



KÄYTTÖTURVALLISUUS

Akkuinvertteri

Joni Rintala

Opinnäytetyö
Heinäkuu 2014
Sähkötekniikan ko.
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

RINTALA, JONI:
Käyttöturvallisuus
Akkuinvertteri

Opinnäytetyö 57 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Heinäkuu 2014

Voimakkaat luonnonilmiöt ja varsinkin sähköjä katkovat myrskyt ovat muutamien viimeisten vuosien aikana nostaneet varavoiman tärkeyden ajankohtaiseksi. Jokavuotiset myrskyt jättävät usein maaseudun asukkaat pahimmillaan useiksi päiviksi ilman sähköä.

Sähkökatkojen aiheuttamilta haitoilta voidaan välttyä käyttämällä erilaisia varavoimalaitteita kiinteän sähköverkon rinnalla. Erilaisia varavoimalaitteita ovat siirrettävät yksi- ja kolmivaiheiset aggregaatit, erilaiset siirrettävät invertteri- ja UPS- ratkaisut, hajautettu pientuotanto sekä erilaiset mekaanista liikettä hyödyntävät varavoimalaitteet kuten esimerkiksi traktorikäyttöiset aggregaatit.

Tässä tutkimuksessa on perehdytty kahteen edulliseen invertteriin eli vaihtosuuntaajaan, jotka saavat tehonsa akusta. Työssä selvitettiin, kuinka kyseiset laitteet täyttävät niille asetetut standardit ja määräykset. Tämän lisäksi selvitettiin, voiko laite aiheuttaa sähkö- tai käyttöturvallisuusriskiä kuluttajalle erilaisissa käyttö- ja kuormitustilanteissa.

Mittausten aikana ei löydetty merkittäviä puutteita laitteiden rakenteesta tai käyttöön liittyvistä toimenpiteistä, jotka saattaisivat vaikuttaa laitteiden sähkö- tai käyttöturvallisuuteen. Laitteiden suurin puute oli niiden huono dokumentaatio eli käytännössä pakkausten mukana toimitettavat manuaalit. Ohjeet eivät täytä standardin asettamia vaatimuksia. Tästä syystä varomaton kuluttaja voi käyttää huomaamattaan laitetta väärin, mikä taas voi aiheuttaa laiterikkoja tai pahimmillaan tulipalon.

Erilaiset vaihtosuuntaajaratkaisut voivat tulevaisuudessa olla varsin tärkeitä mietittäessä tilapäistä sähköistystä, sillä suuntaajat ovat rakenteeltaan pieniä, ja tästä syystä niitä on helppo siirrellä paikasta toiseen. Lisäksi laitteiden hyötysuhde on hyvällä tasolla eikä niiden tuottama häviöteho ole suuri. Yksinkertainen mekaaninen toteutus ja edullinen hinta ovat myös omiaan tukemaan laitteiden yleistymistä.

Tutkimuksen on tilannut sähköturvallisuuden edistämiskeskus (STEK) yhteisprojektina Tampereen teknilliseltä yliopistolta ja Tampereen ammattikorkeakoululta. Työ on osa suurempaa varavoimaa ja sen sähkö- ja käyttöturvallisuutta koskevaa hanketta.

Asiasanat: varavoima, vaihtosuuntaaja, invertteri, käyttöturvallisuus

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Electrical Power Engineering

RINTALA, JONI:
Safe usage
Battery inverter

Bachelor's thesis 57 pages, appendices 4 pages
July 2014

Strong natural phenomena, and especially electricity in shear storms in the last few years, increased the importance of back-up power up again. Almost every season storms leave the countryside and many farms at its worst for several days without electricity.

Harmful power outage effects can be avoided by using a variety of back-up power units in parallel with a fixed grid. A variety of auxiliary power units are portable single- and multiphase aggregates, various kinds of portable inverter and UPS solutions, decentralized micro-generation as well as various mechanical movement make use of emergency power equipment example a tractor-aggregates.

In this study, we have been familiarizing in two low-priced inverter, which are powered by a battery. Report main subject was how these devices meet the requirements of standards and regulations. In addition to this, the device can cause electrical or safety risks to the consumer a variety of operating and load conditions.

During the measurements was not found significant weaknesses in the structure which can be harmful for the consumer. The main shortcoming of the devices was their poor documentation, in practice the packaging comes with the manuals. The guidelines did not meet the standard's requirements, and for this reason the unwary consumer may inadvertently use the device improperly, which could result in equipment failures, or at worst a fire.

Different inverter solutions might play quite an important role in the future, when considering the temporary electrification. This is due to the fact that the inverters are small in structure and are therefore easy to move from place to place. In addition, the efficiency of the equipment is at a good level and the power dissipation it produces is low. Simple mechanical execution and low price are also capable of supporting universal use.

The study has ordered the Board of Electrical Engineering (STEK), a joint project of the Tampere University of Applied Sciences and Tampere Polytechnic. The work is part of a larger backup power project where investigate equipment electrical and safety use.

Key words: emergency power supply, inverter, safe usage

SISÄLLYS

| | | |
|---|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | TEORIA JA TAUSTATIEDOT | 7 |
| | 2.1 Invertterin toimintaperiaate..... | 8 |
| | 2.1.1 Toteutustapa 1..... | 8 |
| | 2.1.2 Toteutustapa 2..... | 9 |
| | 2.2 Rakenne..... | 11 |
| | 2.2.1 Tasajännitelähde | 11 |
| | 2.2.2 Invertterin rakenne..... | 12 |
| 3 | MÄÄRÄYKSET JA ASETUKSET | 14 |
| | 3.1 Suojalaitteet ja pistorasiat | 14 |
| | 3.2 Rakenteelliset vaatimukset | 15 |
| | 3.3 Dokumentit..... | 16 |
| | 3.3.1 Käyttöohjekirja | 16 |
| | 3.3.2 Laitteen merkinnät | 16 |
| | 3.4 Laatuvaatimukset | 17 |
| | 3.4.1 Särö ja radiohäiriöt | 17 |
| | 3.5 Sähköturvallisuus | 18 |
| | 3.5.1 Maasulkusuojaus..... | 18 |
| | 3.5.2 Ylivirtasuojaus | 19 |
| | 3.5.3 Jännite vikatapauksissa..... | 19 |
| | 3.5.4 Eristystaso | 19 |
| | 3.5.5 Kotelointi..... | 20 |
| 4 | KOEJÄRJESTELY JA TUTKIMUSTULOKSET | 22 |
| | 4.1 Koejärjestely | 23 |
| | 4.1.1 Mittavälineet | 25 |
| | 4.1.2 Mittaussarjat | 25 |
| | 4.2 Dokumentaation tarkastelu | 26 |
| | 4.3 Aistinvarainen tarkastelu | 27 |
| | 4.4 Laatumittaukset..... | 29 |
| | 4.4.1 Tyhjäkäyntiajo..... | 30 |
| | 4.4.2 Kuormitus 1 (50 % mitoitustehosta)..... | 33 |
| | 4.4.3 Kuormitus 2 (100 % mitoitustehosta)..... | 36 |
| | 4.4.4 Sekakuorma 1 | 39 |
| | 4.5 Ylikuormakokeilu | 43 |
| | 4.6 Muutosilmiöt..... | 45 |
| | 4.6.1 Kuorma päälle / pois..... | 46 |

| | |
|--|----|
| 4.7 Vikatilanteet | 47 |
| 4.7.1 Napaoikosulku | 48 |
| 5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA..... | 50 |
| LÄHTEET | 53 |
| LIITTEET | 54 |
| Liite 1. Mitattu taajuus tyhjäkäyntiajossa..... | 54 |
| Liite 2. Mitattu taajuus kuormituksessa 1 | 55 |
| Liite 3. Mitattu taajuus kuormituksessa 2 | 56 |
| Liite 4. Mitattu taajuus sekakuormituksessa..... | 57 |

1 JOHDANTO

Varavoimalaitteisiin joudutaan perinteisesti turvautumaan silloin, kun kiinteässä sähköverkossa tapahtuu sähkökatkoksia. Katkokset voivat aiheutua laite- tai kaapelivioista, myrskyjen aiheuttamista tuhoista tai salaman iskuista. Pahimmillaan sähköt saattavat olla poikki useita päiviä ja joskus jopa viikkoja, jos kyseessä on ollut niin sanottu suurhäiriö. Suurhäiriöllä tarkoitetaan maantieteellisesti suurta verkkohäiriötä, jossa on useita päällekkäisiä vikoja samaan aikaan. Useimmiten tällaiset maantieteellisesti suuret verkkoviat syntyvät silloin, kun ilmajohtolinjoille on kaatunut paljon puita. Tällöin ainoa tapa saada esimerkiksi maatilat sähköistettyä on käyttää jonkinlaista varavoimaratkaisua.

Muita tyypillisiä varavoiman käyttökohteita ovat muun muassa uudet teollisuus- ja omakotialueet, kaavoittamattomat tontit ja muut syrjäseudut. Yleensä alueet sijaitsevat kiinteän sähköverkon ulottumattomissa ja näin ollen ainut tapa saada alue sähköistettyä on hyödyntää jotakin varavoimakäyttöä.

Tässä tutkintotyössä tarkastellaan invertteri- eli vaihtosuuntaajakäyttöjä ja varsinaisena tutkimustyönaiheena on selvittää kuinka hyvin käytöt noudattavat niille asetettuja standardeja ja muita määräyksiä. Lisäksi pyritään tutkimaan kenttämittausten avulla voiko erilaiset käyttö- ja kuormitustilanteet aiheuttaa käyttäjälle tai ympäristölle sähkö- tai käyttöturvallisuusriskiä.

Tutkintotyön tutkimuskohteena on kaksi siirrettävää 300 watin mitoitusteholla olevaa edullista vaihtosuuntaajaa, joiden tasasähkölähteenä käytetään 12 voltin lyijyakkua. Kenttämittaukset sisältävät normaalit kuormitustilanteet, muutosilmiot, ylikuormitustilanteet ja vikatilanteet.

Tutkimusnäkökulmana käytetään kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä 1193/99, joka käsittelee sähkölaitteistojen turvallisuutta ja niille asetettuja vaatimuksia. Toisena merkittävänä näkökulmana käytetään Suomen standardoimisliiton julkaisemaa standardia SFS 5264, joka käsittelee siirrettäviä yksivaiheisia vaihtosuuntaajia. Standardi asettaa vaatimukset kattavasti siirrettäville enintään 1,5 kilowatin teholtaan oleville vaihtosuuntaajille.

2 TEORIA JA TAUSTATIEDOT

Työn tarkoituksena oli tutustua kahteen erilaiseen akkuinverteriin ja tehdä niille erilaisia sähkö- ja käyttöturvallisuuteen liittyviä tutkimuksia. Siirrettävien vaihtosuuntaajien sähkö- ja käyttöturvallisuuteen liittyvät vaatimukset on käsitelty KTM päätöksessä 1193/99 ja standardissa SFS 5264. Mittaustulosten perusteella selvitettiin, täyttääkö tutkimuksen kohteena olleet vaihtosuuntaajat niille asetellut vaatimukset. Lisäksi erilaisten kuormitusmittausten pohjalta voitiin päätellä, onko laite suunniteltu SFS 6000 -standardisarjan ohjeistuksen mukaan.

Ensimmäinen tutkittava laite on NUAIR -merkkinen AVANTY -multiasema, joka on nimensä mukaan monitoimilaite. Samoihin kuoriin on mahdutettu nimellistehoaltaan 300 W oleva vaihtosuuntaaja, kompressori, työvalo ja apukäynnistys ominaisuus sekä tasasähkölähteenä toimiva akku. Tässä mallissa akku on tavallinen huoltovapaa 20 Ah -akku. Toisena tutkittavana laitteena on HQ:n valmistama muokattua siniaaltoa tuottava vaihtosuuntaaja. Tämän laitteen nimellisteho on myös 300 W ja näin ollen tutkittavat laitteet ovat vertailtavissa keskenään. Jälkimmäinen vaihtosuuntaaja tarvitsee toimiakseen lisäksi erillisen tasasähkölähteen. Mittauksissa käytettiin aurinkopaneelijärjestelmille tarkoitettua 220 Ah lyijyakkua. Tutkittavat laitteet on esitelty alla olevassa kuvassa (kuva 1).



KUVA 1. Tutkittavat laitteet (Tooloutlet 2014 ja Verkkokauppa 2014).

Kuvassa 1 vasemmalla on AVANTY -multiasema ja oikealla HQ -invertteri. Kumpikin laite on hankittu uutena Tampereelta Kalevan Halpa Hallista syksyllä 2013. Laitteet edustavat hintahaitarin edullisinta päätä ja ostohetkellä AVANY - multiasema oli hinnoiteltu 99,90 € ja HQ -invertteri 37,90 €.

2.1 Invertterin toimintaperiaate

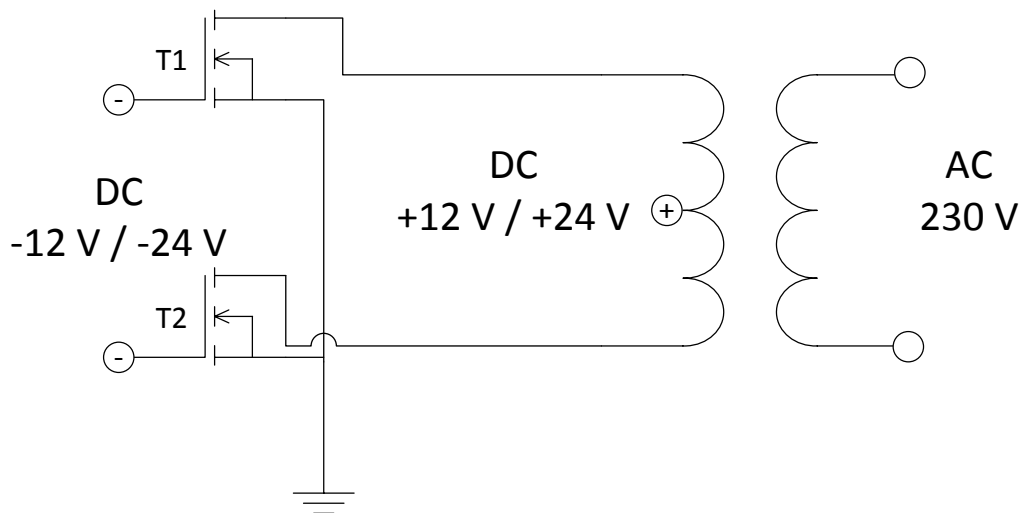
Tutkintotyössä tarkasteltujen vaihtosuuntaajien toiminta perustuu yksinkertaisesti selitettynä sähkömagneettiseen induktioon. Vaihtosuuntaajan tulopuoli eli tasasähköpuoli on kytketty 12 V tai 24 V tasajännitelähteeseen, josta jännite muutetaan halutuksi. Mittauksessa olleet laitteet muuttavat 12 V tasajännitteen 230 V vaihtojännitteeksi. Tyypillisesti invertterin toiminta voidaan toteuttaa kahdella eri tapaa.

2.1.1 Toteutustapa 1

Kaikista edullisimmissa laitteissa vaihtosuuntaus toteutetaan yleensä siten, että akun positiivinen eli plusnapa kytketään invertterin sisällä olevan jännitteenkorotusmuuntajan ensiökäämin keskelle. Akun negatiivinen eli miinusnapa kytketään puolestaan mosfetin tai muun ohjattavan tehoelektronisen komponentin kautta samaisen jännitteenkorotusmuuntajan ensiökäämin päihin. Ohjainpiirillä voidaan nyt kytkeä muuntajan ensiökäämin puolikkaita akun positiiviseen plusnapaan halutulla tavalla ja taajuudella.

Vaihtosuuntaus tehdään siten, että jännitteenkorotusmuuntajan ensiökäämin puolikkaita kytketään vuorotellen akun positiiviseen napaan. Kun varsinainen kytketyminen tapahtuu, syntyy akun positiivisen ja negatiivisen navan välille johtava virtatie. Virran kulkiessa kääminpuolikkaassa syntyy paikallaan pysyvä magneettikenttä. Kun taas johtamaton kääminpuolikas kytketään vuorostaan akun positiiviseen napaan, alkaa virta kulkea toiseen suuntaan ja magneettikentän suunta muuttuu. Tämä muuttuva magneettikenttä indusoi muuntajan toisiokäämin napoihin sen kierrosmäärää vastaavan jännitteen. Indusoitunut jännite on vaihtojännitettä, mutta ei sovellu vielä sellaisenaan antojännitteeksi, koska

taajuus on kytkentätaajuutta vastaava. Kytkentätaajuudella tarkoitetaan sitä taajuutta, millä ohjainpiiri kytkee jännitteenkorotusmuuntajan ensiökäämin puolikkaita johtaviksi. Edellä esiteltyä vaihtosuuntaajan toteutustapaa vastaava yksinkertaistettu kytkentäkuva on esitetty alla (kuva 2).



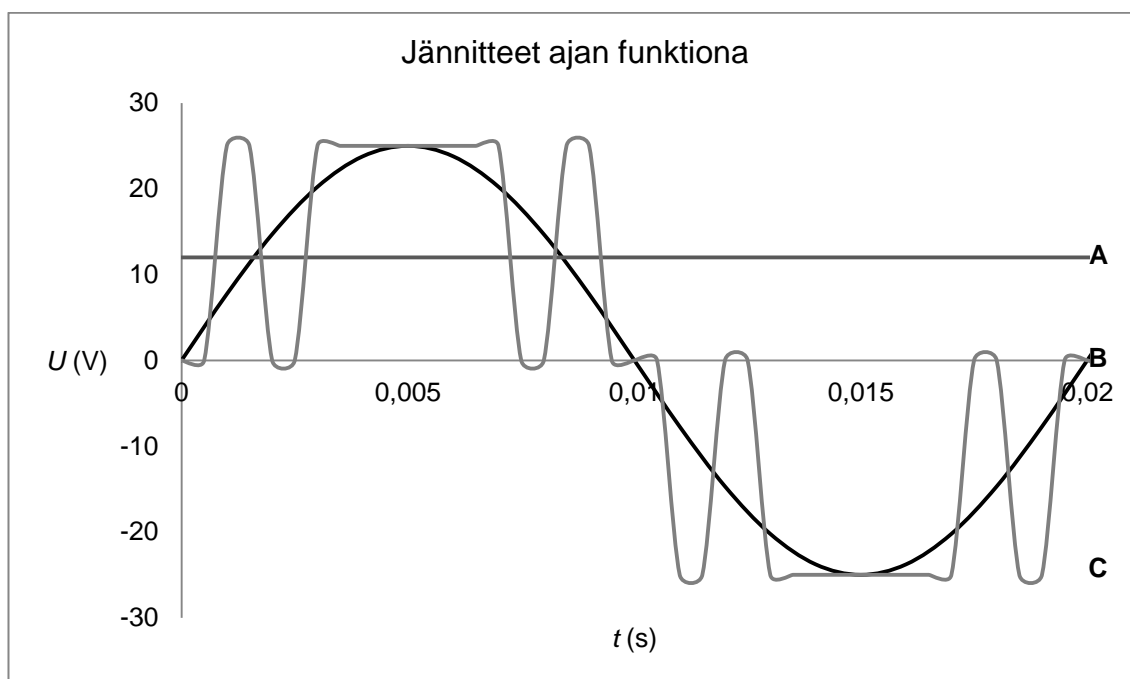
KUVA 2. Vaihtosuuntaajan yksinkertaistettu kytkentäkuva.

Kuvasta 2 nähdään invertterin periaatteellinen kytkentä ja siitä voidaan päätellä yksinkertaisesti sen toiminta. Ohjaamalla tehoelektronikan komponentteja T1 ja T2 vuorotellen tasajännitelähteen positiiviseen napaan saadaan aikaan muuttuva virta, joka synnyttää käämiin muuttuvan magneettikentän. Se puolestaan indusoi toisiokäämiin vaihtojännitteen, joka on suuruudeltaan käämikierrosten suhdetta vastaava.

