

Mikko Soisalo

Koestuksen optimointi; kuormitus ja lämpötila ACS880-104LC-0860A-7 R9iLC

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatio YAMK

Insinöörityö

Tekijä Otsikko	Mikko Soisalo Koestuksen optimointi; kuormitus ja lämpötila
Sivumäärä Aika	44 + 2 liitettä 18.5.2018
Tutkinto	YAMK
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	-
Ohjaajat	Kansainvälinen korjaamoverkostopääällikkö Kimmo Hirvonen Lehtori Jukka Karppinen
<p>Tämä insinööri työ toteutettiin ABB Oy Drives Service Workshop osastolle. Työssä suunniteltiin korjaamon takuukorjatuille ACS880-104LC-0860-7 R9iLC kokoluokan tuulivoimalassa käytettävien taajuusmuuttajien kuristinkuormitus- ja moottoritestauslaitteisto. Eri tehoilla kuristinkuormilla voidaan myös ajaa minkä tahansa teholuokan taajuusmuuttajaa. Kuristinkuormalaitteiston tarkoituksena on parantaa korjaamon testiajoja entisestään ja näin parantaa testiajon laatua. Merkittävä parannus on rinnanajo nimellisellä syklisellä kuormala. Kuristinkuormalaitteisto on myös edullisempi ratkaisu kuin vastaavaan käyttöön tarvittavat moottoriparit, jotka ovat kiinteästi kiinni toistensa akselissa.</p> <p>Lähtökohtana oli tehdä suunnittelutoimistolle tekninen määritelmä kuristinkuormalaitteiston ja siihen kytkettyjen taajuusmuuttajien sähkönsyötöstä sekä näiden turvallisesta testauslaitteistosta. Toteutuksen alihankinnan valvonta oli osa projektia. Lisäksi työssä mitoitettiin taajuusmuuttajille sopivat kuormakuristimet ja selvitettiin kuristinkuorman toimintaa sekä matemaattista mallia.</p> <p>Pääpaino oli kuormituksen optimoinnissa tehon ja lämpötilan suhteen, sekä syklisen testauksen toteutus ensimmäistä kertaa DSW verkostossa. ALT ja HALT testauksista saadun laboratoriotiedon käytännönläheinen hyödyntäminen ja toteutus oli merkittävä osa työtä.</p> <p>Insinööri työssä on selvennetty taajuusmuuttajan IGBT rakennetta ja sen tunnettuja vikamekanismeja sekä hankitun kuristinkaappimallin CLU-880 toimintaa. Taustatyönä selvennettiin, kuinka voidaan mitoitaa kuristimelle oikeanlainen taajuusmuuttaja. Mitoituksella saadaan aikaiseksi nimellinen kuormitusarvo testattavalle taajuusmuuttajalle.</p> <p>Työn pohjalta saadut tiedot kuristinlaitteistojen hankinnalle ja toteutukselle on hyödynnetty täysin ABB Oy Drives Service Work Shop China toteutuksessa. Työtä voidaan pitää onnistuneena, sillä se on lähes suoraan kopioitavissa ympäri maailmaa ABB Oy DSW verkostossa.</p>	
Avainsanat	taajuusmuuttaja, kuristinkuorma, IGBT, nestejäähdytys, ABB DSW

Author Title	Mikko Soisalo Testing optimization; load and temperature
Number of Pages Date	44 pages + 2 appendices 18 May 2018
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation Engineering
Specialisation option	-
Instructors	Kimmo Hirvonen, Global DSW manager Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>This engineering work was carried out at ABB Oy Drives Service Workshop. In the work, repair workshop for the warranty repaired ACS880-104LC-0860-7 R9iLC size wind turbine used modules with load and testing equipment. Different powered choke loads can also drive any of the power class AC drives. The purpose is improve the repair of the workshop and also improve the quality of the load test run. A significant improvement is the parallel nominal cyclical load. The choke load system is also a cheaper solution than the motor pair required for the corresponding operation,-which are securely attached to one another by the shaft.</p> <p>The starting point was to define for the design company with the specification of the power supply of the choke testing equipment and its connected inverters, as well as the safe testing environment of the inverter frequency converter. Monitoring the subcontracting of the implementation was part of the project. Also the work was designed for the frequency converter load chokes and the function of the choke load and the mathematical model were studied.</p> <p>The main emphasis was on optimizing the load for power and temperature also cyclic testing the first time in the DSW network. The utilization and implementation about knowledge of the laboratory ALT and HALT testing results was a significant part of the work.</p> <p>The thesis has clarified the structure of the IGBT of the drive and its known fault mechanisms as well as the operation of the CLU-880 unit. The background to the work was clarified on how to mathematically can be found out the correct choke for the inverter. Results in a nominal load on the frequency converter.</p> <p>The information obtained on the basis of the work on the acquisition and implementation of the testing equipment has been fully exploited by ABB Oy Drives Service Work Shop China. Work can be considered a success because it can be almost directly copied around the world in the ABB Oy DSW network.</p>	
Keywords	drive, choke load, IGBT, liquid cooling, ABB DSW

Sisällys

1	Lyhenteet	5
2	Johdanto	6
3	Insinööriyön tavoitteet	7
4	Tutkimuskysymykset	7
5	Rajaukset	8
6	Resurssit ja organisaatio	8
7	Tuulivoimapuisto	9
	7.1 Tuulivoimala	9
8	Testilaitteisto- ja systeemi	10
	8.1 Testilaitteiston ohjausjärjestelmä	11
	8.2 Drive composer pro- ohjelma	12
	8.3 BCU- ohjausyksikkö	13
	8.4 Testilinjan moduulit ja sisäisen jäähdytysjärjestelmän kaavakuvat	14
	8.5 Moduulin IGBT:n jäähdytyslankun nestekierto	15
	8.6 LCU- pumppuyksikkö	16
	8.7 LC8 Testilinjan jäähdytysnestesysteemin rakenne	18
	8.8 Jäähdytysneste Clariant Antifrogen L	19
	8.9 Jäähdytysneste	19
	8.10 Jäähdytysneste Clariant Antifrogen L ja ABB Oy Drives Service	19
	8.11 Jäähdytysjärjestelmän toimintaselostus	20

9	Kuristin ja kuristin kuormituksen matemaattinen mallinnus	21
9.1	Kuristimen tekniset tiedot	21
9.2	Kuristin ja matemaattinen mallinnus	22
9.3	Kuristimen kuormitusperiaate	23
9.4	Kuristimen mitoitus	23
9.5	Kuristin keinokuormitus	26
10	Testauksen kuormitusvaiheessa käytetty ohjaustapaskalaari	27
11	IGBT perusrakenne	28
12	Tunnetut virheet ja vikamekanismit tehosyklissä	29
12.1	Liitoslangan virheet ja vikaantuminen	29
12.2	Juotosvirhe eli delaminaatio	30
13	Kiihdytetyt testausmenetelmät	30
13.1	HALT-menetelmä	31
13.2	ALT-menetelmä	31
13.3	ALT- ja HALT- menetelmäteoria testausyklissä	32
14	Tehosyklaus ja lämpösyklaus	33
14.1	Lämpösykli	33
14.2	Tehosykli	34
15	Liitoslämpötila	35
16	Johtopäätelmät	36
17	Viitteet	38
18	Liite 1 ACS880 2x R9iLC 0860A-7 60 MIN CYCLIC LOAD makro ohjelma	1
19	Liite 2 ACS880 2x R9iLC 0860A-7 60 MIN CYCLIC LOAD kuvaaja	3

1 Lyhenteet

ABB	Asea Brown Boveri	
DSW	Drives Service Workshop	Tajusmuuttaja korjaamo
DTC	Direct Torque Control	Suora momenttisäätö
SCALAR	Scalar control	Skalaari säätö
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor	Eristehilatransistori
MTTF	Mean Time To Failure	Keskimääräinen vikaantumisaika
USB	Universal Serial Bus	Tietokoneen sarjaväylä
DC	Direct Current	Tasavirta
AC	Alternative Current	Vaihtovirta
ALT	Accelerated life test	Kiihdytetty elinikä testi
HALT	Highly accelerated life test	Erittäin kiihdytetty elinikätesti
PT	Punch-Through	Läpilyövä
NPT	Non-Punch-Through	Ei-läpilyövä
SD	Secured Data	Suojattutieto
TIM	Thermal Interphase Material	Lämmönsiirtotahna
LCU	Liquid Cooling Unit	Jäähdytysyksikkö
RDCU	Drive Control Unit	Ohjausyksikkö
PI	Proportional-integral	Suhde integroiva säädin
BCU	Control Unit	Ohjausyksikkö
ID-Run	Identification Run	Identifikointi ajo

2 Johdanto

Insinööri työ käsittelee ABB Oy:n valmistamien taajuusmuuttajien huollon ja korjauksen jälkeistä testausprosessia Drives Service Workshop ympäristössä. Työssä esitellään toimivan testausprosessin viimeinen vaihe sekä kaksi tunnettua vikaa ja metodi näiden vikojen löytämiseksi. Työn tulosta hyödynnetään taajuusmuuttajien korjausprosessin laadunvarmistuksessa. Laitteissa ilmenevät viat voidaan korjata testien jälkeen, ja näin parantaa laitteen toimivuutta. Testien avulla voidaan varmistaa asiakkaiden tyytyväisyys tuotteeseen ja parantaa yrityksen markkinaosuutta kasvavasta tuulisähkömarkkinasta.

Työn aihe oli ACS880-104LC R9iLC moduulin koestuksen optimointi ja kuristin kuormitus. Insinööri työssä parannettiin koestuksen laatua vastaamaan paremmin asiakkaan käyttöä. Tämä moduulityyppi on käytössä tuulivoimalassa. Yleisimpiä laitteeseen kohdistuvia rasitteita ovat korkea tai matala lämpötila, kosteus, värinä ja laitteeseen kytketty kuormitus. Jokainen yksittäinen rasite tai rasitteiden erilaiset yhdistelmät lyhentävät laitteen elinikää. Tässä työssä keskityttiin erityisesti korkean lämpötilan ja kuormituksen vaikutuksiin kiihdytetyissä laaduntarkkailutesteissä.

Tavoitteena oli löytää korjausprosessissa tapahtuvat puutteet ja inhimilliset virheet sekä komponenttien laaturvirheet. Edellisen tuoteperheen moduulin ACS800-104LC R8iLC korjausprosessissa oli vuosien aikana havaittu puutteita. Nämä puutteet aiheuttivat asiakastytyväisyyden heikkenemistä. Korjausprosessia oli parannettu resurssien salliessa.

Suuren investoinnin myötä koestuslinja sekä kuormitustekniikka uudistettiin. Projekti on aloitettu investointi- ja tekniikkakartoituksella jo 2015 vuoden aikana. Saman vuoden aikana tehtiin suunnittelun spesifikaatio ja suunnittelu toteutettiin. Keväällä 2016 linja valmistettiin ja asennettiin. Käyttöönotto tehtiin kesän aikana. Syksyllä 2016 insinööri työn aihe koestuksen optimointi ja kuristin kuormitus olivat projektivuorossa.

3 Insinööriyön tavoitteet

Työn tavoitteena oli kartoittaa nykytila ja tämän hetkisen tilan parannustarve. Staattinen kuormitusajo puolella kuormalla yksi laite kerallaan muutettiin sykliseksi täydellä kuormalla rinnan kytketyksi kuormitusajoksi. Tavoite oli laiteparin välisen virran tasapainon parantuminen. Vanha virtojen ero oli ollut 12 %. Tavoite oli 2 % virtaero laiteparin välillä. Jatkossa tavoitteena voisi olla 1 % virtaero laiteparin välillä, jos tämä katsotaan tarpeelliseksi ja mahdolliseksi toteuttaa.

Insinööriyössä haluttiin ratkaista asioita käytännönläheisesti. Työn tavoite oli vastata asiakastarpeeseen onnistuneesti. Kuormituskoestus vastaa paremmin asiakkaan käyttöä laitteen lämpötilojen ja kuormituksen osalta.

Työn tavoitteena oli parantaa tunnettujen vikamekanismien löytämistä testauksen aikana. ABB Oy:n omissa tutkimuksissa ALT ja HALT menetelmillä virheelliset IGBT:t ovat vikaantuneet aikaisemmin kuin valmistajan antaman spesifikaation mukaan kuuluisi. Tutkimuksissa käytetyt teho- ja lämpökuormitusyykli olivat osoittaneet osan tuotteista olevan virheellisiä vaikka vikaantumista tuotteelle ei ollut tapahtunut. Tässä työssä esitetty kuormitusyykli ei ole HALT testausta. Työssä esitetty lopputulos perustuu ALT ja HALT menetelmiin ja sen avulla tehtiin useisiin ABB Oy:n sisäisiin tutkimuksiin ja havaintoihin sekä päätelmiin.

4 Tutkimuskysymykset

- Mikä on nykytila ja miten sitä parannetaan?
- Kuinka asiakaslähtöisyyttä ja -tyytyväisyyttä parannetaan?
- Mitkä ovat tekniset toimenpiteet funktionaalisessa testauksessa?
- Kuinka tunnetut vikamekanismit ja virheelliset osat löydetään testauksessa?
- Kuristin kuormituksen matematiikka ja sen käytännönläheinen ymmärtäminen

5 Rajaukset

Työnä oli ACS880LC R9i kuristin kuormituksen ja lämpötilojen optimointi. Työn kirjalliosassa ei käsitelty alla lueteltuja työhön liittyviä ja tehtyjä toimenpiteitä:

- Tarpeen määrittely
- Rahoitus
- Suunnittelu
- Asennus
- Käyttöönotto
- Ohjeistus

Työssä keskityttiin kuormitusyklin ja lämpötilojen optimoimiseen halutulle tasolle, joka vastaa paremmin asiakkaan käyttöä. Tavoite oli parantaa korjauksen laadunvarmennusta sekä tuoda tämän hetken tutkimustiedon osat käytäntöön kokonaisuudeksi. Kuormitusyklin tavoite oli löytää tuntemattomat sekä tunnetut IGBT vikamekanismit.

