

Mika Ruokonen

# Taajuusmuuttajan lämpöajojen käyttöönotto- ohje

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Koulutusohjelman nimi

Insinööriytyö

15.5.2017

Tekijä Otsikko	Mika Ruukonen Taajuusmuuttajan lämpöajojen käyttöönotto-ohje
Sivumäärä Aika	30 sivua 15.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Laboratoriovastaava Marko Könönen Lehtori Eero Kupila
<p>Työn tarkoitus oli lämpöajotestien tekeminen, jossa käytettiin ABB:n kehittämää HTR-ohjelmaa. Työn ohessa tehtiin ABB:n laboratorion käytettäväksi yleinen HTR käyttöönotto-ohje. Laboratorio-ohje on jätetty pois sen salassapidon vuoksi opinnäytetyöstä. Työssä pääpaino oli lämpöajojen valmisteluissa ja testauksessa.</p> <p>Lämpöajojen merkitys taajuusmuuttajan elinkaareen on merkittävä, sillä lämpö vaikuttaa suoraan komponenttien vanhenemiseen. Lämpöajoja suorittamalla voitiin tarkentaa tuotteen elinikää, jonka ansiosta voitiin määrittää ennakoivia huoltoja ja selvittää ympäristön vaikutusta tuotteeseen.</p> <p>Teoria osuudessa kerrotaan taajuusmuuttajan lämpöherkistä komponenteista ja yleisestä teoriasta. Rajaus on tehty ACS880 tuotteeseen. Teorian jälkeen tutustutaan testiasetelmaan ja käytettäviin mittaus- ja koelaitteisiin sekä ohjelmistoihin. Ohjelmissa keskitytään niiden konfigurointiin ja testien ohjelmoimiseen. Testien suorittaminen on pääsääntöisesti ohjelmointipohjaista työskentelyä, vaikkakin lämpöajojen pituudet voivat vaihdella kymmenistä minuuteista moniin tunteihin. Ohjelmoinnin osuus kokonaisuudessa on käytännössä yli 85%, vaikka se vie vain noin 10-20% kokonaisuudesta.</p> <p>Työn osana suoritettavat testit olivat onnistuneita ja tarvittavaa tietoa saatiin riittävästi. Mitään yllätyksiä ei tullut vastaan ja komponentit kestivät suunnitellusti.</p>	
Avainsanat	HTR, Taajuusmuuttaja, ACS880

Author Title	Mika Ruokonen Drive's start Up Quidance for Heat Test Runs
Number of Pages Date	30 pages 15 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electric power engineering
Instructors	Marko Kononen, Laboratory Manager Eero Kupila, Principal Lecturer
<p>The purpose of the study was to do heat test runs using the HTR program developed by ABB. In addition to the work, a general guide for using HTR program was made for ABB's laboratory. The guide was not published with work because of confidentiality reasons. The focus was on preparing and testing heat runs.</p> <p>Heat runs are important for the lifecycle of the drive. They are significant as the heat directly affects the aging of the components. By the heat runs, the product's lifespan can be refined to allow for predictable maintenance and clarify the environmental impact of the product.</p> <p>In the theory section are the heat-sensitive components of the drive and general theory described. The focus is on the ACS880 product. After the theory, the test set up is presented with measuring and testing equipment and used software. The focus is on configuring programs and programming heat tests. Performing tests is primarily programming-based, although the length of heat runs may vary from tens of minutes to hours. Of the testing workload, programming is virtually 85 %. Measured in time it may take about 10-20 % of the total time.</p> <p>The results of the tests indicate that the tests were successful and sufficient information was obtained. No surprises came up and the components worked out as planned.</p>	
Keywords	HTR, Frequency converter, ACS880

## Sisällys

### 1 Johdanto

### 2 Yleisperiaatteita

#### 2.1 Perustoiminta

##### 2.1.1 Välipiirit

##### 2.1.2 Sillat

##### 2.1.3 Modulointi

##### 2.1.4 Lämpövaikutus

#### 2.2 ACS880 rakenne ja jäähdytys

### 3 Testilaitteistot

#### 3.1 Toiminta periaate

#### 3.2 Käyttötarkoitus

#### 3.3 Agilent datalogger

#### 3.4 Tehoanalysaattori

#### 3.5 ACS880

### 4 Ohjelmistot

#### 4.1 HTR-ohjelma

#### 4.2 DriveComposer

#### 4.3 Excel

### 5 Testien suorittaminen

#### 5.1 Esivalmistelut ja turvallisuus

#### 5.2 Perusajo

#### 5.3 Kuormitusajot

## 6 Tulokset ja niiden analysointi

6.1 Perusajo

6.2 Testiajo 1

## 7 Yhteenveto

## Lyhenteet

ACS880	ABB:n uusin taajuusmuuttaja, jota käytettiin testeissä.
FET	Field-effect transistor. Kanavavaikutustransistori.
GTO	Gate turn off thyristor. Gate pois päältä ohjattava thyristori.
HTR	Heat test run. ABB:n kehittämä lämpöajo-ohjelma.
IGBT	Insulated-gate bipolar transistor. Eristetty gatebipolaaritransistori
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor. Metallioksidi puolijohtava kanavatransistori.
PAM	Pulseamplitude modulation eli pulssin amplitudimodulaatio.
PID	Proportional-integral-derivate-säädin. Ennakoiva-integroiva-derivoiva-säädin.
PWM	Pulsewidth modulation eli pulssinleveysmodulaatio.

## 1 Johdanto

Haluaisin kiittää kaikkia työhön osallistuneita henkilöitä. Näistä henkilöistä erityisesti ohjaajia Marko Könöstä ja Eero Kupilaa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on ajaa lämpöajotestejä, jossa käytetään ABB:n luomaa HTR-ohjelmaa. Työn yhteydessä tehdään ABB:n laboratorion käytettäväksi yleinen käyttöohje HTR-ohjelmalle, jota ei kuitenkaan sen salassapidon takia voida tässä työssä esittää. HTR-lyhenne tulee englannin kielen sanoista: heat test run, joka kääntyy karkeasti suomen kielelle lämpöajotestaus. HTR-ohjelmalla voidaan suorittaa erilaisia lämpöajoja, myös ilman jatkuvaa valvontaa. HTR-ohjelmaa käyttämällä voidaan suorittaa yli 24 tunnin testiajoja.

Lämpöajojen merkitys on kasvamassa, sillä lämpö vaikuttaa suoraan komponenttien ja tuotteen käyttöikään. Testien tarkoitus on kartoittaa tuotteen ja komponenttien elinkaarta tietyissä olosuhteissa, toisin sanoen voidaan kertoa asiakkaalle; kuinka kauan laite toimii missäkin toimintaympäristössä. Ajojen avulla voidaan myös tarkentaa ennakoivien huoltojen tarpeellisuutta ja ajankohtaa.

Lämpöajot suoritetaan laboratoriossa, jossa voidaan simuloida erilaisia kuormatyyppisiä, olosuhteita ja toimintaympäristöjä. Kuormituskoneena on työssä käytetty sähkömoottoria ja generaattoria, mutta tulevaisuudessa kuormitus tehdään kuristimien avulla. Testilaitteena käytetään ACS880 ja mittalaitteina toimivat: Agilentin dataloggeri, Yokowaga WT3000 tehoanalysaattori sekä noin 50 termoparia. Kun mittalaitteet on yhdistetty tietokoneeseen ja HTR-ohjelmaan on tehty tarvittavat ohjelmoinnit, niin testejä voidaan suorittaa. Pääpaino testien suorittamisessa on ohjelmoinnissa, vaikkakin testien kestot voivat vaihdella kymmenistä minuuteista aina muutamiin tunteihin. Testeistä kerätyt tiedot tallennetaan ja analysoidaan, jonka jälkeen niistä voidaan tehdä tuotteen elinkaaren ja toimivuuteen liittyviä johtopäätöksiä.

## 2 Yleisperiaatteita

Tässä luvussa käsitellään taajuusmuuttajien yleistä teoriaa, joka pohjustaa miksi tai millä tavalla on perusteltua tutkia taajuusmuuttajien käyntilämpötiloja eritilanteissa ja -paikoissa. Työssä ollaan keskitytty enimmäkseen yleisimpiin ratkaisuihin ja malleihin, mutta testilaitteistolla on mahdollisuus tutkia myös muita taajuusmuuttajatyyppejä. HTR- ohjelmistoon ja muuhun laitteistoon perehdytään tarkemmin luvussa 4. Tämä luku antaa lyhyen kuvauksen käytettävän ACS880 taajuusmuuttajan rakenteesta ja yleisestä teoriasta.

### 2.1 Perustoiminta

Perinteisesti taajuusmuuttaja muodostuu AC-syötöstä, tasasuuntauksesta ja vaihtosuuntaajasta. Tasasuuntaajan tarkoitus on tehdä siihen syötetystä vaihtosähköstä tasasähköä, jonka vaihtosuuntaaja eli invertteri taas muuntaa uudeksi vaihtosähköksi. Tarkoitus on siis saada ohjattua moottorin pyörimisnopeutta hallitusti, samalla pyritään säästämään energiaa.

Taajuusmuuttajia on kahta erityyppiä: välipiirillisiä ja välipiirittömiä. Välipiirittömiä taajuusmuuttajia ovat matriisi- ja syklokonvertterit, josta periaatekuva alapuolella. Nämä muuntavat vaihtosähköä uudeksi vaihtosähköksi ilman tasasuuntausta. Yleisimpiä kohteita ovat suuritehoisetkäytöt, joiden teholuokka on tyypillisesti megawatteja. Pääsääntöisesti syklokonverttereiden kytkiminä toimivat vastarinnankytketyt tyristorit, niiden jännitteen- ja virrankestoisuuden vuoksi. (1, s. 29.)

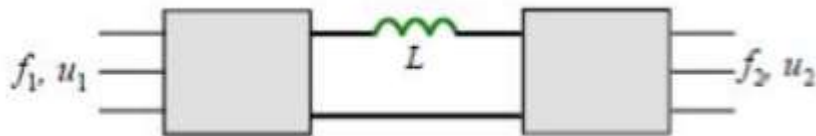


Kuva 1. Syklokonvertteri.



