

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

Tutkintotyö

Timo Jyväsjärvi

Sähkön laatumittaukset

Työn valvoja

Martti Honkiniemi

Työn ohjaaja

Keuruun Sähkö Oy, Asennuspäällikkö Ari Fräntilä

Tampere 2007

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikka

Talotekniikka

Timo Jyväsjärvi

Sähkön laatumittaukset

Tutkintotyö

38 sivua, 6 liitettä

Työn valvoja

Martti Honkiniemi

Työn ohjaaja

Asennuspäällikkö Ari Fräntilä, Keuruun Sähkö Oy

Huhtikuu 2007

Avainsanat

Laatu, mittaus ja analysointi

TIIVISTELMÄ

Työssä tutkittiin jännitteen ominaisuuksia teollisuuskiinteistössä tekemällä voimassa olevaan standardiin perustuen jännitteen laatumittaukset asiakkaan sähköpääkeskuksessa. Virtamittauksilla pyrittiin selvittämään kiinteistön laitteistojen verkkoon aiheuttamat yliaaltosäröt. Tarkoituksena oli selvittää, aiheutuivatko tuotannon keskeytykset kiinteistön sähköjärjestelmästä ja millä toimenpiteillä häiriöitä voitaisiin välttää.

Mittaustulokset jännitteen osalta täyttivät *SFS- EN 50160* standardin laatuvaatimukset, mutta työtä tehtäessä heräsi kysymys siitä, sallivatko standardit liian suuret poikkeamat vaatimuksille. Sähkövirran vaikutusta jännitteen aaltomuotoon selvitettiin ohjeellisiin suosituksiin perustuen, mutta niitä kannattaa noudattaa harkiten aina tapauskohtaisesti.

Se, miten laatutekijöitä lähdetään kartoittamaan, onkin mielenkiintoinen seikka, sillä nykyään on käytävissä monipuolisia tietokoneohjelmia, joilla voidaan kuormitusta arvioida sekä muita tietokoneohjelmia, joilla voidaan ongelmia havainnollistaa teoriassa.

TAMPERE POLYTECHNIC

Electrical Engineering

Building Services Engineering

Timo Jyväsjarvi	The measurements of Power Quality
Engineering Thesis	38 pages, 6 appendix
Thesis Supervisor	Martti Honkiniemi
Work supervisor	Installion Chief Offer, Ari Fräntilä Keuruun Sähkö Oy
April 2007	
Keywords	Quality, measure, analysis

Abstract off the thesis

In this thesis looks at the voltage properties found in an industrial building , the clients main distribution board, by the method of checking the quality of the current and comparing them to the present industrial standards. The purpose for carrying out these current measurements was to determine the nature of the electrical field interference problems occurring in the grid, caused by the actual equipment in the building, and hence if this effected production and if possible how best to avoid them.

The measurement result recorded satisfied the *SFS- EN 50160* standard for the quality required in such cases, but this led to the question as to whether the standards were too broad in there scale and allowed to many abnormalities. The influence of electrical current to the waveshape of voltage was looked at based on the guide line recommendations, but they should be used with care on case by case basis.

How the quality control standards are compiled is a very interesting point of study, because of today's modern complex computer programmes offer the opportunity to eliminate the load and other programmes can be used to highlight any problems encounter in the theory.

ALKUSANAT

Mihin minä kykenen? Oma haluni tutkia omia kykyjäni, etsiä omia rajojani, näytön tarve itselleni, sekä elinikäisen oppimisen periaate ovat olleet suurimmat vaikutteet tähän työhön.

Keuruun Sähkö Oy:n edesmenneen toimitusjohtajan Jussi Jokelan myötävaikuttamisella sain mahdollisuuden toteuttaa itseäni, kiitokset hänelle siitä. Kiitokset työni valvojalle Martti Honkiniemelle ja ohjaaja Ari Fräntilälle, joiden asiantuntemuksen ja halukkuuden tehtäviin olen kokenut kannustavana. Veijo Jokisen luvalla sain suorittaa käytännön mittaukset kiinteistössä, kiitän häntä siitä ja toivon, että työstä on apua toiminnan harjoittamiselle.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
Abstract off the thesis	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
Lyhenteiden ja merkkien selitykset	6
1 JOHDANTO	8
2 JÄNNITTEET	10
2.1 Harmoniset yliaallot.....	11
2.2 Yliaaltovirtojen arvioiminen.....	15
2.3 Nopeat jännitteen muutokset.....	16
3 JOHDINJÄRJESTELMÄ.....	18
4 SÄHKÖTYÖTURVALLISUUS	19
5 MITTALAITE	20
6 MITTAUKSET	23
6.1 Laatumittaukset.....	23
6.2 Yliaaltovirrat	24
7 YLIAALTOVIRTOJEN RAJOITTAMINEN	30
8 PÄÄTELMÄT	35
LÄHDELUETTELO.....	37
LIITTEET	

1 Lyhyempiaikaisia mittaustuloksia

2 Yliaaltovirtamittaukset

3 / 1 (3) Sähkönlaadun mittaustulokset

4 / 1 (3) Sähkönlaadun mittaustulokset

5 / 1 (3) Sähkönlaadun mittaustulokset

6 Jännitekuopan ja välkynnän häiritsevyys indeksin mittaustulos

Lyhenteiden ja merkkien selitykset

V	jännitteen yksikkö
EMC	sähkömagneettinen yhteensopivuus
UPS	varavirtalaite, -laitteisto
TDH	jännitteen harmoninen kokonaissärö
U_n	nimellisjännite
n	perustajuuden monikerta
$u(t)$	jännitteen hetkellisarvo
\hat{u}	jännitteen huippuarvo
ω	kulmanopeus
U_0	jännitteen tasakomponentti
α	nollavaihekulma
I_r	referenssivirta
P	tehon tunnus
PCC	yhteiskytkentäpiste
S_k	syöttävän verkon näennäinen oikosulkuteho
U	pääjännite
Z	impedanssi
Hz	taajuuden yksikkö
P_{ST}	lyhytaikainen välkynnän häiritsevyysindeksi
Pit	pitkäaikainen välkynnän häiritsevyysindeksi
TN-S	maadoitustavan mukainen johdinjärjestelmä
KTM	kauppa- ja teollisuusministeriö
CAT	turvaluokitus (standardi)
RMS	jännitteen tehollisarvo
I	sähkövirran tunnus

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjarvi

\hat{i}	sähkövirran huippuarvo
kW	tehon yksikkö
I_k	oikosulkuvirta
H	induktanssin yksikkö
L	induktanssin tunnus

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

1 JOHDANTO

Työssä tutkittiin sähkön laatua mittaamalla jännitteen ja virran ominaisuuksia teollisuuskiinteistön sähköpääkeskuksessa. Kiinteistössä toimii metallialan yritys, jonka tuotantoon käytettävä laitekanta muodostuu teräksen muokkaamiseen käytettävistä koneista ja laitteista, kuten laserhitsaus- ja leikkauskoneista. Kiinteistön, jonka pinta-ala on 3900 m², omistaa Keuruun kehittämissyhtiö Keulink Oy.

Aihe lähti liikkeelle Keuruun Sähkö Oy:n toimitusjohtajan kanssa käydyistä keskusteluista, joissa mietittiin, olisiko tarvetta tutkia sähkön laatutekijöitä lähinnä sähkökäyttäjän näkökulmasta. Kun sitten tutkimuskohde lopulta löytyi, ilmeni, että asiakkaan suurimpana harmina ovat olleet lukuisat jännitekatkokset ja jännitekuopat, jotka aiheuttivat harmillisia tuotannon keskeytyksiä ja taloudellisia tappioita yrityksen toiminnassa. Toisaalta taas pelko siitä, että nykyteknologia ei kestä usein toistuvia tuotannon alasajoja, antoi aiheen tähän työhön.

Laser-hitsauskoneissa käytetään digitaalista pulssi-invertteritekniikkaa, ja sen käyttö metalliteollisuudessa on vielä varsin uutta, joskin kehitystyötä tehdään jatkuvasti. Teknologian käydessä yhä monimutkaisemmaksi se asettaa myös suurempia vaatimuksia jakelujännitteen ominaisuuksille.

Sähkön laadun arvostus sähkökäyttäjien näkökulmasta on kasvanut viime vuosina teknologian kehittyessä. Ilmaston muutoksen aiheuttamat lisääntyneet sähkökatkokset jakeluverkkotoiminnassa ovat osaltaan herättäneet sähkökäyttäjien kiinnostuksen sähköntoimintavarmuuteen. Sähkökatkokset eivät kuitenkaan kerro muuta kuin sen, että jännite on nolla ja valot eivät pala. Sähköntoimintavarmuus on kuluttajan kannalta tärkein tekijä, mutta tutkijan kannalta kiinnostavampia asioita ovat jännitteen käyrämuodon muutokset ja jännitevaihtelut, jotka yleensä aiheutuvat kuluttajien laitteista.

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

Verkonhaltijoilla on kuluttajan liittymispisteessä omat velvoitteet ja vastuut sähkönlaadusta, johon niiden on pyrittävä toimenpiteillään. Tässä yhteydessä niitä ei kuitenkaan kovin paljoa käsitellä.

Ei myöskään voida sivuuttaa *ST*-kortissa 95.60.04 sähkölaitteistoille määritellyjä huoltotoimenpiteitä ja huoltoajanjaksoja, joilla voidaan omalta osaltaan vaikuttaa häiriötekijöihin. Velvoittavilla tarkastuksilla, kuten käyttöönottotarkastuksilla, määräaikaistarkastuksilla sekä varmennustarkastuksilla pyritään turvaamaan, että sähkölaitteistot ovat turvallisia käyttää. Käytön turvallisuutta voidaan pitää myös yhtenä laatukriteerinä.

Työ painottui sähkönlaadunmittauksiin sekä lyhyempiaikaisiin muihin mittauksiin Keulink Oy:n omistaman kiinteistön sähköpääkeskuksessa sekä mittaustulosten analysointiin, että tulosten vertailuun voimassa oleviin standardeihin ja suosituksiin perustuen. Rakennusten sähkönlaatumittauksia suositellaan tehtäväksi kolmen vuoden määrävälein.

Tarkoituksena oli myös selvittää loistehon kompensoinnin toteuttamisen vaikutusta sähkön laatuun sekä mahdollisia muita tekijöitä, joilla häiriötä voidaan vähentää.

