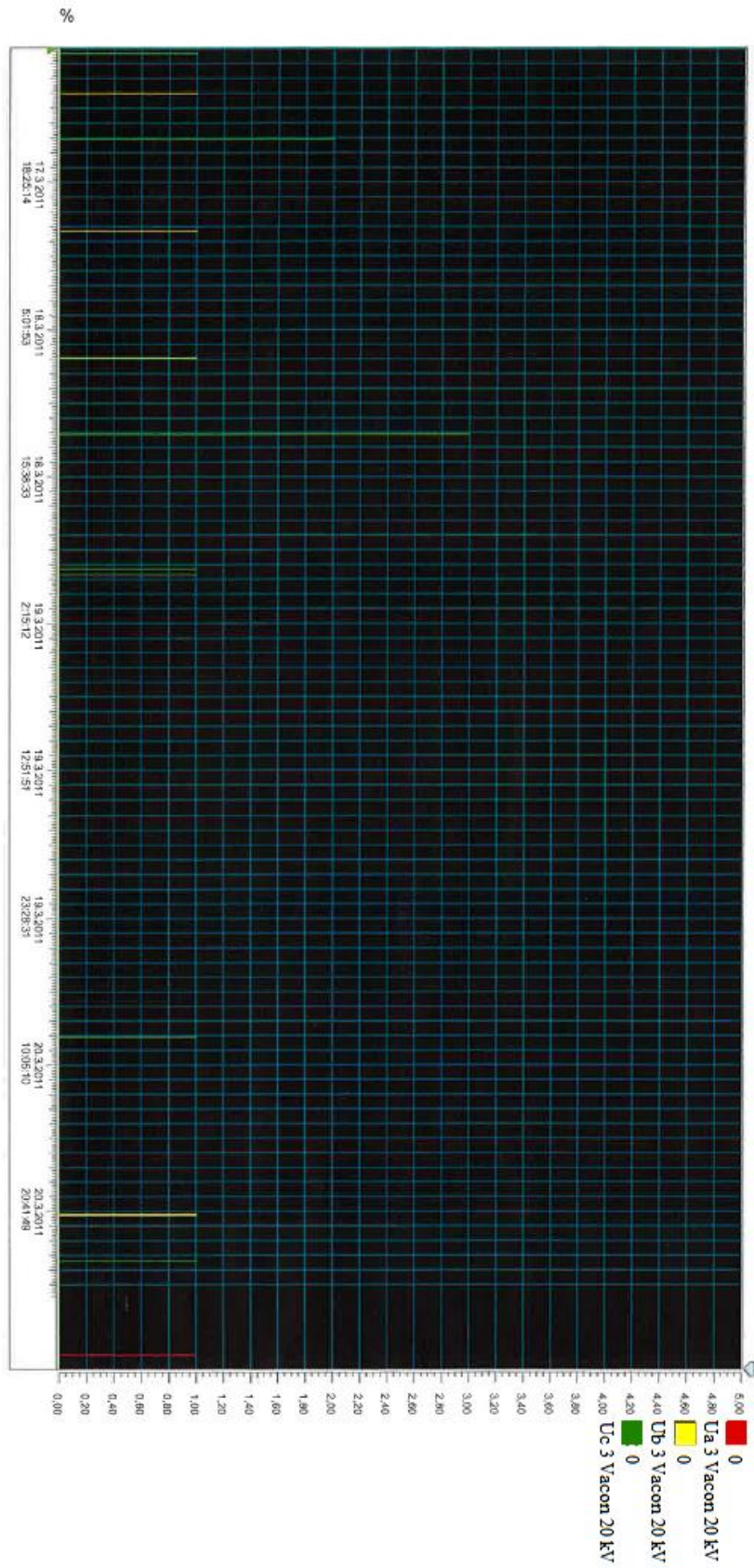
Bilden visar spänningens THDu och strömmens THDi-mätning med Wimo 6CP10 på fastighetstransformatorn.

