



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

VIRRAN MITTAUKSEN HÄIRIÖT PIENKIINTEISTÖISSÄ

Jaakko Paloniemi

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

PALONIEMI, JAAKKO:
Virran mittauksen häiriöt pienkiinteistöissä

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2016

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tutkimustietoa, kuinka pienkiinteistöjen ja omakotitalojen energiankulutuksen mittaaminen voi häiriintyä ja millaiset tyypilliset kuormalaitteet aiheuttavat häiriöitä sähköverkkoon. Työn tavoitteet saavutettiin ja tuloksia voidaan hyödyntää samankaltaisissa tilanteissa toimeksiantajan asiakaskohteissa.

Työssä käydään läpi virtamuuntajien toimintaperiaate sekä sähköverkon yleisimpien häiriöiden synty teoriatasolla. Opinnäytetyössä tutkittiin eri valmistajien virtamuuntajien mittaustarkkuutta ja sähköverkon häiriöiden vaikutusta käytännön mittausten avulla.

Opinnäytetyön aikana huomattiin, että mittauksia ei voitu toteuttaa kuormalaitteilla, jotka toimivat alhaisilla virran arvoilla virtamuuntajien teknisten ominaisuuksien vuoksi. Mittauksissa käytetyt laitteet valikoitiin ensisijaisesti niiden yleisyyden perusteella mutta osittain myös niiden käyttövirtojen suuruuksien nojalla.

Tutkimuksessa perehdyttiin sähkölaitteiden aiheuttamiin erilaisiin galvaanisiin tai sähkömagneettisiin sähköverkon häiriöihin. Häiriöt voivat aiheuttaa epätarkkuutta virtamuuntajien mittauksiin. Lisäksi mittaushäiriöitä voi aiheutua esimerkiksi sähköasennusten maadoitusvivoista tai ulkoisista ympäristötekijöistä. Työn avulla saatiin käsitys virtamuuntajien toiminnasta häiriöiden aikana. Tutkimuksesta saatujen tietojen avulla on myös mahdollista paikantaa nopeammin häiriöitä aiheuttavia laitteita sähköverkosta ja antaa neuvoja häiriöiden poiston suhteen.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

PALONIEMI, JAAKKO:
Interruptions of Energy Metering in Small Premises

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 6 pages
May 2016

The aim of this study was to get information about how energy metering are interrupted and which commonly used household devices can cause interruptions in the electrical grid. The objectives of thesis were achieved and the results can be used for dealing with related situations in the future.

In this study the operating principle of current transformers and the most common interruptions in electrical grid was studied theoretically. The accuracy of current transformers produced by different manufacturers and the influence of distractions caused by electrical devices was practically researched.

It was noticed during the thesis that measurements were not possible to accomplish with devices that operate on low level of current because of the technical qualities of current transformers. The gadgets used in measurements were primarily chosen by their availability and partly because of the level of current they use.

This study was orientated in different kind of galvanic and electromagnetic interruptions in the electric grid caused by electronic devices. Interruptions can cause inaccuracy into measurements of current transformers. For instance grounding malfunctions or surrounding environment might cause inaccuracy in measurements as well. With this study an understanding of the operation of current transformers during the interruptions was achieved. With the data of this thesis it is possible to locate the disturbances in the electrical grid faster and give advice on how to get rid of them.

Key words: electrical grid, current metering, current transformer

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 7 |
| 2 | VIRTAMUUNTAJAT | 8 |
| 2.1 | Yleistä | 8 |
| 2.2 | Virtamuuntajan toiminta | 8 |
| 2.2.1 | Virtamuuntajan nimellisarvot ja ominaisuuudet | 12 |
| 2.2.2 | Mittaustarkkuus..... | 13 |
| 2.2.3 | Mittarivarmuuskerroin | 14 |
| 2.3 | Rautasydämen kyllästyminen | 15 |
| 2.3.1 | Remanenssi | 16 |
| 2.4 | Virtamuuntajatyypit | 16 |
| 2.4.1 | Rengasvirtamuuntaja..... | 16 |
| 2.4.2 | Välivirtamuuntaja..... | 18 |
| 2.4.3 | Virta-jännitemuuntaja | 18 |
| 2.4.4 | Sekoitusvirtamuuntaja..... | 20 |
| 2.5 | Virtamuuntajan valinta | 20 |
| 3 | VIRRAN MITTAUSSIGNAALISSA NÄKYVIÄ HÄIRIÖITÄ | 22 |
| 3.1 | Galvaaniset häiriöt | 22 |
| 3.1.1 | Transienttiylijäännöt | 22 |
| 3.1.2 | Maadoitusviat..... | 24 |
| 3.1.3 | Yliaaltovirrat- ja jännitteet | 25 |
| 3.2 | Sähkömagneettiset häiriöt..... | 29 |
| 3.2.1 | Magneettikentät..... | 29 |
| 3.2.2 | Sähkökentät | 31 |
| 4 | MITTALAITTEET | 33 |
| 4.1 | Tutkittavat virta-jännitemuuntajat | 33 |
| 4.1.1 | Dent CTHSC-020-U/B..... | 33 |
| 4.1.2 | Magnelab SCT-075R-050 | 34 |
| 4.1.3 | Magnelab SCT-0400-020..... | 34 |
| 4.2 | Fluke 43B Analysaattori | 35 |
| 4.3 | Fluke 80i-110s AC/DC virtapihti | 36 |
| 4.4 | Fluke 87V yleismittari | 36 |
| 4.5 | Fluke 337 virtamittari | 37 |
| 5 | MITTAUKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI | 38 |
| 5.1 | Mittaus 1 | 39 |
| 5.2 | Mittaus 2 | 42 |
| 5.3 | Mittaus 3 | 46 |

| | |
|--|----|
| 6 POHDINTA..... | 48 |
| LÄHTEET | 49 |
| LIITTEET | 51 |
| Liite 1. Datalehti Dent CTHSC-020-U/B | 51 |
| Liite 2. Datalehti Magnelab SCT-075R-050 | 52 |
| Liite 3. Datalehti Magnelab SCT-0400-020..... | 53 |
| Liite 4. Mittauksen 1 kytkentäkuva | 54 |
| Liite 5. Mittauksen 2 kytkentäkuva | 55 |
| Liite 6. Mittauksen 3 kytkentäkuva..... | 56 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|------|--|
| THD | Harmoninen kokonaissärö |
| EMC | Sähkömagneettinen yhteensopivuus |
| IEC | Kansainvälinen sähköalan standardisointiorganisaatio |
| TN-S | Viisijohdinjärjestelmä |
| TN-C | Nelijohdinjärjestelmä |

1 JOHDANTO

Tässä työssä tutkitaan yleisimpiä pienkiinteistöjen ja omakotitalojen sähköverkon häiriötilanteita, jotka voivat aiheuttaa epätarkkuutta sähkökeskukselta mitattavalle virralle. Opinnäytetyössä käydään läpi virtamuuntajien toimintaperiaate ja selvitetään niiden käyttäytymistä erilaisten häiriöiden vaikutuksen alaisena. Lisäksi työssä tutkitaan erilaisia sähköverkon häiriöitä ja niiden aiheutumista sähköverkkoon. Työssä tutkittavat häiriötilanteet on pyritty valitsemaan niiden yleisyyden perusteella.

Työn lopuksi tehdään mittauksia asioiden selvyyden vuoksi, koska tutkittavat häiriöt voivat vaikuttaa virtamuuntajien mittaustuloksiin ja asennustapaan. Mittauksista saatavien tietojen avulla toimeksiantajan asiakkaat saavat tietää pienkiinteistöjensä sähkönkulutuksen ongelmakohtien synnystä, sekä vertailuraportteja vastaavanlaisista kohteista tai suoraan korjausehdotuksia. Työssä tutkittavat virtamuuntajat saatiin toimeksiantajalta ja mitaukset suoritettiin Tampereen ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan laboratoriossa opinnäytetyötä ohjaavan opettajan kanssa.

Toimeksiantajana työlle toimii ScanTeho Oy, joka on vuonna 2015 perustettu kolmen hengen osakeyhtiö Ilmajoelta. Yrityksen toimialaan kuuluvat mm. erilaisten energiämittausjärjestelmien suunnittelu, valmistus, myynti, vuokraus sekä asennus. Lisäksi yritys harjoittaa liiketoimintaa myös sähkösuunnittelun- ja tarvikkeiden, sekä aurinkosähköjärjestelmien parissa. Tutkittavat virtamuuntajat liitetään yrityksen kehittämään laitteistoon, jonka avulla saadaan mitattua pienkiinteistön sähkönkulutuksen suuruutta, sekä tietoa sähkönkulutuksesta laitekohtaisesti. Lisäksi laitteiston avulla voidaan ennakoida tulevia huoltotoimenpiteitä, paikallistaa jo vanhentuneita ja huonokuntoisia sähkölaitteita, sekä arvioida asiakkaan sähkönkulutustapojen energiatehokkuutta.

2 VIRTAMUUNTAJAT

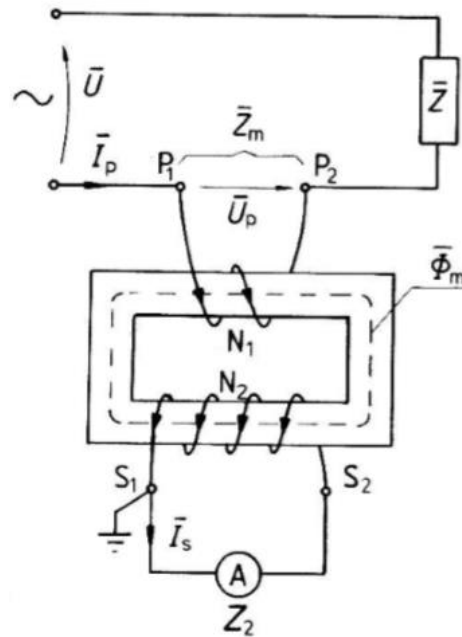
2.1 Yleistä

Virtamuuntajat jaetaan kahteen luokkaan niiden käyttötarkoituksen perusteella: mittausvirtamuuntajiin ja suojausvirtamuuntajiin. Mittausvirtamuuntajat ovat saaneet nimensä siitä, että niiden avulla mitataan virran määrää esimerkiksi energiamittauksissa. Suojaukseen tarkoitettujen virtamuuntajien tehtävänä kytkennöissä on suojata herkkiä kojeita ja laitteita suurilta virroilta, esimerkiksi suurjännitekytkennöissä. Suojaukseen käytettävät virtamuuntajat kytketään lähes aina ohjaamaan erillistä relettä, jonka avulla saadaan kytkentä virrattomaksi halutulla tavalla.

Virtamuuntajat ovat rakenteellisesti normaalin muuntajan kaltaisia ja sekä ensiö- että toisiokäämeissä on usein melko vähän kierroksia. Yleensä ensiökäämissä on vähemmän käämikierroksia kuin toisiokäämissä, koska normaalisti virtamuuntajalla mitataan ensiökäämissä liikkuvia suuria virtoja toisiokäämiin kytketyn pienille virroille tarkoitetun mittalaitteen avulla. (Lindeman & Sahinoja 2000, 83.)

2.2 Virtamuuntajan toiminta

Virtamuuntajia käytetään mittaus- ja suojaustekniikassa esimerkiksi mittareiden ja releiden virtakäämejä syöttävien virtojen muuntamiseksi käämeille sopiviin arvoihin. Virtamuuntajan aktiiviset rakenneosat ovat ensiö- ja toisiokäämit sekä levyrakenteinen rautasydän- tai sydämet (KUVA 1). Virtamuuntaja kytketään virtapiiriin liittämällä ensiökäämi sarjaan mitattavan kuorman kanssa. (Aura & Tonteri 1985, 100.)



KUVA 1. Virtamuuntajan toimintaperiaate (Aura & Tonteri 1985, 100)

Virtamuuntajan ensiön virran \bar{I}_p suuruuden määrää kuorman impedanssi \bar{Z} ja mittauskojeiden impedanssi \bar{Z}_m kaavan 1 mukaisesti. (Aura & Tonteri 1985, 101.)

$$\bar{I}_p = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}_m + \bar{Z}} \approx \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} \quad (1)$$

Virran mittauskojeet rakennetaan siten, että $\bar{Z} > \bar{Z}_m$, koska mittalaitteiden sisäisen impedanssin tulee olla lähes nolla ($\bar{Z}_m \approx 0$), etteivät mittausolosuhteet muutu virtapiirissä. Virtamuuntajaan vaikuttava jännite \bar{U}_p käsitetään usein nollajännitteenä ja lasketaan seuraavasti kaavalla 2.

$$\bar{U}_p = \bar{I}_p \cdot \bar{Z}_m = \omega \cdot N_1 \cdot \bar{\Phi}_m \approx 0 \quad (2)$$

, jossa ω on kulmataajuus, N_1 on ensiön käämikierrosten lukumäärä ja $\bar{\Phi}_m$ on muuntajan päämagneettivuon. (Aura & Tonteri 1985, 101.)

Toisiovirta I_s aiheutuu päämagneettivuon Φ_m lävistäessä toisiokäämin ja samanaikaisesti pieni jännite indusoituu toisioon. Seuraavaksi toisiokäämissä syntyy magnetomotorinen voima $I_s N_2$, joka alkaa magnetoida rautasydäntä ensiökäämin magnetomotorista voimaa

$I_p N_1$ vastakkaiseen suuntaan. Kun ensiö- ja toisiokäämin magnetomotoriset voimat vähennetään toisistaan, saadaan tyhjäkäyntivirran aikaansaamalla magnetomotorisella voimalla rautasydämen päävuo Φ_m aikaiseksi, kuten kaava 3 antaa ymmärtää.

$$\Phi_m = \frac{I_0 \cdot N_1}{R_m} = \frac{I_p \cdot N_1 - I_s \cdot N_2}{R_m} \quad (3)$$

, jossa R_m on rautasydämen reluktanssi ja I_0 tyhjäkäyntivirta. (Aura & Tonteri 1985, 102.)

Magneettivuon alhaisen tason vuoksi virtamuuntajan sydämen rautahäviöt ovat hyvin pienet, koska Φ_m ja I_0 ovat lähes nolla. Tästä saadaan ensiövirran suuruuden laskentaan alla oleva kaava 4.

$$I_p = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_s \approx k_n \cdot I_s \quad (4)$$

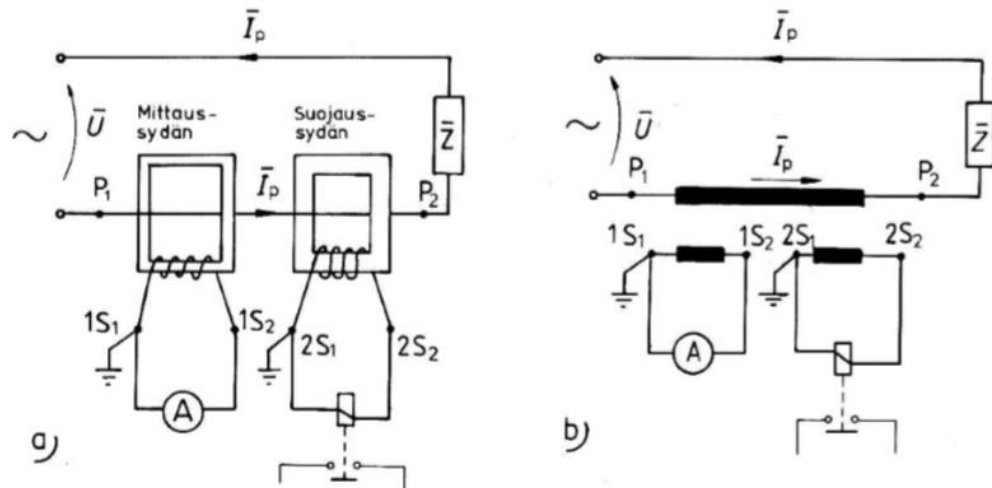
, jossa k_n on virtamuuntajan nimellismuuntosuhde. Virtamuuntajan käyttö pohjautuu siihen, että ensiö- ja toisiovirran suhde on lähes vakio jokaisella virran arvolla. Nimellinen muuntosuhde saadaan määritettyä arvokilven leimausarvojen avulla.

$$k_n = \frac{I_{pn}}{I_{sn}} \approx \frac{I_p}{I_s} \approx \frac{N_2}{N_1} \quad (5)$$

, jossa I_{pn} on ensiön nimellisvirta ja I_{sn} toision nimellisvirta. (Aura & Tonteri 1985, 102.)

Virran muuntamisen avulla pystytään muuntamaan ensiössä kulkeva virta I_p releelle tai mittalaitteelle sopivaksi virraksi I_s eli toisin sanoen on mahdollista laajentaa mitta- tai suojalaitteen mitta-alaa. Samalla virtamuuntajan on kyettävä eristämään toisiopiiri ja mitaava henkilö ensiöpiirin jännitteestä U , joka voi olla hengenvaarallisen suuri. Kun toisiopiiri on eristetty ensiöpiiristä, saadaan suojeltua toision kojeita ja laitteita suurilta virroilta. Virtamuuntajien avulla on myös mahdollistettu mittareiden ja releiden sijoitus kauaksi itse muuntajasta ja ensiöpiiristä toisiojohdon sopivan mitoittamisen avulla. (Aura & Tonteri 1985, 101.)