2 JÄNNITTEET

Pienjänniteverkoissa kolmivaihejärjestelmien pääjännite on nykyään 400 V vaihejohtimien väliltä mitattuna. Vaihejohtimen ja maajohtimen väliltä mitattuna jännite on 230 V. Pienjännitteellä tarkoitetaan normaalisti alle 1000 V:n vaihtojännitejärjestelmää tai alle 1500 V:n tasajännitejärjestelmää /7/.

Sähkönlaatua käsittelevä standardi *SFS-EN 50160* määrittelee raja-arvoja jännitteen ja muiden ominaisuuksien osalta pien- ja keskijänniteverkoissa. Standardissa ei määritellä yksityiskohtaisesti mittauslaitteelta vaadittavia ominaisuuksia eikä mittausmenetelmiä, vaan esitetään mitattavat suureet yleisesti ja annetaan niille raja-arvoja. Mittauksia käsitellään kansainvälisessä standardissa *EN 61000-4-30 Electromagnetic compability (EMC)* /10/.

Standardin *SFS-EN 50160* /8/ mukaan laatuksiteerit tulee täytyä kuluttajan liittämiskohdassa normaaleissa käyttöolosuhteissa. Standardissa mainitaan kuitenkin, että arvot tai rajat jotka on määritelty, oletetaan täyttyvän kuluttajan liittymispisteessä. Jännitteen laatuun vaikuttaa syöttävän verkon rakenne, sekä rakennusten omat sisäiset verkot ja niihin kytketyt laitteet.

Jännitteen on siis pysyttävän (taulukon 1) mukaisesti 95 prosenttisesti 207 -253 V:n välillä 10 minuutin keskiarvoista mitattuina viikon ajan, jolloin jännite täyttää standardin sille asettamat vaatimukset. Keskeytyksiä ei lueta tähän mukaan, niitä käsitellään muun muassa jakeluverkkoyhtiöiden verkkopalveluehdoissa.

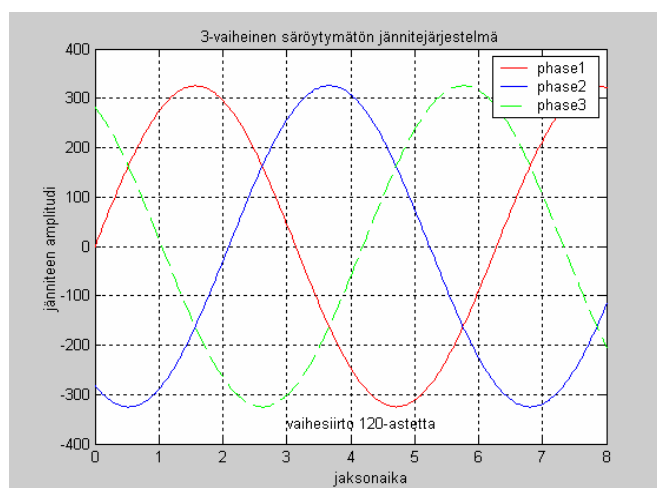
Taulukko 1 Jännitteen laatuksiteerit standardin

SFS-EN 50160 mukaan / 8/.

Standardilaatu	95 % välillä $\pm Un$ 10 %
Mittaus	10 min jaksoina viikon ajan
Hyvä laatu	$Un \pm 4$ % ja keskiarvo $Un \pm 2,5$ %
Normaalilaatu	$Un \pm 10$ %

2.1 Harmoniset yliaallot

Normaalitilanteessa vaihtojännitteiden ja -virtojen käyrämuodot ovat puhtaasti sinimuotoisia (kuva 1). Käytännössä jännitteiden ja -virtojen aaltomuodot poikkeavat puhtaasta siniaallosta välkynnän, yliaaltojen ja signaalijännitteiden johdosta.



Kuva 1 Kolmivaiheisen jännitejärjestelmän aaltomuodot

Kun käyrämuodot poikkeavat siniaallon muodosta on verkko säröytynyt ja puhutaan harmonisten tai epäharmonisten yliaaltojen aiheuttamasta jännite- tai virtasäröstä. Epälineaarinen kuormitus ottaa verkosta myös samanmuotoisen tehon. Harmoniset yliaallot ja verkon säröytyminen ovat kasvava ongelma teknologian kehittyessä ja ne ovat todellinen haaste tulevaisuudessa niin sähkölaite- kuin jakeluverkon suunnittelijoille.

Harmonisia ja -epäharmonisia yliaaltoja verkkoon aiheuttavat kotitalouksissa erilaiset viihde-elektroniikan laitteet ja tietokoneet. Teollisuudessa taajuusmuuttajat ja sähkömoottorit ja erilaiset tasasuuntaustekniikkaa käyttävät laitteet aiheuttavat yliaaltoja verkkoon /1/.

Muita yliaalloja aiheuttavia tekijöitä ovat *UPS*- ja hitsauslaitteet, purkauslamput, loisteputkivalaisimet, hakkuriteholähteet ja valokaariuunit /1/.

Standardin *SFS-EN 50160 / 8/* mukaan jännitteen yliaalloille on annettu (taulukon 2) mukaisia arvoja. Harmonisen yliaaltojännitteen tehollisarvon tulee siis olla 10 minuutin keskiarvoista laskettuna viikon aikana 95 %:sti (taulukon 2) mukaisissa rajoissa. Harmoninen kokonaissärö *TDH* (total harmonic distortion) saa olla enintään 8 %.

Häiriötekijöitä tutkittaessa olisi tärkeää myös kiinnittää enemmän huomiota virran laatuun, sillä tämä helpottaisi vikojen paikallistamista.

Taulukko 2 Harmonisten yliaaltojännitteiden arvot standardin *SFS-EN 50160* mukaan / 8/.

Parittomat yliaallot kolmella jaottomat		Parittomat yliaallot kolmella jaolliset		Parilliset yliaallot	
Järjestys- luku n	Yliaalto- jännite %	Järjestys- luku n	Yliaalto- jännite %	Järjestys- luku n	Yliaalto- jännite %
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				
Kokonaissäröteho TDH 8 %					

Siniaallon signaalia voidaan tutkia Fourier'n analyysin avulla summaamalla jännitteen tasakomponenttiin ja perustaajuiseen komponenttiin harmonisia yliaalloja seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \hat{u} \sin(n\omega t + \alpha_n), \quad (1)$$

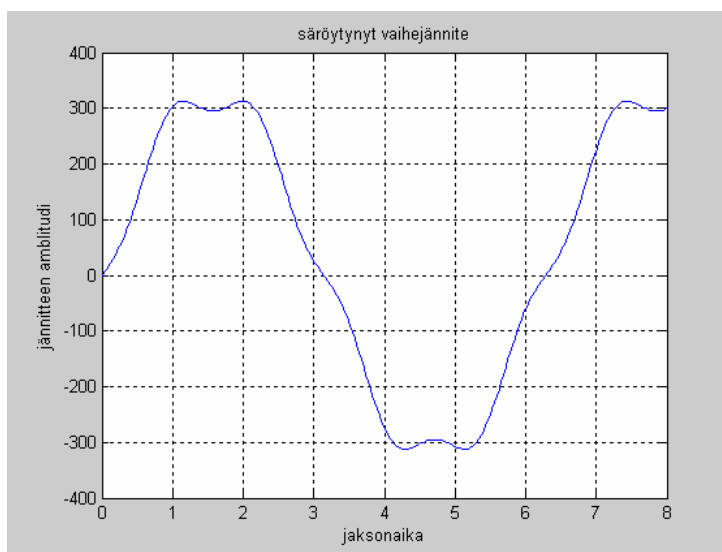
Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

missä

 n = kokonaisluku, tarkoittaa perustaajuuden monikertaa t = aika ω = kulmanopeus U_0 = jännitteen tasakomponentti \hat{u} = jännitteen huippuarvo α_n = n:nnen yliaallon nollavaihekulma

Kuvassa 2 on yhtälön 1 mukaisesti laskettu viidennen yliaallon aiheuttama poikkeama puhtaaseen siniaaltoon, jännitteen käyrämuoto on säröytynyt 7,6 % ja ylittää näin standardin salliman 6 %:n rajan viidennelle yliaaltokomponentille.



Kuva 2 Säröytyneen jännitteen käyrämuoto

Yliaaltovirrat ja -jännitteet aiheuttavat ylimääräisen tehokomponentin verkkoon. Verkkoanalysointilla saadaan yleensä selville jännitteen ja virran tehollisarvo suhteessa perustaajuiseen komponenttiin.

Siniaallon signaali säröytyy siis suurempien taajuuskomponenttien vaikutuksesta. Yliaaltojännitteiden merkitys on vähäinen 13. järjestysluvun jälkeen, kuten (taulukosta 2) havaitaan, eikä niillä ole laskelmissa suurta merkitystä.

Yliaaltovirroille suosituksia annetaan Yliaallot ja Kompensointi teoksessa /1/. Toisaalta Eurooppalainen IEC/EN 61000 - 3-12 standardi määrittelee jo raja-arvoja kiinteistöissä käytettäville laitteille, joiden nimellinen syöttövirta on 16 - 75 ampeeria vaihetta kohti. Standardi koskee laitteita, jotka aiheuttavat harmonisia yliaaltovirtoja verkkoon ja kaikkien uusien laitteiden on täytettävä nämä vaatimukset helmikuuhun 2008 mennessä /14/.

Virtayliaallot ovat sähkölaitteiston rakenteesta johtuvia yliaaltoja. Yliaallot aiheuttavat muuntajien kuormitushäviötä ja nollajohdon ylimääräistä rasiitusta. Kuormitushäviöt aiheuttavat myös ylimääräisiä kustannustekijöitä, tarvitaan vahvempia kaapeleita ja suurempia muuntajia ja toisaalta oikein toteutettuja kompensointiratkaisuja. Vastuu sähkön laadusta, johon vaikuttavat verkossa esiintyvät jännitteen käyrämuodon muutokset ja yliaaltojännitteet kuuluvat sähkömarkkinalain mukaan verkkoyhtiöille /1/.