Data Log Viewer



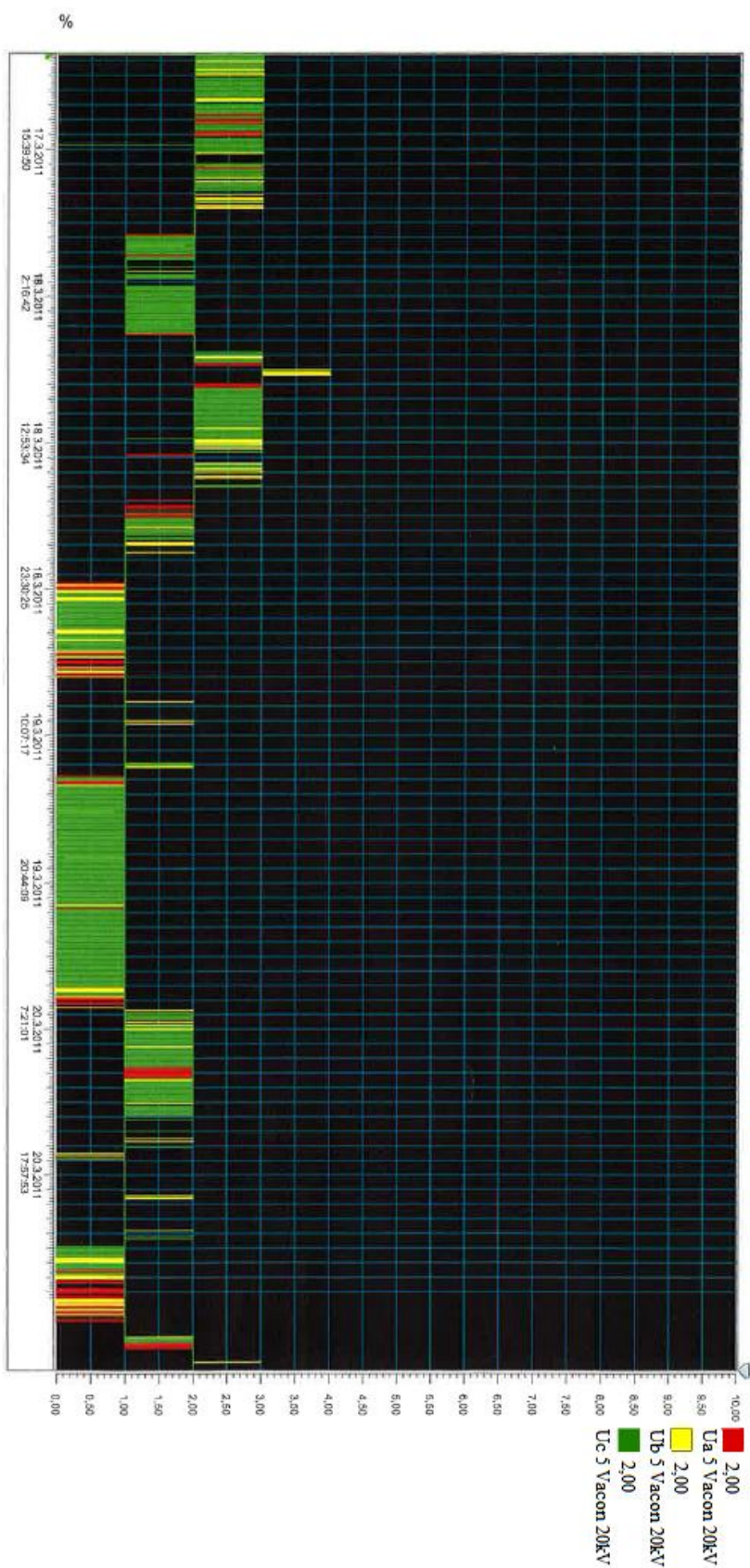
maanantai, maaliskuu 21, 2011 - Dataset1[20110317081]

Spänningens THDu och strömmens THDi-mätning med Wimo 6CP10 vid 20 kV huvudtransformatorn.



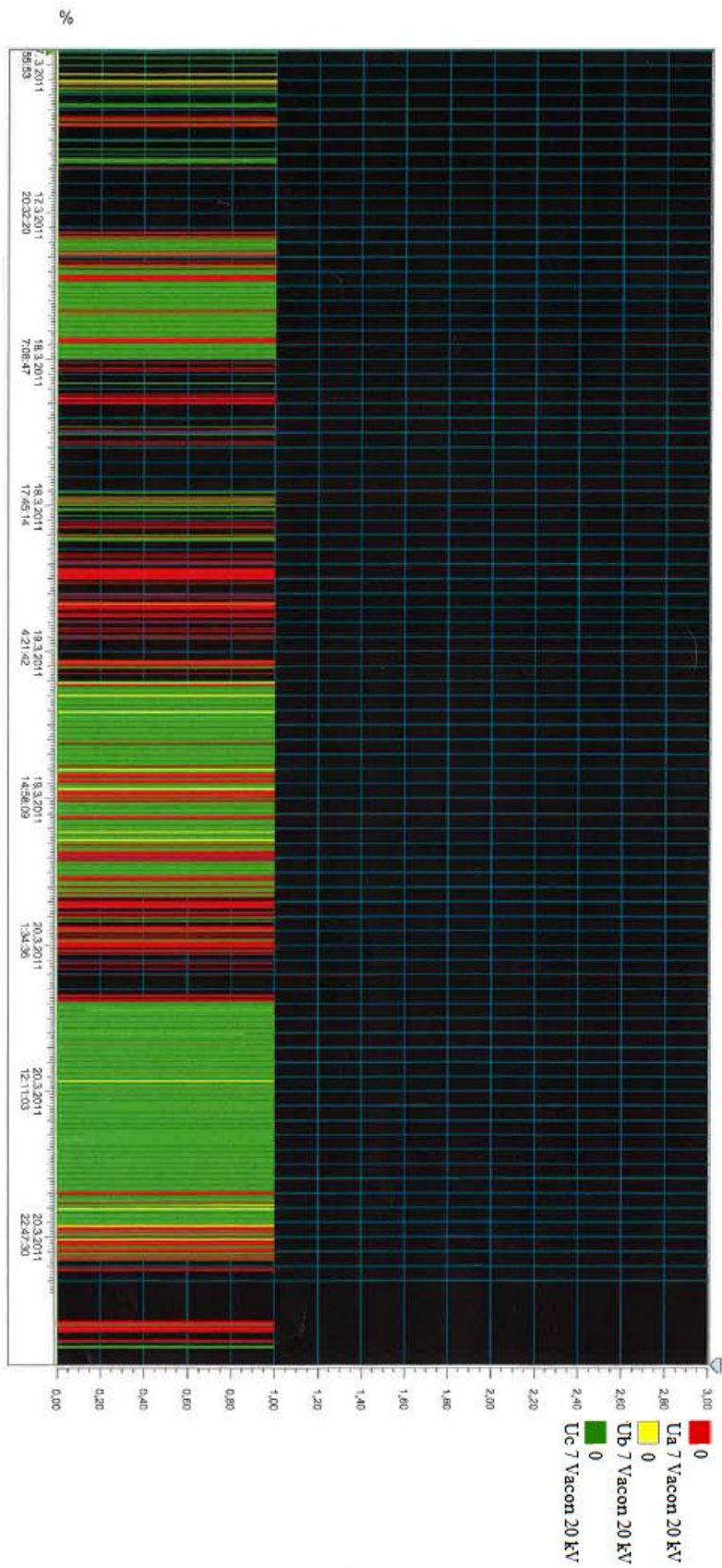
Maanantai, maaliskuu 21, 2011 - Dataset1[2011031708]