2.1.2 Toteutustapa 2

Toinen periaatteellinen tapa tuottaa 12 V tai 24 V tasajännitteestä 230 V vaihtojännitettä on niin sanottu hakkuritekniikka. Tämä tekniikka perustuu pulssinleveysmodulaatioon, jossa kuormalle menevää jännitettä moduloidaan siten, että muutetaan tulojännitteen eli tässä tasajännitteen pulssisuhdetta. Tämä tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että ohjataan nopealla taajuudella toimivaa kytkintä

tasajännitelähteen positiiviseen ja negatiiviseen napaan. Tällöin piiri johtaa vuoroin positiiviseen ja vuoroin negatiiviseen suuntaan. Tästä muodostuu palkkimainen modulointisignaali, jota soivasti muokkaamalla saadaan haluttu vaihtojännitesignaali. Pulssinleveysmodulaatioon perustuvan tekniikan periaatteelliset signaalit on esitetty alla (kuvio 1).



KUVIO 1. PWM –signaalit (A on tasajännite (DC), B on vaihtojännite (AC) ja C on moduloitu jännite).

Kuviossa 1 on tyypillisen pulssinleveysmodulaatioon perustuvan invertterin signaalit, jotka havainnollisuuden vuoksi on esitetty todellisuutta pienemmissä jännitetasoissa. Kuviossa tulojännite on tasajännitettä (käyrä A), josta muodostetaan palkkimainen modulointisignaali sopivia pulssisuhteita käyttämällä (käyrä C). Kun nämä kaksi signaalia yhdistetään ja suodatetaan sopivasti, saadaan haluttu vaihtojännitesignaali (käyrä B).

2.2 Rakenne

Normaalisti invertteri rakentuu tasasähkölähteestä, joka on yleensä akku tai akusto ja itse vaihtosuuntaajasta. Joskus rakenne saattaa olla myös integroitu siten, että akku ja vaihtosuuntausosa ovat samojen kuorien sisällä. Tutkittavista laitteista toisessa on käytetty perinteistä mallia eli itse invertteri on erillään akusta ja toisessa integroitua mallia.

2.2.1 Tasajännitelähde

Vaihtosuuntaajissa käytetään yleisimmin tasajännitelähteenä 12 V tai 24 V jännitetasossa toimivaa lyijyakkuja. Lyijyakkujen virranantokyky on hyvä ja tästä syystä ne soveltuvat erinomaisesti invertterikäyttöihin. Lisäksi lyijyakkuja voidaan ladata todella laajalla jännitealueella ja näin ollen laturit voivat olla yksinkertaisia (Akku ja paristotekniikat 2014).

Invertterin toimiessa tietyllä teholla, voidaan sen muuntajan toisiopiirissä kulkeva virta laskea tehoyhtälöä muokkaamalla seuraavasti:

$$P = U * I \rightarrow I = \frac{P}{U} \quad (1)$$

missä,

P on kulutuksen ottama teho

U on muuntajan toisiopiirin jännite

I on muuntajan toisiopiirin virta

Jos invertteristä otetaan esimerkiksi 300 W jatkuva teho, kulkee muuntajan toisiopiirissä kaavan 1 mukaan seuraava virta:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{300 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 1,30 \text{ A}$$

Muuntajan toisiossa kulkee noin 1,30 A virta; kun taas ensiöpiirissä kulkeva virta on 12 V lyijyakulla seuraava:

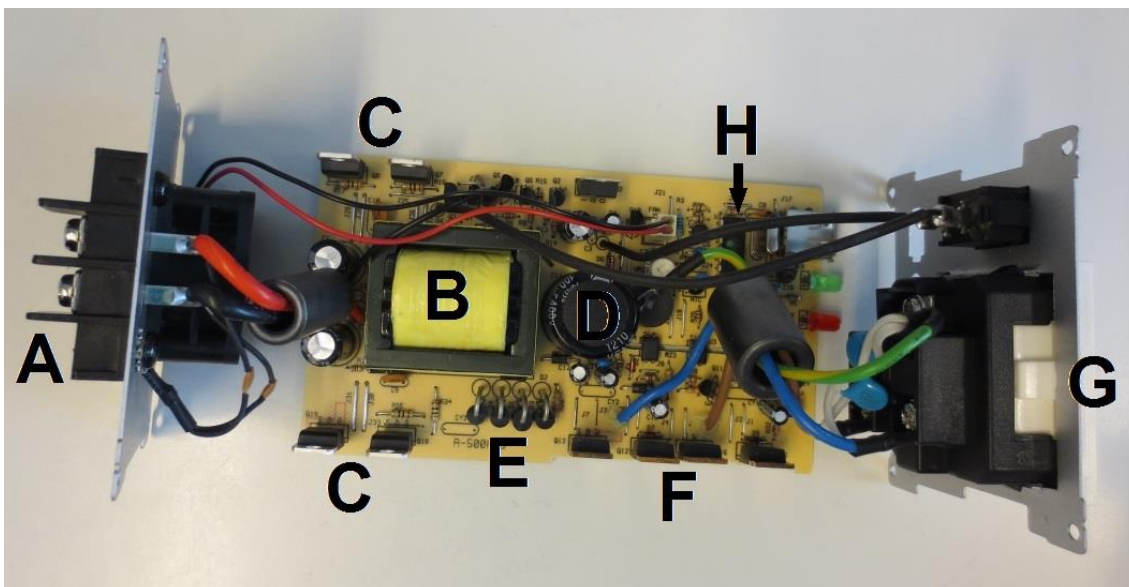
$$I = \frac{P}{U} = \frac{300 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 25,00 \text{ A}$$

Laskenta osoittaa, että akulta vaaditaan erittäin suurta virranantokykyä, koska 300 W invertterikuormalla akulta vaaditaan 25 A jatkuva virta. Kaavasta 1 nähdään myös se, että akun jännitteen kasvaessa virta pienenee. Eli jos äskeisessä esimerkissä käytössä olisikin 24 V jännitteellä toimiva akku, olisi akulta otettava virta enää puolet lasketusta eli 12,5 A.

2.2.2 Invertterin rakenne

Tyypillisesti vaihtosuuntaajissa noudatetaan kahden toisistaan erotetun piirin rakennetta. Akun puoleinen virtapiiri on rakennettu SELV -piirin ehtojen mukaan, jossa se on erotettu galvaanisesti muista virtapiireistä. Tämä galvaaninen erotus voidaan tehdä ilmavälin tai jännitteenkorotusmuuntajan avulla. Lisäksi SELV -piirejä ei saa kytkeä maahan vaan ne tulee jättää maadoittamattomiksi. Kannettavan vaihtosuuntaajan antopuoli luokitellaan IT -järjestelmäksi, koska kyseessä on maasta erotettu järjestelmä. IT -järjestelmissä käytetään yleensä lisäsuojauksena potentiaalintasausta eli kaikki kosketeltavissa olevat sähköä johtavat osat kytketään samaan pisteeseen. Näin ollen eristeen vaurioituessa vaarallisia kosketusjännitteitä ei pääse syntymään (D1-käsikirja 2013).

Vaihtosuuntaajarakenteen tärkeimmät komponentit ovat jännitteenkorotusmuuntaja, rinnan kytketyt mosfetit, tasasuuntausdiodit, suotokondensaattori, käyttöpuolen mosfetit ja tärkeimpänä ajuripiiri, jolla ohjataan kaikkia toimintoja. Työssä tutkitun HQ -invertterin purkukuva on alla (kuva 3).



KUVA 3. Invertterin rakennekuva (A on DC liityntä, B on jännitteenkorotusmuuntaja, C on tasasuuntaus mosfetit, D on suotokondensaattori, E on tasasuuntausdiodit, F on vaihtosuuntaus mosfetit, G on AC liityntä ja H on ajuriipiiri).

Kuvasta 3 nähdään invertterin sisällä olevat komponentit ja näiden perusteella voidaan selostaa tarkemmin laitteen toiminta. Vasemmalla puolella on DC -liittimet (A), joihin kytketään tasajännitelähde esimerkiksi akku. Tämän jälkeen on jännitteenkorotusmuuntaja (B) ja mosfettiparit kummallakin puolen (C). Tästä voidaan päätellä, että laite noudattaa aikaisemmin kappaleessa 2.1.1 esiteltyä toteutustapaa. Mosfetteja on kaksi kappaletta, koska rinnan kytkettynä niiden läpi kulkeva virta puolittuu. Näin ollen voidaan käyttää kahta pienemmällä virrankestokyvyllä olevaa mosfettia, kuin että laitettaisiin yksi riittävän suuri. Tapa on yleinen, koska pienemmät mosfetit ovat hinnaltaan edullisempia ja näin ollen saadaan valmistuskustannuksia alaspäin.

Jännitteenkorotusmuuntajan (B) jälkeen korkeataajuinen signaali tasasuunnataan diodien (E) avulla. Saatu signaali suodatetaan seuraavaksi suuren kapasitanssin omaavalla kondensaattorilla (D). Tämä tehdään siksi, että signaalista saataisiin häiriöitä pois ja käyrämuoto olisi lähempänä tasasähköön aaltomuotoa. Tästä tasasuunnatusta ja suodatetusta signaalista muodostetaan mosfettien (F) avulla sopivan näköistä vaihtojännitettä, joka kytketään ulostulon liittimiin (G). Kaikki laitteen ohjaukseen, suojaukseen ja toimintaan liittyvä äly on ohjainpiirissä (H), joka näkyy kuvan oikeassa yläreunassa.

3 MÄÄRÄYKSET JA ASETUKSET

Siirrettävien vaihtosuuntaajien tulee noudattaa KTM päätöstä 1193/99, joka koskee kaikkia markkinoilla olevia sähkölaitteita. Päätöksessä käsitellään muun muassa sähkölaitteiden kotelointia, suojausta sekä laitteen sähkö- ja käyttöturvallisuutta. Siirrettäville vaihtosuuntaajille on suomen standardoimisliitto julkaissut oman laitestandardin SFS 5264, jota kaikkien alle 1,5 kW tehoisten laitteiden tulee noudattaa. Kolmantena ohjenuorana käytetään EMC -direktiiviä 2004/108EY, joka myös koskee kaikkia markkinoilla olevia sähkölaitteita. Direktiivissä käsitellään laitteiden sähkömagneettista yhteensopivuutta, joka tulee ottaa huomioon laitteen suunnittelussa ja valmistuksessa.

KTM päätöksessä 1193/99 ja SFS 5264 standardin yleisenä ehtona siirrettäville vaihtosuuntaajille on se, että ne on suunniteltu ja rakennettu siten, että normaalissa käyttötilanteessa ne toimivat luotettavasti. Lisäksi normaalissa käyttötilanteessa laitteen käyttö- tai huoltotoimenpiteet eivät saa aiheuttaa vaaraa käyttäjälleen eivätkä ympäristölleen. Laitteiden epätavallinen tai huolimaton käyttö ei mahdollisuuksien mukaan saa myöskään aiheuttaa tulipaloriskiä, mekaanista vahingoittumista tai sähköiskun vaara (Standardisoimisliitto 1987).

3.1 Suojalaitteet ja pistorasiat

SFS 5264 standardi asettaa vaihtosuuntaajan suojaukselle muutamia erityisvaatimuksia. Standardi suosittelee muun muassa, että ylivirtasuojana käytettäisiin sulakkeiden sijaan käsin palautettavia suojakatkaisijoita. Tämä ei siis ole pakollista, mutta suositeltavaa.

Standardi määrää, että vaihtosuuntaajissa käytettävät lämpösuojat tai muut vastaavalla tavalla toimivat suojat eivät saa olla itsestään palautuvia. Toisin sanoen suojan tulee olla kuitattavaa mallia eli laitteen toimintakuntoon saattaminen vaatii käyttäjältä toimenpiteitä. Standardi määrää lisäksi, että vaihtosuuntaaja tulee rakentaa siten, että se kestää kytkennän tasajännitelähteeseen myös väärinpäin.

SFS 5264 -standardi asettaa vaihtosuuntaajissa käytettäville pistorasioille sellaisen vaatimuksen, että niiden tulee noudata Sähkötarkastuskeskuksen erillistä rakenne- ja rakennusmääräyskokoelmaa. Lisäksi laiteissa saa käyttää vain luokan 0, joka on kuivan tilan pistorasia tai luokan 1 mukaista pistorasiaa (Standardisoimisliitto 1987).

3.2 Rakenteelliset vaatimukset

Kaikkien sähkölaitteiden rakenteen on oltava sellainen, että ne eivät voi aiheuttaa syttymisvaaraa ympäristössä oleville aineille. Lisäksi runkorakenne ei saa lämmitä missään käyttötilanteessa sellaiselle tasolle, että siitä voisi olla vaaraa ihmiselle, eläimelle tai ympäröivälle omaisuudelle. Nämä edellä esitelty määräykset koskevat kaikkia markkinoilla olevia sähkölaitteita ja ne on esitelty KTM 1193/99 päätöksessä.

Siirrettäville vaihtosuuntaajille tarkoitettu standardi antaa lisäksi seuraavanlaisia ohjeistuksia laitteiden rakenteellisiin ominaisuuksiin. Vaihtosuuntaajan mekaanisen lujuuden tulee olla riittävä, jotta se kestää tavanomaisen käytön normaali-tilanteessa. Lisäksi laitteen tulee kestää varomattomasta käytöstä aiheutuvat iskut, kuten maahan putoaminen. Kaikkien alle 3 kg painavien vaihtosuuntaajien tulee kestää niin sanottu jousivasarakoe. Alle 3 kg laitteille koe tehdään siten, että laite tiputetaan 1 m korkeudelta betonilattialle ja laitteen tulee kestää tämä vahingoittumatta.

Toinen rakenteellisia ominaisuuksia määrittävä tekijä on, laitteen pystyssä pysyminen. Toisin sanoen laitteen on pysyttävä pystyssä tasolla, joka on kymmenen asteen kulmassa vaakatasoon nähden. Vaatimukset täyttävässä kokeessa laite asetetaan liitännäjohtoineen määräysten mukaiselle tasolle ja selvitetään pysyykö laite siinä vai ei (Standardisoimisliitto 1987).

3.3 Dokumentit

Vaihtosuuntaajien merkintöjä koskevat yleisesti seuraavat peruseriaatteen. Laitteet tulee varustaa selkein ja helposti luettavin merkein, jotka ovat riittävän kestäviä. Lisäksi merkinnöistä tulee käydä ilmi laitteen mitoitusarvot ja laitteen asianmukainen ja turvallinen käyttö (KTMP 1193/99).

3.3.1 Käyttöohjekirja

Standardissa SFS 5264 määrätään, että vaihtosuuntaajan valmistaja, maahantuojan tai myyjän on toimitettava laitteen mukana sekä suomen- että ruotsinkieliset käyttöohjeet. Ohjeista tulee käydä ilmi, kuinka laitetta kuuluu käyttää ja huoltaa siten ettei käyttäjälle tai ympäristölle aiheudu vaaraa tai muuta merkittävää haittaa. Lisäksi laitteen mukana pitää olla sähköpiirustukset, joista käy ilmi laitteen piirikaavio ja johdotuspiirustus.

Vaihtosuuntaajia käsittelevässä standardissa on lisäksi muutama erikoisehto koskien laitteiden käyttöohjeita. Käyttöohjekirjassa tulee esittää muun muassa vähimmäis- suojaetäisyydet, mikäli laitetta ei ole suojattu käsin palautettavalla lämpösuojualla. Jos vaihtojännitteen käyrämuoto ei ole sinimuotoista, tulee ohjekirjasta käydä ilmi onko liitettäville kulutuskojeille rajoitteita. Rajoitteita voi syntyä esimerkiksi laiteturvallisuuden ja laiterikkojen varalta (Standardisoimisliitto 1987).

3.3.2 Laitteen merkinnät

Standardin SFS 5264 mukaan vaihtosuuntaajaan tulee merkitä antojännitteen mitoitusarvo (V), antojännitteen käyrämuoto (sini- tai sakara-aalto) ja antojännitteen mitoitusajuuus (HZ). Lisäksi arvokilvestä tulee löytyä antotehon mitoitusarvo, ylivirtasuojien mitoitusvirrat (A), hitaiden sulakkeiden ominaisuudet tai tunnuksat, ottojännitteen mitoitusarvo (V), ottojännitteen napaisuus ja tyyppi sekä valmistajan nimi ja tavaramerkki. Laitteen kotelointiluokka, malli ja tyyppi-merkintä pitää myös selvittää laitteessa olevista painatuksista. Standardissa sa-

notaan myös, että laitteen rakenteesta tulee löytyä pysyvä teksti ”Kuormitus on kytkettävä irti ennen, kuin akkupiiri kytketään tai irrotetaan.” Jos laitteen rakenne ei kestä vettä, tulee laitteessa olla myös seuraavanlainen pysyvä teksti ”Saa käyttää vain kuivissa tiloissa” (Standardisoimisliitto 1987).

3.4 Laatuvaatimukset

Suuntaajan anto- eli vaihtojännitteen tulee olla 220 V ja taajuuden 50 Hz. Kun taas otto- eli syöttöjännitteen tulee noudattaa akustoille ja muille tasajännitelähteille tyypillisiä arvoja. Standardoidut tasajännitelähteen nimellisarvot ovat: 6, 12, 24, 36 ja 60 voltia.

Standardissa määrätään myös, että tasasuuntaajien mitoitusarvot saavat poiketa valmistajan ilmoittamista nimellisarvoista seuraavasti. Tyhjäkäynnissä jännite saa vaihdella $\pm 15\%$ välillä, kuitenkin siten että se pysyy alle ≤ 250 V. Mitoitus-
tehon ollessa puhdasta pätötehoa ($\cos \varphi = 1$), jännite saa vaihdella välillä $\pm 10\%$, kuitenkin taas siten, että se pysyy alle ≤ 250 V. Taajuuden vaihtelu saa olla enimmillään $\pm 10\%$, kaikissa kuormitustilanteissa (Standardisoimisliitto 1987).

3.4.1 Särö ja radiohäiriöt

EMC direktiivissä 2004/108/EY määrätään, että kaikkien sähkölaitteiden tuottamat sähkömagneettiset häiriöt tulee suodattaa. Häiriöiden määrä ei saa ylittää tasoa, jolla radio- ja telelaitteet tai muut laitteet eivät voi toimia normaalilla tavalla. Lisäksi laitteiston rakenne tulee olla sellainen, ettei sen toiminta häiriinny ulkopuolelta tulevista häiriöistä kohtuuttomasti.

Standardissa puolestaan sanotaan, että vaihtosuuntaajien rakenteen on oltava sellainen, että siitä ei synny merkittävässä määrin radiohäiriöitä eikä johtuvia häiriöitä (Standardisoimisliitto 1987).

Häiriöitä ehkäistään tyypillisesti metallisella runkorakenteella, joka estää ilmaiteitse etenevien häiriöiden pääsyn laitteeseen ja laitteesta ulos. Metallinen kote-

lo muodostaa niin sanotun Faradayn -häkin. Häiriöitä voidaan pienentää myös suodattimilla ja oikosulkemalla johtuvat häiriöt maadoitusjohtimeen tai siirrettävien laitteiden tapauksessa laitteen runkoon. Jälkimmäinen tapa ei ole suositeltavaa, koska laitteen runko voi tulla jännitteiseksi vikatilanteessa.

Standardissa SFS 5264 ohjeistetaan myös, että laitteen käyrämuoto saa poiketa maksimissaan 20 % normaalista 50 Hz siniaallosta. Tämä ehto on voimassa vain, jos valmistaja ilmoittaa suuntaajan tuottavan siniaaltoa. Muunlaista aaltoa kuten kantti- ja sakara-aaltoa tuottaville vaihtosuuntaajille ei standardissa aseteta ehtoja. Tässä työssä tutkittujen invertterien valmistajat eivät ilmoita laitteiden tuottavan siniaaltoa, joten jännitteen- ja virran säröisyyteen ei puututa jatkossa.