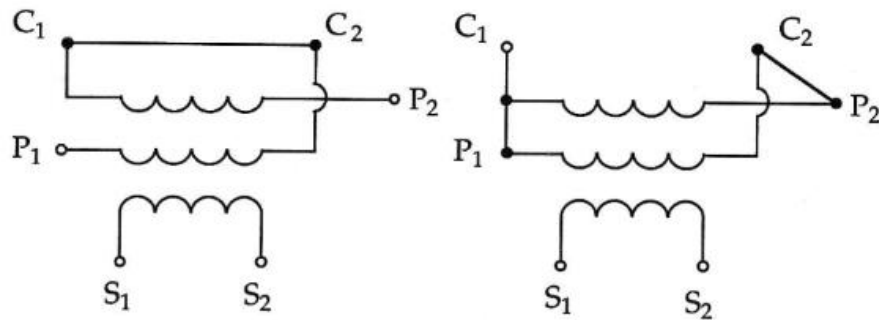
Virtamuuntaja voi olla myös kaksi- tai useampisydäminen ja tällöin jokaisella rautalevysydämällä on yhteinen ensiökäämi mutta oma toisiokääminsä (KUVA 2). Tällöin toinen sydän on niin sanottu ”mittausydän” ja toinen ”suojaussydän” ja tämä on näiden molempien virtamuuntajatyypin yhdistelmä. (Aura & Tonteri 1985, 106.)



KUVA 2. Kaksisydäminen virtamuuntaja, kohdassa a periaatteellinen rakenne ja kohdassa b kytkentäkuva (Aura & Tonteri 1985, 101)

Käytössä olevan virtamuuntajan toisiopiiriä ei voi jättää avoimeksi, koska ensiössä kulkeva virta magnetoi melko nopeasti kyllästyvää rautasydäntä. Kyllästymisen johdosta toisioliittimien välinen jännite voi kasvaa vaarallisen suureksi ja samalla rikkoa virtapiirin herkät laitteet. Mikäli kuitenkin toisiopiiri on avattava esimerkiksi huoltotoimenpiteiden vuoksi, on toisioliittimet ensin oikosuljettava. Toisiopiiri on myös maadoitettava yhdestä pisteestä samoin kuin sähköä johtavat metalli-osat. (Mörsky 1992, 103.)

Virtamuuntajaa voidaan käyttää kaikissa lämpötiloissa termisellä nimellisvirralla, joka usein on 100% tai 120% itse nimellisvirrasta. Yleisesti virtamuuntajat on valmistettu toimimaan 50Hz vaihtojännitteellä mutta on myös olemassa laajemman taajuusalueen toiston omaavia virtamuuntajia. Virtamuuntajan muuntosuhteita voidaan myös yleisesti vaihtaa, mikäli kytkennässä voidaan hyödyntää jonkinlaista vaihtokytkentä mahdollisuutta. Vaihtokytkentä virtamuuntajapiireissä tarkoittaa usein ensiöpuolella tehtyä käämien sarja- tai rinnankytkentää, jolloin virtamuuntajan oikosulkukestoisuus muuttuu suhteessa ensiövirtaan. Ensiöpuolen nimellisteho tai tarkkuusluokka eivät kuitenkaan muutu kytkennän vaihtuessa. (Mörsky 1992, 103-104.)



KUVA 3. Kahdelle eri ensiöpuolen muuntosuhteelle kytkettävä virtamuuntaja. Vasemmalla ensiöpuolen käämit sarjaan kytkettyinä ja kuvan oikeassa reunassa käämit ovat rinnakkain (Mörsky 1992, 104)

2.2.1 Virtamuuntajan nimellisarvot ja ominaisuudet

Virtamuuntajien nimelliset ensiövirrat ovat IEC- standardoituja ja näitä arvoja on mahdollista suurentaa kymmenen kerrannaisina. Nimellisten ensiövirtojen arvot ovat 10A, 12,5A, 15A, 20A, 25A, 30A, 40A, 50A, 60A, ja 75A. Kun valitaan virtamuuntajan ensiövirtaa laitteistolle sopivaksi, on järkevää valita kuormitusvirran kannalta riittävä mutta ei liian suuri arvo. Mikäli valittu virtamuuntajan ensiövirran arvo on liian suuri piirin virtaan nähden, eivät esimerkiksi mittarit ja herkät releet välttämättä näytä arvoja riittäväällä tarkkuudella. (Mörsky 1992, 106.)

Standardoidut nimelliset toisiovirran arvot virtamuuntajille ovat 1A, 2A ja 5A. Toisiopiirin kaapeloinnin ollessa melko pitkä, valitaan yleensä virtamuuntajan toisiovirralle 1A arvo. Tällöin toisiokaapeleiden kuluttama teho on huomattavan suuri verrattuna lyhyisiin kaapelointietäisyyksiin, joten on mielekästä käyttää pientä 1A arvoa. Kun taas toisiossa kaapeloinnin pituus on pieni, käytetään suurta 5A arvoa virtamuuntajan vaihtokytkimestä. Osaksi tämä johtuu siitä, että oikosulkutilanteessa ylijännitteet ovat lyhyillä kaapelointietäisyyksillä suuria ja valittaessa toisiopiiriin virtamuuntajan 5A arvo, saadaan pienennettyä ylivirtojen suuruutta. (Mörsky 1992, 106.)

Toisoliittimien väliin kytkettyä kuormaa eli kokonaisimpedanssissa kuluva teho nimellisvirralla kutsutaan virtamuuntajan taakaksi. Kuten nimellistoisio- ja nimellisensiövirralle myös virtamuuntajan nimellistaakalle on olemassa standardiarvot. Ne ovat 2,5VA, 5,0VA, 10VA, 15VA, 30VA, 45VA ja 60VA. Muun muassa virtamuuntajan tarkkuus pohjautuu nimellistaakan suuruuteen. Esimerkiksi toision nimellisvirran ollessa

suuri, tarvitaan piiriin myös suuri nimellistaakka toisiokaapelin kuluttaman tehon vuoksi, koska muuten tarkkuus kärsii. (Mörsky 1992, 106.)

Nimelliseristystaso virtamuuntajilla määritellään suurimman syöksyjännite-, käyttöjännite- sekä yhden minuutin vaihtojännitekestoisuuden avulla. Se kertoo virtamuuntajan rakenteellisen eristyksen tasosta ja luokituksesta. (Niemelä 2010, 22.)

Jatkuva terminen nimellisvirta on suurin sallittu ensiökäämityksen virta, kun toisiossa on kuormana nimellistaakka. Pelkkä terminen kestovirta taas ilmoittaa suurimman ensiövirran, jonka virtamuuntaja kestää termisesti vahingoittumatta 1s ajan toisioliittimet oikosuljettuina. (Niemelä 2010, 24.)

Dynaaminen kestovirta on lyhytaikainen virran arvo, joka kertoo suurimman ensiövirran epäsymmetrisen huippuarvon, minkä virtamuuntaja kestää vahingoittumatta toisioliittimen ollessa oikosuljettuina (Niemelä 2010, 24). Ellei valmistajan manuaaleissa ole kerrottu dynaamiselle kestoirralle arvoa, se on 2,5 kertaa terminen kestoirta (Mörsky 1992, 107).

2.2.2 Mittaustarkkuus

Virtavirhe puolestaan on toisiovirran ja toisioon redusoidun ensiövirran itseisarvojen prosentuaalinen ero. Virheiden suuruudet kuitenkin vaihtelevat, koska rautasydämen magneetoimiskäyrä ei ole täysin lineaarinen. Virheen suuruus pienenee virran kasvaessa, kunnes saavutetaan kyllästymispiste, jonka jälkeen virhe lähtee kasvuun, virran kasvun mukaisesti (Mörsky 1992, 107). Kulmavirheeksi kutsutaan ensiö- ja toisiovirran ajallista vaihesiirtokulmaa, joka on positiivinen toisiovirran ollessa ensiövirtaa edellä (TAULUKOT 1, 2 ja 3).

TAULUKKO 1. Mittausvirtamuuntajan tarkkuusluokat, taulukko 1 (UTU Powel Oy 2008)

| Luokka | ± % Virhe % In | | | | Vaihesiirto ± % In | | | | | | | |
|--------|----------------|------|------|------|--------------------|----|-----|-----|------------|------|------|------|
| | | | | | Kulmavirhe | | | | Virtavirhe | | | |
| | 5 | 20 | 100 | 120 | 5 | 20 | 100 | 120 | 5 | 20 | 100 | 120 |
| 0,1 | 0,40 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 15 | 8 | 5 | 5 | 0,45 | 0,24 | 0,15 | 0,15 |
| 0,2 | 0,75 | 0,35 | 0,20 | 0,20 | 30 | 15 | 10 | 10 | 0,90 | 0,45 | 0,30 | 0,30 |
| 0,5 | 1,50 | 0,75 | 0,50 | 0,50 | 90 | 45 | 30 | 30 | 2,70 | 1,35 | 0,90 | 0,90 |
| 1 | 3,00 | 1,50 | 1,00 | 1,00 | 180 | 90 | 60 | 60 | 5,40 | 2,70 | 1,80 | 1,80 |

TAULUKKO 2. Mittausvirtamuuntajan tarkkuusluokat, taulukko 2 (UTU Powel Oy 2008)

| Luokka | \pm % Virhe % <i>I_n</i> | | | | | Vaihesiirto \pm % <i>I_n</i> | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------------------------|------|------|------|------|--|----|----|-----|-----|------------|------|------|------|------|
| | | | | | | Kulmavirhe | | | | | Virtavirhe | | | | |
| | 1 | 5 | 20 | 100 | 120 | 1 | 5 | 20 | 100 | 120 | 1 | 5 | 20 | 100 | 120 |
| 0.2S | 0,75 | 0,35 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 30 | 15 | 10 | 10 | 10 | 0,90 | 0,45 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| 0.5S | 1,50 | 0,75 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 90 | 45 | 30 | 30 | 30 | 2,70 | 1,35 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |

TAULUKKO 3. Mittausvirtamuuntajan tarkkuusluokat, taulukko 3 (UTU Powel Oy 2008)

| Luokka | \pm % Virhe % <i>I_n</i> | |
|------------------------|--------------------------------------|-----|
| | 50 | 120 |
| % <i>I_n</i> | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 3 |
| 5 | 5 | 5 |
| Ei vaihesiirtoa | | |

Virtamuuntajien tarkkuusluokat kertovat tarkkuusvaatimuksista ja ovat prosentuaalisia virran arvoja. Virran ollessa nimellisvirtaa pienempi, huononee tarkkuus huomattavasti ja tästä syystä virtamuuntajan nimellisvirta on pyrittävä valitsemaan oikean suuruiseksi. Mittaustarkkuuteen vaikuttaa myös toisioon kytketty taakka, jonka suuruuden olisi hyvä olla 25-75% nimellisestä taakasta. Paras mittaustarkkuus saadaan, kun taakka on 75% nimellisestä taakasta. Samalla virtamuuntajalla voi olla monta eri tarkkuusluokkaa eri nimellistaakoilla. (Mörsky 1992, 108.)

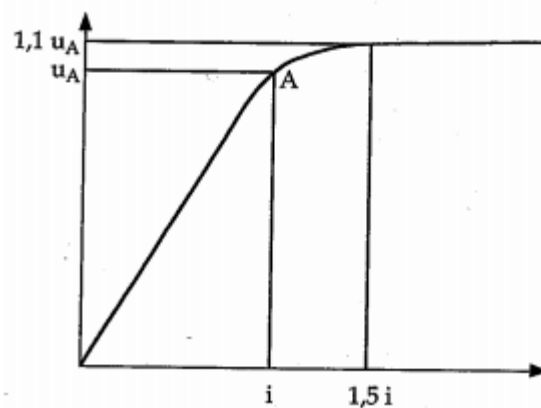
2.2.3 Mittarivarmuuskerroin

Kytkeäntöjen mittalaitteet valitaan mitta-alueensa mukaisesti mittaamaan virtoja. Koska herkät mittalaitteet ja mittarit rikkoontuvat helposti, on virtamuuntajille kehitetty mittaussydämen mittarivarmuuskertoimen arvot, joiden avulla varmistetaan virtamuuntajan kyllästyminen vikatilanteessa. Kun virtamuuntajan valinnassa huomioidaan mittarivarmuuskerroin, saadaan herkät kojeet pysymään ehjinä vikatilanteissa. Kun mittamuuntajaa kuormitettaessa ensiöpiirin rautasydän kyllästyy, ei toisiopiirin virran suuruus enää merkittävästi kasva, vaan se pysähtyy jollekin tietylle tasolle (Mörsky 1992, 110). Käytännössä toisiovirran kasvua tietyn rajan jälkeen ei saada täysin pysähtymään vikatilanteessa mutta sitä pystytään kuitenkin rajoittamaan ”turvalliselle” alueelle.

Mittarivarmuuskerroin on ensiövirran ja nimellisen virran suhde I/I_N , ja tarkoittaa sitä kuinka suurella suhteellisella ensiövirran arvolla virtamuuntajan virhe on vähintään 10%. Mitä pienempi mittarivarmuuskerroin on, sitä paremmin virtamuuntaja suojaa virtapiirin kojeita ja laitteita. Mittarivarmuuskertoimen arvoja ei ole standardisoitu mutta usein käytettyjä arvoja ovat 5 ja 10. (Niemelä 2010, 24.) Mittarivarmuuskerroin ilmoitetaan virtamuuntajan tarkkuusluokan yhteydessä, esimerkiksi 15 VA Class 0,5 FS 5. (Mörsky 1992, 110.)

2.3 Rautasydämen kyllästyminen

Virtamuuntajan toimiessa normaalisti ensiöpiiriin syötetty virta aikaansaa rautasydämeen muuttuvan magneettivuon. Tämä magnetointivirran kanssa saman vaiheisena vaihteleva magneettivuo indusoi toisiokäämiin toisiovirran, jonka suuruus on riippuvainen ensiö- ja toisiopiirin käämikierrosten lukumäärästä. Magneettivuon tiheyden voimakkuus kasvaa syntyneen magneettikentän kanssa rautasydämessä samassa suhteessa, kunnes saavutetaan piste, jonka jälkeen rautasydämen magneettisuus ei voi enää kasvaa. Kuvassa 5 tämän rajapisteen A arvot muodostavat käännejännite u_A ja virta i . Tällöin puhutaan rautasydämen magneettisesta kyllästymisestä. Kuvasta 4 nähdään myös, että jos toisiojännitettä nostetaan 10% käännejännitettä suuremmaksi, nousee magnetoimisvirran arvo vastaavasti 50% käännekohdan arvoa suuremmaksi. (Ahoranta 1998, 306.)



KUVA 4. Virtamuuntajan magnetoimisvirran ja toisiojännitteen välinen riippuvuus (Mörsky 1992, 113)

Virtamuuntajan rautasydän voi kyllästyä esimerkiksi suuren symmetrisen ensiössä vaikuttavan ylivirran ansiosta tai ensiövirran tasakomponentin vaikutuksen vuoksi. Ensiö-

virran suuruuden kasvaessa toisiojännitekin kasvaa ja kyllästymisreaktio voimistuu huomattavasti. Ensiövirran tasakomponentin vuoksi toisiojännitteeseen syntyy myös tasakomponentti, varsinkin silloin, kun taakka on osaksi resistiivinen. Induktiivisella taakalla tasakomponentti aiheuttaa taakassa huomattavasti alhaisemman jännitteen kuin saman suuruinen vaihtokomponentti, joten virtamuuntaja kuormitettuna induktiivisella taakalla ei kyllästy niin helposti kuin esimerkiksi kuorman ollessa resistiivinen. (Mörsky 1992, 115-117.)

2.3.1 Remanenssi

Virtamuuntajan rautasydämeen voi jäädä remanenssia eli jäännösmagnetismia, kun piirin käämivirta pienennetään noltaan tai virta katkaistaan esimerkiksi vikatilanteessa. Syntynyt remanenssivuoto voi siirtää muun muassa edellä mainitun kyllästymisrajan lähemmäksi tai kauemmaksi. Sydämeen syntynyt remanenssivuoto vaikuttaa aina seuraavaan vikatilanteeseen saakka. Tällöin uusi vikavirta aluksi demagnetoi sydämen ja sitten aikaansaa oman remanenssivuonsa. Suurimmillaan suljetun rautasydämen tapauksessa remanenssivuoto on noin 80% kyllästymisvuosta. Remanenssi- ilmiö voi tapahtua vikatilanteessa riippumatta siitä oliko rautasydän kyllästynyt vai ei. Rautasydämen ilmaraoilla voidaan pienentää remanenssivuon suuruutta 80% arvosta noin 10% arvoon mutta samanaikaisesti virta- ja kulmavirheiden arvot kasvavat. (Mörsky 1992, 117.)

2.4 Virtamuuntajatyypit

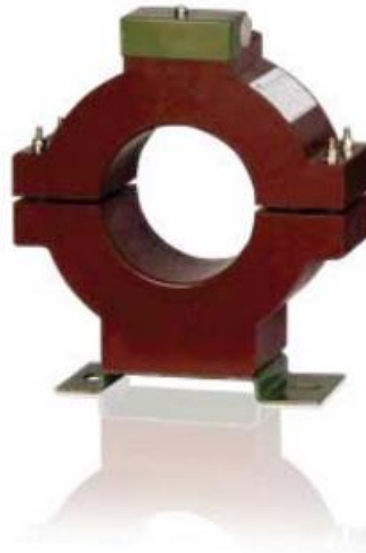
2.4.1 Rengasvirtamuuntaja

Rengasvirtamuuntajan ensiöpiirin johdin kulkee renkaan muotoisen rautasydämen läpi (KUVA 5). Jos ensiöjohdin kulkee sydämen läpi vain kerran, on ensiöpiirin johdinkierroslukumäärä tasan yksi. Ensiöjohdin voi lävistää renkaan useasti, jolloin vastaavasti ensiöpiirin johdinkierroslukumäärä kasvaa. Toisiopiirin johdinkierrosten lukumäärä laskeetaan siten, että kuinka monta kertaa toisiojohdin kiertää renkaan ympäri. (Aura & Tonteri 1993.)