Den 3:e övertonen vid huvudtransformatorn (Wimo 6CP10).



manantat, maaliskuu 21, 2011 - Datasett: [20110317091]

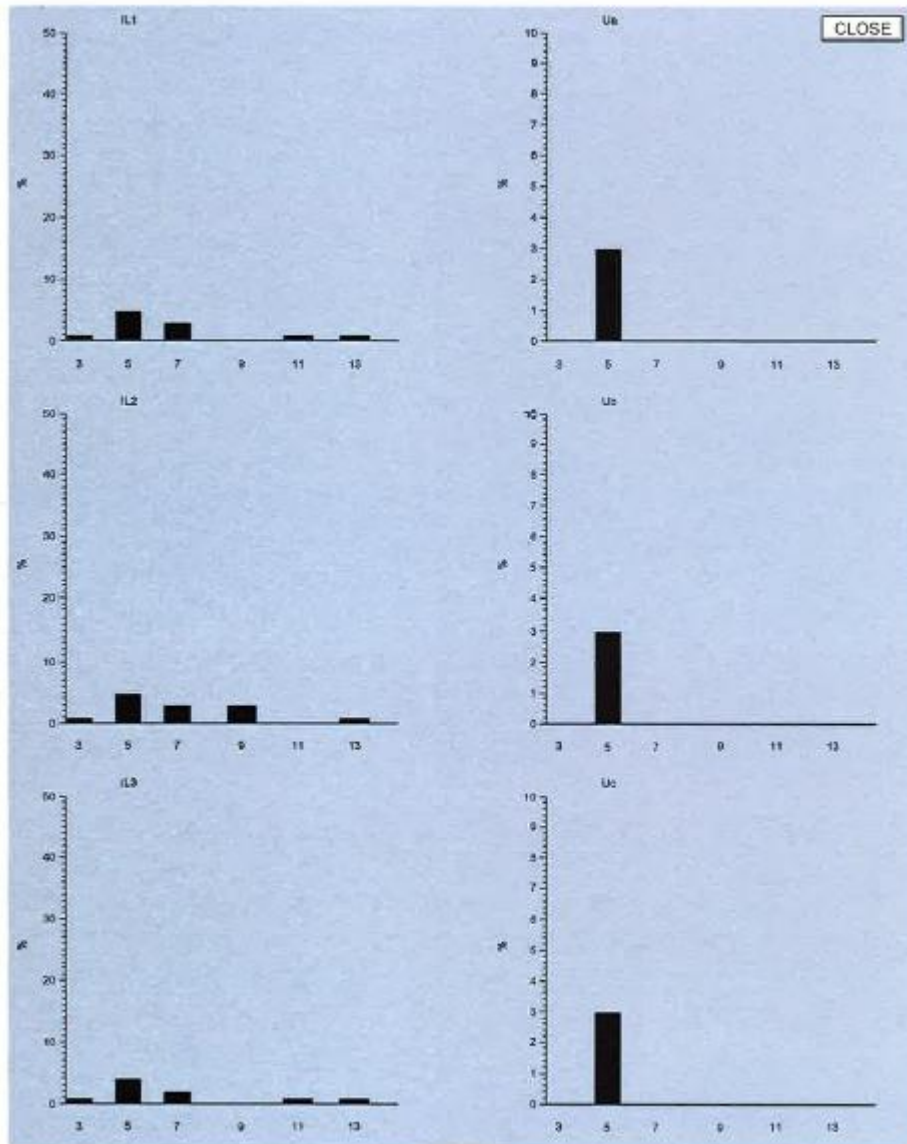
Den 5:e övertonen vid huvudtransformatorn (Wimo 6CP10).



maanantai, maaliskuu 21, 2011 - Datasetti[2011031709]

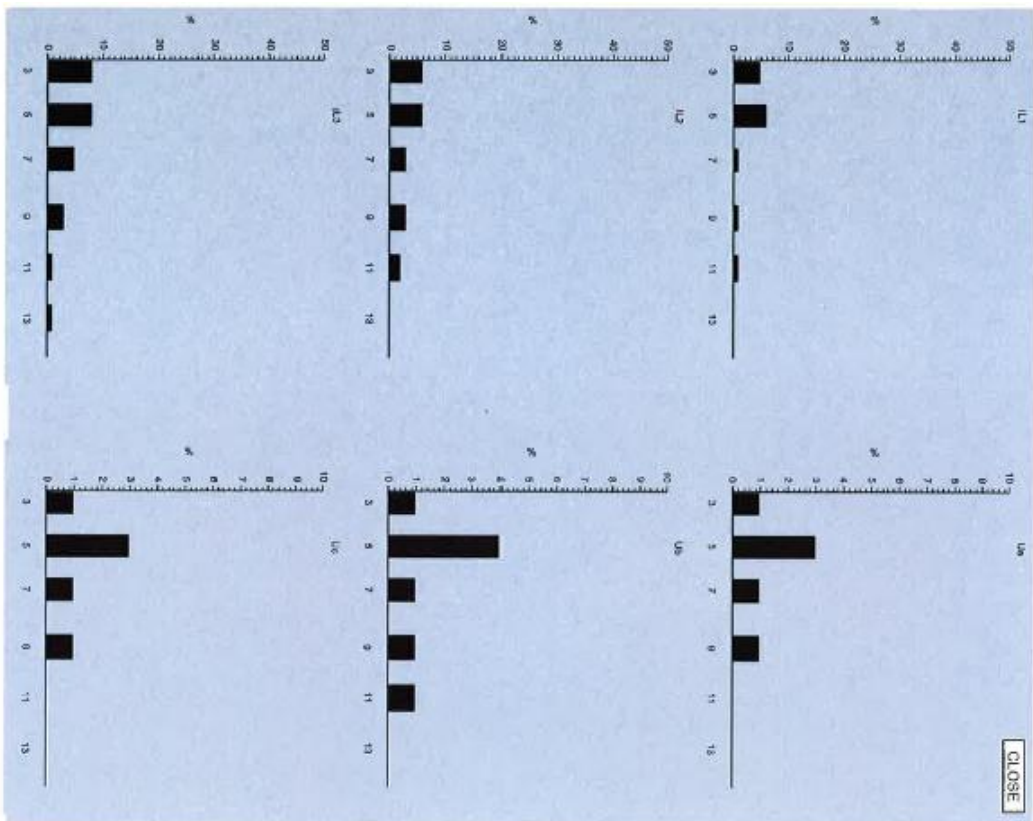
Den 7:e övertonen vid huvudtransformatorn (Wimo 6CP10).

