



## **VAIHTOSUUNTAAJAN KESTOTESTAUSLAITTEISTO**

**Opinnäytetyö**

**Janne Korpinen**

**Sähkötekniikan koulutusohjelma**  
Teollisuuden sähkö- ja automaatiotekniikka

Hyväksytty \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ \_\_\_\_\_

# SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO

Koulutusohjelma

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Janne Korpinen

Työn nimi

Vaihtosuuntaajan kestotestauslaitteisto

Työn laji

Opinnäytetyö

Päiväys

07.05.2010

Sivumäärä

46 + 8

Työn valvoja

Yliopettaja Vesa Vauhkonen

Yrityksen yhdyshenkilö

Dipl.ins. Janne Henttonen

Yritys

ABB Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli olla kehittämässä ja käyttöönottamassa vaihtosuuntaajan kestotestauslaitteistoa, jolla voidaan verifioida taajuusmuuttajan luotettavuutta kiihdytetyin testausmenetelmin. Työn tilaajana oli ABB Oy. Käyttöönoton tarkoituksena oli varmentaa testilaitteiston ja asennusten toimivuus ajamalla jokainen käyttö läpi niille suunnitelluilla testisekvensseillä.

Kestotestausjärjestelmässä kiihdytetyn testauksen menetelminä käytetään lämpötilaa ja ylikuormitusta. Testien avulla voidaan keinotekoisesti lyhentää laitteen elinikää, jolloin saadaan nopeasti tietoa testattavan laitteen todellisesta kestoikästä normaaleissa käyttöolosuhteissa. Kiihdytetyjä testauksia voidaan suorittaa tuotekehityksessä oleville laitteille ja jo tuotannossa oleville laitteille.

Työn tuloksena kestotestilaitteisto saatiin käyttöönotettua. Käyttöönotosta saatujen kokemusten pohjalta päätettiin järjestelmään tehtävistä parannuksista.

Avainsanat

kiihdytetty testaus, HALT, HASS, taajuusmuuttaja

Luottamuksellisuus

julkinen

# SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme

Electrical Engineering

Author

Janne Korpinen

Title of Project

Inverter Test Equipment

Type of Project

Final Project

Date

7 May 2010

Pages

46 + 8

Academic Supervisor

Mr Vesa Vauhkonen, Principal Lecturer

Company Supervisor

Mr Janne Henttonen, M.Sc.

Company

ABB Oy

Abstract

The aim of this thesis was to develop and initialize inverter test equipment which can verify the frequency converter reliability of accelerated testing methods. The project was commissioned by ABB Oy. The aim of initialization was to make sure that the test equipment and the installation are operational by trying each drive with a specially designed test sequence.

On testing the equipment temperature and overload were used as methods of accelerated testing. With these tests the life-span of the device can be artificially shortened so that the data of the life-span in normal conditions can be obtained sooner. Accelerated testing can be done for prototypes or for devices already being produced.

As a result of this thesis, the test equipment was initialized. Based on the information that was gained from the initialization, the company decided to start making system improvements.

Keywords

Accelerated testing, HALT, HASS, frequency converter

Confidentiality

public

## ALKUSANAT

Tätä opinnäytetyötä tehtiin ABB:lle talven ja kevään 2010 aikana.

Erityiset kiitokseni haluan osoittaa Savonia-ammattikorkeakoulun puolelta työn valvojana toimineelle yliopettaja Vesa Vauhkoselle ja ABB:n puolelta työn valvojana toimineelle dipl.ins. Janne Henttoselle heidän työtäni kohtaan osoittamasta mielenkiinnosta. Lisäksi opinnäytetyön aiheesta kiitän ABB:n dipl.ins. Mikko Korpista. Kiitokset myös kaikille muille, jotka ovat auttaneet minua tämän työn eri vaiheissa.

Erityiset kiitokset kuuluvat myös Tuomakselle ja Minnalle, jotka majoittivat minut Helsingissä ja näin mahdollistivat opinnäytetyön tekemisen ABB:n tiloissa.

Kiitän myös perhettäni tuesta ja kärsivällisyydestä.

Tämän opinnäytetyön tekemiseen on saatu apuraha Itä-Suomen korkean teknologian säätiön Savonia-ammattikorkeakoulun tekniikan Kuopion koulutusyksikön erikoisrahastosta. Apuraha on maksettu ABB:lta lahjoituksena saaduista varoista.

Kuopiossa 07.05.2010

Janne Korpinen

## SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>7</b>
<b>2 TAAJUUSMUUTTAJA</b> .....	<b>8</b>
2.1 PÄÄPIIRI .....	8
2.2 VAIHTOSUUNTAAJAN TOIMINTAPERIAATE .....	9
2.3 SINI-KOLMIOVERTAAJA .....	10
2.4 VERKKOVAIHTOSUUNTAAJA .....	10
<b>3 KIIHDYTETTY TESTAUS</b> .....	<b>12</b>
3.1 HALT-TESTAUSMENETELMÄ .....	13
3.1.2 HALT-testit .....	13
3.1.3 HALT-testauksen hyödyt .....	15
3.2 HASS-TESTAUSMENETELMÄ .....	15
3.2.1 HASS-testit .....	16
3.2.2 HASS-testauksen hyödyt .....	16
3.3 MENETELMIÄ HALT- JA HASS-TESTAUKSEEN .....	16
3.3.1 Lämpösyklus .....	16
3.3.2 Tehosyklus .....	17
<b>4 KOMPONENTTIEN VIKAANTUMIS- JA VANHENEMISILMIÖT</b> .....	<b>18</b>
4.1 YMPÄRISTÖTEKIJÖISTÄ JOHTUVAT VIKAANTUMISET .....	18
4.1.1 Lämpötila .....	18
4.1.1.1 Lämpötilanmuutokset.....	19
4.1.1.2 Lämpölaajeneminen.....	20
4.1.2 Korroosio ja kosteus.....	20
4.1.2.1 Galvaaninen eli kontaktikorroosio .....	22
4.1.2.2 Jännityskorroosio .....	23
4.2 SÄHKÖISET VIKAANTUMISET .....	23
<b>5 JÄRJESTELMÄN KUVAUS</b> .....	<b>24</b>
5.1 ABB LABSOL-TESTAUSOHJELMA .....	24
5.1.1 Testausprosessi.....	24
5.1.2 Testausohjelmassa käytettävät komennot.....	26
5.2 TESTAUSJÄRJESTELMÄ .....	27
5.2.1 Valvomo.....	27
5.2.2 Testitietokoneet.....	28

5.2.2 Testikammiot .....	30
5.2.3 Testattavat laitteet .....	31
5.2.4 Oikosulkumoottorit .....	31
5.2.5 Verkkoonjarrutus .....	33
5.2.6 I/O-paneelit .....	33
5.2.6.1 ADAM-4520: RS232/RS485-muunnin .....	34
5.2.6.2 ADAM-4021 D/A -muunnin .....	34
5.2.6.3. WESTERMO MD-52 .....	35
5.2.6.4 Weidmuller was4 pro dc/dc: Konfiguroitava 3-tie dc/dc-muunnin .....	35
<b>6 TESTIT .....</b>	<b>36</b>
6.1 KIIHDYTETYN TESTIN MUISTILISTA .....	36
6.2 KÄYTTÖNOTTO .....	37
6.3 AJOSYKLIT .....	37
6.4 MITTAUSTULOKSET .....	38
6.4.1 Tehosyklaus syklillä 9/1 .....	38
6.4.2 9/1-sykli + 20 minuutin tauko .....	38
<b>7 JÄRJESTELMÄPÄIVITYKSET .....</b>	<b>40</b>
7.1 HARDWARE-PÄIVITYKSET .....	40
7.2 SOFTWARE-PÄIVITYKSET .....	40
<b>8 KEHITYSEHDOTUKSET .....</b>	<b>41</b>
8.1 VALVOMO .....	41
8.2 REAALIAIKAISET MITTAUSTULOKSET .....	41
8.3 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY .....	41
8.4 JÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN ABB:N TIETOLIIKENNEVERKKOON .....	42
8.5 I/O-PANEELEIDEN HYÖDYNTÄMINEN .....	42
<b>9 YHTEENVETO .....</b>	<b>43</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>44</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>47</b>
Liite A: Testisekvenssi syklillä 9/1 (A4)	
Liite B: Järjestelmän pääkaavio (A3)	
Liite C: I/O-paneelin johdotuskaaviot (A4)	

## 1 JOHDANTO

Kiihdytetty testaus on tärkeä osa nykypäivän tehoelektronikkalaitteiden laadun varmistuksessa. Tässä työssä esitellään ABB:lle toimitettua kestotestauslaitteistoa ja sen toimintaa sekä käyttötarkoitusta. Laitteistolla voidaan suorittaa vaihtosuuntaajan laadunvarmistusta kiihdytetyillä testausmenetelmillä.

Aluksi työssä esitellään lyhyesti taajuusmuuttajan toimintaa yleisellä tasolla. Tämän jälkeen tarkastellaan kiihdytetyn testauksen teoriaa ja siinä käytettäviä HALT- ja HASS-menetelmiä. Menetelmiä apuna käyttäen voidaan keinotekoisesti lyhentää testattavan laitteen käyttöikää altistamalla se erilaisille käyttöympäristötilanteille.

Komponenttien laadun vaihtelu ja vääristä käyttöolosuhteista johtuvat lämpörasitus, kosteus ja korrosio ovat lähes aina syyllisinä vaihtosuuntaajan vikaantumiseen. Näitä ilmiöitä on tarkasteltu komponenttien vikaantumis- ja vanhenemisilmiöt luvussa.

Järjestelmän kuvaus luvussa esitellään testauskokoontamiseen liittyvät komponentit sekä käytettävä testiohjelmisto. Testausjärjestelmän käyttöönotto kuului opinnäytetyön käytännön osuuteen.

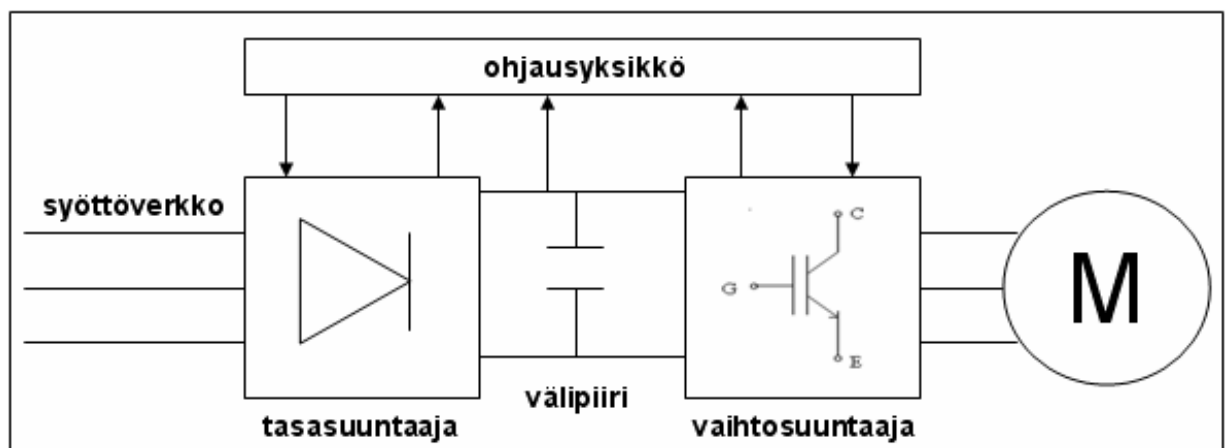
Työn loppuosassa käsitellään järjestelmään haluttuja muutoksia sekä pohditaan parannusehdotuksia laitteiston käytettävyyden helpottamiseksi.

## 2 TAAJUUSMUUTTAJA

Taajuusmuuttaja on tehoelektroniikkalaite, jolla voidaan muokata kiinteätaajuisesta ja -amplitudisesta vaihtosähköverkosta moottorille haluttu jännite ja taajuus. Tämän ansiosta vaihtosähkömoottorin pyörimisnopeutta sekä vääntömomenttia voidaan ohjata tarkasti ja portaattomasti. Tyypillisin nykypäivän taajuusmuuttajatyyppe on tasajännitevälipiirillinen pulssinleveysmodulaatiolla (PWM, Pulse Width Modulation) toimiva muuttaja.

### 2.1 Pääpiiri

Jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan pääpiiri (kuvassa 2.1) koostuu tasasuuntausyksiköstä, välipiiristä, vaihtosuuntausyksiköstä sekä ohjausyksiköstä. Pääpiirin ensimmäisenä osana verkon puolella on tasasuuntaaja, joka koostuu yksi- tai kolmivaiheisesta diodisillasta. Tasasuuntaajan tehtävänä on tasasuunnata sähköverkon vaihtojännite välipiiriin tasajännitteeksi. Välipiiri toimii energiavarastona ja samalla se suodattaa tasasuuntaajan tuottaman sykkivän tasajännitteen. Kuuden kytkimen vaihtosuuntaussillasta koostuvan vaihtosuuntaajan tehtävänä on muodostaa välipiirin tasasähköstä halutun taajuista vaihtosähköä. Ohjeet taajuudelle ja jännitteille saadaan koko moottorikäytön ohjausyksiköltä.



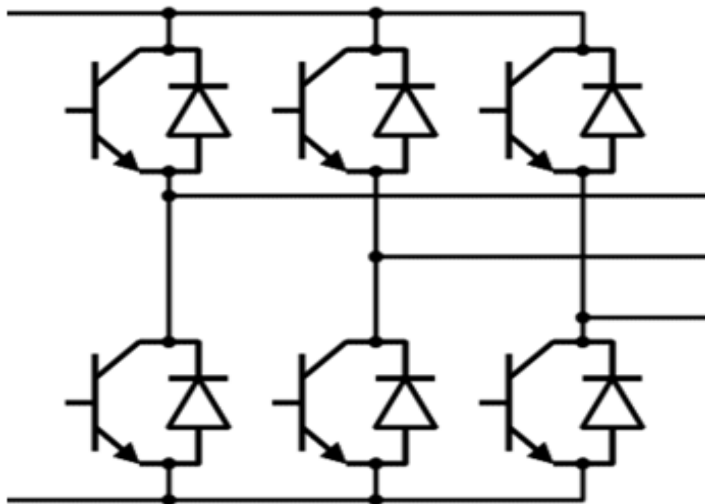
Kuva 2.1. Jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan pääpiiri.