KUVA 5. Rengasvirtamuuntaja Hager LVZW 400/5A (Hager 2015)

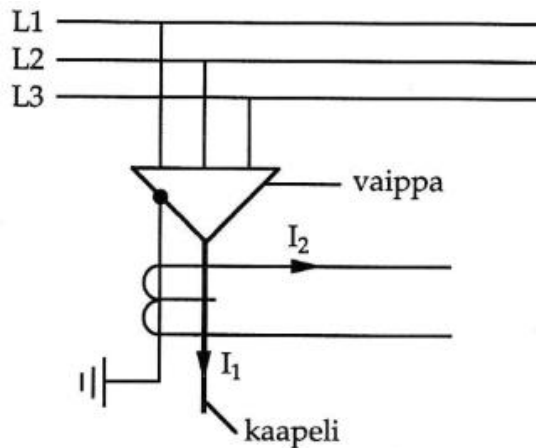
Kaapelivirtamuuntaja on erikoisrakenteinen rengasvirtamuuntaja (KUVA 6). Rakenteellisesti kaapelivirtamuuntaja poikkeaa rengasvirtamuuntajasta siten, että sen sydänrengas on rakennettu kahdesta palasta, jotka asennusvaiheessa liitetään yhteen (Aura & Tonteri 1993). Puhutaan siis avattavista virtamuuntajista, joiden tarkoitus on esimerkiksi valvoa maasulkuvirtaa sähköasemilla. Näitä virtamuuntajia käytetään muun muassa maasta erotetuissa verkoissa sähköasemilla, kun halutaan mitata nollavirtaa kolmivaihekaapelin ympäriltä. Kaapelivirtamuuntajan rakenteellinen ominaisuus mahdollistaa sen, että virtamuuntaja voidaan asentaa kaapeloinnin jälkeen, koska sen voi avata ja asettaa kaapelin ympärille.



KUVA 6. Avattava kaapelivirtamuuntaja ABB Kola 06 B2 (ABB 2011, 5)

Kun virtamuuntaja on rakenteeltaan rengasmaisen, voidaan sen muuntosuhdetta muuttaa viemällä ensiöjohdin useasti renkaan läpi. Esimerkiksi viemällä ensiöpiirin johdin kaksi

kertaa renkaan läpi, saadaan ensiövirran arvoksi kaksinkertainen virran arvo. Jos virtamuuntajan läpi viedyssä kaapelissa on metallinen vaippa tai suojajohtin, on kaapelipääteestä, metallivaipasta tai suojajohtimesta rakennettava maadoituskaapelilla yhteys maadoituskiskoon ja katsottava, että se kulkee virtamuuntajan aukon läpi (KUVA 7). Tällä toimenpiteellä estetään kaapelin vaipassa tai suojajohtimessa mahdollisesti virran vaikutuksesta kulkevat häiriövirrat.



KUVA 7. Kaapelin vaipan maadoitus (Mörsky 1992, 127)

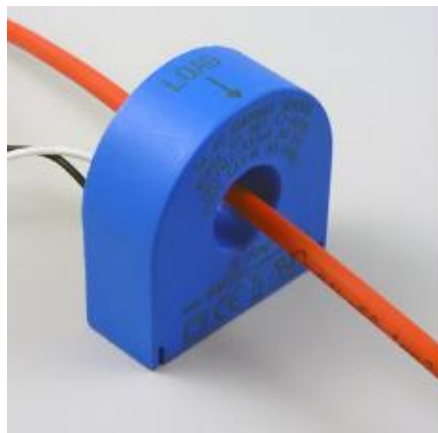
2.4.2 Välivirtamuuntaja

Välivirtamuuntajat kuuluvat suojausvirtamuuntajiin ja niitä käytetään virtojen suuruuksien sekä vaihekulmien saamiseksi vertailukelpoisiksi, esimerkiksi muuntajien differentiaalisuojausta varten. Esimerkiksi summavirtamuuntaja on välivirtamuuntaja, jonka ensiöpiirissä on useita käämejä yhteenlaskettaville virroille. Käämien virrat lasketaan yhteen ja summa saadaan toisiopiiristä. (Mörsky 1992, 127-128.)

2.4.3 Virta-jännitemuuntaja

Virta-jännitemuuntaja (KUVA 8) on induktiivinen virtamuuntaja, jonka rautasydämessä on useita ilmarakoja. Tällöin ”resultoiva” ilmarako on niin suuri, että ensiövirta koostuu melkein kokonaan magnetoimisvirrasta, jolloin toisiopiiriin indusoituu ensiövirtaan verrannollinen jännite. Toisin sanoen syntyvä jännite derivoi ensiövirtaa. (Mörsky 1992, 128-129.)

Kun virtajännitemuuntajan ensiöpiiriin johdettu virta on yhtä suuri kuin nimellinen virran arvo, antaa se myös toisiossa nimellisen jännitearvon mukaista jännitettä. Mikäli virta ensiössä on nimellistä pienempi, on toisiojännite myös nimellistä jännitettä pienempi mutta verrannollinen ensiövirtaan kuitenkin. Usein mitattava virta onkin pienempi, kuin virtamuuntajan nimellinen arvo. Tällöin ensiöpiiriin johdinkierroksia lisäämällä saadaan nostettua virtamuuntajan mittaamaa virran arvoa ja samalla toisiojännite kasvaa. Aina tämä ei ole mahdollista, kuten sähkökeskuksen syöttökaapelin jäykkien vaihejohtimien kanssa mutta tässä työssä tehtävät laboratoriomittaukset tehtiin tämän periaatteen mukaisesti.



KUVA 8. Kiinteästi asennettava 5A/333,3mV virta-jännitemuuntaja CT-RGT12-0005-U (Dent Instruments 2015)

Mikäli virta-jännitemuuntaja ”altistuu” liian suurelle virralle, eli virta on suurempi kuin laitteen ensiön nimellinen toimintavirta, suojaa muuntajan rautasydämen kyllästyminen virta-jännitemuuntajaa (KUVA 4). Periaatteessa virta-jännitemuuntaja ei tarvitse muuta suojausta, mikäli mitattavan virran arvot eivät kasva räjähdysmäisen suuriksi verrattuna nimellisiin arvoihin. Tällöin on vaarana, että laitteen rakenteelliset ominaisuudet eivät kestä niin suuria virtoja ja siitä aiheutuvia lämpötiloja. Tällaiset tilanteet ovat teoreettisestikin epätodennäköisiä.

Virtajännitemuuntaja mittaa ensiöpiirissä virtaa ja antaa sen suuruuden verrannollisena jännitetietona toisiopiiristä. Kun virtamuuntaja asetetaan virrallisen johtimen ympärille, indusoituu ensiöpiiriin kelaan vaihtovirtaa, joka aikaansaa rautasydämeen vaihtelevan magneettivuon. Kun virta vaihtelee sinimuotoisesti, vaihtelee myös magneettivuo sa-

moin. Tämän vaihtelevan magneettivuon takia toisioon indusoituu vaihtovirtaa. Kun toisiopiiriin asetetaan vastus (KUVA 9), saadaan sen yli mitattua vaihtojännitettä ja muutettua virtatieto jännitetiedoksi.



KUVA 9. Virta-jännitemuuntajan toimintaperiaate (Magnetlab 2016)

Virta-jännitemuuntajia käytetään muun muassa sähköenergian mittaukseen, koska esimerkiksi mitattaessa virran suuruutta vaihejohtimen ympäriltä, saadaan virtatieto muutettua suoraan jännitetiedoksi (KUVA 9). Tällöin on mahdollista siirtää jännitetiedot sopivalla ohjelmalla tietokoneelle ja tarkastella virran kulutuksen tietoja. Tässä opinnäytetyössä pienkiinteistöjen sähkövirran kulutusta tarkasteltiin virta-jännitemuuntajilla tehtyjen mittausten perusteella.

2.4.4 Sekoitusvirtamuuntaja

Sekoitusvirtamuuntaja on virtamuuntaja tai virta-jännitemuuntaja, jonka ensiöpiirissä ”vaikuttavat” kaikki kolme vaihevirtaa ja toisiopiiriin aikaansaadaan näistä kolmesta sekoitettu virta tai jännite. Jokaiselle vaihevirrälle on sekoitusvirtamuuntajassa erilainen muuntosuhde, mikä mahdollistaa eri vikatapausten havaitsemisen. Kun käytetään sekoitusvirtamuuntajaa, toisiopiiriin riittää yksi ainoa rele. Sekoitusvirtamuuntajaa käytetään vertosuojauksessa, jolloin yksi apuyhteys eli lisäkaapelointi, tai lisätty yhteysjohto tiedonsiirtoa varten riittää. Tällöin yhteysjohtojen tehohäviöt ovat pienemmät kuin kolmea virtamuuntajaa käytettäessä, kuten virta-jännitemuuntajan tapauksessa mutta relesuojauksen herkkyys erilaisten vikojen aikana on erilainen. (Mörsky 1992, 129.)

2.5 Virtamuuntajan valinta

Virtamuuntajan valinnassa on hyvä huomioida ainakin seuraavat asiat:

1. Valitaan ensiön jännite ja taajuus sopivaksi kytkentään
2. Valitaan ensiön nimellisvirta ottaen huomioon:

- a. Virtamuuntajan on pystyttävä muuntamaan virrat releiden ja mittareiden oikeille toiminta-alueille
 - b. Monisydämisen virtamuuntajan kaikilla sydämillä on sama ensiövirta, joten eri tehtäviin tapahtuvat virtamuuntajien sovitukset on tehtävä toision väliottojen avulla
 - c. Täytyy ottaa huomioon mahdolliset virtamuuntajien lisäykset tulevaisuudessa
3. Valitaan toisiopiirin nimellisvirta
 4. Määritetään tarvittava mittaus- ja suojaussydänten lukumäärä
 5. Valitaan jokaisen sydämen nimellistaakka, mikä koostuu releen tai mittalaitteen tehon ja johtohäviöiden summasta
 6. Selvitetään kunkin sydämen tarkkuusluokka ja mittarivarmuus- tai tarkkuusraja-kerroin
 7. Tarkastetaan virtamuuntajan vaadittavat rakenteelliset ominaisuudet sopiviksi
 8. Varmistutaan virtamuuntajan dynaamisten ja termisten ominaisuuksien riittävydestä. (Mörsky 1992, 133-134.)

Viimeisenä kannattaa selvittää virtamuuntajan dynaamisen- ja termisen oikosulkuvirran kestoisuudet, ettei vikatilanteiden takia tule ikäviä kojeiden rikkoontumisia. Mikäli piirin oikosulkuvirta muodostuu useammasta kuin yhdestä lähteestä, saadaan kokonaisuikosulkuvirta selville laskemalla eri suunnista tulevat oikosulkuvirrat yhteen. Virtamuuntaja tuhoutuu oikosulkuvirran huipun aikana, mikäli dynaaminen kestovirta on pienempi kuin tämä oikosulkuvirran huippuarvo. (Mörsky 1992, 134-135.)

3 VIRRRAN MITTAUSSIGNAALISSA NÄKYVIÄ HÄIRIÖITÄ

Sähkö ja sen laatu ovat merkittäviä tekijöitä sähkölaitteiden toimivuuden kannalta. Ongelmia aiheutuu monien eri syiden takia, joista yleisimpiä ovat jännite- ja virtapiikit, yliaallot sekä jännitetason vaihtelut. Sähköverkon ongelmat aiheuttavat pahimmillaan sähkön täysimittaisen katkeamisen, mikä on sähkökuluttajien kannalta valitettavaa. Häiriöt voivat ilmentyä myös esimerkiksi laatuvirheinä, viallisina tai epäluotettavina tuotteina. Kuluttajan näkökulmasta sähkön laadun ongelmat tulevat usein esille liian myöhään, esimerkiksi silloin, kun on jo hankittu uusia laitteistoja, jotka eivät kestä sähköverkon nykyistä häiriötasoa ja täten niihin ilmaantuu toimintahäiriöitä. Usein uudet laitteistot heikentävät omalla toiminnallaan sähkön laatua yli toiminnalle kriittisen rajan ja silloin vikaa etsittäessä jostain muualta, häiriötilanteet pitkittyvät. (ABB 2000.)

Sähkökuluttajien yleisimmät ongelmatilanteet ovat kohonneet loistehomaksut, laitevauriot ja toimintahäiriöt. Melko uutena ongelmana mainittakoon sähkövirran aiheuttamien magneettikenttien vaikutukset esimerkiksi tietokoneiden näyttöihin, jotka alkavat välkyä. Kuluttajat huomaavat vikatilanteet usein vasta silloin, kun sähkön laatu on jo heikentynyt ratkaisevasti. (ABB 2000.)

3.1 Galvaaniset häiriöt

Galvaanisesti kytkeytyvät eli johtumalla ”siirtyvät” häiriöt ovat eräs häiriöluokka. Siinä häiriöt kytkeytyvät virtapiiriin fyysisiä reittejä pitkin, esimerkiksi johtimien välityksellä. Usein johtavana yhteytenä toimii maadoitusjohdin tai tehonsyöttöjohtimet.

3.1.1 Transienttiyliaallot

Transienttiylijännite eli sähköverkon muutosilmiö on lyhytaikainen, nopean nousu- ja vaimenemisajan omaava joko värähtelevä tai ei-värähtelevä ylijännite. Se voi esiintyä vaihejohtimien tai vaihe- ja nollajohtimen välillä aiheuttaen samalla transienttiylivirran. Transienttiylijännitteen siirtyminen järjestelmien välillä voi tapahtua galvaanisesti, induktiivisesti tai kapasitiivisesti. (Sähkötieto ry 2006, 1.)

Transienttiylijännitteet jaetaan ilmiön keston perusteella pitkiin, keskipitkiin ja lyhyisiin transientteihin. Pitkät transientit eli kestoaltaan yli 100 μ s syntyvät esimerkiksi sulakkeen palaessa tai kompensointikondensaattorin kytkennästä. Keskipitkät transientit kestoaltaan 1-100 μ s syntyvät katkaisijan toiminnasta sekä esimerkiksi sähkölinjaan tai sen läheisyyteen iskeneestä salamaniskusta. Lyhyet transientit, jotka ovat luokitellaan kestoaltaan alle 1 μ s pituisiksi aiheutuvat paikallisten kuormien kytkennästä. (Sähkötieto ry 2006, 1.)

Transientteja synnyttäviä ilmiöitä ovat myös esimerkiksi suurjännitepuolen ylijännitesuojan toimiminen ja eristeen tai eristimen läpilyönnit. Transientit aiheuttavat yleensä ongelmia tietokoneiden kanssa, sillä tiedostoja voi tuhoutua ja laitteet voivat käynnistyä itsensä tai rikkoutua. Kuvassa 10 on transienttiylijännitteen aaltomuodon esimerkki. (ABB 2000.)



KUVA 10. Transienttiylijännite (ABB 2000)

SFS 6000- standardisarjan mukaan rakennusten sähköverkoissa edellytetään ylijännitesuojausta vain, mikäli asunnon sijaintipaikalla vuodessa on enemmän kuin 25 ukkospäivää ja syöttökaapelina on käytetty pienjänniteilmajohtoa. Suomessa ukkospäiviä on keskimäärin 12 vuodessa, joten ylijännitesuojausta harvoin asennetaan. Mikäli asuinkiinteistö halutaan suojata transienttiylijänniteiltä ylijännitesuojauksen keinoin, suositetaan kaksi- tai kolmiportaista ratkaisua. Esimerkiksi kolmiportainen ylijännitesuojaus toteutetaan asentamalla karkea ylijännitesuoja sähköpääkeskukseen, keskikarkea ylijännitesuoja nousu- tai jakokeskukseen ja hienosuoja itse kulutuskojeeseen. (Sähkötieto ry 2006, 2.)

Transienttiylijännitteet näkyvät erittäin lyhytaikaisena muuntajan kyllästymisenä, mikäli ensiöpiirin virta nousee nimellistä suuremmaksi. Jos transienttiylijännitteitä ilmenee ”tiheästi” johtimessa ja ne ovat pitkäaikaisia, palavat yleensä sulakkeet, jolloin virran mittaus luonnollisesti keskeytyy. Paikallisten ja melko suuritehoisten kuormien kytkettyessä verkkoon, eli transienttiylijännitteiden ollessa alle 1 μ s pituisia, virtamuuntajan oskilloskoopille

siirretystä signaalista voidaan huomata transienttipiikki. Tämä ei kuitenkaan aiheuta sulakkeiden palamista tai virtamuuntajan kyllästymistä näin lyhytaikaisena ilmiönä.