3.5 Sähköturvallisuus

Yleinen ehto, joka koskee kaikkia sähkölaiteita, on esitelty sähköturvallisuuslaissa. Laissa sanotaan, että kaikki sähkölaiteet tulee suunnitella ja rakentaa siten, etteivät ne aiheuta kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Niistä ei saa myöskään aiheutua tai syntyä kohtuutonta häiriötä sähköisesti eikä sähkömagneettisesti. Lisäksi laiteiden toiminta ei saa häiriintyä helposti sähköisesti eikä sähkömagneettisesti. Jos kaikki lain asettamat ehdot eivät toteudu, ei laitetta saa tuoda markkinoille (FINLEX 2014).

3.5.1 Maasulkusuojaus

Standardissa SFS 5264 sanotaan, että yksivaiheisen vaihtosuuntaajan maasulkusuojaus voidaan toteuttaa enintään 30mA vikavirtasuojakytkimellä, joka kytkee vikapiirin nopeasti pois eristevian sattuessa. Jos pistorasioita on käytössä vain yksi, ei vikavirtasuojaa tarvitse olla. Tällöin koteloinnin tulee täyttää kaksoiseristetyn tai vahvistetun eristyksen vaatimukset. Jos suojaus on toteutettu koteloinnilla, eikä vikavirtasuojaa ole täytyy pistorasian läheisyydessä olla pysyvä teksti ”Pistorasiaan saa liittää vain yhden kulutuskojeen.”

3.5.2 Ylivirtasuojaus

Vaihtosuuntaajia käsittelevän standardin mukaan laitteet tulee varustaa oikosulkusuojalla, joka kytkee oikosulkutapauksessa syötön automaattisesti ja nopeasti pois. Lisäksi vaihtosuuntaajiin tulee asentaa myös ylikuormitussuoja, jonka tulee kestää laitteen kuormitus epäedullisimmalla antojännitteellä ja -virralla.

3.5.3 Jännite vikatapauksissa

Vikatapauksissa vaihtosuuntaajan antama jännite ei saa esittää laatuvaatimuksissa esitettyä jännitteen maksimi arvoa. Jännitteen maksimi arvo vikatilanteessa pitää pysyä alle ≤ 250 V.

3.5.4 Eristystaso

Sähkölaitteet jaetaan neljään suojausluokkaan. Luokkaan 0 kuuluvat laitteet ovat peruseristettyjä, joissa käyttäjää suojataan yhdellä eristekerroksella. Suojauksen toiminta perustuu varsinaiseen peruseristykseen ja siihen ettei käyttöympäristön materiaalit ole johtavia, eikä maapotentiaalia ole. Luokkaan 1 kuuluvat laitteet on peruseristettyjä ja niissä laitteen runko voi tulla jännitteiseksi. Tällaisissa laitteissa tulee kaikki kosketeltavissa olevat metalliosat kytkeä suojaajohtimen kautta laitteen maadoitukseen. Vikatapauksessa vikavirta kulkee suojaajohtimen kautta ja näin ollen sulake palaa, eikä laite ole enää vaarallinen. Luokkaan 2 kuuluvat laitteet on peruseristettyjä ja niissä on lisäksi lisäeristys, joka suojaa käyttäjää. Toisen eristeen rikkoutuessa toinen eriste suojaa käyttäjää. Luokan 3 laitteiden suojaus on toteutettu galvaanisella erotuksella eli piirit on erotettu fyysisesti toisistaan. Fyysinen erotus voidaan tehdä esimerkiksi muuntajan avulla, jossa piirien väliin jää ilmaväli. Vian sattuessa runko voi tulla jännitteiseksi, mutta galvaanisen erotuksen takia järjestelmä on kelluva. Kelluvassa järjestelmässä vikavirralla ei pääse syntymään suljettua kulkureittiä maahan ja näin ollen sähköiskun vaara on lähes olematon. (D1-käsikirja 2013).

SFS 5274 -standardissa sanotaan, että vaihtosuuntaajat, joissa ei ole vikavirtasuojaa tulee täyttää kaksoiseristyksen tai vahvistetun eristyksen vaatimukset eli luokan 2 vaatimukset.

3.5.5 Kotelointi

Vaihtosuuntaajissa noudatetaan koteloinnin osalta standardin SFS 2972 kotelointiluokkia. Kotelointiluokka koostuu kahdesta numerosta, joista ensimmäinen numero määrää kuinka hyvin laitteen vaaralliset osat on suojattu kosketukselta. Numero kertoo kuinka iso kappale voi laitteen sisään tunkeutua. Tähän luokitteluun kuuluu kaikkiaan seitsemän eri luokkaa välillä 0 - 6. Nämä ensimmäisen numeron kotelointiluokitukset on esitelty alla (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Kotelointiluokittelujen ensimmäinen numero.

| Luokka | Selite |
|--------|---|
| 0 | Suojaamaton |
| 1 | Suojaamaton halkaisijaltaan yli 50 mm vierailta esineiltä |
| 2 | Suojaamaton halkaisijaltaan yli 12,5 mm vierailta esineiltä |
| 3 | Suojaamaton halkaisijaltaan yli 2,5 mm vierailta esineiltä |
| 4 | Suojaamaton halkaisijaltaan yli 1,0 mm vierailta esineiltä |
| 5 | Pölysuojattu |
| 6 | Pölytiivis |

IP -luokittelun toinen numero määrää kuinka hyvin runkorakenne kestää vettä. Luokittelun toisessa osassa vaihtoehtoja on kaikkiaan yhdeksän välillä 0 - 8. Toisen numeron suojausluokat on esitelty alla (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Kotelointiluokittelujen toinen numero.

| Luokka | Selite |
|--------|---|
| 0 | Suojaamaton |
| 1 | Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä |
| 2 | Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä (koteloitua kallistettu 15°) |
| 3 | Suojattu satavalta vedeltä |
| 4 | Suojattu roiskuvalla vedeltä |
| 5 | Suojattu vesisuihkulta |
| 6 | Suojattu voimakkaalta vesisuihkulta |
| 7 | Kestää lyhytaikaisen upottamisen |
| 8 | Kestää jatkuvan upotuksen |

Standardi SFS 5264 määrää, että vaihtosuuntaajien koteloinnin tulee täyttää SFS 2972 IP -luokkien vaatimukset. Kuiviin sisätiloihin suunniteltujen vaihtosuuntaajien tulee olla vähintään IP 20 ja kosteisiin ulkotiloihin vähintään IP 34 luokan koteloinnilla varustettuja. Taulukoista 1 ja 2 nähdään, että sisätiloihin riittää sellainen kotelo, jonka vaaralliset osat on suojattu yli 12,5 mm esineiltä. Ulkotiloissa käytettävässä vaihtosuuntaajassa tulee olla kotelo, joka suojaa yli 2,5 mm esineiltä sekä roiskevedeltä.

4 KOEJÄRJESTELY JA TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimuksen kohteena oli kaksi edullista ja pienitehoista invertteriä eli vaihtosuuntaajaa. Vaihtosuuntaajien tekniset tiedot on esitetty alla (taulukko 3).

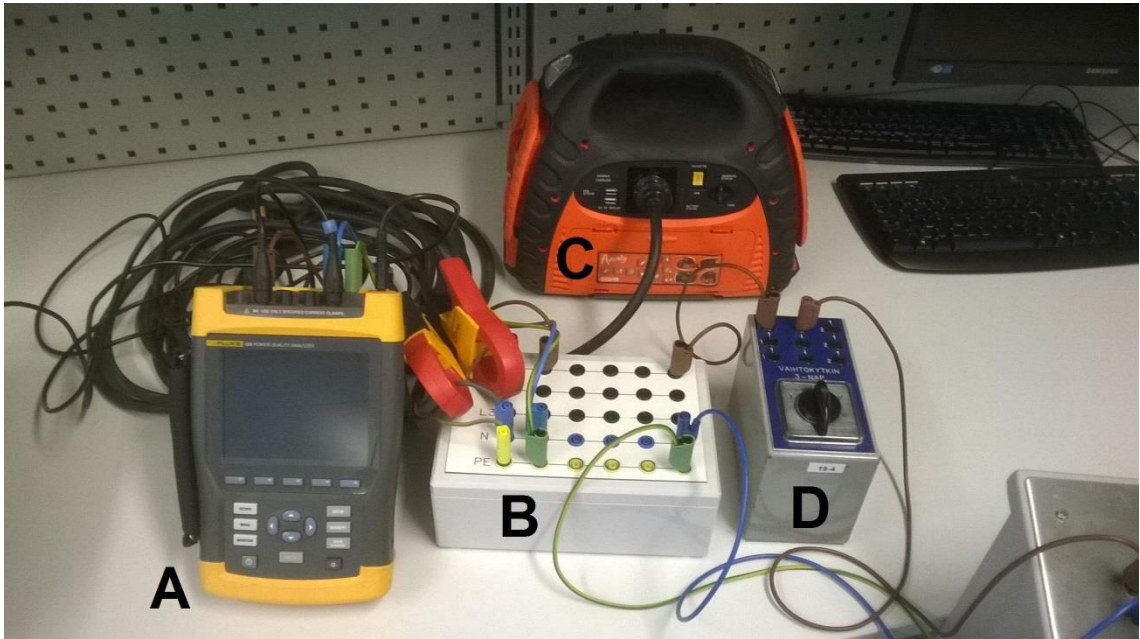
TAULUKKO 3. Vaihtosuuntaajien sähköiset ominaisuudet.

| NUAIR AVANTY -multiasema | HQ -invertteri |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Syöttöjännite: 10 - 15V DC • Jatkuva lähtöteho: 300W • Virrankulutus valmiustilassa: <0,36A • Lähtöjännite: 230V – 240 V AC • Lähtötaajuus: 50Hz • Suojat: <ul style="list-style-type: none"> ○ akun alijännitesuoja ○ lämpösuoja ○ ylikuormitussuoja ○ akun ylijännitesuoja ○ AC -lähdön oikosulkusuoja ○ akun napaisuussuoja ○ purkautumissuoja | <ul style="list-style-type: none"> • Syöttöjännite: 10 - 15V DC • Jatkuva lähtöteho: 300W • Lähtöteho maks. 30 min: 350W • Hetkellinen huipputeho: 600W • Virrankulutus valmiustilassa: <0,36A • Lähtöjännite: 230V AC ±5% • Lähtötaajuus: 50Hz • Hyötysuhde: >90% • Suojat: <ul style="list-style-type: none"> ○ akun alijännitesuoja ○ lämpösuoja ○ ylikuormitussuoja ○ akun ylijännitesuoja ○ AC -lähdön oikosulkusuoja ○ akun napaisuussuoja |

Taulukosta 3 nähdään, että kummassakin invertterissä on ajateltu käyttöturvallisuutta, koska suojauksia on monia ja erilaisiin kuluttajasta riippuviin vikatilanteisiin löytyy omat suojansa. Todellisuudessa suurin osa suojista on toteutettu ohjainpiirin sisällä ja ainoaksi fyysiseksi suojaksi laitteille jää sulake.

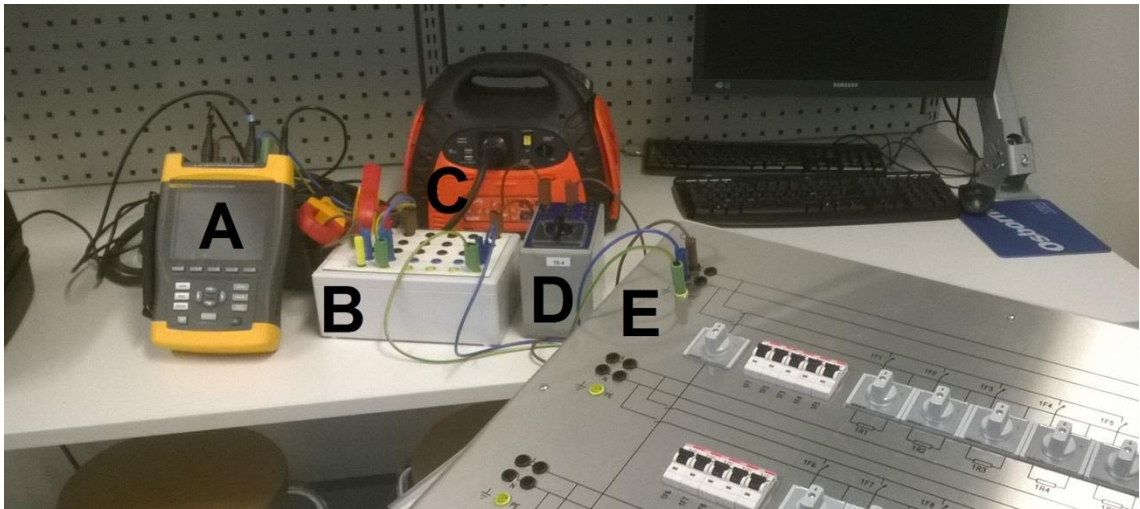
4.1 Koejärjestely

Koejärjestely pyrittiin suunnittelemaan ja rakentamaan mahdollisimman yksinkertaiseksi, jotta tutkimus olisi helposti toistettavissa ja tuloksista saataisiin mahdollisimman luotettavia. Mittauksissa käytettiin yksinkertaisesti alla (kuva 4) esiteltyä kytkentää.



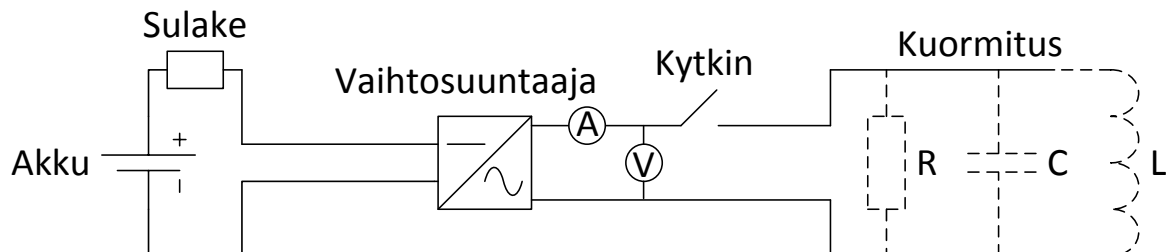
KUVA 4. Mittauksissa käytetty kytkentä (A on Fluke 435 mittalaite, B on jakolevy, C on tutkimuskohteena ollut invertterti ja D on kytkin).

Kuvasta 4 nähdään käytössä olleet komponentit, mittalaitteet sekä se kuinka kytkennät on näiden välillä tehty. Invertterin syöttö on kytketty jakolevyyn, josta vaihe (ruskea) on viety kytkimen kautta kuormalle. Nolla (sininen) ja suojajohdin (keltavireä) on viety suoraan jakolevyltä kuormavaunuun. Fluke 435 on kytketty siten, että jännitemittaus tulee suoraan jakolevystä eli samasta pisteestä missä näkyy invertterin antojännite. Mittarin saama virtatieto otetaan kahdella virtapihdillä, jotka on kytketty invertterin tulojohdon vaiheeseen ja toinen nollaan. Mittauksissa käytetty kuormavaunu ei näy yllä olevassa kuvassa 4, mutta se on esitelty alla (kuva 5).



KUVA 5. Koejärjestely (A on Fluke 435 mittalaite, B on jakolevy, C on tutkimuskohteena ollut invertteri, D on kytkin ja E on kuormavaunu).

Kuvasta 5 näkyy koko koejärjestely ja kuinka se on kytketty. Lisänä edelliseen kuvaan tässä näkyy kuormavaunu (E), jolle tulee vaihe kytkimen (D) kautta sekä nolla että suojajohdin suoraan jakolevyn kautta (B). Samainen mittakytkentä on esitelty vielä alla piirrosmerkein (kuvio 2).



KUVIO 2. Mittauksissa käytetty koejärjestely.

Kuvion 2 mukaisessa mallissa kummankin invertterin syöttö otetaan akusta ja positiiviseen johtoon on kytketty laitteen ylikuormitussuoja eli sulake. Avantymultiasemassa alkupään akku- vaihtosuuntaajakytkentä oli tehty jo valmiiksi, mutta toteutustavaltaan se on kuviota 2 vastaava. Molemmissa laitteissa ylikuormitussuojana toimii ajoneuvotekniikassa yleisesti käytetty lattasulake. Sulakkeen jälkeen akku johdotettiin invertterille, jonka jälkeen ulostulo kytkettiin kytkimen kautta kuormille. Kaikki mittaukset tehtiin syöttöpuolen lähdöstä, joista

mitattiin muun muassa jännitettä, virtaa ja taajuutta. Kuormitustyyppinä käytettiin resistanssia, kapasitanssia ja induktanssia sekä näiden erilaisia kombinaatioita.

4.1.1 Mittavälineet

Mittauksissa käytettiin akkuna normaalia aurinkopaneelijärjestelmille tarkoitettua AGM:n valmistamaa 220 Ah lyijyakkua tehonlähteenä toiselle invertterille. Toisen invertterin syöttö saatiin sen omasta 20 Ah akusta. Erilaiset kuormituskombinaatiot toteutettiin Armeka:n valmistamalla kuormavaunulla, jossa on yhdessä kokonaisuudessa viisi erikokoista vastusta, kondensaattoria ja kela. Näitä kaikkia pystyttiin kytkemään erikseen halutun suuruisiksi kombinaatioiksi. Vaunun kilpiarvot on esitetty alla (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Kuormavaunun kilpiarvot.

| Kuormitustyyppi | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|-----------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Vastus (R_N / W) | 55 | 110 | 220 | 440 | 880 |
| Kela (X_{LN} / VAr) | 41 | 83 | 165 | 331 | 661 |
| Kondensaattori (X_{CN} / VAr) | 41 | 83 | 165 | 331 | 661 |

Taulukossa 4 esiintyvistä arvoista saatiin muodostettua erilaisia kombinaatioita helposti ja yksinkertaisesti. Varsinaiset mittaukset suoritettiin Fluken 435 -sarjan sähkönlaatu- ja energia-analysaattorilla, jonka keräystiedoista saatiin ylös virrat, jännitteet, tehot, käyrämuodot, särökertoimet sekä taajuudet.

4.1.2 Mittaussarjat

Kummallekin tutkimuskohteena olleelle invertterille tehtiin samanlaiset mittaussarjat. Tämä tehtiin siksi, että sarjat olisivat näin vertailukelpoisia ja samalla pystyttiin vertailemaan laitteita keskenään. Ensimmäisenä laitteille tehtiin niin

sanottu aistinvarainen tarkastelu, jonka tarkoituksena oli selvittää täyttääkö laitteet standardin niille asettamat vaatimukset.

Seuraavaksi aloitettiin varsinaiset mittaukset tekemällä laitteille tyhjäkäyntikoeket. Lyhyesti kerrottuna kokeessa pyrittiin selvittämään, millainen on laitteiden antojännite ja täyttääkö tämä standardin SFS 5264 asettamat vaatimukset. Kokeita jatkettiin siten, että laitteelle laitettiin ensin kuormitusta noin 50 % mitoitus-tehosta ja tämän jälkeen noin 100 % mitoitus-tehosta. Kummassakin mittauksessa kuormana oli pelkkiä resistansseja ja näin ollen tehokerroin oli koko mit-tausten ajan likimain yksi. Laitteita kojeistettiin tämän jälkeen vielä yhdellä se-kakuormakombinaatiolla, joissa mitoitus-tehosta käytössä oli noin 100 %, teho-kertoimien ollessa noin 0,7.