## 2.2 Vaihtosuuntaajan toimintaperiaate

Vaihtosuuntaaja (kuvassa 2.2) koostuu kuudesta puolijohdekytkimestä ja vastarinnan kytketyistä nolladiodeista. Vaihtosuuntaajan ulostuloihin liittyy siis kaksi transistorinolladiodiparia, joista kukin muodostaa jokaiselle vaiheelle oman vaihtokytkimensä.

Lähdön vaiheet voidaan kytkeä joko välipiirin positiiviseen tai negatiiviseen potentiaaliin. Kytkimistä toisen haaran kytkin on johtavassa tilassa ja toisen haaran kytkin sulkuutilassa. Lähtöjännitteet muodostuvat lyhyistä tasajännitepulsseista. Pulssien leveydet valitaan siten, että lähtöjännitteen taajuus ja amplitudi ovat halutun mukaisia. Tämä toteutetaan käytännössä pulssinleveysmoduloinnin avulla.

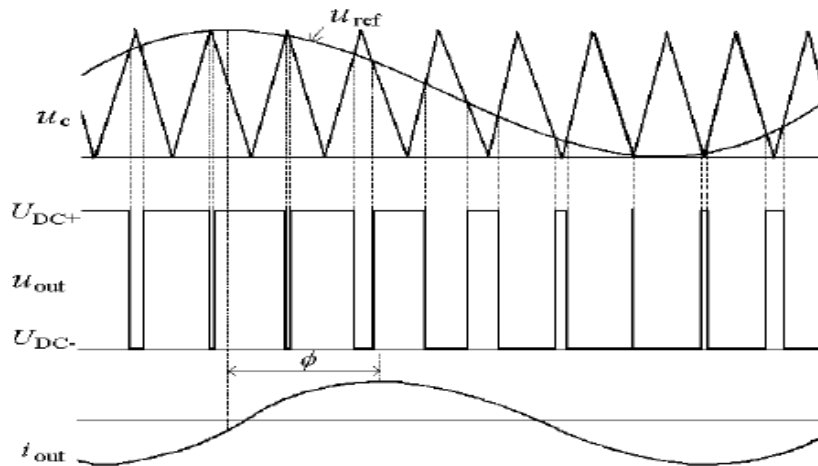
Modulaattorin toiminta perustuu siihen, että se saa moottorin ohjaukselta jännite- ja taajuusohjeet. Näiden perusteella modulaattori muodostaa halutun taajuista lähtöjännitettä ohjaamalla puolijohdekytkimien asentoja.



Kuva 2.2. Vaihtosuuntaajan rakenne.

### 2.3 Sini-kolmiovertaaja

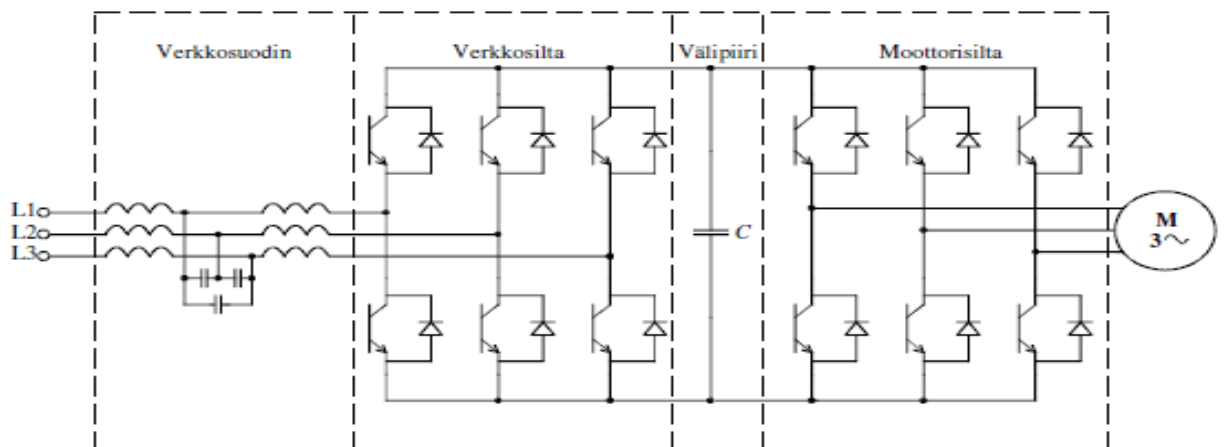
Yleisin tapa toteuttaa puolijohdekytkimien ohjaus on sini-kolmiovertaaja. Menetelmässä verrataan jänniteohjetta  $U_{ref}$  ja kolmioaaltoa  $U_c$  toisiinsa. Vertailun tuloksena saadaan pulssimainen ohjausjännite, jota noudattaen lähtöjännite  $U_{out}$  vaihtelee välipiirin jännitteiden  $U_{dc-}$  ja  $U_{dc+}$  välillä. Kuvassa 2.3 on esitetty sini-kolmiovertaajan toiminta yhden vaiheen kohdalta.



Kuva 2.3. Sini-kolmiovertaaja yhden vaiheen kohdalta.

### 2.4 Verkkovaihtosuuntaaja

Moottorin toimiessa generaattorina energian suunta on moottorista verkkoon päin. Verkkoonjarrutus vaatii taajuusmuuttajalta LCL-suotimen sekä aktiivisen verkkosillan, joka on käytännössä IGBT-silta. /19/ Kuvassa 2.4 on esitetty aktiivisella verkkosillalla varustetun taajuusmuuttajan pääpiiri.



Kuva 2.4. Aktiivisella verkkosillalla ja LCL-suotimella varustetun taajuusmuuttajan pääpiiri.

IGBT-pohjaisella verkkoonjarrutusyksiköllä on kolme säätötavoitetta. Ensimmäisenä tavoitteena on pitää välipiirin jännite vakaana. Toisena tavoitteena on minimoida tarvittava syöttövirta eli pitää  $\cos\phi$  arvossa 1. Verkkosuuntaaja voi toimia myös kapasitiivisena tai induktiivisena kuormana. Säädon kolmantena tavoitteena on minimoida syöttövirran yli-aaltosisältö. /19/

### 3 KIIHDYTETTY TESTAUS

Elektroniikkalaitteet altistuvat käyttökänsä aikana monille eri ympäristörasitukselle, kuten lämpötilan vaihteluille, korrosioiville aineille, värinälle, termiselle ikääntymiselle, kosteudelle ja mekaanisille iskuille. Koska tuotteen käyttöikä voi olla huomattavan paljon pitempi suhteessa sen suunnittelussa käytettävään aikaan, tarvitaan luotettavuuden selvittämiseen kiihdytettyjä testausmenetelmiä. /1/

Kiihdytettyllä testauksella tarkoitetaan laitteen eliniän keinotekoisista lyhentämistä tai sen suorituskyvyn alentamista. Testauksen tarkoituksena on saada nopeasti tietoa laitteen eliniästä ja toimintakyvystä. Kiihdytetty testaus perustuu yleensä testattavan laitteiston ylikuormittamiseen. Laitteeseen yritetään saada aikaan vikatyyppejä, jotka tapahtuu todennäköisesti normaalin käytön aikana. /1/

Testausien tavoitteena on saada tuloksia, jotka oikein analysoituna auttavat tuotteen laadunvarmistuksessa. Samalla pyritään havaitsemaan jo tuotekehitysvaiheessa laitteessa esiintyvät komponenttien laadunvaihtelut. Lisäksi testeillä saadaan informaatiota myös vian syntyapaikasta sekä sen aiheuttajasta. /1/

Kiihdytettyllä testauksella voidaan siis nopeasti simuloida tuotekehitysvaiheessa olevaa laitteistoa sekä varmistaa jo tuotannossa olevien laitteiden luotettavuus. Taulukossa 3.1 on esitetty testityyppejä erilaisten ongelmien ratkaisemiseksi.

Taulukko 3.1. Testit erityyppisten ongelmien ratkaisemiseksi.

Ongelma	Testi ongelman ratkaisuun
lyhyt elinikä, komponentin epäluotettavuus	lämpötilatestaus
korrosio, johtuminen, komponentin epäluotettavuus	kosteustestaus
epäluotettava mekaaninen rakenne, liitos tai materiaali	värähtelytestaus
ei varmuutta komponenttien sähköisestä kestävydestä, komponentin epäluotettavuus	sähköiset testaukset
Simuloidaan asiakkaan käyttöä, komponentin epäluotettavuus	yhdistetyt testaukset

Kuten taulukosta 3.1 käy ilmi, tyypillisiä kiihdytetyssä testauksessa käytettäviä menetelmiä ovat

- korkeat sekä matalat lämpötilat
- suuri lämpötilan muutosnopeus
- värähtelytestaus, jota sovelletaan laajalla taajuusalueella
- sähköinen kuormitus suurella lähtövirralla
- kosteustestit
- eri kuormitustapojen yhdistäminen. /6/

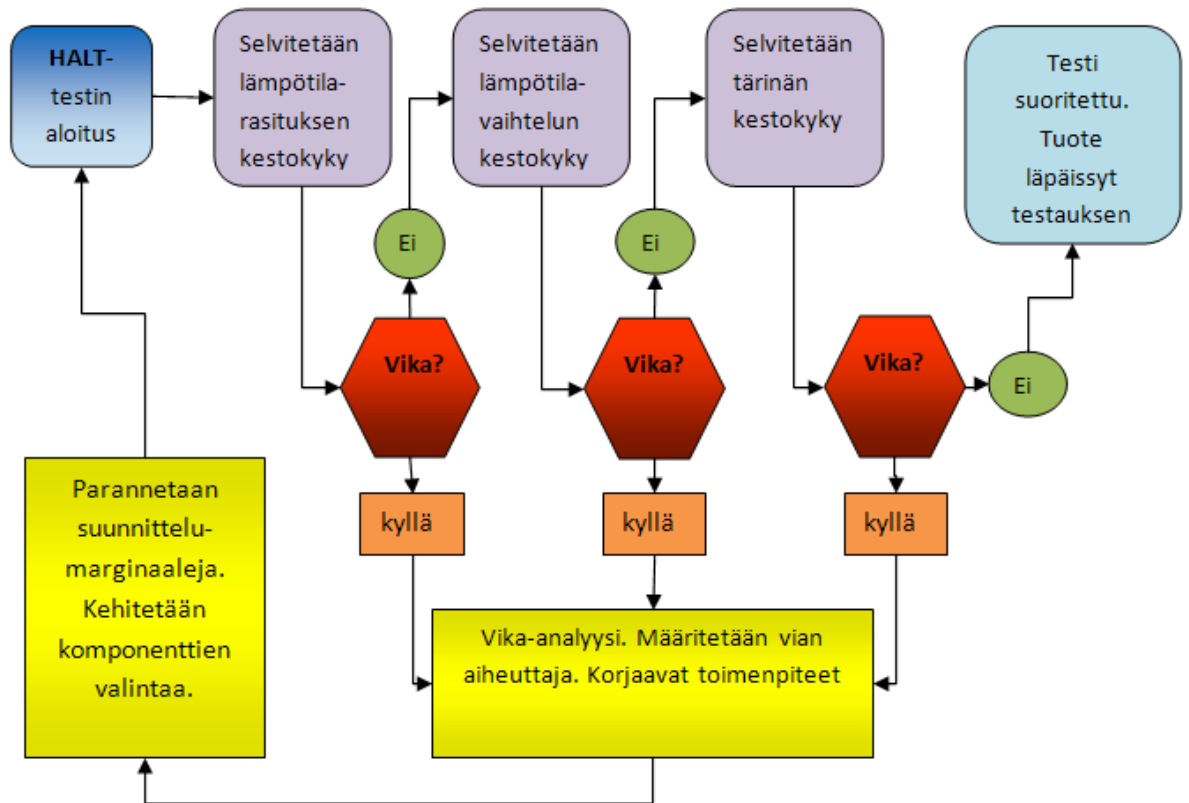
Kiihdytetyssä testauksessa yleisesti käytettäviä menetelmiä ovat HALT- ja HASS- menetelmät. Lyhyesti voisi sanoa, että HALT on tuotteen kehityksen aikana käytettävä työkalu ja HASS on valmiin tuotteen seulontatyökalu. /14/ Menetelmiä esitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

### 3.1 HALT-testausmenetelmä

HALT-testausmenetelmä (Highly Accelerated Life Test) tarkoittaa testattavan laitteiston korkeasti kiihdytettyä elinikätestausta. Vaikka HALT-menetelmän nimi viittaa elinikään, sillä ei pystytä suoranaisesti määrittämään laitteen lopullista kenttäelinikää. Menetelmällä pyritään parantamaan tuotteen laatua paljastamalla jo tuotekehitysvaiheessa suunnitteluvirheet sekä vialliset komponentit. /1/

#### 3.1.2 HALT-testit

HALT-testausmenetelmä perustuu laitteen askelmaiseen ylikuormittamiseen, jolloin saadaan paljastettua tuotteessa mahdollisesti olevat heikot kohdat. Yleisimmät kuormittavat tekijät, joita HALT-testauksessa varioidaan, ovat kosteus, värinä, jännite, lämpötila ja lämpötilanmuutos. /1/ HALT-testauksen eteneminen on esitetty lohkokaaviomallina kuvassa 3.1.