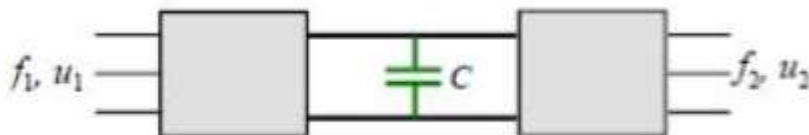
### 2.1.1 Välipiirit

Välipiirilliset taajuusmuuttajat ovat yleisimpiä, sillä niitä käytetään lähes jokaisessa teholuokassa. Tässä mallissa vaihtosähkö muutetaan tasasuuntauksen avulla tasasähköksi, jonka jälkeen se vaihtosuunnataan uudeksi vaihtosähköksi. Välipiirejä on kahta eri tyyppiä: jännite- ja virtavälipiiri. Virtavälipiireissä käytettävät kuristimet mitoitetetaan niin suuriksi, että ne voivat toimia hetkellisenä energiavara-astona ja pitää piirin virran tasaisena. Syöttävän verkon suuntaan tämä näkyy vakiovirtalähteenä. Tyypillisempiä käyttökohteita ovat kuormakommutoidut moottorinohjaussovellukset. Syöttösilta on yleensä rakennettu tyristöreilla ja vastaavasti lähtösilta on tehty IGBT-kytkimillä. Alla olevassa kuvassa 2 periaatekuva virtavälipiiristä.



Kuva 2. Virtavälipiiri.

Jännitevälipiiri on rakenteeltaan samanlainen kuin virtavälipiiri, mutta siinä energiavara-astona toimii kondensaattori. Tähän voidaan vielä tarpeen mukaan lisätä suodinkuristin, jarrukatkoja ja sen vastus. Kun kondensaattori on tarpeeksi suuri, niin se pystyy pitämään jännitteen tasaisena. Syöttöverkon suunnasta katsottuna kondensaattori muistuttaa vakiojännitelähdettä. Kuvassa 3 nähdään periaatekuva jännitevälipiiristä.



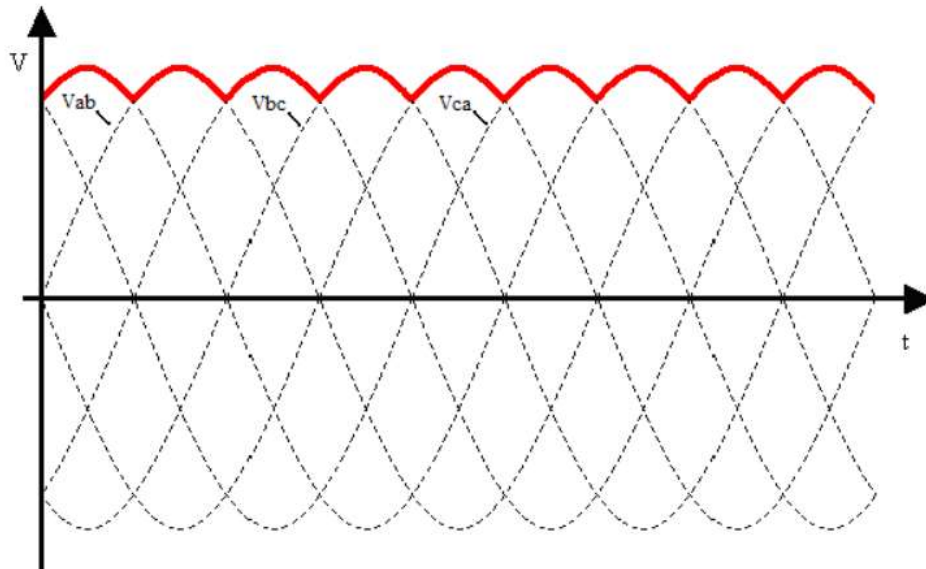
Kuva 3. Jännitevälipiiri.

Taajuusmuuttajien rakenteet ja välipiirit vaihtelevat kuormituksen, tehon ja käyttöjen suhteen. Välipiirittömät ratkaisut esiintyvät yleensä suuritehoisissa laitteissa. Näissä vaihtosuuntaus tehdään vastarinnankytkennöillä, joissa käytetään tyristöreitä ja diodeja. Välipiirilliset ratkaisut tuovat enemmän vaihtoehtoja ja mahdollistavat käytön useammalle kohteelle. Tämä riippuu täysin käytettävistä komponenteista, joista välipiirin syöttö- ja lähtösilta on valmistettu. Suurimmat tehot saadaan siirrettyä tyristöreillä ja diodeilla, kun taas paremmat ohjattavuudet voidaan saavuttaa IGBT-komponenteilla. (1, s. 90.)

### 2.1.2 Sillat

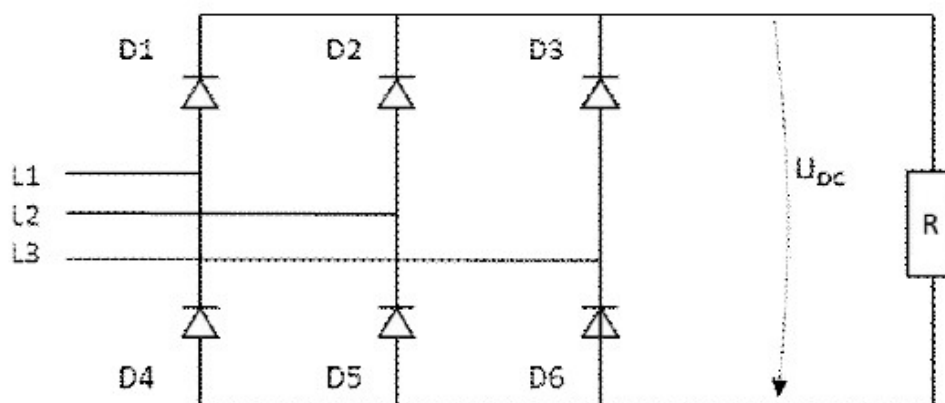
Taajuusmuuttajan toiminta perustuu puolijohteisiin ja niiden ominaisuuksiin. Tarkemmin ottaen puolijohteiden ohjaukseen johto- ja estotilassa. Puolijohteiden kytkentätilat riippuvat syötettävästä jännitteestä ja vaiheiden määrästä. Syötön ollessa 1-vaiheinen, voi tasasuuntauksen rakentaa kahdella tavalla: voidaan tehdä puoliaaltosuuntaaja tai koko-aaltosuuntaaja. Puoliaaltosuuntaaja ottaa talteen vain positiivisen puolijakson, jolloin tuloksena on todella aaltoilevaa tasajännitettä. Toisaalta voi tehdä koko-aaltosuuntaajan, jolla voidaan ottaa talteen myös negatiivinen puolijakso. Tällöin tasajännitteen laatu paranee huomattavasti, jolloin saadaan koko jännite talteen yhdeltä vaiheelta. Tästä syystä yleisin rakenne on 6-pulssisilta syötettynä kolmella vaiheella, ja verkkojännitteestä voidaan ottaa jokaisen vaiheen positiivinen ja negatiivinen puolijakso. 6-pulssisillan ulostulona saadaan alla olevan kaavan mukaan DC-välipiiriin jännite, jonka suuruus on noin 1,35-kertainen, syötettävään pääjännitteeseen nähden, kuten alla olevasta voidaan todeta. Kuvassa 4 näkyy DC-jännite, joka on tehty kolmella vaiheella ja kuudella diodilla. (1, s. 43-54.)

$$U_{DC} = \frac{3}{\pi} \sqrt{2}U = 1,35U$$



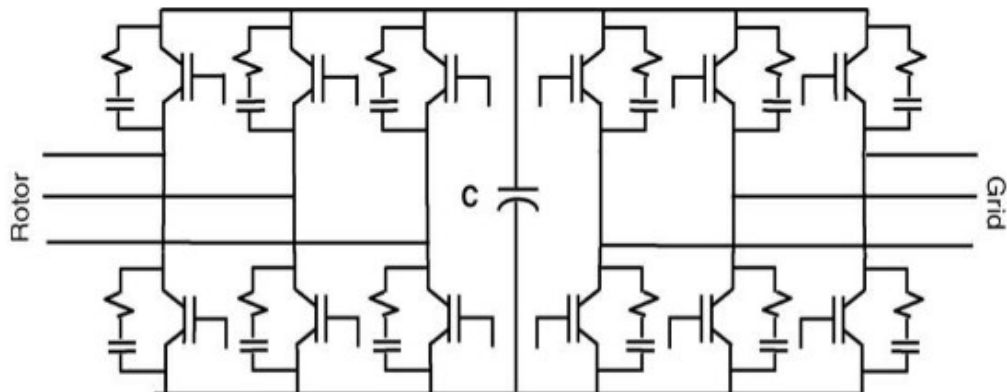
Kuva 4. 6-pulssidiodisillan ulostuleva jännite.

Siltojen ohjattavuus riippuu täysin käytettävistä komponenteista. Esimerkiksi alla olevassa kuvassa 5 on diodisilta, jota ei voida ohjata. Tällöin niinsanottu ohjauskulma on nolla, ja saatu tasajännite on suurin mahdollinen. Samalla energian suunta voi olla ainoastaan vain kuormaan päin. Tällöin puhutaan yksinkertaisesta 1-kvadranttikäytöstä.



Kuva 5. Kolmivaiheinen 6-pulssinendiodisilta.

Kuten kuvassa 6 on esiteltyä 4-kvadranttikäytön periaatteellinen kytkentä, mikä vaatii vähintään ohjattavat komponentit sillan syöttö- ja lähtöpuolelle. Tyypillisesti käytetään IGBT- tai GTO-komponentteja, joita voidaan ohjata joko jännite- tai virtapulssilla. Tämä kytkentä mahdollistaa energiansiirron molempiin suuntiin. Eli nyt voimme käyttää energiaa normaalisti moottorissa, tai jarrutuksessa tapahtuva energia voidaan suuntaa, joko jarrukatkojalle, toiselle moottorille tai takaisin syöttävään verkkoon. ( 2, s. 75-79 s. 147.)