Viimeisenä mittauksena kummallekin laitteelle tehtiin raju ylikuormituskokeilu, jossa kuormaksi laitettiin noin 200 % mitoitus-tehosta. Mittauksen kuormituksena käytettiin resistansseja ja keloja. Pätökuormaa laitettiin laitteelle noin 70 % sen mitoitus-tehosta ja loput oli kelojen synnyttämää loistehoa. Suuren loisteho takia mit-tausten ajan tehokerroin pysyi noin 0,3.

Avanty -multiaseman mittauksia jatkettiin vielä tutkimalla muutosilmiöitä ja miten laite käyttäytyy vikatilanteissa. Muutosilmiössä tutkittiin miten jännite käyttäytyy kuormien kytkeytyessä päälle ja pois. Vikatilanteissa pyrittiin selvittämään voiko niistä aiheutua vaaraa kuluttajalle ja pysyykö laitteen syöttöarvot standardin vaatimissa rajoissa. Vikamittauksissa kokeiltiin tehdä napaoikosulkua erilaisten kuormitustyyppien alla.

4.2 Dokumentaation tarkastelu

Yleisesti suurin ongelma edullisten sähkölaitteiden kohdalla on huono doku-mentaatio. Suurin osa edullisista sähkölaitteita valmistetaan Kiinassa, jossa lait-teita koskevat määräykset ja vaatimukset ovat huomattavasti löysempiä, kuin esimerkiksi EU:ssa. Tästä syystä käy usein niin, että dokumentaatio tehdään jälkikäteen valmiiseen laitteeseen ennen markkinoille tuontia.

Ohjekirjoissa hyvää on se, että ne ovat ylipäänsä mukana ja lisäksi niistä löytyy sekä suomen- että ruotsinkieliset käyttöohjeet. Laitteiden käyttö on myös kerrottu kohtalaisen selkeästi vaihe vaiheelta. Huonoa ohjekirjoissa on taas se, että niistä puuttuu standardin vaatimat laitteen huolto-ohjeet, sähköpiirustukset ja käyrämuodon asettamat erityisvaatimukset kulutuskojeille.

Laitemerkinnöissä on hyvää se, että yleisimmät standardin vaatimat arvot on esitetty arvokilvissä ja ne ovat selkeästi luettavissa. Arvokilvistä löytyy muun muassa antojännite, taajuus, laitteen valmistaja ja malli. Huonoa taas on se, että kaikkia standardin vaatimia laitemerkintöjä ei ole. Kilvistä puuttuu muun muassa antojännitteen aaltomuoto, ottojännitteen mitoitusarvo, ottojännitteen laji ja kotelointiluokka. Lisäksi kaikki standardin edellyttämät varoitustekstit puuttuvat.

4.3 Aistinvarainen tarkastelu

Aistinvaraisen tarkastelun sisältöä käsitellään SFS 6000 -standardisarjan kohdassa 61.2. Standardissa käsitellään muun muassa sähköisten osien kotelointia, joka pitää olla vähintään IP2X eli jännitteisiin osiin ei saa päästä yli 12,5mm esineet. Tämä edellä mainittu asetus toteutuu kummallakin laitteella. Ainoastaan HQ -invertterin 12 V osat on kosketeltavissa jännitteisenä. Tämä on sallittua sillä standardissa on poikkeus pienisjännitteitä koskien. Kun kyseessä on SELV- tai PELV -järjestelmä eli pienisjännitejärjestelmä, ei kosketusjännitesuojausta tarvita, jos käytettävä tasajännite on alle 60 V, niin kuin tässä tapauksessa. Standardissa käsitellään myös sitä, että koteloiden tulee olla tukevasti kiinnitettyjä ja silmämääräisesti ehjiä (SFS 6000 kohta 4-41 liite 41A ja liite 41B).

Standardisarjassa määrätään lisäksi, että laitteille tulisi tehdä muun muassa seuraavat testit ennen jatkotoimenpiteitä (SFS 6000 kohta 61.3), niiltä osin joita SFS 5264 vaihtosuuntaajia käsittelevä standardi edellyttää.

- a) sähköasennuksen eristysresistanssi (kohta 61.3.3)
- b) SELV- ja PELV -piirien tai sähköisesti erotettujen piirien erotus (kohta 61.3.4)
- c) syötön automaattisen poiskytkennän toiminta (kohta 61.3.6)
- d) toiminta- ja käyttötestit (kohta 61.3.10)

Eristysresistanssimittauksella pyritään selvittämään, että laitteen sisällä jännitteiset osat on riittävän eristettyjä maasta. Eristysresistanssi mitataan vaiheen ja laitteen maan väliltä eli tässä tapauksessa antopiirin pistokkeen vaiheen ja maadoitusnastan välistä.

Inverttereiden eristysresistanssimittaus suoritettiin Fluken valmistamalla Fluke 1520 -eristysvastusmittarilla. Standardin mukainen koestusjännite alle 500 V järjestelmissä on 500 V, tuloksen tulee olla vähintään 1 M Ω , jotta vaadittu eristysresistanssi olisi riittävä. Vaihtosuuntaajia koskevissa eristysresistanssimittauksissa tulee ottaa huomioon, että standardi SFS 5264 määrää koestustuloksen vähimmäisarvoksi 2 M Ω . Näin ollen mittaustulosten tulisi noudattaa jälkimmäistä koestustulosta. Mittauksissa saatiin Avanty -multiaseman koestustulokseksi yli 500 M Ω ja HQ -invertterin koestustulokseksi yli 500 M Ω . Näin ollen laitteiden eristysresistanssi on riittävä ja rakenne täyttää standardin vaatimukset.

Kohdan b vaatimus toteutuu, koska pienjännite järjestelmä on galvaanisesti erotettu 230 V jännitteestä. Kohta c tulee todeta laskennalla ja tarkistamalla sulakkeiden oikeellisuus. Valmistaja on laskenut taulukossa 1 olevat sulakkeiden arvot ja ne vastasivat todellisuutta, näin ollen kohta c täyttyy. Kohdassa d laitteille tulee tehdä käyttötesti, missä todetaan kytkimien ja mahdollisten suojalaitteiden toimivuus. Testien jälkeen mitattavissa laitteissa ei havaittu poikkeavuuksia eli laitteet läpäisivät kaikki testit.

Laitteiden voidaan todeta täyttävän kaikki aistinvaraiselle tarkastelulle asetellut ehdot ja näin ollen mittauksia voidaan jatkaa. Seuraavaksi laitteille tehtiin laatumittauksia erilaisilla kuormituksilla. Tuloksia verrattiin valmistajan lupaamiin suorituskykytietoihin ja standardissa esiteltyihin laatuvaatimuksiin.

4.4 Laatumittaukset

Inverttereille suoritettiin laatumittauksia, joiden tarkoituksena oli selvittää kuinka hyvin laitteet pysyvät standardin asettamien reunaehtojen sisällä. Laatumittaukset toteutettiin käyttämällä kuviossa 2 esiteltyä kytkentää.

Laatumittaukset toteutettiin siten, että jokaista kuormakombinaatiota pidettiin vuorotellen noin kymmenen minuutin ajan kytkettynä mitattaviin laitteisiin. Tämän aikana kerättiin mittadataa Fluke 435 -analysointilaitteella invertterin antopuolelta.

Standardi edellyttää jännitteen olevan tyhjäkäynnissä $\pm 15 \%$, kuitenkin alle $\leq 250 \text{ V}$ ja kuormituksen ollessa puhdasta pätötehoa ($\cos \varphi = 1$) saa jännite vaihdella välillä $\pm 10 \%$. Taajuuden vaihteluksi hyväksytään $\pm 10 \%$ kaikissa kuormitustilanteissa.

Laitteiden antojännitteen mitoitusarvoksi annetaan 230 V ja laatuvaatimuksien mukaan se saa vaihdella välillä $\pm 15 \%$. Tämä tarkoittaa sitä, että antojännitteen tehollisarvo voi olla välillä $196 \text{ V} - 265 \text{ V}$, mutta ylärajaksi tulee kuitenkin standardissa ilmoitettu maksimi jännitteen tehollisarvo, joka on 250 V .

Laitteen antojännite ilmoitetaan aina tehollisarvona eli neliöllisenä keskiarvona huippuarvosta. Neliöllinen keskiarvo voidaan laskea mille tahansa jaksolliselle aaltomuodolle seuraavasti:

$$U_{RMS} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

missä,

U_{RMS} on jännitteen tehollisarvo

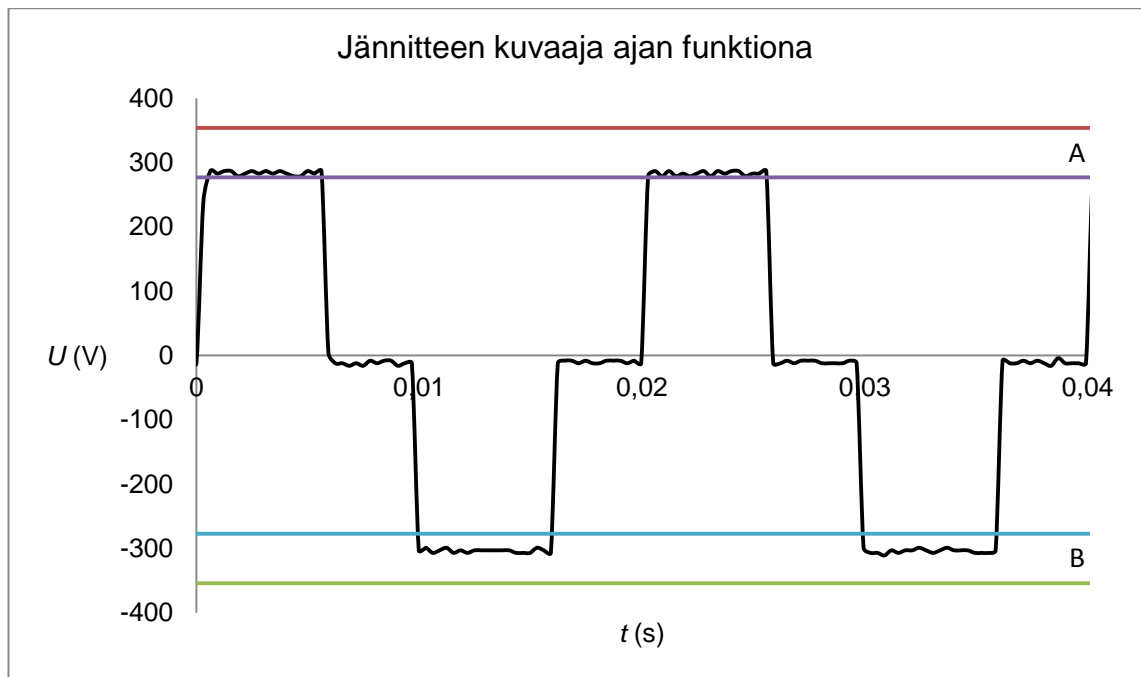
\hat{U} on jännitteen huippuarvo

Kaavan kaksi mukaan antojännitteen vaihdellessa välillä 196 V - 265 V voi jännitteen huippuarvo vaihdella välillä 277 V - 354 V ja silloin ne noudattavat vielä standardin vaatimuksia.

4.4.1 Tyhjäkäyntiajo

Ensimmäisenä varsinaisena kokeena laitteille tehtiin niin sanottu tyhjäkäyntiajo, jolla tutkittiin kummankin laitteen kuormittamatonta antojännitettä. Standardi asettaa laatuvaatimuksena sen, että antojännitteen tehollisarvo saa vaihdella välillä 196 V - 250 V. Tällöin huippuarvon vaihteluvälin tulee asettua 277 V - 354 V välille. Tämä sallittu vaihteluväli positiivisella ja negatiivisella puolella on piirretty kaikkiin muihin jännitekuvaajiin paitsi muutosilmiöissä käsiteltyihin kuvaajiin.

Saaduista mittaustuloksista piirrettiin kuvaajat, joihin on havainnollistamisen vuoksi piirretty myös standardin huippuarvon vaihtelua kuvaavat viivat. Avantymultiasemalle tehdyssä tyhjäkäyntiajossa saatu jännitteen kuvaaja on esitelty alla (kuvio 3).

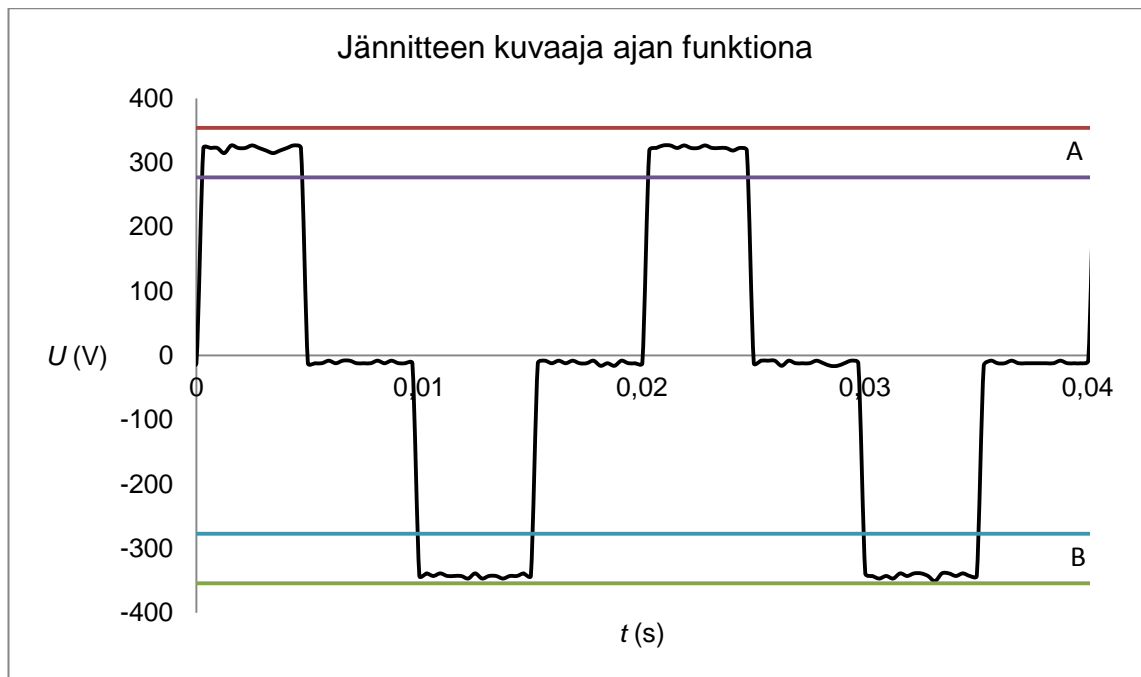


KUVIO 3. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona tyhjäkäyntiajossa (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 3 voidaan nähdä, että jännitteen aaltomuoto on likimain kantiaaltoa, lukuun ottamatta tasaisia jaksoja huippujen välillä. Nämä jaksot aiheutuvat siitä, kun mosfetit ovat hetkellisesti johtamattomassa tilassa. Pieni negatiivinen jännite syntyy siksi, että muuntajan magneettikenttään varautunut energia purkautuu takaisin akkuun.

Huippuarvon vaihteluväli on noin ± 300 V, jolloin jännitteen tehollisarvo kaavan kaksi mukaan on noin ± 212 V. Näin ollen Avanty -multiaseman antama tyhjäkäyntijännite täyttää standardin asettamat laatuvaatimukset.

Samainen tyhjäkäyntiajo tehtiin myös toiselle invertterille. HQ -invertterille tyhjäkäyntiajossa saatu jännitteen kuvaaja on esitelty alla (kuvio 4).



KUVIO 4. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona tyhjäkäyntiajossa (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 4 voidaan nähdä, että jännitteen aaltomuoto on lähes samanlainen, kuin edellä mitatulla Avanty -multiasemalla. HQ -invertterin aaltomuoto on myös erittäin palkkimaista lukuun ottamatta johtamattomia jaksoja huippujen välillä. Nämä jaksot johtuvat samasta ilmiöstä, kuin ensin mitatulla laitteella.

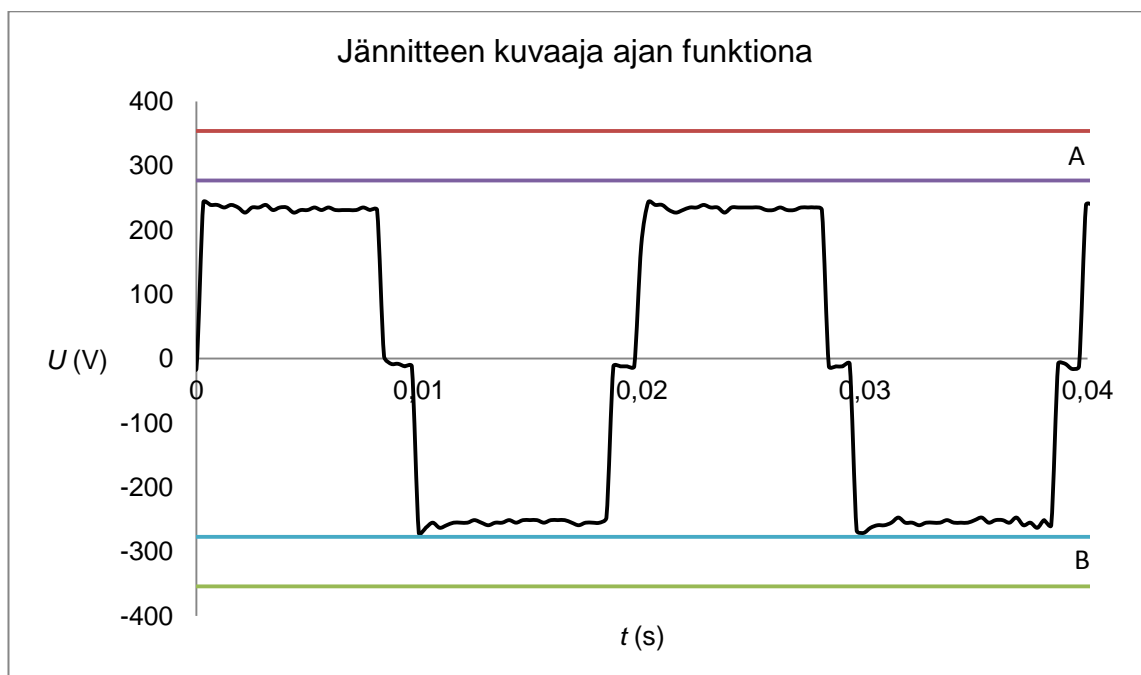
Jännitteen huippuarvot vaihtelevat + 320 V aina - 350 V. Näin ollen invertterin antama tyhjäkäyntijännite pysyy juuri ja juuri standardin asettamien raja-arvojen ± 354 V sisällä.

Standardi sallii edellä esiteltyjen ehtojen mukaan taajuuden vaihteluväliksi ± 10 %. Kummankin invertterin mitoitustaajuus on 50 Hz ja näin ollen mittauksissa saatu taajuus saa olla välillä 45 Hz - 55 Hz. Tyhjäkäyntiajossa Avanty -multiaseman taajuus pysytteli 51,50 Hz tuntumassa koko mittauksen ajan. Vastaavasti HQ -invertterille mitattu taajuus oli noin 50,01 Hz. Näin ollen laitteet täyttävät tyhjäkäynnissä myös standardin asettaman taajuusvaateen. Tarkempi taajuutta käsittelevä mittadata löytyy liitteestä yksi.

4.4.2 Kuormitus 1 (50 % mitoitustehosta)

Toisena mittauksena laitteille tehtiin ensimmäinen koe kuormituksen alla. Kuormitusta laitettiin noin 50 % mitoitustehosta eli noin 150 W. Tämä toteutettiin siten, että kuormavaunusta laitettiin vastukset yksi ja kaksi päälle. Näin ollen laskennallinen kuormateho taulukon 4 arvoista laskettuna oli noin 165 W. Koska kuormitus on puhdasta vastuskuormaa eli resistiivistä kuormaa, on tehokerroin likimain 1.