VACON 20kV HARMONICS - C:\Valvomo\S&HKÖVERKKO.SR2



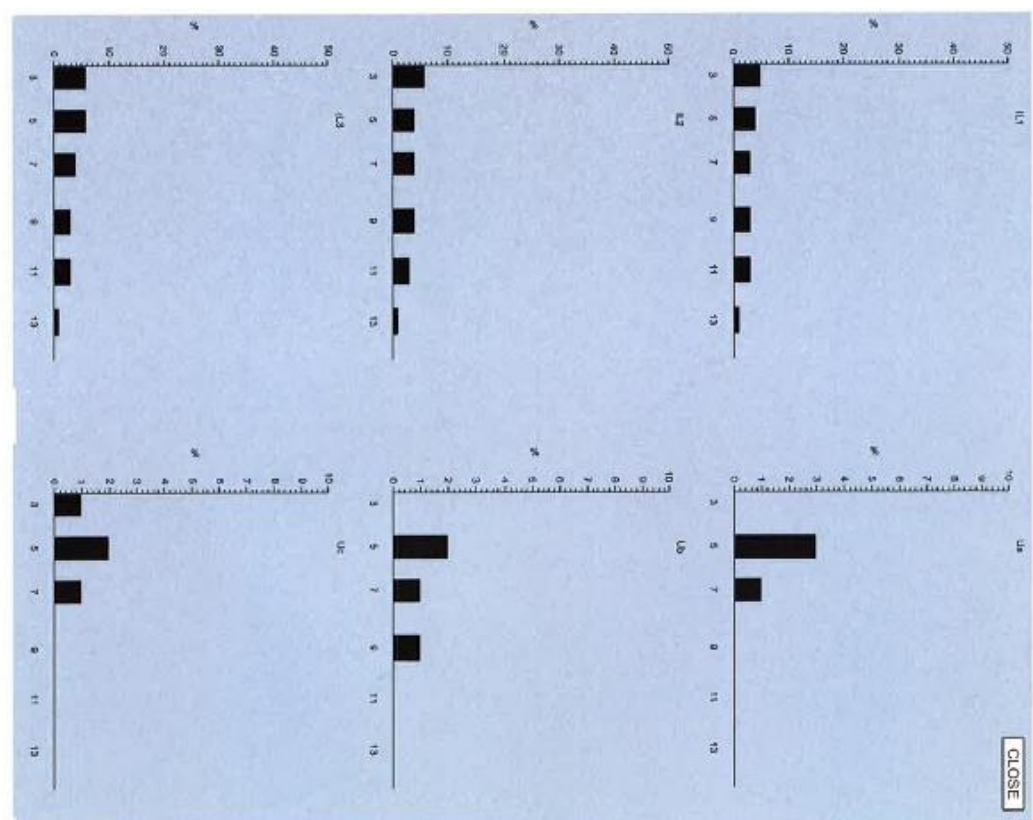
torstai, huhtikuu 07, 2011 14:43:17

KIINTEISTÖ HARMONICS - C:\Valvomo\SAHKOVERKKO.SR2



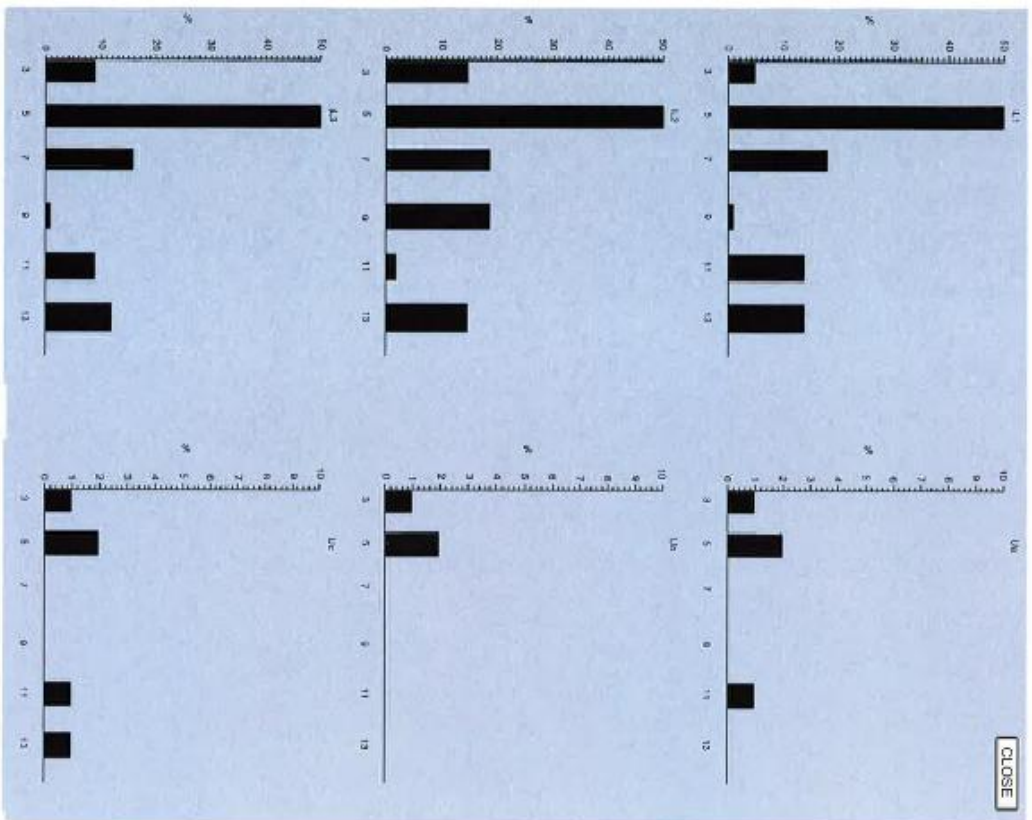
lorstai, huhtikuu 07, 2011 14:33:24