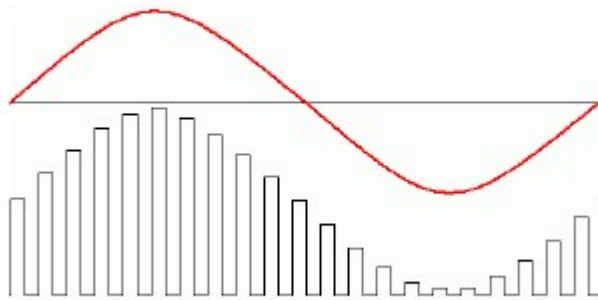


Kuva 6. 4-Q periaatekytkentä.

### 2.1.3 Modulointi

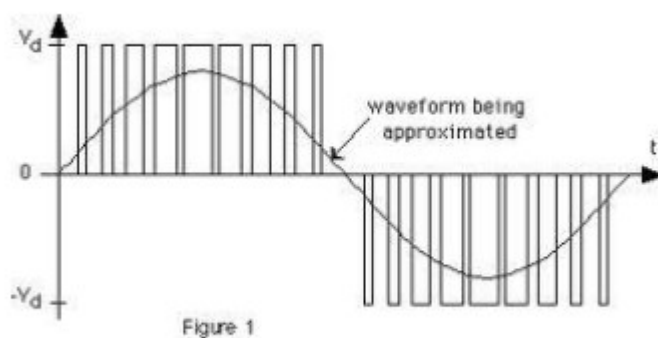
Moduloinnilla ohjataan tehpuolijohdeita tarkoituksena rakentaa tasajännitelähteestä mahdollisimman siistiä siniaaltoa muistuttava virta, koska tyypillisesti hyötysuhteet ja sähkönlaatu paranevat, mitä siniaaltoisempi moottorille syötettävä virta on. Modulaatiota suoritetaan yleensä kahdella eri tavalla pulssinleveysmodulointi eli PWM tai pulssiampplitudimodulointi eli PAM, joiden tarkoitus on tyypillisesti tuottaa siniaaltoa muistuttava virta. Virran sinimuotoisuus riippuu kytkentätaajuudesta, jonka suuruusluokka on yleensä 2-20 kHz välillä.

PAM modulointia käytetään yleensä virtaohjatuissa- tai kuormakommutoiduissainverteereissä, mistä nähdäänkin periaatekuva kuvassa 7. PAM-modulointi on myöskin haastavampi rakentaa, koska jännitetasoja täytyy pystyä ohjaamaan, mikä taas vaikuttaa siltojen rakenteeseen. (3, s. 226.)



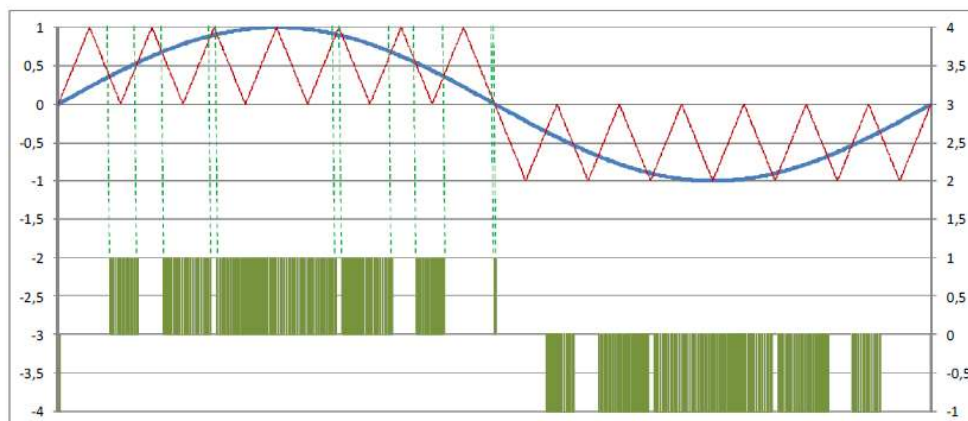
Kuva 7. PAM:ssa pulssin amplitudi muuttuu ja leveys pysyy vakiona.

PWM onkin tyypillisempi ja yleisin modulointitapa, sen yksinkertaisuuden takia. Kuvassa 8 nähdään periaatekuva PWM-moduloinnista.



Kuva 8. PWM:ssa pulssin amplitudi on vakio ja leveyttä muutetaan.

PWM-moduloinnissa käytetään apuna kolmioaaltoa, joka määrittää kytkentäkohdan. Kuvassa 9 nähdään kuinka referenssinä käytetään sinikolmioaaltoa, joka määrittää halutun ulostulojännitteen. Tässä tapauksessa amplitudi on vakio ja pulssin leveys muuttuu. Pulssin leveys määräytyy siis sini- ja kolmioaaltoja vertaamalla. Tämä voidaan tehdä yksinkertaisemmalla sillalla, koska siinä ei vaadita jännitetasojen jatkuvaa ohjaamista. Tässä moduloinnissa lähtöjännitettä säädetään kytkentätaajuutta muuttamalla, jolloin jännite vähenee palkkien ohentuessa. (3, s. 227.)



Kuva 9. PWM sini-kolmio aalto

#### 2.1.4 Lämpövaikutus

Kaikissa edellä mainituissa suuntaajatyypeissä ja piireissä syntyy lämpöä. Tämä johtuu piirikorteilla tehtävistä ohjauksista sekä virran määrästä. Pääsääntöisesti lämpötila piirikorttien pinnalla on noin 40 °C - 60 °C, riippuen ohjattavan piirin toiminnasta, komponenteista ja jäähtytyksestä. Vastaavasti tyypillisiä lämpötiloja IGBT-, GTO- tai tyristorikomponenteille ovat 90 °C – 120 °C. Nämä ovat kriittisiä lämpötiloja laitteen iän ja toiminnan kannalta. Sillä jos laitetta joudutaan ajamaan jatkuvasti liian kovissa lämpötiloissa, niin sen ikääntyminen nopeutuu ja laitteeseen tulee vikoja herkemmin. Lämpötilanmittausmahdollisuuksia on useita, mutta työssä käytettiin termopareja, joita asennettiin laitteiston useisiin eri kohtiin.

Toinen lämpötiloihin vaikuttava tekijä on siltojen kytkentätaajuus. Vaikkakin elektroniset komponentit eivät tuota kertakäynnillä lämpöä kuin muutamia milliwatteja, niin se on suuri määrä, kun kytkentymisiä tapahtuu paljon lyhyessä ajassa. Tämän takia kovan rasituksen alle joutuvat komponentit pitää jäähtyttää. Näitä ovat ohjauksessa käytettävät MOSFET- ja FET-transistorit. Kytkeäntäajuutta voidaan alentaa, mutta samalla menetetään tehoa.

Lämmönvaikutus taajuusmuuttajan toimintaan on tärkeä ymmärtää, sillä lämpötilan noustessa liian paljon laitteen toimintakyky ja turvallisuus laskevat. Pahimmassa tapauksessa laite voi räjähtää tai aiheuttaa muuta vahinkoa ympärilleen, kuten sulamista. (3, s. 258; 4, s. 13.)

## 2.2 ACS880 rakenne ja jäähdytys

Tässä työssä käytetään ACS880 taajuusmuuttajaa. Runkomalleja on välillä R1- R9. Samalla mallit vaihtelevat niiden asennustavan mukaan: pienimmät taajuusmuuttajat voidaan asentaa suoraan seinälle, kun vastaavasti suurimmat asennetaan kaappeihin. Työssä käytettävä moduuli oli kaappiin asennettava R7 runkokoon moduuli, joka on kuvassa 10.



Kuva 10. ACS880 R7-moduuli (9)

ACS880-moduulin rakenne koostuu: DC-kondensaattoripatterista, kuristimista, kiskoista, puhaltimista, jäähdytys-elementeistä, ohjauskorteista ja kaapeleista. Suurimman tilan vievät kondensaattoripatteri sekä kuristimet. Puhallin on sijoitettu laitteen alaosaan, josta se puhaltaa jäähdytysilmaa koko moduulin läpi. Rakenteen vuoksi moduulin paino-

piste nousee melko korkealle, mikä voi aiheuttaa joissakin tilanteissa ongelmia. Ohjauskoreteille voidaan tarvittaessa asentaa lisäpuhallin, joka lisää ilmankiertoa. Ohjauskortit on sijoitettu moduulin oikeaan kylkeen, jotta kaapeleille olisi lyhyet ja helpot reitit. Lämpöherkimmät komponentit on sijoiteltu keskeemmälle moduulia, kuten IGBT-komponentit ja kondensaattorit, koska ilmavirtaus on suurin suoraan puhaltimen yläpuolella. Kuristimet on myös sijoitettu tähän läheisyyteen, mutta ylemmäksi. Jotta jäähditys olisi tehokasta ja riittävää kaikkialla, niin täytyy ilmavirtaa ohjata erilaisilla ilmanohjaimilla. Ilmanohjaimet ovat tyypillisesti eristäviä muovipaloja, joilla voidaan myös vähentää komponenttien ylilyöntivaaraa. (4, s. 14; 5, luku. 3.)