Kuormitusta pidettiin kytkettynä myös kymmenen minuuttia, jonka aikana kerättiin mittadataa Fluken 435 -analysointilaitteella. Avantyy -multiasemalle tehdyssä kuormitusmittauksessa saatu jännitteen kuvaaja on esitelty alla (kuvio 5).

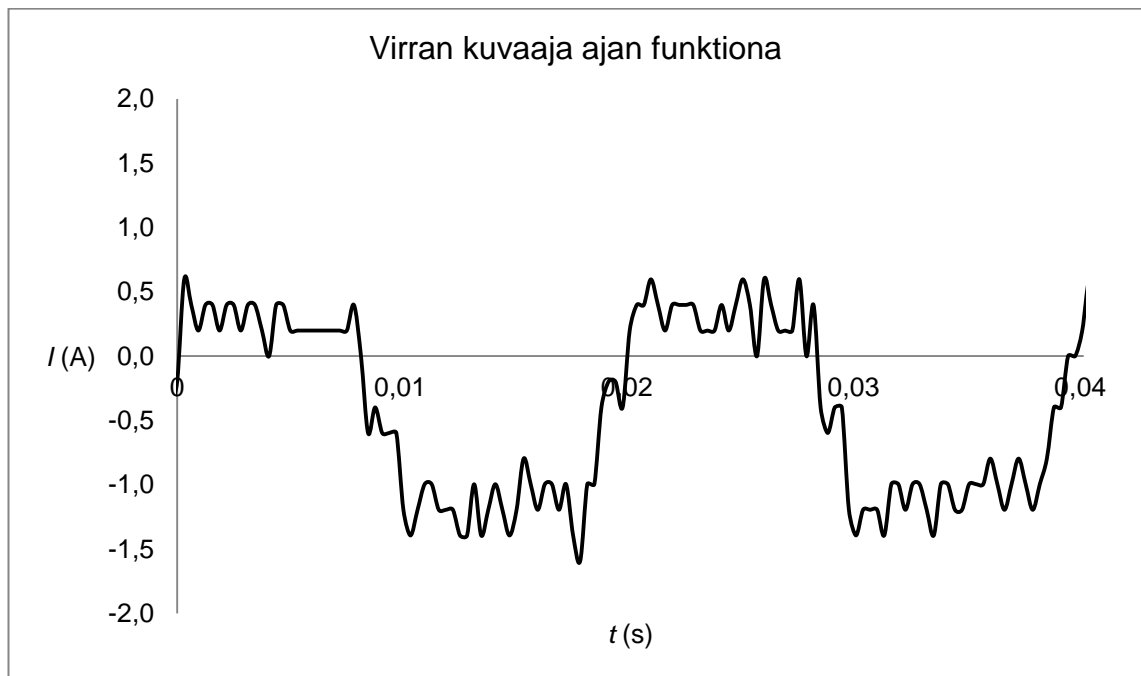


KUVIO 5. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona kuormituksessa 1 (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 5 näkyy se, että jännite romahtaa ja aaltomuoto alkaa muistuttaa enemmän puhdasta kantiaaltoa. Huippujen väliset tyhjät jaksot eli mosfettien lepoajat lyhenevät, joka johtuu taas siitä, että laitteen täytyy siirtää tehoa kuor-

malle. Toisin sanoen invertterin säätöpiiri pitää mosfetteja pidempään johtavassa tilassa ja lepoajat lyhyempinä, jotta kuorman tarvitsema teho saataisiin siirrettyä.

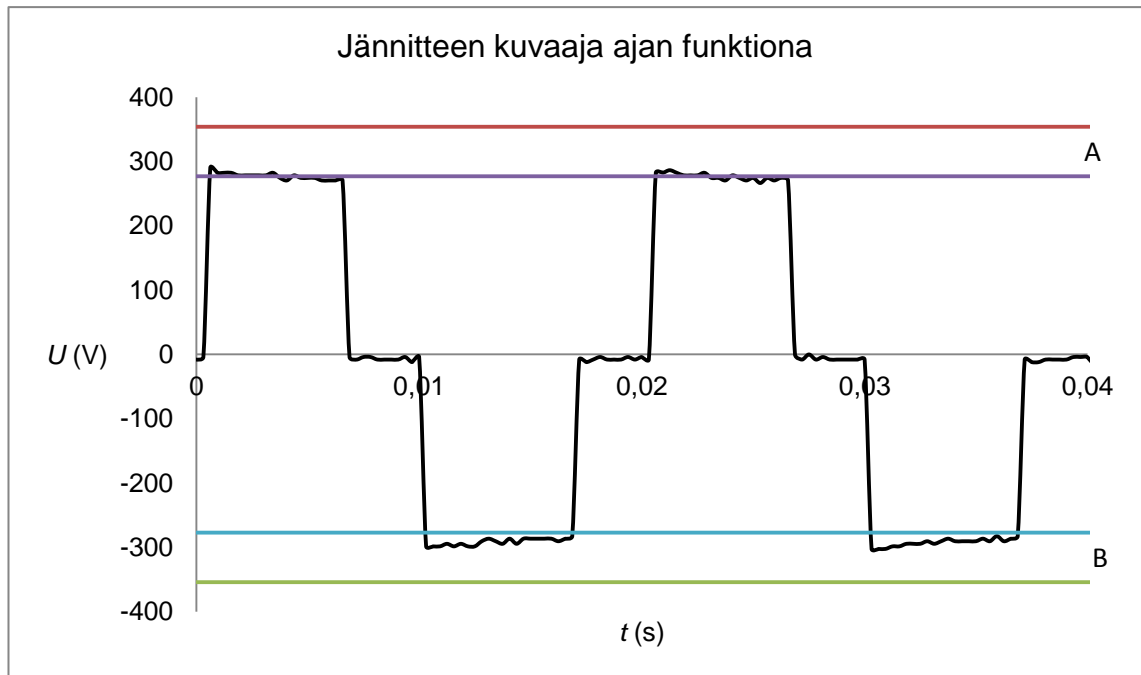
Avanty -multiaseman jännite romahtaa 50 % kuormituksella alle standardin asettamien rajojen. Jännitteen romahtaminen aiheuttaa sen, että piirissä kulkeva virta kasvaa. Piirissä kulkeva suurempi virta taas aiheuttaa sen, että komponentit kuumenevat nopeammin ja näin ollen laitteen käyttöikä heikkenee nopeammin. Piirissä kulkeva virta on esitetty alla (kuvio 6).



KUVIO 6. Virran kuvaaja ajan funktiona kuormituksessa 1.

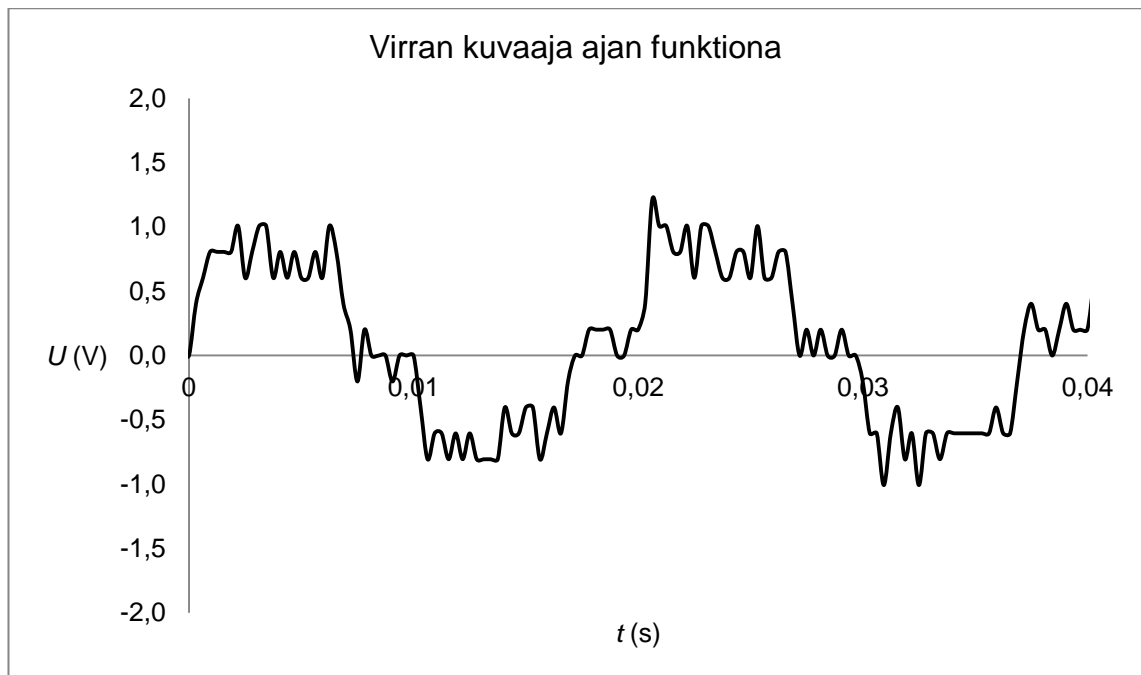
Kuviosta 6 nähdään, että kuorman ottama virta on erittäin säröytynyttä, joka puolestaan johtuu invertterin toteutuksesta. Mosfetit ovat vuoroin johtavassa ja vuoroin johtamattomassa tilassa. Lisäksi kytkemisien välillä täytyy olla pieni lepoaika, jotta komponentit ehtivät jäähtyä ja muuntajassa oleva virta ehtii hieman vaimentua. Virran piikikkyys eli voimakas värähtely on tyypillistä inverttereille. Se johtuu suuresta kytkentätaajuudesta, jonka takia piiriin syntyy resonanssi- eli värähtelyilmiöitä invertterin muuntajan ja kondensaattorien välillä. Tämä resonanssi näkyy sitten, taas antovirrassa särönä.

Samanlainen kuormitusmittaus tehtiin myös toiselle HQ -invertterille samoilla ehdoilla. Mittauksesta saatu jännitteen kuvaaja on alla (kuvio 7).



KUVIO 7. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona kuormituksessa 1 (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 7 nähdään, että tämänkin invertterin kohdalla tapahtuu samankaltainen ilmiö, kuin Avanty -multiaseman kohdalla, mutta hieman vaimeampana. Jännitteen aaltomuoto on edelleen palkkimaista ja huippujen välissä olevat lepojaksot kaventuvat tehon kasvaessa, joskaan muutos ei ole yhtä voimakas, kuin toisella laitteella. Tämän invertterin kohdalla myös jännite pysyy vielä standardin asettamien rajojen sisällä, mikä taas kertoo siitä, että laite on vain paremmin toteutettu, kuin Avanty -multiasema. Piirissä kulkeva virta on esitelty alla (kuvio 8).



KUVIO 8. Virran kuvaaja ajan funktiona kuormituksessa 1.

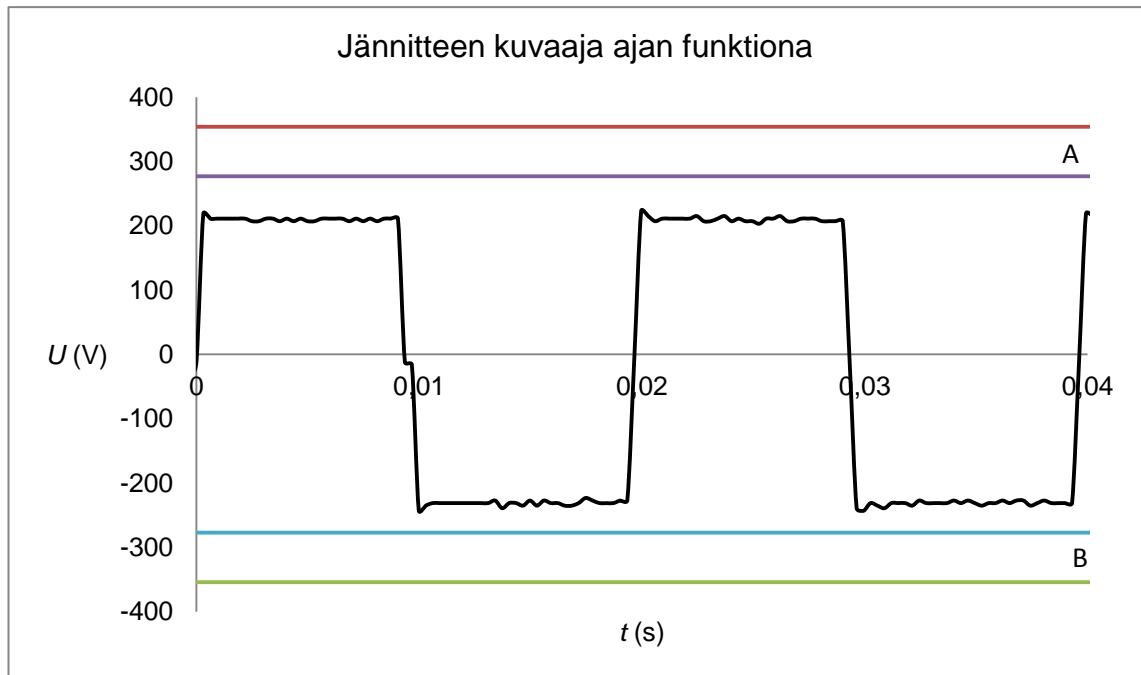
Kuviosta 8 nähdään, että virran käyrämuodossa toistuu samat periaatteet, kuin toisella laitteella. Ainoana silmiin pistävänä erona on, että virran huippuarvojen vaihtelu positiivisen ja negatiivisen puolijakson aikana on tasaisempaa. Tämä johtuu siitä, että laite on paremmin toteutettu ja jännite ei romahda, eikä näin ollen pudonnutta jännitettä tarvitse kompensoida lisääntyneellä virralla.

Tässä mittauksessa Avanty -multiaseman taajuus pysytteli 50,50 Hz tuntumassa koko mittauksen ajan ja HQ -invertterille taajuus oli noin 50,01 Hz. Näin ollen 50 % kuormitus ei aiheuta juurikaan poikkeamaa taajuuksiin. Tarkempi taajuutta käsittelevä mittadata löytyy liitteestä kaksi.

4.4.3 Kuormitus 2 (100 % mitoitustehosta)

Kolmantena mittauksena vuorossa oli samankaltainen kuormitus, kuin edellä olevassa mittauksessa. Ainoana erona oli se, että nyt kuormitusta lisättiin siten, että se oli noin 100 % mitoitustehosta eli 300 W kummallakin invertterillä. Tämä toteutettiin siten, että kuormavaunusta kytkettiin vastukset kaksi ja kolme päälle.

Taulukosta 4 laskettu kuormitusteho on tällöin noin 330 W, mittauksesta saatu jännitteen kuvaaja Avanty -multiasemalle on esitelty alla (kuvio 9).

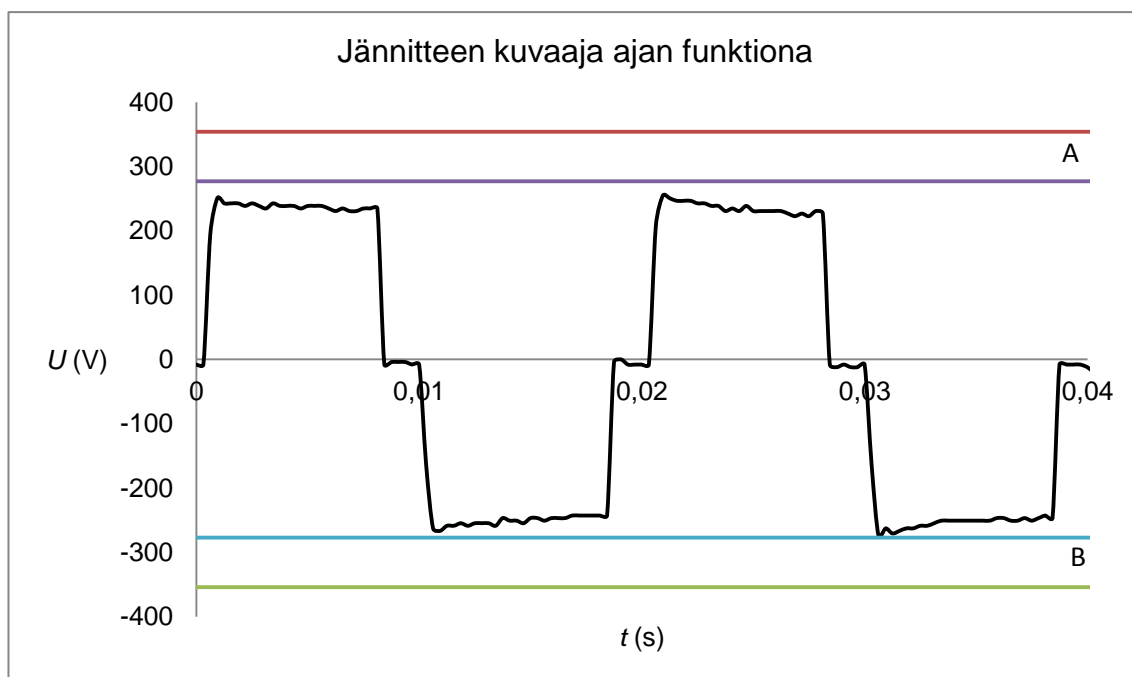


KUVIO 9. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona kuormituksessa 2 (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 9 nähdään, että aaltomuoto alkaa olla puhdasta palkkia, mikä tarkoittaa sitä, että laitteesta ei teoriassa voi saada enempää pätötehoa ulos. Tämä johtuu siitä, että mosfetit johtavat vuoron perään käytännössä samalla hetkellä. Eli toisin sanoen muuntajan siirtokapasiteetti ei enää riitä siirtämään suurempaa tehoa.

Jännite ei enää pysy myöskään standardin asettamissa rajoissa, mutta periaatteessa alijännitteestä ei aiheudu sähköturvallisuusriskiä käyttäjälle. Toisaalta virran kasvu aiheuttaa lämmöntuottoa, mutta liian kuumaksi laitteen ei pitäisi päästä, koska siinä on lämpösuoja. Se katkaisee syötön automaattisesti, mikäli lämpötila karkaa yli asetellun arvon. Näin ollen laitteen paloriski on erittäin vähäinen.

Samanlainen mittaus tehtiin myös HQ -invertterille ja saatu jännitteen kuvaaja on esitetty alla (kuvio 10).



KUVIO 10. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona kuormituksessa 2 (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 10 nähdään, että tämänkin invertterin kohdalla jännitteenalenema kasvaa 100 % kuormalla liian isoksi ja se menee alle standardin asettamien toleranssien. Aalto muodosta voisi päätellä sen, että laitteessa käytetty muuntaja on mitoitettu lähes oikein, koska se pystyy tuottamaan melkein 300 W jatkuvan tehon jännitteen pysyessä toleransseissa.

Tässä mittauksessa taajuuden vaihtelu pysyi suurin piirtein samoissa lukemissa, kuin edellä esitellyissä. Tarkemmat mittaustiedot taajuudesta löytyy liitteestä kolme.