Sallitut yliaaltovirrat (taulukko 3) lasketaan referenssivirrasta, pääsulakkeen nimellisvirran mukaan tai tehopohjaisessa liittymässä pätötehosta lasketusta virrasta seuraavasti:

$$I_{ref} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n} , \quad (2)$$

missä

I_r = referenssivirta

P = liittymän pätöteho

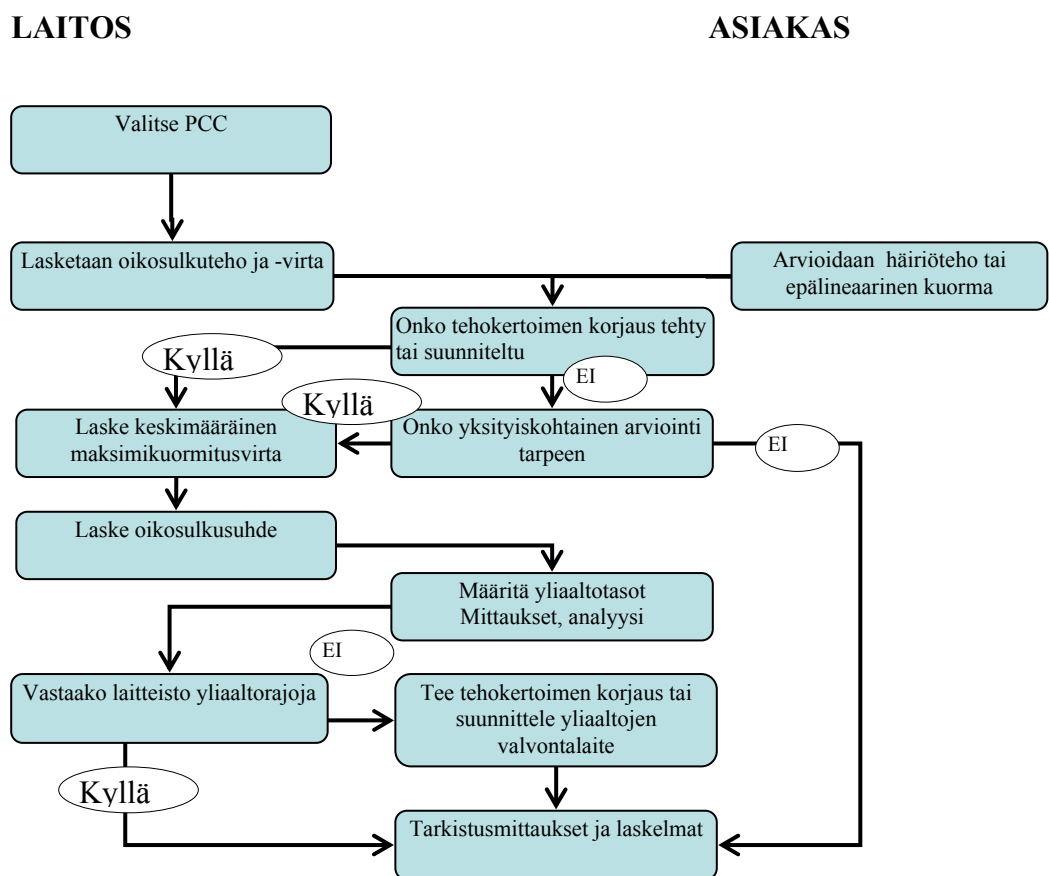
U_n = verkon nimellisjännite

Taulukko 3 Sallitut yliaaltovirrat /1/.

Referenssivirta	Suositeltava Raja	
≤ 25 A	Saa käyttää laitestandardien mukaisia laitteita	
> 25 A - 200 A	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla 10 % referenssivirrasta	
> 200 A	Virran harmoninen kokonaissärö saa olla 8 % referenssivirrasta	
Yksittäisten yliaaltojen osalta	Järjestysluku n	Sallittu arvo referenssivirrasta
	>11	7,0 %
	11-16	3,5 %
	17-22	2,5 %
	23-34	1,0 %

2.2 Yliaaltovirtojen arvioiminen

Yliaaltojen arvioiminen aloitetaan määrittelemällä yhteiskytkentäpiste *PCC* eli kytkentäpiste, johon on kytketty epälineaarista kuormaa sekä mahdollista muuta kuormaa samaan pisteeseen. Epälineaarista kuormitusta, ja niiden päästöjä voidaan arvioida tutustumalla käytettäviin laitteistoihin ja niiden rakenteisiin. Kuvassa 3 esitetään yleissäännöt prosessista, kuinka yliaaltojen arvioiminen voidaan suorittaa ja onko tarkempiin mittauksiin ja laskelmiin tarvetta.



Kuva 3 Yliaaltosärön arvioiminen /5/.

Oikosulkuvirta liittymispisteessä saadaan paikalliselta jakeluverkkoyhtiöltä, oikosulkuvirran avulla voidaan tunnetusti laskea verkon oikosulkuteho seuraavasti.

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

$$S_k = \frac{cU^2}{Z_k}, \quad (3)$$

missä

 S_k = syöttävän verkon näennäinen oikosulkuteho U = syöttävän verkon pääjännite Z_k = syöttävän verkon impedanssi c = jännitekerroin

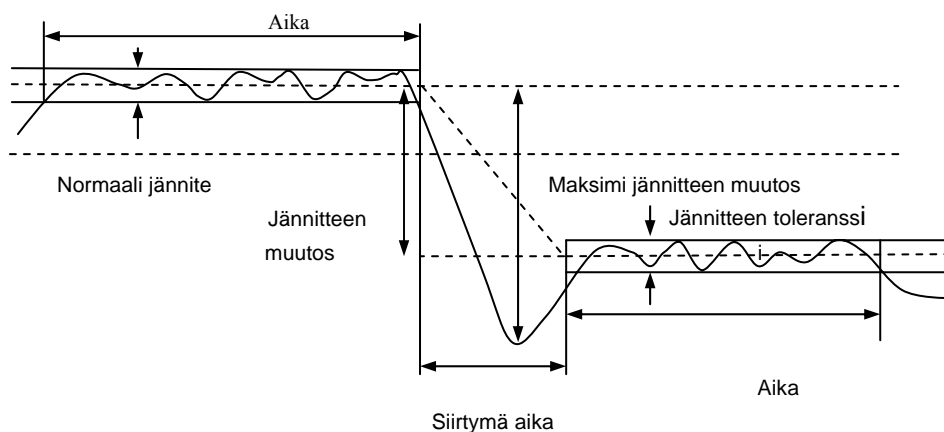
Oikosulkuteho sinällään jo kertoo, kuinka hyvin jakeluverkko suodattaa haitallisia yliaaltoja. Oikosulkuvirran ja kokonaiskuormitussuhteen perusteella asiakkaille määritellään suurimmat sallitut yliaaltopäästöt.

2.3 Nopeat jännitteen muutokset

Nopeilla jännitteenmuutoksilla tarkoitetaan jännitteiden tehollisarvojen nopeaa muutosta vakaiden arvojen välillä kuva. Muutos mitataan nimellisjännitteestä $\pm 5\%$:a ja muutos aika on yleensä millisekuntien luokkaa. Kuormituksen tai tuotannon nopeat muutokset tai verkossa tehtävät kytkennät aiheuttavat jännitetason muutoksia. Ilmastolliset ylijännitteet, kuten salamaniskut indusoituessaan sähkölinjoihin aiheuttavat myös jännitevaihteluita. Talvella lumen kerääntyminen voimalinjoihin saattaa aiheuttaa läpilyöntejä, jotka kuormittavat verkkoa vain sen verran, että suojaukset eivät laukea ja seurauksena on jännitetason muutos. Usein ja toistuvasti esiintyviä jännitemuutoksia nimitetään välkynnäksi.

Välkkyminen havaitaan valojen vilkkumisena. Vilkkuminen aiheuttaa luminanssi ja värieroja erilaisille pinnoille ja nämä muutokset ihmissilmä havaitsee kokien ne häiritsevänä. Toimistotyössä näyttöpäätteen ja valonvärinän yhteisvaikutus aiheuttaa silmien rasitusta, ja tämän seurauksena saattaa esiintyä päänsärkyä ja pahoinvointia. On todettu, että vaikka ihmissilmä ei välkkymistä erottaisikaan, niin aivot havaitsevat

värinän jopa 1000 Hz:iin saakka. Aivoihin vaikuttava näkymätön loisteputkivalaisimista aiheutuva häirintä aiheuttaa stressiä ja työvirheitä /12/. Jännitetason suuruuden vaihtelu, sekä jännitetason muutoksen kestoaika vaikuttaa siihen, kuinka häiritsevänä ihmiset välkynnän kokevat.



Kuva 4 Nopean jännitemuutoksen periaate /2/.

Standardi *SFS-EN 50 160* /8/ määrittelee nopeille jännitteenmuutoksille (taulukon 4), mukaiset arvot. Mittausajan pituutena suositellaan viikkoa kymmenen minuutin jaksoissa. Mitä pienempi välkynnän häiritsevyyssindeksin arvo on, sitä pienempi jännitetason vaihtelu on. Jännitetason epästabiilisuus on nykypäivän ongelma, sillä herkäät laitteet, kuten tietokoneet, sekä muut elektroniikkaa sisältävät laitteet ovat vaurioherkkiä nopeille jännitevaihteluille.

Taulukko 4: Välkynnän häiritsevyyssindeksin raja-arvot /8/.

Hyvä laatu	$P_{st,3 \max} \leq 1, P_{it \max} \leq 0,74$
Normaali laatu	$P_{it}, \max \leq 1$
Standardi laatu	95 % mitatuista P_{it} -arvoista $\leq 0,74$
Laskenta	$P_{it} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^2}{12}}$ <p>P_{st} = lyhytaikainen häiritsevyyssindeksi. Mitataan kymmenen minuutin aikaväleihin. P_{it} = Pitkäaikainen häiritsevyyssindeksi</p>

3 JOHDINJÄRJESTELMÄ

Nykyään kiinteistöjen sähköasennukset rakennetaan maadoitustavan mukaan viidellä johtimella. Järjestelmässä on kolme vaihejohtinta, nollajohdin ja erillinen suojajohdin, eli *TN-S*- järjestelmän mukaisesti. *TN-S*- järjestelmällä pyritään torjumaan sähkö- ja magneettikenttien sekä sähkömagneettisten aaltojen aiheuttamat häiriöt. Laittevalinnoilla voidaan vaikuttaa sähkömagneettisiin häiriöihin rakennuksissa., mutta tehokkain keino on rakentaa laitteisto *TN-S* -järjestelmän mukaisesti, jolla pyritään siihen, että nollajohtimessa esiintyvä virta ei pääse kytkeytymään maadoituksiin, jolloin magneettikentät pienenevät. Tästä syystä maadoitusten tekniseen toteutukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota, eli järjestelmässä ei saa olla ylimääräisiä maadoituksia /3/.