3.1.2 Maadoitusviat

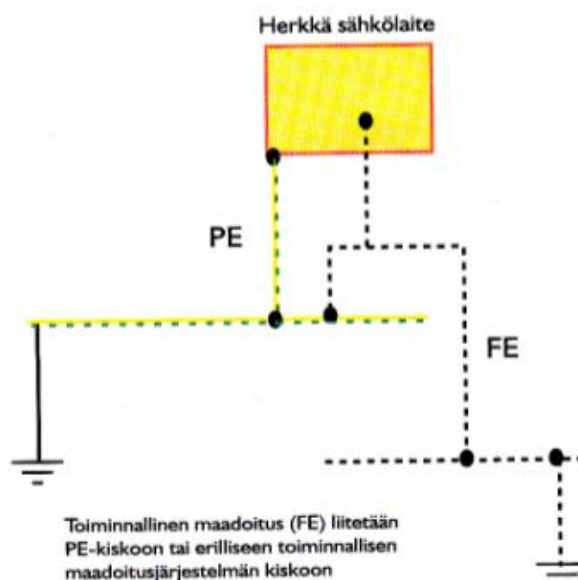
Maadoitukset ja potentiaalintasaukset kuuluvat tärkeänä osana jokaiseen sähkölaitteistoon. Sähköturvallisuuden kannalta maadoitusten on tarkoitus ensisijaisesti rajoittaa kosketusjännitteiden ja askeljännitteiden suuruuksia vikatilanteissa. Viat ovat usein esimerkiksi sähköasennuksissa tai niitä syöttävässä järjestelmässä. Maadoitusten on edellä mainittujen lisäksi tarkoitus myös:

- estää vaarallisten jännitteiden siirtyminen järjestelmästä toiseen
- estää vuotovirtojen, kipinöiden ja valokaarien syntyminen
- luoda edellytykset maasulku- ja vikasuojauksen toiminnalle. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2010, 49.)

Häiriösuojauksen kannalta on keskeistä käyttää sähköasennuksia tehdessä TN-S-järjestelmää. Tällä estetään muun muassa tietotekniikan laitteiden välisiä jännite-eroista johtuvia häiriövirtoja. Toimivien sähköasennuksien perusta on käyttää TN-S-järjestelmää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa rakentamista. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2010, 57.)

TN-S-järjestelmää voidaan täydentää käyttämällä erilaisia toiminnallisia potentiaalintasausjärjestelmiä. Se tarkoittaa yleensä tähtiverkkoon rakennettua järjestelmää, jossa jokaiselle laitteelle tuodaan oma suojajohdin kytkemättä niitä yhteen. Tätä maadoitustapaa voidaan täydentää vielä erilaisilla silmukoiduilla potentiaalintasausjärjestelmillä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2010, 57.)

Toiminnallinen maadoitus (KUVA 11) tarkoittaa järjestelmän, asennuksen tai laitteen jonkin pisteen maadoittamista muun syyn kuin sähköiskulta suojaamisen vuoksi. Yleensä syynä toiminnallisen maadoituksen rakentamiselle on sähkölaitteen häiriösuojaus. Toiminnallista maadoitusta merkitään tunnuksella FE. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2010, 26.)



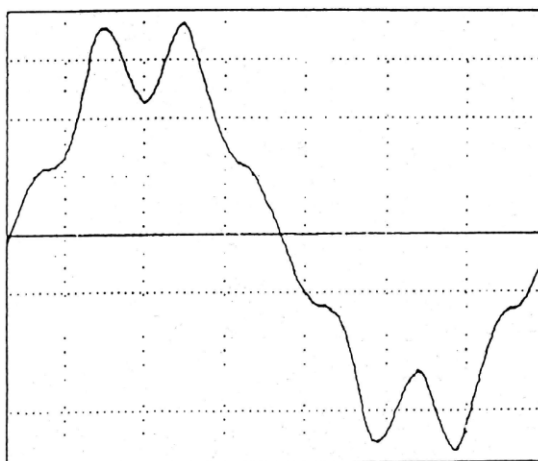
KUVA 11. Toiminnallisen maadoituksen kaapelointi (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2010, 26)

Mikäli pienkiinteistön tai omakotitalon sähkönsyötössä laitteelta tai kojeelta jostain syystä katkeaa yhteys päämaadoituskiskoon, aikaansaa se tilanteen, jossa laitteet tai kaapelit voivat häiriintyä ympäristön ulkopuolelta tulevista häiriölähteistä. Esimerkiksi tietotekniikan häiriöille herkat laitteet saattavat häiritä toisiaan, koska niiden välillä voi esiintyä häiriövirtoja. Tästä häiriintyneenä laitteet voivat aiheuttaa transienteja tai jonkinlaista epäsymmetriaa signaaliin sähkönsyöttöä kohden. Tämän voi huomata, esimerkiksi sähkökeskuksen vaihekaapelista mitatusta virran käyrämuodosta, johon se saattaa vaikuttaa ja tällöin mittasignaali on ”sinimuodosta” poikkeavaa.

3.1.3 Yliaaltovirrat- ja jännitteet

Pienkiinteistöjen sähköenergiaa käyttävät laitteet ovat suurimmalta osin suunniteltu toimimaan vakiotaajuisella sinimuotoisella jännitteellä. Poikkeamat jännitteen ja virran käyrämuodoissa kertovat perustaaajuutta suurempien komponenttien olemassaolosta sähköverkoissa. Yliaallot voivat olla peräisin useasta eri lähteestä, joten niiden alkuperän selvittäminen on usein hankalaa. (Suomen sähköurakoitsijaliitto ry 1991, 35.)

Sinisignaalin aaltomuoto on ”kyytymäinen” esimerkiksi taajuusmuuttajakytkennöissä tasajännitevälipiirin kondensaattorin vuoksi (KUVA 12). Kun kondensaattori varautuu, tasasuuntaussilta johtaa ja verkkojännite ylittää sen aikaisemman jännitetason. (Hietalahti 2013, 241.)



KUVA 12. Jännitteen sinimuodon vääristymä, jonka on aiheuttanut viides ja seitsemäs yliaalto (Suomen sähköurakoitsijaliitto ry 1991, 36)

Yliaaltoja muodostuu sähköverkkoon epälineaaristen komponenttien toiminnasta (KUVA 12). Harmonisia tai epäharmonisia yliaaltojännitteitä verkkoon synnyttävät pääasiassa ylikuormitetut muuntajat, epäsymmetriset kuormitukset, hakkuriteholähteet, tasa-suuntaajat, taajuusmuuttajat, tyristorikäytöt ja purkauslamput. Kotitalouksissa yleisesti käytössä olevista laitteista yliaaltoja synnyttävät muun muassa mikroaaltouunit, taajuusmuuttajalla ohjatut pesukoneet, led- valaisimet, valaistuksen himmentimet, akkulaturit sekä porien ja imurien nopeussäätäjät. (Suomen sähköurakoitsijaliitto ry 1991, 35.)

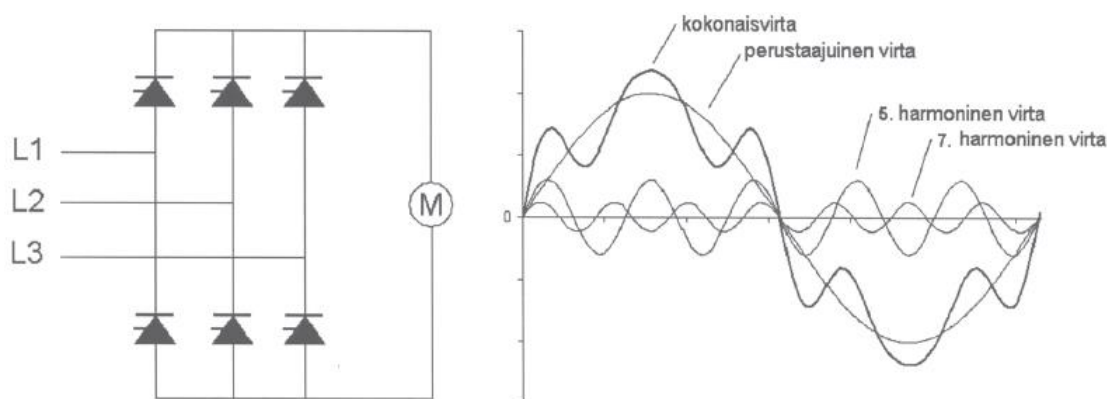
Taajuudeltaan kaikista pienimmät yliaallot ovat sähköverkon komponenttien kannalta kaikista haitallisimpia, koska tällöin signaalien amplitudierot ovat suurimmillaan. Suurtaajuiset yliaallot ovat haitaksi lähinnä viestiyhteyksille ja niiden amplitudierot ovat pieniä. Sähköverkon yliaaltoisuus hankaloittaa verkkokommutoitujen suuntaajien tyristorien syttymistä, koska ohjauspiirit ovat verkkoon synkronoituja. Lisäksi yliaallot aikaansaavat virheitä induktiomittareiden näyttämiin. (Suomen sähköurakoitsijaliitto ry 1991, 36.)

Kotitalouksissa jääkaappien sekä pakastimien pyörivissä koneistoissa yliaallot ilmenevät äänenä ja värinä, jolloin ne heikentävät laitteiden hyötysuhdetta ja lyhentävät käyttöikää. Vielä osittain käytössä olevissa puhelinajojoissa ilmenee yliaaltoisuutta, koska sähkönjakeluverkoista indusoituu suojaamattomiin ajojohtoihin helposti yliaaltoja. Tällöin puhelinyhteyksissä ilmenee värinää ja kuuluvuus on heikkoa. (Suomen sähköurakoitsijaliitto ry 1991, 36.)

Sinimuodosta poikkeava kuormavirta koostuu harmonisista yliaaltovirroista sekä perustajuisesta virrasta ja näiden taajuus on perustajuuden kerrannainen. Sähkönjakeluverkkoa rasittavat yliaallot ovat useimmiten kolmas, viides ja seitsemäs yliaalto. Yleisesti kolmas yliaalto ja sen kerrannaiset aiheutuvat 1- vaiheisesta kuormituksesta ja kaikki muut yliaallot 3- vaiheisesta kuormituksesta. Yleensä yliaallot poistuvat verkon tähtipisteissä ja niiden amplitudit vaimenevat taajuuden kasvaessa. Näistä poiketen 3. yliaalto ei kumoudu tähtipisteessä, koska se jatkaa kulkuaan nollajohtimessa. (Sähkötieto ry 2014, 1.)

Yliaaltojen yhteydessä voi esiintyä tasavirtakomponentteja jakeluverkon eri osissa kotitaloudessa ja teollisuudessa. Tasasuuntaajien aikaansaama tasavirta aiheuttaa verkkoon yliaaltoja ja voi kyllästä muuntajien rautasydämiä. Muuntajan magnetoimisvirtaan syntyy vielä lisää yliaaltoja, joiden joukossa on sekä parittomia että parillisia yliaaltoja. Tällöin muuntaja toimii tavallaan tasavirtakomponentin ohjaamana yliaaltoja synnyttävänä magneettisena vahvistimena. (Sähkötieto ry 2014.)

Yleisesti käytetty 6-pulssitasasuuntaussilta aikaansaa yliaaltoja, joiden suhteelliset osuudet perustajuisen virran suuruudesta on listattu taulukkoon 4. Suuntaajan periaatekuva ja kokonaisvirran vääristyminen 5. ja 7. yliaallon vuoksi on esitetty kuvassa 13. (Sähkötieto ry 2014, 2.)



KUVA 13. Suuntaajan periaate ja kokonaisvirran vääristyminen (Sähkötieto ry 2014, 2)

TAULUKKO 4. 6. pulssitasasuuntaajasillan tuottamien yliaaltovirtojen osuudet perustajuisesta virrasta (Sähkötieto ry 2014, 2)

| Yliaallon järjestysluku | Taajuus / Hz | Virta / % |
|-------------------------|--------------|-----------|
| 5 | 250 | 30 |
| 7 | 350 | 13 |
| 11 | 550 | 6 |
| 13 | 650 | 5 |

Yliaaltolähteet aiheuttavat ongelmia oman sähkönjakeluverkon lisäksi myös verkon muille käyttäjille ja tämä ilmenee sähkönlaadun heikentymisenä. (Sähkötieto ry 2014, 2.)

Sähköverkon yliaaltopitoisuuden määritelmänä käytetään särökerrointa, joka kertoo jännitteen yliaaltopitoisuuden määrän. Särökerroin määritetään signaalin tehollisarvon tai perustaajuuden signaalin suhteena. (Sähkötieto ry 2014, 2.)

Yleisesti jakeluverkon jännitteen laatu liityntäpisteessä määritetään standardin SFS-EN 50160 perusteella. Taulukossa 5 on esitetty eri laatuluokkien särökertoimia. (Sähkötieto ry 2014, 2.)

TAULUKKO 5. Särökertoimet eri laatuluokille (Sähkötieto ry 2014, 2)

| Laatuluokka | Harmoninen jännitesärö / % |
|-------------|----------------------------|
| Hyvä | ≤ 3 |
| Normaali | $\leq 3-6$ |
| Standardi | $\leq 6-8$ (95% arvoista) |

Yliaaltoja voidaan poistaa eli suodattaa sähköverkosta estokelaparistoilla, kompensointiparistoilla tai yliaaltosuodattimilla. Suodattimen valinnassa täytyy huomioida yliaaltoja tuottavan kuorman suhde kokonaisuormaan ja tämän avulla valita sopiva suodatustapa. Jos kuormien suhde on yli 20%, toteutetaan suodatus estokelaparistolla tai yliaaltosuodattimella. Jos käytetään pelkästään kompensointiparistoa, kasvattaa se verkon jännitesärön eli THD- arvon moninkertaiseksi. Jos kohteessa on vain vähän yliaaltolähteitä, käytetään usein estokelaparistoa, koska sillä on vähäinen aaltojen suodatusominaisuus. Kohteissa, joissa esiintyy paljon yliaaltoja, käytetään yliaaltosuodatinta sen hyvistä yliaaltojen suodatusominaisuuksista johtuen. (Sähkötieto ry 2014, 3.)

Yliaaltosuodattimet jaetaan passiivisiin ja aktiivisiin suodattimiin. Passiiviset suodattimet jaetaan niiden yliaaltojen suodatuskyvyn avulla kolmella jaollisten yliaaltojen ja kolmannen yliaallon suodattimiin. Kolmella jaollisten yliaaltojen suodattimet viritetään suodattamaan pois yleisimpiä yliaaltotaajuuksia ja kolmannen yliaallon suodatin poistaa ainoastaan kolmannen yliaallon verkosta. Pienjänniteverkoissa käytetään usein aktiivisia yliaaltosuodattimia, joiden toiminta perustuu sähkönlaadun reaaliaikaiseen mittaukseen ja järjestelmän automaattiseen säätymiseen oikeanlaiseksi. Aktiivisuodin tuottaa jokaiselle yliaaltotaajuudelle kompensoidun virran mutta vastavaiheisena. (Sähkötieto ry 2014, 3.)

Yleissääntönä suodattimen valinnassa pidetään virtapiirin nimellisvirtaa, sillä lähtökoh-
taisesti suodattimen tulee kestää verkossa esiintyvän vaihe-epäsymmetrian aikaansaama
50Hz:n nollavirta. (Sähkötieto ry 2014.)

Omakotitaloissa ja pienkiinteistöissä yliaallot ovat kasvava ongelma, koska yhä enemmän
käytetään laitteita, jotka aiheuttavat yliaaltoja. Virran mittauksen kannalta suuresti säröy-
tynyt sähkönsyöttö, aiheuttaa virran käyrämuotoon suuria poikkeamia siniaallosta ja täl-
löin esimerkiksi virta-jännite muuntaja saattaa mitata virheellisesti.

3.2 Sähkömagneettiset häiriöt

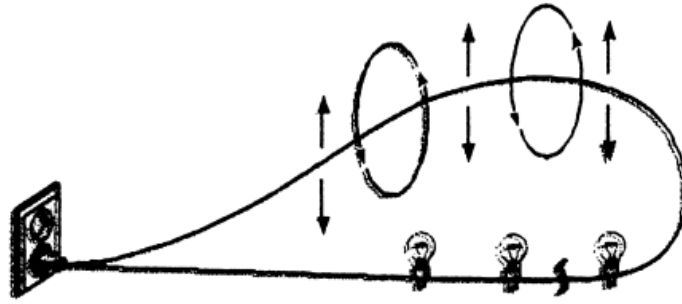
Sähkömagneettisilla häiriöillä tarkoitetaan sähkömagneettisia ilmiöitä, jotka häiritsevät
jotain tiettyä järjestelmää tai jonka avulla järjestelmä häiritsee muita järjestelmiä. Häiriöt
voivat olla alati muuttuvia ja ne voivat muuttaa siirrettäviä sähkömagneettisia signaaleja
tai estää niiden siirtymisen kokonaan. (Suomen sähköurakoitsijaliitto ry 1991, 21.)

Sähkömagneettisella yhteensopivuudella eli EMC-sopivuudella tarkoitetaan tietyn järjes-
telmän ominaisuutta pysyä toiminnassa ilman häiriintymistä sähkömagneettisessa ympä-
ristössä ja samalla olla aiheuttamatta häiriöitä muiden järjestelmien toiminnalle. (Suomen
sähköurakoitsijaliitto ry 1991, 21.)

Käytännössä sähkömagneettisia häiriöitä esiintyy siellä, missä on suuria virtoja ja jännit-
teitä tai missä virran käyrämuoto poikkeaa siniaallosta. Sähkömagneettiset häiriöt voivat
häiritä tai vahingoittaa tietoteknisiä järjestelmiä ja laitteita, elektronisia komponentteja tai
piirejä sisältäviä laitteita.