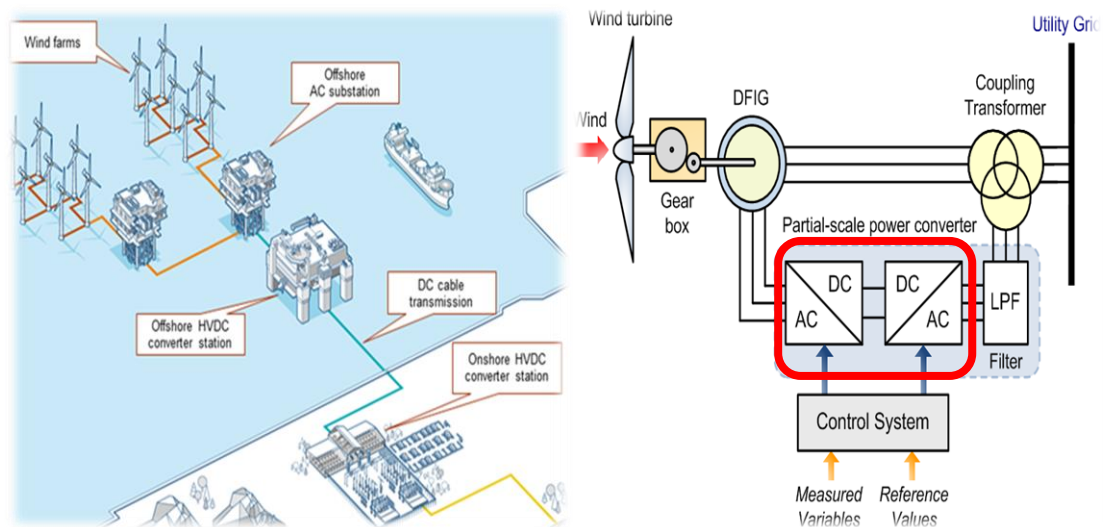
6 Resurssit ja organisaatio

Tämän insinööriyön resurssit olivat laajat ja kattoivat lähes koko ABB Oy organisaation. Kun päätös investoinnista oli tehty, resursseja tähän projektiin saatiin tarvittaessa. Lupa rahoitukseen tuli korkeammalta johdolta yhteistyössä teknisten vastuuhenkilöiden kanssa. Tekniset vastuuhenkilöt ovat osastokohtaisesti jatkaneet projektia. Spesifikaatioiden määrittely, yhteistyö suunnitteluorganisaation kanssa sekä alihankinnan valvonta ovat olleet Drives Service Workshop Finland eli DSW FI organisaation vastuulla.

7 Tuulivoimapuisto

Esimerkki tuulivoimalan tiedot:

- Tuulivoimalassa on 16 tajuusmuuttajaa
- AC \ DC osassa on 8 moduulia
- DC \ AC osassa on 8 moduulia
- Moduulin teho on 1000A
- Tuulivoimalan ilmoitettu teho on suurin piikkiteho 8 MW



Kuva 1. Tuulivoimapuisto ja tuulivoimala yksinkertaistettu kaavakuva [25][26][27]

7.1 Tuulivoimala

Tuulivoimalaa kutsutaan myös tuuliturbiiniksi. Tuuliturbiinilla tuulen liike-energia muutetaan generaattorin avulla sähköenergiaksi. Generaattorin tuottama sähkö säädetään sähköverkkoon sopivaksi taajuusmuuttajilla. Suuremmilla tehoilla käytetään pääsääntöisesti vain vaaka-akselisia turbiineita, joissa käytetään lapakulmasäätöä ja muuttuvaa pyörimisnopeutta. Kuvassa 1 on esimerkki vaaka-akselisesta tuulivoimalasta ja tuulivoimapuistosta. [25][26][27][28]

8 Testilaitteisto- ja systeemi

Testilaitteisto koostuu testauslinjasta, joka sisältää ohjauksen ja kaksivaiheisen kuormituslaitteiston sekä linjan sisäisen-, että ulkoisen jäähdytysjärjestelmän.

Testilinjassa ohjausjärjestelmä koostuu moduulien ohjauksesta tietokoneen ja ohjausyksikön sekä ohjelmien avulla. Tietokoneella oleva Drive Composer ohjelma ohjaa moduulien automatisoitua testisykliä makrosekvenssillä. Ohjausyksikön muistikulla on WGEL ohjelma, joka on testilinjaversion kahdelle moduulille sovitettu versio tuuli-voimalan ohjauksessa käytetystä ohjelmasta. SD-muistikortille tallennetaan automaattisesti jokaisesta ajosta virtatiedot ennalta määritellyltä aikajaksolta. Muistikortille tallennuu automaattisesti vikatilanteessa viimeisen sadan sekunnin ajalta virtatietoa sekä vikatieto.

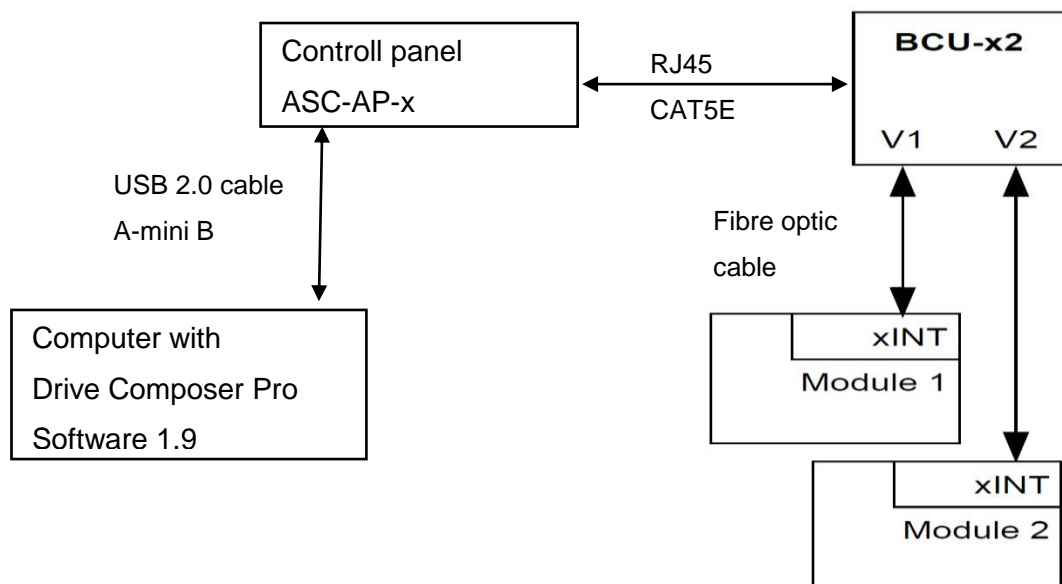
Testauslinja ohjaa kuormitus vaihtoehtoja sekä muita toimintoja. Moduulien kuormitus tapahtuu kaksivaiheisesti. Ensimmäisessä vaiheessa käytetään 500kW sähkömoottoria ID- ajovaiheessa. Toisessa vaiheessa moduulien kuormitus aloitetaan puolella teholla ja suoritetaan nimellisellä teholla sekä yliviralla. Eri kuormitusykyt suoritetaan kuristimien keinokuormalla.

Jäähdytysjärjestelmässä on kaksi erillistä vedenkiertoa, sisäinen ja ulkoinen. Jäähdytyksen ohjaus suoritetaan ulkoisen kierron lämpötilaa säätämällä. Sisäisen ja ulkoisen jäähdytysjärjestelmän osia ovat pumppu, lämmönvaihdin, jäähdyttimet ja puhaltimet. Ilmajäähdytys on toteutettu suljetulla kierrolla. Tuuletin sijaitsee moduulin yläpuolella ja muodostaa alipaineen moduulin sisään.

8.1 Testilaitteiston ohjausjärjestelmä



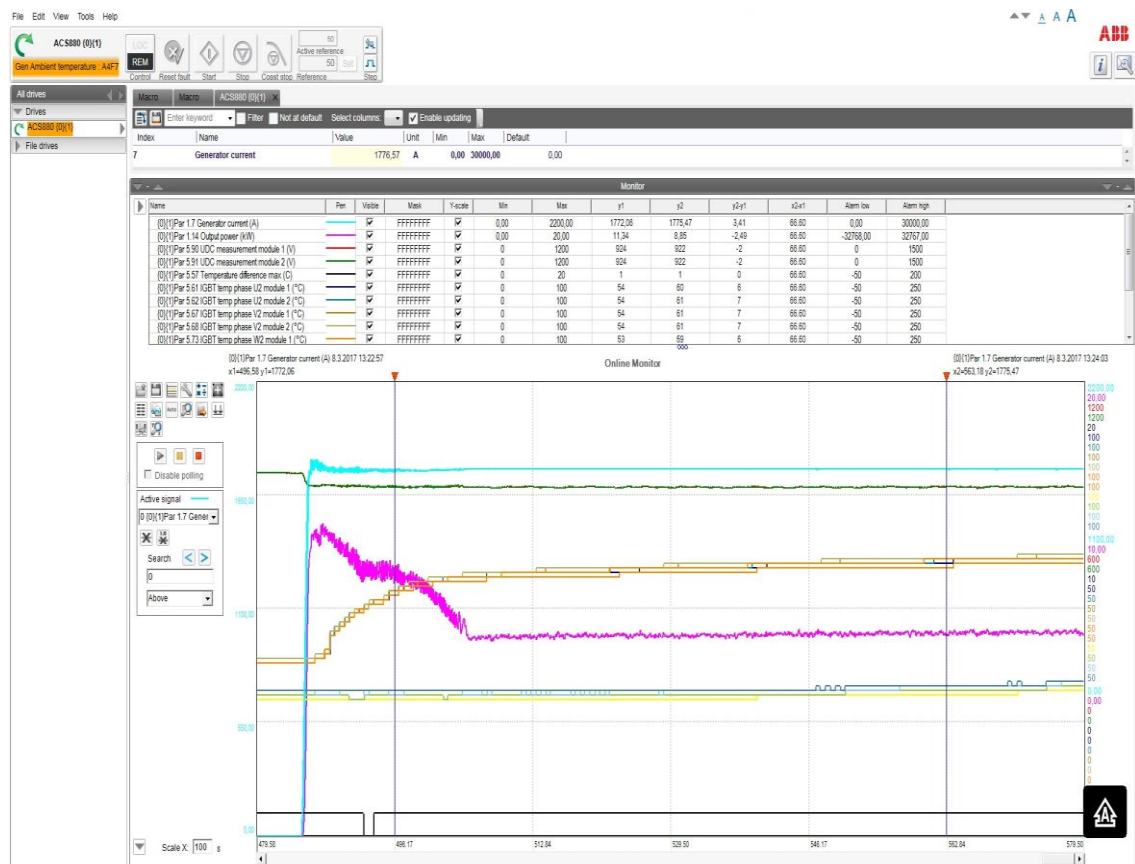
Kuva 2. Ohjauslaitteisto on tietokone ja BCU-ohjausyksikkö sekä LC8-linjan valintakytkimet



Kuva 3. Yksinkertaistettu kaavakuva ohjaussysteemistä [30][31]

8.2 Drive composer pro- ohjelma

Drive composer pro-ohjelma on ACS880- taajuusmuuttajasarjoille suunniteltu ohjelma, jossa on tarvittavat toiminnot. Drive composer pro on tarkoitettu taajuusmuuttajien ohjaukseen ja valvontaan. Pro- versio tukee kaikkia ominaisuuksia mitä ohjelma tarjoaa. Se tunnistaa liitetyt käytöt automaattisesti eikä erillistä konfigurointia laitteille tarvita. Ohjelmassa on toimintoja taajuusmuuttajien käyttöön ja tietojen tarkkailuun. Ohjaukseen ohjelmasta löytyy manuaaliset käyntiin, seis ja suunta- toiminnot. Sillä pystytään säätämään taajuusmuuttajan nopeus-, momentti- tai taajuusohjetta. Ohjelmalla pystyy perustarkastelun ja käytön tilatietojen tarkastelun lisäksi lukea ja asettaa parametreja sekä tarkastella taajuusmuuttajista tulevia signaaleja joko numeerisessa tai graafisessa muodossa. Ohjelmasta löytyy monipuolisia ja hyödyllisiä lisätoimintoja. Automaattinen vikatilatallennus jossa on peruskäyttäjän taso sekä R & D taso. Pro- versiolla pystyy tallentamaan käyttäjän valitsemia parametreja. Ohjelmalla pystyy luomaan automaattisesti tarkoitettuja ohjelmointi macroscriptejä. Automaattisesti testisekvenssi on tehty Composer Pro macroilla ohjelmituna. [30][31][32][33]



Kuva 4. Ohjelma tarkastelu taajuusmuuttajista graafisessa muodossa tallennustoiminto päällä