Standardi *SFS 6000* antaa sähkölaitteiden valintaan ja sijoitteluun ohjeita, joilla pyritään ehkäisemään sähkömagneettisten häiriöiden vaikutusta.

Rakennuksiin sisään tulevat metalliputket ja kaapelit kannattaa tuoda samaa reittiä. Metalliputkien yhdistäminen samaan potentiaalijärjestelmään pienentää jännite-eroja. Mikäli eri potentiaalintasausjärjestelmiin kuuluvien laitteiden välille rakennetaan esimerkiksi tiedonsiirtoyhteyksiä, tulisi eri alueiden välillä käyttää metallittomia valokaapeleita tai muita ei-johtavia järjestelmiä. /3, s.149/.

Tehokaapelit ja tietoliikennekaapelit kannattaa sijoittaa riittävän etäälle toisistaan eri järjestelmissä, tosin etäisyysvaikutus riippuu monista tekijöistä, kuten kaapeleiden tyypeistä, kaapeleiden kyvystä vaimentaa häiriöitä, johtoteiden rakenteista, sekä muista seikoista, joita on lueteltu Käsikirja rakennusten sähköasennuksista teoksessa /3/. Tiedonsiirtokaapeleiden etäisyysvaatimuksena pidetään 0,3 m vahvavirtakaapeleista. Koaksiaalikaapelin hyvä häiriönsietokyky ulkopuoliselta sähkömagneettiselta häiriöltä pienentää

tietoliikenneverkon ongelmia. Tiedonsiirtoverkon ja vahvavirtaverkon kaapeloinnin oikein toteutetulla risteilyllä, eli risteilyt tehdään siten, että tiedonsiirtokaapelit ja vahvavirtakaapelit kohtaavat toisensa 90 asteen kulmassa vähennetään myös ongelmia.

4 SÄHKÖTYÖTURVALLISUUS

Työssä suoritettiin mittauksia teollisuuskiinteistössä, jossa oikosulkuvirran arvoksi liittymispisteessä on saatu 1,9 kA, jolloin oikosulkuvirran ja valokaaren vaara on erityisen suuri. Sähkötyöturvallisuusasioita käsitellään *KTM:n* päätöksessä 516 luvussa 4a, sekä *SFS 6002* standardissa.

KTM:n päätös 516 4a 29 b § /9/:

Ennen kuin sähköalan työ sähkölaitteiston läheisyydessä aloitetaan, on selvitettävä luotettavasti sähkölaitteiston rakenne, arvioitava vaaratekijät ja ryhdyttävä sähkötyöturvallisuuden kannalta tarvittaviin toimenpiteisiin. Sähköalan töissä on noudatettava vakiintuneita, turvallisiksi todettuja työmenetelmiä. Jos, työ kuitenkin suoritetaan poikkeuksellisella tai uudella menetelmällä, menetelmään liittyvät vaaratekijät on arvioitava ja otettava huomioon.

Työturvallisuuslain § 10 velvoittaa etukäteen tunnistamaan haitta- ja vaaratekijät /9/. Tunnistamisesta ei ole mitään hyötyä, jos ei myös työskennellä turvallisesti. Martti Hallamäki on toiminut kunnossapitosähköteknikkona ja on kouluttanut sähkötyöturvallisuutta 80-luvun alusta lähtien. Hallamäki kirjoittaa Martin teesit sähkötyöturvallisuudesta raportissaan /11/ työturvallisuuslain 11 §:stä, jossa käsitellään erityistä vaaraa aiheuttavia töitä, mm. seuraavaa:

” Veikkaanpa että koestukset, käyttöönotot, vianetsinnät ja sen tyyppiset työt, jolloin järjestelmissä on oltava jännitteet päällä, ovat erityistä vaaraa aiheuttavia.” /11/.

Sähkötyöturvallisuusasioita ei voida koskaan väheksyä kun tunnetaan virta-aikavaikutukset ihmiskehoon sähkötapaturman sattuessa. Reaktiorajana riippumatta virran vaikutusajasta, joka aiheuttaa ihmiselle tahdosta riippumattomia lihasliikkeitä pidetään 0,5 mA vaihtovirtaa, sekä 0,2 mA tasavirtaa /3/.

5 MITTALAITE

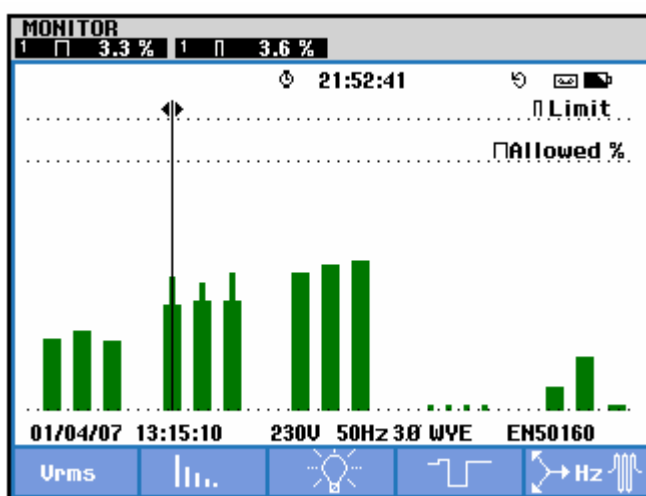
Mittaukset suoritettiin Fluken sähkönlaadun kolmivaiheisella 435 analysaattorilla. Analysaattorilla on mahdollista tehdä erittäin paljon ja suurella tarkkuudella erilaisia mittauksia sähkön laadun toteamiseksi.

Turvaluokituksina Fluke ilmoittaa 435-analysaattorille *CAT III* 1000 V:n jännitteellä ja *CAT IV* 600 V:n jännitteellä.

Erikoisuutena ja erittäin mielenkiintoinen toiminto Fluke 435:ssä on sen sisältämä logger, eli tiedonkeruutoiminto. Laite voidaan kytkeä *pc:n* *USB*-porttiin optisella liitäntäkaapelilla, jolloin mittauksia voidaan tarkastella tietokoneen näytöltä samanaikaisesti laitteen tallentaessa dataa koneen muistiin.

Sähkönlaadunmittaukset suoritetaan monitor -toiminnon avulla (kuva 5).

Mittausajanjakso on yleensä viikko.



Kuva 5 Sähkön laadunmittauksen päänäyttö

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

Kaikille kolmelle vaiheelle on oma pylväsnäyttö jännitteen tehollisarvojen, harmonisten yliaaltojännitteiden sekä välkynnän osalta. Asettamalla kursori pylvään päälle nähdään ylhäältä mitta-arvo. Esimerkiksi (kuvassa 5) kursori on asetettu vaiheen 1 kohdalle, jolloin ylhäältä voidaan lukea jännitteen yliaaltosäro. Analysaattori mittaa jatkuvasti jännitteen hetkellistä *RMS*- arvoa ja laskee näistä arvoista 10 minuutin keskiarvoa /2/.

Muut suureet näytössä ovat jännitekuopat -katkokset, nopeat jännitemuutokset, kohoumat, taajuus ja epäsymmetria, joilla kaikilla on yksi pylväs kutakin mitattavaa suuretta kohden. Pylväät näyttävät näiden suureiden osalta kaikkien kolmen vaiheen tapahtumat.

Fluke 435 sisältää seuraavat mittaustoiminnot:

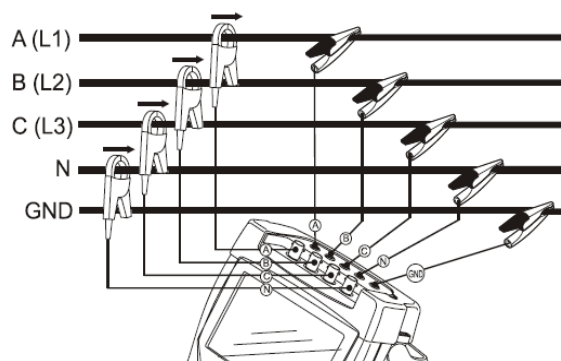
- vaihekohtaiset jännitteet (Phase Voltages)
- vaihekohtaiset virrat (Phase currents)
- teho ja energia (Power & Energy)
- huippukerroin (Crest Factor)
- harmoniset yliaallot (Harmonics)
- välkyntä (Flicker)
- kuopat ja kohoumat (Dips & Swells)
- taajuus (Frequency)
- epäsymmetria (Unbalance)
- verkon signaalijännitteet (Mains Signaling)
- loggeri (tiedonkeruutoiminto)
- sähkön laadunseuranta (monitor)

Analysaattori kytketään verkkoon alla olevan (kuvan 6) mukaisesti.

Huomioidaan virran kulkusuunta.

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi



Kuva 6 Analysaattorin kytkentäperiaate /2/.



Kuva 7 Analysaattori kytkettynä keskukseen

Mittauksissa on huomioitava seuraavat seikat:

- Noudatetaan valmistajan antamia ohjeita mittalaitteen käytössä.
- Varmistetaan, että mittalaite on käyttötarkoitukseen ja käyttökohteeseen sopiva.

- Kytkennät tulee tehdä pääsääntöisesti jännitteettömään laitokseen aina kun se on mahdollista.
- Tutustutaan laitteistoon sekä piirustuksiin etukäteen ja suunnitellaan työ huolellisesti arvioiden vaaratilanteet etukäteen.
- Vältetään yksintyöskentelyä, noudatetaan jännitetyöohjeita, käytetään jännitetyöhön vaadittavia suojavaatteita.
- Kytetään ensin virtapihdit vaihejohtimien ja nolajohtimen ympärille.
- Jännitejohtimet aloitetaan kytkemällä ensin maajohdin ja sen jälkeen vaihejohtimet.
- Varmistetaan, että virtapihdit ovat täysin sulkeutuneet johtimien ympärille.
- Suorittaessa pitempiäaikaisia mittauksia, jolloin valvontaa mittauspaikalla ei ole, on huolehdittava, ettei mittauksista aiheudu vaaraa ulkopuolisille.
- Pitempiäaikaisissa mittauksissa varmistetaan mittalaitteen sähkönsyöttö akuston riittävän varaustilan ylläpitämiseksi.