PRODUCTIA I KIINTEISTÖ HARMONICS - C:\Valvomo\SAHKOVERKKO.SR2



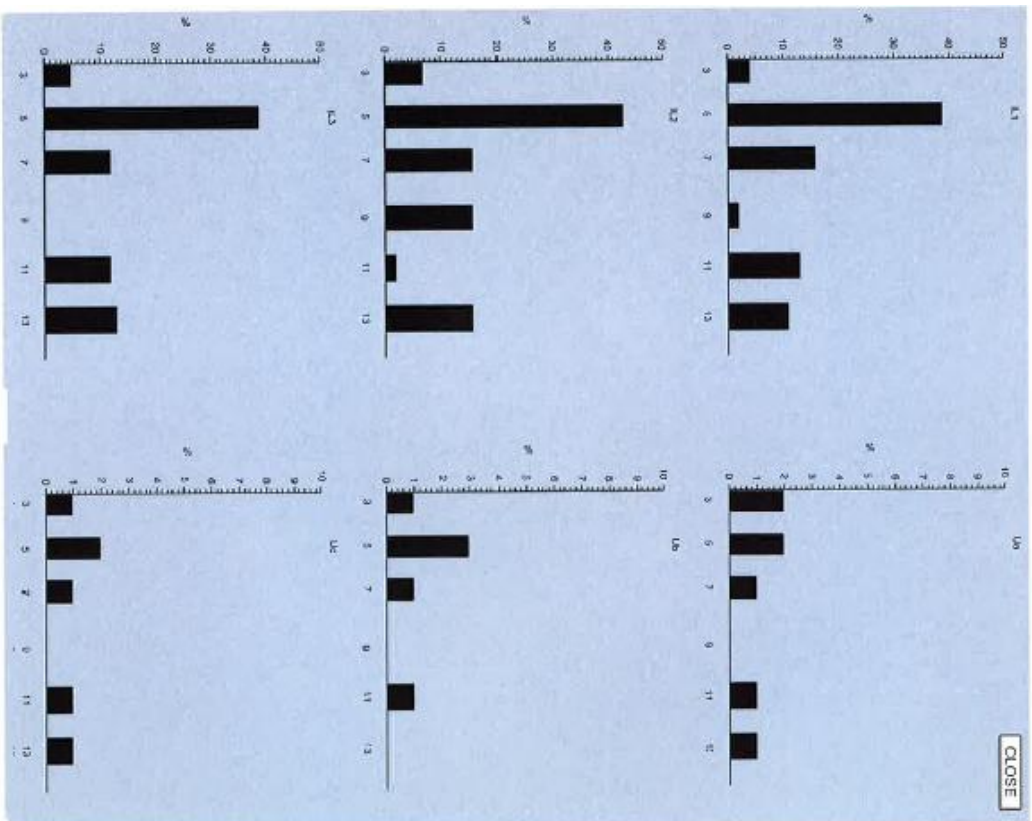
lorstai, huhtikuu 07, 2011 14:34:36

ATP4 HARMONICS - C:\VALIYOMA\SHHKOVEREKKO.SR2



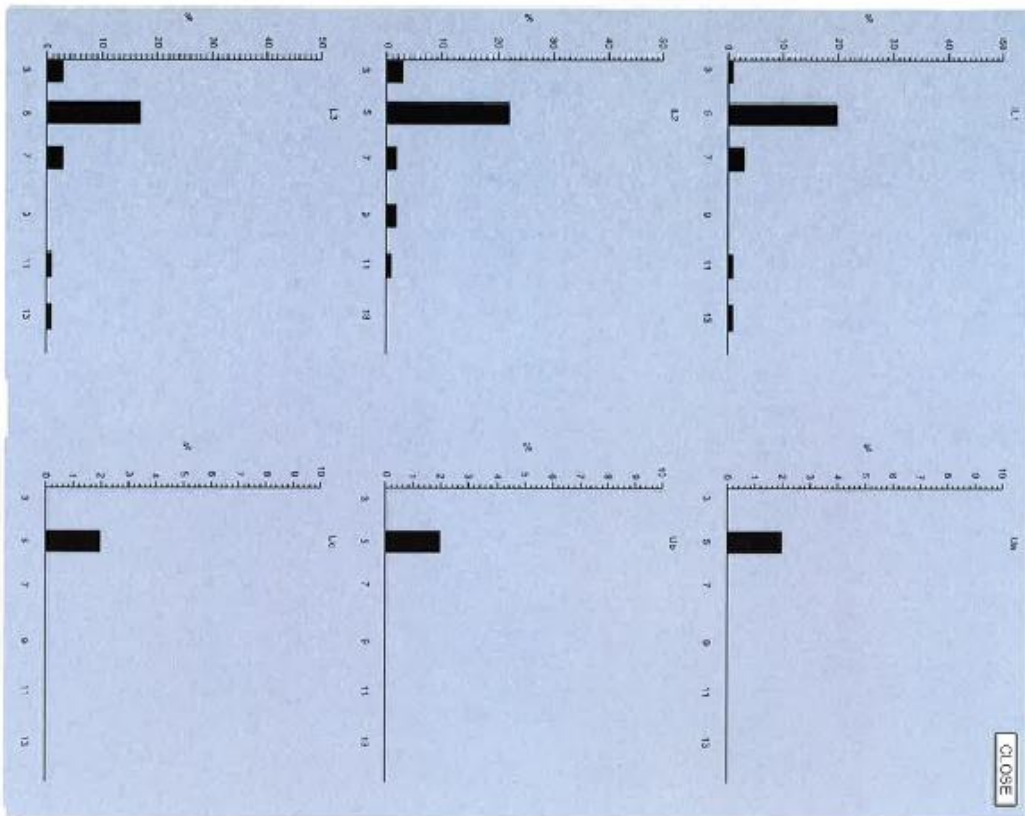
torstai, huhtikuu 07, 2011 14:33:53