4.4.4 Sekakuorma 1

Neljäs ja viimeinen varsinainen laatumittaus tehtiin sekakuormalla, jonka tehokerroin oli noin 0,7 ja kuormitustehoa oli kytkettynä noin 100 % mitoitustehosta. Kuormitus toteutettiin siten, että kuormavaunusta kytkettiin vastukset yksi ja kolme, sekä kelat yksi ja neljä päälle samanaikaisesti. Näin ollen kuormitusteho oli taulukosta 4 laskettuna 275 W pätötehoa ja 372 VAR induktiivista loistehoa. Näennäistehoksi tulee silloin 463 VA, joka on laskettu tehokolmiosta seuraavasti:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

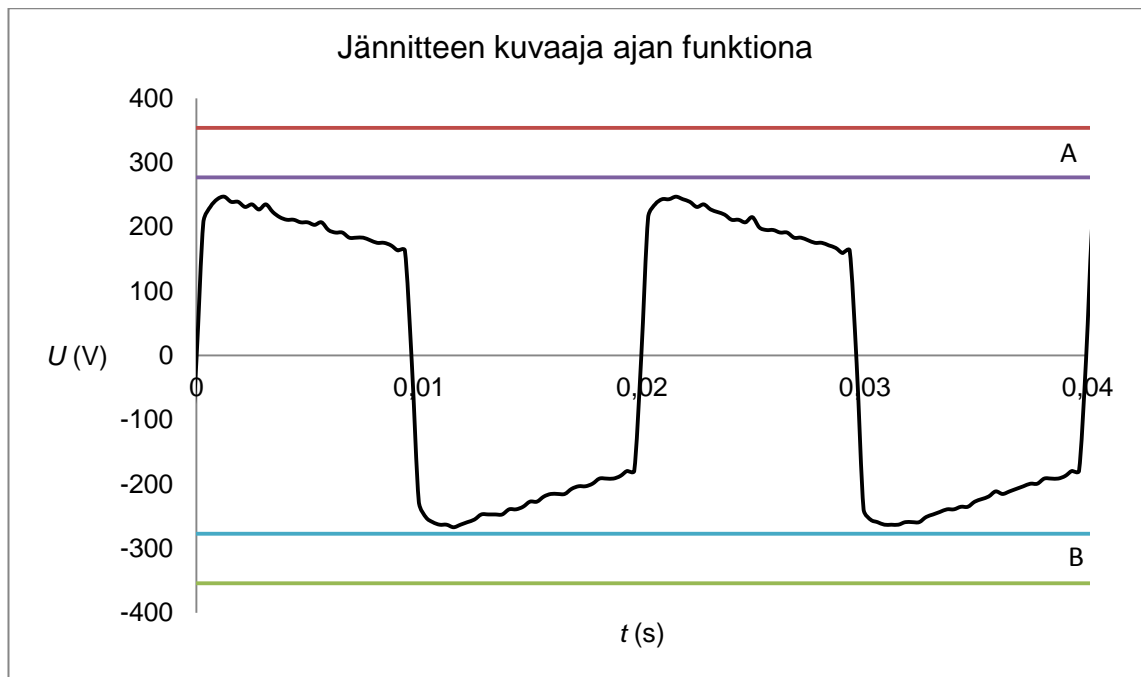
missä,

S on näennäisteho

P on pätöteho

Q on loisteho

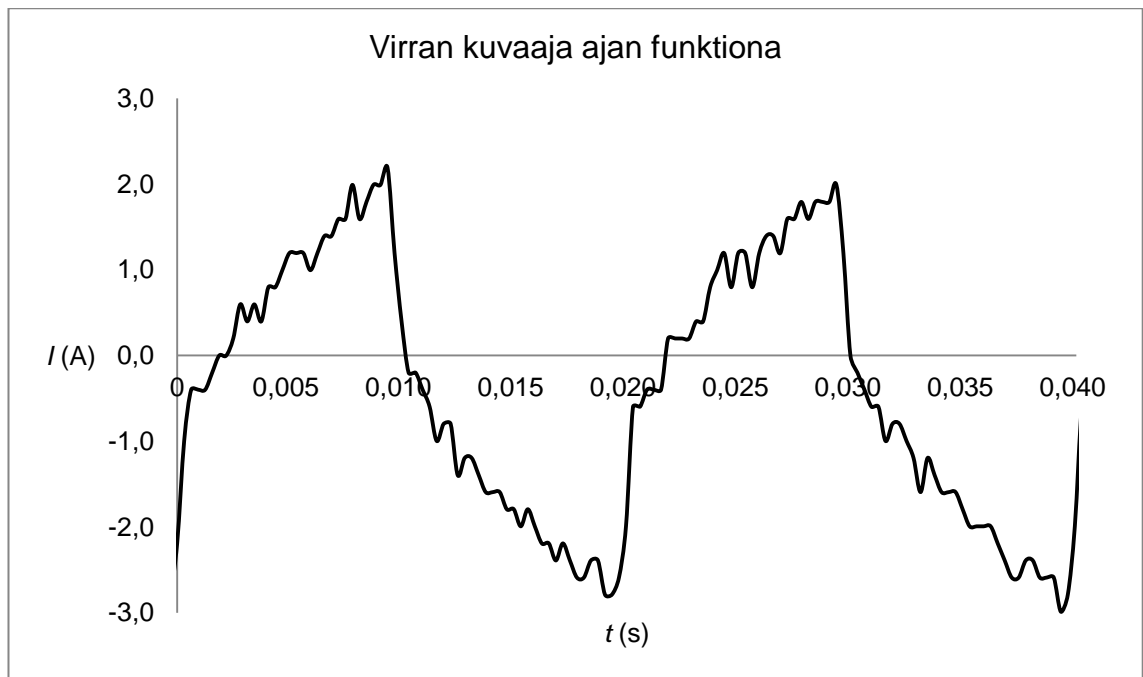
Kuormitusta pidettiin päällä kymmenen minuutin ajan, jonka aikana kerättiin analysaattorilla tarvittava mittadata. Kuormitusta vastaava jännitteen kuvaaja Avanty -multiasemalle on esitelty alla (kuvio 11).



KUVIO 11. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona sekakuormituksessa (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 11 nähdään, että jännite alkaa pyöristyä, mikä johtuu suuresta induktiivisesta kuormituksesta. Kelan peruseriaatteen mukaan se pyrkii vastustamaan virran muutosta, siirryttäessä puolijaksolta toiselle virran suunta pyrkii kääntymään. Kela vastustaa tätä muutosta ja saa aikaan sen, että virta romahtaa hitaammin, mikä taas aiheuttaa pyöreyttä jännitteen käyrämuotoon.

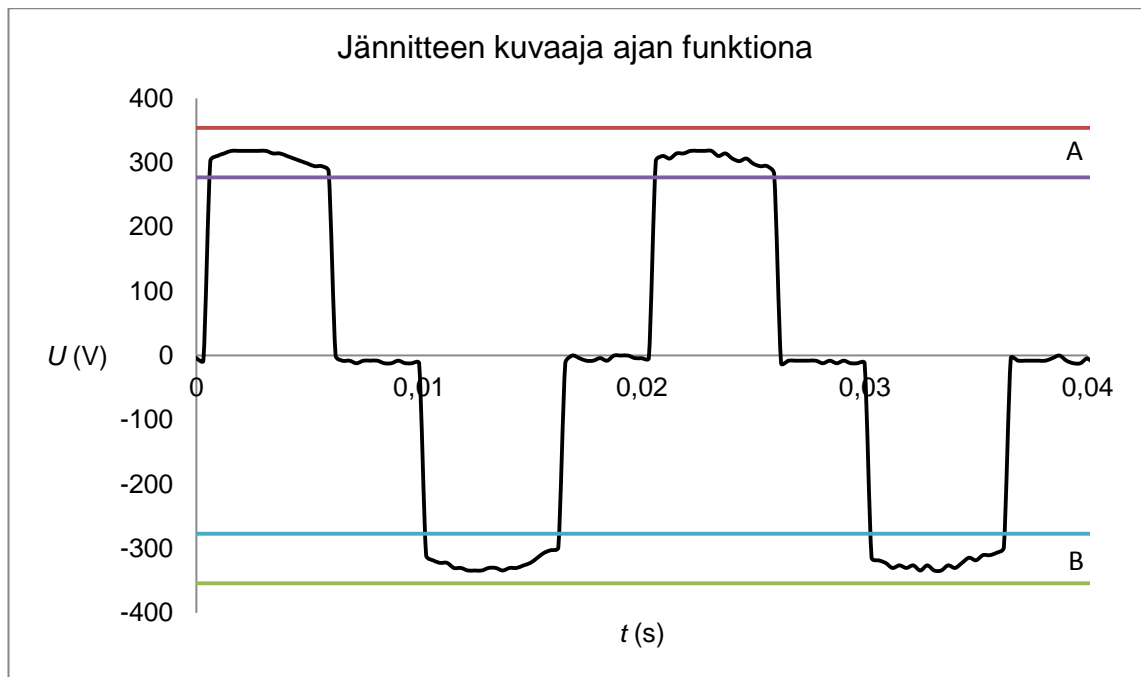
Sekakuormituksella jännite ei täytä myöskään annettuja laatuvaatimuksia, joskaan se ei aiheuta juuri minkäänlaista käyttöturvallisuusriskiä. Samaisesta mittauksesta otettiin myös virran käyttäytymistä esittävä kuvaaja ja se on esitelty alla (kuvio 12).



KUVIO 12. Virran kuvaaja ajan funktiona sekakuormituksessa.

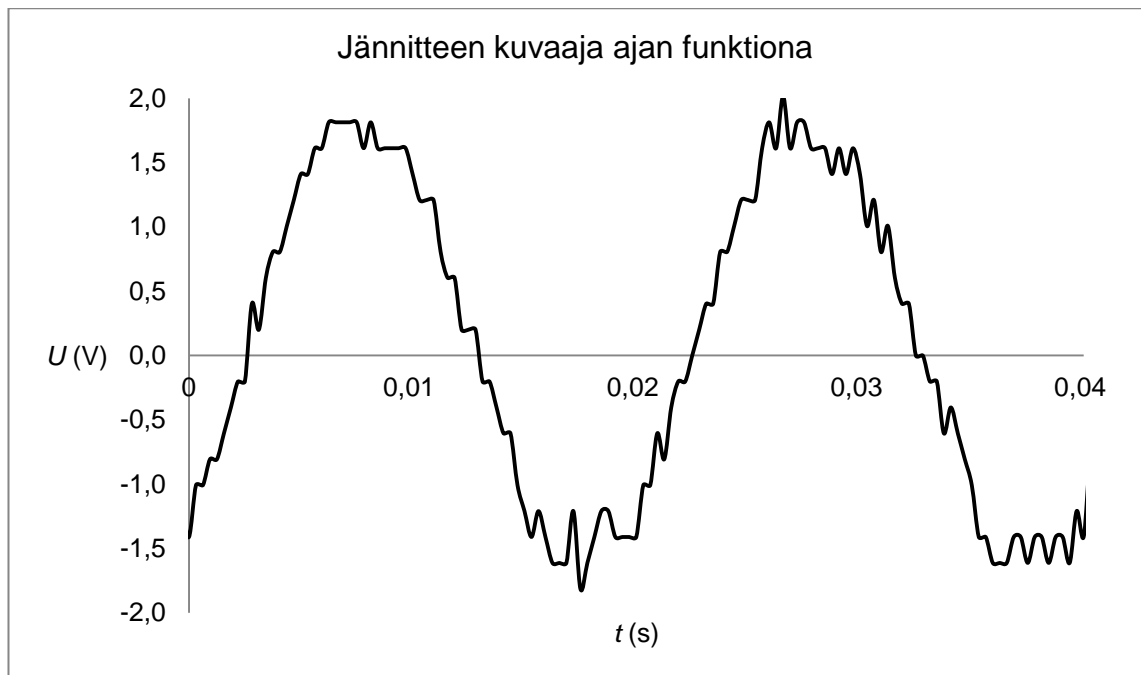
Kuviosta 12 nähdään hyvin, että kela hidastaa virran muutosta ja näin ollen virta tulee jännitteen jäljessä. Tästä aiheutuu se, että piirissä kiertävä virta kasvaa, jotta siirrettävä teho saataisiin siirrettyä. Haittana tästä taas on se, että komponentit lämpiävät enemmän ja käyttöikä laskee nopeammin.

HQ -invertterille tehtiin sama sekakuormitus mittaus ja sen jännitteen kuvaaja on esitelty alla (kuvio 13)



KUVIO 13. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona sekakuormituksessa (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 13 nähdään, että sama pyöristyminen tapahtuu myös tämän laitteen kohdalla, mutta jännite pysyy paremmin standardin asettamien arvojen sisällä. Mittauksista otettiin ylös myös virran kuvaaja, joka on esitelty alla (kuvio 14).



KUVIO 14. Virran kuvaaja ajan funktiona sekakuormituksessa.

Kuviosta 14 nähdään, että virta jää jännitettä jälkeen ja arvot kasvavat tästä syystä. Näin ollen ilmiöt ovat vastaavanlaiset kummankin invertterin kohdalla.

Kyseisessä mittauksessa taajuuden vaihtelu pysytteli standardin asettamien rajojen sisällä. Tarkemmat taajuutta käsittelevät mittaustulokset on esitelty liitteessä neljä.

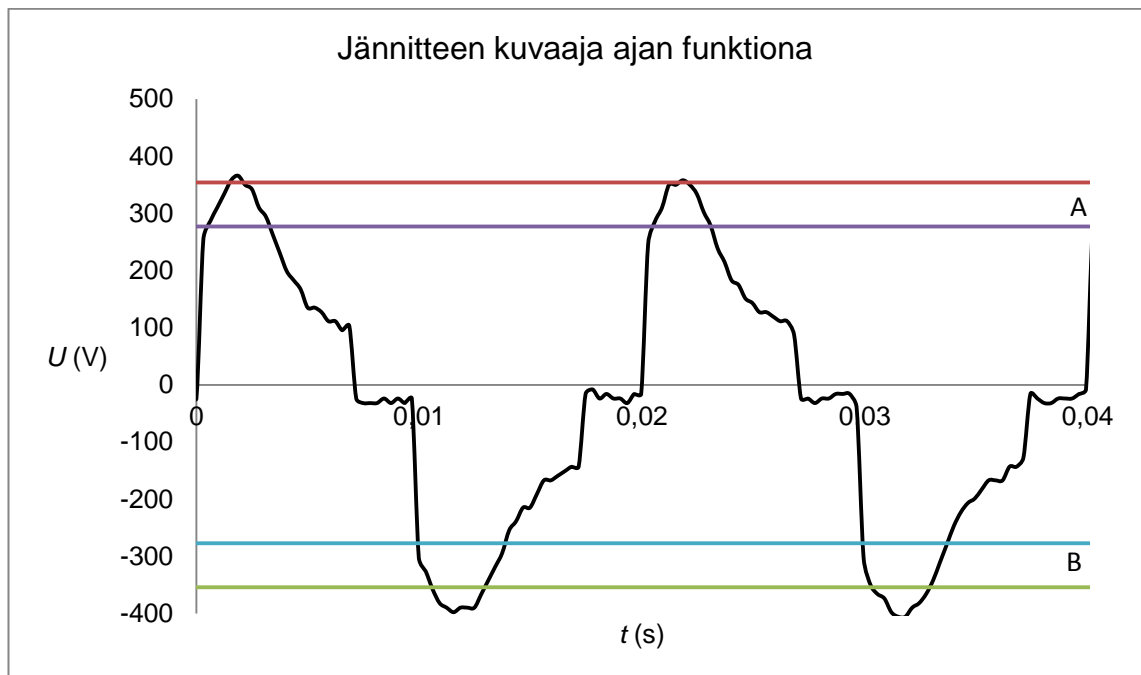
4.5 Ylikuormakokeilu

Seuraavaksi laitteille tehtiin raju ylikuormituskokeilu, jossa mitoitustehosta käytössä oli noin 70 % tehokertoimen ollessa likimain 0,3. Tällöin piirissä kiersi induktiivista loistehoa noin 700 VAR. Näennäisteho oli näin ollen noin 700 VA eli kuormitusta oli noin kaksinkertaisesti mitoitustehoon verrattuna.

Tässä mittauksessa HQ -multiasemasta ei saatu mittaustuloksia, koska laitteen sisältä ehti palamaan jokin komponentti. Tämä johtui todennäköisesti loistehon aiheuttamasta suuresta loisvirrasta, jota akulta yritettiin saada ja laitteen suoja

ei kykene havaitsemaan tämmöistä virtaa. Näin ollen muuntajan käämitys pääsi ylikuumenemaan ja menemään oikosulkuun rikkoen laitteen.

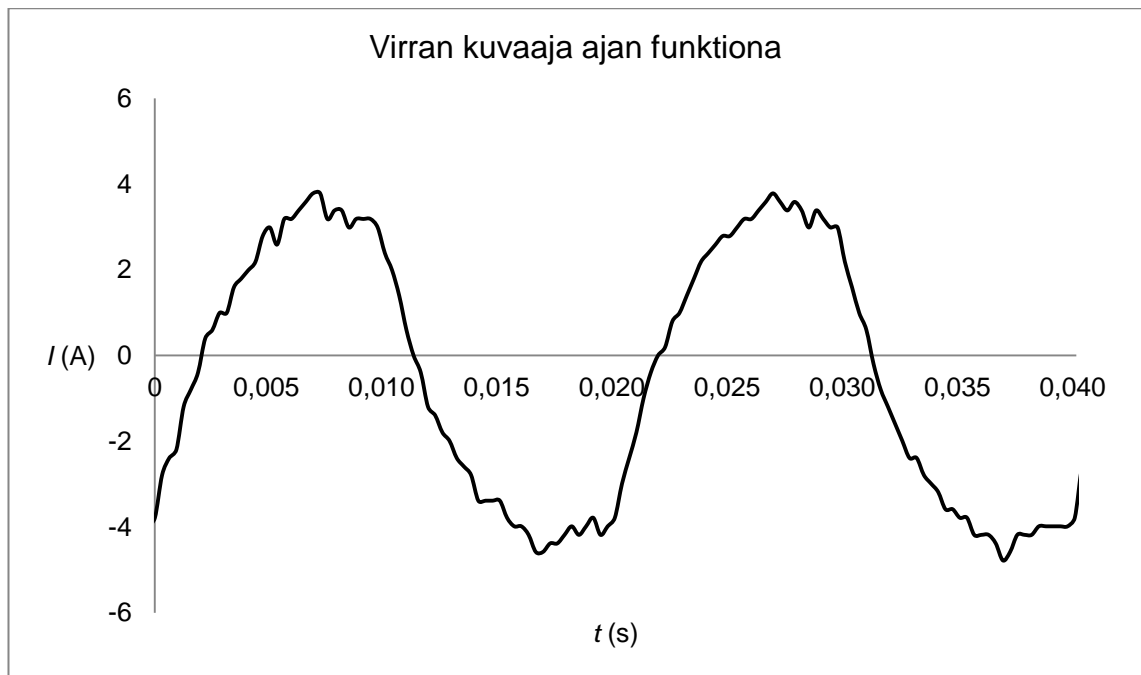
Avanty -multiasemalle saatiin tehtyä mittaus, jossa kuormitusta pidettiin yllä vain hyvin lyhyen aikaa. Laitteelle saatu jännitteen kuvaaja on esitelty alla (kuvio 15).



KUVIO 15. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona sekakuormituksessa (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 15 nähdään, että kuormituksen ollessa rajusti induktiivista jännitteen aaltomuoto pyöristy erittäin paljon. Lisäksi suuri induktanssi saa virran jäämään entistä enemmän jälkeen, joka aiheuttaa jännitehuippujen karkaamisen yli standardin asettamien rajojen. Tästä ei kuitenkaan aiheudu käyttäjälle vaaraa, koska laitteen eristys on vahvistettu ja eristysresistanssi mittaus osoittaa erotuskyvyn olevan varsin suuri.

Samasta mittauksesta saatiin vielä virran kuvaaja, joka on esitelty alla (kuvio 16).



KUVIO 16. Virran kuvaaja ajan funktiona sekakuormituksessa.

Kuviosta 16 nähdään, että induktiivinen kuorma pyöristää virran lähes vastaamaan siniaaltoa. Huiput ovat hieman taipuneita, mikä johtuu taas kelan tyyppiominaisuudesta vastustaa virran kulkua.