6 MITTAUKSET

Mittauspaikka valitaan sen mukaan, tarkastellaanko ongelmia kiinteistön vai jakeluverkon näkökulman kannalta. Jos epäillään ongelmien aiheutuvan kiinteistössä käytettävistä laitteista, mittaukset kannattaa suorittaa nousukeskuksesta. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, sillä ongelmalaitteita syötetään usein suoraan pääkeskuksesta. Ongelma aiheutuu mitattavasta järjestelmästä jos jännite laskee virran kasvaessa. Jos kuorman jännite ja virta putoavat molemmat yhtä aikaa, vika on jakeluverkon puolella.

6.1 Laatumittaukset

Jännitteen ominaisuuksia mitattiin kiinteistön pääkeskuksessa 9.1 – 16.1 2007 välisellä ajanjaksolla. Standardin *SFS-EN 50160* mukaan /8/ RMS- jännitteet,

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

harmoniset yliaaltojännitteet, välkynnän pitkäaikainen häiritsevyysindeksi, jännitteen epätasapaino sekä taajuus pysyivät sallituissa rajoissa.

Jännitekuopille standardi *SFS-EN 50160 /8/* ei aseta rajoja, mutta niiden mittaaminen ja havaitut esiintymistiheydet indikoivat suurista kytkentävirtasysäyksistä, jotka aiheutuvat suuritehoisten laitteiden kytkeytymisestä verkkoon. Toisaalta jakeluverkon puoleiset viat aiheuttavat myös jännitekuoppia. Mittauksissa todettiin yksi 31 ms:n kestoinen jännitekuoppa vaiheessa 2 sekä myöhemmin saman päivän aikana pitkäaikaisen välkynnän häiritsevyysindeksin nousu arvoon 0,94 samassa vaiheessa.

6.2 Yliaaltovirrat

Harmonisten yliaaltovirtojen osalta mittaaminen on teknisesti hieman hankala ja työläs toteuttaa Fluken 435 analysaattorilla, mutta sen tulisi perustua *SFS-EN 50160* standardin /8/ mukaisesti noudattaen jännitteen yliaaltomittausmenetelmää.

Mittausajankohdaksi valittiin ajankohta, jolloin kiinteistön kuormitus vastasi normaalia tuotantoon käytettävää kulutusta. Tarkastellaan liitteen 1 mukaisesti vaiheen L 3 mitattujen yliaaltovirtojen vaikutusta pääjännitteen säröytymiseen.

Virran perusaalto voidaan laskea seuraavasti:

$$I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}, \quad (4)$$

missä

I = sähkövirran tehollisarvo

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

 \hat{i} = sähkövirran huippuarvo

$\sqrt{2}$ = huippukerroin, joka tarkoittaa suurinta sallittua poikkeamaa tehollisarvosta, eli jos kerroin on yli 1,41 se tarkoittaa, että säröä esiintyy jännitteessä.

Liitteestä 1 kuvasta 3 saadaan vaiheen L 3 virran huippuarvoksi 324 A, sähkövirran perusaalloksi saadaan kaavan 4 mukaisesti:

$$I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} = \frac{324 \text{ A}}{\sqrt{2}} = 229,1 \text{ A}$$

Yliaaltovirtoja mitattiin liitteen 1 mukaan seuraavasti:

$$I_5 = 7,6 \%$$

$$I_7 = 5,6 \%$$

$$I_9 = 0,7 \%$$

$$I_{11} = 2,5 \%$$

$$I_{13} = 0,5 \%$$

Sähkövirran alaindeksit 5,7,9,11 ja 13 ovat perustaajuuden monikertoja, perustaajuus on Suomessa 50 Hz, joten laskennassa käytetyt yliaaltotaajuudet ovat 250, 350, 450, 550 ja 650 Hz. Parittomat yliaallot ovat positiivisia ja parilliset negatiivisia. Positiivinen kiertosuunta tarkoittaa, että ne pyrkivät pyörittämään moottoreita nopeammin ja negatiivinen kiertosuunta hitaammin kuin perustaajuus.

Yliaaltovirtojen tehollisarvot ovat siten seuraavat:

$$I_5 = 0,076 \cdot 229,1 \text{ A} = 17,4 \text{ A}$$

$$I_7 = 0,056 \cdot 229,1 \text{ A} = 12,4 \text{ A}$$

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

$$I_9 = 0,007 \cdot 229,1 \text{ A} = 1,6 \text{ A}$$

$$I_{11} = 0,025 \cdot 229,1 \text{ A} = 5,7 \text{ A}$$

$$I_{13} = 0,005 \cdot 229,1 \text{ A} = 1,1 \text{ A}$$

Tutkimuskohteen tilaus- eli pätöteho on 277 kW:a, tämä sijoitettuna (kaavaan 2) saadaan referenssivirraksi:

$$I_{ref} = \frac{277 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}} = 253 \text{ A}$$

Sallitut yliaaltovirrat ovat siten:

$$I_5 = 0,07 \cdot 253 \text{ A} = 17,7 \text{ A}$$

$$I_7 = 0,07 \cdot 253 \text{ A} = 17,7 \text{ A}$$

$$I_9 = 0,07 \cdot 253 \text{ A} = 17,7 \text{ A}$$

$$I_{11} = 0,035 \cdot 253 \text{ A} = 8,9 \text{ A}$$

$$I_{13} = 0,035 \cdot 253 \text{ A} = 8,9 \text{ A}$$

Pienimmäksi oikosulkuvirran arvoksi pääkeskuksessa on mitattu 1,9 kA./10. Tämän avulla lasketaan oikosulkuimpedanssi liittymispisteessä seuraavasti:

$$I_k = \frac{0,95 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_n} \quad , \quad (5)$$

missä

I_k = oikosulkuvirta pääkeskuksessa

0,95 = jännitteenalenemakerroin

U = pääjännite (V)

Z_n = oikosulkuimpedanssi

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

$$I_k = \frac{0,95 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_n} = 1900 \text{ A} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot Z_n} \rightarrow Z_n = 0,1155 \Omega$$

Jännitteen ja virran taajuutta kasvattamalla saadaan yliaaltotaajuuksille seuraavat ohmiarvot:

$$Z_5 = 5 \cdot Z_n = 5 \cdot 0,1155 = 0,576 \Omega$$

$$Z_7 = 7 \cdot Z_n = 7 \cdot 0,1155 = 0,809 \Omega$$

$$Z_9 = 9 \cdot Z_n = 9 \cdot 0,1155 = 1,039 \Omega$$

$$Z_{11} = 11 \cdot Z_n = 11 \cdot 0,1155 = 1,270 \Omega$$

$$Z_{13} = 13 \cdot Z_n = 13 \cdot 0,1155 = 1,502 \Omega$$

Pääkeskuksen kiskostoon aiheutuu yliaaltovirroista seuraavat yliaaltojännitteet:

$$U_5 = I_5 \cdot Z_5 = 17,4 \cdot 0,576 = 10,00 \text{ V}$$

$$U_7 = I_7 \cdot Z_7 = 12,8 \cdot 0,809 = 10,35 \text{ V}$$

$$U_9 = I_9 \cdot Z_9 = 1,6 \cdot 1,039 = 1,66 \text{ V}$$

$$U_{11} = I_{11} \cdot Z_{11} = 5,7 \cdot 1,270 = 7,23 \text{ V}$$

$$U_{13} = I_{13} \cdot Z_{13} = 1,1 \cdot 1,502 = 1,65 \text{ V}$$

Pääjännitteen kokonaissäröprosentilla TDH (total harmonic distortion) kuvataan yliaaltojen määrää suhteessa jännitteen tehollisarvoon $TDH-R$ ja on siten laskettavissa seuraavasti:

$$TDH - R \% = \sqrt{\left(\frac{\sum_{n=2}^{\infty} U_h^2}{U_1^2} \right)} \cdot 100\%, \quad (6)$$

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

missä

U_l = perustaaajuksen jännitteen tehollisarvo

U_h = kyseessä olevan yliaaltojännitteen tehollisarvo

Pääjännitteen säröprosentti olisi siten:

$$TDH - R \% = \sqrt{\frac{10^2 + 10,4^2 + 1,7^2 + 7,2^2 + 1,7^2}{400^2}} \cdot 100\% = 4,1\%$$

Tässä laskentamenetelmässä on huomioitava referenssivirran näytteenottoajanhetki. Liitteen 1 kuvasta 5 saadaan referenssivirran arvoksi 241 A. Kiskostoon aiheutuvat yliaaltojännitteet olisi, siten edellä lasketulla tavalla seuraavat:

$$U_5 = 10,5 \text{ V}, U_7 = 10,9 \text{ V}, U_9 = 3,1 \text{ V}, U_{11} = 7,6 \text{ V} \text{ ja } U_{13} = 2,2 \text{ V}$$

Nämä jännitteet sijoitettuna kaavaan 2 saadaan pääjännitteen säröprosentiksi 4.3 %.

Liitteestä 2 kymmenestä mitatusta arvosta näille taajuuksille referenssivirran arvolla 229,1 A laskettuna saadaan pääjännitteen säröksi 4,0 %.

Kokonaissäröteho TDH pysyi siis sallituissa rajoissa, joka on siis (taulukon 3) mukaan 8 %. Tämä on kuitenkin aivan liian paljon sillä, ongelmia saattaa esiintyä jo 3 %:n jännitesäröllä./1, s.21/.

Laskelmista voidaan päätellä myös, että mitä suurempi oikosulkuimpedanssi liittymän luona saavutetaan, sitä pienemmäksi yliaaltorasitus kiskostoon muodostuu. Toisin sanoen tarpeeksi jäykkä siirtoverkko suodattaisi pois yliaaltojännitteet.

Talotekniikan koulutusohjelma

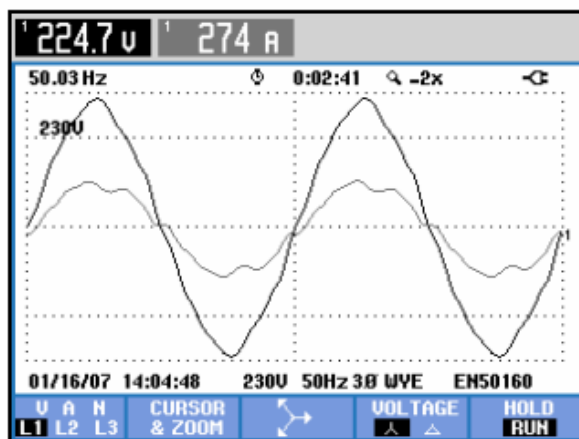
Timo Jyväsjärvi

Kuvista 8 – 10 nähdään jokaisen vaiheen jännitteiden ja virtojen aaltomuodot.