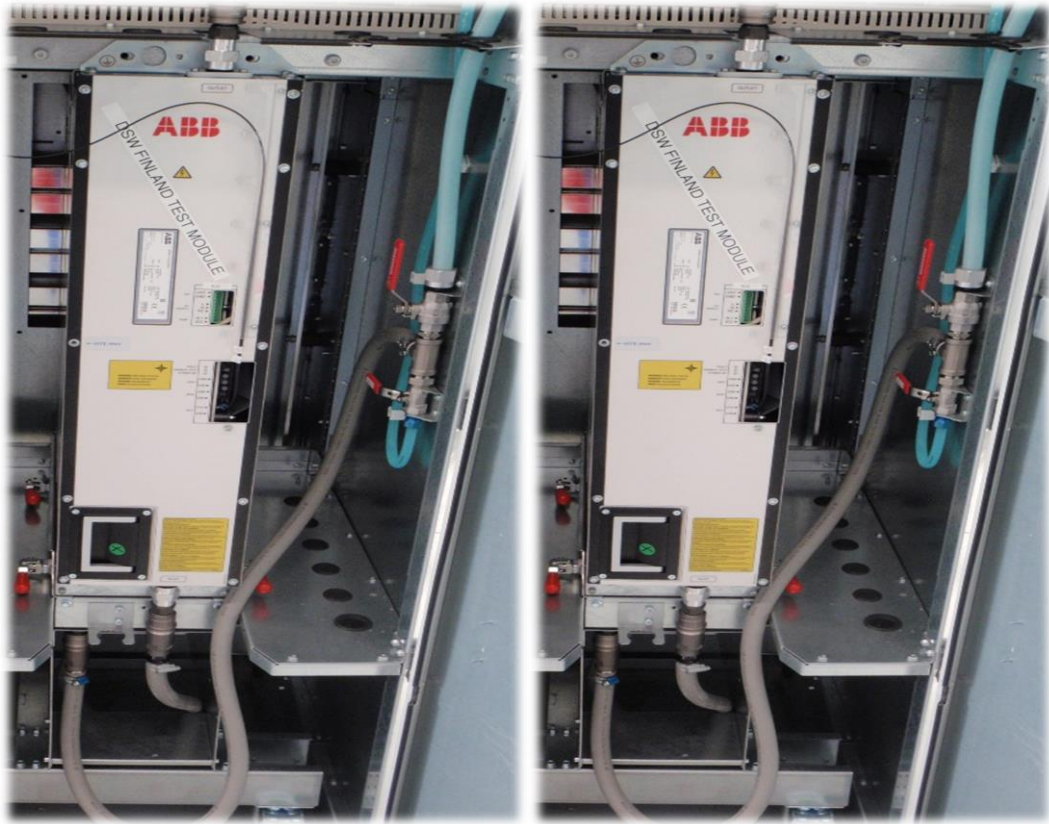
8.3 BCU- ohjausyksikkö

BCU- ohjausyksikkö ohjaa ACS880-104 rinnan kytkettäviä moduuleita. Moduulien määrä vaihtelee kahdesta 12 kappaleeseen. Ohjaukskortin toiminnot ovat nykyaikaisia ja siinä on tarvittavat tämän päivän vaatimukset ja toiminnot valmiina. BCU- yksikössä on monipuoliset ohjauksen toteutusmahdollisuudet. Laajennusosilla saadaan toteutettua verkkoyhteys eri tavoin. Ulkoiset mittauslaitteet sekä suojatunmat toiminnot voidaan toteuttaa lisäosien avulla. SD- muistikortille tietoa voidaan tallentaa eri tavoin. Automaattisesti kortille voidaan tallentaa vikatilannetta edeltävät hetket. Manuaalisesti tai ohjelmoituna muistikortille voi tallentaa myös valittuja parametreja. Näytteenottoaajuutta voi säätää tarpeen ja resurssien mukaan. Tallennettu tieto on merkittävä tekijä kun vikoja analysoidaan. [30][31][32][33]

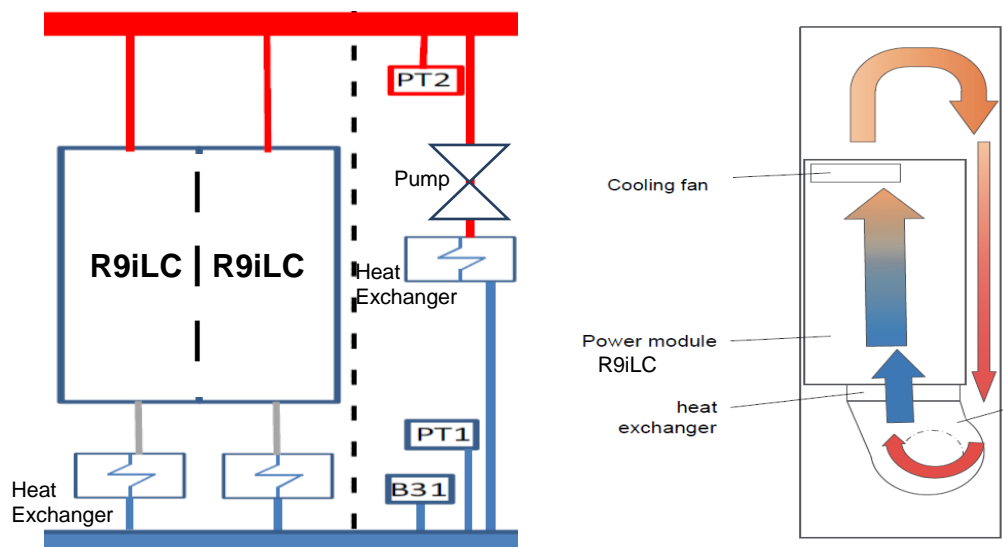


Kuva 5. BCU- ohjausyksikkö: sisääntulot, ulostulot, valokuituliittimet, ohjelmatikku, SD-kortti

8.4 Testilinjan moduulit ja sisäisen jäähdytysjärjestelmän kaavakuvat

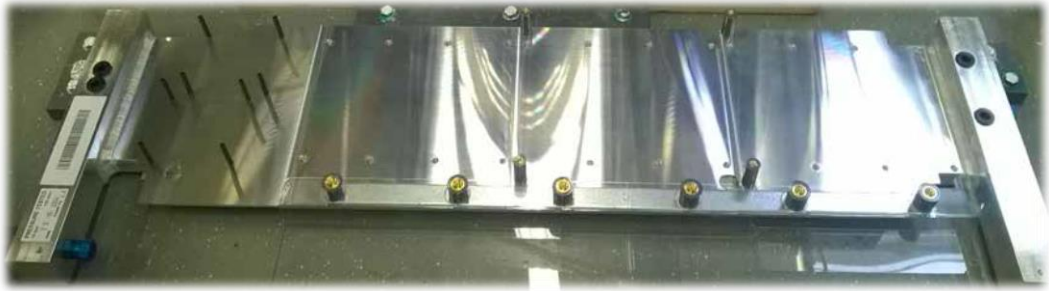


Kuva 6. Rinnan kytketyt ACS880-104LC-0860A-7 R9iLC testimoduulit



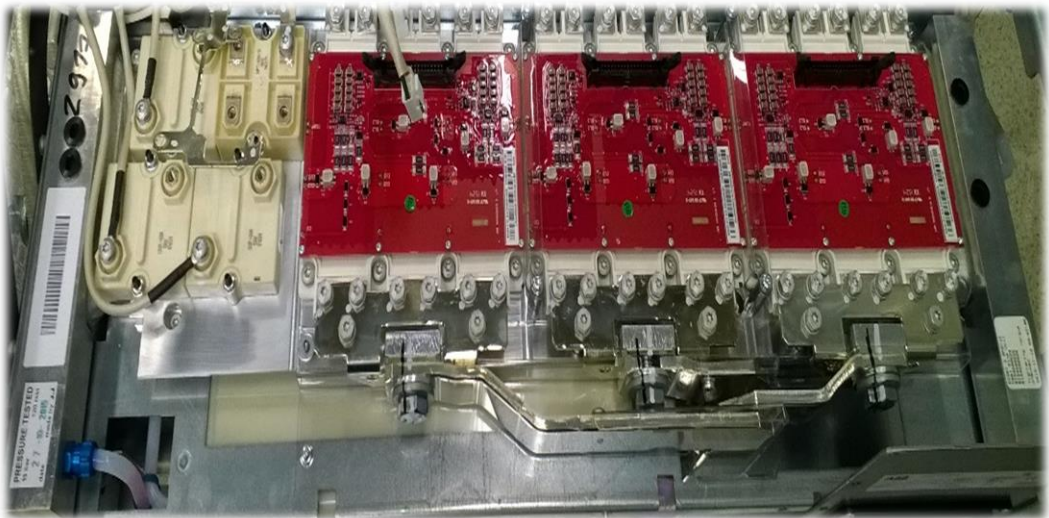
Kuva 7. Yksinkertaistettu kaavakuva jäähdytysjärjestelmästä vedenkierto ja ilmankierto

8.5 Moduulin IGBT:n jäähdytyslankun nestekierto



Kuva 8. Alumiininen jäähdytyslankku

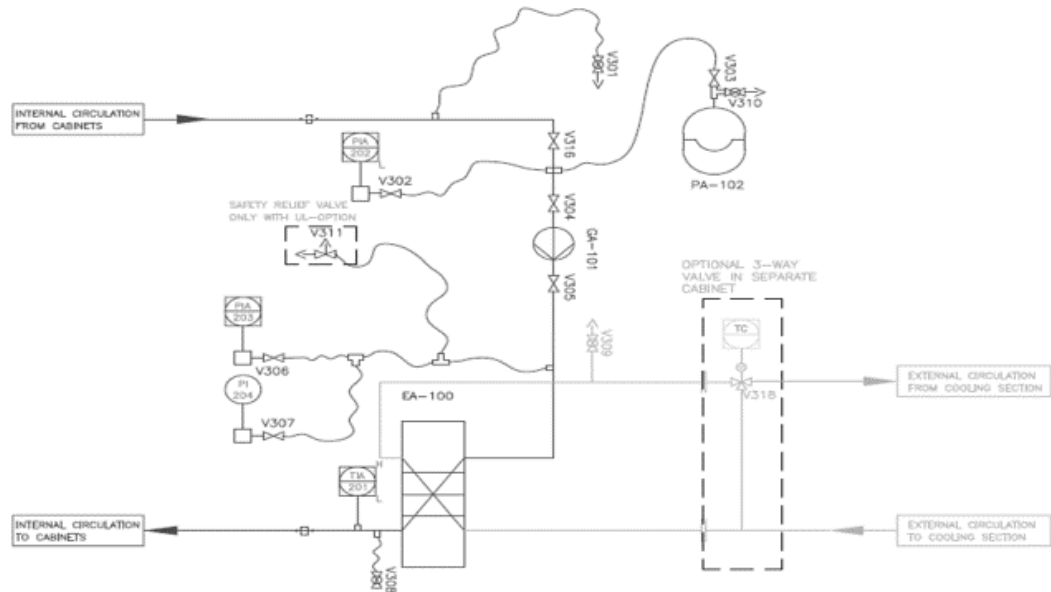
Moduulin jäähdytysnestekierto jäähdyttää päätoimisesti kolmea IGBT- yksikköä. Jäähdytys tapahtuu konvektiolla. IGBT:n ja lankun pohjan välissä on Thermal Interphase Material eli TIM-lämpötahna. Lämpötahna parantaa kontaktia ja jäähdytystehoa. Jäähdytysneste kiertää ennen moduulia jäähdyttimen läpi ja jäähdyttää ilman, joka kulkee moduuliin sisälle. Moduulin alaosan sisääntulossa neste haarautuu. Pienempi haara menee Du/Dt muille komponenteille, suurempi osa nestekiertoa menee IGBT jäähdytyslankulle. Lankun sisällä on kanavia pituussuunnassa jotka on sijoitettu moduuliin pystyasentoon. Alumiinisen lankun saumat ovat laserhitsattu. Jäähdytysneste poistuu moduulin yläosasta, jossa kaikki nestekierto yhdistyy yhdeksi ulostuloksi.



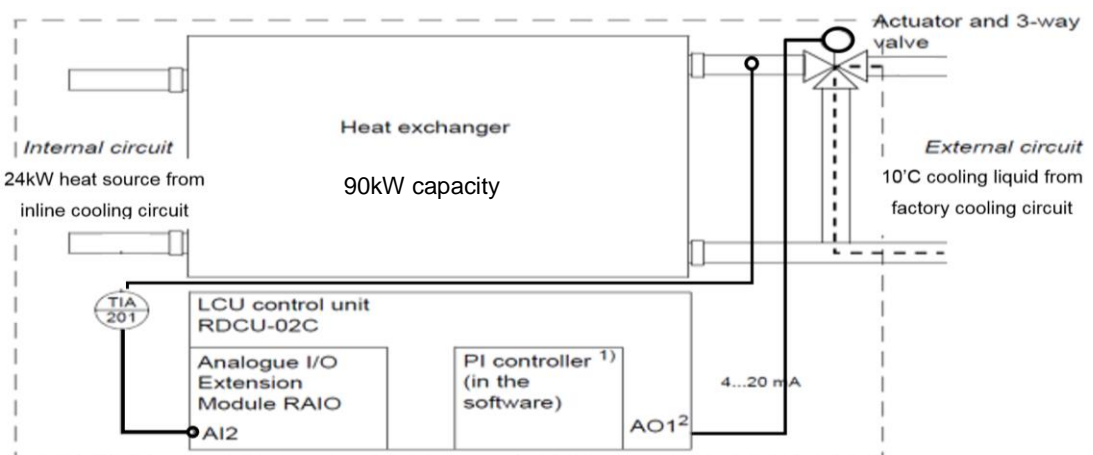
Kuva 9. IGBT ja jäähdytyslankku

8.6 LCU- pumppuyksikkö

Liquid Cooling Unit eli LCU:n pääkomponentit ovat pumppu ja lämmönvaihdin. Muita komponentteja ovat lämpötila- ja paineanturit sekä niiden lähettimet. Yksikössä on myös ohjauskortti RDCU, jossa on sekä analoginen sisään - ja ulostulo sekä digitaalinen sisääntulo. Ohjauskortilla on pumppuyksikön ohjelma, jossa on PI- säädin valmiina. PI- säätimen asetukset asetetaan sopimaan tarpeen mukaan. [36]



Kuva 10. Yksinkertaistettu kaavakuva jäädytysyhteelmästä, sisäinen ja ulkoinen vedenkierto

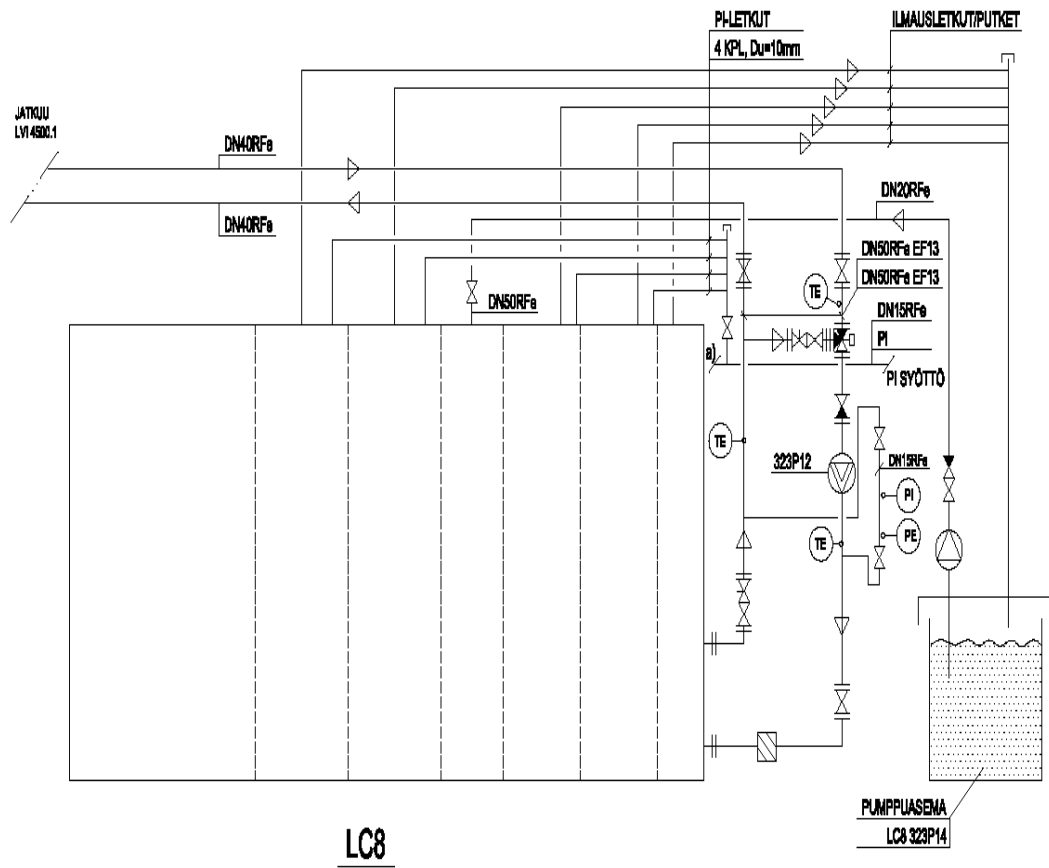


Kuva 11. Yksinkertaistettu lähikaavakuva jäädytysyhteelmästä, vedenkierto ja lämmönvaihdin



Kuva 12. Valokuvia koestuslinjasta, kuristinkaapista sekä jäähdytysjärjestelmästä

8.7 LC8 Testilinjän jäähdytysnestesysteemin rakenne



Kuva 13. PI-kaavio LC8 testilinjän ulkoisesta vedenkierrosta tyhjennys- ja täyttösystemistä.