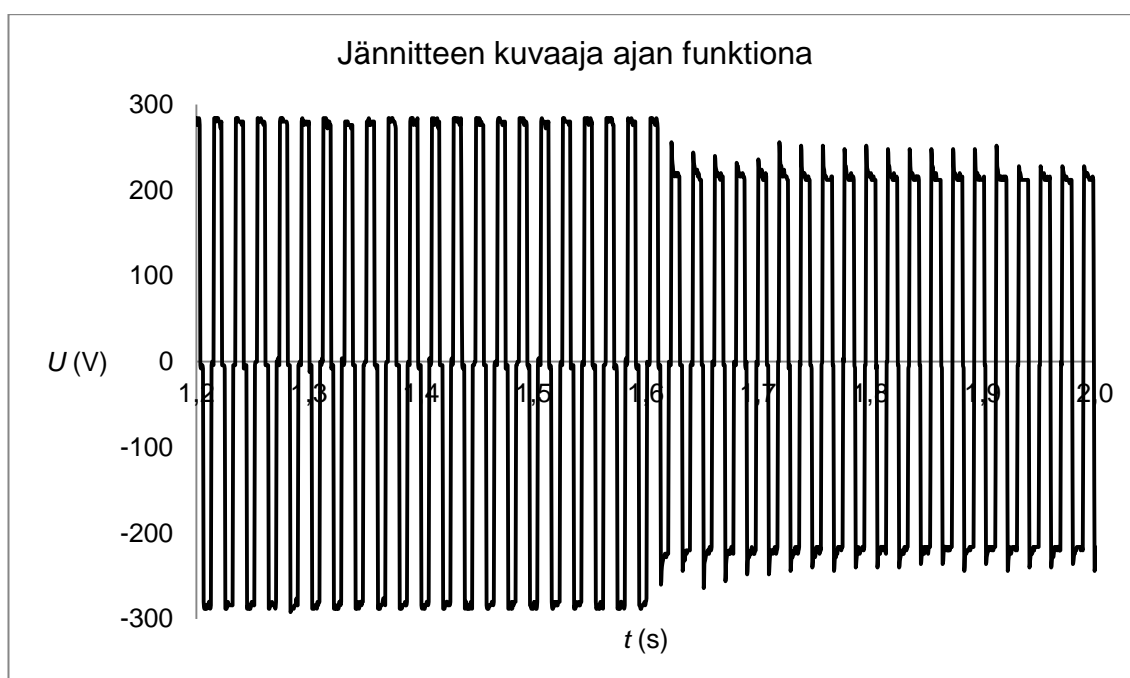
Taajuus pysyi myös tässä mittauksessa erittäin vakaana, mikä on normaalia tämänkaltaisille inverttereille. Taajuus pysytteli noin 50,1 HZ tuntumassa koko mittauksen ajan.

4.6 Muutosilmiöt

Muutosilmiö mittaukset toteutettiin vain multiasemalle, koska toinen invertteri pääsi rikkoutumaan edellisten kokeiden yhteydessä. Muutosilmiöissä pyrittiin selvittämään syntyykö kuormien kytketyessä päälle tai pois vaarallisia jännitepiikkejä tai muita merkittäviä riskejä. Mittaukset tehtiin siten, että kuormitukseksi aseteltiin valmiiksi 100 % mitoitustehosta ja tämän jälkeen se kytkettiin kytkimellä päälle ja pois. Tästä tapahtumasta otettiin jännitteen kuvaajat ajan funktiona.

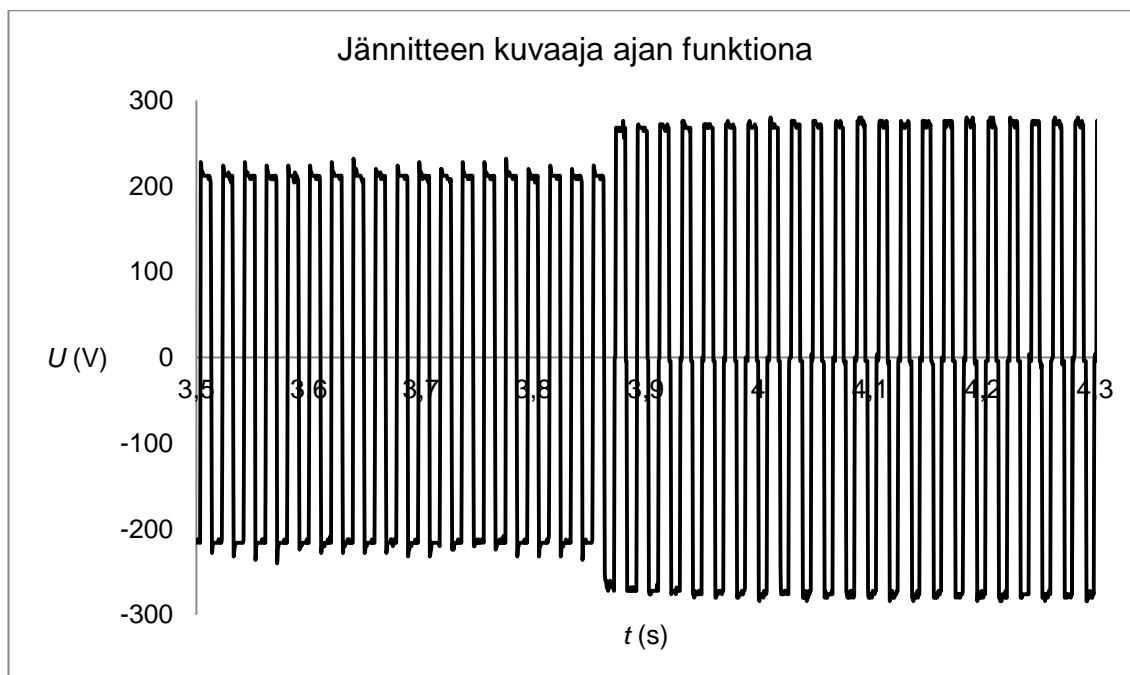
4.6.1 Kuorma päälle / pois

Mittaukset suoritettiin käyttämällä Agilentin valmistamaa oskilloskooppia DSO1012A. Tutkimuksissa saatu mittaustiedosto siirrettiin Excel taulukkolaskentaohjelmaan, jossa muutosilmiöstä piirrettiin tarvittavat kuvaajat. Multiasemalle saatu jännitteen kuvaaja ajan funktiona muutosilmiössä on esitetty alla (kuvio 17).



KUVIO 17. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona muutosilmiössä, kun kuorma kytetään piiriin.

Kuviosta 17 nähdään, että kuorman kytkeytyessä päälle ei tapahdu erikoista piikkiä tai muuta merkittävää. Ainoastaan jännite notkahtaa, mikä havaittiin jo laatumittauksia tehdessä kuormituksen ollessa 100 % mitoitustehosta. Seuraavaksi on esitelty samasta mittauksesta jännitteen kuvaaja, jossa kuorma kytetään pois. Tämä jännitteen kuvaaja on esitelty alla (kuvio 18).



KUVIO 18. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona muutosilmiössä, kun kuorma kytetään pois piiristä.

Kuviosta 18 nähdään, että kuorman kytkeytyessä pois ei tapahdu jännitepiikkiä tai muuta merkittävää. Jännite nousee ainoastaan tyhjäkäyntijännitteen tasolle.

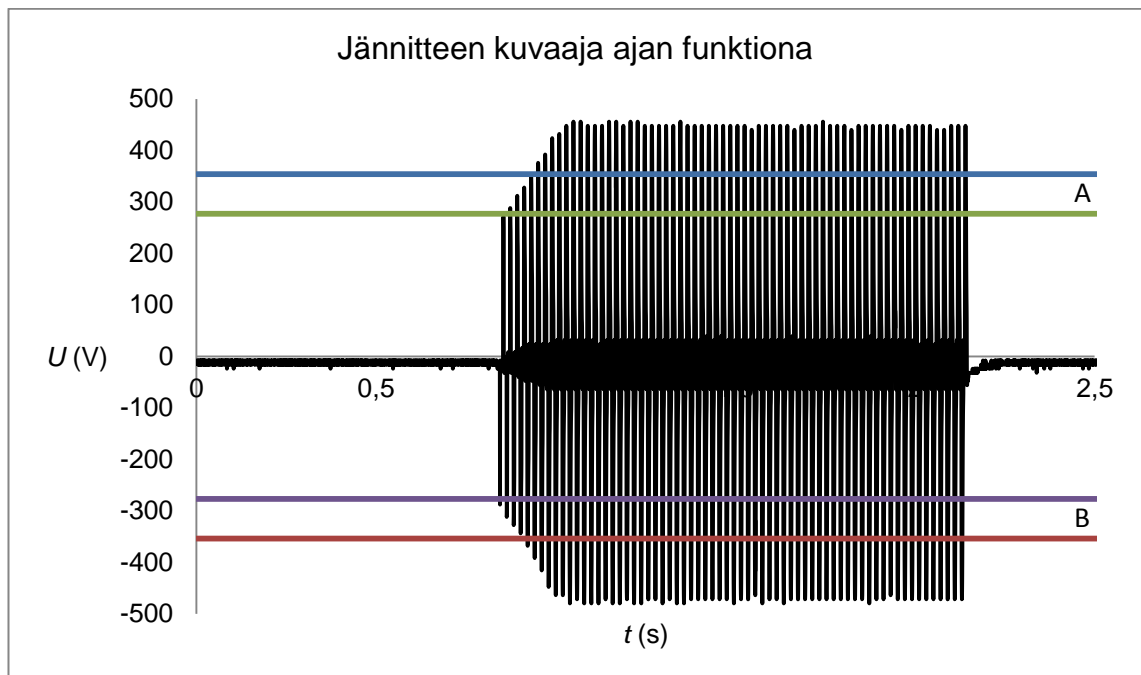
Muutosilmiömittauksissa ei löytynyt mitään merkittävää, joka voisi vaikuttaa käyttäjän turvallisuuteen. Näin ollen laite saa puhtaat paperit muutosilmiöiden osalta.

4.7 Vikatilanteet

Tutkintotyössä tutkittiin viimeisenä osana erilaisia vikoja, joita inverttereitä käytettäessä voi syntyä. Pahin vika, mikä voi laitetta käytettäessä syntyä on täydellinen napaoikosulku. Avantyy -multiasemalle tehtiin koe, jossa kuormituksena oli vastus yksi ja kelat yksi, kolme ja neljä. Näin ollen kuormitus oli taas erittäin induktiivinen. Varsinainen mittaus tehtiin Fluken 435 -analysointilaitteella, jolla otettiin ylös jännite, virta ja taajuus.

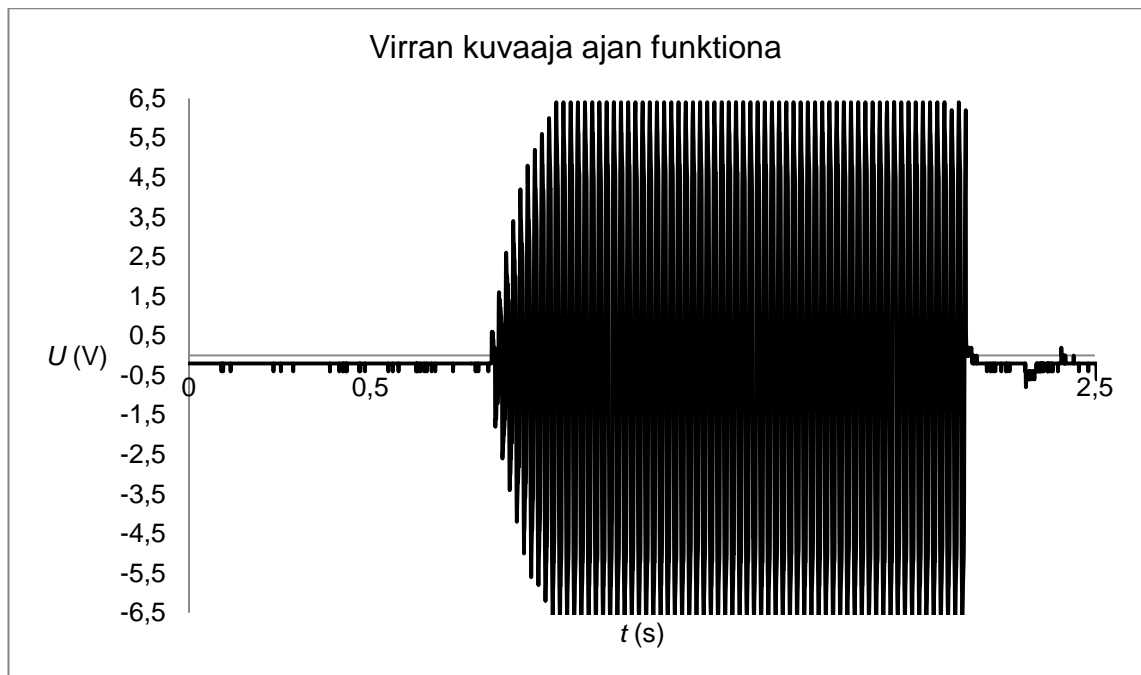
4.7.1 Napaoikosulku

Napaoikosulkukokeessa kuormitusta pidettiin päällä hetken aikaa, jonka jälkeen kytkimen avulla laitettiin täydellinen napaoikosulku päälle. Tästä mittauksesta satu jännitteen kuvaaja on esitelty alla (kuvio 19).



KUVIO 19. Jännitteen kuvaaja ajan funktiona napaoikosulussa (A on sallittu jännitteen vaihteluväli positiivisella puolella ja B on sallittu vaihteluväli jännitteen negatiivisella puolella).

Kuviosta 19 nähdään, että kuormituksen ollessa rajusti induktiivista jännite kasvaa yli standardin rajojen. Lisäksi napaoikosulun kytkeytyessä päälle jännite romahtaa välittömästi nolnaan. Toisin sanoen laitteen suoja toimii niin kuin pitää, eli se kytkee syötön pois päältä välittömästi, kun virta meinaa kasvaa yli sallitun. Virrasta saatu kuvaaja on esitelty alla (kuvio 20).



KUVIO 20. Virran kuvaaja ajan funktiona napaoikosulussa.

Kuviosta 20 nähdään, että piirissä kiertävä virta on suuri, mutta napaoikosulun sattuessa ja suojan toimiessa antopiiri kytkeytyy pois päältä. Pahimmassa vikatilanteessa, mikä laitteelle voi sattua, kytkeytyy syöttö vain pois päältä. Näin ollen vikatilanteetkaan eivät aiheuta merkittävää käyttöturvallisuusriskiä.

Merkittävin vaara syntyy laitteen fyysisen keston kannalta, koska kuviossa 20 näkyvä yli 6 A virta lämmittää laitteen komponentteja erittäin paljon. Pitkäaikaisesti käytettynä heikoin komponentti pettää ja laite menee sisäisesti oikosulkuun. Tällöin ylikuormitussuoja palaa välittömästi, koska piirissä kulkeva virta pyrkii kasvamaan oikosulussa huippuarvoonsa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkintotyössä tarkastellut laitteet noudattavat osittain niille asetettuja määräyksiä ja standardeja, mutta varsinkin dokumentaatiossa ja laitteiden merkinnöissä on paljon puutteita. Merkittävää sähkö- tai käyttöturvallisuusriskiä mittauskohteenä olleista laiteista ei löytynyt, vaikkakin antopuolen jännite kasvoi muutamissa tapauksissa yli standardin asettamien arvojen ja suurella loiskuormalla laite lämpeni huomattavasti. Lämpösuojat eivät kykene havaitsemaan suurta loisvirtaa, koska suojan toiminta perustuu akulta otettavan pätövirran mittaukseen. Loisvirta näkyy jännitteenkorotusmuuntajan toisiopuolella eli kuorman puolella ja näin ollen suurikaan loisvirta ei kasvata ensiöpuolella kiertävää virtaa.

Mittaustulokset on saatu laboratorio-olosuhteissa, joissa muun muassa lämpötila, ilmanpaine ja ilmankosteus olivat vakioita. Mittaustulokset saattavat muuttua, jos laitteita käytetään niille tyypillisissä ympäristöissä, kuten ulkoilmassa, autossa tai veneessä. Tällöin lämpötila voi olla sijainnista riippuen pakkasen tai joskus jopa helteen puolella. Lämpötilan kasvu saattaa heikentää laitteen kestävyttä, etenkin suurilla kuormituksilla. Ulkoilmassa voi myös sataa lunta tai vettä, jolloin laitteen suojaukset saattavat toimia väärin.

Siirrettävät vaihtosuuntaajat noudattavat akun puolella pienoisjännitepiireille annettuja määräyksiä. Lisäksi järjestelmät on yleensä SELV -piirin mukaiset eli maapotentiaalia ei ole. Antopuoli puolestaan noudattaa IT -järjestelmää, joka taas on maasta erotettu järjestelmä. Näin ollen koko järjestelmä muodostaa niin sanotusti kelluvan järjestelmän, jossa maapotentiaali puuttuu kokonaan. Järjestelmä kestää yhden pienen esimerkiksi eristevian, eikä kuluttajalle aiheudu tästä vielä vaaraa. Toisen vian ilmentyessä lisäpotentiaalintasaus pienentää mahdollisesti syntyvää kosketusjännitettä, mutta tällöin vikavirta on jo niin suuri, että laitteen oma suoja toimii. Käyttöturvallisuutta parantaa lisäksi se, että laitteen runko on toisessa muovia ja kumia, jotka itsessään toimivat eristeenä. Toisen laitteen runko on alumiinia, mutta jännitteiset osat täyttävät vahvistetun eristykseen vaatimukset. Näin ollen toisen eristeen rikkoutuessa jännitteiset osat on

vielä yhden eristeen takana. Lyhyesti sanottuna sähköiskun vaara kummallakin laitteilla on erittäin epätodennäköinen.

Suurin käyttöturvallisuusriski syntyy varomattomasta kuluttajasta, joka saattaa käyttää puutteellisten ohjeiden takia laitetta väärin. Lisäksi jos laitetta kuormitetaan voimakkaasti induktiivisella kuormalla pitkään, saattaa se lisääntyneen lämmöntuoton takia rikkoutua, kuten kävi HQ -invertterille ylikuormitusmittauksessa. Laitteissa olevat standardin vastaiset lämpösuojat eivät kykene toimimaan, jos piirissä kiertää suuri loisvirta. Tämä johtuu siitä, että lämpösuojan toiminta on sidottu akulta saatavaan virran mittatietoon. Loisvirta kiertää jännitteenkorotusmuuntajan toisiopuolella, eikä se näin ollen näy akulta otettavassa virrassa.

Vaihtosuuntaajissa käytetään tehonlähteenä akkuja ja suuremmissa suuntaajakäyttöissä akustoja. Käyttäjän tulee tällöin huolehtia riittävästä jäähdytyksestä kuumilla keleillä ja vastaavasti lämmityksestä kylmillä keleillä. Akkuja käytettäessä tulee huomioida myös riittävä ilmanvaihto, koska akuista saattaa höyrystyä vaarallisia kemikaaleja.

Yksinkertaisin tapa parantaa laitteiden käyttöturvallisuutta on lisätä kuluttajien tietoutta sähkön vaaroista. Lisäksi laiteturvallisuutta voidaan parantaa tekemällä enemmän pistokokeita kuluttajille suunnatuille laitteille sekä tehostamalla valvontaa. Valvonnan tehostamisella saataisiin kulutuskojeet noudattamaan mahdollisesti paremmin asetettuja määräyksiä ja standardeja, koska maahantuojille, jälleenmyyjille ja valmistajille tulisi pelko laitteiden kalliista takaisinvedoista. Lisäksi sanktioiden koventaminen puutteellisten laitteiden osalta, voisi auttaa asiaa.