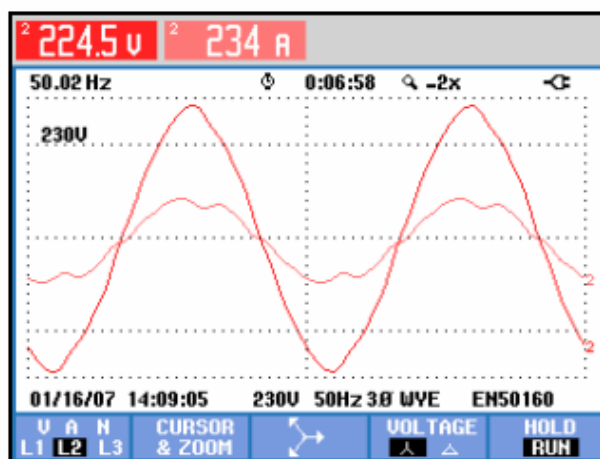
Virran säröä mitattiin satunnaisesti kymmenen kertaa yhden päivän aikana.

Näistä arvoista saatiin keskiarvo liitteen 2 mukaan jokaiselle kolmelle vaiheelle seuraavasti:

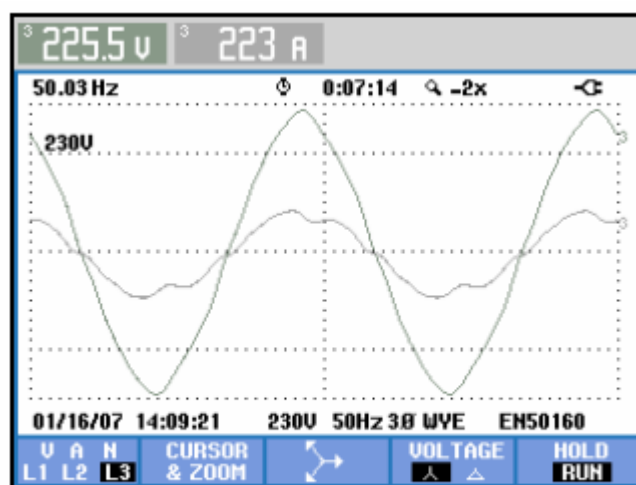
L 1 9,0 %, L 2 10,3 % ja L 3 10,4 %.



Kuva 8 : Vaiheen 1 jännitteen ja virran aaltomuoto



Kuva 9 : Vaiheen 2 Jännitteen ja virran aaltomuoto



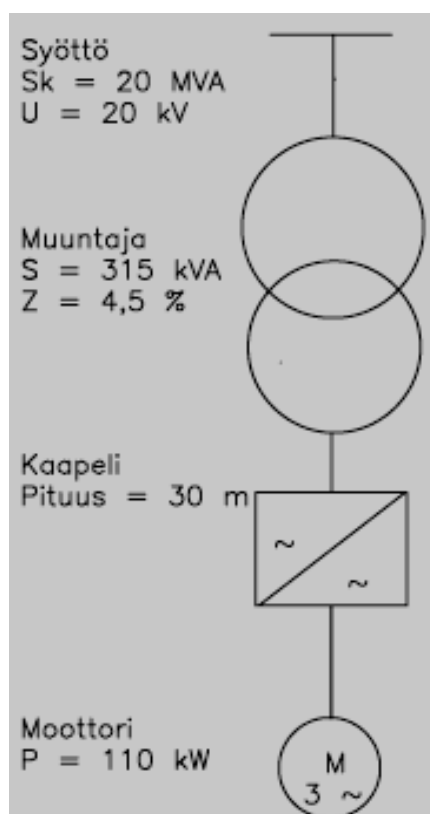
Kuva 10 : Vaiheen 3 jännitteen ja virran aaltomuoto

Kuvista nähdään että virran yliaaltokomponentit ovat selvästi suurempia kuin jännitteen vastaavat. Tämä johtuu siitä että jänniteyliaallot ovat syöttöimpedansseilla kerrottuja virtayliaaltoja.

7 YLIAALTOVIRTOJEN RAJOITTAMINEN

Seuraavassa on esimerkki siitä, miten 110 kW:n taajuusohjattu vaihtovirtamoottori aiheuttaa yliaaltoja tutkimuksen kohteena olevaan verkkoon. HT – Lasertekniikan kiinteistön 20 kV:n verkkoa syötetään Keuruun muuntoasemalta päämuuntajalla jonka teho vaihtelee 16 - 20 MVA käämikytkimen asennon mukaan. Alajännitepuolen muuntajan koko on 315 kVA ja suhteellinen oikosulkuimpedanssi 4,5 %. Kuva 11 esittää yksinkertaistettua verkkoa (vastaa tutkimuskohteen verkkoa), johon on kytketty 110 kW:n taajuusmuuttaja ohjattu vaihtovirtamoottori, joka ottaa verkosta nimellistehon suuruisen kuorman.

Esimerkki on tehty ABB:n DriveSize -ohjelmalla, joka on tarkoitettu helpottamaan moottorikäyttöjen valintaa, kun syöttävä verkko tunnetaan. Tuloksista voidaan päätellä, että induktanssia kasvattamalla $70 \mu H$:stä $250 \mu H$:n ja pitämällä kapasitanssi samanaikaisesti muuttumattomana päästään virtayliaaltojen osalta 13,6 % parempaan tulokseen. Induktanssi tunnetusti vastustaa vaihtovirran kulkua, joten se on jätetty tasajännitevälipiiristä kokonaan pois tai sitä on pienennetty liikaa. Seuraukset aiheuttavat jännitteen käyrämuotoon muutoksia, joita on sitten pystyttävä hallitsemaan esimerkiksi oikein toteutetuilla kompensointiratkaisuilla.



Kuva 11 Esimerkkiverkko

Esimerkki on yksinkertaistettu ja eikä vastaa tutkimuskohteen kuormitusta. Laiterakenne ei myöskään ole samanlainen kuin kohde, jossa mittaukset suoritettiin, mutta kertoo, sen kuinka tärkeää laitekannan tuntemus on sähkölaitteistoja suunniteltaessa.

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

Taulukko 5 Abb:n DriveSize-ohjelmalla tehty esimerkki 1

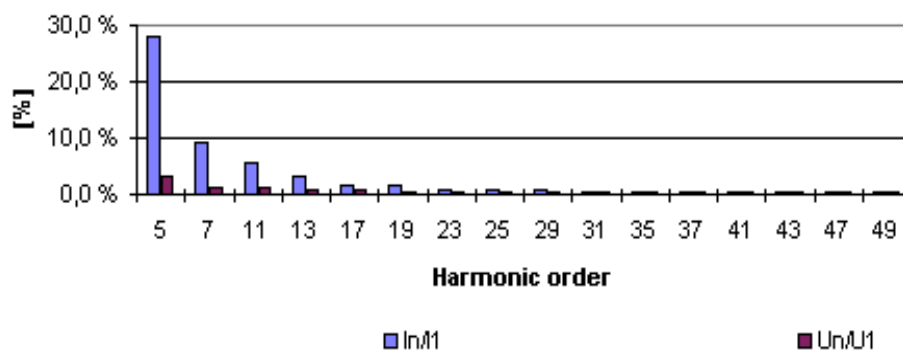
Network and Transformer data				Supply unit data		
Primary voltage [V]	21000	Cable length [m]	30			
Secondary voltage [V]	400	Lac [uH]	70			
Frequency [Hz]	50	Cdc [mF]	4,7			
Network Sk [MVA]	20	Udc [V]	520,8			
Transformer Sn [kVA]	315	Pdc [kW]	108			
Transformer Pk kW	4,5					
Transformer Zk [%]	4,5					
Supply cable type	Cable					
Cable quantity	3					
Cable impedance [uOhm]	70					
Result						
Cos ϕ 1	0,980	TDHCurrent	44,0 %	THD Current		
Tot. power factor	0,897	THDVoltage	6,1 %	THD Voltage		
n	f [Hz]	Current [A]	In/I1	Voltage[V]	Un/U1	IEEE Currents
1	50	162,9	100,0 %	396,2	100,0 %	0,0 %/0,0 %
5	250	63,7	39,1 %	16,8	4,2 %	0,0 %/0,0 %
7	350	27,6	17,0 %	10,1	2,6 %	0,0 %/0,0 %
11	550	13,1	8,1 %	7,7	1,9 %	0,0 %/0,0 %
13	650	8,3	5,1 %	5,6	1,4 %	0,0 %/0,0 %
17	850	6,4	3,9 %	5,8	1,5 %	0,0 %/0,0 %
19	950	4,3	2,7 %	4,3	1,1 %	0,0 %/0,0 %
23	1150	3,5	2,2 %	4,4	1,1 %	0,0 %/0,0 %
25	1250	2,5	1,5 %	3,2	0,8 %	0,0 %/0,0 %
29	1 450	2,0	1,2 %	3,1	0,8 %	0,0 %/0,0 %
31	1 550	1,4	0,9 %	2,3	0,6 %	0,0 %/0,0 %
35	1750	1,0	0,6 %	1,9	0,5 %	0,0 %/0,0 %
37	1850	0,8	0,5 %	1,6	0,4 %	0,0 %/0,0 %
41	2050	0,5	0,3 %	1,2	0,3 %	0,0 %/0,0 %
43	2150	0,6	0,4 %	1,3	0,3 %	0,0 %/0,0 %
47	2 350	0,5	0,3 %	1,2	0,3 %	0,0 %/0,0 %
49	2 450	0,5	0,3 %	1,3	0,3 %	0,0 %/0,0 %