Pumpun malli on ESP055 (cgp800)
Kolmitie venttiilin malli on Siemens SX4
Tynnyrin tilavuus on 250 litraa
Jäähdytysneste on Antifrogen L 50 % / 50 %
Putket ovat ruostumattomia haponkestäviä teräsputkia ulkohalkaisija
Paluuputket ovat polyamidi muovi putkia ulkohalkaisija
Venttiilit ovat pallo venttiilejä

Taulukko 1. Perustiedot LC8 testilinjän käytetyistä osista

8.8 Jäähdytysneste Clariant Antifrogen L

Clariant Antifrogen® L on kirkas neste, joka on sävytetty siniseksi. Sitä käytetään lämmönsiirtoväliaineena lämpöpumppujärjestelmissä ja elintarviketeollisuudessa esim. panimoissa, meijereissä, jäätelötehtaissa, kylmävarastoissa ja kalanjalostustehtaissa. Tuote inhiboidaan ilman nitriitti-, amiini-, boraatti-, silikaatti- ja fosfaattipitoisuuksia. Korroosionestojärjestelmän optimointi suoritetaan ilman CMR- aineita (syöpää, perimää vaurioittavaa, reprotoottista). [22] [23] [24]

8.9 Jäähdytysneste

Projektin alkuvaiheessa jäähdytysnesteenä oli testauksessa sekä akkuvesi, että tavallinen hanavesi. Molemmat todettiin jäähdytystehoiltaan riittäviksi tässä systeemissä. Vesien muut ominaisuudet estivät niiden käytön. Akkuveden korroosioiva vaikutus testattavan moduulin jäähdytysysteemissä esti sen käytön. Hanavedessä merkittävin syy sopimattomuudelle oli bakteerikasvusto. Vesikierron suljetussa systeemissä veden lämpötila vaihteli 20–60 celsiusasteen välillä. Suurimman osan ajasta veden lämpötila on n.40°C astetta, joka on bakteerikasvuston kanalta lähes optimilämpötila. Veden neutraali pH arvo lisää myös bakteerien kasvua. [12] [13]

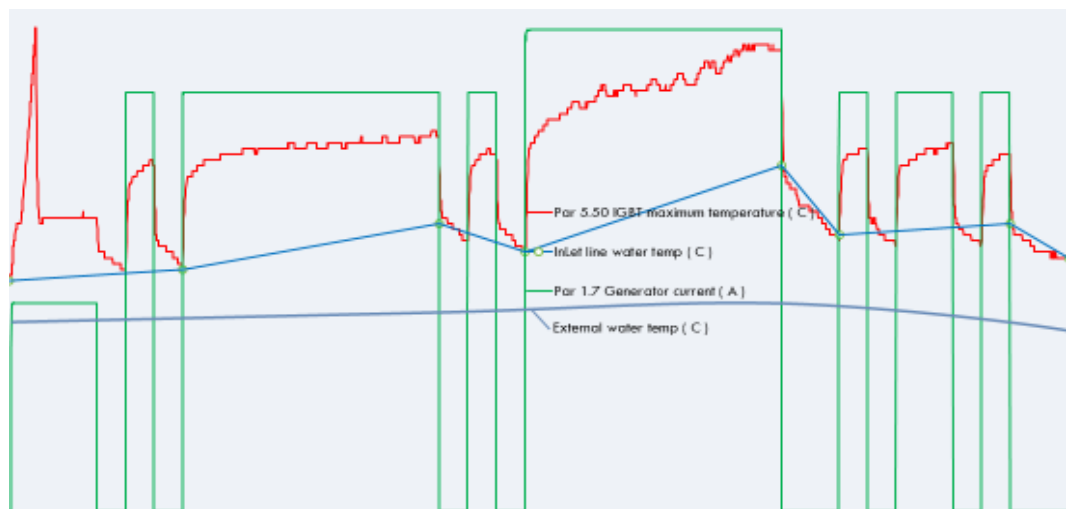
8.10 Jäähdytysneste Clariant Antifrogen L ja ABB Oy Drives Service

ABB Oy Drives Service organisaation yksi kehitys ja muutoskohde ovat vuodelle 2017 kauppanimellä oleva Clariant Antifrogen L jäähdytysnesteiden käytön lisääminen. Pohjatyöt ja tiedot on tehty 2015–2016 vuosien aikana. Myös edellisten vuosikymmenien tieto jäähdytysnesteistä on ollut merkittävässä osassa kun Clariant Antifrogen L jäähdytysnesteiden käyttöön päädyttiin. Tuote otettiin käyttöön Drives Service Workshop Finland yksikössä ensimmäisten joukossa. Käytännön kokemuksen kerääminen oman organisaation sisällä uuden tuotteen ominaisuuksista pidemmällä aikavälillä on merkittävä etu huoltonäkökulmasta. [14]

Jäähdytysneste Clariant Antifrogen L on ominaisuuksiltaan sopiva ACS880-104LC tuoterperheen kanssa. Nesteen ominaisuuksissa huomioidaan käytetyt materiaalit ja olosuhteet sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuotteessa on jäätymisen esto- ja antikorrosio-ominaisuudet sekä levä- ja bakteerikasvuston hallinta-aineita. Edellä mainituista yksityiskohdista sekä ABB Oy:n omista tutkimuksista lopputuloksena on vaatimuksena asiakkaille käyttää valmista 50 % / 50 % vesi Clariant Antifrogen L tuotetta. Osana tätä työtä uuden jäähdytysnesteen käyttöönotto tehtiin ensimmäisenä DSW Finland yksikössä koko kansainvälisessä ABB Oy Drives Service Workshop huolto verkostossa. [22] [23] [24]

8.11 Jäähdytysjärjestelmän toimintaselostus

- Alussa kolmitieventtiili kiinniohjattuna ja pumppu pyörii vakionopeutta.
- Järjestelmä pitää ulkoisen vedenkierronlämpötilan asetusarvossa joka on 33°C.
- Runkoverkon jäähdytysneste on noin 10°C.
- PI- säädin ohjaa kolmitieventtiiliä ja pumppua.
- PI- säädin saa tilatiedot lämpötila-anturilta ja paine-eroanturilähettimeiltä.
- Kun tavoitelämpötila on saavutettu kolmitieventtiili ohjataan aukeamaan.
- Pumpun nopeus säättyy paine-eroanturilta tulevan tiedon mukaan.
- Pumppu pitää ulkoisen vedenkierron paineen ja virtauksen vakiona.
- Kun kolmitieventtiili on täysin auki nostetaan pumpun nopeutta tarvittaessa.
- Lopussa kolmitieventtiili kiinni ohjattuna ja pumppu pyörii vakionopeutta.



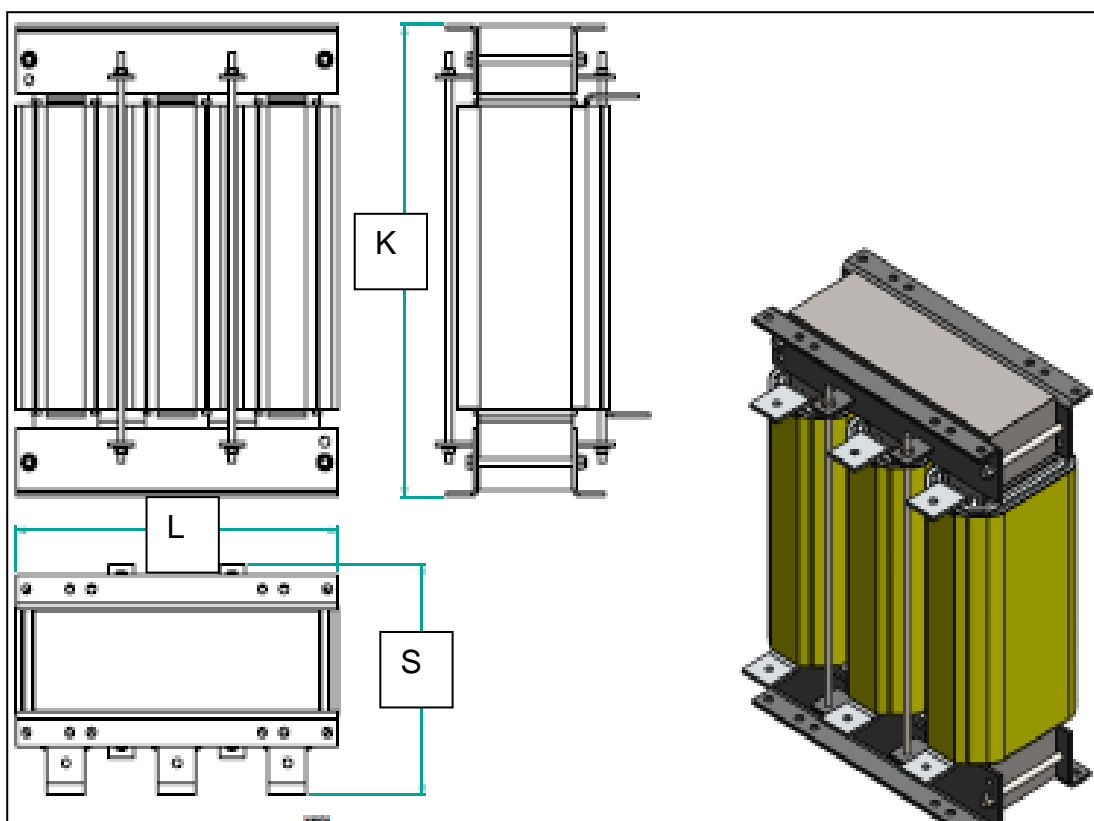
Kuva 14. Lämpötilojen kuvaajat ulkoisen ja sisäisen vedenkierron sekä IGBT lämpötilan suhde

9 Kuristin ja kuristin kuormituksen matemaattinen mallinnus

9.1 Kuristimen tekniset tiedot

Kuristin tyyppi	TOCH-880R11
UN (V)	690
IN (A)	880
L (microH) / L	260 / 0,00026
Teho häviö (W)	3005
Paino (kg)	635,1
Korkeus K* (mm)	869
Leveys L* (mm)	590,6
Syvyys S* (mm)	434

Taulukko 2. Kuristimen tekniset tiedot

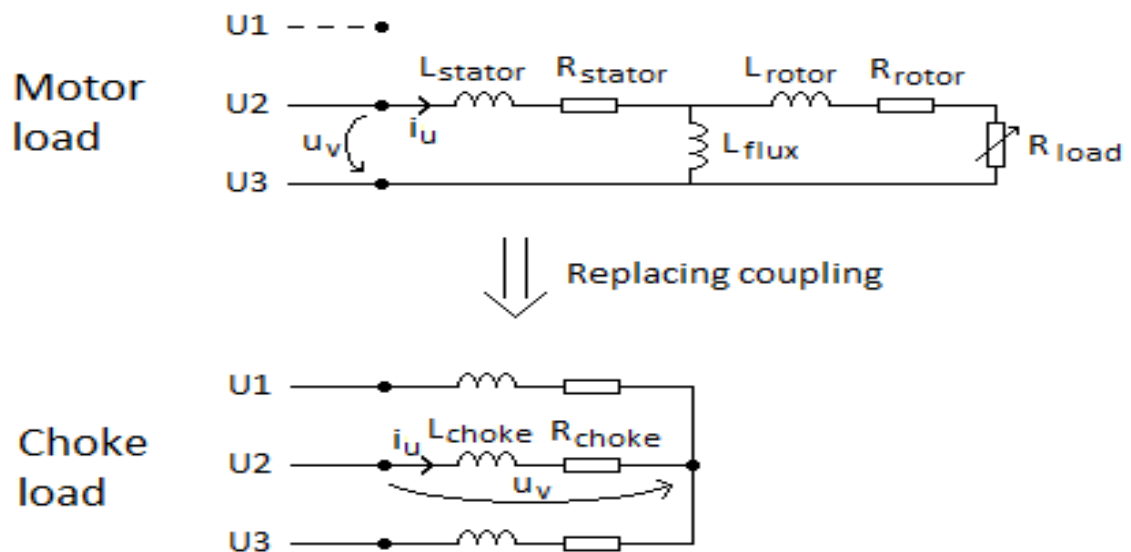


Kuva 15. Kuristimen mitta ja Creo- ohjelman kuva

9.2 Kuristin ja matemaattinen mallinnus

Kuristin on kela eli sähkötekniikan komponentti. Kuristimessa on rautasydän, jonka ympärille on kierretty eristetty kuparilanka. Kuristimessa kulkeva sähkövirta tekee magneettikentän. Magneettikenttä varastoi sähköenergiaa. Induktanssi on kelan läpimenevän vastustaman sähkövirran termi eli Henry. Kuristimen kierrosten lukumäärä on suoraan verrannollinen magneettikentän voimakkuuteen. Suurempi määrä kierroksia kuristimessa tekee suuremman magneettikentän. [34][35]