ATP5 HARMONICS - C:\VALIYOMA\SHHKOVEREKKO.SR2



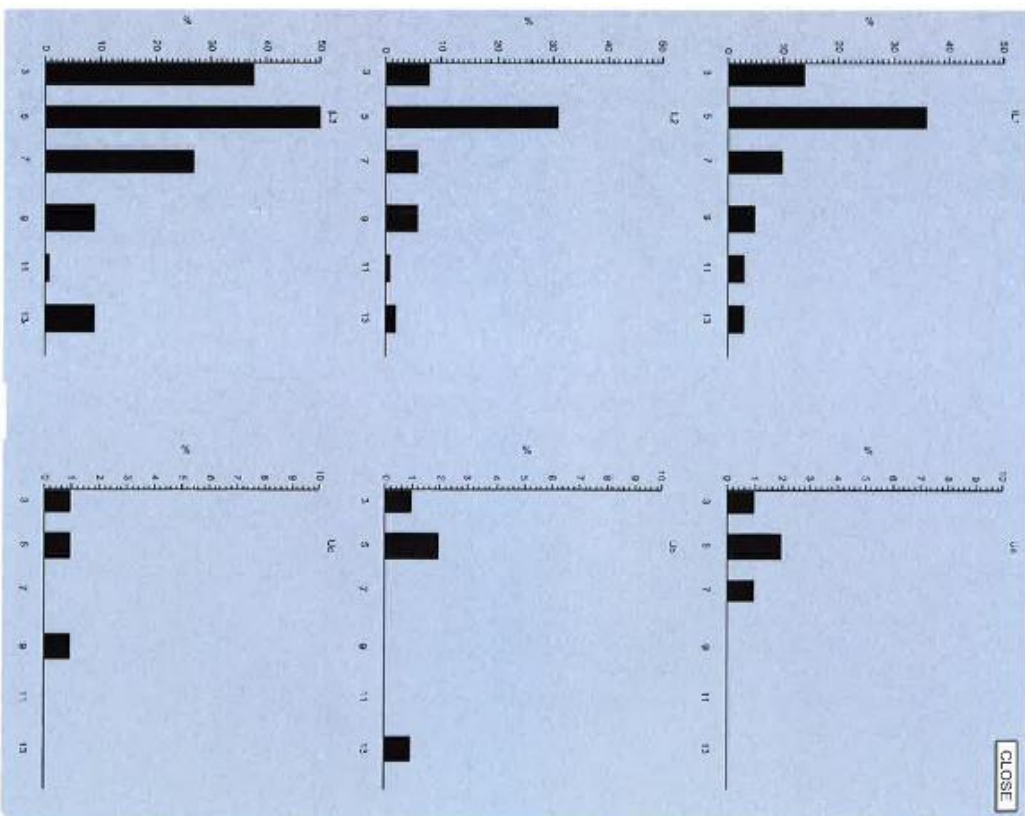
torstai, huhtikuu 07, 2011 14:33:37

PRODUCIA 1 TUOTANTO HARMONICS - C:\Valvonta\SahkoVerkko_SR2



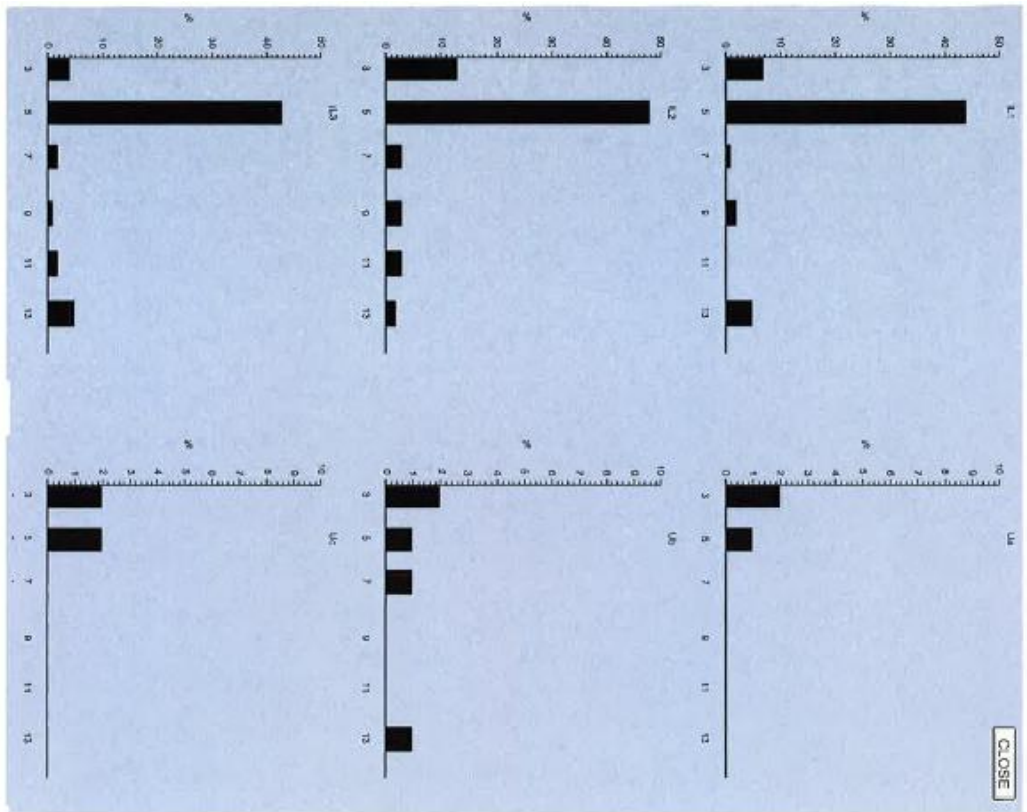
torstai, huhtikuu 07, 2011 14:35:08