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

Taulukko 6 Abb:n DriveSize-ohjelmalla tehty esimerkki 2

Network and Transformer data				Supply unit data		
Primary voltage [V]	21000			Cable length [m]	30	
Secondary voltage [V]	400					
Frequency [Hz]	50			Lac [uH]	250	
Network Sk [MVA]	20					
Transformer Sn [kVA]	315			Cdc [mF]	4,7	
Transformer Pk kW	4,5					
Transformer Zk [%]	4,5			Udc [V]	507	
Supply cable type	Cable			Pdc [kW]	108	
Cable quantity	3					
Cable impedance [uOhm]	70					
Result						
Cos ø1	0,980			THDCurrent	30,4 %	THD Current
Tot. power factor	0,938			THDVoltage	4,0 %	THD Voltage
n	f [Hz]	Current [A]	In/I1	Voltage[V]	Un/U1	IEEE Currents
1	50	165,2	100,0 %	395,7	100,0 %	0,0 %/0,0 %
5	250	46,3	28,1 %	12,2	3,1 %	0,0 %/0,0 %
7	350	15,3	9,2 %	5,6	1,4 %	0,0 %/0,0 %
11	550	9,5	5,7 %	5,5	1,4 %	0,0 %/0,0 %
13	650	5,6	3,4 %	3,8	1,0 %	0,0 %/0,0 %
17	850	2,9	1,8 %	2,6	0,7 %	0,0 %/0,0 %
19	950	2,5	1,5 %	2,5	0,6 %	0,0 %/0,0 %
23	1150	1,5	0,9 %	1,8	0,5 %	0,0 %/0,0 %
25	1250	1,4	0,9 %	1,9	0,5 %	0,0 %/0,0 %
29	1 450	1,2	0,7 %	1,9	0,5 %	0,0 %/0,0 %
31	1 550	1,0	0,6 %	1,6	0,4 %	0,0 %/0,0 %
35	1750	0,7	0,4 %	1,4	0,3 %	0,0 %/0,0 %
37	1850	0,6	0,4 %	1,2	0,3 %	0,0 %/0,0 %
41	2050	0,4	0,3 %	1,0	0,2 %	0,0 %/0,0 %
43	2150	0,5	0,3 %	1,1	0,3 %	0,0 %/0,0 %
47	2 350	0,4	0,3 %	1,1	0,3 %	0,0 %/0,0 %
49	2 450	0,4	0,2 %	1,0	0,3 %	0,0 %/0,0 %



Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

7.1 Kompensointi

Loistehon kompensointi on toteutettu kohteessa keskitetysti Norelcon valmistamalla *NACBL* -tyyppisellä estokelaparistolla. Loistehon kompensointiin suositellaan käytettävän estokelaparistoa, silloin kun kuormituksen yliaaltopitoisuus on alle 5 %. Kuten jo aikaisemmin mainittiin, 3 %:n jännitesärö saattaa aiheuttaa ongelmia joissakin laitteissa esim. mittareiden virhenäyttämää. Estokelaparisto poistaa osan alemman kertaluvun verkossa esiintyvistä harmonisista yliaalloista. Estokelaparistolla suoritettulla loistehon kompensoimalla vältytään rinnakkaisresonanssin syntyminen kondensaattorin kapasitanssin ja syöttävän verkon induktanssin välillä.

Jos verkon jännitesärö on yli 5 %, loistehon kompensointi ja yliaaltojen suodatus on syytä toteuttaa suodatinparistolla. Suodattimessa on kytketty sarjaan kuristin ja kondensaattori, suodattimen impedanssi vaiheen ja maan välillä tai vaiheiden välillä aiheuttaa yliaallon päätyminen suodattimeen, eikä verkkoon.

Kondensaattorin kapasitanssi ja kuristimen induktanssi valitaan siten, että niiden muodostaman resonanssiin viritystaajuus on sama suodatettavan yliaallon kanssa, jokaisella yliaallolla on oma suodatinparisto /15/.

Viritystaajuuden alapuolella paristo on kapasitiivinen ja tuottaa loistehoa, kun taas viritystaajuuden yläpuolella paristo on induktiivinen eikä vahvista yliaaltoja.

Verkoissa, joissa kuormitus vaihtelee nopeasti, kompensointitehon ohjaus täytyy toteuttaa nopeilla tyristorikytkimillä varustetuilla kondensaattoriparistoilla.

Tyristoriohjauksella varustettuja kondensaattoriparistoja suositellaan käyttämään kohteissa, joissa kuormituksen muodostavat suuret hitsauskoneet, nosturit ja valokaariuunit.

8 PÄÄTELMÄT

Kun sähkönlaatumittauksia tai seurantamittauksia lähdetään tekemään, on siihen yleensä jokin syy tai tarve. Nämä tarpeet muodostuvat yleensä useimmiten siitä, että kuluttajan sähkölaitteet eivät toimi halutulla tavalla. Asiakkaat ottavat yhteyttä yleensä paikallisiin jakeluverkkoyhtiöihin olettaen vikojen aiheutuvan siirtoverkkoyhteydestä. Tietenkään tätäkään mahdollisuutta ei voida pois sulkea, kun häiriöitä lähdetään tutkimaan, ei ainakaan maaseutujen pitkien siirtolinjojen ollessa kyseessä.

Sen jälkeen kun on suljettu pois se mahdollisuus, että viat aiheutuisivat verkkohäiriöistä, jäljelle jääkin kuluttajien omat laitteet.

Ennen kuin minkäänlaisiin mittauksiin kannattaa ryhtyä, olisi tärkeää selvittää, minkälaisesta laitekannasta asiakkaan kuormitus muodostuu. Laittevalmistajilta saadaan arvokasta tietoa nykyään kuormituksen muodostumisesta ja siitä, mitä ne aiheuttavat verkkoon. Tämän päivän ongelma on se, että sähkölaitteet tuottavat verkkoon yliaaltovirtoja. Nämä niin sanotut sähkösaasteet on sitten jollain keinoin saatava halutuille tasoille. Esimerkiksi tyypillinen toimisto -PC tuottaa noin 4 A / kW ja purkausvalaisimet noin 1 A / kW nollajohtimeen summautuvaa 150 Hz:n virtaa /1/.

Kolmannen yliaallon osuus on otettava huomioon kolmivaihejärjestelmässä sen nollajohtimeen summautumisen takia. Nollajohtimen mitoittamiseen kolmannen yliaallon osalta annetaan ohjeet standardissa *SFS 6000-5-52*.

Mittaustuloksissa ilmeni siis yksi jännitekuoppa sekä välkynnän häiritsevyyksindeksin nousu arvoon 0,94 samana päivänä. Näistä tuloksista ei kuitenkaan voi tehdä vielä aivan varmoja johtopäätöksiä ovatko viat aiheutuneet asiakkaan kuormitusmuutoksista vai verkon vioista. Tarkempi selvitys jakeluverkon rakenteesta ja mahdollisista syöttömuutoksista, (onko kohdetta mahdollista syöttää vahvemman verkon kautta), sekä siitä kuinka,

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjarvi

teollisuuskuorma ja muu kuorma ovat jakaantuneet asiakkaiden kesken, olisi yksi tekijä, joka sulkisi pois jakeluverkon puoleiset häiriöt.

Mitatut harmoniset yliaaltovirrat ja jännitteet pysyivät sallituissa rajoissa.

Norelcon *NACBL* -tyyppinen loistehon kompensointiin tarkoitettu estokelaparisto sisältää elektronisen säätimen, joka ohjaa tarvittavat loistehoportaat automaattisesti päälle ja pitäisi olla riittävän nopea toimiakseen kyseisellä kuormituksella moitteettomasti.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

- 1 Yliaallot ja kompensointi. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Espoo 2006
- 2 Fluke 434/435. Kolmivaiheinen sähkönlaadun analysaattori. Käyttöohje 2006
- 3 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Espoo 2006.
- 4 ABB:n TTT – käsikirja 2000-07
- 5 ABB:n tekninen opas nro 6 – vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas
- 6 ST-kortti 52.51.01 Sähkön laatu. Johdinjärjestelmän vaikutus sähkön laatuun
- 7 IEC 60449. Voltage bands for electrical installations of buildings. Sähköalan kansainvälinen standarsoimisjärjestö.
- 8 SFS-EN 50160. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. Suomen standarsoimisliitto SFS.
- 9 Sähköturvallisuuslaki. 14.06.1996. (410/96).

Sähköiset lähteet

- 10 Tampereen teknillinen yliopisto. [www-sivu]. [viitattu 28.4.2007]
Saatavissa:
http://www.ee.lut.fi/fi/lab/sahkomarkkina/tutkimus/Sahkon_laatu_jakeluverkkottoiminnan_arvioinnissa.pdf
- 11 Martti Hallamäki. [www-sivu]. [viitattu 28.4.2007] Saatavissa:
<http://www.hallamaki.fi/docs/Martin%20teesit%20sahkotyoturvallisuudesta.pdf>
- 12 Adlux. [www-sivu]. [viitattu 28.4.2007] Saatavissa:
http://www.adlux.fi/public/pdf/elektronisetliitantalaitteet_varina.pdf

Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Jyväsjärvi

13 Toni Latvala. Sähköverkon tietoja. Sähköpostiviesti.

14 ABB. [www.sivu]. [viitattu 27.4.2007] Saatavissa:

<http://www.abb.com/cawp/seitp202/7f62ccb7eee8a32059c12570b3002f2a2c.asx>

15 Nokian capacitors [www.sivu]. [viitattu 27.4.2007] Saatavissa:

http://www.nokiancapacitors.fi/documents/04%20-%20theory/EN-TH01-11_2004-Power_Factor_Correction.

LIITE 1

Lyhyempiaikaisia mittaustuloksia

Jännite, virta ja taajuus, yliaaltovirrat ja yliaaltojännitteet

HARMONICS TABLE				
Amp	L1	L2	L3	N
THD%f	10.6	10.6	11.8	306.9
H3%f	5.7	5.4	6.4	303.1
H5%f	6.4	7.1	7.6	30.7
H7%f	5.7	5.0	5.6	23.6
H9%f	0.4	0.5	0.7	26.3
H11%f	2.2	2.7	2.5	7.9
H13%f	0.6	0.7	0.5	4.7
H15%f	0.1	0.1	0.1	3.0

01/16/07 13:08:35 230V 50Hz 3Ø WVE ENS0160

U A W HARMONIC TREND HOLD
U&A GRAPH RUN

Kuva 2

Volts/Amps/Hertz				
	L1	L2	L3	N
U _{rms}	230.28	230.23	230.30	0.04
U _{pk}	339.4	337.8	341.0	0.1
CF	1.47	1.47	1.48	OL
Hz	49.996			

	L1	L2	L3	N
A _{rms}	214	203	213	40
A _{pk}	322	299	324	71
CF	1.51	1.48	1.52	1.75

01/16/07 13:50:31 230V 50Hz 3Ø WVE ENS0160

VOLTAGE TREND HOLD
▲ ▲ RUN

Kuva 3

HARMONICS TABLE				
Volt	L1	L2	L3	N
THD%f	3.6	3.6	3.9	96.3
H3%f	1.2	1.1	1.4	39.7
H5%f	2.1	2.2	2.5	20.1
H7%f	1.8	1.5	1.8	19.1
H9%f	0.3	0.3	0.4	17.8
H11%f	1.7	1.9	1.7	12.9
H13%f	1.0	1.0	0.8	13.7
H15%f	0.1	0.0	0.0	14.1