### 3 Testilaitteistot

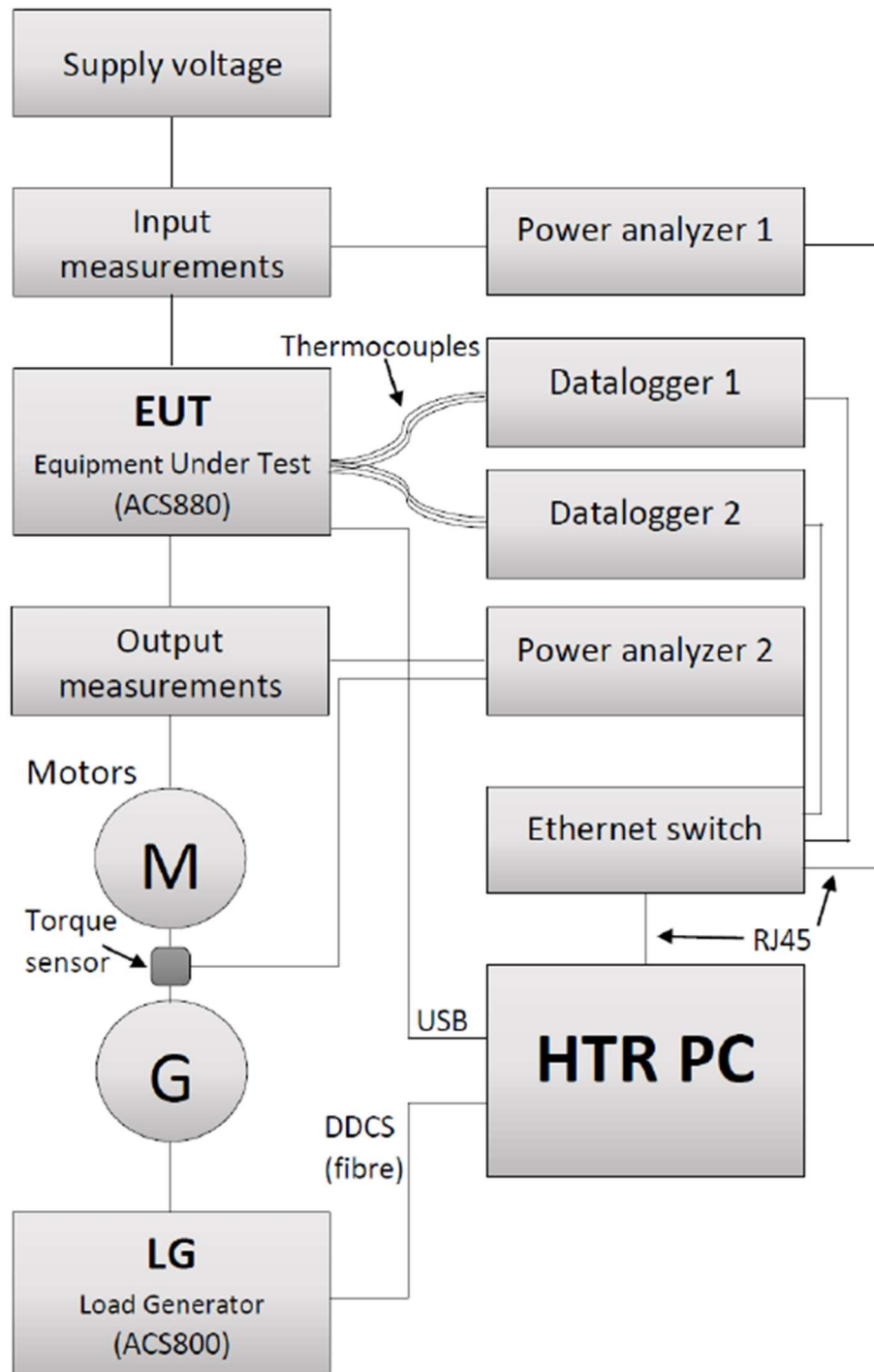
Tässä luvussa käsitellään työssä käytettäviä testilaitteistoja ja ulkoisia mittalaitteita, joiden avulla HTR-testit voidaan suorittaa. Niistä kerrotaan yleisellä tasolla ja niiden merkityksestä HTR-ohjelmaan. Työssä laitteiden tarkkuudelle ja laadulle on annettu painoarvoa, mutta työn tarkoituksena ei kuitenkaan ole mittalaitteiden tulosten tarkkuus tai vertailu, vaan niiden tuottamat tulokset. Tulosten perusteella voidaan tehdä päätelmiä ja analysoida taajuusmuuttajan toimintaa ja käyttäytymistä erilaisissa olosuhteissa.

#### 3.1 Toimintaperiaate

Seuraavaksi hiukan HTR:n toiminnasta ja käytön tarkoituksista. Ihanne tilanteessa HTR-testi seuraavalla tavalla: tarkastetaan testattava laite, laitetaan siihen ulkoiset mittalaitteet kiinni, testilaitte yhdistetään syöttöön, tarkistetaan yhteys PC:lle ja selvitetään laitteen toimintakyky. Kun nämä on tehty ja varmistettu, että kuormitettava kone toimii ja kytkennät ovat oikein, voidaan tehdä testiajo. Kun testiajo on suoritettu, niin loppu on vain testien suorittamista ja mahdollista valvomista.

Mittausten tarkoitus on tuottaa raakadataa käynnissä olevasta taajuusmuuttajasta myöhempää analysointia varten. Laitteistoa voidaan käyttää kuumassa tai kylmässä ympäristössä tai sitä ajetaan erilaisilla kuormituksilla tai voidaan simuloida vikatilanteita. HTR-ohjelmalla voidaan tehdä myös pitkiä yli 24 tunnin ajoja. (6, s. 5.)





Kuva 11. HTR-testijärjestely

## Toimintaperiaate

Työssä on tarkoitus testata ja tutkia lämpötilojen vaikutusta käytettävään laitteistoon. Yllä olevassa kuvassa 11 näkyy, miten testin voi suorittaa käyttämällä HTR-ohjelmaa. Tarvitavat osat, komponentit ja mittausvälineet ovat: PC, syöttöyksikkö, tehoanalysointilaite, dataloggeri, Ethernet kytkin, testattava laite johon on kiinnitetty ”lämpökarvat”, kuormitettava moottori ja generaattori sekä ohjaukseen vaadittavat kuidut ja kaapelit. Lisäksi PC:llä tulee olla asennettuna HTR-ohjelma.

Toiminnan kannalta on tärkeää seurata taajuusmuuttajaan menevää ja tulevaa tehoa, virtaa ja jännitettä. Lämpötilat tallennetaan dataloggerin avulla. Nämä kaikki tiedot siirtyvät kytkimen kautta HTR-ohjelmaan, josta ne voidaan kerätä kootusti tietokantaan. Kuormituskoneen tiedot otetaan talteen kuormakoneen omista mittauksista optisen kuidun kautta. Nämä tiedot ovat lähinnä valvontaa varten. Kuormitus koneena voidaan käyttää muutakin kuin moottoria ja generaattoria, vaikkapa kuristimia. Tarkoitus on kuitenkin saada testattava laite haluttuihin olosuhteisiin, jotta simulaatio olisi lähempänä todellisuutta. (6, s. 4.)

### 3.2 Käyttötarkoitus

Käyttötarkoitukset HTR-ohjelmalla ovat seuraavat: voidaan tehdä taajuusmuuttajille pitkiä ajoja ilman ihmisvalvontaa, ajaa vanhentuneita tai palautuneita laitteita, voidaan todistaa laitteiden todelliset käyttöiät, selvittää vikatilanteissa aiheutuvia lämpötilaeroja sekä selvittää laitteen toimintaa turvamekanismit ohitettuna.

HTR-ohjelmalla voidaan selvittää ainakin suurin osa asiakkailta palautuneista tuotteista, sillä se soveltuu monelle tuoteperheelle. Jotta ongelmat voidaan selvittää ilman valvontaa, pitää laitteiston olla eristetyssä tilassa. Tilan on oltava myös paloturvallinen, sillä ohjelmisto pystyy hoitamaan laitteessa tapahtuvat ongelmat itse, mutta palokuntaa se ei osaa hälyttää itsenäisesti.

### 3.3 Agilent datalogger

Agilent on HTR-ajossa käytettävä dataloggeri/ keräin, johon on kytketty termopareja. Kyseisiä pareja voidaan kytkeä 20-60 riippuen kohteen koosta ja haluttujen mittapisteiden määrästä. Termopareilla määritellään suoraan testipisteiden määrä lämpöajoja varten. Termopareina käytetään yleisesti platina/rodium paria, joka on stabiilimpi ja herkempi kuin esimerkiksi alumiini/nikkelipari. Termoparit sijoitetaan kokemuspohjaisen ja kehitysuunnittelun kannalta oleellisiin paikkoihin, kuten siltojen komponentteihin, ohjaukskortteihin ja kondensaattoreihin. Muita hyviä pisteitä ovat sisääntuloilma, virtakiskot ja teho-  
vastukset.

Kuvassa 12 oleva instrumentti toimii tavallisesti 230 V AC-syötöllä, joten sille ei tarvitse tehdä mitään omia syöttöjä. Kojeessa on tyypillisesti 20 kanavaa, joita voidaan lisätä tarpeen mukaan. Laite pystyy skannaamaan 250 kanavaa sekunnissa, joten se soveltuu erittäin hyvin automatisoituun mittaukseen. Laitteessa on hyvät liitäntämahdollisuudet ja niiden lisäksi se voi kerätä tietoja AC/DC jännitteestä tai virrasta sekä vastuksesta, taajuudesta ja jaksosta. Laitetta voidaan käyttää multiplexerinäkin, vaikka sen ensisijainen tarkoitus on toimia lämpötilojen kerääjänä, sillä yleensä testauksessa käytetään erillistä tehon, virran ja jännitteen mittausta. (7, s. 1.)



Kuva 12. Agilent 3472A (9)

Testissä käytettävät mallit ovat yleensä 34901A tai 34902A, joiden erona on ainoastaan kanavien määrä. 34901A:ssa on 20 ja 34902A:ssa on 16 kanavaa. Muuten niiden liitännät ja käyttökohteet ovat samanlaiset. Molempien rakenne on modulaarinen ja niissä on

tyypillisesti kolme moduulipaikkaa, joihin voidaan laittaa lisäkanavia tai muuta tarvittavaa. Laitteelle on myös olemassa oma ohjelmistonsa, josta voitaisiin saada kuvaajat. Niiden käyttö ei kuitenkaan ole niin tarpeellista, sillä samat kuvaajat saadaan sitten myöhemmin itse HTR-ohjelmasta muiden tietojen lisäksi kootusti.

Tiedot kulkevat PC:lle yleensä Ethernet-väylää pitkin tai sitten on mahdollista käyttää muita liitäntöjä, kuten USB-portteja. Tavallisesti kuitenkin USB-portti on varattuna HTR-ohjelmalle, joka on tällöin välittömässä yhteydessä testattavaan laitteeseen, joten sen käyttäminen samanaikaisesti on haastavaa. Jos käytettäisiin samaa porttia, niin ohjelmiston käyttöön tulisi viiveitä ja samalla kommunikointiongelmia. Siksi yleensä kaikki data kerätään Ethernet-väylää pitkin. (7, s. 1.)