3.2.1 Magneettikentät

Sähkövirran kulku johtimessa aiheuttaa magneettikentän johdon tai laitteen läheisyyteen
ja magneettikentän suuruus vaihtelee kuormitusvirran mukaan (KUVA 14). Magneetti-
kenttä johtimessa on suurimmillaan johtimen pinnalla ja sen suuruus riippuu sähkövir-
rasta, etäisyydestä johtimeen sekä johtimien sijoittelusta. Magneettikenttien lähteitä on
ympäristössä melko paljon ja erityisesti kiinteistöjen sisäiset sähköasennukset aiheuttavat
paljon magneettikenttiä. Magneettikentän suuruutta kuvataan magneettivuon tiheydellä,
jonka yksikkö on Tesla T . (Energiateollisuus 2000.)



KUVA 14. Sähkövirran aiheuttama magneettikenttä johtimen ympärille (Energiateollisuus 2000)

Magneettikenttiä syntyy muun muassa syöttö- tai nousukaapeleiden pinnalle, kun kaapelin vaihejohtimet ovat toisiinsa nähden epäsymmetrisessä kuormassa. Sähkökeskusten nousukaapeleissa kulkevat kiinteistöjen suurimmat virrat ja sitä kautta niiden ympärillä ovat myös suurimmat magneettikentät. Esimerkiksi nousu- ja kaapelikuiluissa tai sähkökeskuksen syöttökaapelin vaihejohtimien ympärillä magneettikenttien voimakkuudet ovat melko suuria. (Säteilyturvakeskus 2016.)

Rakennusten vanhoissa TN-C- järjestelmien asennuksissa magneettikentät voivat aiheuttaa häiriöitä johtumalla talojen maadoitettujen osien metallirakenteisiin. Tämä johtuu siitä, että maadoitus- ja nollajohdin ovat erotettu samasta johtimesta ja sähkövirran kulun paluureitti on nollajohtimen kautta sähkölähteeseen. Samalla paluuvirtaa ja magneettikenttiä siirtyy osittain myös maadoitettujen metallirakenteiden kautta sähkölähteeseen ja tapahtumaketju aikaansaa harhavirtoja. Nykyään kaikki uudisrakennusten asennukset tehdään TN-S- järjestelmän mukaisiksi eli maadoitus- ja nollajohdin ovat kokonaan omia johtimiaan. Tällöin virta palaa ainoastaan nollajohdinta pitkin sähkölähteeseen ja harhavirtoja ei synny. (Säteilyturvakeskus 2016.)

Magneettikenttiä esiintyy siis virrallisten kaapeleiden tai johtimien läheisyydessä. Sähköasennuksissa kaapeleiden pinnan magneettisuus on yleensä ongelmallinen tilanne, koska tällöin vierekkäiset kaapelit saattavat häiriintyä ulkoisen magneettikentän indusoivasta vaikutuksesta. Esimerkiksi kaapeloitaessa samalle kaapelihyllylle vahvavirtakaapeleita ja heikkovirtakaapeleita, pyritään kaapelit sijoittamaan eri puolille hyllyä häiriöiden indusoitumisen estämiseksi. Lisäksi jos on pakko viedä kaapeli toisen yli, on pyrittävä tekemään ylitys 90 asteen kulmassa toiseen nähden. Tällöin magneettikentät häi-

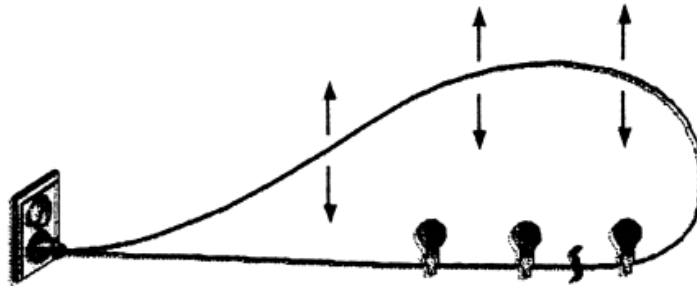
ritsevät mahdollisimman vähän toisen kaapelin toimintaa. Usein tästä ongelmasta päästään, kun rakennetaan molemmille vahva- ja heikkovirtakaapeleille omat kaapelihyllyt mahdollisuuksien mukaan.

Magneettikenttien muodostumista voidaan myös käyttää hyödyksi erilaisissa sähkölaitteissa, kuten induktioliedessä. Induktioliedessä keraamisen tason alla kulkee käämijohdin, johon syöttämällä vaihtovirtaa aikaansaadaan korkeataajuinen muuttuva magneettikenttä. Kun seuraavaksi lieden keraamiselle tasolle asetetaan astia, jonka pohja on valmistettu magnetoituvasta metallista, indusoituu induktiovirtaa tähän. Keittoastia alkaa lämmitä ja seuraavaksi lämpö siirtyy keittoastiassa olevaan ruokaan.

3.2.2 Sähkökentät

Sähkövaraus johtimessa synnyttää ympärilleen sähkökentän, jonka voimakkuus on riippuvainen johtimen jännitteestä (KUVA 15). Sähkökenttä johtimessa syntyy jänniteeroista ja mitä suurempi on johtimen jännite, sitä voimakkaampi on sähkökenttä.

Sähkökentän voimakkuus on suurimmillaan johtimen välittömässä läheisyydessä. Sähkökentän voimakkuuden yksikkö on voltteja metriä kohden, eli V/m . (Energiateollisuus 2000.)



KUVA 15. Johtimen jännite aikaansaa johtimen läheisyyteen sähkökentän (Energiateollisuus 2000)

Sähkökenttiä muodostuu esimerkiksi suurjännitekaapeleiden läheisyyteen niin maakaapelin kuin ilmakaapelin tapauksissa. Sähkökenttien leviäminen ympäristöön voidaan estää eristämällä jännitteiset osat metallikotelon tai vastaavan sähköä johtavan kotelorakenteen sisään. Maakaapelin johtimia ympäröivä metallivaippa estää sähkökentän tunkeutumisen jännitteisen kaapelin ulkopuolelle ja ilmakaapelin aiheuttama sähkökenttä ei pääse tunkeutumaan talojen seinien läpi sisätiloihin. (Tampereen teknillinen yliopisto 2011.)

Useiden eri heikkovirtajärjestelmien kaapeloinnit toteutetaan suojatuilla ja toisesta päästä maadoitetuilla, sekä mahdollisesti vielä kierrettyillä parikaapeleilla. Tällöin ulkopuoliset sähkökentät häiritsevät signaalin liikettä kaapelissa mahdollisimman vähän. Lisäksi näin voidaan saada selville mahdolliset kaapelin rikkoontumiset, koska monet eri järjestelmät ilmoittavat tällöin vikatilanteesta. Esimerkiksi useat paloilmaisinjärjestelmät ilmoittavat vikatilanteesta, jos maadoitettu suoja osuu puhki kuluneeseen johtimeen ja tapahtuu ”maavuoto”.

4 MITTALAITTEET

4.1 Tutkittavat virta-jännitemuuntajat

Mittauksissa tutkittiin kolmea erilaista virta-jännitemuuntajaa, joista kahden nimellinen ensiöpiirin virta oli 20A ja yhden 50A. Jokaisen virta-jännitemuuntajan toisiosta saatiin ensiövirtaan suhteellista vaihtojännitettä, jonka nimellinen arvo oli 333mV. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin erilaisia sähköllä toimivia komponentteja, joiden avulla aikaansaatii virtamuuntajien mittauksiin mahdollisesti häiritseviä tilanteita.

4.1.1 Dent CTHSC-020-U/B

Dent CTHSC-020-U/B on korkealuokkainen saranoitu virta-jännitemuuntaja ja se on suunniteltu käytettäväksi muun muassa energian mittaukseen, kuormituksen virran laadun kartoitukseen ja erilaisiin kuormitusten aiheuttamien sähköisten ilmiöiden havainnointiin. Se on pienen kokonsa ansiosta ideaalinen ahtaisiin tiloihin tai vierekkäisten johtimien kuormitusvirtojen yhtäaikaisiin mittauksiin (KUVA 16). (Dent Instruments 2015.)



KUVA 16. 20A / 333mV saranoitu virta-jännitemuuntaja (Dent Instruments 2015)

Kyseinen virta-jännitemuuntaja antaa toisiopiiristä vaihtojännitetietoa, joka on täysin verrannollinen ensiöpiirin sisääntulovirtaan. Kun ensiöpiirissä kulkeva virta on nimellinen 20A, saadaan toisiopiiristäkin ulos nimellinen 333mV jännitetieto. Tämä virtamuuntaja voidaan asentaa helposti ja turvallisesti jo olemassa oleviin sähköjohtimiin katkaisematta sähköjä, kuten sähköpääkeskuksien syöttökaapeleiden vaihejohtimiin. Liitteestä 1 löytyy tämän virtamuuntajan valmistajan ilmoittamat tekniset tiedot.

4.1.2 Magnelab SCT-075R-050

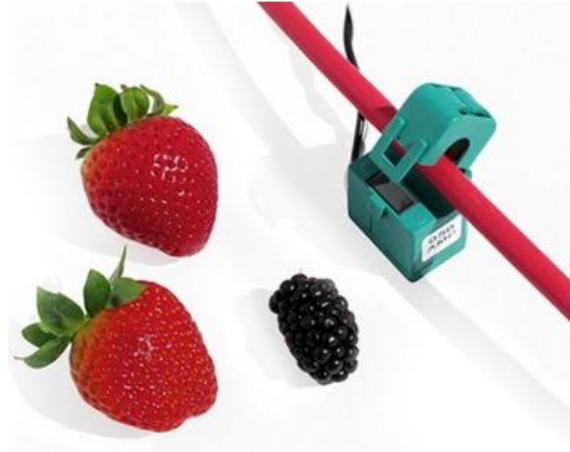
Magnelab SCT-075R-050 on laadukas saranoitu virta-jännitemuuntaja, joka mittaa ensiössä virtaa ja antaa toisiosta vaihtojännitetietoa (KUVA 17). Tutkittavan virta-jännitemuuntajan nimellinen ensiövirta on 50A ja nimellinen toisiojännite 333mV. Komponentti pystyy muuttamaan ensiövirran arvon tarkasti toisiojännitteeksi ja liitteestä 2 löytyy tärkeimmät tekniset tiedot laitteesta. Kyseinen mittamuuntaja on tarkoitettu erityisesti virran mittaukseen jo olemassa olevista sähköjohtimista tai sähkökeskuksista, koska se on avattavuutensa ja kokonsa vuoksi helppo asentaa. (Magnelab 2016.)



KUVA 17. 50A / 333mV saranoitu virta-jännitemuuntaja (Magnelab 2016)

4.1.3 Magnelab SCT-0400-020

Magnelab SCT-0400-020 on myös laadukas ja saranoitu virta-jännitemuuntaja, joka mittaa ensiössä virtaa ja antaa toisiosta vaihtojännitetietoa (KUVA 18). Kyseisen komponentin nimellinen ensiövirta on 20A ja nimellinen toisiojännite 333mV. Komponentti pystyy muuttamaan ensiövirran arvon toisiojännitteeksi. Kyseinen mittamuuntaja on tarkoitettu erityisesti virran mittaukseen jo olemassa olevista sähköjohtimista tai sähkökeskuksista, koska se on avattavuutensa ja kokonsa vuoksi helppo asentaa ahtaisiin paikkoihin. Valmistaja takaa laitteen kestävän hajoamatta 500 avaamista ja sulkemista ja samalla antaa 10 vuoden takuun kojeelle. Tuotetta voidaan käyttää myös tiedon keräämiseen, energian mittaukseen ja kulutuksen seurantaan. (Magnelab 2016.)



KUVA 18. 20A / 333mV saranoitu virta-jännitemuuntaja (Magnetlab 2016)

4.2 Fluke 43B Analysaattori

Tässä työssä mitatut virta-jännitemuuntajien virran käyrämuotojen signaalit siirrettiin johtimilla Fluke 43B sähkönlaadun analysaattoriin ja siitä vielä tietokoneelle tulosten raportointia varten. Mittauksia varten kyseinen analysaattori (KUVA 19) sopi erittäin hyvin tarkoitukseen, koska laitteen avulla saatiin selville mitatun virran yliaaltopitoisuus aina 51 harmoniseen yliaaltoon saakka, harmonisen kokonaissärön suuruus, virran aaltomuoto sekä taajuus.



KUVA 19. Fluke 43B sähkönlaadun analysaattori (Fluke 2016)

Fluke 43B Power Quality Analyzer monikäyttömittari (KUVA 19) on tarkoitettu käytettäväksi teollisuuden mittauksiin ja optimoitu 50Hz perustaajuuden mittauksiin. Sillä voi-

daan mitata myös käyttötaajuuden ollessa 10-400Hz. Sähkönlaadun analysaattori-ominaisuuden ohella, laite on myös oskilloskooppi, yleismittari ja monipuolinen piirturi. (Fluke 2016.)

4.3 Fluke 80i-110s AC/DC virtapihti

Työn käytettyyn sähkönlaadun analysaattoriin toiseen sisääntuloporttiin asetettiin Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihti (KUVA 20), jonka avulla mitattiin myös kytkentöjen virta-signaalia. Tämä tehtiin siksi, että pystyttiin vertailemaan mittaustuloksia ja tarkastelemaan virta-jännitemuuntajien soveltuvuutta kyseisiin käyttötilanteisiin.



KUVA 20. Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihti (Fluke 2016)

Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihti on suunniteltu erityisesti sähkönjakeluverkoissa esiintyvien aaltomuotojen jäljentämiseen. Virtapihdillä voidaan mitata virtaa aina verkkotaajuudesta 50. harmoniseen yliaaltoon saakka. Instrumentti on yhteensopiva myös kaikkien millivolteja mittaavien komponenttien kanssa. Virtapihti mittaa ensiöpiirin virtaa ja antaa ulostulosignaalksi jännitetietoa. Erillisellä kytkimellä voidaan valita ulostulon tarkkuudeksi tilanteesta riippuen joko 100mV/1A tai 10mV/1A. (Fluke 2016.)

4.4 Fluke 87V yleismittari

Työn virta-jännitemuuntajilla mitatuille virran arvoille saatiin vertailupohjaa Fluken 87V True RMS Multimeter- yleismittarin avulla (KUVA 21). Kyseinen yleismittari soveltuu hyvin virran mittaamiseen työssä, koska se mittaa tarkasti häiriöpitoisestakin pulssista

oikean tuloksen ja antaa sen digitaalisena, sekä neliöllisenä keskiarvona, eli RMS- arvona. Mittarissa voi asettaa päälle myös korkeataajuisten häiriösignaalien suodattimen. (Fluke 2016.)



KUVA 21. Fluke 87V yleismittari (Fluke 2016)

4.5 Fluke 337 virtamittari

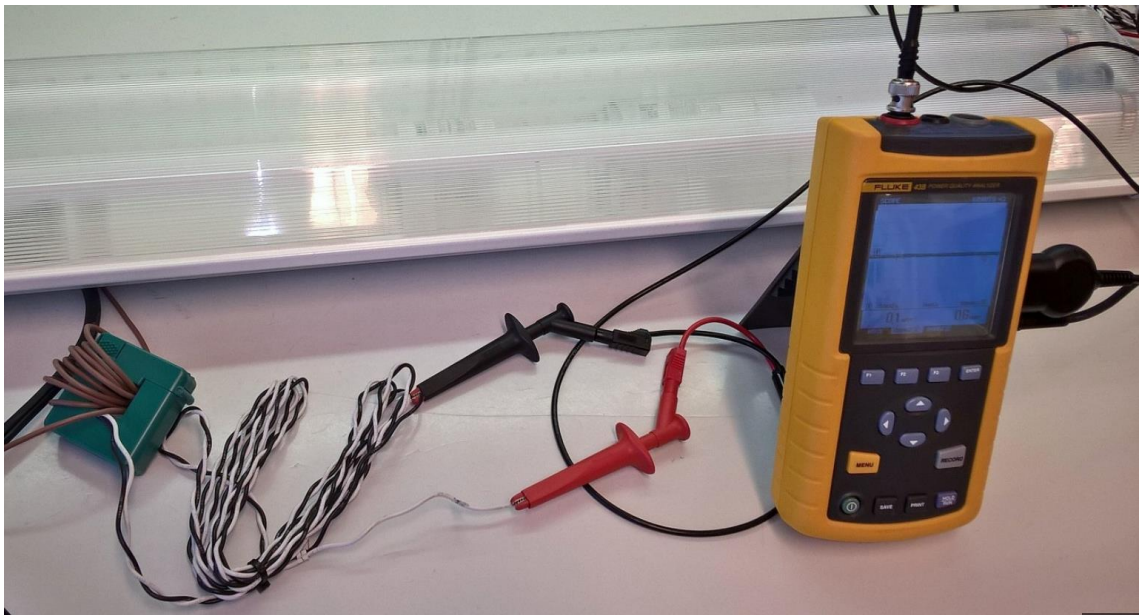
Toisessa mittauksessa tutkittaessa loistevalaisimen liitäntälaitteiden aiheuttamia häiriöitä virtamuuntajien mittausravoihin, käytettiin virran mittaukseen Fluke 337 virtamittaria (KUVA 22). Tällä virtamittarilla pystytään mittaamaan virtaa tarkasti säröytyneestä sinisignaalista ja saamaan oikeita tuloksia digitaalisena, sekä neliöllisenä keskiarvona eli RMS- arvona. (Fluke 2016.)