Kuva 3.1. HALT-testauksen eteneminen lohkokaaviomallina esitettynä. /4/

Toisin kuin perinteisessä testauksessa HALT-testauksessa pyritään ylittämään komponenteille annetut yläraja-arvot jopa niin reilusti, että laite tuhoutuu. Laitteen tuhoutuessa saadaan arvokasta tietoa heikoista komponenteista, jolloin tuotekehityksessä tiedetään, mitä tulisi parantaa laitteen laadun kohentamiseksi. /2/

HALT-testaus aloitetaan määrittämällä laitteen toiminta- ja hajoamisrajat. Toimintarajalla tarkoitetaan sitä kuormituksen raja-arvoa, jolla laite lakkaa toimimasta muttei kuitenkaan hajoa käyttökeltottomaksi. Hajoamisrajalla tarkoitetaan sitä kuormituksen raja-arvoa, jolla laite hajoaa niin, ettei sitä voida korjata ilman uusia komponentteja. Raja-arvot haetaan tekemällä askelmaisia kuormituksen korotuksia, kunnes laite lopettaa toimintansa tai tuhoutuu lopullisesti. Tieto toiminta- ja hajoamisrajoista auttaa suunnittelijoita komponenttien toimintamarginaalien määrittämisessä. /1/

### 3.1.3 HALT-testauksen hyödyt

- tuotteessa esiintyvät puutteet ja virheet voidaan korjata jo suunnitteluvaiheessa
- testeillä saavutetaan lyhyemmät suunnittelusykliä, josta seuraa, että suunnittelukustannukset pienenevät ja tuote pääsee nopeammin markkinoille
- tuotteen luotettavuus paranee, josta seuraa vähemmän vikoja kentällä ja pienemmät takuukulut
- testit mahdollistavat tuotteen laatuvaatimusten ja standardien määrittämisen. /5/

### 3.2 HASS-testausmenetelmä

HASS-testausmenetelmä (Highly Accelerated Stress Screen) on tarkoitettu valmiin tuotteen laadun takaamiseksi. HASS-testausmenetelmä (kuvassa 3.2) perustuu melko pitkälti HALT-testausmenetelmään, mutta siinä käytettävät kuormitukset ovat huomattavasti alhaisempia kuin HALT-järjestelmässä. HASS-menetelmän tavoitteena ei ole tuotteen tuhoaminen, kuten HALT-menetelmässä, vaan tavoitteena on pikemminkin varmistaa, että tuotantoyksiköt ovat jatkaneet toimintaansa asianmukaisesti. Tämä varmistetaan kohdistamalla tuotteeseen askelmaisia kuormituksia. HASS-testit suoritetaan aina HALT-testauksen jälkeen. /2/



Kuva 3.2. Lohkokaaviomalli HALT-testauksesta HASS-testaukseen. /4/

### 3.2.1 HASS-testit

HASS-testauksessa käytettävien kuormitusten raja-arvot perustuvat ammattitaitoisiin tul-  
kintoihin HALT-testauksen parametreista. Testaukset pyritään suorittamaan HALT-  
testeistä saatavien toiminta- ja hajoamisrajojen välillä. /2/ HASS-testit tehdään siis samoil-  
la menetelmillä kuten HALT-testit, mutta huomattavasti pienemmillä kuormilla.

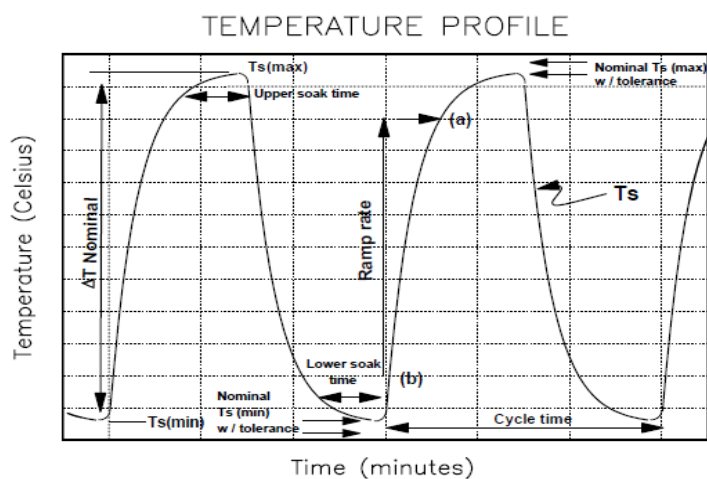
### 3.2.2 HASS-testauksen hyödyt

- testit ovat yleensä halvempia, nopeampia ja tehokkaampia kuin perinteinen hy-  
väksyty / hylätty testaus
- testeillä pystytään seuraamaan massatuotannon laatua
- testeillä voidaan seurata alihankkijoilta saatujen komponenttien laatua
- testeillä voidaan vähentää epäonnistumisia markkinoilla sekä säästää korjauskus-  
tannuksissa
- testitulokset voidaan tallentaa tietokantoihin ja niitä voidaan käyttää vertailukoh-  
tina tulevissa laitetestauksissa. Näin säästetään aikaa ja rahaa./5/

## 3.3 Menetelmiä HALT- ja HASS-testaukseen

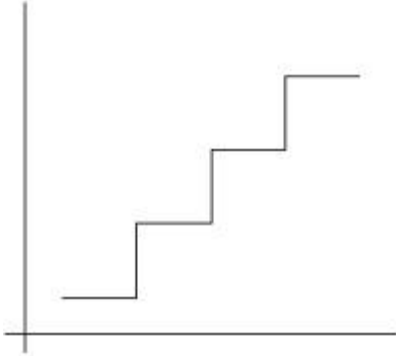
### 3.3.1 Lämpösyklus

Lämpösyklusella tarkoitetaan passiivista lämpötilan vaihtelua, joka on seurausta ympä-  
ristöolosuhteiden muutoksista. Lämpösyklusella pystytään määrittämään laitteen kom-  
ponenttien korkean tai matalan lämpötilan kestävyys. Testattavan laitteen ympäristön  
lämpötilaa muutetaan joko lämmittämällä tai jäädyttämällä sitä kammiassa. /16/ Kuvasta  
3.3 selviää lämpösyklusuksen periaate.

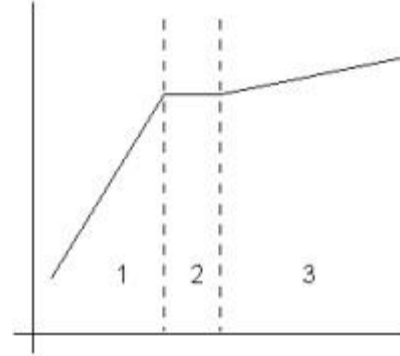


Kuva 3.3. Lämpösyklusuksen periaate.

Lämpösyklausta voidaan tehdä myös lineaarisella profiililla sekä askelmaisella profiililla kuvien 3.4 ja 3.5 osoittamalla tavalla.



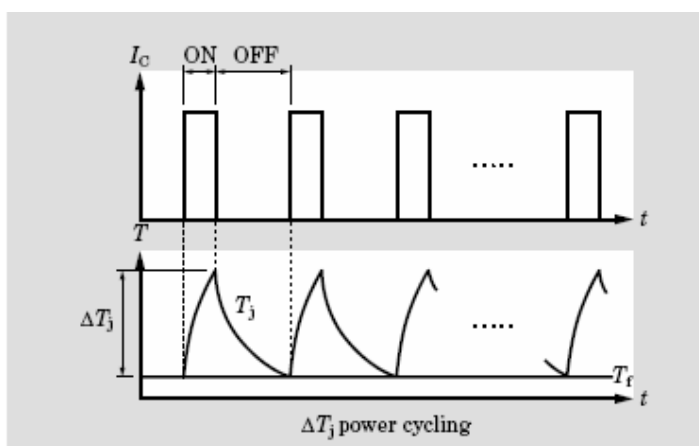
Kuva 3.4. Lämpötilan nostaminen askelittain. /17/



Kuva 3.5. Lämpötilan nostaminen lineaarisella profiililla. 1. lämpötilan nopea nostaminen kiinnostavaan pisteeseen. 2. Stabilointivaihe. 3. Hidas ramppi hajoamispisteeseen saakka. /17/

### 3.3.2 Tehosyklaus

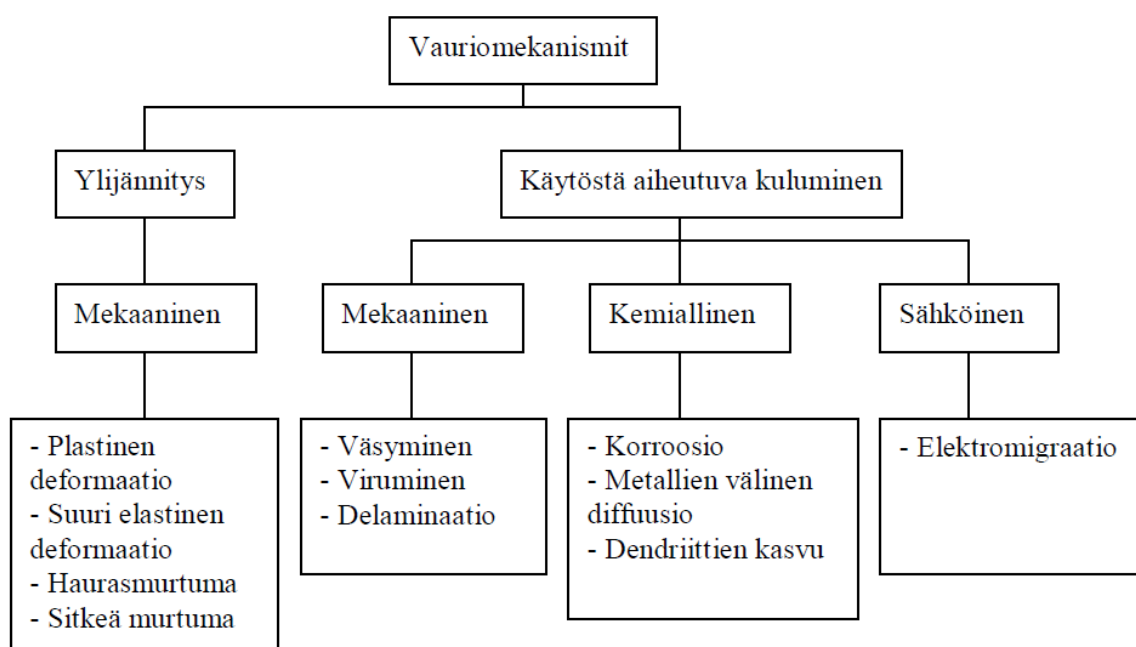
Tehosyklaukseksi kutsutaan elektroniikkalaitteen toistuvaa lämpötilan muutosta, joka aiheutuu laitteen kuormituksen muutoksista. /16/ Tehosyklauksella voidaan simuloida tyypillisiä taajuusmuuttajan käyttökohteita, kuten esim. pumppukäytöt. Kuvassa 3.6 on esitetty tehosyklauksen periaate.



Kuva 3.6. Tehosyklauksen periaate. /16/

## 4 KOMPONENTTIEN VIKAANTUMIS- JA VANHENEMISILMIÖT

Elektroniikan vikaantumista osa liittyy jollain tavalla joko lämpörasitukseen tai kosteuteen ja tätä myötä korroosioon. Suurin osa komponenttien ja materiaalien fyysisistä ja kemiallisista ominaisuuksista muuttuu ympäristön lämpötilan ja kosteuden mukaan. Nämä asiat tulee huomioida suunnittelussa, jotta laitteesta saadaan luotettava. /6/ Ilmastolliset vaikutukset saavat aikaan epäpuhtauksien ja veden kertymisen elektroniikkalaitteiden pinnoille. Vesi, pöly, kaasut ja orgaaniset yhdisteet aikaansaavat elektroniikkalaitteissa vuotovirtoja, oikosulkuja ja mekaanisia muutoksia. /9/ Kuvassa 4.1 on esitetty elektroniikassa tyypillisiä vauriomekanismeja.



Kuva 4.1. Elektroniikassa tyypillisiä vauriomekanismeja./14/

### 4.1 Ympäristötekijöistä johtuvat vikaantumiset

#### 4.1.1 Lämpötila

Tyypillinen ympäristötekijöistä aiheutuva vikaantuminen tapahtuu, kun korkea lämpötila haurastuttaa materiaaleja ja laitteeseen kohdistunut isku vioittaa komponentin lopullisesti. Lämpötila vaikuttaa komponenttien ja näin ollen koko laitteen elinikään merkittävästi. Komponenttien lämpötilaan vaikuttaa ympäristön lämpötilan lisäksi myös komponentin omat häviötehot.

Lämpötila vaikuttaa myös kemiallisiin reaktioihin kiihdyttävästi Arrheniuksen yhtälön mukaisella tavalla. Ruotsalainen Svante August Arrhenius kehitti vuonna 1889 mallin kemiallisten reaktioiden lämpötilariippuvuudelle. Tätä mallia käytetään nykyään elektronii-  
kan luotettavuusanalyyseissa. Arrheniuksen perusyhtälö on muotoa /3/

$$r = B * e^{\left(\frac{-E}{kT}\right)} \quad (1)$$

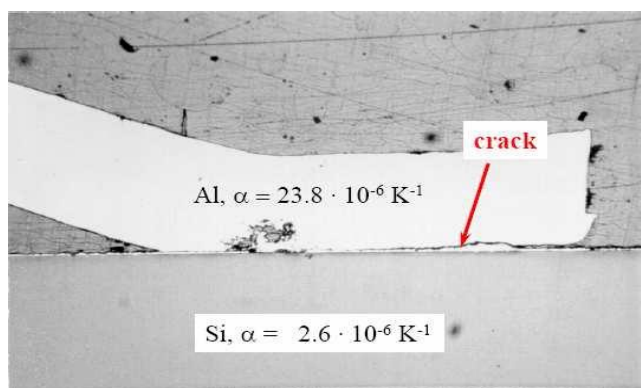
jossa

- r = reaktionopeus
- B = reaktiovakio
- E = aktivointienergia
- K = Boltzmanin vakio ( $8.63 * 10^{-5}$  eV/K)
- T = lämpötila (K).

#### 4.1.1.1 Lämpötilanmuutokset

Rajut lämpötilanmuutokset ja sitä myötä lämpölaajeneminen aiheuttavat usein vaurioita taajuusmuuttajan IGBT-moduuliin. Tyypillisimmät lämpötilan vaihtelun aiheuttamat vauriotyypit ovat liitoslanka- ja juotosvauriot. Kestotestausta silmällä pitäen näitä ongelmia voidaan simuloida tehosyklauksella.

Liitoslankavauriot (kuvassa 4.2) johtuvat puolijohteeseen kohdistuvasta lämpötilan vaihtelusta, jonka seurauksena syntyy leikkausjännitys langan ja liitoskohdan välille. Juotosvaurioita syntyy usein erilaisten materiaalikerrosten välisiin juotosliitoksiin niiden altistuessa lämpötilanvaihteluille./16/



Kuva 4.2. Tyypillinen liitoslankavaurio. /16/

#### 4.1.1.2 Lämpölaajeneminen

Lämpölaajeneminen aiheuttaa ongelmia ja vaurioita IGBT-moduulissa, kuten edellä jo mainittiin. Syy tähän ongelmaan on materiaalien erilaiset lämpötilakertoimet. Kappaleen lämpölaajeneminen voidaan esittää kaavalla

$$\Delta l = \alpha * l_0 * \Delta T \quad (2)$$

jossa

$\Delta l$  = lämpölaajenema

$\alpha$  = lämpölaajenemiskerroin

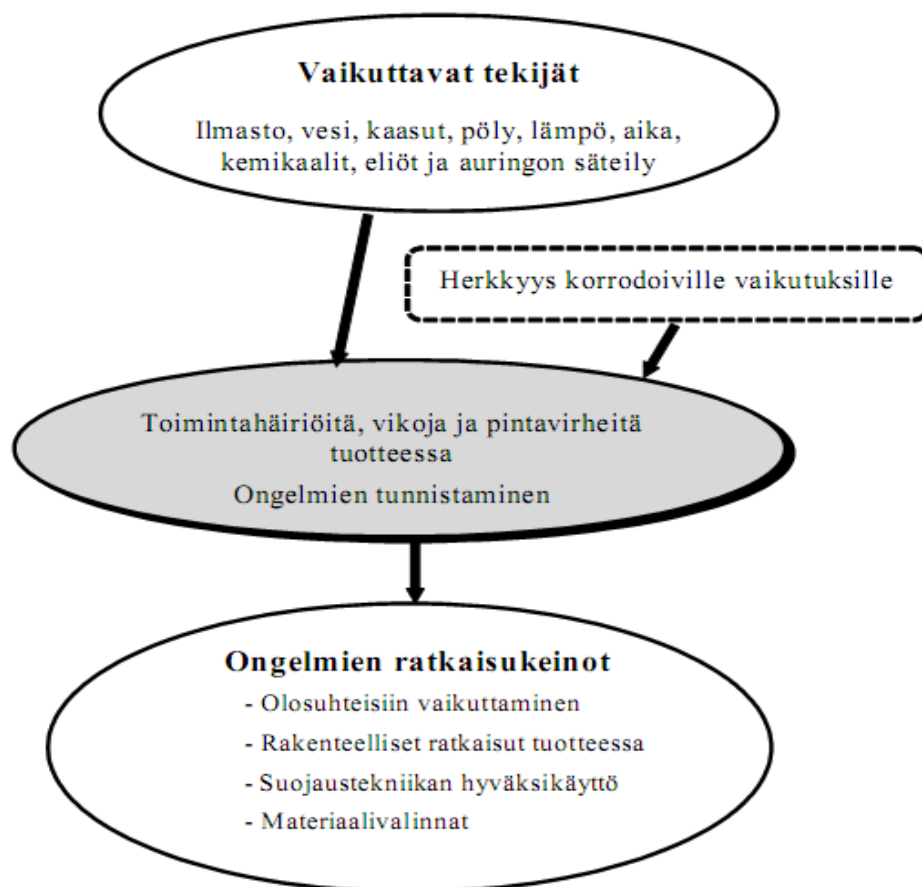
$l_0$  = kappaleen alkuperäinen pituus

$\Delta T$  = lämpötilan muutoksen suuruus.

#### 4.1.2 Korroosio ja kosteus

Korroosion yhtenä välttämättömänä edellytyksenä on yleensä elektrolyytti, sähköä johtava liuos. Tavallisimmin tämä liuos on vesi. Elektroniikkalaitteiden metallien syöpyminen perustuu sähkökemialliseen korroosiomekanismiin, jolloin elektrolyytiksi muodostuu ilman kosteudesta tiivistynyt ohut vesikerros. Olosuhteiden mukaan vesikalvo sisältää epäpuhtauksia, joista useimmat kiihdyttävät korroosiota. /7/

Myös suuret lämpötilaerot komponenttien välillä edesauttavat korroosion syntymistä. Kuvassa 4.3 on esitetty korroosion ilmenemisen ja hallinnan peruseriaate.



Kuva 4.3. Korroosion ilmeneminen ja hallinta. /9/

Käytännössä korroosiota vastaan voidaan suojautua kiinnittämällä suunnitteluvaiheessa huomiota seuraaviin seikkoihin;

- tiiviys- tai kotelointiluokka
- jäähdytysmenetelmä
- sisäosien suojaustaso (lakkaus tai ei lakkausta)
- kontaktien ja liitosjohdinten pinnoitteet
- komponenttien lämpötilaluokka
- kotelon pintojen laatu
- sähkösuunnittelun vikasietoisuustaso. /9/

Kosteus vaikuttaa elektroniikan komponentteihin monen eri vikamekanismin välityksellä. Kosteus voi vaurioittaa komponentteja erilaisten korroosioden vuoksi tai kosteuden aiheuttamien pintaresistanssien pienentymisen takia kasvaneiden vuotovirtojen johdosta. /9/

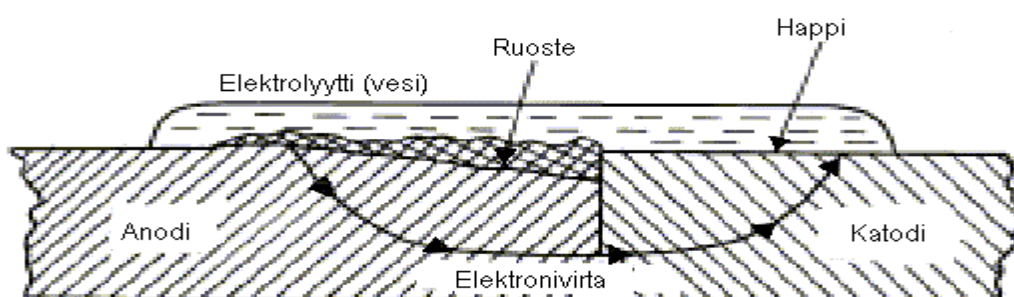
Taulukossa 4.1 on esitetty, millä tavoin kosteus ja vesi vaikuttavat komponentteihin ja niiden vikaantumiseen.

Taulukko 4.1. Kosteuden vaikutus komponentteihin. /9/

Kosteus	Pääasiallinen vaikutus	Tyypillinen vioittuminen
Korkea suhteellinen kosteus	Kosteuden absorptio ja adsorptio Turpoaminen Mekaanisen lujuuden heikkeneminen Korroosio ja elektrolyysi Eristeiden johtuvuuden kasvu Dielektrisyysvakion $\epsilon_r$ kasvu	Fyysinen vikaantuminen, eristysvika, mekaaninen vika, sähköisten häviöiden kasvaminen
Alhainen suhteellinen kosteus	Kuivuminen Murtuminen Mekaanisen lujuuden heikkeneminen Kutistuminen Metallikosketinten kuluminen	Mekaanisia vikoja, murtumia

#### 4.1.2.1 Galvaaninen eli kontaktikorroosio

Galvaanista korroosiota syntyy silloin, kun samassa elektrolyytissä kaksi erilaista metallia ovat sähköisessä kontaktissa toisiinsa. Näistä epäjalompi metalli muodostuu anodiksi ja syöpyy. Jalomman metallin syöpyminen puolestaan hidastuu tai lakkaa kokonaan. /7/ Galvaanisen korroosion riski elektroniikkalaitteissa on merkittävän suuri, koska laitteet sisältävät lukemattoman määrän sähköisiä kontakteja ja laitteet ovat usein alttiina ilman kosteudelle. Kuvassa 4.4 on esitetty galvaanisen korroosion etenemisen periaate.



Kuva 4.4. Galvaanisen korroosion etenemisen periaate. /8/

Syöpymisen nopeus riippuu paitsi kontaktissa olevien metallien keskinäisestä potentiaalierosta elektrolyytissä myös elektrolyytin syövyttävyydestä ko. metalliin, elektrolyytin sähkönjohtavuudesta sekä anodin pinta-alan suuruudesta katodin pinta-alaan nähden /7/

Galvaanista korroosiota voi muodostua myös silloin, kun metalli on kosketuksissa jalomman ei-metallisen sähköä johtavan materiaalin kanssa, esim. kupari kosketuksissa grafiitin kanssa. Korroosiota voidaan vähentää välttämällä galvaanisia pareja, jos niiden potentiaaliero on suuri, eristämällä liitettävät metallit toisistaan sekä estämällä veden pääsy liitospaikkaan. /7/

#### 4.1.2.2 Jännityskorroosio

Jännityskorroosio syntyy kun metallin pinnalla on vetojännitystä ja metalli on samalla altistunut tietyille kemikaalille. Jännityskorroosiota esiintyy elektroniikassa juotosliitoksissa, kun liitoksiin syntyy suuria staattisia voimia, jotka johtuvat esim. metallijohtimien ja piirilevyn erilaisista lämpölaajenemiskertoimista. /9/ Vaikka jännityskorroosio on hyvin yleinen korroosionmuoto, ei sen etenemisen mekanismia vieläkään täysin tunneta.

## 4.2 Sähköiset vikaantumiset

On selvää, että elektroniikkakomponenttien vikaantumisen voi aiheuttaa myös ylijännite tai -virta. Tyypillisiä vikaantumisen aiheuttajia ovat:

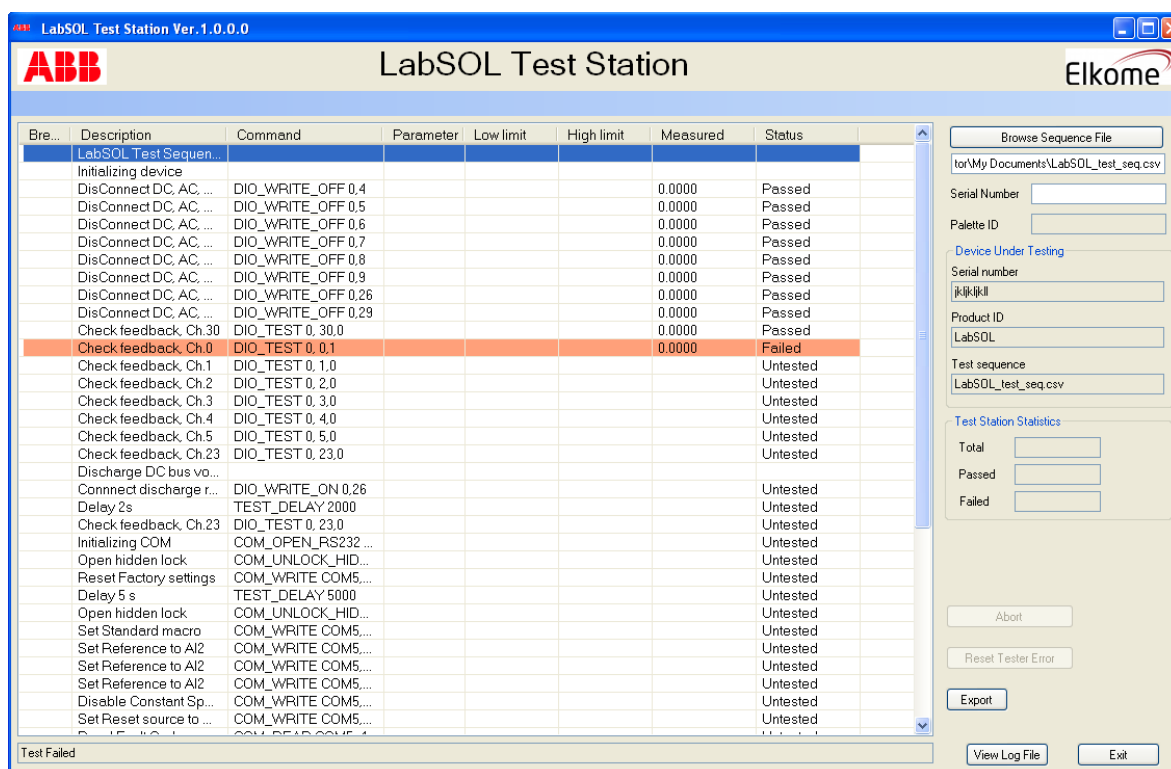
- ylikuormitus
- indusoituminen
- piirin sisäisistä virroista ja jännitteistä aiheutuvat jännite- ja virtapiikit
- staattisen sähköön aiheuttamat jännite- ja virtapiikit. /10/

Normaalikin sähköinen kuormitus voi lisätä komponenteissa sähkökemiallista korroosiota ja elektromigraatiota. Elektromigraatiolla tarkoitetaan suurten virrantiheyksien liikettä johtimissa, minkä johdosta tapahtuu materiaalin kulkeutumista sähkövirran vaikutuksesta. Elektronien liikkeessa materiaalissa ne pommittavat samalla materiaalin atomeja, jotka voivat siirtyä paikaltaan. Tämä ilmiö voi aiheuttaa ohuisiin johtimiin katkoksia tai pullistumia johtimiin, jotka rikkovat johtimen eristyksen. /9/

## 5 JÄRJESTELMÄN KUVAUS

### 5.1 ABB LabSOL-testausohjelma

ABB on yhdessä yhteistyökumppaniensa kanssa kehittänyt tuotannon testausjärjestelmiin LabSOL-testausohjelman. Ohjelmalla voidaan toteuttaa erilaisia kiihdytettyjä testauksia taajuusmuuttajille. Ohjelmassa käytetään testisekvenssiohjelmointia, jonka avulla testauksen suunnittelijat voivat kehittää testausta matalan tason komentokielellä. Kuvassa 5.1 on esitetty LabSOL-ohjelmiston pääikkuna.



Kuva 5.1. LabSOL-ohjelman pääikkuna.

#### 5.1.1 Testausprosessi

Tässä luvussa käsiteltävät asiat viittaavat luvun 5.1. kuvaan 5.1.

Kun testattava tuote on valittu, avataan vastaava testisekvenssi painamalla *Browser sequence file* ja valitsemalla käytettävä tekstisekvenssitiedosto. Tiedoston nimi tulee näky-

viin sinisellä värillä korostettuna pääikkunan ylälaitaan sekä *Browser sequence file*-painikkeen alapuolella olevaan tekstikenttään, josta näkyy tiedoston koko polku.

*Serial number* -tekstikenttään on kirjoitettava teksti, joka halutaan testaustulostiedoston nimeksi, jotta sekvenssi käynnistyy. Tekstin kirjoittamisen jälkeen painetaan tietokoneen *enter*-painiketta, jolloin testi käynnistyy. Käynnissä oleva testi voidaan keskeyttää painamalla *Abort*-painiketta. Tämä nolaa laitteiston niin, että testattava moduuli on turvallista poistaa.

Jos testausta ei voida toteuttaa testijärjestelmässä olevan virheen vuoksi, raportoidaan virhe nimellä *tester error*. Tämä tuo testausjärjestelmän tilaan, jossa testausta ei voi voida jatkaa, ennen kuin vika on poistettu. Kun testausjärjestelmä on toimintakunnossa, painetaan *Reset Tester Error* -painiketta, jolloin järjestelmä palautuu normaalitilaan.

Suoritettavien testien eteneminen päivittyy testauksen edetessä automaattisesti, jonka ansiosta testauksen kulkua voidaan seurata pääikkunasta. Mikäli testaus epäonnistuu, on hylätty askel korostettu punaisella värillä. Kaikki testaustiedot ja mahdolliset viestit näkyvät testi-ikkunan vasemmassa alalaidassa.

Kaikkien testatuiden sekvenssien tulokset päivittyvät automaattisesti tietokoneen hakemistoon C:\LabSOL\Test\_Result\_Seq\.

Kun ohjelman käyttö halutaan lopettaa, painetaan *Exiting*-painiketta. Tämä painike ei kuitenkaan ole käytettävissä, mikäli testaus on kesken.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Bin Jiang, ABB LabSOL test station quick guide, ABB Oy:n sisäinen julkaisu.

### 5.1.2 Testausohjelmassa käytettävät komennot

Testausohjelmassa käytettävät komennot on määritelty käyttäen seuraavia komentoja.

- *Write-operaatio* kirjoittaa tavoitearvon
- *Test-operaatio* lukee tavoite arvon ja vertaa sitä ennalta määriteltyihin rajoihin. Toiminto epäonnistuu, jos arvo on rajojen ulkopuolella.
- *Read-operaatio* lukee arvon halutusta kohteesta. Tämä arvo tulee näkyviin ohjelman pääikkunaan käyttäjän nähtäväksi. Testin jälkeen arvot voidaan tallentaa käyttämällä *export*-toimintoa.

Jokaisen komennon etuliitteeksi merkitään kohdelaite tai kommunikointityyppi (OPC, DIO, ADAM, COM). On myös olemassa yleisiä komentoja, joilla ei tätä etuliitettä ole. Näitä komentoja ovat *delay* ja *dialog*. Testeihin suunniteltu testisekvenssi on esitetty liitteessä A.

Esimerkki ADAM komennosta:

ADAM\_WRITE: Asettaa ADAM yksikön ulostulovirran [mA]

#### *Syntax*

ADAM\_WRITE\_I value

#### *Arguments*

Name	type	Descriptions
value	Real	kirjoitettava arvo [mA]

Esimerkki *Delay* komennosta:

DELAY: Testin viiveen asettaminen [ms]

#### *Syntax*

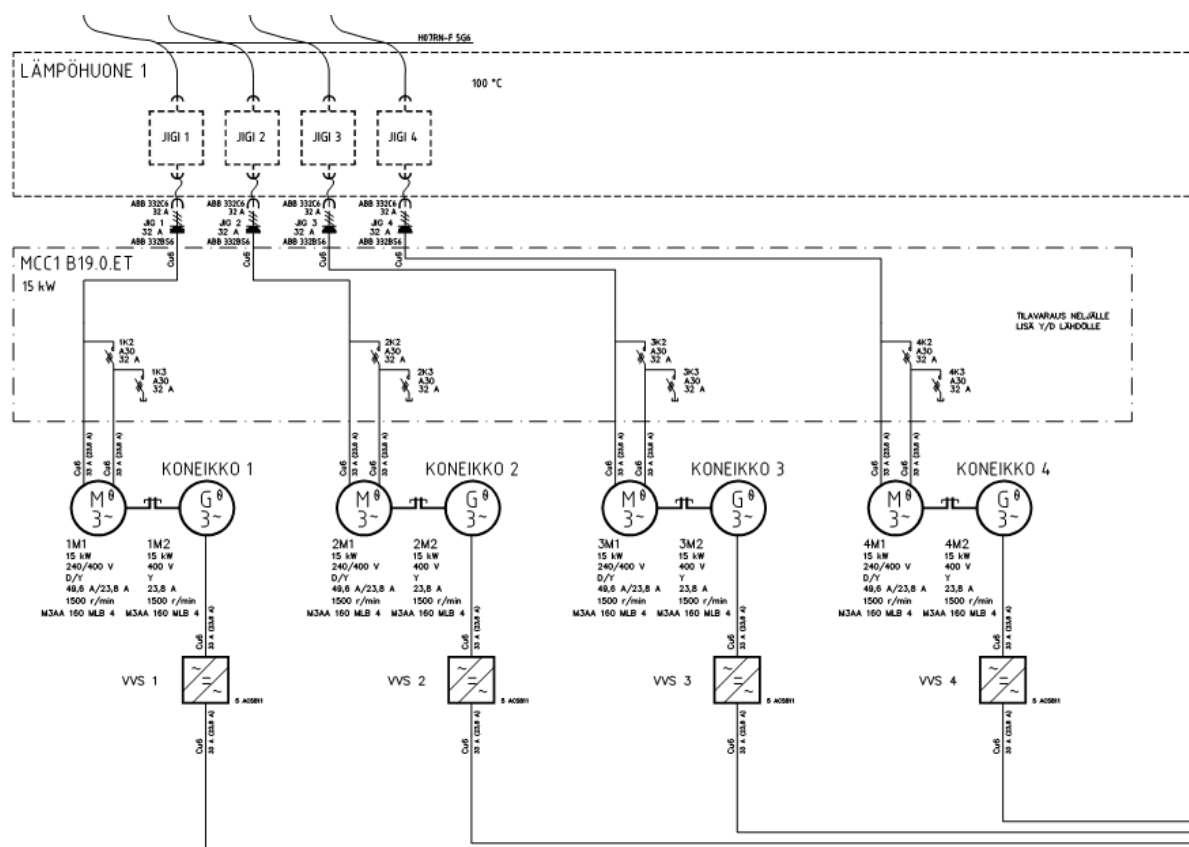
DELAY\_duration

#### *Arguments*

Name	Type	Description
duration	int	viiveen aika [ms].

## 5.2 Testausjärjestelmä

Testausjärjestelmän pääpiiri koostuu testattavista vaihtosuuntaajasta, testikammioista, yhteensä 20 oikosulkumoottorista, joista 10 toimii generaattorina sekä 10:stä ABB:n ACS800-sarjan taajuusmuuttajasta, joiden avulla mahdollistetaan verkkoonjarrutus. Kuvassa 5.2 on esitetty osa testausjärjestelmän pääkaaviosta. Liitteessä B on esitetty pääkaavio kokonaisuudessaan.



Kuva 5.2. Osa testausjärjestelmän pääkaaviosta.

### 5.2.1 Valvomo

Testausjärjestelmän ohjausta varten rakennettiin kuvan 5.3 mukainen valvomopöytä, johon testitietokoneiden näytöt kiinnitettiin. Valvomo sijaitsee testilaboratoriossa muun testilaitteiston välittömässä läheisyydessä. Jokaista testattavaa käyttöä kohti on oma testitietokone, näyttö, näppäimistö ja hiiri. Valvomosta voidaan ohjata testattavia laitteita, seurata testisekvenssin etenemistä ja analysoida testituloksia. Valvomoa ei ole kytketty ABB:n tietoliikenneverkkoon.



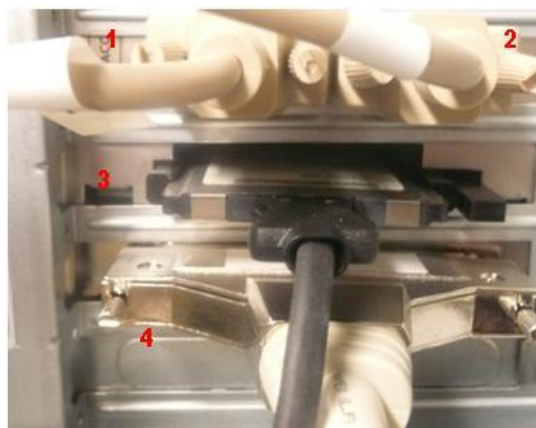
Kuva 5.3. Valvomo.

### 5.2.2 Testitietokoneet

Testausjärjestelmän ohjauksesta vastaavat tietokoneet sijoitettiin järjestelmäkaappiin valvomon viereen kuvan 5.4 mukaisesti. Jokaista testattavaa käyttöä kohti on yksi testitietokone. Kuvassa 5.5 on esitetty testitietokoneen ja muun järjestelmän väliset liitännät.



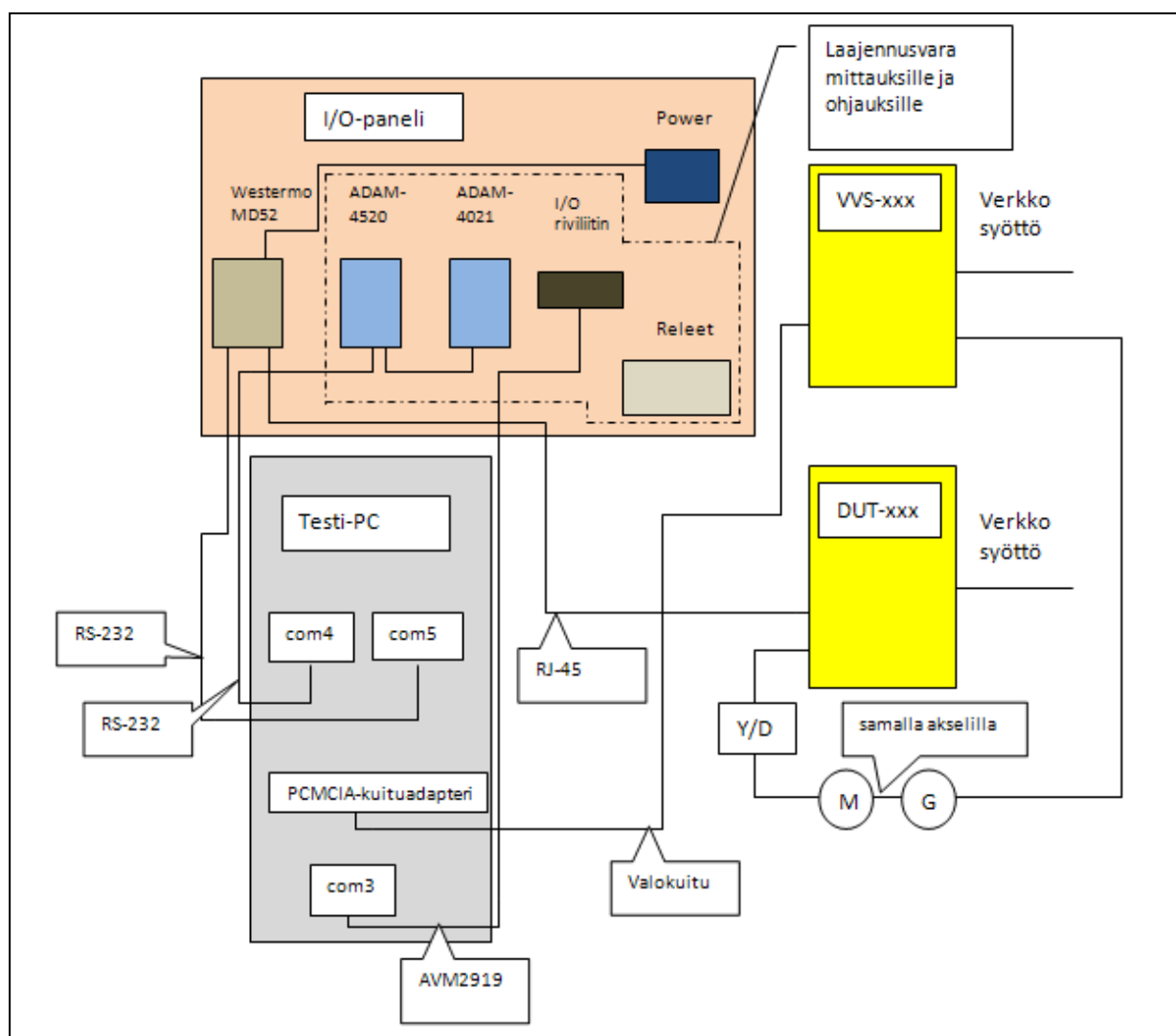
Kuva 5.4. Valvomon testitietokoneet.



Kuva 5.5. Testitietokoneen liitännät.

1. Com4-adam 4520.
2. Com5-Westermo MD-52.
3. PCMCIA kuituadapteri-ACS800 verkkovaihtosuuntaaja.
4. Com3-IO riviliittimet.

Kuvassa 5.6 on lohkokaaviomalli testitietokoneen ja muun järjestelmän välisestä kaapeloinnista.



Kuva 5.6 Lohkokaaviomalli järjestelmän kaapeloinnista.

### 5.2.2 Testikammiot

Testattavat laitteet sijoitetaan kuvan 5.7 mukaisiin testikammioihin testien ajaksi. Kammiota on yhteensä viisi, joista kolme otetaan testikäyttöön ja kaksi jää varalle mahdollisia laajennuksia silmällä pitäen. Testattavien laitteiden ollessa jännitteellisiä palaa oven yläpuolella punainen varoitusvalo.



Kuva 5.7. Testikammiot.



Kuva 5.8. Testikammin lämmityksestä vastaava kiuas.

Testikammin lämmityksestä vastaa kuvan 5.8 mukainen 2,3 kW sähkökiuas. Kiukaan avulla testikammoin lämpötila saadaan nostettua 100 °C:seen. Kiukaan lämpötilan ohjauksesta vastaa kuvan 5.9 mukainen lämpötilanohjauskeskus, jonka avulla ohjataan myös testikammin ilmastointia.



Kuva 5.9. Lämpötilanohjauskeskus.

### 5.2.3 Testattavat laitteet

Testattavat taajuusmuuttajat asennettiin testikammion seinälle kuvan 5.10 mukaisesti. Testikammion alalaidan läpivienneistä tuotiin testattaville laitteille syöttö- ja moottorikaapelit sekä RJ-45-kaapelit. Testattavat laitteet pyrittiin asentamaan siten kuin ne asennetaan niiden normaalikäyttöolosuhteissakin.



Kuva 5.10. Testattavat taajuusmuuttajat 7,5 kW testikammiossa.

### 5.2.4 Oikosulkumoottorit

Testilaitteistoon kuuluu 20 oikosulkumoottoria joista 10 toimii generaattorina. Generaattoripuolen moottoria kutsutaan myös kuormakoneeksi. Moottori ja generaattoripari on asennettu kuvan 5.11 mukaisella tavalla samalle akselille. Tämä mahdollistaa testattavan laitteen kuormittamisen halutulla tavalla. Kuormakoneen ohjauksesta vastaa ABB:n ACS800-sarjan verkkoonjarruttava taajuusmuuttaja.



Kuva 5.11. Moottori ja generaattori samalla akselilla.

Järjestelmään kuuluvien moottori ja generaattoriparien kappalemäärät ja tehot ovat seuraavat:

- 4 x 7,5 kW
- 4 x 15 kW
- 2 x 30 kW.

Moottoripuoli voidaan haluttaessa kytkeä joko tähteen tai kolmioon kuvan 5.12 mukaisilla kytkimillä.



Kuva 5.12. Tähti-kolmiokytkimet.

### 5.2.5 Verkkoonjarrutus

Tässä järjestelmässä verkkoonjarrutus tapahtuu kuvan 5.13 mukaisilla ABB:n 800-sarjan taajuusmuuttajilla, joita kutsutaan myös verkkovaihtosuuntaajiksi. Verkkoonjarrutus toteutetaan antamalla LabSOL-testausohjelmalla verkkovaihtosuuntaajalle momenttiohje. Testitietokoneen ja verkkovaihtosuuntaajan välinen viestiliikenne toimii valokuitukaapelin välityksellä.



Kuva 5.13. ABB:n 800-sarjan taajuusmuuttajat verkkoonjarrutusta varten.

### 5.2.6 I/O-paneelit

Testitietokoneiden ja muun testijärjestelmän väliseen viestiyhteyteen voidaan käyttää kuvan 5.14 mukaisia I/O-paneeleita. Paneeleita on 10 kappaletta eli yksi jokaista käyttöä kohti. Tällä hetkellä I/O-paneelistä käytetään vain Westermon galvaanista erotusta. I/O-paneelin komponentteja esitellään seuraavissa luvuissa.



Kuva 5.14. I/O-paneelit.

### 5.2.6.1 ADAM-4520: RS232/RS485-muunnin

ADAM-4520 (kuvassa 5.15) kytketään testi PC:n RS232-sarjaporttiin, ja sen tehtävänä on muuttaa RS232-sarjaväylä RS485-sarjaväyläksi. RS485-sarjaväylää käytetään yleisesti teollisuussovelluksissa ja automaatiojärjestelmissä, koska väylä päihittää RS232-sarjaväylän tiedonsiirtonopeudessa ja häiriönsuojauksessa. Laitteen tiedonsiirtonopeudeksi valmistaja ilmoittaa 115,2 kb/s. ADAM-4520 suojaa tietokonetta myös mahdollisilta ylijännitteiltä.  
/11/



Kuva 5.15. ADAM-4520-muunnin.

### 5.2.6.2 ADAM-4021 D/A -muunnin

ADAM-4021 D/A -muunnin (kuvassa 5.16) saa digitaaliviestin ADAM 4520:n ulostulosta. Tämän jälkeen laite muuntaa digitaalisignaalin analogiasignaaliksi. ADAM-4021:n ulostulosignaaliksi voidaan valita jännite- tai virtaviesti taulukon 5.1 mukaisesti./12/



Taulukko 5.1. Valittavissa olevat ulostulosignaalit

koodi	ulostulo alue
30	0 – 20 mA
31	4 – 20 mA
32	0 – 10 V

Kuva 5.16. ADAM-4021 D/A-muunnin.

### 5.2.6.3. WESTERMO MD-52

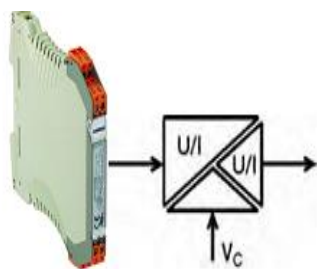
Westermo MD-52 (kuvassa 5.17) kytketään testitietokoneen com5 sarjaporttiin ja sen avulla saadaan aikaan galvaaninen erotus RS232-liitäntöjen välille. Laitteen ulostulo kytketään RJ-45 kaapelilla testattavaan taajuusmuuttajaan. Galvaanisen erotuksen ansiosta liitettävät laitteet ovat eri potentiaalissa, mikä suojaa liitettäviä yksiköitä ylijännitteiltä ja sähkömagneettisilta kentiltä sekä takaa samalla luotettavan viestiyhteyden. /13/



Kuva 5.17. Westermo MD-52.

### 5.2.6.4 Weidmuller was4 pro dc/dc: Konfiguroitava 3-tie dc/dc-muunnin

Weidmullerin konfiguroitavalla 3-tie dc/dc-muuntimella (kuvassa 5.18) voidaan galvaanisesti erottaa syöttöjännite sekä tulo- ja lähtöviestit toisistaan. Muuntimella on helppo hallita useampien eri signaalityyppien käsittelyä samalla mallilla. /18/



Kuva 5.18. Weidmuller was4 pro dc/dc.

## 6 TESTIT

### 6.1 Kiihdytetyn testin muistilista

Aloittaessa testauksia tulee huomioida monia eri yksityiskohtia, jotta testaukset saadaan vietyä luotettavasti läpi ja saadaan mahdollisimman paljon informaatiota testauksesta. Testaustuloksien luotettavuuden kannalta olisi syytä kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin:

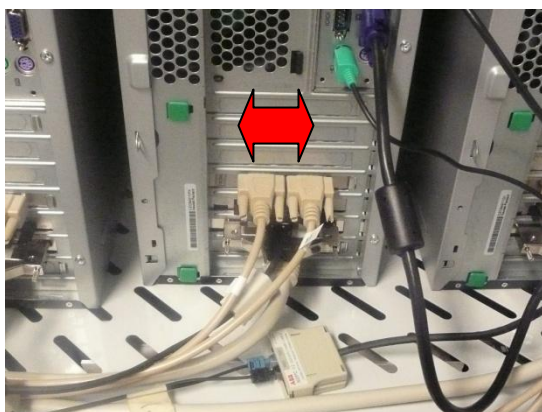
- testattava laite ja varalaite
  - *Varalaitetta voidaan käyttää hyödyksi kun ei olla varmoja onko testin keskeyttänyt vika testilaitteistossa vai testattavassa laitteessa. Näin voidaan pois sulkea toinen vaihtoehto.*
- testilaitteisto
  - *On tärkeää tuntea testilaitteisto mahdollisten vikatilanteiden vuoksi.*
- testisuunnitelma ja dokumentointi
  - *testauksen aikataulu*
  - *stressitaso*
  - *laitteen tiedot*
- kytkennät, kokoonpanopiirustukset ja -kaaviot
- mittaukset ja mittaustulosten analysointi
- testitiimi
  - *Testauksen tekijä.*
  - *Vastaava suunnittelija tarvittaessa tukemassa testausta.*
  - *Testausinsinööri tarvittaessa tukemassa testausjärjestelmä ongelmassa ja vika-analyseissä.*
  - *Luotettavuusinsinööri tarvittaessa tukemassa testausta.*

## 6.2 Käyttöönotto

Kestotestijärjestelmän käyttöönottovaihe suoritettiin ajamalla jokaista käyttöä käyttöönottoa varten suunnitellulla LabSOL-testisekvenssillä. Testisekvenssillä ajettiin testattavaa laitetta ja verkkovaihtosuuntaajaa erikseen ja todettiin moottorien ja kuormakoneiden pyörimissuunnat oikeiksi. Käyttöönoton tarkoituksena oli varmentaa järjestelmän ja asennusten toimivuus.

Käyttöönottovaiheessa havaittiin seuraavia asennusvirheitä:

- com4 ja com5-sarjaporttien kaapelit ristissä (kuvassa 6.1). ADAM-4520 on kytkettävä testitietokoneen com4-sarjaporttiin, koska LabSOL -testiohjelma on konfiguroitu käyttämään kyseistä porttia.
- testitietokoneen ja verkkoonjarrutusyksikön väliset kuitukaapelit oli kaapeloitu ristiin.



Kuva 6.1. Com4 ja com5-sarjaporttien kaapelit ristissä.

Korjattuamme kyseiset virheet saimme ajettua jokaisen käytön läpi testisekvenssillä ja pystyimme toteamaan järjestelmän olevan toimintakuntoinen.

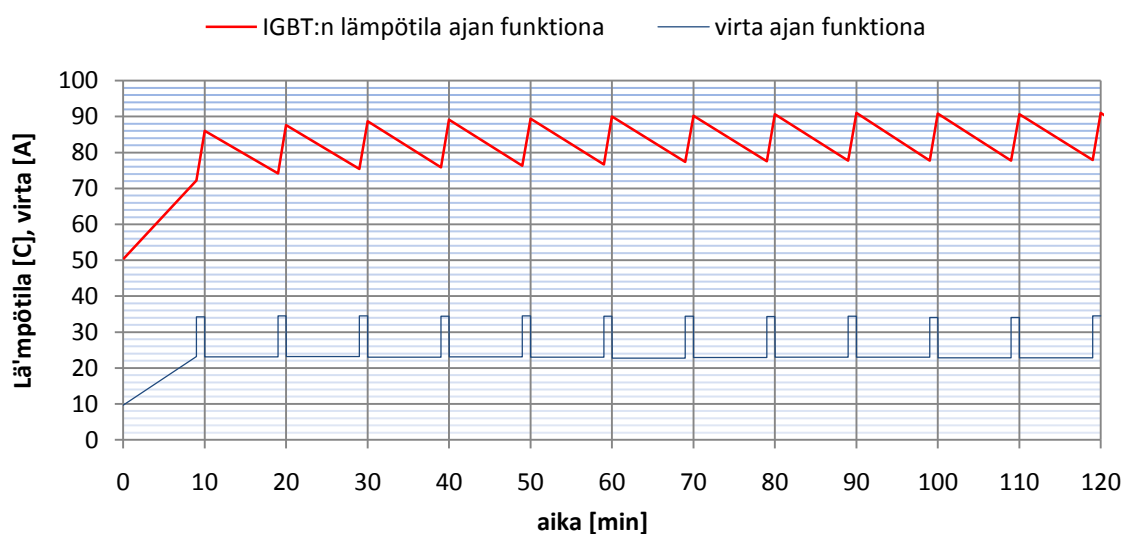
## 6.3 Ajosykli

Osa testattavista laitteista ajettiin testien alkuvaiheessa 9/1-syklillä, mikä tarkoittaa, että ensin laitetta ajetaan yhdeksän minuuttia laitteen nimellisvirralla ja yksi minuutti 50 %:n ylivirralla. Näitä syklejä voidaan toteuttaa lukematon määrä peräkkäin. Sykliä välillä voidaan määrittää taukoa, kuten mittauslukemien luvussa 6.4.2. Lopulliset ajosykli-erityyppisille laitteille suunnitellaan myöhempänä ajankohtana. Liitteessä 1 on esitetty 9/1-syklillä oleva testisekvenssi.

## 6.4 Mittaustulokset.

### 6.4.1 Tehosyklaus syklillä 9/1

Ensimmäinen ns. täysimittainen testaus tehtiin tehosyklausmenetelmällä syklillä 9/1. Testikammion sisälämpötila nousi IGBT:n lämpöhäviöiden johdosta n. 45 C°:seen. Testin tavoitteena oli varmistaa testausjärjestelmän toimivuutta. Testattava laite kesti odotusten mukaisesti ehjänä koko testauksen ajan. Ote mittaustuloksista on esitetty kuvassa 6.2

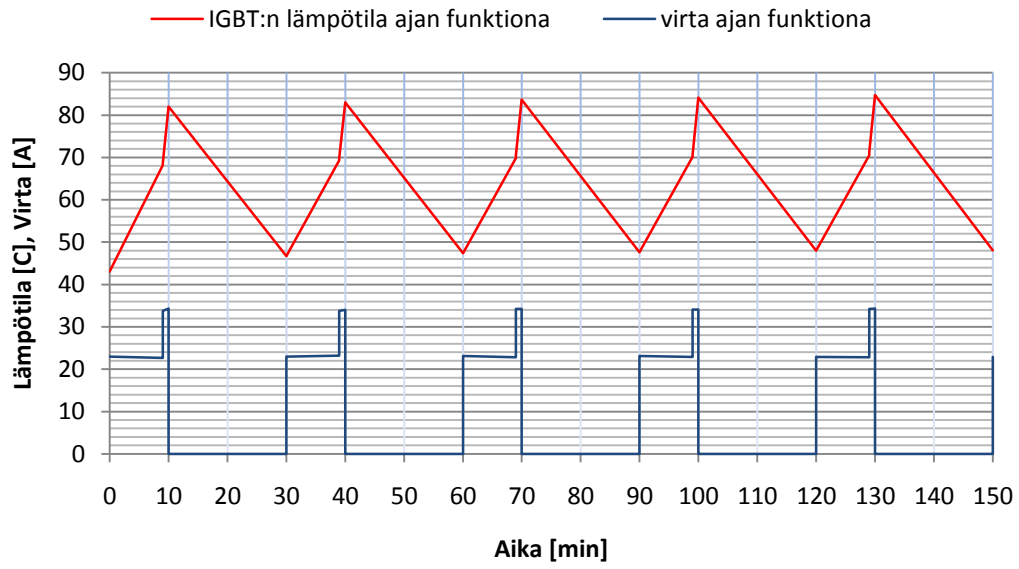


Kuva 6.2. Tehosyklaus syklillä 9/1.

Kuvasta voidaan todeta yhdeksän minuutin nimellisellä kuormituksella taajuusmuuttajan softan näkemän IGBT:n lämpötilan putoavan n. 79 C°:seen, minkä jälkeen minuutin 50 % ylikuorman aikana IGBT:n lämpötila nousee n. 91 C°:seen.

### 6.4.2 9/1-sykli + 20 minuutin tauko

Toisessa testissä syklinä käytettiin jälleen 9/1-sykliä. Syklin päätyttyä pidettiin 20 minuutin tauko, jonka aikana testattava laite jäähtyi ympäristön lämpötilaan. Tämän jälkeen 9/1-sykli aloitettiin alusta. Myös nämä mittaustulokset ovat käyttöönottoon liittyviä testauksia. Kuvassa 6.3 on esitetty ote mittaustuloksista.



Kuva 6.3 9/1-sykli + 20 minuutin tauko

## 7 JÄRJESTELMÄPÄIVITYKSET

Testausjärjestelmään haluttiin tehdä muutamia päivityksiä, sekä hardware, että software puolelle ennen laitteiston varsinaista käyttöönottoa.

### 7.1 Hardware-päivitykset

Hardware puolelle haluttiin toteuttaa seuraavat lisäykset:

Lämpötilan ja jännitteen mittauksia varten isoloitu analogialiitäntä.