01/16/07 13:11:25 230V 50Hz 3Ø WVE ENS0160

U A W HARMONIC TREND HOLD
U&A GRAPH RUN

Kuva 4

Volts/Amps/Hertz				
	L1	L2	L3	N
U _{rms}	229.11	229.04	229.17	0.04
U _{pk}	337.1	335.6	340.0	0.1
CF	1.47	1.47	1.48	OL
Hz	49.995			

	L1	L2	L3	N
A _{rms}	230	221	227	41
A _{pk}	338	322	341	80
CF	1.47	1.46	1.50	1.95

01/16/07 13:29:40 230V 50Hz 3Ø WVE ENS0160

VOLTAGE TREND HOLD
▲ ▲ RUN

Kuva 5

LIITE 2

Mitatut yliaaltovirrat

Amp L 1											
Mittaus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Keskiarvo
TDH %	8,5	9,1	9,5	9,1	8,5	8,5	8,4	9,8	8,5	9,8	9,0
H 3	4,5	4,4	3,9	4,4	4,5	4,0	4,0	4,8	3,9	4,8	4,3
H 5	5,5	5,6	6,1	5,6	5,5	4,9	5,0	6,0	4,9	6,0	5,5
H 7	4,3	5,2	5,0	5,2	4,3	5,2	4,9	5,5	5,3	5,5	5,0
H 9	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5
H 11	1,7	2,1	3,2	2,1	1,7	1,9	2,0	2,3	1,9	2,3	2,1
H 13	0,7	0,7	1,4	0,7	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,9	0,8
H 15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Amp L 2											
Mittaus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Keskiarvo
TDH %	9,4	10,3	10,7	10,3	9,4	10,1	10,3	11,3	9,8	11,3	10,3
H 3	4,9	5,1	4,3	5,1	4,9	5,6	5,3	5,8	5,6	5,8	5,2
H 5	6,7	7,2	7,7	7,2	6,7	6,6	7,0	7,5	6,1	7,5	7,0
H 7	3,7	4,5	4,6	4,5	3,7	4,6	4,6	5,1	4,5	5,1	4,5
H 9	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6
H 11	2,2	2,7	3,6	2,7	2,2	2,3	2,6	2,9	2,4	2,9	2,7
H 13	0,7	0,8	1,6	0,8	0,7	0,5	0,8	1,0	0,6	1,0	0,9
H 15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Amp L 3											
Mittaus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Keskiarvo
TDH %	9,8	10,6	10,6	10,6	9,8	10,2	10,0	11,3	10,0	11,3	10,4
H 3	6,2	6,7	5,1	6,7	6,2	6,1	6,0	6,9	6,2	6,9	6,3
H 5	6,4	6,8	7,6	6,8	6,4	6,1	6,4	7,1	5,9	7,1	6,7
H 7	3,6	4,3	4,1	4,3	3,6	5	4,3	4,8	4,9	4,8	4,4
H 9	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
H 11	1,8	2,0	3,1	2,0	1,8	1,6	1,9	2,2	1,7	2,2	2,0
H 13	0,6	0,6	1,2	0,6	0,6	0,3	0,6	0,7	0,4	0,7	0,6
H 15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2

Sähkönlaadun mittau tulokset

Date: 01/16/07
 Time: 12:25:13

Config: 3Ø WYE
 Freq: 50 Hz
 Vnom: 230.0
 Limits: EN50160

Limit Summary:

RMS	>	207.0 V	<	253.0 V	95.0 % of time
THD	<	8 %			100 % of time
Plt	<	1			95.0 % of time
Dip	<	207 V			20 / week
Swell	>	253 V			20 / week
Unb.	<	2 %			95.0 % of time
Plt	>	49.5 Hz	<	50.5 Hz	99.5 % of time

Monitor Duration: 7 days
 Monitor Start: 01/09/07

Supply Voltage Variations:

L1 RMS Voltage:	95.0 % Value = 223.5 V	100 % Value = 221.6 V
L2 RMS Voltage:	95.0 % Value = 222.9 V	100 % Value = 221.2 V
L3 RMS Voltage:	95.0 % Value = 223.5 V	100 % Value = 235.5 V

L1 THD: 100 %	Value = 95.0 %
4.0	3.5

H2: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H3: 95.0 %	Value = 1.3 %	100 % Value = --.- %
H4: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H5: 95.0 %	Value = 2.2 %	100 % Value = --.- %
H6: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H7: 95.0 %	Value = 1.8 %	100 % Value = --.- %
H8: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H9: 95.0 %	Value = 0.4 %	100 % Value = --.- %
H10: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H11: 95.0 %	Value = 1.3 %	100 % Value = --.- %
H12: 95.0- %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H13: 95.0 %	Value = 1.1 %	100 % Value = --.- %
H14: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H15: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H16: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H17: 95.0 %	Value = 0.2 %	100 % Value = --.- %
H18: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %

Sähkölaadun mittaustulokset

H19: 95.0 %	Value = 0.3 %	100 % Value = --.- %
H20: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H21: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H22: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H23: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H24: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H25: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %

L2 THD: 100 % Value = 95.0 %
3.7 3.3

H2: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H3: 95.0 %	Value = 1.2 %	100 % Value = --.- %
H4: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H5: 95.0 %	Value = 2.2 %	100 % Value = --.- %
H6: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H7: 95.0 %	Value = 1.5 %	100 % Value = --.- %
H8: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H9: 95.0 %	Value = 0.4 %	100 % Value = --.- %
H10: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H11: 95.0 %	Value = 1.5 %	100 % Value = --.- %
H12: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H13: 95.0 %	Value = 0.9 %	100 % Value = --.- %
H14: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H15: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H16: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H17: 95.0 %	Value = 0.2 %	100 % Value = --.- %
H18: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H19: 95.0 %	Value = 0.2 %	100 % Value = --.- %
H20: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H21: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H22: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H23: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H24: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H25: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %

L3 THD: 100 % Value = 95.0 %
4.1 3.7

H2: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H3: 95.0 %	Value = 1.6 %	100 % Value = --.- %
H4: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H5: 95.0 %	Value = 2.4 %	100 % Value = --.- %
H6: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H7: 95.0 %	Value = 1.9 %	100 % Value = --.- %
H8: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H9: 95.0 %	Value = 0.4 %	100 % Value = --.- %
H10: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %
H11: 95.0 %	Value = 1.6 %	100 % Value = --.- %
H12: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H13: 95.0 %	Value = 0.8 %	100 % Value = --.- %
H14: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --.- %
H15: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --.- %

Sähkönlaadun mittaustulokset

H16: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --- %
H17: 95.0 %	Value = 0.2 %	100 % Value = --- %
H18: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --- %
H19: 95.0 %	Value = 0.2 %	100 % Value = --- %
H20: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --- %
H21: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --- %
H22: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --- %
H23: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --- %
H24: 95.0 %	Value = 0.0 %	100 % Value = --- %
H25: 95.0 %	Value = 0.1 %	100 % Value = --- %

Flicker:

L1 Plt: --- %	Value = PASS
95.0	
L2 Plt: 0.1 %	Value = ---
PASS	
L3 Plt: 95.0 %	Value = 0.5

Supply Voltage Dips, Interruptions, Swells and Rapid Voltage Changes:

Number of Dips:	PASS
95.0	
Number of Interruptions:	0.5

Number of Swells:	PASS
95.0	
Number of Rapid Voltage Changes:	0.5

Supply Voltage Unbalance:	
Unbalance: PASS % Value = 1 %	
PASS	

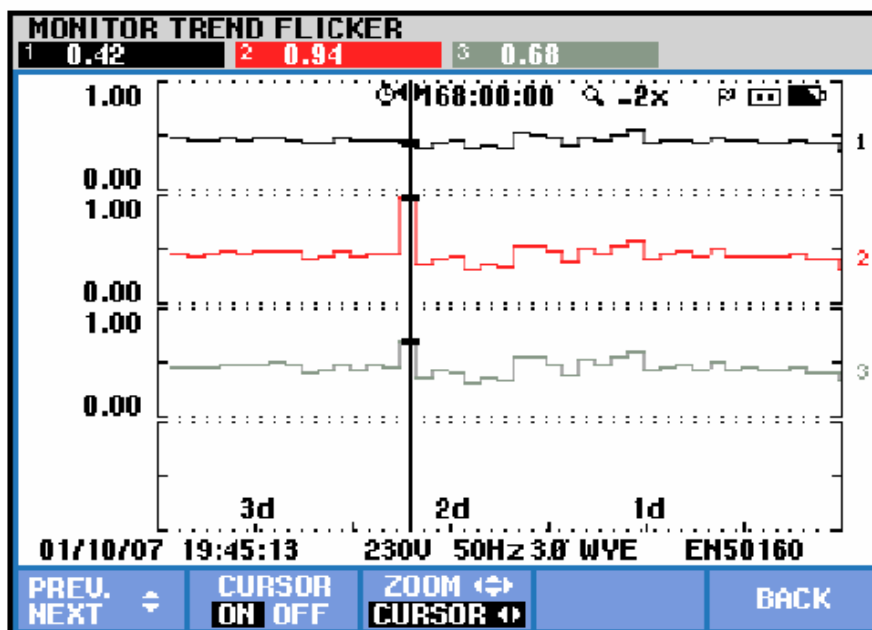
Power Frequency:

Hz: 0 % Value = PASS Hz	100 % Value = 0 Hz
-------------------------	--------------------

Jännitekuoppa, välkynnän häiritsevyyssindeksin mittaustulos

MONITOR EVENTS FLICKER				
START 01/09/07 12:25:13			EVENT 3 / 3	
			168:00:00	
DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
01/10/07	16:42:23:395	L2 DIP	206.1 U	0:00:00:311
01/10/07	16:42:23:395	L2 DIP	206.8 U	ƒ
01/10/07	16:42:23:706	L2 DIP	215.7 U	ƒ
01/16/07 12:25:13 230V 50Hz 3Ø WYE EN50160				
SELECTED		NORMAL	TREND	BACK
ALL		DETAIL		

Kuva 4 : Vaiheessa 2 tapahtunut jännitekuoppa



Kuva 5 : Vaiheessa 2 tapahtunut välkynnän indeksin kasvu