Toisaalta tutkintotyötä tehdessä huomasi, kuinka vaikea on löytää kaikkia sähkölaitteita koskevat asetukset ja määräykset. Tästä syystä monilla valmistajilla ja varsinkin sellaisilla, jotka toimivat ulkomailta ei ole välttämättä tietoutta kyseisen markkina-alueen säädöksistä. Valmistajien helpottamiseksi kaikki määräykset, asetukset ja standardit voitaisiin koota yhteen tietopankkiin, josta olisi helppo lähteä selvittämään millaisia vaateita kullakin markkina-alueella on. Nykyinen malli, missä sähkölaitteille asetetaan vaatimuksia valmistusmassa, alueellisesti

(EU) ja vielä loppukuluttajamaassa on erittäin monimutkainen. Tästä syystä en ihmettele, että monista kuluttajamarkkinoille suunnatuista laitteista puuttuu paljon määräysten mukaisia asioita. Tämä koskee varsinkin maita, joissa omat säädökset ovat erittäin löysät tai muuten vain erilaiset, kuin kohdemaassa missä sähkölaitetta aiotaan myydä. Tällaisia heikomman valvonnan maita on muun muassa massatuotteita valmistava Kiina, Intia ja oikeastaan kaikki Aasian maat.

Uskon inverttereiden yleistyvän tulevaisuudessa entisestään, koska ne omaavat erittäin hyvän hyötysuhteen, niiden häviöteho on vähäistä ja rakenne voidaan pitää kohtalaisen pienenä tehon kasvaessa. Näin ollen niiden teho koko suhde on varsin hyvä. Niitä käytetään tänä päivänä paljon esimerkiksi pientuotannossa. Tuulienergialla tai aurinkoenergialla ladataan akkuja, josta invertterin avulla tuotetaan kulutuskojeiden tarvitsemaa vaihtosähköä. Erilaiset uusiutuvan energian tuotantomuodot tulevat yleistymään tulevaisuudessa ja näin ollen vaihtosuuntaajia tullaan käyttämään jatkossakin paljon.

LÄHTEET

Tooloutlet. Starttiboosteri & Multiasema. Luettu 1.4.2014.
http://www.tooloutlet.fi/product_pictures/medium/2413-3619-nuair_avanty_boosteri_kompressori_invertteri.jpg.

Verkkokauppa. HQ -invertteri. Luettu 1.4.2014. http://cdn-b.verkkokauppa.com/images/89/2_122620-283x283.jpeg

Honkanen, H. Akku ja paristotekniikat. Luettu 1.4.2014.
http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/REG_Akku-%20ja%20paristotekniikat.pdf

FINLEX. Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410. Luettu 6.4.2014.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19960410>

Suomen standardoimisliitto. SFS 5264. Luettu 9.4.2014.

Suomen standardoimisliitto. SFS 2972. Luettu 9.4.2014

EMC-direktiivi 2004/108/EY. Luettu 9.4.2014

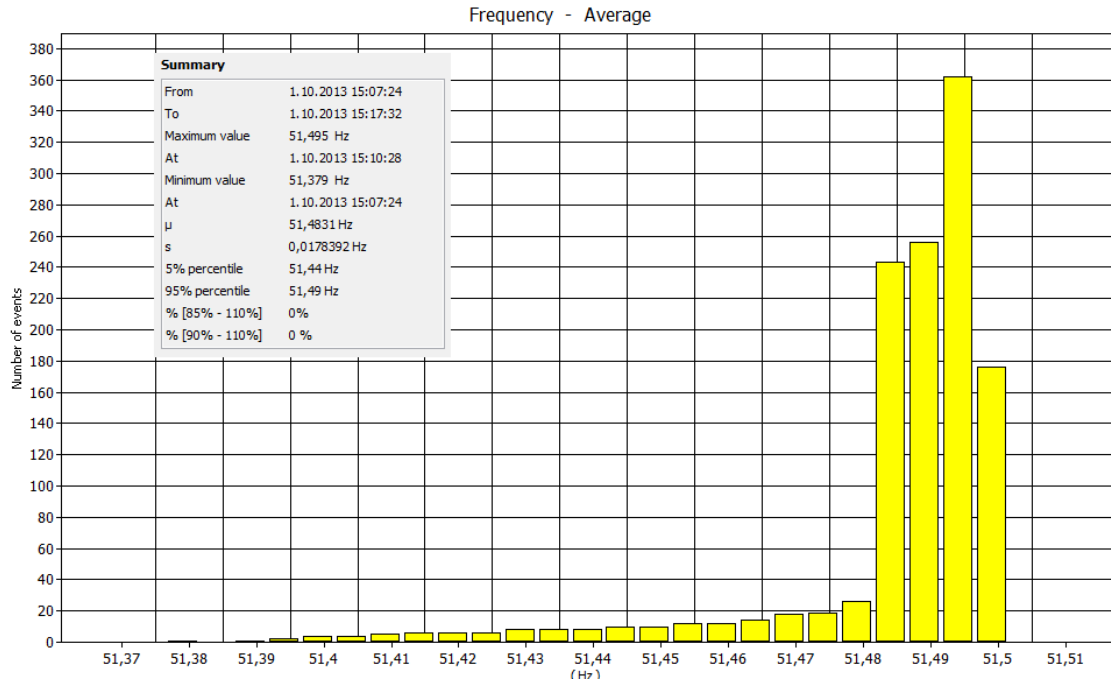
KTMp 1193/99. Luettu 10.4.2014

Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. D1-2002 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2013. Painokurki Oy

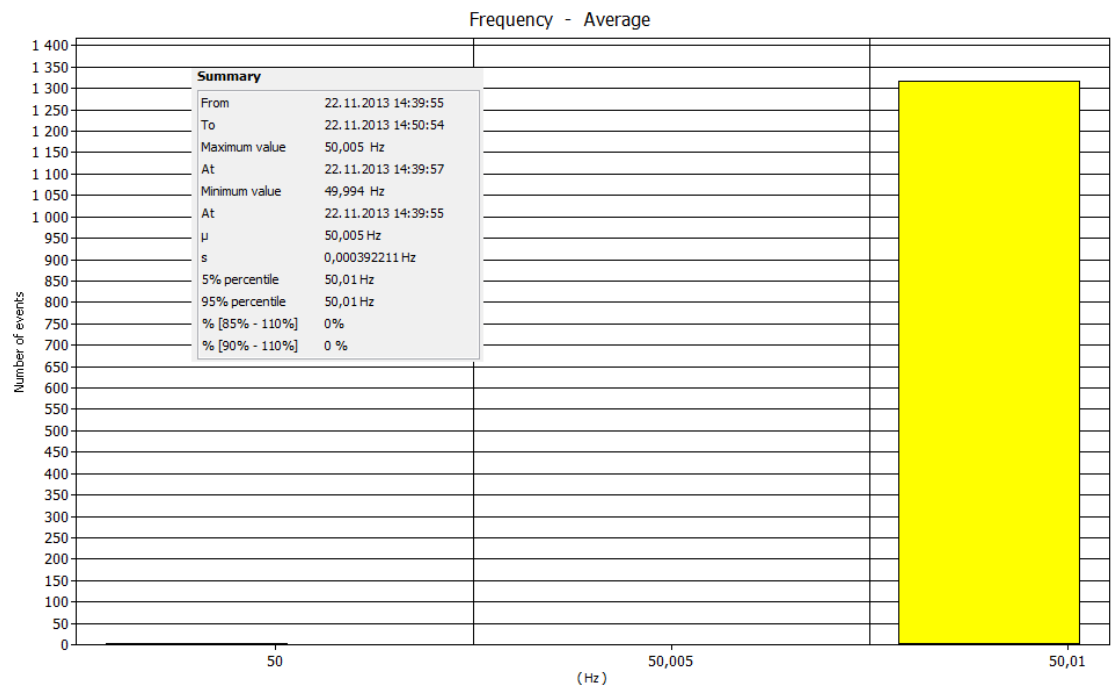
LIITTEET

Liite 1. Mitattu taajuus tyhjäkäyntiajossa

Avanty -multiasema

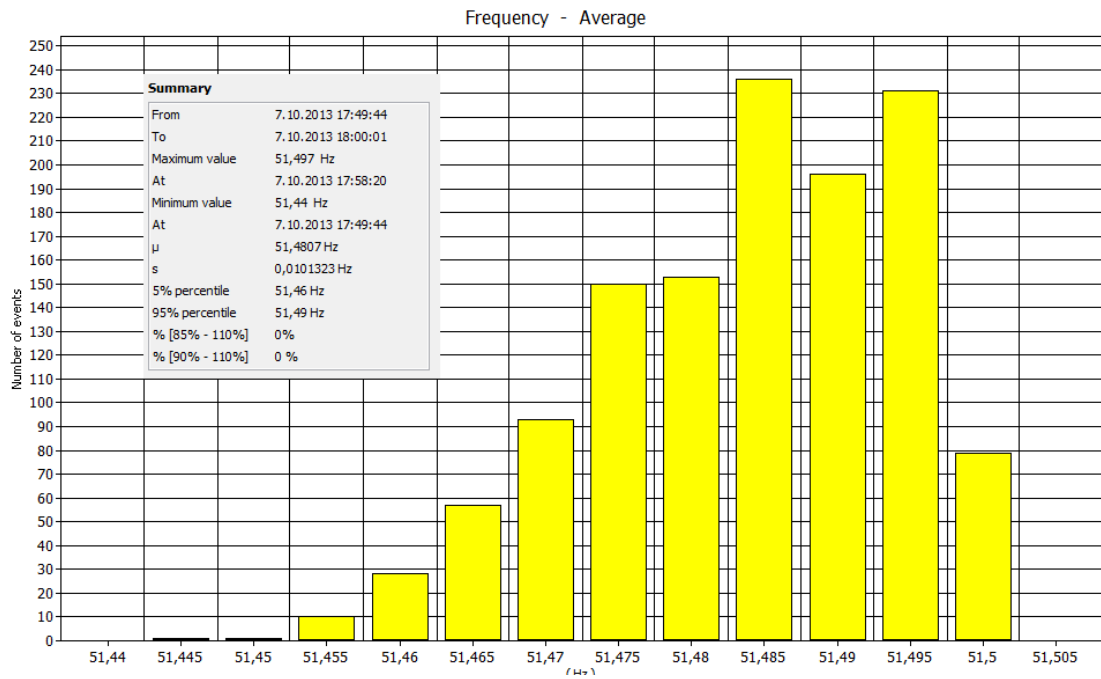


HQ -invertteri

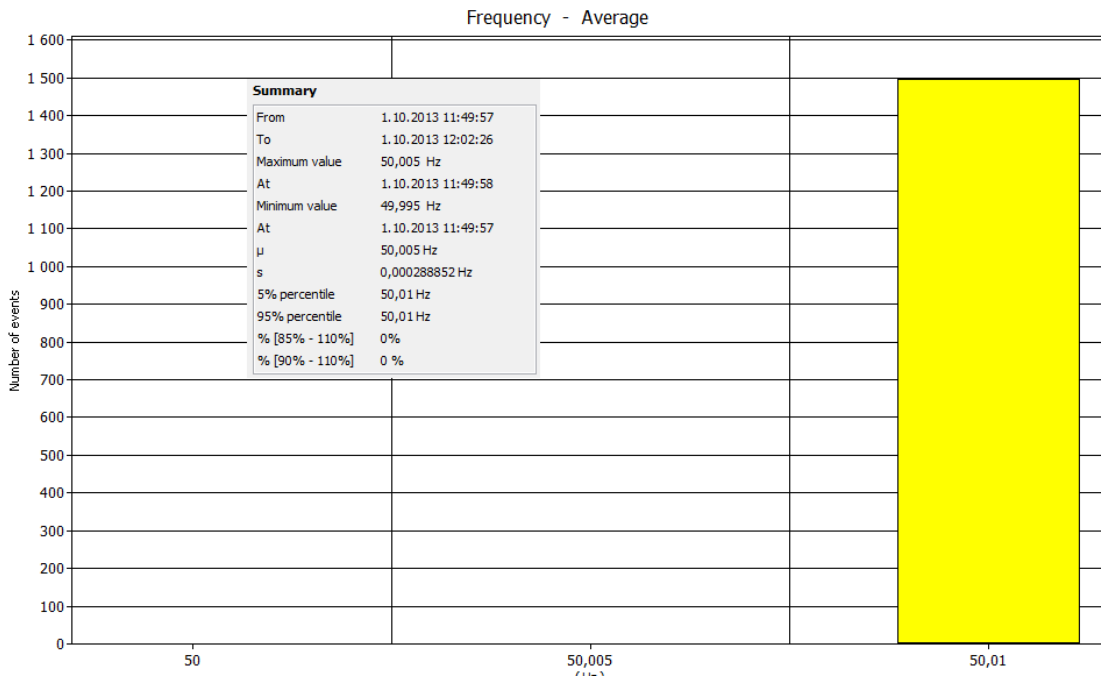


Liite 2. Mitattu taajuus kuormituksessa 1

Avanty -multiasema

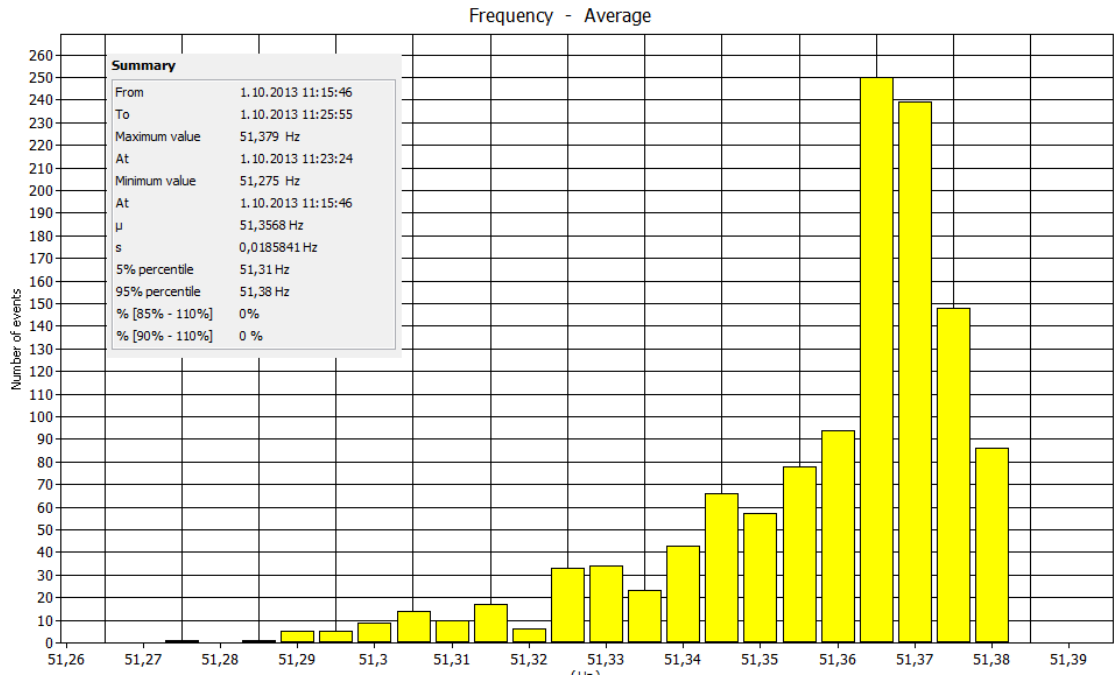


HQ -invertteri

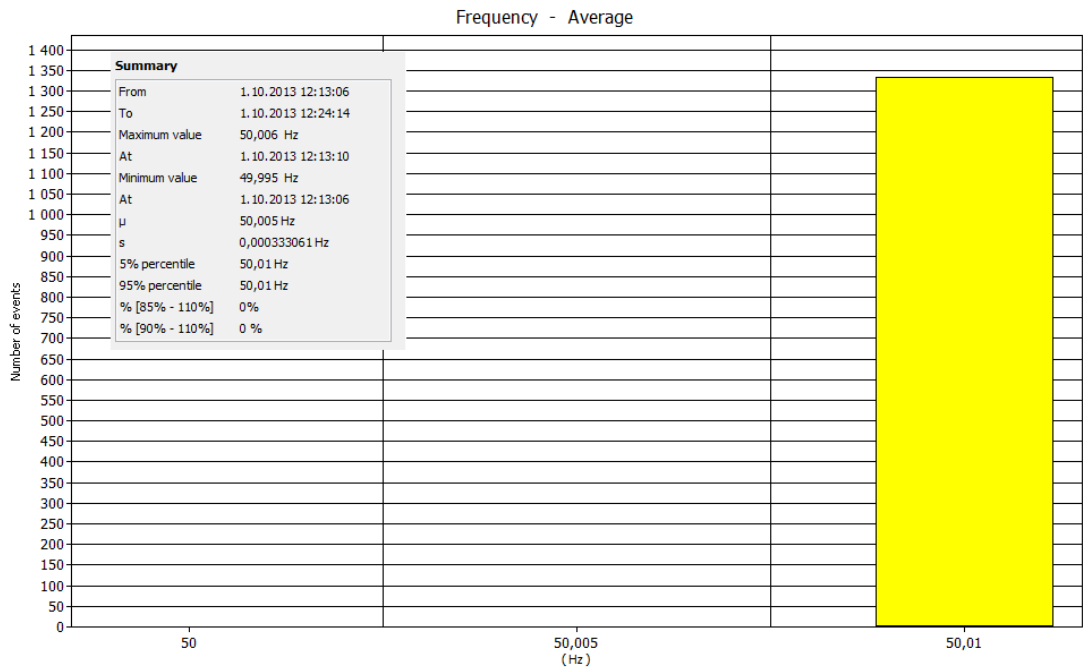


Liite 3. Mitattu taajuus kuormituksessa 2

Avanty –multiasema

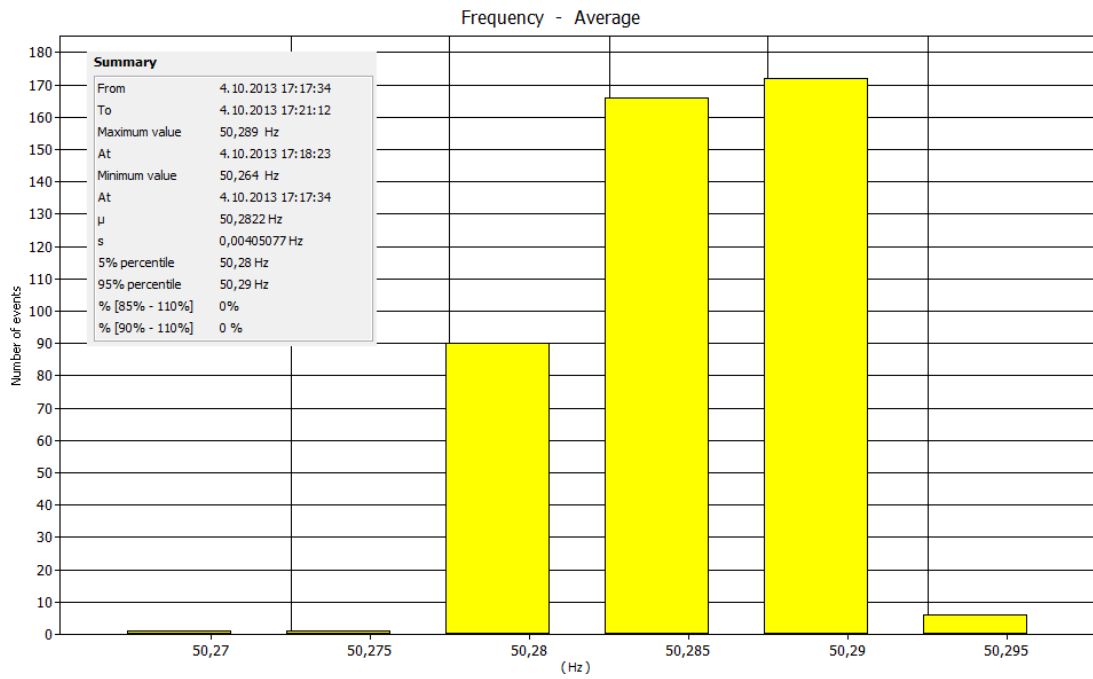


HQ –invertteri



Liite 4. Mitattu taajuus sekakuormituksessa

Avanty –multiasema



HQ –invertteri