Jännitteenmittaus:

- ADAM 4017 8-kanavainen analogia Input Moduuli

Lämpötilanmittaus:

- ADAM 4018 8-kanavainen termopari Input Moduuli

### 7.2 Software-päivitykset

Software puolelle haluttiin toteuttaa seuraavat lisäykset:

- silmukat: (for and while-tyyppisesti). Edellytykset; toistettavien sekvenssien määrä, virheet, kriittiset rajat
- syklilaskuri
- ulostuloformaatti parametrien ja analogiatulojen käsittelyyn
- tietokanta mittaustuloksille
- abort-toiminnon päivitys

## 8 KEHITYSEHDOTUKSET

### 8.1 Valvomo

Valvomopöytä kuvassa 8.1 tulee pahimmassa tapauksessa sisältämään 10 näyttöä, 10 näppäimistöä ja 10 hiirtä. Tietokoneiden käyttäjän kannalta tilanne ei ole kovinkaan optimaalinen. Paras ratkaisu tähän ongelmaan olisi keskittää testitietokoneiden käyttö esim. yhdelle näppäimistölle ja yhdelle hiirelle. Näin tietokoneiden käyttö helpottuisi.



Kuva 8.1. Valvomopöytä

### 8.2 Reaaliaikaiset mittaustulokset

Testauksen ollessa käynnissä olisi käyttäjän kannalta hyvä, että testitietokoneen näytölle saataisiin reaaliaikaisia mittaustuloksia, kuten esim. IGBT:n lämpötila.

### 8.3 Mittaustulosten käsittely

Kun testisekvenssi on ajettu loppuun testiohjelma tallentaa testitietokoneeseen logfilen. Logfile sisältää mittaustuloksia, joiden käsittely on tällä hetkellä melko hankalaa. Tähän ongelmaan ratkaisun voisi tuoda tietokantapohjainen ratkaisu, johon mittaustulokset tallentuisivat käyttäjän kannalta luettavaan muotoon. Taulukossa 8.1 on esimerkki mittaustulosten tallentamisen toteuttamistavasta.

Taulukko 8.1. Mittaustulosten tallentamisen toteutustapa

mittaukset			
aika [min]	IGBT:n lämpötila [C°]	virta [A]	muut mitatut suureet
0	40	30	
1	50	30	
2	60	30	

#### 8.4 Järjestelmän liittäminen ABB:n tietoliikenneverkkoon

Tällä hetkellä kestopestijärjestelmää ei ole liitetty tietoliikenneverkkoon. Verkkoon liittamisestä saataisiin seuraavia hyötyjä:

- järjestelmän tilaa pystytään valvomaan omalta työpisteeltä
- mahdollisista vikatilanteista ilmoitus saadaan verkon välityksellä
- mittaustulosten analysointi onnistuu verkon välityksellä.

#### 8.5 I/O-paneelien hyödyntäminen

I/O-paneeleista ei tällä hetkellä ole käytössä kuin Westermon galvaaninen erotus. Paneelien avulla on mahdollista suorittaa mittauksia sekä ohjata testilaitteistoon kuuluvia laitteita. Testikammion lämpötilaa ei tällä hetkellä nähdä valvomon monitoreista, joten tässä voisi olla yksi käyttökohde paneelien sisääntuloon. Paneelien ulostuloilla voitaisiin ohjata esimerkiksi hälytysvaloa, joka syttyisi palamaan, kun joku testattavista laitteista vikaantuu tai järjestelmään tulee joku muu vika minkä testausohjelma havaitsee.

## 9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli olla käyttöönottamassa ja kehittämässä vaihtosuuntaajan kestotestauslaitteistoa. Kestotestauslaitteiston käyttöönotto onnistui odotusten mukaisesti ja laitteistoon tehtävistä parannuksista päästiin yhteisymmärrykseen, joten mielestäni työlle annetut tavoitteet lunastettiin.

Testauslaitteistolla suoritettavilla kestotestauksella saadaan tärkeää tietoa laitteen eliniästä. Järjestelmällä tullaan testaamaan tuotekehitysvaiheessa olevia laitteita sekä jo tuotannosta olevia laitteita järjestelmällisesti valikoituna.

Järjestelmää tullaan kehittämään käyttäjäystävällisempään suuntaan. Tällä hetkellä LabSOL:sta saatavat mittaustulokset ovat vaikeasti luettavissa, koska ne tallentuvat osana testisekvenssiin. Ohjelmistopäivitysten jälkeen tähän ongelmaan saadaan toivottavasti ratkaisu.

Tämän työn mittaustulososiossa olevat mittaukset ovat lähinnä käyttöönoton kannalta suoritettuja kokeellisia ajoja. Kokeelliset ajot ajettiin läpi käyttöönottoon suunnitelluilla sekvensseillä. Ohjelmistopäivitysten myötä tullaan suunnittelemaan ns. oikeat testisekvenssit, jotka suunnitellaan laitteiden tyyppillisen käyttötavan pohjalta.

## LÄHTEET

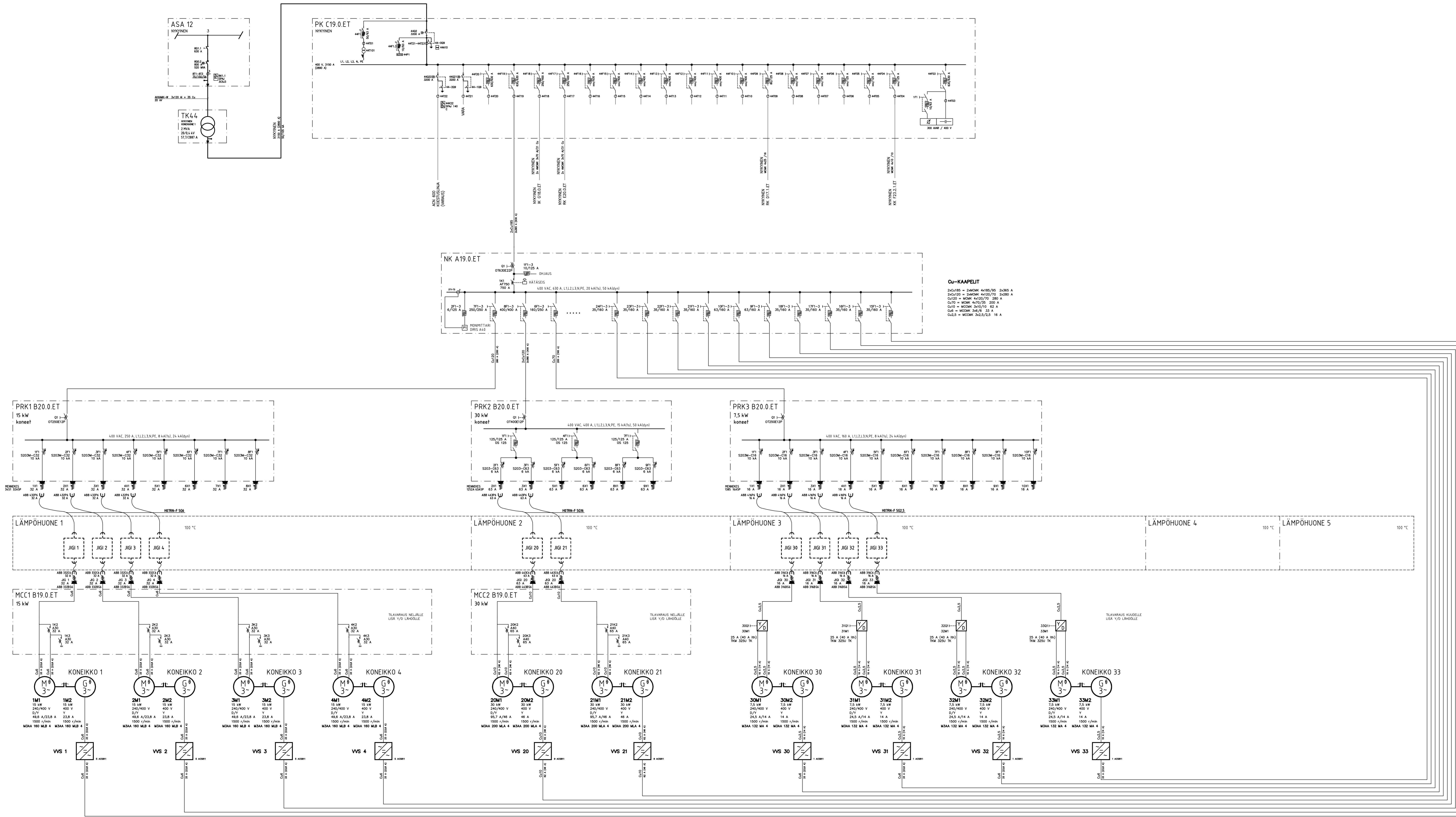
1. A. Vuoristo, Taajuusmuuttajien kiihdytetyn testausjärjestelmän suunnittelu ja rakentaminen. Insinööriyö. EVTEK- ammattikorkeakoulu, 2006.  
[viitattu 22.01.2010]. Saatavissa:  
[http://ajv.lautatarha.com/downloads/Vuoristo\\_Aapo\\_Instyo.pdf](http://ajv.lautatarha.com/downloads/Vuoristo_Aapo_Instyo.pdf)
2. W. Lagattolla. HALT/HASS- The next generation of environmental testing.  
[viitattu 23.01.2010]. Saatavissa:  
<http://www.tracelabs.com/TechLibraryDoc.aspx?id=26>
3. P. O`Connor. Practical reliability engineering. John Wiley & sons. Chichester, 2002.
4. Integrated service technology. [viitattu 26.01.2010]. Saatavissa:  
[http://www.isti.com.tw/english/3\\_service/03\\_01\\_detail.php?MID=2&SID=53&ID=138](http://www.isti.com.tw/english/3_service/03_01_detail.php?MID=2&SID=53&ID=138)
5. Delserro. Engineering Solutions, Inc. [viitattu 26.01.2010]. Saatavissa:  
<http://www.desolutions.com/index.cfm?fuseaction=halt>
6. R. Heinonen, M. Karjalainen, R. Lankinen. Elektroniikkalaitteen lämpösuunnittelun verifiointi. Valtion teknillinen tutkimuskeskus . Espoo 1997. [viitattu 26.01.2010].  
Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/1997/J824.pdf>
7. Suomen korroosioyhdistys. Korroosio käsikirja. KP-Media oy, Rajamäki 2004.
8. H. Mäkinen. Korroosionmuodot ja -riskit kaksoisjulkisivujärjestelmissä.  
[viitattu 27.01.2010]. Saatavissa:  
<http://www.tkk.fi/Yksikot/Rakennus/Teras/Tutkimus/HM-etyo-mod.pdf>
9. R. Hienonen, R. Lahtinen, Korroosio ja ilmastolliset vaikutukset elektroniikassa, VTT PUBLICATIONS 623, Espoo 2007. [viitattu 27.01.2010]. Saatavissa:  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P623.pdf>

10. Opetushallitus. Koneautomaation kunnossapito. Luotettavuus. [viitattu 27.01.2010].  
Saatavissa: <http://www.edu.fi/oppimateriaalit/koneautomaatio/luotettavuus.html>
11. Advantech. Trusted ePlatform services. Tuoteluettelo. [viitattu 02.02.2010].  
Saatavissa: [http://www.advantech.com.tw/products/RS-232-to-RS-422-485Converters/mod\\_GF-5V6L.aspx](http://www.advantech.com.tw/products/RS-232-to-RS-422-485Converters/mod_GF-5V6L.aspx)
12. Advantech. Trusted ePlatform services. Tuoteluettelo.[viitattu 02.02.2010].  
Saatavissa: [http://www.advantech.com.tw/products/1-ch-Analog-Output-Module/mod\\_1-2MLDDH.aspx](http://www.advantech.com.tw/products/1-ch-Analog-Output-Module/mod_1-2MLDDH.aspx)
- 13 Westremo. MD-52. Tuoteluettelo.[viitattu 02.02.2010]. Saatavissa:  
<http://www.westermo.com/Resource.phx/content/products/isolators/md-52.htm>
- 14 Military handbook. Electronic reliability design handbook, 1988.  
[viitattu 06.02.2010]. Saatavissa: <http://www.sre.org/pubs/Mil-Hdbk-338B.pdf>
- 15 M. Enlund. koteloitujen komponenttien yleisimmät vauriomekanismit. Seminaarityö.  
Teknillinen korkeakoulu, 2006. [viitattu 07.02.2010]. Saatavissa:  
<http://www.ept.tkk.fi/Teaching/S1133150/eklund.doc>
- 16 M. Mattila. Lämpötilan vaihteluiden vaikutus vaihtosuuntaajan IGBT- moduuliin.  
Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo,2008  
[viitattu 08.02.2010]. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2008/urn012395.pdf>
- 17 Motorola. Temperature Testing. [viitattu 10.02.2010]. Saatavissa:  
<http://www.motorola.com/testservices/temperature1.html>
- 18 Weidmuller. Tuoteluettelo. [viitattu 11.02.2010]. Saatavissa:  
[http://www.prts.com.au/Support/weidmuller\\_pdf/weid\\_signal.pdf](http://www.prts.com.au/Support/weidmuller_pdf/weid_signal.pdf)