### 3.4 Tehoanalysaattori

Tehojen, virtojen ja jännitteen mittaukseen käytetään yleensä tehoanalysaattoria, joka on kytkettyä syöttö- ja lähtöpuolelle. Analysaattori kommunikoi ainoastaan Ethernetin tai USB-liitännän kautta, minkä takia data kerätään Ethernet-väylää pitkin. Käytettävä tehoanalysaattori on Yokogawa WT3000 [kuva 13]. Se on nopea ja helppokäyttöinen tehoanalysaattori, joka pystyy tekemään tarkkoja mittauksia pienellä intervallilla. Kyseinen tehoanalysaattori soveltuu myös automaattiseen testaukseen ja suuriin tehomittauksiin. Analysaattorissa on ainoastaan 4-kanavaa, joten jokaista vaihetta ei voida analysoida erikseen käytön molemmin puolin. Yleensä riittää, että syöttöpuolelta katsotaan yhtä vaihetta ja lähtöpuolelta katsotaan jokaista vaihetta erikseen. Tämä koska syöttöpuolella on yleensä omat mittaukset ja näytöt, joista näkee kokonaisjännitteen, -virran ja -tehon.



Kuva 13. WT3000

Data kerätään Ethernet-väylää pitkin, josta se menee sitten PC:lle. Näitä tietoja halutaan kerätä lähinnä silloin, kun tapahtuu vikatilanteita tai laite on vanha. Normaalikäytössä nämä tiedot ovat vain valvontaa varten. (6, s. 7–14.)

### 3.5 ACS880

Kuvassa 14 on testattavalaite, joka voi olla myös joku muukin, kuten ACS800 jne. Tavallisesti se on ilmajäähdytteinen diodi- tai IGBT-syöttöinen kaapitettu taajuusmuuttaja, joka ohjaa yhtä tai montaa moottoria. Mallista riippuen, sillä voidaan ajaa montaa moottoria yhtä aikaa yksilöidysti tai vastaavasti kaikki moottorit ajetaan yhtenä mallina. Laitteesta on hyvä selvittää perustiedot, kuten nimellisjännite, -teho ja -virta, moduulien runkokoko ja mahdolliset lisäoptiot. Samalla kannattaa selvittää millaiset turva- ja ohjauspiirit laitteessa on, jotta ohjelmiston kanssa ei tulisi ongelmia. Tarvittaessa niitä voidaan joutua muuttamaan tai ohittamaan. Tämä voidaan tehdä siten, että muutetaan kytkentöjä tai vaihdetaan parametriarvoja, yleensä parametreja säätämällä pääsee helpommalla. Joskus voi olla, että yksinkertainen kytkennän ohitus on helpompi tehdä, mutta se on aina tarkastettava ja huomioitava turvallisuus.



Kuva 14. ACS880

Testin aikana käytetään kommunikointiin USB-porttia, jolloin voidaan PC:llä ohjata suoraan koko laitetta. Tärkeintä onkin, että parametriasettelut on tarkistettu ja asetettu oikein. Parametrit voidaan asettaa taajuusmuuttajan omalta ohjauspaneelilta, mutta yleensä tähän käytetään DriveComposer-ohjelmaa. Ohjelmassa näkyy suoraan mitä parametrimuutoksia on tehty ja on muutenkin käyttäjäystävällisempi. Näistä tärkeimmät ovat moottorintiedot (par.99), jotka voidaan laittaa manuaalisesti tai tekemällä identifiointi- eli ID-ajo. ID-ajoa käytettäessä täytyy moottorin pyöriä vapaasti ilman kuormaa. ID-ajon loputtua kannattaa tarkistaa ovatko arvot oikein. Toinen tarkistettava asia on syötettävä jännite (par.95.1), tämä on yleensä tehdasasetuksilla oikein asetettu. Kolmanneksi on hyvä varmistaa vielä kiihdytys- ja hidastusrampit (par.23.12-13), jolloin voidaan itse määrittellä ajettava ramppi. (8, s. 119-123, s. 213-214, s. 220-224.)

## 4 Ohjelmistot

Seuraavaksi esitellään käytettävät ohjelmat ja kerrotaan niistä yleisesti. Ohjelmien tarkoitus on tuottaa jokaiseen testiin turvalliset ja hallittavat olosuhteet. Samalla testejä voidaan tehdä ilman valvontaa ja näin ollen suorittaa pitkiäkin ajokasjoja. Osa ohjelmista on, yleisesti käytettyjä toimisto-ohjelma kuten Excel. HTR, on koko prosessin tärkein ohjelma, muut ohjelmat toimivat sen tukena.

### 4.1 HTR-ohjelma

HTR-ohjelma on PC-ohjelma, jolla voidaan tehdä lämpöajoja automatisoidusti. Samalla se pystyy keräämään dataa taajuusmuuttajalta, dataloggereilta, tehoanalysaattoreilta ja oskilloskoopeilta. Ohjelmalla voidaan määrittää uusia muuttujia ja parametreja, termoparien kanavat, tehoanalysaattorin- ja oskilloskoopinmittaukset sekä ajopisteet. Nämä kaikki täytyy tosin määrittää Excel-tiedostossa, joka ladataan ohjelmaan sisään.

Tämä toisaalta antaa myös helpomman käsittelyn, sekä mahdollistaa ajamisen monella eri tavalla yhdellä kertaa ja automatisoidusti. Voidaan esimerkiksi ajaa erilaisilla kuormatyypeillä, kuten syklisinä tai jatkuvina. Samaan voidaan myös vielä lisätä ali- tai ylijännitteellä ajaminen sekä ali- tai ylikuormittaminen

Tiedostojen tekemiseen ja lataamiseen täytyy tosin kiinnittää huomiota, sillä HTR-ohjelma ei pysty lukemaan tietoja oikein, jos desimaalierottimena käytetään pilkkua pisteen sijaan. Tämä voidaan kuitenkin helposti muuttaa asetuksista. Toinen huomioitava asia on IP-osoitteen vaihtaminen mittauslaitteille ja käytettävälle PC:lle. IP-osoitteen ja aliverkon on vastattava toisiaan, jotta mittalaitteet saavat yhteyden PC:lle IP-osoitteen kautta. Kolmanneksi ohjelmaa vaati ATF- lisenssin, joka on asennettava. Lisenssi vaatii tosin vielä konekohtaisen fingerprintin eli ”sormenjäljen”, joka täytyy luoda, jonka jälkeen se täytyy lisätä vain ympäristömuuttujiin. Tämän jälkeen lisenssi on asennettuna. Neljännä asiana katsotaan vain, että kerrotaan ohjelmalle mistä USB-portista löytyy mikäkin taajuusmuuttaja. (6, s. 5.)

Alkuasettelujen ja asetusten jälkeen ohjelma pystyy suorittamaan itsenäisesti testejä ilman valvontaa, kunhan vain kaikki raja-arvot on aseteltu oikein. Testipisteidenasetuksista ja muista asetuksista kerrotaan myöhemmin Excel osuudessa.

## 4.2 DriveComposer

DriveComposer on ohjelma, joka on tarkoitettu PC-työkaluksi erityisesti ACS880 -malleille. Käytännössä ohjelma on sama kuin taajuusmuuttajan paneeliohjaus, mutta se kykenee piirtämään kuvaajia ja tarkkailemaan tietoja. Täältä saadaan myös parametrien asetellut tehtyä helpommin. Ohjelma ei kuitenkaan pysty keräämään kaikkia tietoja laukeamis- tai vikatilanteessa. Ohjelman tiedot tulevat taajuusmuuttajan omilta antureilta. Jotta mittaustuloksista saadaan riippumattomia ja luotettavampia, niin käytetään ulkoisia mittalaitteita.

DriveComposerilla on myös helppo ja yksinkertainen tapa tarkistaa, että kommunikointi PC:n ja taajuusmuuttajan välillä toimii. Ohjelma hakee yhteyden heti alussa joko USB-liitännän, kuitulinkin tai Ethernetin kautta. Uusimmissa voi olla myös langaton Bluetooth



-yhteys. Yhteyden haku vie yleensä noin puoli minuuttia, jonka jälkeen pääsee käyttämään itse ohjelmaa.

Myös DriveComposer vaatii toimintaansa lisenssin, joka täytyy asentaa. Asentaminen on melko helppoa, sillä ohjelma kysyy asennuksen yhteydessä lisenssikoodin. Koodin voi myös tallentaa myöhemmin. Jos koodia ei käytä voidaan ohjelmaa käyttää ainakin rajoitetusti, sen sisään on ajettu demotaajuusmuuttaja, johon voi harjoitella ohjelman käyttöä. Tämä ei kuitenkaan riitä ammattikäyttöön, koska tarkoitus on tehdä säädöt ja ohjelmoinnit sekä parametrimuutokset oikeaan taajuusmuuttajaan. Täytyy kuitenkin vielä muistaa, että yleensä DriveComposeria ja HTR-ohjelmaa ei voida käyttää samaan aikaan, koska molemmat toimivat saman USB-portin kautta. Tämän takia kaikki ohjelmoinnit ja parametri muutokset ja tarkastukset on hyvä tehdä ennen kuin vaihtaa ohjelmaa.

#### 4.3 Excel

Excel-ohjelmaa käytetään lähinnä HTR-ajoissa ohjelmointiin ja ajojen määrittämiseen. Mahdollisesti voidaan käsitellä raakadataa ja piirtää kuvaajia, mutta se ei ole välttämätöntä. Excel-ohjelmalla luodaan HTR-ajoon kuormitustyyppit, lämpörajat, käytettävät testipisteet ajon aikana sekä testilaitteiden mittauspisteiden määrittämistä. Käytännössä tämä on vain arvojen asettelua ja konfigurointia, jonka jälkeen tiedot ladataan HTR-ohjelmaan ja testit aloitetaan. Periaatteessa tässä vaiheessa voidaan myös määrittää testiin tarvittavan valvomisen määrän, sillä jos raja-arvot on laitettu oikein ja koe on mahdollista tehdä eristetyssä tilassa, niin testi voidaan suorittaa pienellä tai olemattomalla valvomisella.

Esimerkki session luomisesta Excelillä löytyy alla olevasta taulukosta 1.

Taulukkoon määritetään:

- kuormatyyppi,
- steppi-vaihe,

- lämpötilantoleranssi,
- ajoaika,
- pyörimisnopeus,
- taajuus,
- vääntömomentti,
- virta,
- PID-säätö,
- PID-säädön momenttiohje,
- yhdenneistoista osiosta aina neljänteentoista osioon asti ovat valinnaisesti tai tarpeen mukaan täytettäviä.