Kuristinta käytetään sähkömagneettilaitteissa kuten sähkömoottoreissa ja -muuntajissa. Vaihtovirtapiirissä kuristimessa ilmenee aina reaktanssia. Reaktanssi on vaihtovirtavastuksen eli impedanssin imaginaarinen osa. Kuristin on induktiivista kuormaa ja tämä on vastakohta taajuusmuuttajissa oleville DC-piirin kondensaattorien kapasitanssille. Kapasitanssi on suure, joka kertoo latautuneen sähkövarauksen suuruuden.[21][34] [35]



Kuva 16. Kuristin mallin piirikaavio verrattuna moottorimallin piirikaavioon [21] [39]

$$U_n = Z_{choke} * I_{phase}$$

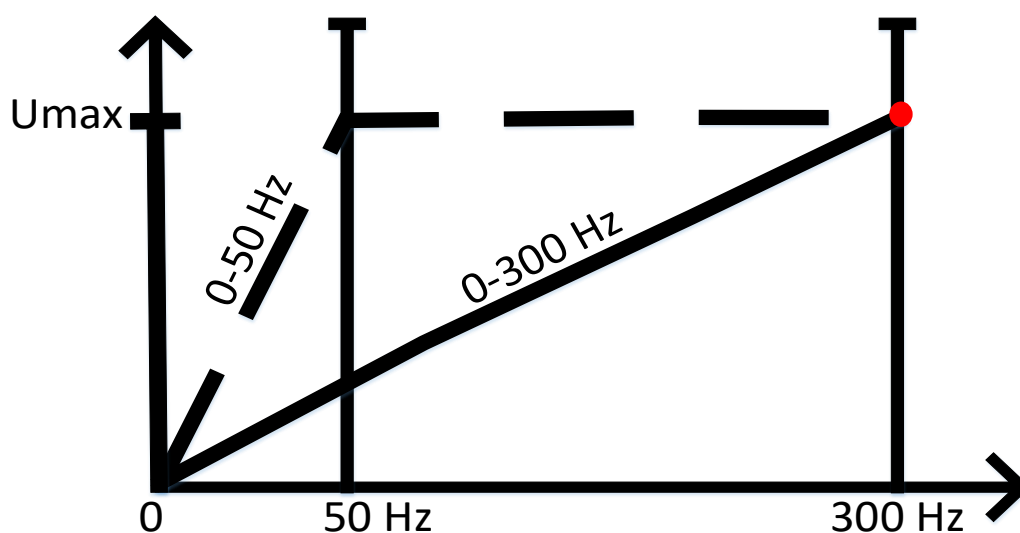
$$U_n = 2 * \pi * f_{un} * L_{choke} * I_{phase}$$

Laskennassa ei huomioida R_{choke} . Käytännössä vaikutus on vähäinen.

Kuva 17. Kuristimen matemaattinen laskenta [21][34][35]

9.3 Kuristimen kuormitusperiaate

Moottorin käämityksien tilalla käytetään kuormituksessa kuristimia, jotka ovat keinotekoinen kuorma taajuusmuuttajalle. Kuvissa 13, 14 ja 15 esitetystä on saatu laskenta-kaava kuristimen käytölle. Kaavassa ei huomioida kuristimen vähäistä resistanssia. Kuristin kuorman käytössä kuristin mallintaa 300 Hz:llä nimellisellä taajuudella toimivaa moottoria. Nopeusohje asetetaan testauksessa 50 Hz mikä tarkoittaa sitä, että kuormituksessa keinokuormana toimiva kuristin käyttäytyy kuin moottori joka ei pääse kentän heikennyspisteeseen. Yksinkertaistettuna kuristin ajossa on moduulien loputon kiihdytysvaihe. 300 Hz on suurin ohjelmallisesti asetettava taajuus parametri taajuusmuuttajille testauksessa käytetyllä ohjelmalla. [21][31][40]



Kuva 18. Kuristin mallintaa 300Hz moottoria taajuus ohje 50Hz ja kentän heikennys piste

9.4 Kuristimen mitoitus

Rinnankytkettyjen taajuusmuuttajien säätöalueet ovat tiedossa, jolloin voidaan laskea taajuusmuuttajien lähtövirran (I_{2N}) arvon perusteella sopiva kuristin. Kuristimen maksimivirran arvo on taulukossa 2. Kun nimellinen virta-arvo ylitetään, ylitetään kuristimen terminen arvo. Teoriassa kuristimet alkavat lämpenemään, mutta käytännössä lämpeneminen on sen verran vähäistä, että se on hallittavissa ilmanvaihdolla. Taulukon 2 mukaan 0,00026 H kuristimen nimellinen suurin virta-arvo on 880A. Yhden moduulin nimellinen jatkuva virta-arvo on 860A. Kahden moduulin rinnankytkentä kuormitusmitoitus on kaksi kuristinta sarjaan kytkettynä.

Arvot lasketaan (I_{out}) virtakaavalla:

$$I_{out} = \frac{U_{out}}{2\pi fL}$$

I_{out} Taajuusmuuttaja kuristin virta (A).

U_{out} Taajuusmuuttaja kuristin jännite (V).

f Taajuusmuuttaja normaalinsäätö alue kentänheikennyspiste (50 Hz).

L Kuristimen arvo 0,00026 (H)

Kaavasta lasketaan osoittaja. Jännite lasketaan taajuuksien suhteella. Taajuusmuuttajasta lähteväjännite U_{out} voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$U_{Out} = \left(\frac{U_n * f_n}{f_c} \right) / \sqrt{3}$$

U_{out} Taajuusmuuttaja kuristin jännite (V).

U_n Taajuusmuuttaja parametri moottorin nimellinen jännite (V).

f_n Taajuusmuuttaja normaalinsäätö alue kentänheikennyspiste (50 Hz).

f_c Taajuusmuuttaja parametri moottorin nimellinen taajuus kuristin kuormitus (300 Hz).

Kaavassa on parametrilla asetettava moottorin nimellisjännite (U_n). Kuristimen kuvitteellinen moottorijännite ohjaa taajuusmuuttajan virtaa (I_{out}) nimellisen virran (I_{2N}) suuruiseksi. Kaavassa taajuusohje on 50 Hz (f_n) ja kuristimen parametri asetusarvo nimellisenä taajuutena 300 Hz (f_c). Virta-arvojen perusteella voidaan laskea minkä kokoinen kuristin valitaan käyttöön taajuusmuuttajan kuormana. [21][34][35]

Asetetaan moottorin nimellisjännite parametriarvoksi 690 V. Tällä saadaan taajuusmuuttajan lähtöjännitteen (U_{out}) avulla kuristin ja taajuusmuuttajan jännite.

$$U_{out} = \left(\frac{U_n * f_n}{f_c} \right) / \sqrt{3} = \left(\frac{690V * 50Hz}{300Hz} \right) / \sqrt{3} = 66,395V$$

Lasketaan kaavan nimittäjä joka on kuristimen kokonaisreaktanssi [Ω]. Kuristimena käytetään 0,00026 H kuristinta. Lasketaan kuristimen kokonaisreaktanssi arvo [Ω].

$$X_l = 2\pi fL = 2\pi * 50 \text{ Hz} * 0,00026 \text{ H} = 0,0816 \Omega$$

Taajuusmuuttajan jännitteen (U_{out}) ja kokonaisreaktanssi [Ω] avulla lasketaan kaavalla.

$$I_{out} = \frac{U_{out}}{2\pi fL} = \frac{U_{out}}{X_l} = \frac{66,395 \text{ V}}{0,0816 \Omega} = 813,6 \text{ A}$$

Laskutoimituksen perusteella kuristinkoon 0,00026 H:n ja 690 V:n parametriarvon avulla saadaan taajuusmuuttajan virraksi (I_{2N}) 813,6 A kuristinkuormakäytössä. [21][34][35]

Insinööriyön toteutusvaiheessa käytettiin makro-ohjelmoitua Exceliä tarkempien virta-arvojen laskemiseen. Tässä esitetystä laskennasta saadaan hieman alle nimellinen virta-arvo. Käytännössä 690 V moottorijännite parametrilla saadaan taajuusmuuttajan yli 120 % virta arvo (I_{2N}) eli 1000A, jolloin saadaan aikaiseksi normaalista käytöstä korkeampi lämpötila kyseisien taajuusmuuttajien IGBT yksikköihin. Tämä tarkempi korjauskertoimia sisältävän Excel makron laskenta pitää paikkansa myös käytännössä. Käytännössä testaus tapahtuu rinnankytketyille taajuusmuuttajille joiden kuormana on kaksi sarjaan kytkettyä kuristinta.

Ero perus kelakaavoilla laskennan ja käytännön sekä korjauskertoimilla varustetun Excel makron välillä selittyy useilla tekijöillä. Tekijät ovat tehohäviöt koko testausysteemissä sekä laskennan toteutus yhdellä moduulilla ja kuristimella kun käytännössä molempia on kaksi. Skalaarisäädössä on jättämä nimellisestä taajuudesta, joka kasvaa kuorman lisääntyessä. Laskenta perustuu teoreettiseen ideaaliin jota ei ole käytännössä olemassa. Kolmas tekijä on se jokin määrittelemätön tai joukko määrittelemättömiä tekijöitä.

9.5 Kuristin keinokuormitus

Kuristin taajuusmuuttajan keinokuormana käyttää loistehoa. Kuristinkuorman käytössä ei kuluteta ollenkaan pätötehoa. Kuormitustekniikka perustuu loistehokompensoinnin teoriaan. DC-välipiiristä liikkuu energiaa kuristimen magneettikenttään joka toisella vaihtovirran puolijaksolla. Virran suunta vaihtuu ja energia liikkuu takaisin DC-välipiiriin. Energia siirtyy edestakaisin kuristimen ja DC-välipiirin välillä. Tarkemmin määriteltynä yhden vaiheen IGBT:n ylähaara syöttää ja kahden vaiheen IGBT:n alahaarat palauttavat energian DC-välipiiriin. Kelan aiheuttama vaihesiirto on osa kuristin kuormituksen toimintaa. Kolmella vaiheella toteutus on käytännössä kuitenkin yksinkertainen. Kolmella vaiheella teoria ja matemaattinen malli sekä ilmiön todellinen ymmärtäminen on monimutkaista ja haastavaa. [21][34][35]

DC-välipiiri		Kuristin
$E = \frac{1}{2}CU^2$	$\begin{array}{c} \longrightarrow \\ \longleftarrow \end{array}$	$E = \frac{1}{2}LI^2$

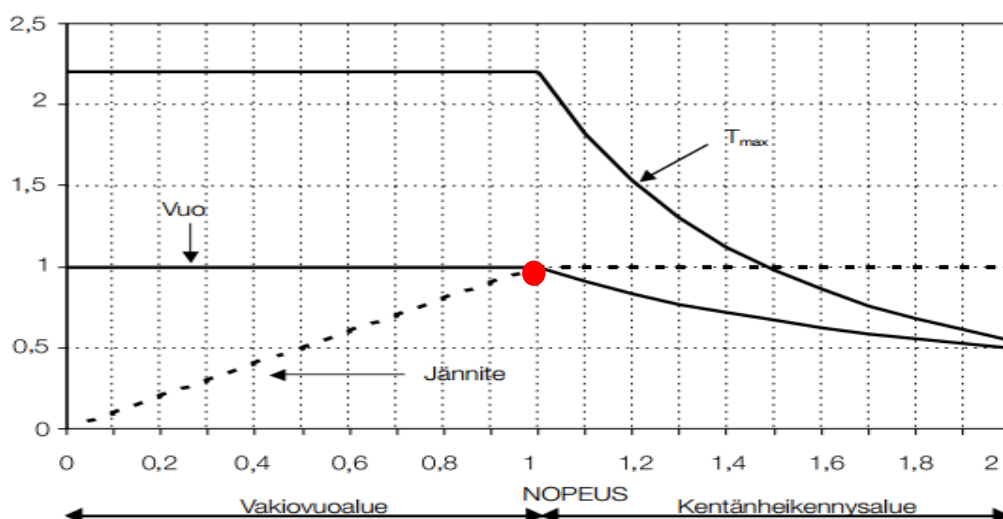
Kuva 19. DC-välipiiriin ja kuristimen välillä liikkuva energia [21]

Kuristimessa ja tajuusmuuttajissa syntyy resistanssin aiheuttamaa lämpöhäviötä. Lämpöhäviön tehoa tarvitaan sähköverkosta dioditasasilta syöttöyksikön kautta. Tässä työssä esitetyn kuormitusyklin IGBT:n mittaama lämpötila vaihtelee 30 - 80 °C asteen välillä. Kuristimen terminen kesto on mitoitettu 20 % suuremmaksi kuin nimellinen virrankesto. Työn testausvaiheessa ajettiin testimoduuleilla pitkäkestoista jatkuvaa ylikuormitusta sekä moduuleille, että kuristimille. Tavoitteena oli löytää suurimman kuormituksen rajat. Kuormitusrajaa ei kummallekaan löydetty. Jäähdytyskapasiteetti ylittää molempien lämpökuorman merkittävästi. Suurin testauksessa käytetty teho 150 % nimellisistä arvoista ei aiheuttanut ongelmia lämmönhallinnan osalta edes kolme kertaa normaalia pidemmällä ajalla.