KUVA 22. Fluke 337 virtamittari (Fluke 2016)

5 MITTAUKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI

Työn mittaukset on pyritty tekemään siten, että niiden avulla saatavat tulokset voidaan rinnastaa helposti pienkiinteistön tai omakotitalon laitteiden aiheuttamiin virran mittauksen häiriöihin (KUVA 23). Mittauksista saatuja kuvaajia on verrattu teoriaosuudessa läpikäytyihin häiriöihin ja päätelty ovatko mitatut virtojen arvot virheellisiä. Kaikki työssä tutkittavat laitteet ovat yleisesti käytössä muun muassa pienkiinteistöissä.



KUVA 23. Virtamuuntajamittausten periaatekuva

Tutkittavia häiriötilanteita pyrittiin aikaansaamaan erilaisilla laitteilla, jotta teoriassa käsitelty asia saa käytännön vahvistusta. Olosuhteita transienttiylijaltojen ja maadoitusvikojen tutkimiselle ei ollut mahdollista luoda, joten tutkittavien mittamuuntajien toimintaa niiden aikana ei voitu kokeilla käytännössä.

Virta-jännitemuuntajien kykyä mitata virtaa pystyttiin kokeilemaan ylijaltovirtojen vaikutuksen alaisena kahdella erilaisella kuormituksella. Lisäksi sähkömagneettisten häiriöiden vaikutusta tutkittaviin virtamuuntajiin selvitettiin loistevalaisinkuorman avulla.

5.1 Mittaus 1

Ensimmäisessä mittauksessa tutkittiin kolmivaiheista taajuusmuuttajaa ja sen aiheuttamien yliaaltojen vaikutusta virran mittaukseen. Mittaus rakentui ohjaamalla taajuusmuuttajan avulla kolmivaiheista sähkömoottoria ja tarkastelemalla verkkovirran signaalia sähkönlaadun analysaattorilla.

Mittauksen 1 mittausjärjestelyn kytkentäkuva on esitetty liitteessä 4 ja mittauksessa tarkasteltiin vaihevirran signaalin aaltomuotoa ja virran suuruuden realistisuutta. Taajuusmuuttajana oli ABB:n valmistama ACS 600 taajuusmuuttaja, jonka tasasuuntausyksikkö on toteutettu kolmivaiheisella tyristorisiltarakenteella ja siksi signaalin aaltomuoto poikkeaa siniaallosta.

Yleismittarilla (KUVA 21) nähtiin, että kytkennän ottama virta oli $I_1=3,22A$. Vaihejohdin kierrettiin jokaisen virta-jännitemuuntajan ympärille viisi kertaa ja ensiövirta saatiin viisinkertaiseksi.

$$I_p = 5 \cdot I_1 = 5 \cdot 3,22A = 16,10A$$

Jokaisen virtamuuntajan kanssa mitattiin vertailun vuoksi myös Fluke 80i-110s AC/DC-virtapihdillä virran signaalia ja tämän virtapihdin toision tarkkuudeksi asetettiin 100mV/A. Vaihejohdin kierrettiin viisi kertaa myös virtapihdin ympärille ja tästä laskettiin sen mittaama teoreettinen toisiojännitteen suuruus.

$$U_s = 100mV \cdot I_p = 100mV \cdot 16,10A = 1,61V$$

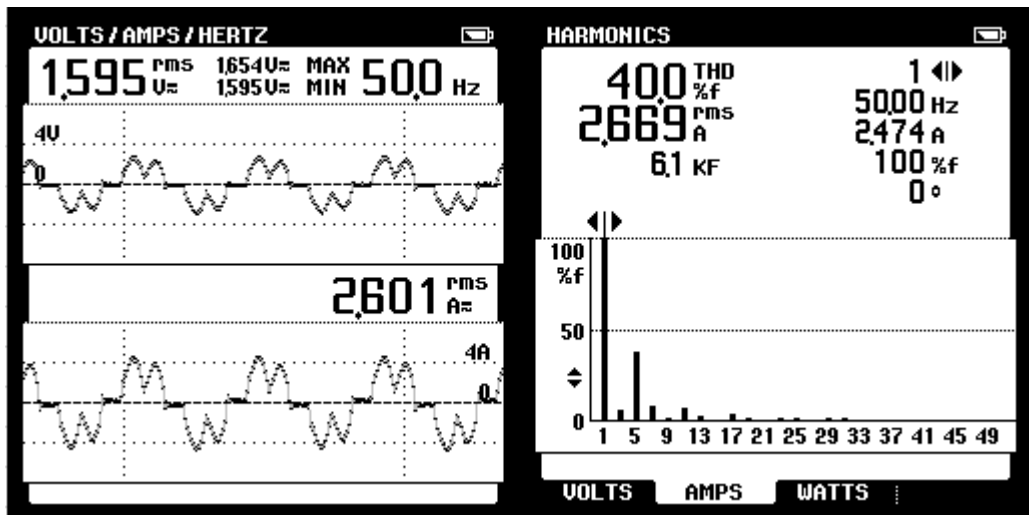
Pienien virtamuuntajien Dent CTHSC-020-U/B ja Magnelab SCT-0400-020 ensiöpiirin nimellinen virta viidellä johdinkierroksella oli lähellä nimellistä ensiövirran arvoa 20A. Näiden virtamuuntajien muuntosuhde laskettiin kaavan 5 avulla.

$$k_n = \frac{I_{pn}}{I_{sn}} = \frac{I_p}{U_s} = \frac{20A}{0,333V} = 60,060$$

Kun lasketaan näiden virtamuuntajien toisiojännite, lasketaan se kaavan 4 avulla jakamalla ensiövirta muuntosuhteella.

$$U_s = \frac{I_p}{k_n} = \frac{16,10A}{60,060} = 0,268V$$

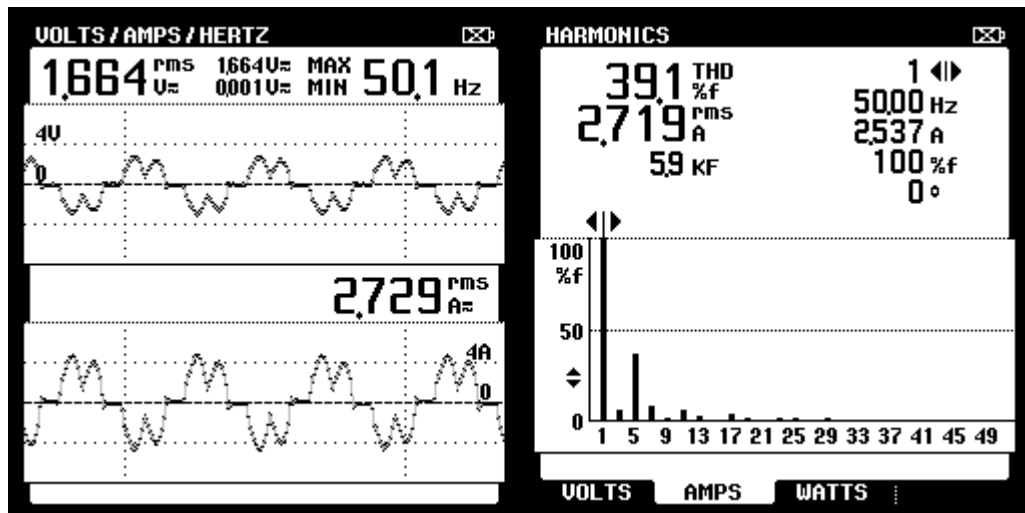
Kuvassa 24 on Magnelab SCT-0400-020 virtamuuntajan mitaamat virtasignaali- ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä saatu vertailusignaali. Ylempi aaltomuoto on ilmaistu jännitetietona ja alempi virtatietona, koska Fluke 43B- analysaattorissa ei ole kahta jännitteen mittauksen tuloporttia. Analysaattori muodosti tutkittavasta alemmasta signaalista jännitteeseen verrannollista virtasignaalia säilyttäen sen aaltomuodon. Kuvassa 24 virran suuruus on $I_2=2,601A$, joten lukuarvo on noin kymmenkertainen laskennalliseen jännitearvoon $U_s=0,268V$ nähden.



KUVA 24. Verkkovirran signaalin aaltomuodot ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on mitattu Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä ja alempi Magnelab SCT-0400-020- virtamuuntajalla.

Vaikka kuvan 24 yliaaltokuvaajasta nähtiin mitattavan virran kokonaissäröprosentin olevan suuri, ei se oleellisesti vaikuta mitatun virran suuruuteen. Magnelab SCT-0400-020 virtamuuntajalla saatiin mittaustulokseksi samaa aaltomuotoa mukailevaa virtasignaalia, kuin mitä Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä. Virran neliölliseksi keskiarvoksi mitattiin molemmilla mittamuuntajilla lähes samat lukemat, jotka vastaavat edellä laskettuja teoreettisia arvoja.

Kuvassa 25 ovat samasta tilanteesta mitatut virtasignaalit ja yliaaltopitoisuus Dent CTHSC-020-U/B- virtamuuntajan mittaamana. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä saatu vertailusignaali ja se on ilmaistu jännitetietona. Kuvassa 23 virran suuruus on $I_2=2,729A$. Virran arvo on myös nyt suurin piirtein kymmenkertainen verrattuna laskennalliseen jännitteeseen $U_s=0,27V$.



KUVA 25. Verkkovirran signaalin aaltomuodot ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on mitattu Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä ja alempi Dent CTHSC-020-U/B- virtamuuntajalla.

Vaikka kuvan 25 oikean puolen yliaaltokuvaajasta nähtiin mitattavan virran kokonaissäröprosentin olevan korkea, se ei juurikaan vaikuta mitattavan virran suuruuteen. Dent CTHSC-020-U/B- virtamuuntajalla saatiin mitattua samaa aaltomuotoa mukailevaa virtasignaalia, kuin mitä Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdilläkin. Virran neliölliseksi keskiarvoksi mitattiin molemmilla mittamuuntajilla samaa suuruusluokkaa olevat arvot, eivätkä ne poikkea suuruusluokaltaan lasketuista arvoista.

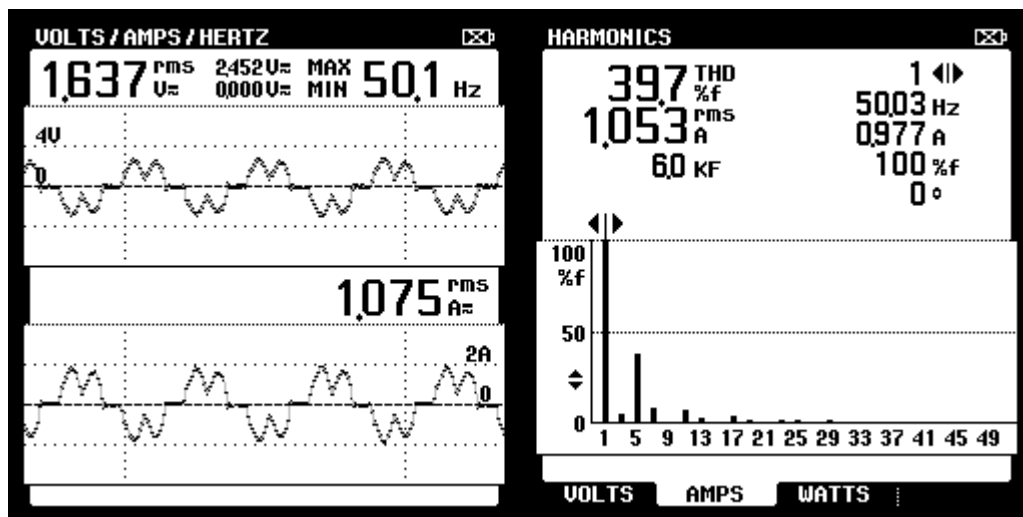
Kolmantena tutkittiin Magnelab SCT-075R-050- virtamuuntajaa, jonka ensiöpiirin nimellinen virta oli 50A. Virtamuuntajan muuntosuhde laskettiin kaavan 5 avulla, samoin kuin edellistenkin.

$$k_n = \frac{I_{pn}}{I_{sn}} = \frac{I_p}{U_s} = \frac{50A}{0,333V} = 150,150$$

Tästä edelleen laskettiin toisiopiirissä vaikuttava jännite viidellä ensiöpiirin johdinkierroksella ja saatiin kaavan 4 avulla teoreettinen toisiojännite.

$$U_s = \frac{I_p}{k_n} = \frac{16,10A}{150,150} = 0,107V$$

Kuvassa 26 on kolmantena tutkitun Magnelab SCT-075R-050- virtamuuntajan mittaamat virran signaalit ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä saatu vertailusignaali. Kuvassa 26 virran suuruus on $I_2=1,075A$, joten lukuarvo on noin kymmenkertainen laskennalliseen jännitearvoon $U_s=0,107V$ nähden.



KUVA 26. Verkkovirran signaalin aaltomuodot ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on mitattu Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä ja alempi Magnelab SCT-075R-050- virtamuuntajalla.

Kuvan 26 oikean puolen yliaaltokuvaajan virran suurista särölukemista huolimatta, mitattavan virran suuruus ei poikkea teoriasta. Magnelab SCT-075R-050- virtamuuntajalla saatiin mittaustulokseksi lähes samaa aaltomuotoa mukailevaa virtasignaalia, kuin mitä Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä.

5.2 Mittaus 2

Toisessa mittauksessa tutkittiin myös yliaaltojen vaikutusta virran mittaukseen yksittäisen loistevalaisimen avulla, jonka sisäänrakennetut elektroniset liitäntälaitteet aikaansaa-

vat virtasignaaliin säröä. Mittaus toteutettiin kytkemällä loistevalaisin päälle ja asettamalla vaihejohdin virtamuuntajien ensiöpiirin ympärille. Signaalia ja virran suuruutta tarkasteltiin sähkönlaadun analysaattorilla.

Mittauksessa 2 käytetyn mittausjärjestelyn kytkentäkuva on esitetty liitteessä 5. Tutkittavassa loistevalaisimessa oli kaksi loisteputkea ja molemmille omat elektroniset liitännälaitteet. Elektroninen liitännälaitte nostaa verkkojännitteen taajuuden loistevalaisinta varten suureksi, suuntaamalla vaihtojännitteen tasajännitteeksi ja sitten takaisin vaihtojännitteeksi. Tämän vuoksi vaihtojännitteen signaalimuoto on säröytynyt, yliaaltopitoinen ja siniaallosta poikkeava.

Pihtimittarilla (KUVA 22) nähtiin, että kytkennän ottama virta oli $I_I=0,65A$. Vaihejohdin kierrettiin jokaisen virta-jännitemuuntajan ympärille kymmenen kertaa, eli niin monesti kuin se oli mahdollista pienempien virtamuuntajien kanssa. Ensiövirrasta tuli näin kymmenkertainen.

$$I_p = 10 \cdot I_1 = 10 \cdot 0,65A = 6,50A$$

Myös toisessa mittauksessa mitattiin vertailun vuoksi Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä virran signaalia ja virtapihdin toisio tarkkuudeksi asetettiin 100mV/A. Vaihejohdin kierrettiin myös kymmenen kertaa virtapihdin ympärille ja tästä laskettiin teoreettinen toisiojännitteen suuruus.

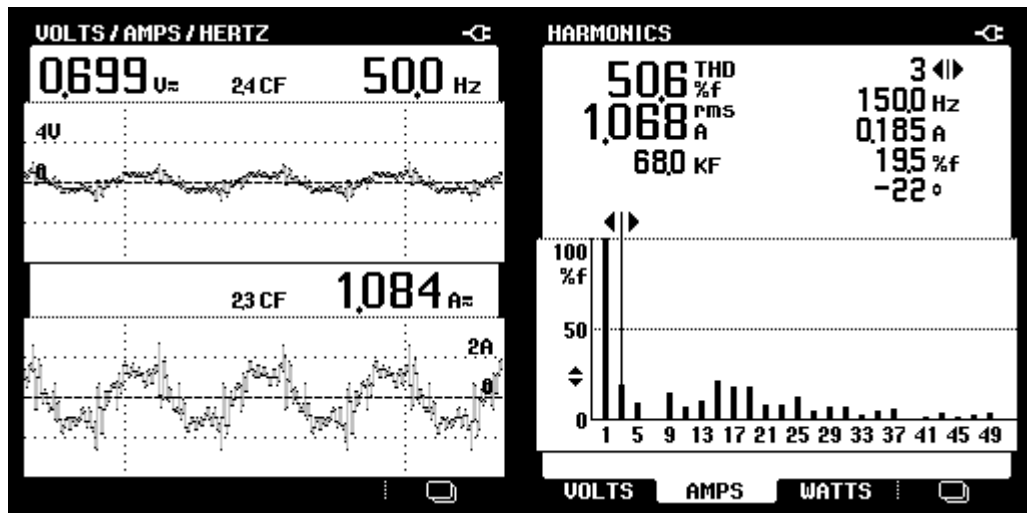
$$U_s = 100mV \cdot I_p = 100mV \cdot 6,50A = 0,65V$$

Pienien virtamuuntajien Dent CTHSC-020-U/B ja Magnelab SCT-0400-020 ensiöpiirin nimellinen virta $I_p=6,50A$ kymmenellä johdinkierroksella jäi selvästi alle nimellisen ensiövirran arvon 20A. Virran suuruus oli kuitenkin riittävän suuri osuakseen virtamuuntajien valmistajien ilmoittamiin mittausrajoihin.