Osiot sisältävät syklit, kaapin lämpötilan, dataloggerin kanavan ja sen vertailu lämpötilan. Näiden arvot ovat 0, jos niitä ei tarvita. Nopeuksia määrittäessä käytetään vain toista, riippuen ohjausmallista, eli sarakkeet F ja G.

Taulukko 1.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
# TestName	StepName	tempTolerance	tMaxMinutes	tWindowsMinutes	Speed	Freq	Torque	CurrentSetpoint	PIDMode	PIDTorqueStartValue	Cycles	CabinTemp	LoggerChannel	TJRef/LoggerTemp	97.01 fsw ref
Constant load	Speed sync	1	1	1	1500	20	0	0	0	0	0	0	0	0	
Constant load	Cool-down	1	10	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Constant load	Thermal model OP7	1	30	30	150	0	300	11	40	0	0	0	0	0	3000
Constant load	Cool-down	1	10	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Constant load	Thermal model OP8	1	30	30	1500	0	300	11	40	0	0	0	0	0	3000
Constant load	Speed sync	1	1	1	1500	20	0	0	0	0	0	0	0	0	
Constant load	Constant load	1	500	60	1500	0	315	11	50	0	0	0	0	0	
Constant load	Constant load	1	500	60	1500	0	350	11	60	0	0	0	0	0	

## 5 Testien suorittaminen

Luvussa käsitellään testien tekemistä. Tarkoituksena on kertoa yleisellä tasolla testien kulusta. Tarkoitus on antaa kuva testien tekemisestä sekä niiden tarpeellisuuksista. Testien tarkoitus on löytää mahdollisia vikoja tai vikatilanteita ja etsiä näiden aiheuttaja muuttamalla olosuhteita.

## 5.1 Esivalmistelut ja turvallisuus

Ennen ajon aloittamista täytyy suorittaa muutamia valmisteluja. HTR-ohjelmaan täytyy ladata Excel-tiedosto, jossa kaikki tarvittavat tiedot on määritelty. Ne ovat: Logged Drive Data, Logged WT3000 Data, Datalogger Channels ja Test Run Points. Kun jokainen osio on täytetty oikein, tarkistetaan vielä mittalaitteiden kytkennät ja yhteys tietokoneeseen. Tämän jälkeen voidaan avata HTR-ohjelma ja saattaa konfigurointi loppuun ja ladata testi-istunto. Tämän jälkeen avataan valvonta-ikkuna, josta nähdään kaikki tiedot ja kuvaajat. Tarkempi ohje ohjelman konfigurointiin ja testien tekemiseen löytyy liitteestä 1.

Yleisiä turvaohjeita noudattamalla vältetään tilanteita, joista voi joutua hengenvaaraan, fyysisiin vammoihin tai laitteistojen vaurioitumisiin. Ennen töiden aloittamista on perehdyttävä laitteiston turvaohjeisiin, käyttöohjeisiin ja manuaaleihin. Oikein käytettynä laitteet ovat turvallisia turvallisuusriskit ovat lähes olemattomat. Kaappien ovet pidetään suljettuna ajon aikana. Ajon jälkeen odotetaan noin 5 min, jolloin kondensaattorit ovat ehtineet purkautua. Tämä varmistetaan vielä yleismittarilla. Tarkastuksen kohteina ovat AC- ja DC-kiskot ja rungon väli, näiden välinen jännite on oltava lähellä nollaa. Asennus- ja kytkentämuutokset tehdään aina jännitteettömänä. Pitää myös varmistaa, ettei syöttöjä voida vahingossa laittaa takaisin päälle muutostöiden ollessa kesken. Syöttö voidaan kytkeä takaisin päälle, kun on varmistettu, että muutostyöt ovat tehtynä ja kaikki henkilöt ovat turvallisesti poissa kaapin luota. Lisäksi on vielä hyvä varmistaa seuraavia asioita; kuten suojauspiirien toiminta, ohjauspiirin ja ohjelmien toiminta sekä latauspiirin toiminta.

## 5.2 Perusajo

Perusajolla tarkoitetaan ajoa, joka toimii referenssinä muihin ajoihin nähden. Tässä tilanteessa suoritettavat ajot tehdään nimellisarvoilla ja olosuhteet pyritään jäljentämään mahdollisimman tarkasti normaaleiksi. Toisin sanoen olosuhteet ovat joko laitteelle tarkoitetut tai sitten asiakkaalla olevat. Kuormituksena käytetään jatkuvaa mallia eli konetta ajetaan normaaliin tapaan ja säädöt ovat vakiot. Tarkoitus on ajaa kuitenkin tarpeeksi pitkään, jotta lämpötilat tasaantuvat vakio arvoilleen ja lämpötilamuutokset ovat tällöin vähäisiä. Tämä ajomalli on syytä tehdä kunnolla ja tyypillisesti se kestää 2-3 tuntia.

Kun kyseinen ajo ollaan tehty ja data kerätty talteen, niin voidaan tehdä säätöjä ja muutoksia, jotta nähdään mitä vaikutuksia näillä on laitteistoon ja sen osiin. Tyypillisin muutos liittyy yleensä modulointiin, kuormitukseen tai jäähdytykseen. Toisin sanoen muutetaan esimerkiksi jäähdytyksen tehoa poistamalla tai lisäämällä puhaltimia. Moduloinnin muutoksella tarkoitetaan kytkentätaajuuden muuttamista. Kuormituksen muutoksella tarkoitetaan jatkuvan ja syklisen kuormituksen vaihtelua tai erilaisilla virta- tai nopeusarvoilla ajamista, lisäksi voidaan muuttaa PID-säätäjää. Tällä pyritään simuloimaan erilaisia tilanteita, joita voi tapahtua ajon aikana. Tarkoitus on kuitenkin simuloida tavallisimpia tilanteita ja tapahtumia.

### 5.3 Kuormitusajot

Kuormitusajoissa tehdään yleensä sellaisia ajoja, joissa kuormitustyyppi voi vaihdella ajon aikana tai ajetaan yli- tai alikuormituksella. Kuormitustyyppejä vaihdettaessa on kuitenkin muistettava, että laitteiston täytyy jäähtyä tarpeeksi, jotta vaikutukset näkyisivät paremmin.

Esimerkiksi voidaan ensin ajaa testilähtö, joka kestää noin 4 minuuttia. Tämän jälkeen laitteistoon laitetaan täydet kuormat päälle ja ajetaan sitä jatkuvana 30-60 minuutin ajan. Tämän jälkeen laitetta täytyy jäähdyttää noin 30 minuuttia, jonka jälkeen vaihdetaan kuormitus sykliseksi. Sykli voi olla tasainen tai epätasainen, riippuen täysin minkälaista kuormaa halutaan kuvata. Vastaavasti ulkoilman lämpötilaa voidaan nostaa, jolloin jäähdytys joutuu paljon kovempaan rasitukseen. Tällä rajoitetaan sen tehokkuutta ilman, että puhaltimia täytyisi poistaa käytöstä tai rajoittaa.

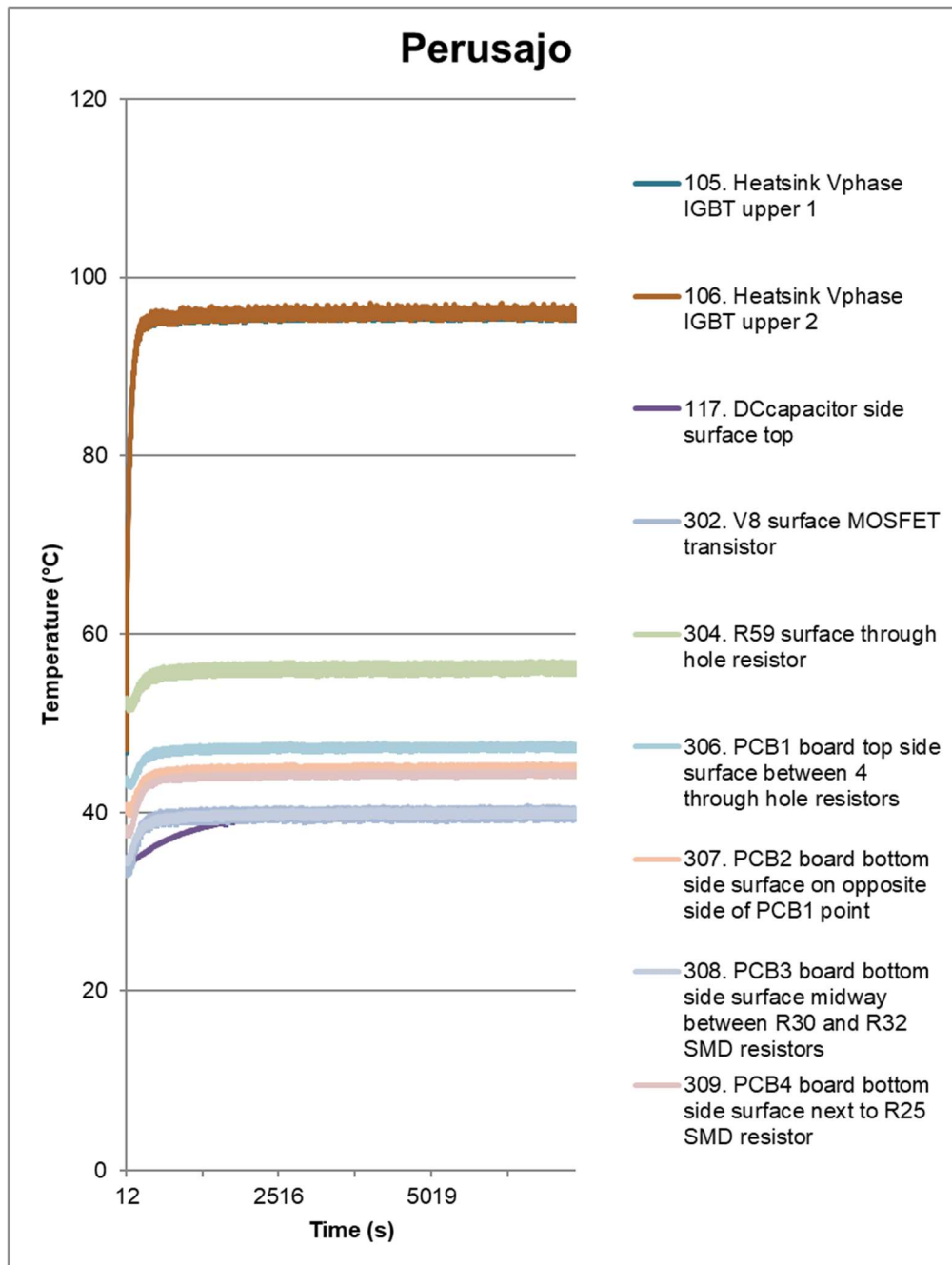
Ajojen tarkoitus on kuitenkin paljastaa, mitä taajuusmuuttajan sisällä tapahtuu lämmön kannalta ja mitä vaikutuksia sillä on erikomponenteissa ja kojeissa. Samalla pitäisi pystyä näkemään mitkä osat kuluvat herkemmin ja miten tätä voitaisiin välttää.