10 Testauksen kuormitusvaiheessa käytetty ohjaustapaskalaari

Testauksessa taajuusmuuttajiin kytkettyjä kuristimia ohjataan skalaaritulassa lähtötaajuudella. Skalaariohjaus ei sisällä takaisinkytkentää. Skalaariohjauksessa lähtötaajuus riippuu lähtöjännitteestä. Skalaariohjauksessa kuristinkuorma reagoi syötettävän taajuuden ja lähtöjännitteen suhteen. Heikkoutena ohjauksessa tässä sovelluksessa on moduulien sisäisen diagnostiikan puutteet. Takaisinkytkennän puuttuessa tarkkuus on heikempi kuin muilla säätötavoilla. Heikkoutena ja puutteena on jättämä nimellisestä taajuudesta. Jättämä kasvaa kuorman lisääntyessä. Tässä työssä jättämä aiheuttaa merkittävän eron kuormituksen mitoituksen teoreettisenlaskennan ja käytännön väliin. Skalaariohjaus on yksinkertainen säätötapa ja tarvitsee ainoastaan moottorin parametrit sekä nopeusohjeen toimiakseen. Skalaariohjaus ei tee moottorimallinnusta kuten DTC. Kuristinkuormakäyttöön skalaariohjaustapa on toistaiseksi ainoa ratkaisu. [31][32][40]

Taajuusmuuttajalla voidaan säätää oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta yli nimellisen nopeuden. Jännite ei kuitenkaan nouse suuremmaksi kuin moottorin parametrilla asetettu nimellisjännite (U_n) ja silloin joudutaan vääntömomentin kanssa kentänheikennysalueelle eli moottori käy alimagnetoituna. Vääntömomentti laskee alle moottorin nimellisen momentin. Kentän heikennyspisteen siirrolla päästään kuristin kuormituksessa skalaarisäädöllä taajuusmuuttajan keinotekoiseen loputtomaan kiihdytysvaiheeseen. [31][32][40]

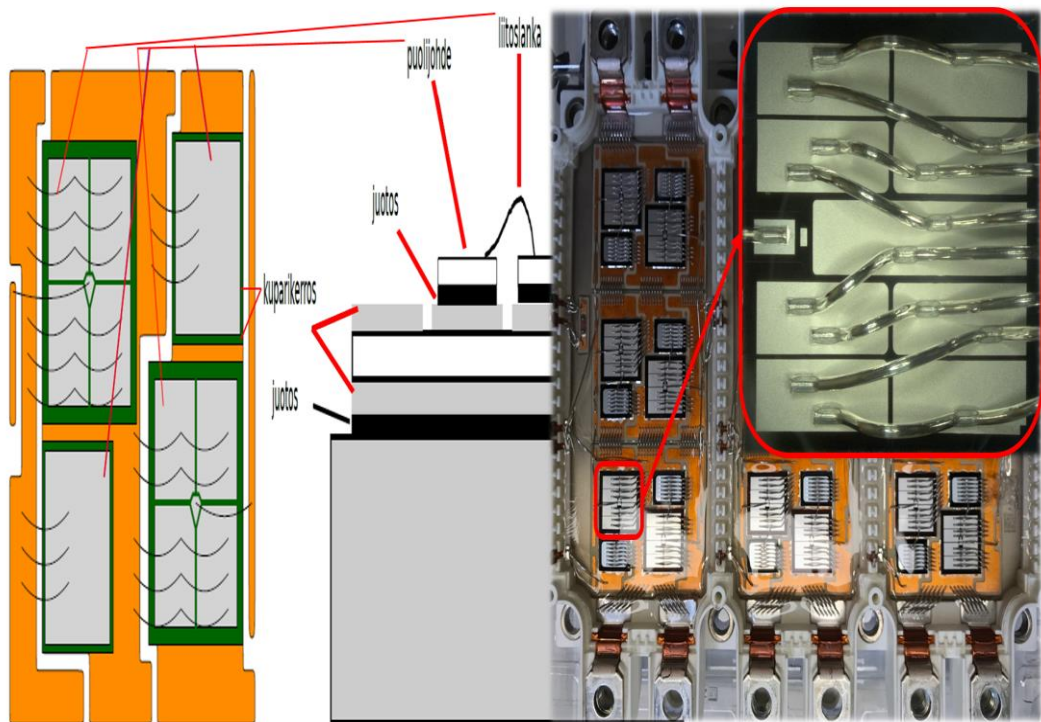


Kuva 20. oikosulkumoottorin maksimimomentti, jännite ja vuo sekä kentänheikennyspiste.

11 IGBT perusrakenne

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) eli eristehilabipolaaritransistori. IGBT:n perusrakenne käsittää neljä puolijohdekerrosta ja pohjalevyn sekä dietelectisen silikonigeelin. Rakennekokonaisuus muodostuu vaihekohtaisten transistorien ja diodien silta-tykennästä. IGBT transistoreita kytetään rinnakkain halutun tehon tarvitsema määrä. Puolijohteet pakataan samaan yksikköön. Tiivisrakenne mahdollistaa nykyisen kaltaiset tehokkaat IGBT yksiköt. [2][4][7]

Eri valmistajien IGBT:n rakenteiden ja käytettyjen materiaalien ratkaisut poikkeavat vaikka rakennetyypin malli olisi sama. Päärakenteet voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin. PT-IGBT ja NPT-IGBT sekä FS-IGBT ovat yleisimmät kirjallisuudessa esitetyt mallit. PT on lyhenne Punch Trough rakenteesta ja NPT on lyhenne Non Punch Trough rakenteesta sekä FS on lyhenne Field Stop rakenteesta. [9][11]



Kuva 21. IGBT:n yksinkertaistettu rakenne poikkileikkauskuva ja kuva puolijohdesta [3][8]

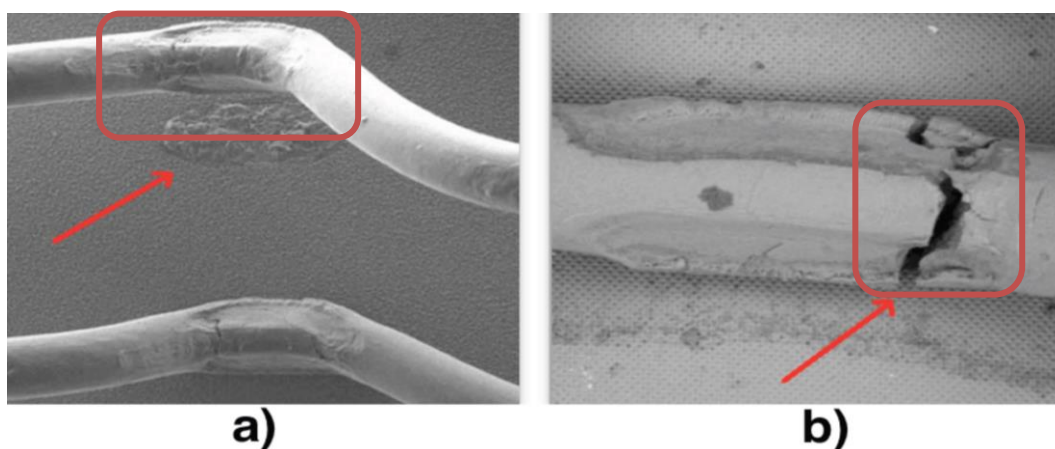
12 Tunnetut virheet ja vikamekanismit tehosyklissä

ABB on omilla tutkimuksillaan havainnut useita eri virheitä ja vikamekanismeja IGBT tuotteessa. Valmistajasta riippuen virheet ja vikamekanismit ovat osittain samoja ja osittain erilaisia. Tunnettuja virheitä ja vikoja tehosykläksessä ovat liitoslankaviat ja juotosvirheet. Muita tunnettuja virheitä ja vikoja ovat subraatin murtuminen ja gate ring vikaantuminen sekä kasvusto ja hapettuminen johteissa. Koestuksen optimointi perustuu pääsääntöisesti tehosykläkselle ja lämpösyklin osuus on pieni. Seuraavissa kappaleissa esitellään kaksi tämän työn tärkeintä virhettä ja vikamekanismia. [10] [17]

12.1 Liitoslangan virheet ja vikaantuminen

Puolijohteet on kytketty toisiinsa liitoslankojen avulla. Liitoslankojen kiinnitys kuluu ja vikaantuu teho- sekä lämpösyklistä. Puolijohteen ja liitoslangan välillä on alumiinimetallointi. Alumiinin ja piin lämpölaajenemiskerroin on erilainen. Lämpötilan muutokset johtavat vieheiden määrän kasvuun ja lopulta liitoslangan irtoamiseen. Vaurioita ja virheitä syntyy suurimman lämpötilamuutoksen alueelle. Vauriokohdan ylimenovastus kasvaa ja johtaa U_{ce} kollektori-emitteri jännitteen kasvuun. Tämä kasvu johtaa tehohäviöiden lisääntymistä joka kiihdyttää lankaliitoksen irtoamista tai murtumista. [4][8]

Lankaliitoksen tunnetuimmat virheet ja vikatyypit ovat irtoaminen puolijohteesta (lift-off) ja lanka voi murtua poikki juuresta (heel cracking). Molemmat virheet johtavat langan irtoamiseen. Virheiden määrän kasvaessa vikaantuminen kiihtyy. [3][4][8]



Kuva 22. a) Liitoslangan irtoaminen (lift-off)

b) Liitoslangan murtuminen langanjuuresta (heel cracking). [5][8]

12.2 Juotosvirhe eli delaminaatio

IGBT-moduuli koostuu useasta eri materiaalikerroksesta kuten kuva 9 poikkileikkaus ja lähikuva rakenteesta näyttävät. Nämä kerrokset on juotettu toisiinsa. Lämpötilan vaihtelu aiheuttaa leikkausjännityksen juotoksiin. Materiaalien lämpölaajenemiskerroin on erilainen. Lämpötilan muutokset johtavat vieheiden määrän kasvuun ja lopulta kerroksien irtoamiseen. Vaurioita ja virheitä syntyy suurimman lämpötila muutoksen alueelle. Jännitys aiheuttaa juotoksissa väsymistä ja johtaa juotoskerroksen vikaantumiseen. Väsymisvaurio syntyy nopeasti kriittisenpisteen jälkeen. Kuparikerroksen ja puolijohteen sekä substraatin välinen juotoskerros vaurioituu tehosyklauksen johdosta. Juotosvaurion edetessä materiaalit irtoavat toisistaan ja tämä on delaminaatio. Delaminaatiossa yhdistetyt kerrokset irtoavat toisistaan. [3][8]

13 Kiihdytetyt testausmenetelmät

Kiihdytettyyn testaukseen perustuvan koestusmenetelmän tarkoitus on keinotekoisesti vanhentaa laitetta ja saada testiolosuhteissa aikaan laitteistossa nopeasti tapahtuva vika. Testausolosuhteet vastaavat mahdollisimman tarkasti niitä olosuhteita, joita esiintyy moduulin normaalikäytössä. Testissä laitteelle pyritään mallintamaan samankaltainen kuormitus kuin asiakkaan käytössä, mutta lyhemmällä aikavälillä. Kiihdytettyyn testaukseen perustuvat päätarkoitukset tässä työssä ovat:

1. Laaduntarkkailu

Tarkkaillaan korjausprosessin ja korjatun tuotteen luotettavuutta ja suoritetaan tarvittaessa mahdollisia korjaavia toimenpiteitä tuotteen korjauslaadun parantamiseksi.

2. Tuotteen arviointi

Arvioidaan takuu- sekä huoltokustannukset ja/ tai virhe- sekä hajoamismäärät kenttäolosuhteissa ja kenttäolosuhteiden jälkeen korjauksissa.

3. Luotettavuuden toteaminen

Osoitetaan asiakkaalle, että tuotteen luotettavuus ylittää asiakkaan laatuvaatimukset.

Kiihdytetyissä testeissä vaikuttavia tekijöitä voivat olla kuormitus esimerkiksi kuormitus laitteet, korkeat värinätasot, kosteus ja lämpötila. Testimenetelmiä suunniteltaessa voidaan käyttää yksittäisiä tekijöitä tai näiden tekijöiden yhdistelmiä. [18][19]

13.1 HALT-menetelmä

HALT- menetelmää (Highly Accelerated Life Test) käytetään kiihdytetyissä testauksissa tuotteen ollessa vielä suunnitteluvaiheessa. Testillä löydetään suunnittelu- ja valmistusvirheet, joita tuotteessa on. Jokainen testeissä vioittunut komponentti antaa mahdollisuuden parantaa laitteen suunnittelua tai valmistusta. Tuotteen luotettavuus kasvaa ja vian aiheuttamat kustannukset pienenevät. Tuotteen luotettavuuden kasvaessa myös asiakkaiden kiinnostus tuotteeseen kasvaa. Tässä työssä HALT- menetelmä on teoreettisena ohjeena taustalla. Työ ei ole HALT- testausta kehitysvaiheessa. [20]

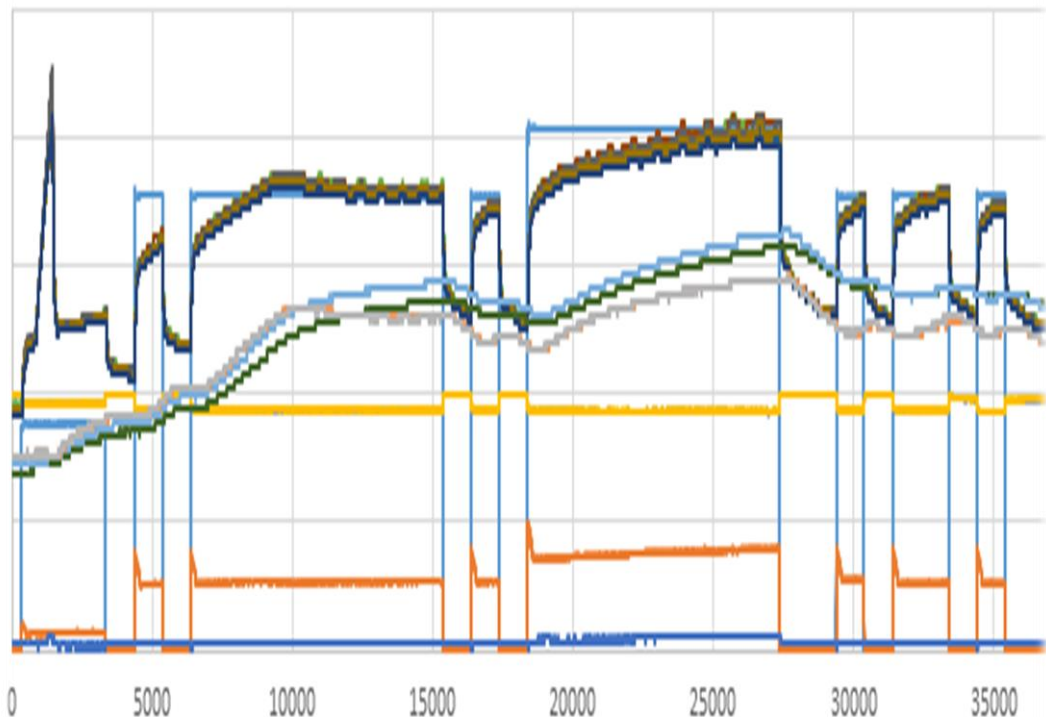
Asiakkailla tuotteet ovat käytössä normaaleissa käyttöolosuhteissa. Normaaleissa käyttöolosuhteissa laitteissa ilmaantuvat viat dokumentoidaan tilastointia varten korjauksen yhteydessä. Kun oleellisiin vikatyyppeihin ei ole tarpeeksi perehdytty virhemarginaali ylittää tavoitteen. Tämä puolestaan johtaa siihen, että valmistuksen ja suunnittelun kustannukset nousevat. Liian kalliilla tuotteella markkina-aseman kasvattaminen on vaikea