Kun lasketaan pienien virtamuuntajien teoreettinen toisiojännite, lasketaan se jakamalla ensiövirta jo edellä mittauksessa 1 lasketulla muuntosuhteella.

$$U_s = \frac{I_p}{k_n} = \frac{6,50A}{60,060} = 0,108V$$

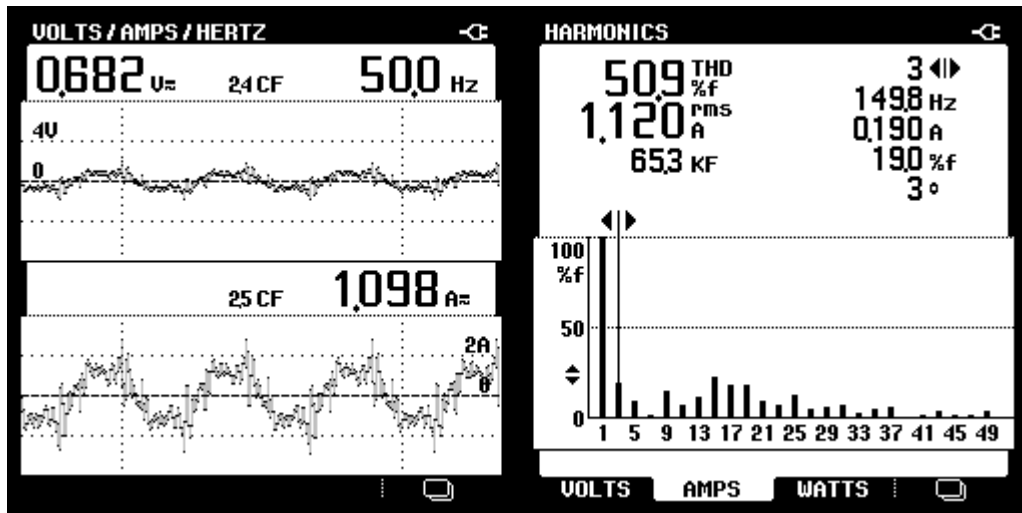
Kuvassa 27 on Magnelab SCT-0400-020 virtamuuntajan mittaamat virtasignaali- ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä saatu vertailusignaali. Ylempi aaltomuoto on ilmaistu jännitetietona ja alempi virtatietona, johtuen Fluke 43B- analysaattorin ominaisuuksista. Analysaattori muodosti tutkittavasta alemmasta signaalista jännitteeseen verrannollista virtasignaalia säilyttäen sen aaltomuodon. Kuvassa 27 virran suuruus on $I_2=1,084A$, joten lukuarvo on noin kymmenkertainen laskennalliseen jännitearvoon $U_2=0,108V$ nähden.



KUVA 27. Verkkovirran signaalin aaltomuodot ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on mitattu Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä ja alempi Magnelab SCT-0400-020- virtamuuntajalla.

Magnelab SCT-0400-020 virtamuuntajalla saatiin mittaustulokseksi samaa aaltomuotoa mukailevaa virtasignaalia, kuin mitä Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä. Vaikka kuvan 27 oikean puolen yliaaltokuvaajasta nähtiin mitattavan virran kokonaissäröprosentin olevan suuri, ei se oleellisesti vaikuttanut mitattavan virran suuruuteen. Käytössä olleen analysaattorin vuoksi, mitatut virran suuruudet ovat realistisia, koska analysaattori muodostaa säröytyneestäkin signaalista neliöllisen keskiarvon. Virran suuruudeksi mitattiin molemmilla mittamuuntajilla lähes samat lukemat, jotka vastaavat edellä laskettuja teoreettisia arvoja.

Kuvassa 28 ovat mitatut virtasignaali ja yliaaltopitoisuus Dent CTHSC-020-U/B- virtamuuntajan mittaamana. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä saatu vertailusignaali ja sen suuruus jännitetietona. Kuvassa 28 virran suuruus on $I_2=1,098A$. Virran arvo on myös nyt suurin piirtein kymmenkertainen verrattuna laskennalliseen jännitteeseen $U_2=0,108V$.



KUVA 28. Verkkovirran signaalin aaltomuodot ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on mitattu Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä ja alempi Dent CTHSC-020-U/B- virtamuuntajalla.

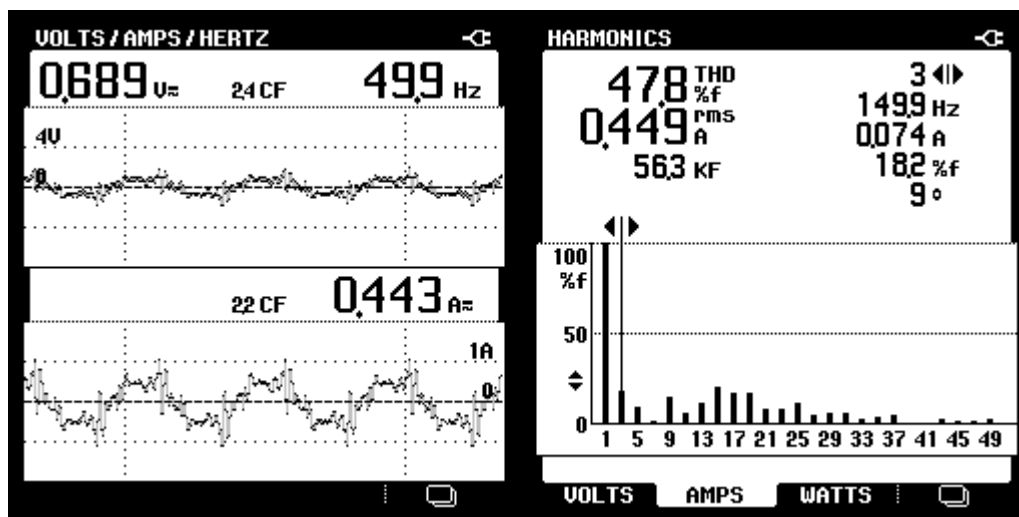
Kuvan 28 oikean puolen yliaaltokuvaajan osoittamista virran yliaaltopitoisuuksista huolimatta mitattavan virran suuruus on realistinen analysaattorin ominaisuuksien vuoksi. Dent CTHSC-020-U/B- virtamuuntajalla saatiin mitattua samaa aaltomuotoa mukailevaa virtasignaalia, kuin mitä Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdilläkin.

Kolmantena tutkittiin Magnelab SCT-075R-050- virtamuuntajaa, jonka ensiöpiirin nimellinen virta oli 50A ja muuntosuhde edellä laskettu $k_n=150,150$.

Kun tästä lasketaan toisiopiirissä vaikuttava jännite kymmenellä ensiöpiirin johdinkierroksella, saatiin kaavan 4 avulla laskettua teoreettinen toisiojännite.

$$U_s = \frac{I_p}{k_n} = \frac{6,50A}{150,150} = 0,043V$$

Kuvassa 29 on kolmantena tutkitun Magnelab SCT-075R-050- virtamuuntajan mitaamat virran signaalit ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä saatu vertailusignaali. Kuvassa 29 virran suuruus on $I_2=0,443A$, joten lukuarvo on noin kymmenkertainen laskennalliseen jännitearvoon $U_2=0,043V$ nähden.



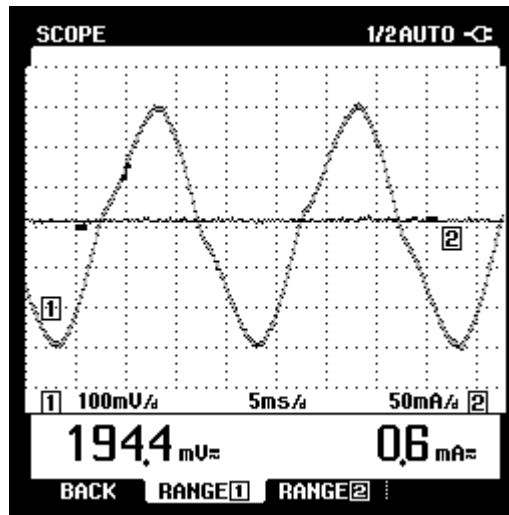
KUVA 29. Verkkovirran signaalin aaltomuodot ja yliaaltopitoisuus. Kuvan vasemmanpuoleisessa osassa ylempi signaali on mitattu Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä ja alempi Magnelab SCT-075R-050- virtamuuntajalla.

Kuvan 26 oikean puolen yliaaltokuvaajan suurista särölukemista huolimatta, mitattavan virran suuruus ei poikkea nytkään laskennallisesta arvosta. Magnelab SCT-075R-050- virtamuuntajalla saatiin mittaustulokseksi lähes samaa aaltomuotoa mukailevaa virtasignaalia, kuin mitä Fluke 80i-110s AC/DC- virtapihdillä.

5.3 Mittaus 3

Kolmannessa mittauksessa selvitettiin virtamuuntajien käyttäytymistä sähkömagneettisten häiriöiden vaikutuksen alaisena. Mittauksessa 3 käytetyn mittausjärjestelyn kytkentäkuva on esitetty liitteessä 6. Kytkentä rakentui asentamalla kuusi 2x18W loistevalaisinta rinnan ja tutkimalla kytkennän vaihejohtimessa kulkevaa virtasignaalia. Häiriöitä pyrittiin aikaansaamaan asettamalla virtamuuntajaan kiinni toinen samanlainen virtamuuntaja tai viemällä eri virtapiiriin virrallisia johtimia virtamuuntajan ylitse. Mittauksissa virtamuuntajan ensiöpiirissä kulki tällöin $I_p=11,5A$ virta ja se aikaansaatiin asettamalla ensiöpiiriin ympärille viisi johdinkierrosta.

Jokaisella virtamuuntajalla saatiin mitattua kytkennästä samanlaista teoriaa mukailevaa virran aaltomuotoa (KUVA 30). Kun kytkentään lisättiin jokaisen virtamuuntajan aikana toinen virtamuuntaja, ei signaalissa tai virran suuruudessa havaittu minkäänlaista poikkeamaa tai muutosta. Vaikka nämä kaksi virtamuuntajaa asetettiin kiinni toisiinsa tai mihin tahansa kulmaan toisiinsa nähden, ei mittaussignaaliin ilmestynyt muutoksia.



KUVA 30. Kolmannen mittauksen signaalin mitattu aaltomuoto. Kuvan signaali on mitattu Magnelab SCT-0400-020- virtamuuntajalla.

Kun tarkasteltiin virrallisten, risteilevien ja suojaamattomien johtimien vaikutusta virtamuuntajien toimintaan, tehtiin toinen erillinen virtapiiri säätövastuksen avulla. Säätövastuksella saatiin häiriövirtapiirin virraksi $I=5,4A$ ja mitattava virta pysyi edelleen saman suuruisena. Tarkoitus oli luoda tilanne, joka voisi vastata virtamuuntajan asentamista altaaseen sähkökeskukseen, jossa risteilee virrallisia johtimia. Kytkennän aikana virtamuuntajan mittaamaan signaaliin ei ilmestynyt häiriöitä tai mitään kuvan 30 signaaliin verrattuna poikkeavaa yhdenkään tutkittavan virtamuuntajan mittauksen aikana.

Sähkömagneettisten häiriöiden tai ympäristö-olosuhteiden vaikutuksesta ei havaittu virran mittauksessa häiriöitä tai vääristymiä. Tämä voi johtua kytkennän ja häiriölaitteiden melko alhaisista virroista, minkä vuoksi ne eivät vaikuttaneet virran mittaukseen.

6 POHDINTA

Työssä selvitettiin onnistuneesti virtamuuntajien toimintaperiaate ja yleisimmät pienkiinteistön sähköverkon häiriötilanteet. Tehdyistä mittauksista suoriuduttiin hyvin, koska vertailtaessa mittaustuloksia teoreettisiin arvoihin saatiin saman suuruisia tuloksia. Mittausten avulla saatiin käsitys virtamuuntajien toiminnasta tutkittavien häiriöiden aikana eli työn tavoitteet saavutettiin. Kuitenkin mittaustuloksissa esiintyy pieniä epätarkkuuksia, johtuen laitteiden epäideaalisuudesta ja käytettyjen johtimien sekä liitosten häviöistä.

Mikäli mitatun virran analysointiin tarkoitetulla analysaattorilla ei voida mitata virtasignaalia neliöllistä keskiarvoa, eivät virran suuruudet ole häiriötilanteissa realistisia. Tällöin myös tutkittavien virtamuuntajien avulla voidaan saada häiriötilanteissa paljon todellisia arvoja suurempia tuloksia. Nyt käytössä ollut analysaattori mittasi neliöllistä keskiarvoa ja virtojen suuruudet olivat realistisia.

Tutkittavien virtamuuntajien nimelliset ensiövirrat olivat melko suuria ja sen vuoksi josta saatavilla ollutta häiriötä aiheuttavaa laitetta ei voitu tutkia. Mittauksia yritettiin myös tehdä virtamuuntajien nimellisvirtoja pienemmillä virroilla tuloksetta. Mittaukset rajoittuivatkin ”suuria” virtoja ottaviin häiriötä aiheuttaviin kuormalaitteisiin ja siksi mittauksia on lopulta vähän. Tästä huolimatta mittauksissa ei päästy kokeilemaan virtamuuntajien toimintaa nimellisten virta-arvojen maksimi lukemilla.

Koska mittauksesta haluttiin käytäntöön helposti sovellettavaa tietoa virtamuuntajien toiminnasta ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta tuloksiin, olisivat tulokset voineet olla realistisempia, jos käytössä olisi ollut oikea käytössä oleva sähkökeskus. Lisäksi olisi voitu tutkia monien erilaisten häiriölähteiden yhtäaikaista vaikutusta mittaustuloksiin, kun kuormavirtojen arvot olisivat olleet suurempia.

Yleisesti ottaen tutkimuksen aihe oli erittäin mielenkiintoinen, opettavainen ja myös ajankohtainen, sillä häiriötä aiheuttavat kuormalaitteet yleistyvät pienikiinteistöissä. Työssä tehdyt käytännön mittaukset antoivat realistisen näkökulman tutkittavien virtamuuntajien toiminnasta, asentamisesta ja käytöstä, mikä osaltaan laajensi ja toi lisäarvoa työn sisällylle.

LÄHTEET

ABB. 2000. ABB:n TTT- Käsikirja. Sähkövoimatekniikan laboratoriotyöt 2 kurssimateriaali. Kevät 2016. Tampereen ammattikorkeakoulu.

ABB. 2011. Cable Current Transformers. Tuoteluettelo. Luettu 20.1.2016. https://library.e.abb.com/public/8409f7ef2a5b01efc1257bb700394cb6/KOLMA,KOLA,KOKM,KORI,KOLT_en.pdf

Ahoranta, J. 1998. Sähkötekniikka. Helsinki: WSOY.

Aura, L. & Tonteri, A. 1993. Sähkölaitostekniikka. Porvoo: WSOY.

Aura, L. & Tonteri, A. 1985. Sähkämiehen käsikirja 2, Sähkökoneet. Helsinki: WSOY.

Dent Instruments. 2015. Standard & Revenue Grade Current Transformers for Power Meters. Tuoteluettelo. Luettu 20.1.2016. <http://www.dentinstruments.com/standard-accuracy-and-revenue-grade-current-transformers>

Energiateollisuus. 2000. Sähkö- ja magneettikentät. Pdf-asiakirja. Luettu 29.2.2016. <http://energia.fi/sites/default/files/sahko-%20ja%20magneettikentat.pdf>

Fluke. 2016. Tuotteet. Tuoteluettelo. Luettu 29.3.2016. <http://www.fluke.com/fluke/fifi/products/>

Hager. 2015. LVZW150. Tuotekatalogi. Luettu 20.1.2016. <http://www.hager.de/produktkatalog-neuheiten/energieverteilung-und-zaehlerplatzsysteme/sicherungsmaterial/nh-sicherungslastschaltleisten-zubehoer/lvzw150/468450.htm>

Hietalahti. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Vantaa: Amk- Kustannus Oy Tammertekniikka.

Lindeman, K. & Sahinoja, T. 2000. Sähkömittaustekniikan perusteet. Helsinki: WSOY.

Magnelab. 2016. AC Current Sensors. Tuoteluettelo. Luettu 2.3.2016. <http://www.magnelab.com/product-category/ac-current-sensors/>

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna: OTATIETO Oy.

Niemelä, J. 2010. 20 kV kojeiston suunnittelu sähkövoimalaboratorioon. Opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Luettu 18.1.2016. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/21394/Niemela_Jarmo.pdf?sequence=1

Suomen sähkörakoitsijaliitto ry. 1991. Häiriösuojaus. Espoo: Sähkörakoitsijaliiton koulutus ja kustannus oy.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2010. Maadoitusopas. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähkötieto ry. 2006. Sähkön laatu. Vinokuormitus, nollajohdin ja transienttiyljännitteet. ST kortti 52.51.04. Luettu 25.1.2016. <http://severi.sahkoinfo.fi.elib.tamk.fi/item/617>

Sähkötieto ry. 2014. Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000V:n pienjänniteverkossa. ST kortti 52.16. Luettu 8.2.2016. <http://severi.sahkoinfo.fi.elib.tamk.fi/item/519>

Säteilyturvakeskus. 2016. Talon sähkökaapelit ja sähköpääkeskus. Sähkö- ja magneettikenttäjulkaisu. Luettu 1.3.2016. <http://www.stuk.fi/aiheet/sahkonsiirto-ja-voimajohdot/voimajohdot-aiheuttavat-sahko-ja-magneettikentan/talon-sahkokaapelit-ja-sahkopaakeskus>

Tampereen teknillinen yliopisto. 2011. Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät. Tutkimus. Luettu 1.3.2016. http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/voimajohtoliitteet/Ymp%C3%A4rist%C3%B6-%20ja%20Turvallisuus-osiot/Tamp_yo_magnkentat2011.pdf

UTU Powel Oy. 2008. Virtamuuntajat. Tuoteluettelo. Sähkövoimatekniikan laboratorio-työt 1 kurssimateriaali. Kevät 2015. Tampereen ammattikorkeakoulu.