## 6 Tulokset ja niiden analysointi

Seuraavassa luvussa käsitellään HTR-ajossa ollutta ACS880:stä saatuja tuloksia. Kaikkia tuloksia ei avata tässä yksityiskohtaisesti, koska dataa on paljon ja kaikkia ajoja ei vielä ole tehty. Todellisuudessa testipisteitä oli 48, mutta niitä kaikkia ei tulla käsittelemään tulevaisuudessa. Käsittelyssä olevat komponentit ovat sillat, DC-kondensaattorit ja ohjauskortit. Testit tehtiin huoneenlämmössä, joka oli noin 22 °C.

### 6.1 Perusajo

Ensimmäinen ajo oli perusajo, joka kesti noin 2 tuntia. Nimellisarvoilla ajatussa ajossa lämpötilojen vaihtelut olivat normaaleja ja nousivat oletetulle tasolle. Kuumimmat pisteet olivatkin silloissa. Kuvassa 15 esitetään perusajon kuvaajat, josta nähdään lämpötilojen tasaisuus. Testituloksissa ei nyt kiinnitetty huomiota lämpökäyrien nousu-aikaan, sillä tarkoitus oli ajaa taajuusmuuttajaa tarpeeksi pitkään. Periaatteessa ajo oltaisiin voitu jättää vain tunnin mittaiseksi, mutta silloin referenssidataa olisi vähemmän ja tällä tavalla varmistettiin, että laite toimii oikein.



Kuva 15. Perusajo

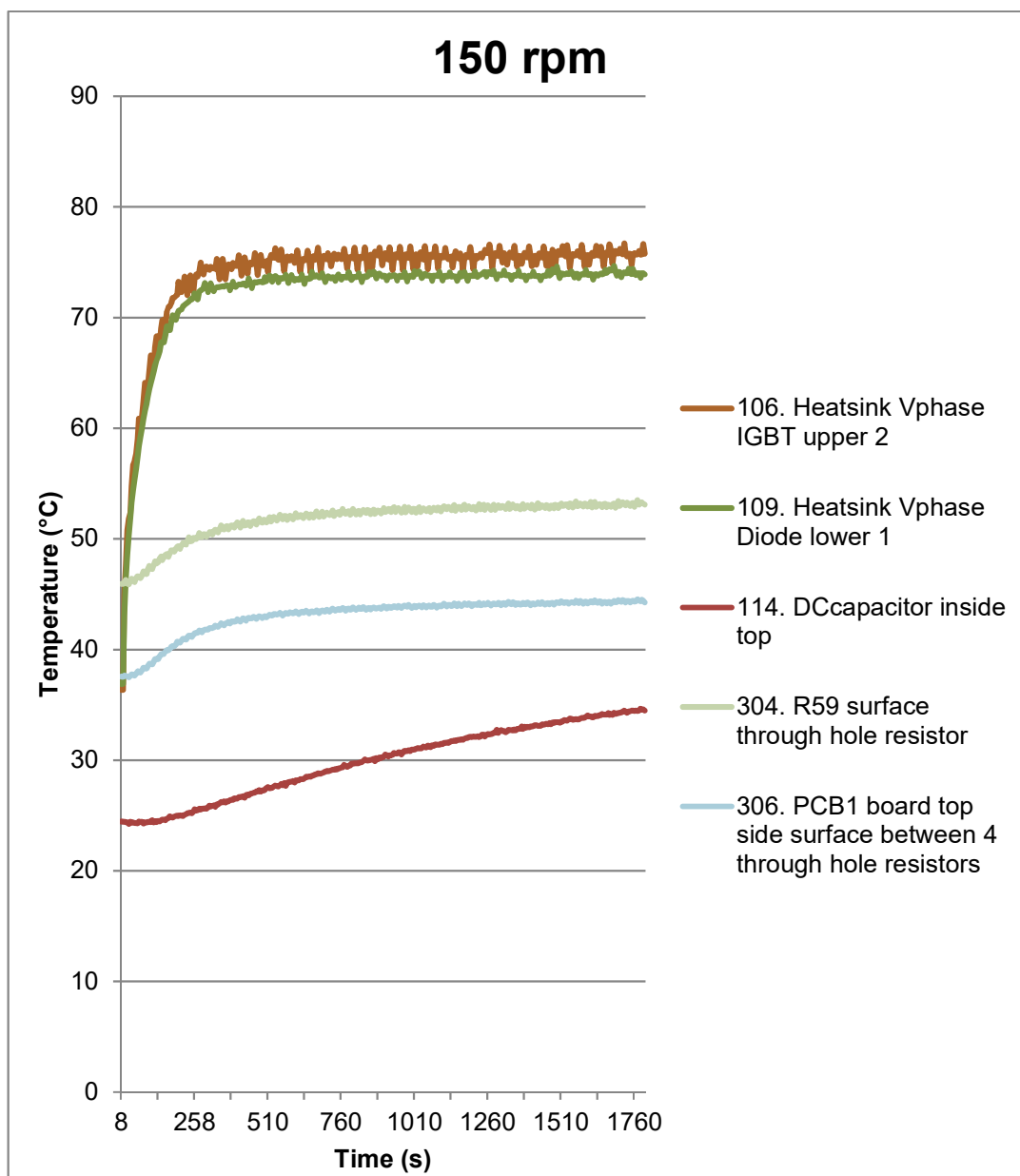
Vaiheiden U, V ja W IGBT-komponentit lämpötilat olivat keskimäärin 98-90 °C. Näihin lämpötiloihin päästiin noin 10 minuutissa, mutta lämpötilojen tasaantumiseen meni liki 30 minuuttia. Vastaavasti ohjaukorktien keskimääräiset lämpötilat jäivät alle 50 °C. DC-kondensaattorit pysyivät vieläkin alhaisemmalla tasolla, sillä niiden lämpötilat eivät nouseet 40 °C korkeammaksi. Mutta vaihtelua vastaavasti oli enemmänkin, sillä viilein piste oli vain 21 °C. Tämä vastaa lähes huoneenlämpötilaa, joten luultavasti termopari on vain

lähtenyt irti testipisteestään ja täten sen tulosta ei voida pitää oikeana. Sillä lähes samaan paikkaan meni vielä muitakin pareja, jotka näyttivät uskottavampia tuloksia.

## 6.2 Testiajo 1

Testiajo 1 tehtiin seuraavaan tapaan: aloitettiin lyhyellä synkronointiajolla, joka kesti vain 1 minuutin, jonka jälkeen laitetta jäähdytettiin 10 minuuttia. Laitetta jäähdytettiin luonnollisesti, eli pelkästään mittauslaitteet olivat päällä. Tämän jälkeen pyöritettiin moottoria hitaasti noin 150 rpm ja virtaa oli noin 85 % nimellisestä. Tapahtumaa ajettiin jatkuvana kuormana ja se kesti noin 30 min. Tämän jälkeen laitetta jäähdytettiin taas 10 minuuttia luonnollisella tavalla. Sen jälkeen moottoria pyöritettiin 1500 rpm nopeudella ja virta pidettiin samana. Jäähdytyksen aikana lämpötilat putosivat yleensä melko nopeasti alle 40°C, jonka jälkeen jäähtyminen hidastui. Ennen seuraavan testin aloitusta katsottiin, että komponenttien ja osien keskimääräiset lämpötilat olivat alle 40°C.

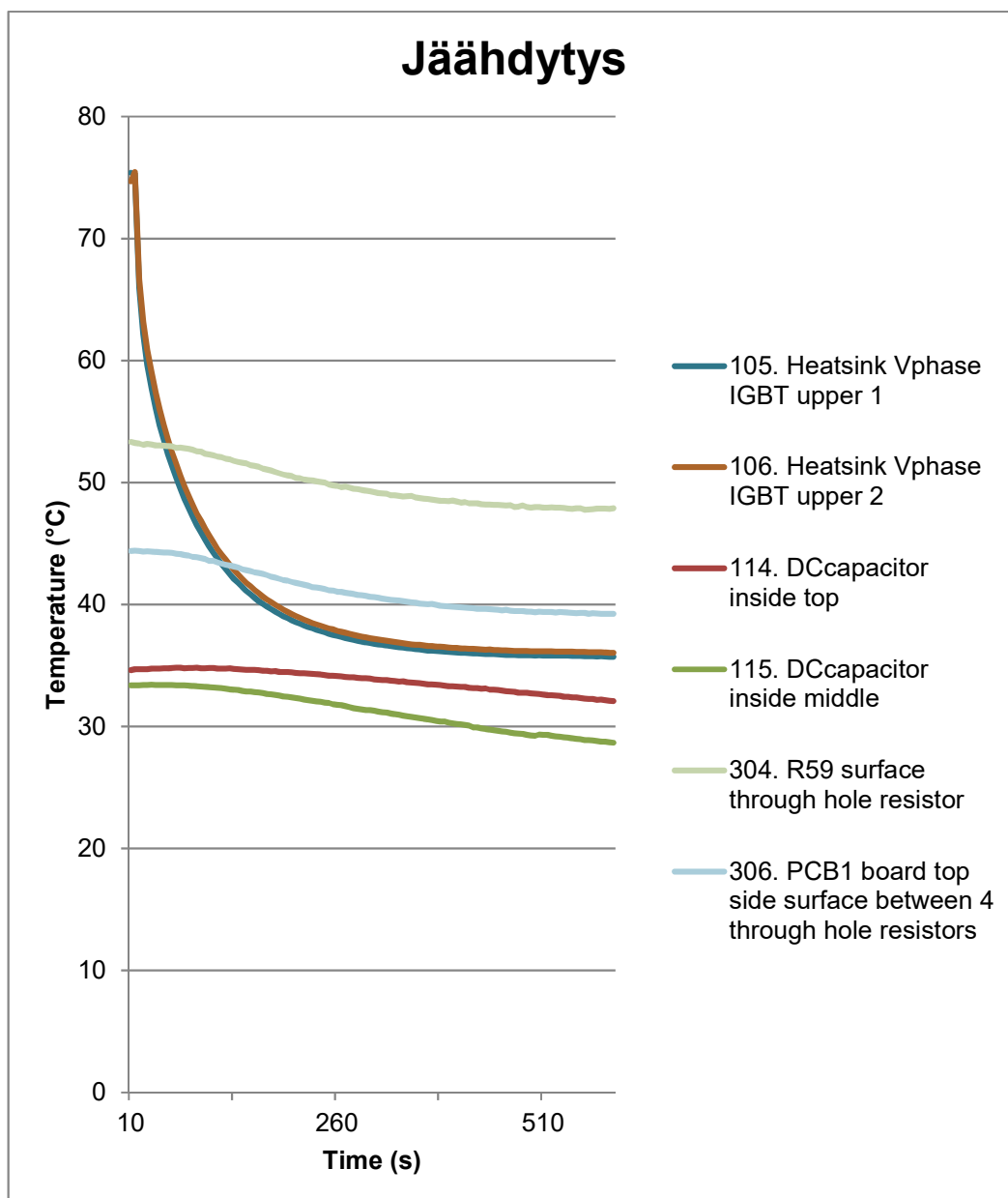
Kuvassa 16 on taajuusmuuttajan lämpötilat kuormakoneen pyöriessä 150 rpm. Tulokset näistä olivat seuraavat. Siltojen IGBT-komponentit olivat keskilämpöarvoiltaan 76-67°C eli tasaisuus on hieman laskenut, mutta lämpötilat ovat silti melko maltilliset. Ohjauskorkeilla keskimääräiset lämpötilat olivat 45-36°C. Täälläkin lämpötilat jäivät siis alhaisemmaksi kuin perusajossa. DC-kondensaattoreissa lämpötilan nousu jäi kuitenkin keskimäärin alle 35°C, joten niiden lämpötilat ovat varsin alhaisella tasolla.



Kuva 16. Testiajo 150 rpm

Testien välissä tehtiin 10 minuutin jäähdytys luonnollisella tavalla. Kuvan 17 kuvaajista näkyy selvästi, mitkä osat ovat fyysiseltä kooltaan pienempiä, koska jäähdytyskäyrät ovat jyrkkiä. Jäähdytyspisteeksi IGBT-komponenteille ja ohjauksorteille määritettiin 40 °C, jonka jälkeen seuraava testi voitiin viimeistään aloittaa.

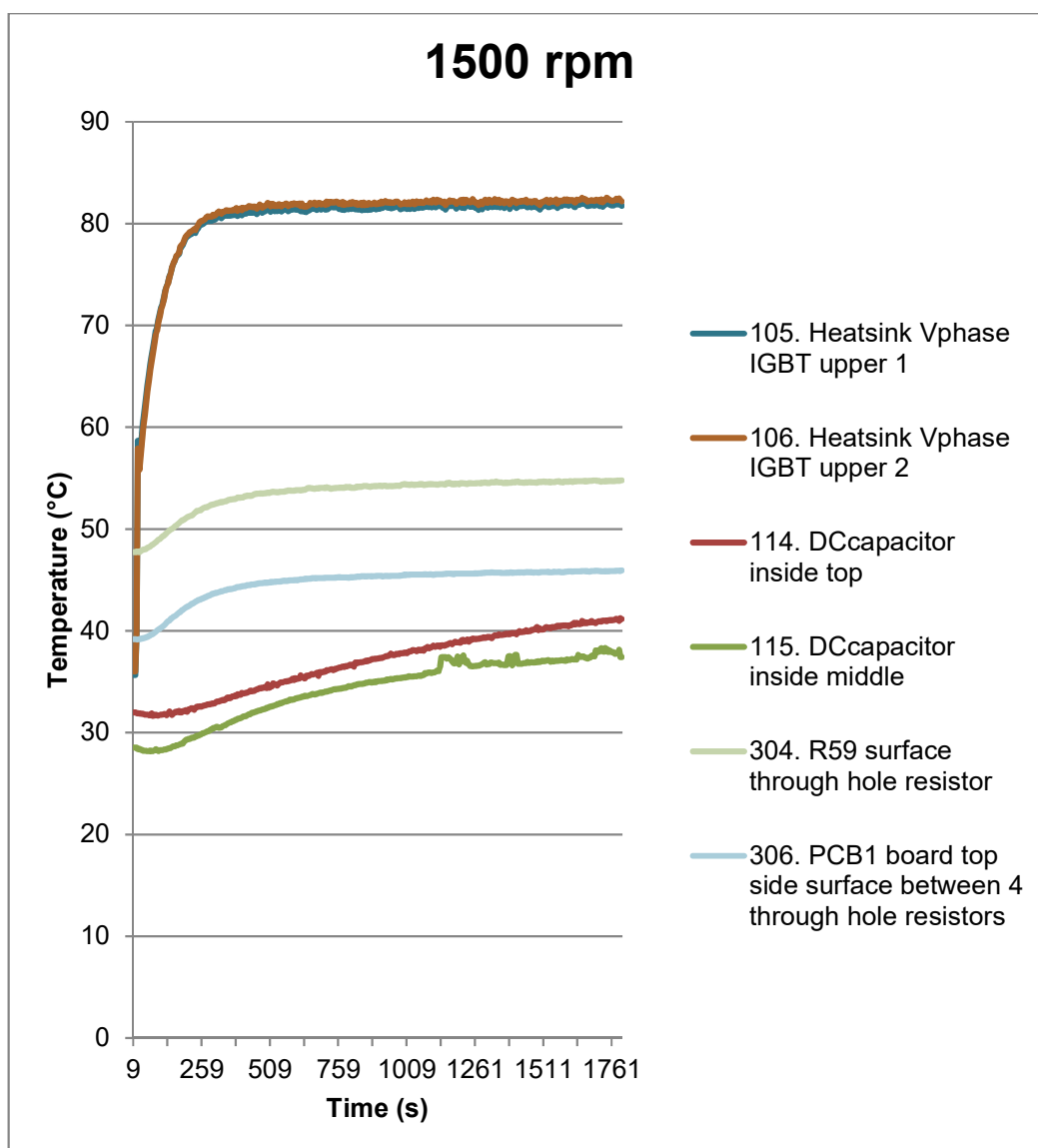




Kuva 17. Jäähdytys

Vastaavasti koneen pyöriessä 1500 rpm lämpötilat pysyttelivät samoilla lukemilla, vain pientä lämpötilan nousua oli havaittavissa. Silloissa nousua tapahtui keskimäärin 6 °C. Korttien lämpötiloissa ei juurikaan eroa ollut. DC-kondensaattoreissa nousua tapahtui

keskimäärin 5 °C. Vaikkakin lämpötilat nousivat vähän niin eivät ne kuitenkaan nousseet missään vaiheessa perusajon tasolle. Toinen havaittava asia näkyikin jo kuvaajasta. Liittyen DC-kondensaattoreiden lämpötiloihin, sillä ne eivät ole vielä täysin tasaantuneet. Puolen tunnin lisääjalla olisi voitu varmistaa, että niiden lämpötilan nousu pysähtyy 43 °C:een. Kuvan 18 kuvaajista kylläkin näkyy, että taittuminen on juuri alkamassa, joten testiajan säästämissyistä voitiin testi päättää tähän.



Kuva 18. Testiajo 1500 rpm

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyötä tehdessä oma osaaminen ja tuntemus laitteistoon on kehittynyt. Työtä tehdessä olen päässyt tutustumaan HTR-ohjelmaan ja ohjelmoinnin perusasioita on päässyt tekemään. Itse ohjelma näyttäisi olevan toimiva kokonaisuus, pieniä virheitä siinä kuitenkin vielä on. Ohjelmaa voitaisiin vielä kehittää enemmän käyttäjäystävällisemmäksi, mutta se on kuitenkin täysin toimiva, kunhan käyttäjä tietää mitä tekee.

Lopulliseen yhteenvetoon ja päätöksiin ei vielä olla päästy, sillä testit jatkuvat yhä. Tämän hetkinen tulostentarkastelu näyttää siltä, että laite toimii halutulla tavalla. Mutta jäähdytyksen toimintaa täytyisi pystyä parantamaan, jotta laitteita voitaisiin ajaa vieläkin korkeammassa ulkolämpötiloissa. Seuraavissa testeissä on tarkoitus keskittyä laitteiston iän määrittämiseen. HTR-ohjelman käyttö tulee lisääntymään sen ohjelmitavuuden takia. Tarkoitus on, että tämä ohjelma tulisi käyttöön laboratorion kaikkiin lämpöajopisteisiin.

Testituloksia voidaan pitää melko luotettavina ja tarkkoina. Tulokset olivat kuitenkin odotettuja ja laitteisto näyttäisi kestävän siihen kohdistetut rasitukset hyvin. Näiden pohjilta on hyvä jatkaa testejä.

## Lähteet

- 1 Hietalahti, Lauri. 2011. Tehoelektroniikan perusteet. Vantaa: Amk-Kustannus Oy.
- 2 Hietalahti, Lauri. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Vantaa: Amk-Kustannus Oy.
- 3 Niiranen, Jouko. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Yliopistokustannus/Otatieto.
- 4 Juha, Farin. 2009. Taajuusmuuttajien rakenne mitoitus ja säätö generaattorikäytössä. Espoo. raportti.
- 5 ABB Oy. 2015. Laiteopas.
- 6 Matias, Oikari. 2016. HTR käyttöohje. ABB Oy.
- 7 Product fact sheet. 2015. Verkkodokumentti. Keysight technologies. <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-8706EN.pdf?id=2231563>. Luettu 24.4.2017.
- 8 ABB Oy. 2012. Firmware manual ACS880 primary control.
- 9 ABB Oy. 2017. Valokuvat testilaitteista.