13.2 ALT-menetelmä

ALT- testaaminen (Accelerated Life Testing). ALT-testeissä kuormitetaan käyttöön verrattuna kiihdytetyksi esimerkiksi käyttämällä järjestelmää normaalia korkeammassa lämpötilassa tai suuremmalla teholla. Vanheneminen tapahtuu normaalia nopeammin, ja tämän seurauksena ikääntymiseen liittyvät viat ilmenevät lyhemässä ajassa ja vikaantumistaajuus pystytään määrittämään nopeammin. ALT-testien kuormituksille määritellään kiihdytysnopeus, jonka avulla testissä havaitun vikaantumistaajuuden perusteella pystytään laskemaan normaalikäytön vikaantumistiheys komponenteille. ALT-testauksen onnistumiseksi pitää tuntea kiihdytetyt kuormitukset ja niiden vaikutus. Kiihdytettyä kuormitusta suunniteltaessa on riskinä muuttaa järjestelmän vikaantumistapoja niin, etteivät ne vastaa normaalia käyttöä. Tämän takia testiä määriteltäessä täytyy varmistaa, että järjestelmä vanhenee ja vikaantuu samoilla tavoin kuin normaalikäytössäkin. [38]

13.3 ALT- ja HALT- menetelmäteoria testaussyklissä

ALT- ja HALT- menetelmään pohjautuvassa koestuskuormitusyklissä käytettävät kuormitukset eivät vastaa normaalissa käyttöolosuhteissa käytettäviä kuormituksia. Kuormituksen tasoa lisätään asteittain. Ensimmäinen sykli on puolella teholla ja nimellistä lämpötilaa korkeammalla toteutettu. Seuraavat vaiheet vastaavat lähes normaalissa käytössä esiintyviä kuormituksia ja lämpötiloja. Tässä vaiheessa on kaksi lyhyttä ja yksi pitkä sykli. Testauksen puolella välissä kuormituksen taso nostetaan 120 % komponenttien nimelliseen tehoon verrattuna ja nimellistä lämpötilaa korkeammalle. Viimeiset vaiheet vastaavat lähes normaalissa käytössä esiintyviä kuormituksia ja lämpötiloja.

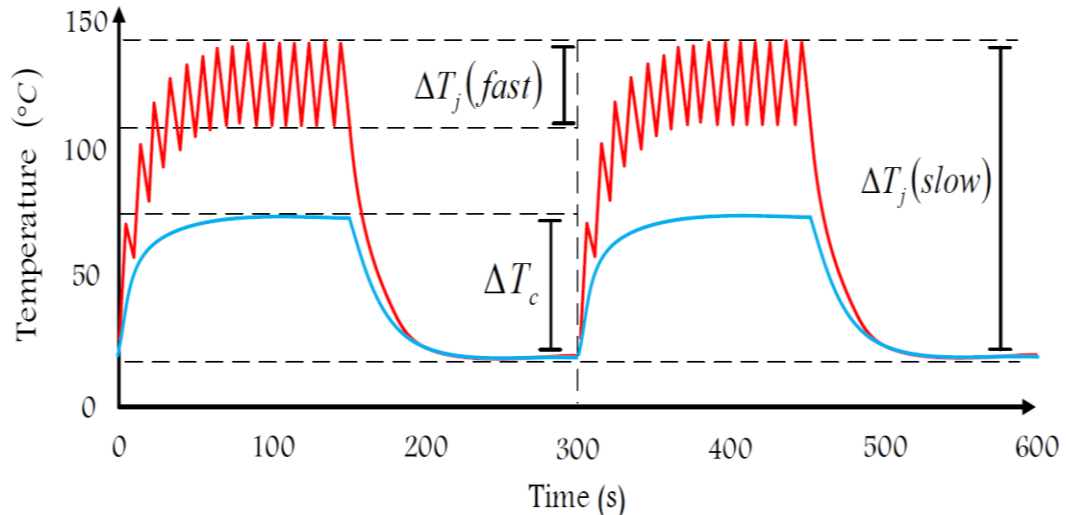


Kuva 23. Testausyklin kuvaaja: Kuormitus ja lämpötilat

Testin tarkoituksena ei ole aiheuttaa virhettä tai vikaa tuotteeseen testissä kuten ALT- ja HALT- testausmetodissa. Testauksen tavoitteena on löytää virheelliset komponentit jotka aiheuttaisivat liian nopean vikaantumisen asiakkaalla.

14 Tehosyklaus ja lämpösyklus

Tehosyklaukseksi kutsutaan tässä tapauksessa virtakuormituksen muutoksesta aiheutunutta lämpötilan vaihtelua IGBT moduulissa. Testaussekvenssin alussa on lyhyt lämpösykli puolella kuormalla. Muuten lämpösykli sisältää sekä nopean, että hitaan osuuden ja seurausta tehon muutoksesta.



Kuva 24. Teho- ja lämpösyklin yhdistetty esimerkkikuvaaja [1]

14.1 Lämpösykli

Passiivista ulkoisen energian aiheuttamaa lämpötilan vaihtumista sanotaan lämpösyklaukseksi. Lämpösyklauksen avulla saadaan määriteltyä komponenttien lämpötila ja lämpötilan muutoksen kestävyys. IGBT-yksikön elinikään vaikuttava tekijä on puolijohteen lämpötilan syklaus. IGBT-yksikön virtakuormituksen syklisyydestä johtuvaa jaksollista lämpötilanvaihtelua on määritelty tehosyklaukseksi. Sovelluksesta riippuen moduulin kuormitus vaihtelee merkittävästi. Pohjalevyn lämpötila T_c sekä puolijohteen lämpötila T_j vaihtelevat suurella lämpötila-alueella. Syklaavaan lämpötilaan vaikuttavat ilmiöt kuten moduulin jäähtytys, ympäristön lämpötila sekä IGBT moduulin sisäinen toteutus ja liitoslankojen resistanssi. Kriittisintä laitteen kannalta on lämpötilan muutos, ei maksimi tai minimi lämpötila-arvo. Suurimman ja pienimmän lämpötilan erotus pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, jolloin moduulille saadaan mahdollisimman pitkä elinikä. Tämä otetaan huomioon IGBT yksikön ja koko laitteen jäähtytystä suunniteltaessa. [15]

Solders	ΔT_j (°C)	$\Delta \gamma$ (%)	Number of cycles to failure of solder joint
New Sn/Ag solder	50	0.14	2.0×10^7
	80	0.22	2.7×10^5
Conventional Pb-based solder	50	0.23	2.7×10^5
	80	0.36	5.0×10^4

Taulukko 3. Erään valmistajan lämpösykli FEM analyysi liitoslankavikojen todennäköisyydelle

14.2 Tehosykli

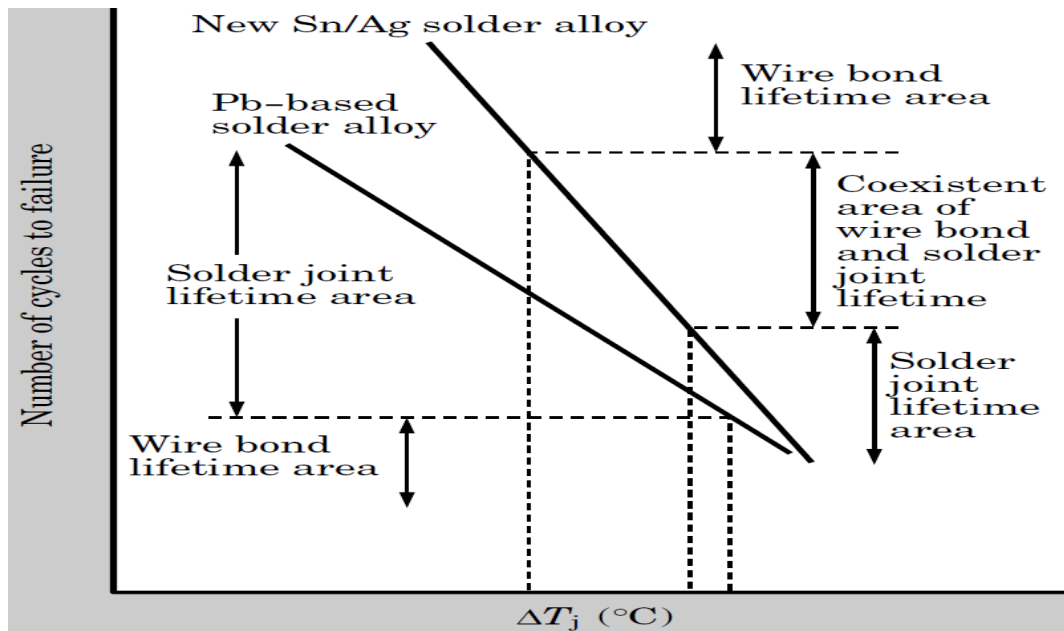
Tehosyklausta esiintyy käytöissä, jotka sisältävät pääasiassa nopeita kiihdytyksiä ja jarrutuksia. Nimellisellä teholla IGBT:n kuormitustilanteessa puolijohteen lämpötila kasvaa nopeammin kuin pohjalevyn lämpötila. Lämpötilaeron takia puolijohteen ja substraatin välinen liitos sekä eri lankaliitokset puolijohteiden välillä kuluvat paljon lyhyessä sykliajoissa. Tehosyklausta esiintyy myös silloin kun laitetta moduloi pienellä lähtötaajuudella. Mitä pienempi on laitteen käyttämä lähtötaajuus, sitä pidemmän aikaa virta kulkee yksittäisen puolijohteen läpi. Tämä aiheuttaa lämpötilan nopeaa kasvua. Syklin jälkeen puolijohde siirtyy johtamattomaan tilaan yhtä pitkäksi ajaksi. Tässä vaiheessa puolijohde jäähtyy. Näin olleen lämpötilan muutoksen suuruus kasvaa, mikä tarkoittaa tehopuolijohteelle lyhyempää elinikää. Moduuli voi siis kulua keskiarvoa enemmän tehosyklauksesta, vaikka taajuusmuuttajan lähtövirta ei ole voimakkaan syklistä. [15]

Tehosyklauksen ja jaksollisen kuormavirran vaihtelun välinen yhteys nähdään selkeästi kuvasta 5. Y-akselilla kuvaajassa on syklien määrä ja X-akselilla on liitoslämpötila. Kuvassa on lämpötilan sekä kuormitusvirran ja tehosyklauksen välinen korrelaatio. Puolijohteen lämpötila kasvaa kuormitustilanteessa selkeästi pohjalevyä nopeammin. Pitkillä virtakuormitusjaksolla myös pohjalevyn lämpötila nousee lähemmäksi puolijohteen lämpötilaa. Pohjalevyn kohdistuva lämpötilan vaihtelu vaurioittaa substraatin sekä pohjalevyn välisen juotoksen säröytymisen.[1][15]

15 Liitoslämpötila

IGBT: n sisäisten puolijohdekomponenttien hajoaminen johtuu usein liitoslämpötilasta ja sen muutoksesta. Suuri virta on suorassa suhteessa liitoslämpötilaan. Komponentin odotettu elinikä puolittuu keskimääräisesti kun liitoslämpötila nousee 10 astetta. IGBT: n sisäisessä rinnankytkennässä merkittävä yksittäinen asia on komponenttien lämpötilakäyttäytyminen ja jäähdytys. IGBT: n lämpötilakäyttäytyminen johtuu neljästä päätekijästä. Tekijöiden vaikutuksen suhde riippuu IGBT: n sisäisestä ja ulkoisesta rakenteesta. Tapahtumaketjun ja syy-seuraussuhteen ollessa monitahoinen IGBT: n liitoslämpötilojen ja niiden muutoksen kokonaisuuden tarkka ymmärtäminen joka tilanteessa käytännössä on vaikeaa. Yksittäiset tekijät sekä niiden keskinäinen vaikutus on mahdollista simuloida tarkasti. Testauksen ja simuloinnin epätarkkuus kasvaa suorassa suhteessa tekijöiden lisäämisen myötä. [1][5][6]

Suurilla tehoilla lämpötilakerroin kasvaa nopeasti. Kaikilla IGB-transistoreilla on rakenteesta riippumatta negatiivisen lämpötilakertoimenomaava liipaisujännite. IGBT: n sisäisessä rinnankytkennässä on tärkeää asentaa kaikki IGBT: n puolijohteet samaan yksikköön sekä jäähdytyselementtiin, silloin lämpö siirtyy kuumemmasta komponentista kylmempään. Jäähdytyselementin mitoituksella ja transistorien etäisyydellä toisistaan on vaikutusta lämpötilan muutoksen suuruuteen. [1] [6]



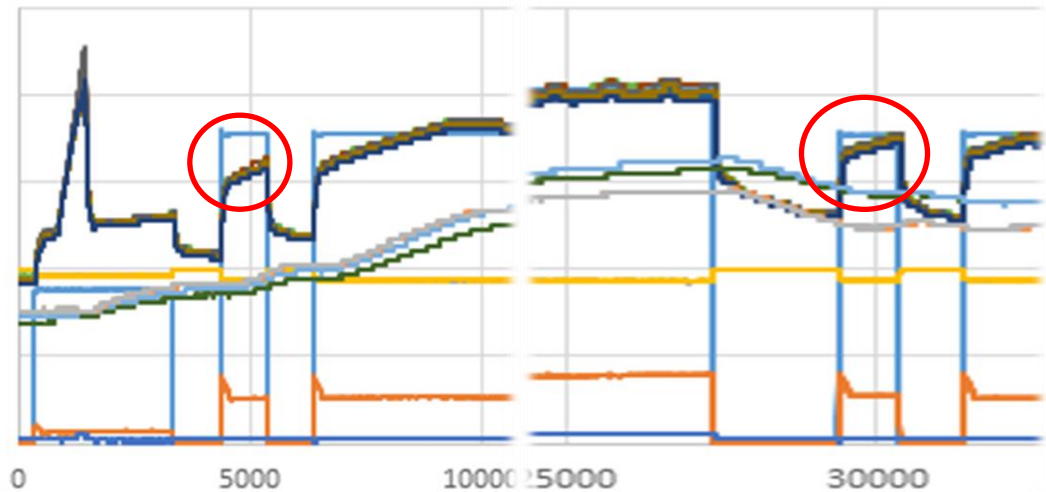
Kuva 25. Tehosyklauksen sekä lämpötilan vaikutus. [1]

16 Johtopäätelmät

Työ onnistui tavoitteiden mukaisesti. Aikataulu ja rahoitus oli mitoitettu oikein. Työ valmistui ajallaan sekä budjetoitu rahoitus riitti. Tärkeät tekijät onnistumisessa oli kokenut ja laaja asiantuntijaverkosto ja kokeneet alihankkijat sekä realistinen suunnittelu. Merkittävä osa työn viimeistelyn onnistumisessa oli tekijän suuri motivaatio ja taito omaksumaa sekä analysoida tietoa. Laaja kokemus ja osaaminen nestejäähdytteisistä ABB Oy Drives tajuusmuuttajista mahdollisti työn valmistumisen. Kerätyn tiedon ja taidon jalostaminen käytännöksi ja toimenpiteiksi onnistui. Ensimmäinen julkaistu kuormitusajosykli todettiin hyväksi ja toimivaksi sekä tavoitteiden mukaiseksi koko projektin asiantuntijaorganisaation toimesta. Testausasetukset ja ohjelmoitu 60 minuutin syklinen kuormitus jäivät käyttöön.