- 19 ABB. Tekninen opas nro 8. Sähköinen jarrutus. [viitattu 03.02.2010]. Saatavissa:  
[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot201.nsf/VerityDisplay/2E30F9C0E2D07B9AC1256D28004152DF/\\$File/Tekninen\\_opasno8.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot201.nsf/VerityDisplay/2E30F9C0E2D07B9AC1256D28004152DF/$File/Tekninen_opasno8.pdf)

```
"ACS355 10 min Load Cycle", ""
"->9 min/100% load + 1 min/150% load ", ""
" ", ""
"Initializing testing system", ""
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,4"
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,5"
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,6"
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,7"
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,8"
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,9"
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,26"
"Switch off Channel", "DIO_WRITE_OFF 0,29"
"Check feedback, Ch.30", "DIO_TEST 0, 30,0"
"Check feedback, Ch.0", "DIO_TEST 0, 0,0"
"Check feedback, Ch.1", "DIO_TEST 0, 1,0"
"Check feedback, Ch.2", "DIO_TEST 0, 2,0"
"Check feedback, Ch.3", "DIO_TEST 0, 3,0"
"Check feedback, Ch.4", "DIO_TEST 0, 4,0"
"Check feedback, Ch.5", "DIO_TEST 0, 5,0"
"Check feedback, Ch.23", "DIO_TEST 0, 23,0"
"Switch on Channel", "DIO_WRITE_ON 0,1"
"Switch on Channel", "DIO_WRITE_ON 0,2"
"Switch on Channel", "DIO_WRITE_ON 0,3"
"Delay 2s", "TEST_DELAY 2000"
" ", ""
"Initialize DUT", ""
"Initializing COM", "COM_OPEN_RS232 COM5"
"Open hidden lock", "COM_UNLOCK_HIDDEN COM5"
"Reset Factory settings", "COM_WRITE COM5,10511,4012"
"Delay 5 s", "TEST_DELAY 5000"
"Open hidden lock", "COM_UNLOCK_HIDDEN COM5"
"Read DUT Fault", "COM_READ COM5, 0401"
"Set Standard macro", "COM_WRITE COM5,9902,1"
"*Set Motor parameters*", ""
"Set Motor Voltage", "COM_WRITE COM5,9905,400"
"Set Motor Current", "COM_WRITE COM5,9906,295"
"Set Motor Frequency", "COM_WRITE COM5,9907,500"
"Set Motor Speed", "COM_WRITE COM5,9908,1468"
"Set Motor Power", "COM_WRITE COM5,9909,150"
" ", ""
"Initialize MD", ""
"Stop MD", "OPC_WRITE 0, Stop, 1"
"RESET MD FAULT", "OPC_WRITE 0,Reset,1"
"Set MD High TQ limit", "OPC_WRITE 0,Torque_max, 2"
"Test MD TQ", "OPC_TEST 0,Torque_max, 2, 2"
" ", ""
"Start DUT (asetetaan DI1 arvoksi 1)", ""
"Digital I/O forcing selector: DI1 to 1", "COM_WRITE COM5,10301,1"
"Digital I/O forcing data: DI1 to 1", "COM_WRITE COM5,10302,1"
" ", ""
"Kiihdytetään DUT nominaaliseen nopeuteen (noin 1500rpm)", ""
"REF1 MIN (AI1 minimi arvo)", "COM_WRITE COM5,1104,500"
"Delay 5 s", "TEST_DELAY 5000"
" ", ""
"Varmistetaan että DUT starttasi oikein", ""
"Read DUT Fault", "COM_READ COM5, 0401"
"Read DUT Speed", "COM_READ COM5, 0102"
"Read DUT TQ", "COM_READ COM5, 0105"
"Read DUT Temp", "COM_READ COM5, 0110"
"Read DUT Current", "COM_READ COM5, 0104"
```

```
"Read DUT UDC","COM_READ COM5, 0107"
" ", ""
"Start MD (1000rpm)", ""
"Set MD speed","OPC_WRITE 0,Reference,1000"
"Set MD Low TQ limit","OPC_WRITE 0,Torque_min, 0"
"Set MD High TQ limit","OPC_WRITE 0,Torque_max, 0"
"Start MD","OPC_WRITE 0,Start,1"
"Delay 5 s","TEST_DELAY 5000"
" ", ""
"Varmistetaan että MD starttasi oikein", ""
"Read DUT Fault","COM_READ COM5, 0401"
"Read DUT Speed","COM_READ COM5, 0102"
"Read DUT TQ","COM_READ COM5, 0105"
"Read DUT Temp","COM_READ COM5, 0110"
"Read DUT Current","COM_READ COM5, 0104"
"Read DUT UDC","COM_READ COM5, 0107"
" ", ""
" ", ""
"***Load Sycle*** ", ""
" ", ""
"Set Nominal load (23.1A)", ""
"Set MD High TQ limit","OPC_WRITE 0,Torque_max, 70"
"Delay (9 min)","TEST_DELAY 540000"
"Meas Nom load end", ""
"Check DUT Fault","COM_TEST COM5, 0401, 0,0"
"Read DUT Speed","COM_READ COM5, 0102"
"Read DUT TQ","COM_READ COM5, 0105"
"Read DUT Temp","COM_READ COM5, 0110"
"Read DUT Current","COM_READ COM5, 0104"
"Read DUT UDC","COM_READ COM5, 0107"
" ", ""
"Set 150% load (34.65A)", ""
"Set MD High TQ limit","OPC_WRITE 0,Torque_max, 108"
"Delay (1 min)","TEST_DELAY 60000"
"Meas 150% load end", ""
"Check DUT Fault","COM_TEST COM5, 0401, 0,0"
"Read DUT Speed","COM_READ COM5, 0102"
"Read DUT TQ","COM_READ COM5, 0105"
"Read DUT Temp","COM_READ COM5, 0110"
"Read DUT Current","COM_READ COM5, 0104"
"Read DUT UDC","COM_READ COM5, 0107"
" ", ""
" ", ""
"Stop Drives ", ""
" ", ""
"Stop MD", ""
"Stop MD","OPC_WRITE 0, Stop, 1"
"Stop DUT (asetetaan DI1 arvoksi 0)", ""
"Digital I/O forcing selector: DI1 to 0","COM_WRITE COM5,10301,0"
"Digital I/O forcing data: DI1 to 0","COM_WRITE COM5,10302,0"
" ", ""
" ", ""
"End of Whole Test Sequence", ""
```



**Cu-KAAPELIT**  
 2xCu185 = 2xMCM 4x185/95 2x365 A  
 2xCu150 = 2xMCM 4x150/75 2x280 A  
 Cu120 = MCM 4x120/75 200 A  
 Cu100 = MCM 4x100/75 160 A  
 Cu80 = MCM 3x80/75 120 A  
 Cu63 = MCM 3x63/75 100 A

**HUOM**  
 xxxA (yyyA) ≙ KUORMITETTAVUUS +25° C (MITOITUSVIRTA)

LOPPUPÄÄTYS 20.4.2010 ABB OY DRIVES, PK			
Luokka / Muutos	Kurssi/tila	Valmistajan merkintä	Ääni
46	46018		
Käynnistämispöytä		Pöytätyyppi	Luokka: inv.
Käynnistämisen nimi ja osate		Projektin nimi	Mittakaavat
		KOESTUKSEN JÄRJESTELMÄKAAVIO	
ABB OY, DRIVES Kestotestipaikka KONEHUONE 1 HIMOTIE 13 00380 HELSINKI		Projektinumero	Maailmanlaajuinen
Insinööri/toimitus GLOF GRANLUND OY Malminkatu 21, PL 59, 00701 HELSINKI Puh. 010 759 2000, Fax. 010 759 2421		CAO	06930/P075(CAO)SAH Loppupäätös/Kaavio/3000.dwg
Proj. / Mito.	Valmistajan suunnittelu	Projektinumero	Maailmanlaajuinen
MNo	MNo	H06930/P075	SAH 3000
20.4.2010	WU	Matti Urp. ins	







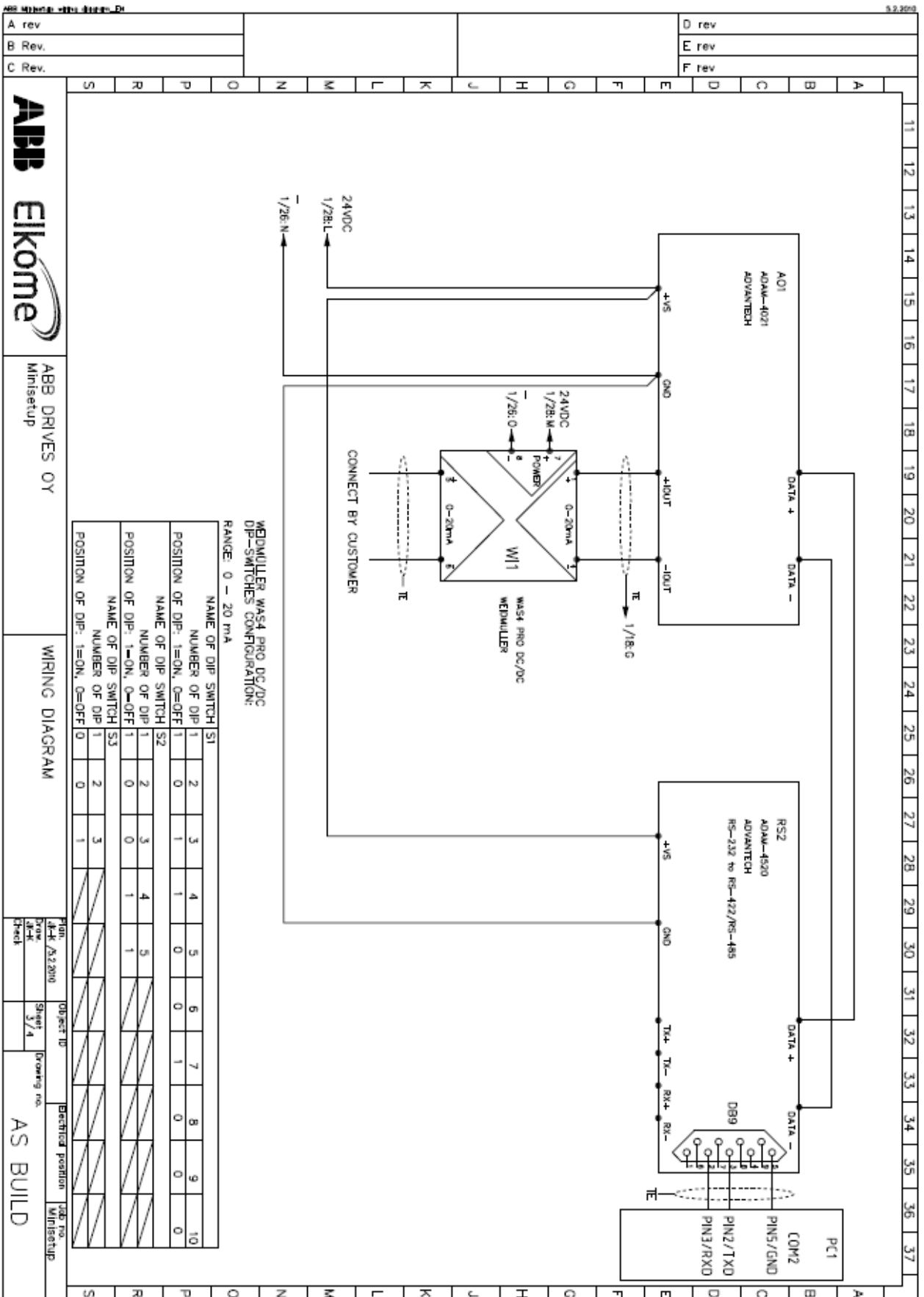


ABB Minisetup v10.000-Dr

5.2.2010

A rev	D rev
B Rev.	E rev
C Rev.	F rev

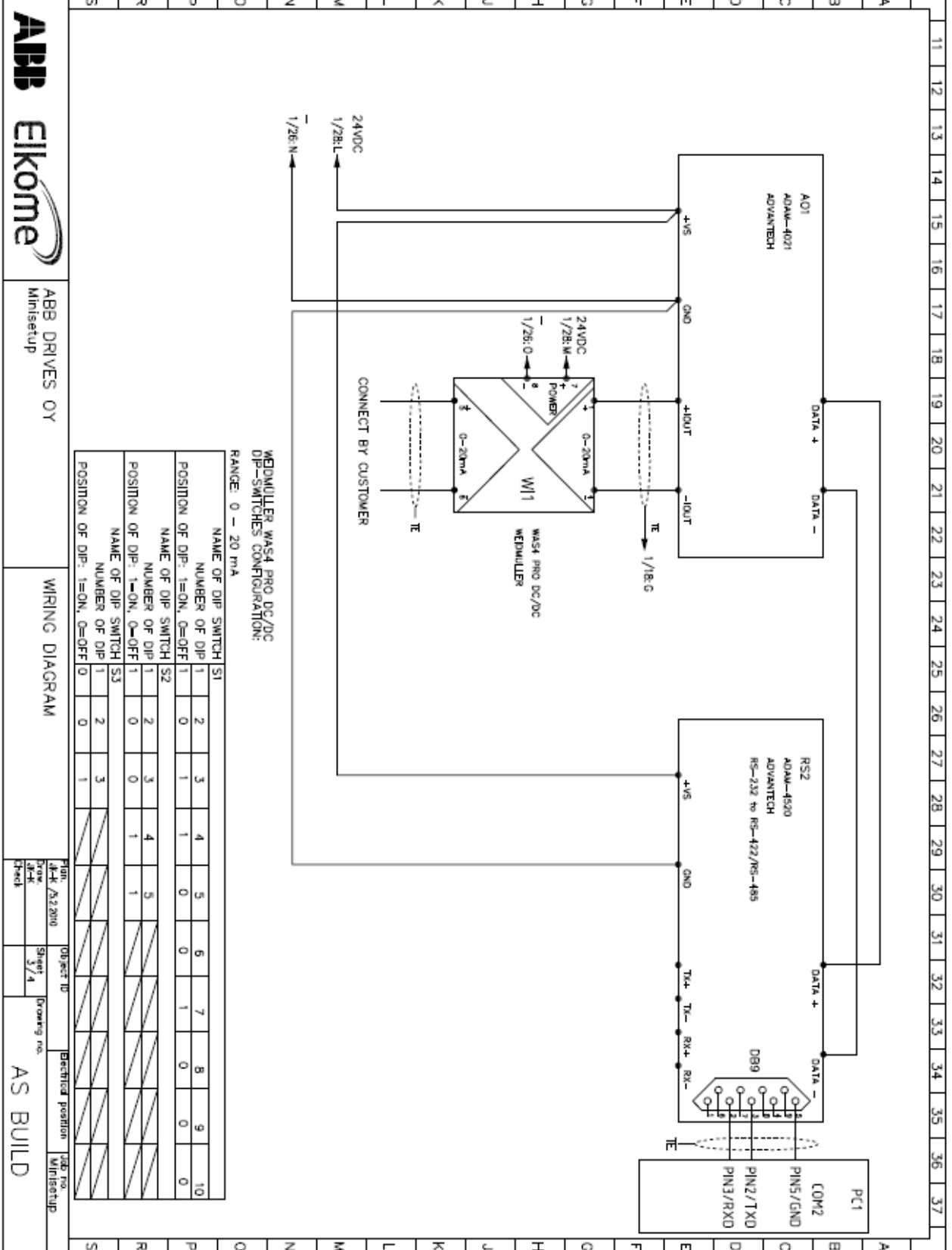


ABB DRIVES OY  
 Minisetup

WIRING DIAGRAM

Pin: /A/2/2010  
 Draw: 3/4  
 Sheet: 3/4  
 Check: [ ]

Object ID: [ ]  
 Drawing no.: [ ]  
 Detected position: [ ]  
 Job no.: [ ]  
 Wiresetup: [ ]

**AS BUILD**