FR 7/8 HARMONICS - C:\Valvonta\SahkoVerkko_SR2



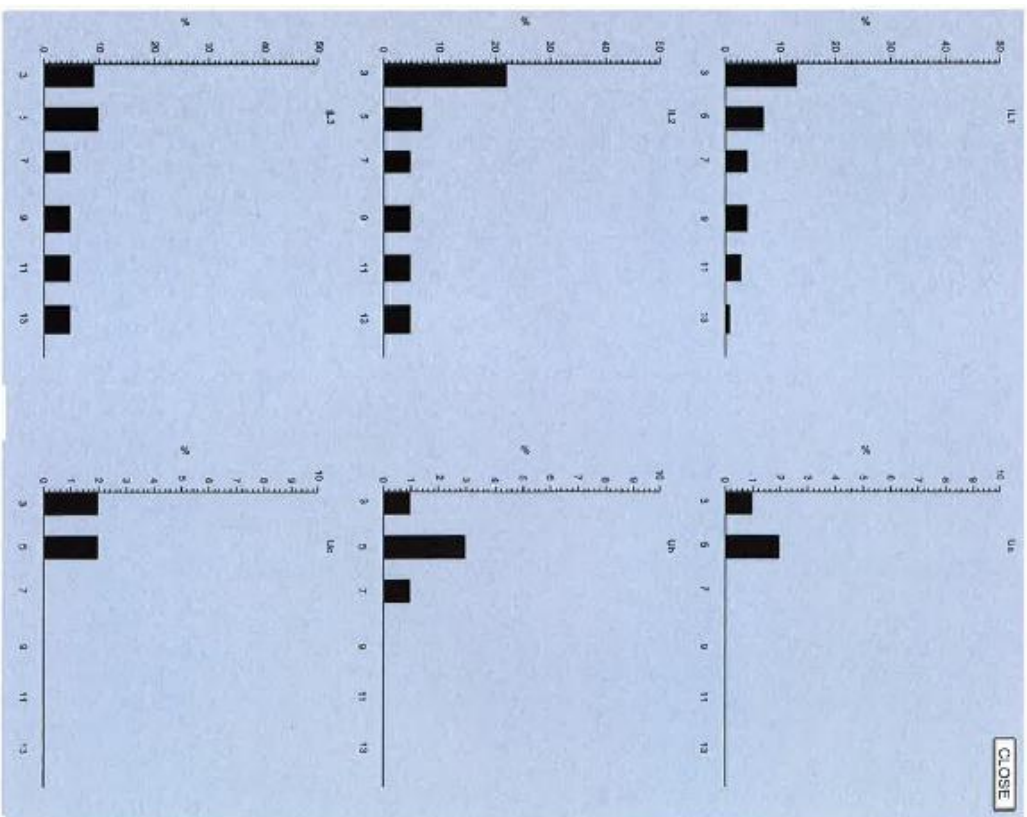
torstai, huhtikuu 07, 2011 14:34:45

ATP8 HARMONICS - C:\Valvomo\SAHKOVEREKKO.SR2



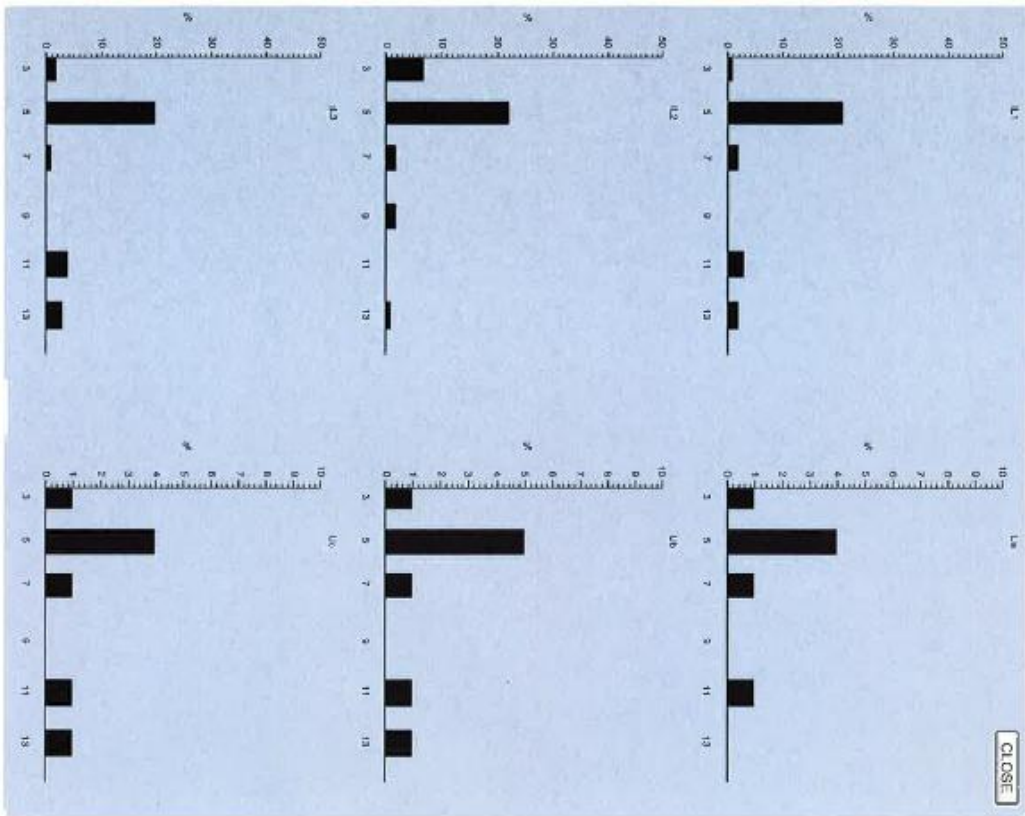
torstai, huhtikuu 07, 2011 14:34:15

ATP9 HARMONICS - C:\Valvomo\SAHKOVEREKKO.SR2



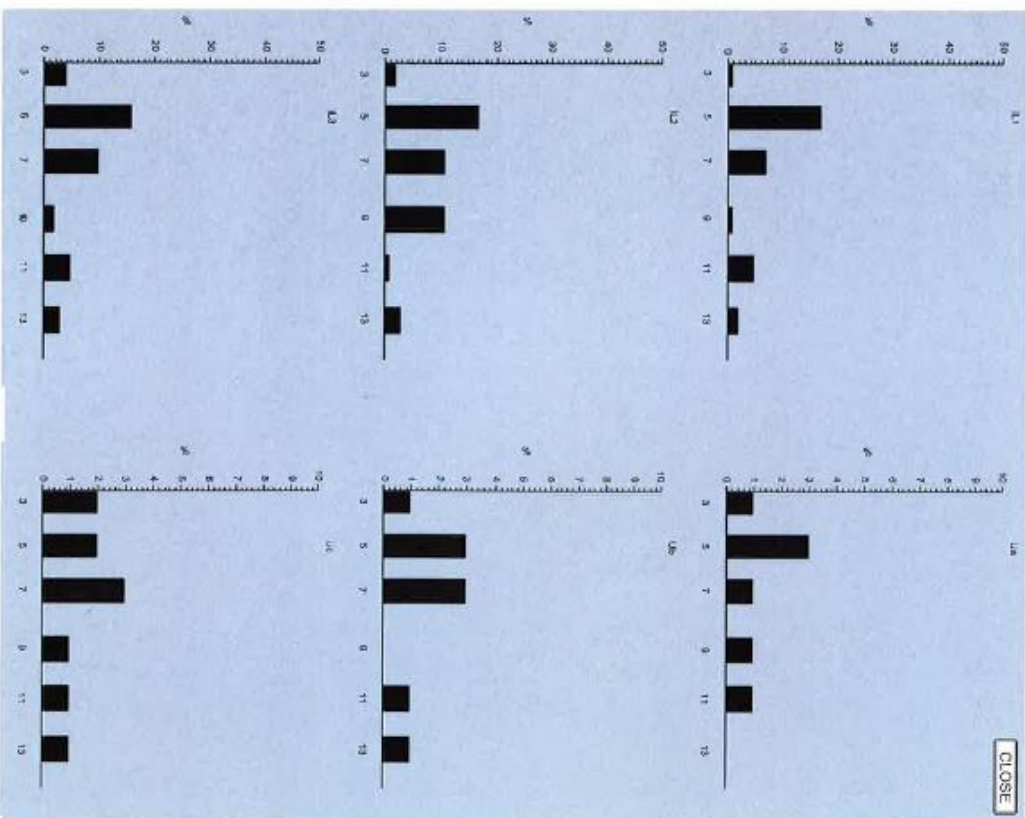
torstai, huhtikuu 07, 2011 14:34:34

VAP1 HARMONICS - C:\VALVOMO\SAHKOVERKKO.SR2



forstat, publikuu 07, 2011 14:32:48

VAP2 HARMONICS - C:\VALVOMO\SAHKOVERKKO.SR2



forstat, publikuu 07, 2011 14:33:04