LIITTEET

Liite 1. Datalehti Dent CTHSC-020-U/B

**20A HIGH PERFORMANCE
MINI CURRENT TRANSFORMERS**



The hinged "Mini" CTs are small, low-cost current transformers with high accuracy (<0.5%) over a wide dynamic range with excellent phase shift. The "Minis" are ideal where space is limited such as when metering multiple loads within a panel board. Use for current measurement, energy metering, load surveys, demand metering, energy research, and submetering.

| KEY SPECIFICATIONS | |
|--------------------|--|
| Window Size | 0.4" (10 mm) |
| Current Range* | 0.25 - 40A AC |
| Output | 333 mV @ 20A AC 16.65 mV/A AC |
| Ratio Error** | <0.5% from 0.25 to 40A AC (typical) |
| Phase Error | <1.5° from 1 to 40A AC <2° From 0.25 to 1A AC |

* Depending on meter compatibility. See ELITEpro™ and PowerScout™ specifications for details.
** For maximum performance, keep CT contact surfaces wiped clean and free of debris.



| ELECTRICAL | |
|---------------------|---|
| Output | 333 mV @ 20 A |
| Wire Polarity | White = Hi, positive (+) Black = Low, negative (-) |
| Phasing Orientation | Arrow On Case Points Toward Load |
| Frequency Range | 50 to 400 Hz |

| MECHANICAL | |
|---------------------|---------------------------|
| Case Material | White Nylon, UL 94 V-0 |
| Leads | 2.4 M (8"), 600V, 20 gage |
| Working Temperature | -15 to 60°C (5 to 140°F) |

| SAFETY | |
|---------------------|--|
| Working Voltage | 600 VAC, Category III |
| Dielectric Strength | 3520 VAC for 1 minute |
| Certifications | Designed to: UL STD 61010-1 CAN/CSA STD C22.2 No. 61010-1 |

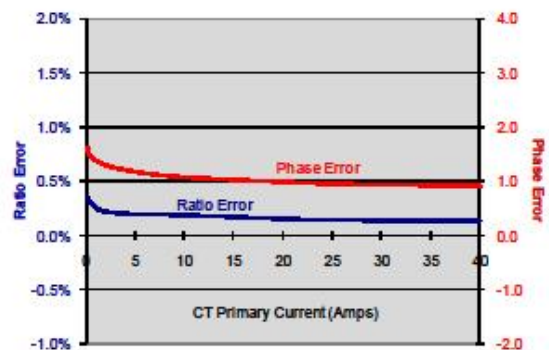
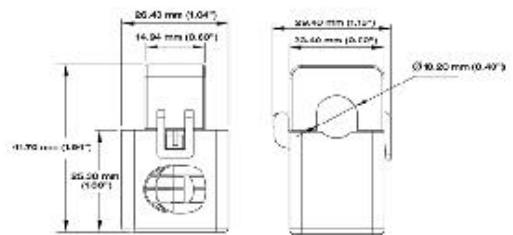


| PART NUMBERS | |
|--------------|---|
| CT-HSC-020-U | Crimp ferrules on leads |
| CT-HSC-020-B | With Banana Plugs (for use with Weather-tight PRO-series Instruments) |

CONTACT US

DENT Instruments, Inc.
Energy & Power Measurement Solutions

925 SW Emory Drive
Bend, Oregon 97702 USA
541.388.4774 | 800.388.0770
WWW.DENTINSTRUMENTS.COM



All specifications contained in this document are subject to change without notice.
© DENT INSTRUMENTS, INC.
rev 081612

Liite 2. Datalehti Magnelab SCT-075R-050



**Revenue Grade Split-Core
AC Current Sensor SCT-075R**

0.79" Opening with Ratings Up to 250 Amps

Description:

Magnelab's SCT-075R Series Current Sensors meets ANSI C57.13 revenue grade accuracy class 0.6 with unprecedented linearity and superior phase angle up to 250 Amps passing through the center conductor. Split-core transformer are ideal for installation on existing electrical wiring by snapping around the conductor. The SCT Series have a self-locking mechanism.

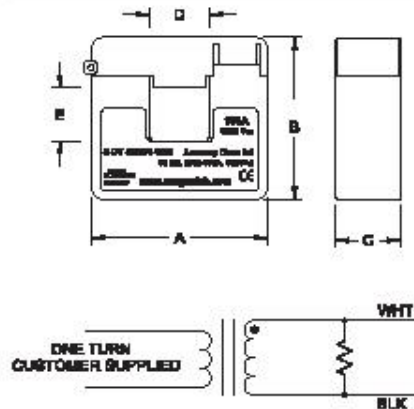
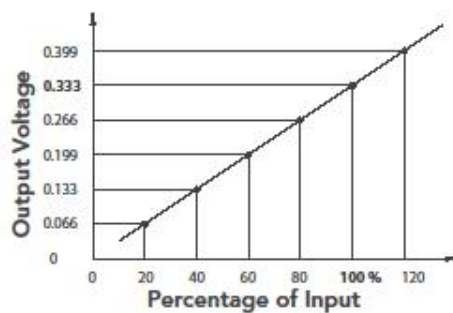


Features:

- Rated Input up to 250 Amps
- Output of 0.333 Volt at rated current
- Linearity accuracy $\pm 0.5\%$
- Accuracy at 10% to 120% of rated current
- Phase angle 0.25°
- 8 ft. twisted-pair lead, 22 AWG
- Maximum Voltage: 600 V (on bare conductor)
- UL recognized, CE, and RoHS compliant
- Other parameters are available at customer request.

| PART NUMBER AND RATING | |
|------------------------|-------------|
| Model Number | Part Number |
| SCT-075R-050 | 4379-607 |
| SCT-075R-100 | 4379-610 |
| SCT-075R-200 | 4379-611 |
| SCT-075R-250 | 4379-612 |

| DIMENSION | INCH | MM |
|-----------|-------|------|
| A | 2.400 | 61.0 |
| B | 2.400 | 61.0 |
| C | 0.900 | 23.0 |
| D | 0.790 | 20.0 |
| E | 0.790 | 20.0 |



RoHS2 ISO 9001:2008

B

Magnelab.com

(Magnelab 2016)

Liite 3. Datalehti Magnelab SCT-0400-020



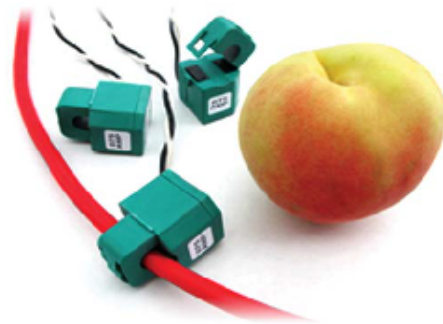
Split-Core AC Current Sensor SCT-0400 0.40" Opening With Ratings Up To 75 Amps

Description:

Magnelab's SCT-0400 Series split-core current sensors "sense" AC current up to 75 Amps passing through the center conductor. Split-core transformers are ideal for installation on existing electrical wiring by snapping around the conductor. The SCT series have a self-locking mechanism guaranteed for 500 opening-closing cycles. Custom outputs and other parameters are available at customer request.

Features:

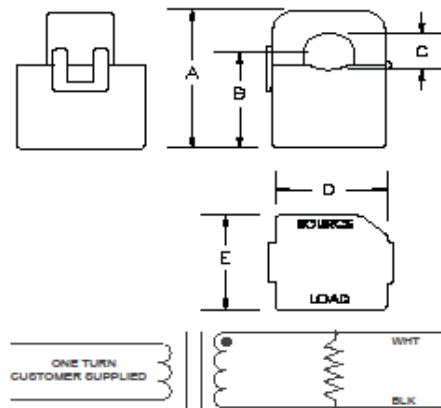
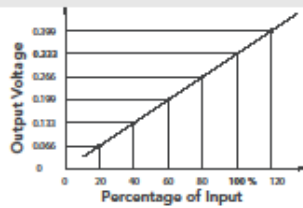
- Rated input up to 75 Amp
- Output 0.333 Volt AC at rated current
- Linearity accuracy $\pm 1\%$
- Accuracy at 10% to 130% of rated current
- Phase angle < 2 degrees (valid for 20A or higher)
- Operates from 50 Hz to 1,000 Hz
- 8 ft. twisted-pair lead, 22 AWG
- Maximum Voltage: 600 V (on bare conductor)
- Hinge guaranteed for 500 opening-closing cycles.
- UL Standard 61010-1, EN 60044-1
- Operating temperature: -20°C to 110°C



| PART NUMBER AND RATING | |
|------------------------|---------------------|
| SCT-0400-000 | No Burden Resistor* |
| SCT-0400-001 | 1 Amp |
| SCT-0400-005 | 5 Amp |
| SCT-0400-010 | 10 Amp |
| SCT-0400-015 | 15 Amp |
| SCT-0400-020 | 20 Amp |
| SCT-0400-025 | 25 Amp |
| SCT-0400-030 | 30 Amp |
| SCT-0400-040 | 40 Amp |
| SCT-0400-050 | 50 Amp |
| SCT-0400-060 | 60 Amp |
| SCT-0400-075 | 75 Amp |

* Zener diode limits the output voltage to 22 V

| DIMENSION | INCH | MM |
|-----------|-------|-------|
| A | 1.560 | 39.62 |
| B | 1.000 | 25.40 |
| C | 0.400 | 10.16 |
| D | 1.000 | 25.40 |
| E | 1.000 | 25.40 |



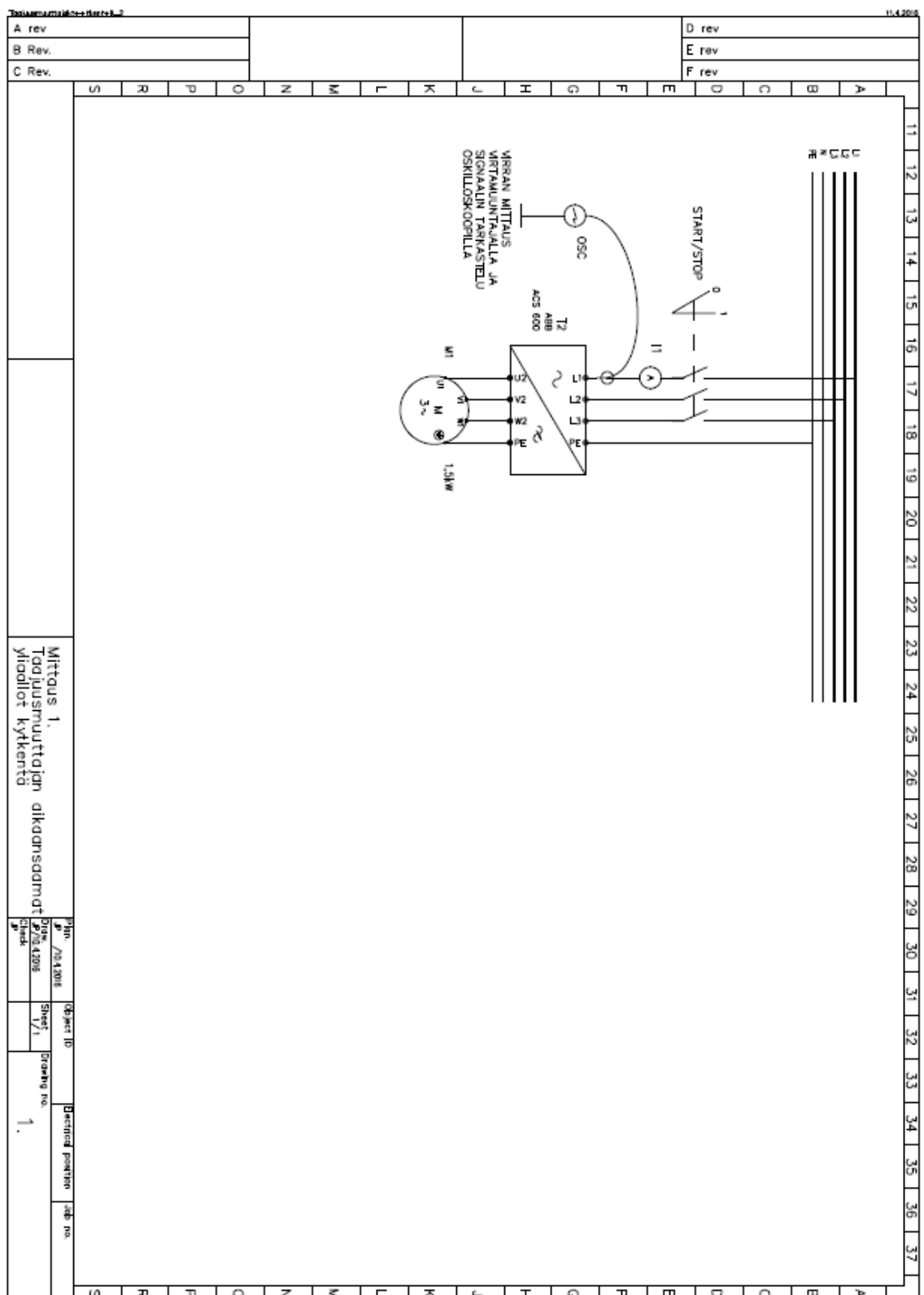
CE RoHS2 ISO 9001:2008

C

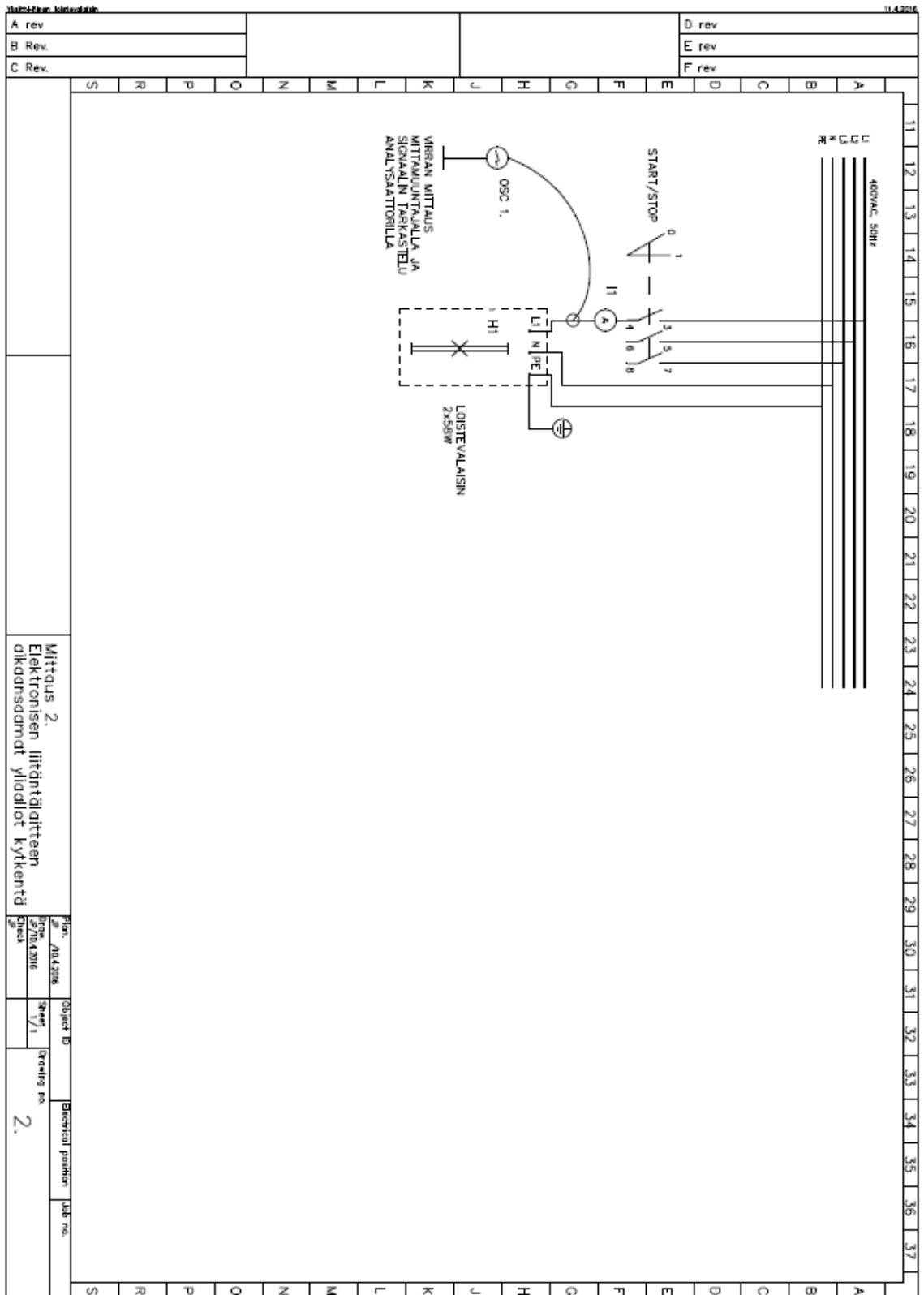
Magnelab.com

(Magnelab 2016)

Liite 4. Mittauksen 1 kytkentäkuva



Liite 5. Mittauksen 2 kytkentäkuva



Liite 6. Mittauksen 3 kytkentäkuva