Tärkeäksi osaksi testausta muodostuu ”No Fault Found” laitteiden verifioiminen. Käytännön syistä kentällä tuulipuistossa ei ole aina mahdollista löytää viallista moduulia. Silloin korjaukseen lähetetään koko käyttö siis viallinen ja useita ehkä ehjiä moduuleita. Silloin on tärkeää löytää viallinen moduuli ehjien joukosta. Ratkaisuna ”No Fault Found” laitteiden verifioimiseen on tehdä testiajosykli kahteen kertaan. Näiden ajokierrosten välissä pitää moduulin antaa jäähtyä perustasoon joka tällä hetkellä on noin 40°C ja alle. Tämän lisäksi DC jännitteen laskeminen jännitteettömäksi pitää tehdä. Näillä toimenpiteillä on todettu löytyvän merkittävä osa tunneituista IGBT virheistä ja vioista.

Merkittävä havainto testauksen ylösajovaiheessa ja toteutuksen testisyklin vahvistamisessa oli vikaantumisen oletettavat kohdat. Tilastollista menetelmää ei voinut käyttää, sillä alussa testausien määrä oli kymmeniä laitteita. Havaintojen oikeellisuus perustuu tällä hetkellä työntekijöiden ammattitaitoon. Myöhemmin havainnosta ja olettamuksesta on mahdollista saada tilasto. Kuvassa on ympyröity havaitut ja ammattitaitoon perustuen myös todennäköisimmät tässä työssä esitetty IGBT:n tunnetut viat sekä niiden vikaantumisajankohta testisyklissä. Ensimmäinen todennäköinen vikaantuminen tapahtuu ensimmäisessä nimellisessä kuormitusvaiheessa. Toinen oletettu ja havaittu vikaantumishetki on 120 % yli kuormitusvaiheen jälkeen tulevan pidemmän jäähdytystauon jälkeinen nimellinen sykli vaihe. Silloin lämpötilan muutos on suurimmillaan. Tunnetut vikamekanismit ovat lämpötilasta ja sen muutoksesta johtuvia. [17][21]



Kuva 26. Testaussyklin todennäköiset ja havaitut IGBT:n vikaantumisen kohdat

Kehityskohta työssä on kuristimen eli kelan parempi kuormitushallinta. Abb Oy on maailmanlaajuisesti johtavassa asemassa kuristin kuormituksessa tietotaidon osalta. Omisissa tutkimuksissa on havaittu kuristimen kyllästymistä keinokuormituksessa. Käytännössä kyllästyminen tarkoittaa kuormitustehon ja muiden ominaisuuksien muuttumista epäedulliseksi testaustoiminnon kanalta. Jatkotoimenpiteitä kuristin kuormituksen kehityksessä on vuon optimoinnin säätö yhdessä DC välipiirin pakottamista vakaammaksi. Silloin DC jännite pidetään vakiona normaalia jännite-arvoa ylempänä. Edellä mainitut toimenpiteet tullaan tekemään vuoden 2018 aikana kun laboratoriohavainnot saadaan valmiiksi.[21]

Parametrisoinnissa on syytä tehdä uusi tarkastelukierros. Tällä hetkellä käytössä olevat parametrisointiarvot ovat riski. Riski kasvaa suuremmilla virroilla, sillä kuormitusvirtaa ohjataan tällä hetkellä vain lähtöjännitteen avulla. Parempi tapa on yhdistää vuon optimointi yhdessä lähtöjännitteen säädön kanssa. Nyt voidaan joutua tilanteeseen jossa annetaan liian suuria lähtöjännitepyyntöjä. Tämä saattaa aiheuttaa nimellistä jännitekestoja suuremman ylimenojännitteen IGBT:n liitoslangan yli, ja samalla liitoslämpötila kasvaa yli raja-arvon. Liian suuri jännite yhdessä liian suuren lämpötilan kanssa rikkoo myös ehjän IGBT komponentin. Testin tarkoituksena ei ole aiheuttaa virhettä tai vikaa tuotteeseen testissä kuten HALT testausmetodissa. Testauksen tavoitteena on löytää virheelliset komponentit jotka aiheuttaisivat vikaantumisen asiakkaalla. [15]

17 Viitteet

[1] Morozumi, A. Yamada, K. Miyasaka, T. Reliability Design Technology for Power Semiconductor Modules. Fuji Electric Review vol. 47.

[2] Kiiski, T. Taajuusmuuttajien luotettavuus, huollettavuus ja kunnossapito teollisessa ympäristössä. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, sähkötekniikankoulutusohjelma, Tampere, 2012.

[3] Mattila, M. Lämpötilan vaihteluiden vaikutukset vaihtosuuntaajan IGBT-moduuliin (Insulated Gate Bipolar Transistor). Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta, Espoo, 2008.

[4] Ikonen, M. Power cycling lifetime estimation of IGBT power modules based onchip temperature modeling. Väitöskirja, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan laitos, Lappeenranta, 2012.

[5] Smet, V. Forest, F. Huselstein, J. J. Richardeau, F. Khatir, Z. Lefebvre, S. Berkani, M. Ageing and failure modes of IGBT modules in high temperature power cycling. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2011, vol. 58, nro 10

[6] Sattar, A. Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) Basics. Internet dokumentti. Luettu 29.1.2018. Saatavissa: http://www.ixys.com/documents/appnotes/ixys_igbt_basic_i.pdf

[7] V. Khanna, *Insulated Gate Bipolar Transistor IGBT Theory and Design*. Wiley, 2004.

[8] M. Ciappa, *Some reliability aspects of IGBT modules for high-power applications*. Konstanz, Germany: Hartung-Gorre, 2001.

[9] Niiranen, J. Tehoelektroniikan komponentit. Helsinki, Otatieto, 1997. ISBN-13: 9789516723177. ISBN-10: 9516723179.

[10] Leppänen J. Humidity Related Failure Mechanisms in Power Semiconductor Devices. Aalto University School of electrical engineering Helsinki May 12, 2017.

[11] Oinonen, M. Tehotransistorin oikosulkusuojauksen toteuttava kytkentä. Diplomityö, Aalto-yliopiston sähkötekniikan korkeakoulu, Sähkötekniikan laitos, Espoo, 2013.

[12] Schumann, Wolfgang: "10", *Dynamics of the Bacterial Chromosome: Structure and Function*. John Wiley & Sons, 2006. [ISBN 3-527-30496-7](#). [Internet versio luettu 17.1.2018](#).

[13] Walker T: *Plants: A Very Short Introduction*. Oxford University Press, 2012. [ISBN 9780199584062](#). [Teoksen Internet versio luettu 2.2.2018](#).

[14] ABB Oy Drives Service Product Engineer Quality (DS PEQ) organisaation toiminta suunnitelma 2017 internal documentation.

[15] Blaabjerg, F., Jaeger, U., Munk-Nielsen, S. ja Pedersen, J. K. Power Losses in PWM-VSI Inverter Using NPT or PT IGBT Devices. IEEE transactions on power electronics, 1995, verkkolehti, vol. 10, nro 3, Luettu 16.1.2018.

[16] Kim, Y-S. ja Sul, S-K. On-Line Estimation of IGBT Junction Temperature Using On-State Voltage Drop. IEEE Conference Publications, 1998, konferenssi julkaisu, vol. 2., Luettu 2.2.2018. DOI: 10.1109/IAS.1998.730245.

[17] Varsila P. Development and Verification of Combined Cycling Methods in Lifetime Testing for Power Modules Aalto University School of electrical engineering Espoo May 22, 2017

[18] Nelson, Wayne. 1989. Accelerated testing, Statistical Models, test Plans and data analysis. Canada: John Wiley & Sons Ltd. Luettu 10.2.2018 <https://www.scribd.com>.

[19] Accelerated Testing. <https://www.quanterion.com/product/publications/accelerated-testing/> Luettu 10.2.2018.

[20] Hobbs, Gregg K. 1999. Accelerated reliability engineering: HALT and HASS. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. Luettu 10.2.2018 <https://www.scribd.com>.

[21] Lintula, Könönen, Varpela ABB:n johtavat testaus ja laboratorio asiantuntijat Haastattelu ja keskustelu sarja 13.11.2017–23.2.2018.

[22] Antiforgen L
<https://www.clariant.com/br/Solutions/Products/2014/06/23/15/46/ANTIFROGEN-L>.
Luettu 17.2.02018.

[23] Propyleeniglykoli <https://www.ahlsell.fi/34/kylma/13-kylmaaineet-ja-lammonsiirtoaineet/kylmaaineet-oljyt-seka-lammonsiirtoaineet/lammonsiirtoaineet/768006203/> Luettu 17.2.02018.

[24] Käyttöturvatieote
<https://secviewer2010.ahlsell.com/getsdm.aspx?articlenr=768006203&la=FI> Luettu 17.2.02018.

[25] ABB Oy. 14.1.2011. System description and start-up guide ACS800-67LC wind turbine converters.

[26] ABB Oy. 27.5.2015. System description and start-up guide ACS800-87LC wind turbine converters.

[27] ABB Oy. 12.12.2015. System description and start-up guide ACS800-77LC wind turbine converters.

[28] Tuulivoima Suomessa. Suomen tuulivoimayhdistys. Verkkodokumentti. <http://www.tuulivoimayhdistys.fi> Luettu 16.6.2017.

[29] ABB Oy intranet julkaisu. Kari Tikkanen, ABB Reliability Engineering Manager Luettu 26.9.2017

[30] ABB Oy 29.5.2015 BCU-02/12/22 Hardware manual

[31] ABB Oy 11.7.2017 ACS880 primary control program firmware manual

[32] ABB Oy 23.3.2015 ACS880 primary control program firmware service-level data

[33] ABB Oy 22.1.2015 ACS880 primary control program firmware R&D level data

[34] W.G. Hurley, W.H. Wölfle 2013 Transformers and Inductors for Power Electronics: Theory, Design and Applications ISBN: 978-1-119-95057-8 ISBN: 9781118544648

[35] A. Bossche V. Valchev 2005 Inductors and Transformers for power electronics ISBN 1-57444-679-7 kirjan Internet versio luettu 26.2.2016.

[36] ABB Oy 13.11.2012 ACS800-1007LC Liquid Cooling Unit User's Manual

[37] ABB Oy 16.1.2017 ACS880-104 inverter modules hardware manual

[38] E. A. Elsayed, "Models for accelerated life testing" in *Reliability Engineering*, 2nd edition, A. P. Sage, Ed. Hoboken, N.J., Wiley, 2012.

[39] Load choke dimensioning v4.xlsx ABB Oy confidential internal only document.

[40] ABB Teknisiä tietoja ja taulukoita, 9 painos. ABB Strömberg. Vaasa 2000. Luettu 25.2.2018

18 Liite 1 ACS880 2x R9iLC 0860A-7 60 MIN CYCLIC LOAD makro ohjelma

Main:

ParWrite (30, 30, 1)

ParWrite (43, 6, 0)

ParWrite (99, 4, 1)

ParWrite (99, 6, 1686)

ParWrite (99, 7, 600)

ParWrite (99, 8, 300)

ParWrite (99, 9, 2990)

ParWrite (99, 10, 2015)

ParWrite (99, 11, 0.89)

ParWrite (99, 13, 0)

Wait(1000)

new message[100]

message = "ACS880 2x R9iLC 0860A-7 60 MIN CYCLIC LOAD PRESS OK TO
START"

MessageBox (message)

ParWrite (19, 11, 1)

ParWrite (20, 6, 1)

ParWrite (20, 8, 1)

Wait(300000)

ParWrite (20, 8, 0)

Wait(100000)

ParWrite (99, 7, 1200)

Wait(1000)

ParWrite (19, 11, 1)

ParWrite (20, 8, 1)

Wait(100000)

ParWrite (20, 8, 0)

Wait(100000)

ParWrite (19, 11, 1)

ParWrite (20, 8, 1)

Wait(900000)

ParWrite (20, 8, 0)
Wait(100000)

ParWrite (19, 11, 1)
ParWrite (20, 8, 1)
Wait(100000)
ParWrite (20, 8, 0)
Wait(100000)

ParWrite (99, 7, 1380)
Wait(1000)

ParWrite (19, 11, 1)
ParWrite (20, 8, 1)
Wait(900000)
ParWrite (96, 75, 1)
Wait(1000)
ParWrite (20, 8, 0)
Wait(200000)

ParWrite (99, 7, 1200)
Wait(1000)

ParWrite (19, 11, 1)
ParWrite (20, 8, 1)
Wait(100000)
ParWrite (20, 8, 0)
Wait(100000)

ParWrite (19, 11, 1)
ParWrite (20, 8, 1)
Wait(200000)
ParWrite (20, 8, 0)
Wait(100000)

ParWrite (19, 11, 1)
ParWrite (20, 8, 1)
Wait(100000)
ParWrite (20, 8, 0)
Wait(100000)

EndMacro:

