



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Rozov Tomas

Taajuusmuuttajamoduulien koestus- kuormituksen suunnittelu ja toteuttami- nen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

1.2.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tomas Rozov Taajuusmuuttajamoduulien koestuskuormituksen suunnittelu ja toteuttaminen 32 sivua + 2 liitettä 1.2.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Elektroniikka
Ohjaajat	Tuoteinsinööri Mikko Soisalo Lehtori Arja Ristola
<p>Tämän insinööryön tavoitteena oli suunnitella optimaaliset kuormakuristimet ABB Oy Drives Servicen uuteen taajuusmuuttajamoduulien koestuslinjaan. Uuden koestuslinjan tarkoitus on kattaa ACS800-monimoottorikäyttöisten moduulien runkojen R7i- ja R8i-kuormatarpeet. Kuormakuristimille tuli tarve, kun vanha koestuslinja purettiin tuotteen elinkaaren muutoksen takia ja uusi koestuslinja haluttiin ottaa käyttöön.</p> <p>Koska ACS800-tuoteperhe ei enää ole aktiivituotannossa, sen myyntimäärät laskevat koko ajan. Tämän vuoksi tarvitaan uusi koestuslinja, joka tulee olemaan suppeampi kuin vanha. Uusi koestuslinja rakennetaan Drives Servicen jo olemassa olevalle koestamoalueelle, jossa kaikki ACS800-tuoteperheen moduulit koestetaan. Haaste oli valita sellaiset kuormakuristimet, että niillä voi kuormittaa kaikki ACS800 R8i- ja R7i-runkojen moduulit nimellisvirroillaan. Kuristinkuorma moduulin koestuksessa vastaa moottoria induktiivisena kuormana.</p> <p>Kuristinkuormitusta moduulien koestuksessa on käytetty siitä lähtien, kun moduulien lähtötehot kasvoivat satoihin kilowatteihin. Kuristimien tilavuus on pienempi kuin moottorien, ja niiden hinnat ovat huomattavasti alhaisemmat kuin moottorien hinnat. Tässä projektissa suunniteltiin erikoisvalmisteiset kuristimet, jotka oli mekaanisesti suunniteltu siten, että ne sopivat ABB:n vakiokoteloon, joita käytetään LCL-verkkosuodattimissa. ABB valitsi kuristimien induktanssit. Lopullisesta kuristimien suunnittelusta vastasi Trafotek Oy.</p> <p>Koestuslinjan suunnittelua vaikeutti se, että käytössä oleva lattiapinta-ala on pieni. Projektin ohjausryhmä päätti, että tarvitaan kuusi kuristinta, joiden maksimivirrat ovat 69 ja 2000 ampeerin välillä, jotta kaikki yllä mainitut moduulit voidaan koestaa.</p> <p>Työn tuloksena on saatu mitoitetta kuusi kuormakuristinta, jotka kattavat vaaditun virta-alueen. Kuristimien mitoitus on tehty ABB:n sisäisten asiantuntijoiden sekä Trafotek Oy:n avustuksella ja lopullinen ostopäätös tehty.</p>	
Avainsanat	Kuristin, taajuusmuuttajamoduuli, ACS800, koestuslinja

Author Title	Tomas Rozov Design and Implementation of Variable Frequency Drive Test Line
Number of Pages Date	32 pages + 2 appendices 1 February 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electronics
Instructors	Mikko Soisalo, Product Engineer Arja Ristola, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis work was to design and implement an optimal inductive loading for ABB Drives service's new variable frequency drive test line. The new test line's purpose is to cover the load demand of all ACS800 multidrive R7i- and R8i-drive modules. The need for load inductors arose when the old test line was dismantled due to the change of product lifecycle of ACS800 product family.</p> <p>As the ACS800 product family is no longer in active production, its sell-volumes are very low. That means the new test line must be built and it must be smaller than old one and also cost-efficient. The new test line is being built in the already existing test field of Drives Service department. The challenge in the project was to dimension and select such choke inductor combination, that the whole ACS800 multidrive R7i and R8i product series with all possible power ratings could be tested.</p> <p>Choke inductor as artificial load has been used in frequency converter testing since the times, when nominal power output of variable frequency drives started exceeding hundreds of kilowatts. Choke inductor is much more compact than ordinary induction motor as a load, and its price is greatly less than price of a motor. In this project the decision was to use custom-designed choke inductors, that were dimensioned and fitted into ABB's standard LCL-line filter enclosures.</p> <p>One of the biggest concerns in this project was the use of available floor area space, which was very limited. The plan was to use six choke inductors for the load current range of 69 A-2000 A to cover the load demand of all products mentioned above.</p> <p>As the result of the work, six choke inductors were dimensioned to cover the specified load current range and purchased from Trafotek Oy. Dimensioning was done in cooperation with ABB's engineers and Trafotek Oy's specialists.</p>	
Keywords	Inductor, Variable Frequency Drive, ACS800, test-line

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Taajuusmuuttaja	2
2.1	Välipiirilliset taajuusmuuttajat	2
2.2	VSI-taajuusmuuttaja	2
2.3	Monimoottorikäyttö	6
2.4	Taajuusmuuttajamoduuli	7
3	ACS800-tuoteperhe	8
4	Taajuusmuuttajamoduulin koestus	9
4.1	ACS800 R8i- ja R7i-moduulien koestus	9
4.2	IGBT:n kuormitus ja lämpörasitusko	10
4.3	Induktiomoottori moduulin koekuormana	12
5	ACS800-moduulin kuormitus kuristimella	13
5.1	Kuristinkuorma moduulin koestuksessa	13
5.1.1	ACS800 moduulin parametointi	15
5.1.2	Moottorin skalaariohjaus kuristinkuormituksessa	15
5.2	Kolmivaihekuristin	18
5.3	Kuormakuristimien kotelointi ja asennus	18
6	Uusi koestuslinja	20
6.1	Koestuslinjan toiminta	22
6.2	Kuormakuristimien suunnittelu Blue-DS koestuslinjaan	23
6.3	Kuormakuristimien mitoitus	26
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	31
	Liitteet	

Liite 1. Koestuskammioiden pääpiirikaavio

Liite 2. Kuormakururistimien koestuspiirin pääpiirikaavio

Lyhenteet

ABB	ASEA Brown Boveri. Monikansallinen yritys, jonka pääkonttori on Sveitsissä. Yritys toimii sähkö- ja automaatioalalla.
ACS800	ABB:n taajuusmuuttajatuoteperhe, jonka tuotanto aloitettiin vuonna 2003.
R7i, R8i	ACS800-taajuusmuuttajamoduulien runkotyypit, jotka asennetaan kaapeihin.
AC	Alternating Current. Vaihtovirta.
DC	Direct Current. Tasavirta.
DS	Drives Service. ABB:n yksikkö, joka vastaa kaikkien taajuusmuuttajatuotteiden huollosta ja tiettyjen ACS800-tuotteiden valmistuksesta.
PWM	Pulse Width Modulation. Pulssinleveysmodulaatio.
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor. Suurtehosovelluksissa käytetty transistori.
PEQ	Product Engineering and Quality. Tuotesuunnittelu- ja laadunvalvontatiimi ABB:ssä.
VSI	Voltage Source Inverter. Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja.
CSI	Current Source Inverter. Virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja.
U	Jännite, yksikkö voltti [V]
U _{out}	Lähtöjännite
U _N	Nimellisjännite

f	Taajuus, yksikkö hertsi [Hz]
f_{out}	Lähtötaajuus
f_N	Nimellistaajuus
V/f	Volts/Hertz – moottorin ohjaustapa, vuo.
I	Virta, yksikkö ampeeri [A]
I_N	Nimellisvirta
I_{out}	Lähtövirta
I_{345}	Kuristimen virta 345 V:n moottorin nimellisjännitteellä
I_{980}	Kuristimen virta 980 V:n moottorin nimellisjännitteellä
I_{max}	Kuristimen maksimivirta
$I_{cont.max}$	Moduulin jatkuva nimellinen lähtövirta
X_L	Kuristimen reaktanssi, yksikkö ohmi [Ω]
P	Teho, yksikkö watti [W]

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa uusi taajuusmuuttajamoduulikoestuslinja ACS800-monimoottorikäyttöjen moduuleille. Uusi koestuslinja tarvitaan, jotta kaikki ACS800-tuoteperheen R7i- ja R8i-moduulit voidaan koestaa. R7i- ja R8i-tar koittavat yksittäisten moduulien ns. runkokokoja, jotka määräävät moduulin mekaaniset ominaisuudet, kuten koon ja asennustavan.

Syynä rakentaa uusi koestuslinja on ACS800-tuoteperheen myyntimäärien lasku sen takia, että ACS800-tuoteperhe ei enää ole aktiivituotannossa vaan ns. classic-vaiheessa. Classic-vaihe on tuotteen vaihe, kun sen saatavuutta asiakkaalle on rajoitettu. Tuote siirretään classic-vaiheeseen silloin, kun markkinoille tulee uusi korvaava tuote. Tämä tarkoittaa, että lähitulevaisuudessa classic-tuote lakkautetaan myynnistä kokonaan. Asiakkaita halutaan tukea, joten vanhaa tuotetta valmistetaan vielä jonkin aikaa classic-vaiheessa. Tuote on siis saatavana joko varaosana tai korvaavana tuotteena johonkin vanhempaan tuotteeseen. Tämä tarkoittaa, että kaikki classic-vaiheessa olevat ACS800-taajuusmuuttajatuotteet tehdään yksittäisten asiakastilausten mukaan.

Vanha koestuslinja, jolla ACS800 R7i- ja R8i-taajuusmuuttajamoduulit koestettiin, oli liian suuri koestuskapasiteetiltaan tuotteen nykyisen tuotantomäärän kannalta. Vanhan koestuslinjan elinkaari oli myös lopussa. Tämän vuoksi uusi ja pieni koestuslinja haluttiin vanhan tilalle.

Tämä työ on tehty ABB Oy:n Drives Service yksikölle Helsingissä Pitäjänmäellä. Drives Serviceä kutsutaan lyhennettynä DS. Uuden koestuslinjan suunnittelusta ja käyttöön otosta vastaa DS:n PEQ-tiimi. PEQ tarkoittaa Product Engineering and Quality, ja se on tiimi ABB:llä, joka vastaa tuotteiden suunnittelusta, ja niiden valmistuksesta. DS:n PEQ vastaa R7i- ja R8i-moduulien valmistuksesta ja niiden laadusta tehtaalla.

ABB Drives Oy on yksikkö, joka on erikoistunut taajuusmuuttajiin sekä niiden suunnitteluun ja valmistukseen. Nykyään taajuusmuuttajat ovat merkittävässä roolissa automaation ja teollisuuden moottorien ohjauksessa.

ABB Oy on yksi Suomen suurimmista sähkö- ja automaatioalan teknologiayrityksistä. Suomessa ABB työllistää yli 5400 henkilöä eri yksiköissä. ABB toimii neljällä toimialalla, jotka ovat Electrification, Industrial Automation, Motion ja Robotics & Discrete Automation. Pitäjänmäellä Drives-yksikkö työllistää yli 1300 henkilöä ja koko maailmalla yli 110 000 henkilöä.

2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on sähkötekniinen laite, joka on tarkoitettu muuttamaan AC-sähkön amplitudia ja taajuutta. Taajuusmuuttajalla voi säätää AC-moottorin pyörimisnopeutta ja momenttia portaattomasti. Tietyissä tapauksissa moottorin akselin asemaa voi säätää taajuusmuuttajalla tarkasti. Taajuusmuuttajalla voi jarruttaa AC-moottoria, syöttää sähköverkkoon energiaa ja korjata tehokerrointa sähköverkossa. On olemassa jopa erikoisempiakin käyttöjä taajuusmuuttajalle, kuten sulametallien sekoitus induktiolla. Taajuusmuuttajalla voi ohjata yhtä tai montaa moottoria. Jälkimmäistä tapaa kutsutaan monimoottorikäytöksi. [1; 2.]

2.1 Välipiirilliset taajuusmuuttajat

Välipiirillisessä taajuusmuuttajassa vaihtosähkö, joka syötetään taajuusmuuttajaan, muutetaan ensin tasasähköksi ja sitten säädettäväksi vaihtosähköksi. Välipiirin tyyppin mukaan taajuusmuuttaja voi olla joko virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja (CSI) tai jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja (VSI). Jännitevälipiirilliset taajuusmuuttajat ovat näistä kahdesta tyyppistä yleisin käytössä oleva tyyppi. Välipiirillinen taajuusmuuttaja muodostaa vaihtosähköä lähtöönä käyttäen pulssinleveysmodulaatiota (PWM). Pulssinleveysmodulaatiossa tasasähköstä katkotaan pulsseja, joiden kestoja voidaan muuttaa. [2; 3.]

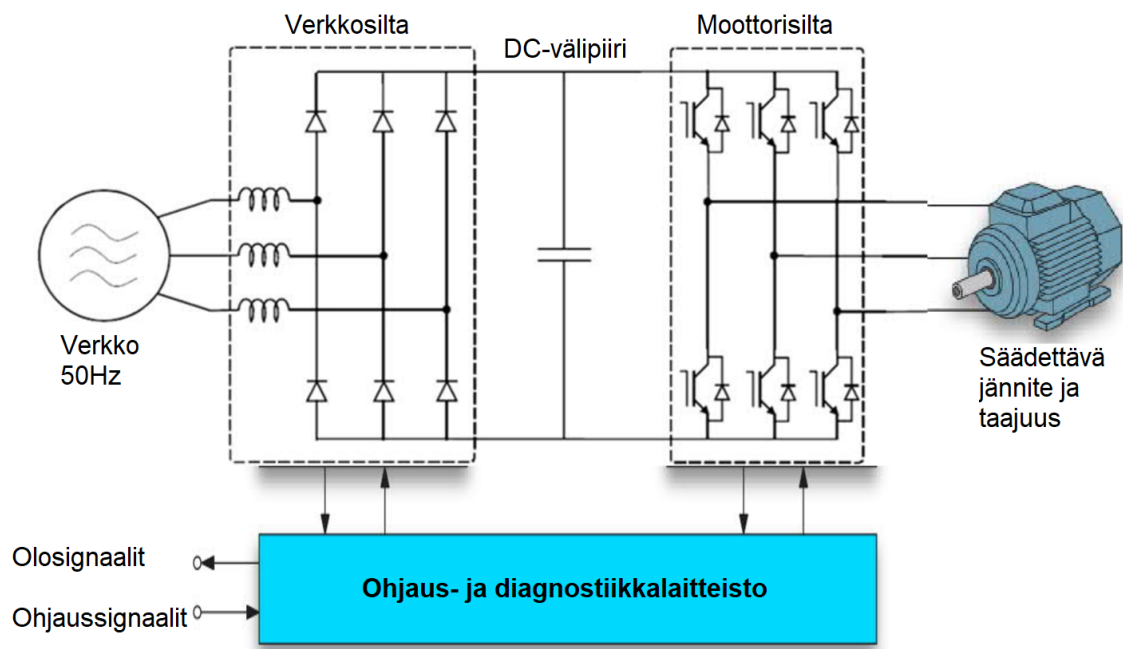
2.2 VSI-taajuusmuuttaja

VSI-taajuusmuuttajan pääpiirin tärkeimmät toiminnalliset rakennelohkot ovat verkkosilta, DC-välipiiri ja moottorisilta. Verkkosilta muuttaa verkosta tulevan AC-jännitteen DC-

jännitteeksi, DC-välipiiri ylläpitää ja tasaa DC-jännitettä ja moottorisilta muuttaa DC-jännitteen AC-jännitteeksi. Moottorisilta toimii verkkosiltana, jos moottori toimii generaattorina. Taajuusmuuttajan toimintaa varten tarvitaan myös tietyt apulaitteistot kuten ohjaus, mittaust ja diagnostiikkalaitteistot.

Verkkosiltoja voi olla montaa eri tyyppiä, mutta käytetyimmät tyypit ovat ohjaamaton verkkosilta, puoliohjattu verkkosilta ja IGBT-silta. Ohjaamaton verkkosilta voi toimia vain tasasuuntaajana. Puoliohjattu verkkosilta voi toimia vain tasasuuntaajana, mutta sillan muodostaman tasajännitteen arvoa voidaan säätää. IGBT-verkkosilta voi toimia sekä tasasuuntaajana että vaihtosuuntaajana.

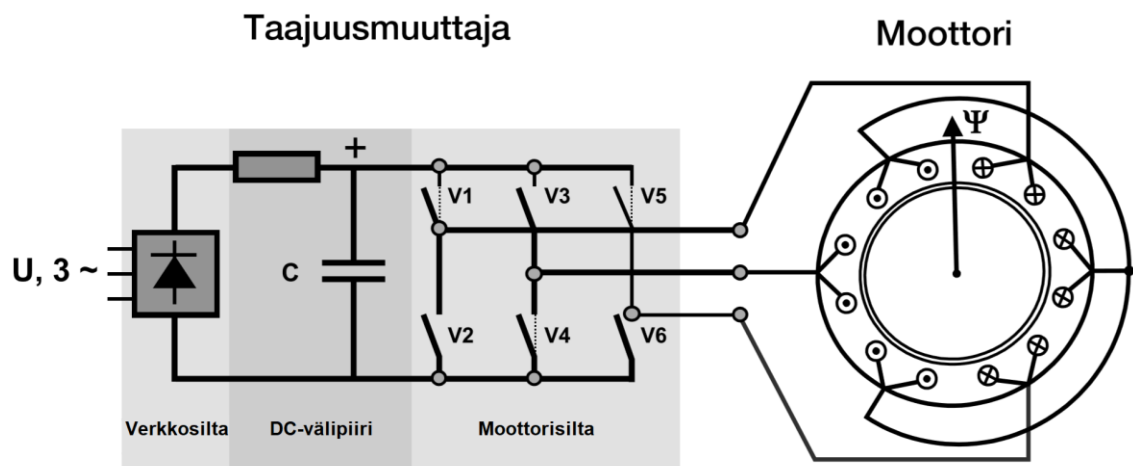
Moottorisilta koostuu tehokytkimistä, joita on yhteensä kuusi kappaletta. Tehokytkimet ovat aina IGBT-transistoreita ja näiden tehokuolihohteiden tärkeimmät ominaisuudet ovat riittävän korkea kytkentätaajuus sekä samanaikaiset korkeat virta- ja jännitekestoisuudet. Erään VSI-taajuusmuuttajan pääpiirikaavio on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Esimerkki VSI-taajuusmuuttajan pääpiirikaaviosta. Vasemmalla sijaitsee kolmivaiheinen ohjaamaton verkkosilta ja oikealla moottorisilta. Kondensaattori on tarkoitettu tasamaan DC-jännitteen arvoa DC-välipiirissä. [4.]

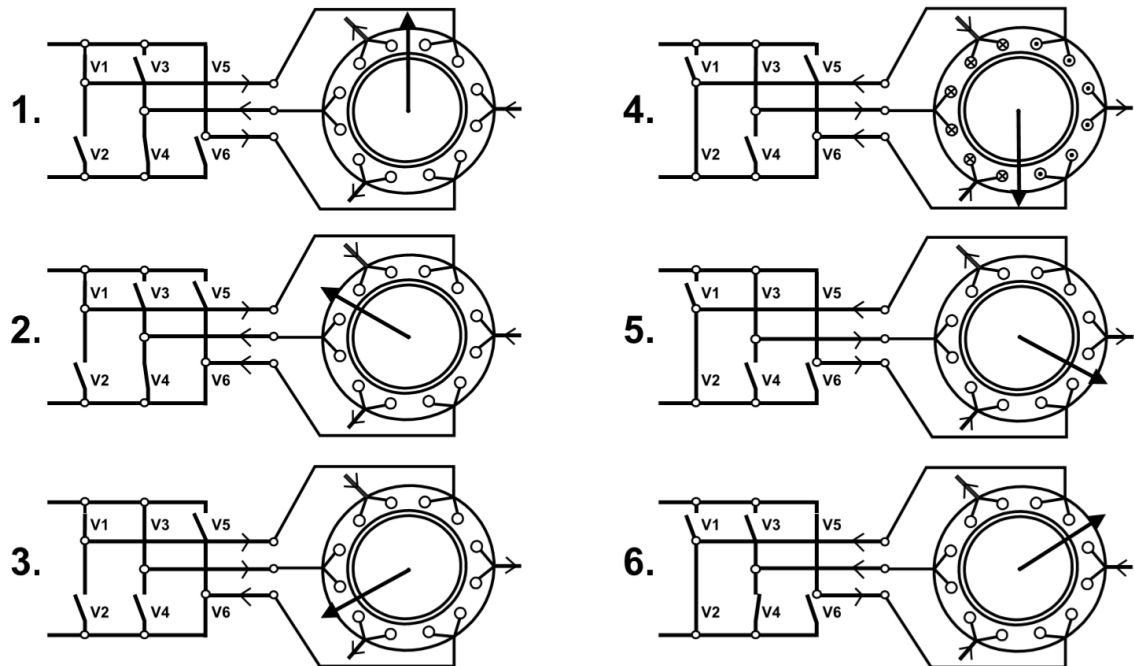
Kuvasta 1 voi havaita, että jokaisen yksittäisen IGBT-transistorin yli on kytketty suojadiodi. Suojadiodit tarvitaan, koska IGBT ei kestä suurta negatiivista jännitettä. Negatiivinen jännite voi muodostua IGBT:n yli silloin, jos kuorma tuottaa energiaa. Induktiivinen kuorma pakottaa käyttämään diodeja IGBT:n suojana. Tällöin jos induktanssilla kuormitettu IGBT sammutetaan, IGBT:n läpi pyrkii kulkemaan virtaa jonkin ajan. Seurauksena on, että jännite kasvaa IGBT:n yli. Suojadiodit muodostavat virralle polun sen jakson aikana, kun induktanssi ylläpitää virtaa IGBT-kytkimien sammutushetken jälkeen. Suojadiodit suojaavat IGBT-transistoreita myös muilta mahdollisilta jännitehäiriöiltä. [1; 3.]

Jotta taajuusmuuttaja voi syöttää moottoriin momenttia tuottavan virran, on moottorisillan moottoriin syötettävän virran oltava kolmivaiheista sinimuotoista AC-virtaa. Tällöin staattorin käämeissä kulkeva virta aiheuttaa pyörivän käämivuon. Virran ei kuitenkaan tarvitse olla puhdasta sinimuotoista aaltoa. Sinimuotoinen AC-virta muodostetaan VSI-taajuusmuuttajassa moottorisillan avulla. Periaatteellinen lohkokaavio, jossa VSI-taajuusmuuttaja on käytössä moottorin kanssa, on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. VSI-taajuusmuuttajan ja moottorin kytkennän perustoimintaperiaate. Moottorin staattorissa on esitetty käämivuovektori. Kuvassa verkkosilta on vain tasasuuntaava. [5.]

Jotta moottorisillalla saisi aikaan kolmivaiheisen virran, on sen tehokytkimien oltava johdettavassa tilassa tietyssä järjestyksessä. Kytkinkombinaatioita, joilla saa aikaan tarvittavat käämivuon vektorin asennot, on yhteensä kuusi kappaletta. Kaikki kuusi kytkinkombinaatiota ja niiden aikaansaamat käämivuovektorit on esitetty kuvassa 3.

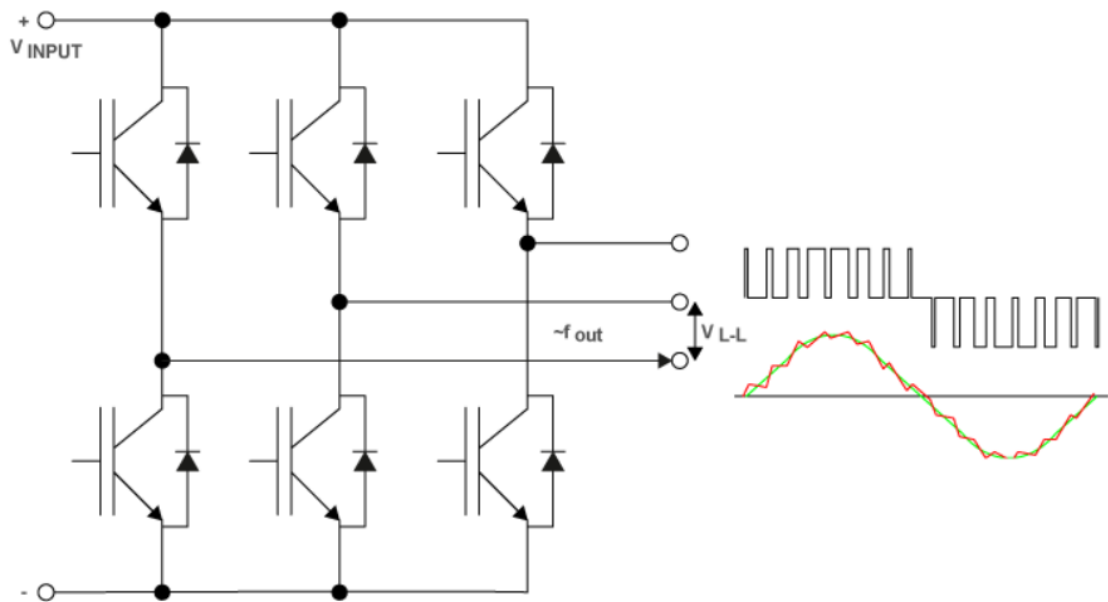


Kuva 3. Tehokytkimien tilat, joilla saa erilaiset käämivuon vektoriaseennot aikaan staattoriin. [5.]

Kuvasta 3 voidaan havaita, että kuvassa esitetyt kytkinkombinaatiot tuottavat vain tietyt vuon vektoriaseennot moottorin staattorissa. On olemassa kaksi muuta tapaa kytkeä tehokytkimet päälle, jotka eivät tuota vuota moottoriin tai oikosulkevat DC-välipiirin. Kombinaatio, jossa kaikki kuusi kytkintä ovat johtamattomassa tilassa, ei synnytä vuota. Kombinaatio, jossa kaikki kuusi kytkintä johtavat samanaikaisesti, tarkoittaa DC-välipiirin oikosulkua mikä ei ole sallittu tilanne. Taajuusmuuttajan ohjaus- ja suojauslogiikka huolehtii siitä, että oikosulkutilannetta ei pääse syntymään.

Moottorin ohjusta varten tarvitsee kytkeä vain kytkinkombinaatiot 1-6 järjestyksessä jollain määrättyllä taajuudella. Käytännössä tätä harvemmin tehdään näin, koska jännitteen aaltomuoto, joka muodostuu staattorin käämeihin, on puhdasta suorakaideaaltoa. Suorakaideaalto on moottorille haitallinen ohjaustapa, koska se muodostaa yliaaltoja staattorin käämeissä ja sen seurauksena ylimääräisiä häviöitä ja paikallista kuumenemista. Moottorin elinikä voi tällöin lyhentyä merkittävästi. Suorakaideaaltoa käytettiin moottorin ohjauksessa 80-luvulla. [3.]

Nykyään moottorisillan tehokytkimet kytketään käyttäen korkeampia kytkintäajuuksia kuin ennen. Kytkintapoja on olemassa monia, mutta haluttu lopputulos on saada aikaan pyörivä vuovektori moottorin staattoriin. Eräs esimerkki modulointitekniikasta on kolmi-vaiheinen sinimodulaatio. Sinimodulaatio nimensä mukaan on tarkoitettu approksimoimaan siniaallon muotoa käyttäen suorakaideaaltoa. Sinimodulaatiossa käytetään hyväksi puhdasta siniaaltoa referenssiaaltona. Sinimodulaation tuottama jänniteaaltomuoto ja sen tuottama virran aaltomuoto on esitetty kuvassa 4.



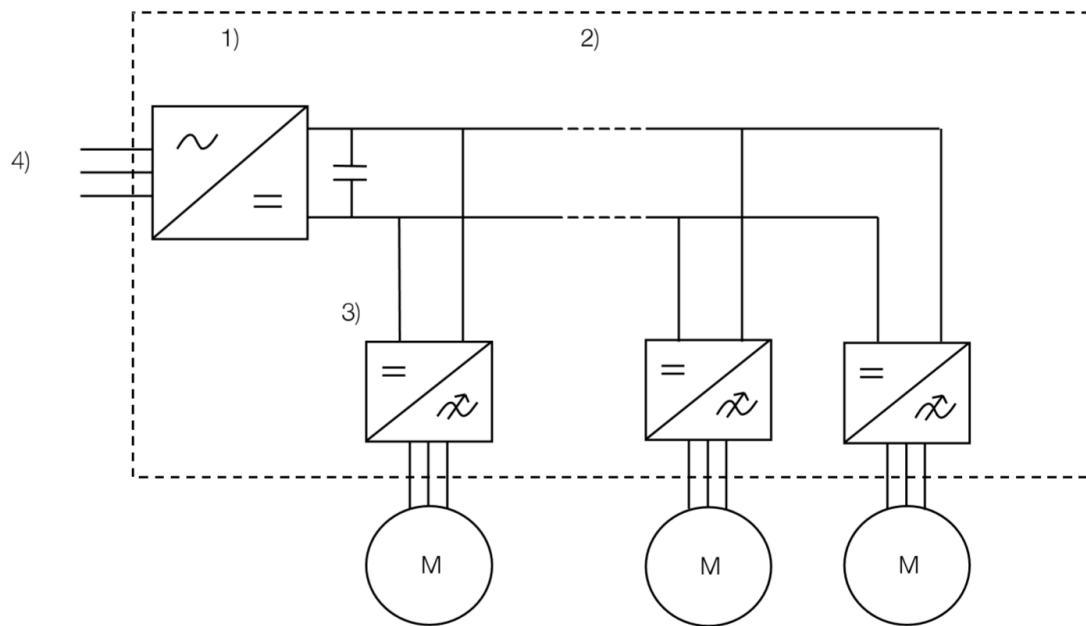
Kuva 4. VSI-taajuusmuuttajan moottorisillan tuottama vaihejännitteen sinimuotoinen PWM-aaltomuoto, mikä tuottaa lähes sinimuotoisen vaihevirran. [6.]

Kuvan 4 mukainen virran aaltomuoto johtuu induktiivisesta kuormasta. Koska moottori on induktiivinen kuorma, pulssinleveysmoduloitu jännite tuottaa aina suunnilleen sinimuotoisen virran, jolla moottori toimii.

2.3 Monimoottorikäyttö

Monimoottorikäyttö on taajuusmuuttaja, joka on valmistettu erillisistä moottorisilloista, jotka on kaikki kytketty samaan DC-välipiiriin. Verkkosiltoja tarvitaan vähintään yksi kappale, jotta monimoottorikäyttöä voi käyttää. Verkkosilta voi olla verkkoon syöttävä, jos

siltana käytetään IGBT-siltaa. Yleensä ratkaisuna on erillinen tasasuuntausyksikkö, joka tasasuuntaa verkosta tulevaa AC-jännitettä ja syöttää DC-jännitettä yhteiseen välipiiriin. Tämä tasasuuntausyksikkö mitoitetaan koko monimoottorikäytön hetkellisen maksimiti-
hon mukaan. Esimerkkikaavio monimoottorikäyttöisestä järjestelmästä on esitetty ku-
vassa 5.



Kuva 5. Monimoottorikäyttö. Kohdassa 4) on kolmivaiheinen verkon syöttö. 1) on tasasuuntaus-
yksikkö. 2) on DC-välipiiri ja 3) ovat yksittäiset moottorisillat kytkettynä moottoreihin. [7.]

Monimoottorikäytön etu on se, että yhden moottorin jarruttaessa, toinen kiihdyttävä moottori voi hyödyntää jarruttavan moottorin energian omaan kiihdytykseensä. Tämä johtuu siitä, että kaikki verkkosillat jakavat saman välipiirin DC-jännitteen keskenään. Yksikin moottoria jarruttava verkkosilta alkaa syöttää virtaa DC-välipiiriin. Tämä ilmenee jarrituksen aikana DC-välipiirin jännitteen nousuna.

2.4 Taajuusmuuttajamoduuli

Taajuusmuuttajamoduuli on taajuusmuuttajan komponentti, joka sisältää moottorisillan ja välipiirin tehokomponentit. Jos kyseessä on yhden moottorin käyttö, taajuusmuuttaja-
moduuli sisältää verkkosillan, DC-välipiirin ja moottorisillan. Taajuusmuuttajassa, jota

käytetään monimoottorisovelluksessa, moduulit voivat olla esimerkiksi tasasuuntaaja-moduulit, DC-välipiirin suodatusmoduulit tai vaihtosuuntaajamoduulit. Monimoottorikäytön yksi käyttöetu on se, että yhden komponentin rikkoutuessa ei tarvitse vaihtaa koko monimoottorikäyttöistä taajuusmuuttajaa. Jos esimerkiksi yksi moottorisilta rikkoutuu, niin se voidaan vaihtaa tai korjata yhtenä moduulina. Monimoottorikäytöt tehdään yksittäisistä moduuleista siitä syystä, että taajuusmuuttajat monimoottorikäytössä voivat olla erittäin suurikokoisia ja kalliita. Sanaa taajuusmuuttajamoduuli käytetään yleensä ilmaisemaan verkkosiltaa sisältävää moduulia, jossa on sisäänrakennettu DC-välipiirin kondensaattorit, ohjaus- ja apulaitteistot sekä moottorisilta.

3 ACS800-tuoteperhe

ACS800 on parannettu versio aiemmasta ABB:n ACS600-taajuusmuuttajatuoteperheestä. ACS600-tuoteperhe oli ABB:n ensimmäisin tuoteperhe, jossa oli käytössä suora momenttisäätö tai DTC-moottorisäätöteknologia. ACS600-tuoteperhe tuotiin markkinoille vuonna 1995. DTC-säätö pystyy reagoimaan moottorin kuormanmuutoksiin moninkertaisesti nopeammin verrattuna aiempiin vektorisäätömenetelmiin. DTC-säädön kanssa ei tarvita enää nopeus- tai asema-anturia moottorin akselilla, koska DTC pystyy säätämään moottorin pyörimisnopeutta ja akselin asemaa tarkasti ilman akselin anturointia.

ACS600-tuoteperheen julkaisun jälkeen on huomattu sen tuotteissa paljon puutteita ja kehitettävää. 90-luvulla oli ongelmia nopeiden ohjausjärjestelmien kanssa ja tehoelektronikan komponentit olivat vähemmän toimintavarmat. Tarkoituksena oli suunnitella kokonaan uusi tuoteperhe, mikä käyttäisi samaa teknologiaa kuin ACS600, mutta uusilla ja nykyaikaisilla komponenteilla ja teknisillä ratkaisuilla. ACS800-tuoteperhe tuotiin markkinoille vuonna 2002, jolloin ensin tulivat myyntiin pienimmät taajuusmuuttajat. Tässä projektissa käsiteltävät R7i- ja R8i-taajuusmuuttajamoduulit tuotiin markkinoille vuonna 2003. ACS800-tuoteperhe on kuitenkin nykypäivänä vanhentunut, mutta asiakkaat haluavat ostaa ACS800-tuotteita, joten tuoteperheen myynnin lakkauttamista ei voi ennustaa tarkasti.

4 Taajuusmuuttajamoduulin koestus

Koestus on viimeinen vaihe ennen pakkausta, joka valmiille moduulille suoritetaan ennen kuin se lähetetään asiakkaalle. Jos koestusvaiheessa jää puutteita tai tiettyjen toiminnallisten ominaisuuksien koestusta ei suoriteta tehtaan asettamien määräysten mukaisesti, saattaa taajuusmuuttajakäyttö vikaantua toiminnan aikana. Tästä voi seurata suuret tuhot ja tuotantokatkokset; pahimmissa tapauksissa voi aiheutua tapaturmia ihmisille.

Moduulia koestettaessa on varmistettava, että tehtaan määrittämä toiminnallisuus on kunnossa sekä kaikki valmistusvaiheessa aiheutuneet viat tai virheet on havaittu. Koestusprosessi voi olla moduulin koosta riippumatta laaja. Jos kyseessä on tavallinen yhtä moottoria käyttävä moduuli, on ainakin koestettava sen perusfunktiot ja pääpiirin toiminta. Jokaiselle moduulille on määritetty koestusohjelma.

4.1 ACS800 R8i- ja R7i-moduulien koestus

Koestusohjelma on molemmille runkotyypeille sama ja koestuksiin kuuluvat ainoastaan sähköiset koestukset. Koestukset tehdään järjestyksessä ja ne ovat seuraavat:

1. eristysvastusmittaukset ja vuotovirtakoe.
2. DC-välipiirin kondensaattoreiden jännitteenkestoisuus.
3. nimellinen kuormitus- ja lämpörasitusajo.
4. ylivirtatesti.

Eristysvastusmittaus ja vuotovirtakoe ovat koestuksia, joissa moduulin sisäisiä eristyksiä koestetaan nimellistä käyttöjännitettä suuremmalla jännitteellä. Moduuliin ei tässä vaiheessa vielä syötetä tehoa. Jos moduuli läpäisee eristysvastus ja vuotovirtakokeet, moduuli voidaan kytkeä teholähteeseen.

DC-välipiirin kondensaattoreiden jännitteen kestokokeessa koestetaan DC-välipiirin toiminnallisuus. Tärkein osuus tässä vaiheessa on hidas jännitteen nosto moduulin sisään-tuloliittimissä omaan nimelliseen jännitteeseen asti rajoitetulla virralla. Tämä tarvitaan, jotta saadaan varmistettua, että DC-välipiirin kondensaattorit ja tehopuolijohteet eivät ole viallisia. Jos esim. DC-kondensaattoreissa on vaurio, joka voi aiheuttaa oikosulun, säädetyllä virralla oikosulun seuraus on pienempi kuin täysitehoisella verkkosyötöllä. Samalla tässä koestuksessa moduuli käytetään ilman kuormaa varmistamaan, että moduulin käyttöjärjestelmä toimii oikein. Moduulin läpäistyä koestusvaiheen moduuli voidaan koestaa kuorman kanssa.

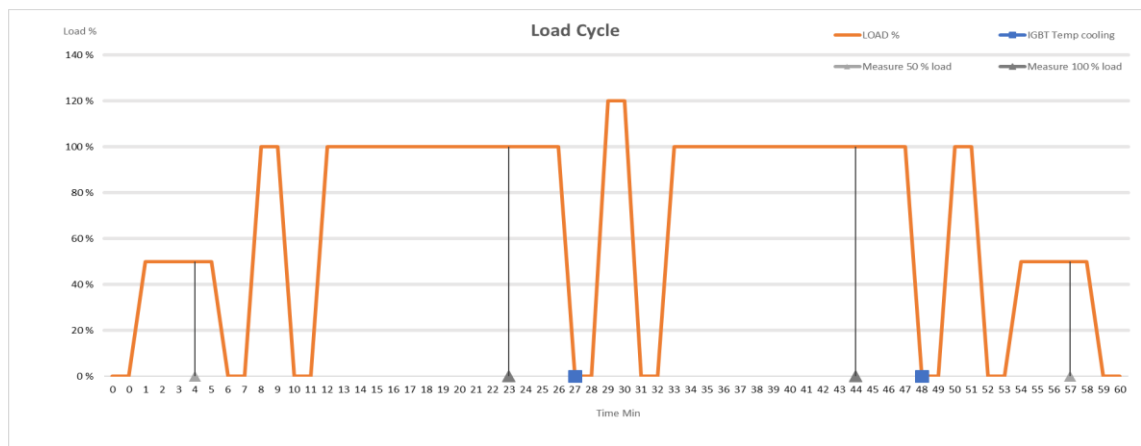
Nimellisessä kuormituksessa moduulia kuormitetaan määrätyn ajan omalla nimellisvirrallaan, jotta saadaan moduulin pääpiiri ja muut apulaitteistot koestettua. Nimellinen kuormitus kestää kaikista koestuksista eniten ja nimellisen kuormituksen lopussa tehdään ylivirtatesti. Ylivirtatestin tarkoitus on tarkistaa, että moduulin vikadiagnostiikka toimii oikein. Nimelliskuormituksen ja ylivirtatestin läpäistyä moduuli on valmis lähetettäväksi asiakkaalle. [8.]

4.2 IGBT:n kuormitus ja lämpörasituskoee

Moduulin toiminnan kannalta, moottorisillan IGBT:t ovat sen yleisimmin vikaantuvat komponentit. Jos IGBT:ssä on vaurio, joka on voinut tulla valmistuksen aikana, tämä vaurio tulee jossain vaiheessa esiintymään moduulin käytön aikana. Vaurion tason mukaan IGBT voi vikaantua monella eri tavalla. Pahimmassa tapauksessa IGBT:ssä syntyy oikosulku. Jos IGBT vikaantuu oikosulkuun, yhden kytkinjakson aikana moottorisilta oikosulkee tällöin DC-välipiirin. Tämä tilanne on haastava, koska jos taajuusmuuttajan suojaus ei ehdi reagoida vikatilanteeseen, voivat moottorisillan haaran molemmat IGBT:t tuhoutua, josta seurauksena voi olla räjähdys ja tulipalo. Jos moduuli toimii verkkosiltana, IGBT:n oikosuku voi aiheuttaa myös DC-välipiirin kondensaattorien vikaantumisen.

IGBT:n koestuksissa pyritään havaitsemaan kaikki mahdolliset valmistuksen aikana syntyneet vauriot, jotka voivat aiheuttaa moduulin vikaantumisen. ABB:llä käytetty koestus IGBT-puolijohdemoduuleille on lämpörasituskoee. Lämpörasituskoee on koestusvaihe, jossa valmis taajuusmuuttajamoduuli testataan vaihtelevalla kuormalla käyttäen

kuormituksena kuristinta. IGBT-puolijohdemoduulit on jo tällöin asennettu taajuusmuuttajamoduuliin ja eristysvastuskoestukset ja vuotovirtakokeet on tehty moduulille. Kullekin moduulityypille on määritelty sama kuormitusprofiili. Moduulin tulee kestää määritellyt ajanjaksot tietyillä kuormituksilla. ABB:n koestusohjelman mukaisesti kuormituskoe kestää 60 minuuttia. R7i- ja R8i-moduulien koestuskuormitusyksi on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Lämpörasituskoestuksen kuormitusyksi. Kuormituskäyrä on esitetty prosentteina moduulin nimellisvirrasta.

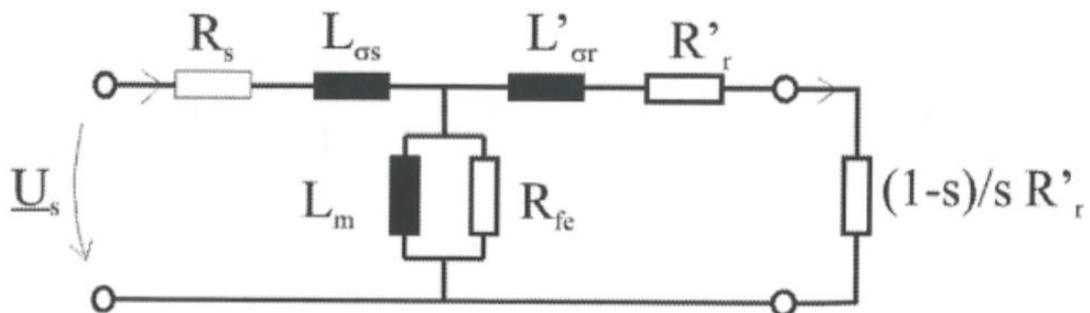
Kuvan 6 vaihteleva kuormitus aiheuttaa erillisten taajuusmuuttajamoduulin komponenttien lämpenemisen. Erityisen tärkeätä tässä koestusprosessissa on se, että saadaan IGBT:t rasitettua lämmöllä. Jos komponentti on valmistuksen aikana vaurioitunut, se ilmenee todennäköisesti lämpörasitusajossa. Lämpörasitusajossa komponentteja myös kuormitetaan nimellistään suuremmalla virralla. Moduuleille luvataan arvokilvessä lyhytaikainen ylikuormitettavuus, joka koestuksessa testataan. Tätä varten moduulia kuormitetaan hetkellisesti 120 % kuormalla lämpörasitusajon puolivälissä.

Muuttuva kuormitus lämpörasitusajossa on tarkoitettu muidenkin mahdollisten virheiden havaitsemiseen. Virhe voi olla, että sähköliitosta ei ole kiristetty riittävästi, mikä voi tulla valmistuksen aikana tuotantolinjalla. Huonosti kiristetyt liitokset havaitaan lämpörasitusajossa lähes aina.

4.3 Induktiomoottori moduulin koekuormana

ACS800-taajuusmuuttajia käytetään teollisuudessa induktiomootoreiden ohjaamiseen, ja moottori on kuorma, jolle tehdas takaa moduulin luotettavan toiminnan. Moottorin matemaattinen malli on erittäin monimutkainen, ja kuormana sähköpiirissä moottori on epälineaarinen kuorma. Induktiomoottorin toiminta perustuu magneettiseen induktioon ja induktiomoottoria kolmivaiheisena kuormana voidaan yksinkertaistaa kuristimella, mutta malli ei ole täydellinen. Sähköteho, jonka moottori ottaa verkosta on suunnilleen suoraan verrannollinen moottorin akselilta otettavaan mekaaniseen tehoon. Moottorin ottama teho verkosta on myös pääosin pätötehoa, loisteho tarvitaan moottorin magnetointiin. [9.]

Induktiomoottorin toimintaa staattisessa tilassa voidaan kuvata yksivaiheisella mallilla. Staattinen tila on sellainen, jossa moottorin pyörimisnopeus on vakio ja moottorin kuormitus on tasainen. Kuva 7 esittää induktiomoottorin sijaiskytkentää staattorista katsottuna.



Kuva 7. Oikosulkumoottorin sijaiskytkentä staattisessa tilassa. [9.]

Induktiomoottorin sijaiskytkennässä on pelkästään resistiivisiä sekä induktiivisiä komponentteja. Kaikki induktiiviset komponentit piirissä kuluttavat loistehoa ja resistiiviset komponentit kuluttavat pätötehoa. Sijaiskytkennän komponentit, joissa alaindeksissä esiintyy r-kirjain, viittaavat roottoriin, ja s-kirjain viittaavat staattoriin. Loput sijaiskytkennän komponentit viittaavat magneettipiiriin, jotka aiheuttavat hajavuota tai rautahäviöitä. Roottorin piirissä on vastuskomponentti $(1-s)/sR'_r$, joka kuvaa roottorin muuttuvaa

kuormaa. Tässä komponentissa on termi s , joka on jättämä. Jättämällä tarkoitetaan oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden ja synkronisen nopeuden erotusta. Jättämä on sitä suurempi, mitä enemmän moottoria kuormitetaan. Tällöin jos jättämä saa arvoksi nolla (ei kuormitusta), kaavan $(1-s)/sR'$ vastusarvo lähestyy ääretöntä, mikä tarkoittaa, että vastusta piirissä ei enää ole. Kaikki sähköteho menee silloin staattoriin. Taajuusmuuttajan kuormituksen kannalta on olennaista, että moottori kuormitetaan koko ajan mekaanisesti, jotta roottorin jättämä ei saisi arvoksi nolla. [9.]

Moottorikuormitus on ideaalinen koestusolosuhde moduulille, koska moottorikuorma vastaa moduulin normaalia toimintaolosuhdetta. Käytännössä todellisen kuorman toteuttaminen on hankalaa sen vuoksi, että moduuli on kuormitettava aina omalla nimellisvirrallaan. Suuri haaste tässä tapauksessa on kuorma-asetelman luominen. ACS800-sarjan R8i-moduuleilla syöttävien moottoreiden tehot voivat olla yli 2 MW, jos käytetään useaa saman runkokoon moduulia rinnakkain. Tällaisilla tehoilla induktiomootorit ovat isokokoisia ja painavia, sekä moottorin kuormitus on hankalaa järjestää. Tämä ongelma ratkaistiin tekemällä päätös, että käytetään kuristimia moottoreiden sijaan.

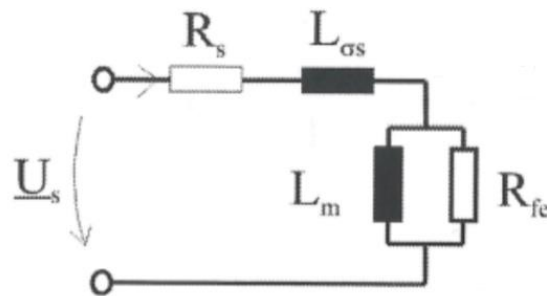
5 ACS800-moduulin kuormitus kuristimella

5.1 Kuristinkuorma moduulin koestuksessa

Kuristin on induktiivinen komponentti, jonka induktanssi kuvaa sen kykyä vastustaa virran muutosta. Kuristimia käytetään sähköteknisissä kytkennöissä rajoittamaan AC-virran voimakkuutta, suodattamaan yliaaltoja verkossa sekä varastoimaan energiaa magneettikentän muodossa. [10.]

Kuristimen tarkoitus moduulin koestuskäytössä on säätää virtaa moduulin lähdössä. Koestustilanteessa kuristin kytketään moduulin lähtöön samalla tavalla kuin moottori. Kuristimella on induktanssi, jonka avulla saadaan piiriin haluttu virta tietyissä rajoissa säätämällä moduulin ulostulojännitettä ja taajuutta. Tässä pitää huomioida, että kuristin ei ole moottorin täydellinen sijaiskomponentti, koska kuristin ei kuluta pätötehoa. ACS800-taajuusmuuttajat ovat kuitenkin suunniteltuja kestäväksi voimakkaita

induktiivisia kuormia hyvin. Tärkein asia, mikä pitää ottaa huomioon on, että ei ylitetä moduulin nimellistä lähtövirtaa koestuksessa. Rautasydämällä rakennetun kolmivaiheisen kuristimen yksivaiheinen malli saadaan induktiomootorin sijaiskytkennästä poistamalla roottorihaaran, jolloin jää vain staattorihaara jäljelle. Tällöin kuristin voidaan mallintaa kuvan 8 sijaiskytkennällä.



Kuva 8. Oikosulkumootorin sijaiskytkennästä otettu staattoriosio. Kytkennällä voidaan mallintaa kuristinta. [9.]

Kuvasta 8 voi havaita, että jäljelle jääneet komponentit induktiomootorin sijaiskytkennästä ovat staattoriin liittyvät komponentit. Moottorin staattori ilman roottoria vastaa toiminnaltaan kuristinta. Moduulikoestuksen mittauksissa jätetään staattorin resistanssi, rautahäviöt ja hajavuo huomioimatta, joten jäljelle jää vain kuristimen induktanssi.

ABB Drives tehtaalla on useita koestamoja, joissa koestajat käyttävät moduulien koe-kuormituksen laskentaa päivittäin. Käytännössä on havaittu, että käyttämällä pelkkää kuristimen induktanssia moduulin lähtövirran laskennassa, saavutettava lopputulos on lähellä oikeaa. Todellisuudessa kuristimen käämin resistanssi aiheuttaa aina pienemmän moduulin lähtövirran. Tilannetta voi korjata nostamalla moduulin lähtöjännitettä.

Kuristimen vastusta sinimuotoisessa AC-piirissä kutsutaan induktiiviseksi reaktanssiksi. Kuristimen reaktanssi voidaan laskea ohmeina kaavalla 1, jos tiedetään taajuus ja kuristimen induktanssi. [10; 11.]

$$X_L = 2 * \pi * f_{out} * L \quad (1)$$

X_L on kuristimen reaktanssi
 L on kuristimen induktanssi
 f_{out} on taajuusmuuttajamoduulin lähtötaajuus

5.1.1 ACS800-moduulin parametointi

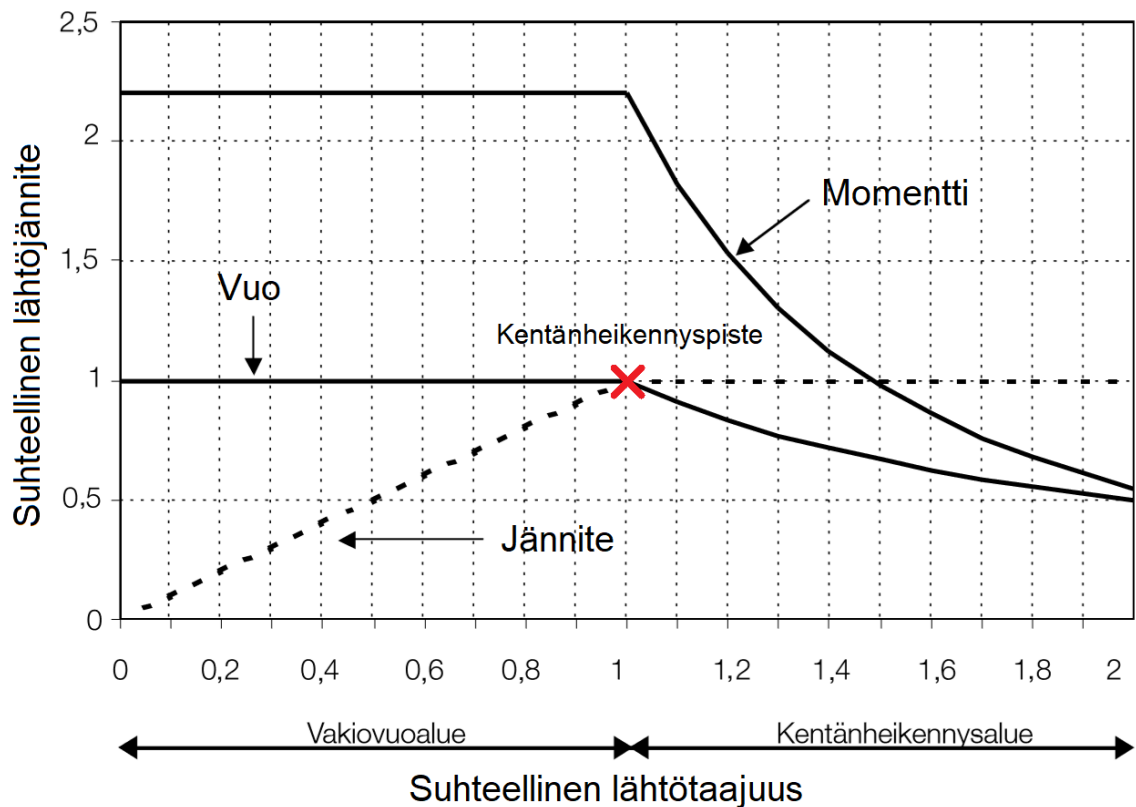
Parametointi tarkoittaa taajuusmuuttajamoduulin sähköisten arvojen asettamista käyttöä varten. Uusi moduuli pitää aina parametroida moottoria varten. Parametrit ovat moduulin käyttöjärjestelmässä olevia arvoja, joita käyttäjä voi asettaa haluamallaan tavalla tietyissä rajoissa. Esimerkki tällaisista parametreista ovat moottorin nimellisarvot. Jos taajuusmuuttajakäyttö syöttää moottoria, käyttäjä voi parametroida taajuusmuuttajan moottoriarvot lukien ne suoraan moottorin arvokilvestä. ACS800-moduuleissa on olemassa monia eri parametreja tuoteperheen laajojen käyttömahdollisuuksien takia. Kun moduulit koestetaan kuristimilla, tärkeimmät parametrit ovat moottorin nimellisarvot, koska ne vaikuttavat suoraan moduulin lähtöjännitteeseen ja taajuuteen.

Moottorin nimelliset parametrit ACS800-tuotteissa kuuluvat käyttöönottotietoihin. Moottorin nimellisarvot asetetaan moduulin ohjauspaneelilta. Koestuslinjassa kaikki moduulin parametriasetykset asettaa automaatio. ACS800-monimoottorikäyttöjen moduulien, joiden nimellinen käyttöjännite on 690 V, moottorin nimellisarvot voidaan asettaa välille 345 V – 1380 V. Taajuus, jolla kaikki ACS800-moduulit koestetaan, on 50 Hz. Moduulien koestuksessa käytetään skalaariohjausta.

5.1.2 Moottorin skalaariohjaus kuristinkuormituksessa

Koska moduuleille ei saada aitoa kuormitusta, on skalaariohjaus ainoa mahdollinen ohjaustapa. Skalaariohjauksessa tiedetään vain, mikä jännite ja taajuus moduulista saadaan. On tärkeää huomioida, että moottorin nimellisarvoparametrilla ei aseteta tässä

tapauksessa moduulin lähtöjännitettä, vaan moottorin nimellistä jännitettä. Moottorin nimellijännite on maksimijännite, jonka taajuusmuuttajamoduuli moottorille syöttää. Skalaariohjauksessa moduuli ylläpitää lähtöjännitteen suhdetta taajuuteen vakiona, mikä luo moottoriin vakiovuon kentänheikennyspisteen asti. Moottorin momentti on suoraan riippuvainen moottoriin luodusta magneettivuosta. Moduulin ollessa kuormitettuna kuristimella vakiovuon vastaa kuristimelle menevää vakiovirtaa. Moduulin lähtöjännitteen suhdetta taajuuteen voidaan esittää Kuvan 9 käyrällä.



Kuva 9. Moduulin lähtöjännitteen riippuvuus taajuudesta. Vaaka-akselilla on moottoriin syötettävä taajuus ja pystyakselilla esitetään suhteellisina arvoina moottorin liittimissä vaikuttava jännite ja moottorin momentti. [7.]

Kuvasta 10 voidaan havaita, että moduulin lähtötaajuuden kasvaessa, kasvaa myös lähtöjännite samassa suhteessa. Lähtötaajuus on moduulin käyttäjän antama suure, joka vaikuttaa moottorin pyörimisnopeuteen. Kuvassa on myös havainnollistettu kentänheikennyspiste, jonka jälkeen moduuli ei enää nosta lähtöjännitettä. Lähtöjännitteen riippuvuus moduulin lähdössä esitetään kaavalla 2 jossa U_N on moottorin nimellijännite ja f_N

on moottorin nimellistaajuus. Kaava pätee vain lähtöjännitteelle ennen kentänheikennyspistettä. Kentänheikennyspisteen jälkeen lähtöjännite on sama kuin nimellisjännite.

$$U_{out} = \frac{U_N * f_{out}}{\sqrt{3} * f_N} \quad (2)$$

U_{out} on moduulin lähtöjännite (V)
 U_N on moottorin nimellisjännite (V)
 f_N moduulin nimellistaajuus (Hz)

Jos lähtötaajuus on pieni suhteessa moottorin nimellistaajuuteen, vuo on silloin pieni ja lähtöjännite myös pieni. ABB:n Drives-tehtaalla, moduulikoestuksessa on perinteisesti asetettu moottorin nimellistaajuus mahdollisimman suureksi eli 300 Hz. Syynä kyseiselle asetukselle on lähtöjännitteen pitäminen mahdollisimman pienenä. Tällöin voidaan käyttää pienempiä ja edullisempia kuristimia kuin suuriilla jännitteillä. Tällöin kahden taajuuden suhde saadaan vakioksi.

Kun tiedetään moduulin lähtöjännite ja taajuus, voidaan laskea tarvittava virta moduulin lähdöstä tiettyä kuristinta varten. Kuristimella kuormitettaessa halutaan moduulia kuormittaa nimellisvirralla ja tietyn jakson ajan 120 %:n ylivirralla. Lähtöjännite riippuu lähtövirrasta ja kuristimen reaktanssista. Kun kuristimen reaktanssi on tiedossa, voidaan moduulin lähtövirta laskea kaavalla 3.

$$I_{out} = \frac{U_{out}}{2 * \pi * f * L} \quad (3)$$

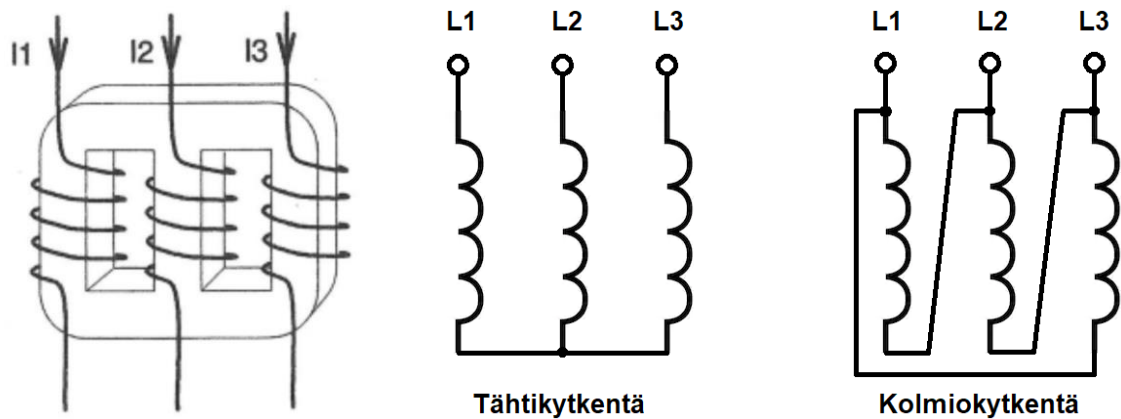
I_{out} on moduulin lähtövirta (A)

Käytännössä moduulin lähtöjännite ei ole tiedossa. Koska koestuksessa käytettävän skalaarisäädön aiheuttama lähtöjännite riippuu taajuudesta, on koestuksessa käytettävä suhteellinen nimellisjännite, joka on moduulin lähtöjännite. Nimellisjännite on laskettava moduulin nimellisvirran, kuristimen reaktanssin ja käytettävän suhteellisen taajuuden perusteella. Kaavat 2 ja 3 yhdistämällä saadaan kaava 4.

$$U_N = \frac{I_{out} * 2 * \pi * f * L}{\sqrt{3} * 0,167} \quad (4)$$

5.2 Kolmivaihekuristin

Kolmivaihekuristin on sähkötekniinen komponentti, jossa on kolme käämiä käämittynä samalle kolmihaaraiselle sydämelle. Kolmivaihekuristin, joka on käämitty kolmihaaraiselle rautasydämelle, sekä sen kytkennät on esitetty kuvassa 10.



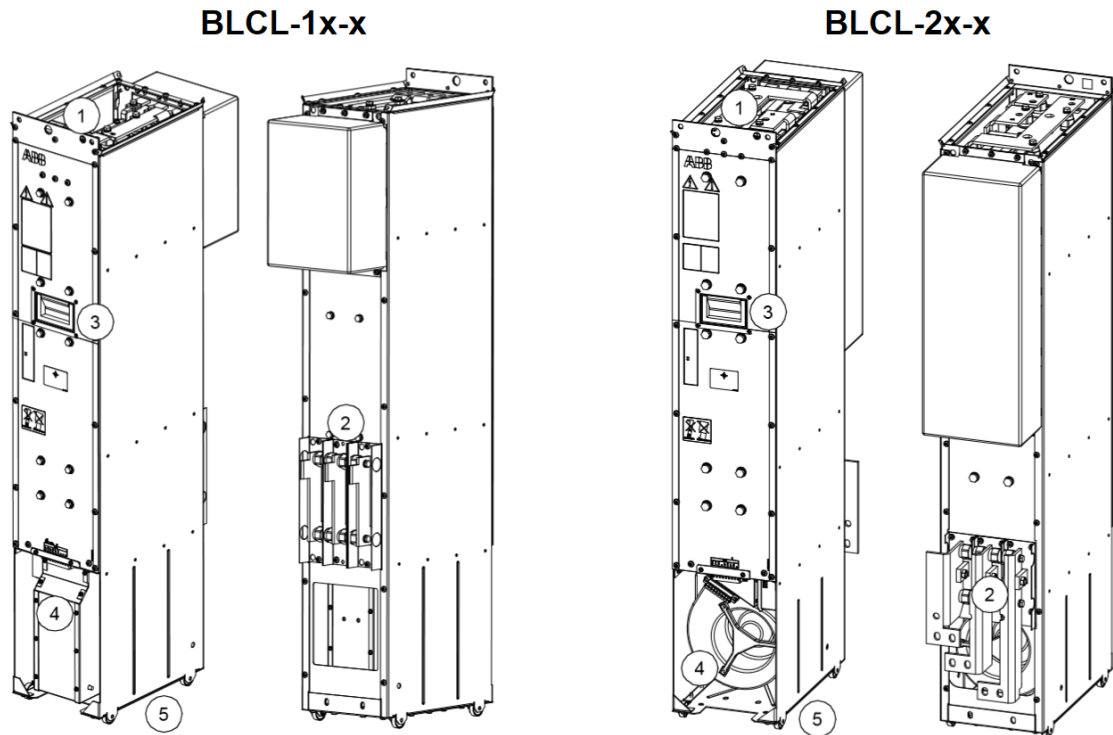
Kuva 10. Kolmivaihekuristimen periaatekuva ja sen mahdolliset kytkentävaihtoehdot. [12.]

Kuristimen jokaisen erillisen käämin päät ovat avoimet, ja kyseinen kuristin voidaan kytkeä esimerkiksi sarjaan kuorman kanssa tai suoraan yli kolmivaiheisen virtalähteen. Jos kuristin kytketään kolmivaiheisen virtalähteen yli, on kuristimen käämien avoimet päät kytkettävä joko tähteen tai kolmioon. Mikä kytkentä valitaan, riippuu virta- ja jännitevaatimuksista. ACS800-moduulien koestuksessa käytetään kuristinta tähtikytkennässä. [11; 13.]

5.3 Kuormakuristimien kotelointi ja asennus

Tilausvalmisteiset kuormakuristimet, jotka on tehty uuden koestuslinjan käyttöön, on koteloitu ABB:n BLCL-XX-X-verkkosuodatinkoteloihin. Päätös käyttää BLCL-yksiköitä kuormakuristimien sijoitteluun tehtiin siksi, että rakenteesta tulee modulaarinen ja tiivis. Rakenteen modulaarisuus tulee siitä, että samoja kuristimia voidaan myöhemmin käyttää jossain toisessa koestamossa. BLCL-kotelot ovat vapaasti asennettavat ja poistettavat omasta kammiosta liukuasennuksella. Jokaisen BLCL-kotelon pohjassa on rullat,

joilla koteloa voi kuljettaa. Koteloa ei tarvitse lukita kojekaappiin kiinni pysyvästi esim. pulteilla. BLCL-XX-X-kotelossa on tuulettimet vakiona. BLCL-koteloita käytetään kahta vaihtoehtoa ja ne on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. BLCL-verkkosuodatinmoduuli. 1) sisääntulokiskot. 3) kahva moduulin asentamista varten kammioon. 2) lähtöliittimet. 4) tuuletin. 5) kuljetusrullat. [14.]

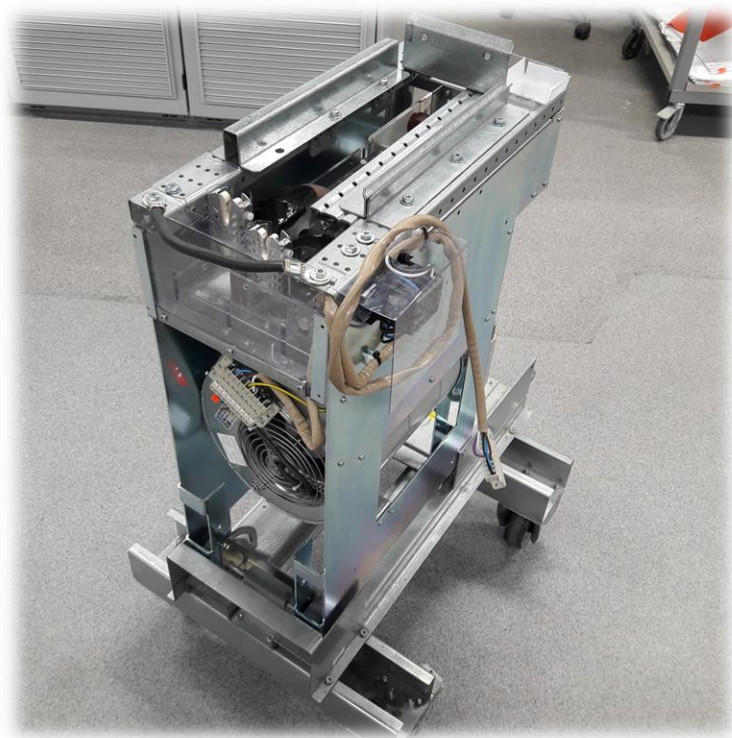
Kuvan 11 kaksi eri kotelotyyppiä ovat kahden eri virta-alueen vaihtoehtoja. BLCL-2X-X on tarkoitettu virta-alueelle 250 A – 2000 A. Mekaanisesti nämä kaksi koteloa ovat identtisiä asennuksen kannalta. Koteloita ei kuitenkaan voi vaihtaa keskenään ristiin, koska lähtöliittimet ovat eri paikoissa. Tässä projektissa on käytetty molempia koteloita, koska koestettavien moduulien virtojen vaihtelualue on laaja (69 A – 2000 A). Kuormakuristimien BLCL-koteloon sijoittelun jälkeen, kuristinyksikkö voidaan asentaa omaan kammioonsa. Koestuslinjassa on yhteensä 6 paikkaa kuristimille, jotka on jaettu kolmeen kaappiin. Jokaisessa kaapissa on kaksi kuristinta, ja kuristimet voidaan kytkeä rinnan kontakteilla. Kuristinkammioiden pääpiirikaavio on esitetty liitteessä 2. Esimerkkikuva kahden kuormakuristinyksikön ollessaan omissa kammioissaan on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Kuormakuristimet asennettuina omiin kammioihinsa.

6 Uusi koestuslinja

Uudelle koestuslinjalle annettiin nimi Blue-DS. Uudessa koestuslinjassa koestuspaikkoja on kaksi. R8i-moduulit voidaan kytkeä suoraan koestuspaikkaan, mutta R7i-moduuleissa on käytettävä sovitinta. R7i:n mekaaninen sovitin on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. R7i-moduulin mekaaninen sovitin.

R7i-moduulille ei ole olemassa omaa koestuskammiota, koska R7i-runkotyypin myyntimäärät ovat paljon pienemmät kuin R8i-moduuleilla. Mekaaninen sovitin R7i-moduuleille rakennetaan R8i-rungosta. Koko koestuslinja on rakennettu käyttäen ABB:n standardiosia ja -komponentteja. Valmis koestuslinja on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Valmis Blue-DS-koestuslinja toiminnassa. Kaapeissa 1-3 sijaitsevat kuormakuristimet. Kaapit 5 ja 6 ovat moduuleiden koestuskammiot. Kaapissa 7 sijaitsee tasasuuntaajayksikkö. Kaapissa 8 sijaitsee pääkatkaisija. Kaapeissa 4 ja 9 sijaitsevat apulaitteistot ja kaapissa 10 on koestajan käyttöliittymä.

6.1 Koestuslinjan toiminta

Blue-DS-koestuslinja on automaattinen, ja kaikki koestustoimenpiteet, jotka se suorittaa moduuleille, ovat automaatiologiikoiden ohjaamat. Koestuslinjaan kuuluu erilaisia mitaus-, ohjaus- ja valvontalaitteistoja, jotka toimivat määritellyssä järjestyksessä koestuksen aikana.

Ennen koestusta koestaja asentaa moduulin omaan koestuskammioonsa, kytkee kaikki tarvittavat sähköiset liitokset ja sulkee kammion oven. Koestuskammio on rakennettu ABB:n standardikojekaapistosta, ja linjan käyttö on yksinkertaista ja turvallista. Kaksi koestuskammiota R8i-moduuleita varten on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. ACS800-R8i-moduulien koestuskammiot ja R8i-moduulit asennettuina omiin koestuskammioihinsa.

Lopuksi koestaja käynnistää koestuksen. Logiikka asettaa ensin koestusta varten kaikki vaadittavat asetukset moduuliin, kuten nimellisen lähtövirran ja syöttöjännitteen käyttäen omaa tietokantaansa. Koestuksen tuloksena ohjelma ilmoittaa vian tai antaa hyväksynnän. Jos moduuli vikaantuu koestuksen aikana, linja keskeyttää koestuksen ja antaa viikailmoituksen koestajalle. Kaikki viat, jotka ovat mahdollisia, ovat ACS800-moduulien omat vikaantumiset. Esimerkkejä mahdollisista vikaantumisilmoituksista ovat: lähtövaiheiden oikosulku, IGBT:den ylikuumeneminen, IGBT-puolijohdemoduulien lämpöero liian suuri, kahden moduulin lähtövirran jakautuminen epätasainen. Vikaantumisen jälkeen moduuli lähetetään tuotantoon takaisin korjattavaksi.

6.2 Kuormakuristimien suunnittelu Blue-DS-koestuslinjaan

Projektin tavoitteena oli valita sellaiset kuormakuristimet, että kaikki R7i- ja R8i-taajuusmuuttajamoduulit voidaan koestaa kunkin omilla nimellisvirroilla ja vaadituilla ylikuormituksilla. Rajoittava tekijä oli kuristimien maksimimäärä, joka oli kuusi kappaletta. Projektin ohjausryhmä oli jo projektin alussa päättänyt, että vain kuusi kuristinta hankitaan. Kuristimien toimittajaksi valittiin alihankkija Trafotek Oy. Trafotek on toimittanut vastaavia

kuormakuristimia useille ABB:n yksiköille, joten yrityksellä on kokemusta kuormakuristimien suunnittelusta taajuusmuuttajamoduulikoestukseen.

Kuristimien valinnan tuli perustua siihen, että näillä kuudella kuristimella saadaan aikaiseksi kaikkien R8i- ja R7i-moduulien nimellisvirrat ja tarvittavat ylikuormitukset. Kaikki eri R8i- ja R7i-moduulit, niiden nimellisvirrat ja arvioidut pätötehot on esitetty taulukoissa 1 ja 2

Taulukko 1. Runkokokojen R7i nimelliset lähtöarvot. [15.]

Inverter module type	Frame size	Nominal ratings		No-overload use
		$I_{\text{cont.max}}$ A	I_{max} A	$P_{\text{cont.max}}$ kW
$U_N=400V$				
ACS800-104-0105-3	R7i	147	220	75
ACS800-104-0125-3	R7i	178	252	90
ACS800-104-0145-3	R7i	208	311	110
ACS800-104-0175-3	R7i	250	374	132
$U_N=500V$				
ACS800-104-0105-5	R7i	115	172	75
ACS800-104-0125-5	R7i	135	202	90
ACS800-104-0145-5	R7i	166	248	110
ACS800-104-0175-5	R7i	208	311	132
ACS800-104-0215-5	R7i	250	374	160
$U_N=690V$				
ACS800-104-0075-7	R7i	69	103	55
ACS800-104-0105-7	R7i	88	132	75
ACS800-104-0125-7	R7i	105	157	90
ACS800-104-0145-7	R7i	132	197	110
ACS800-104-0175-7	R7i	150	224	132
ACS800-104-0215-7	R7i	170	254	160

Taulukko 2. Runkokokojen R8i nimelliset lähtöarvot. [15.]

Inverter module type	Frame size	Nominal ratings		No-overload use	Inverter modules used
		$I_{\text{cont.max}}$ A	I_{max} A	$P_{\text{cont.max}}$ kW	
$U_N=400V$					
ACS800-104-0210-3	1xR8i	292	400	160	ACS800-104-0210-3
ACS800-104-0260-3	1xR8i	370	506	200	ACS800-104-0260-3
ACS800-104-0320-3	1xR8i	469	642	250	ACS800-104-0320-3
ACS800-104-0390-3	1xR8i	565	773	315	ACS800-104-0390-3
ACS800-104-0510-3	1xR8i	741	1014	400	ACS800-104-0510-3
ACS800-104-0770-3	2xR8i	1111	1521	630	ACS800-104-0390-3
ACS800-104-1030-3	2xR8i	1452	1988	800	ACS800-104-0510-3
$U_N=500V$					
ACS800-104-0260-5	1xR8i	315	457	200	ACS800-104-0260-5
ACS800-104-0320-5	1xR8i	365	530	250	ACS800-104-0320-5
ACS800-104-0400-5	1xR8i	455	660	315	ACS800-104-0400-5
ACS800-104-0460-5	1xR8i	525	762	355	ACS800-104-0460-5
ACS800-104-0610-5	1xR8i	700	1016	500	ACS800-104-0610-5
ACS800-104-0910-5	2xR8i	1050	1524	710	ACS800-104-0460-5
ACS800-104-1210-5	2xR8i	1372	1991	1000	ACS800-104-0610-5
$U_N=690V$					
ACS800-104-0260-7	1xR8i	215	322	200	ACS800-104-0260-7
ACS800-104-0320-7	1xR8i	289	432	250	ACS800-104-0320-7
ACS800-104-0400-7	1xR8i	336	503	315	ACS800-104-0400-7
ACS800-104-0440-7	1xR8i	382	571	355	ACS800-104-0440-7
ACS800-104-0580-7	1xR8i	486	727	450	ACS800-104-0580-7
ACS800-104-0870-7	2xR8i	729	1091	710	ACS800-104-0440-7
ACS800-104-1160-7	2xR8i	953	1425	900	ACS800-104-0580-7

Moduulien nimellisarvotaulukoissa on merkitty nimellisvirta $I_{\text{cont.max}}$, joka tarkoittaa moduulin jatkuvaa sallittua maksimivirtaa. U_N on jokaisen moduulin nimellinen käyttöjännite, joka syötetään verkkosiltaan. Taulukoista voidaan havaita, että R7i:n pienin esiintyvä nimellisvirta on 69 A (ACS800-104-0075-7), ja suurin mahdollinen nimellisvirta R8i-rungolla on 1452 A (ACS800-104-1030-3). Taulukoista voi myös havaita, että esimerkiksi ACS800-104-1030-3 tapauksessa on kaksi moduulia rinnakkain. ACS800 R8i -tuotteissa suurinta lähtövirtaa voidaan kasvattaa kytkemällä moduuleita rinnakkain ja tuotteet, joissa on enemmän kuin yksi moduuli, käsitellään erillisinä tuotteina. Uudessa koestuslinjassa voi koestaa kaksi R8i-moduulia samanaikaisesti, jos ne kuuluvat tuotteena yhteen. Kaksi moduulia voi koestaa rinnan, koska koestetaan jokaisen moduulin lähtövirran

tasaisen jakautumisen. Koestuslinjan koestuskammiot on rakennettu siten, että molempien kammioiden lähdöt on kiinteästi kytketty toisiinsa rinnan. Koestuskammioiden pääpiirikaavio on esitetty liitteessä 1.

Projektin työmäärän pienentämiseksi johtoryhmä ehdotti aluksi hyödyntämään jo olemassa olevia kaapitettuja kuristimia, jotka on koteloitu BLCL-koteloihin. Seuraava vaihe oli tehdä selkeä tutkimus siitä, ovatko jo olemassa olevat kuristimet hyvä vaihtoehto käytettäväksi Blue-DS-koestuslinjalla. Tehtävänä oli tehdä kaikki tarvittavat laskelmat ja kehittää Excel-taulukko, joka havainnollistaa, että kaikki R7i- ja R8i-runkojen moduuleissa esiintyvät nimellisvirrat voidaan kattaa kuudella kuristimella moduulien lähtöjännitteiden säätöalueella. Lähtöjännitteen säätöalue tarkoittaa R7i- ja R8i-moduulien lähtöjännitteen pienimmän ja suurimman lähtöjännitteen eroa, jonka välistä käyttäjä tai koestuslinja voi asettaa tarvittavan jännitteen parametroiden avulla.

6.3 Kuormakuristimien mitoitus

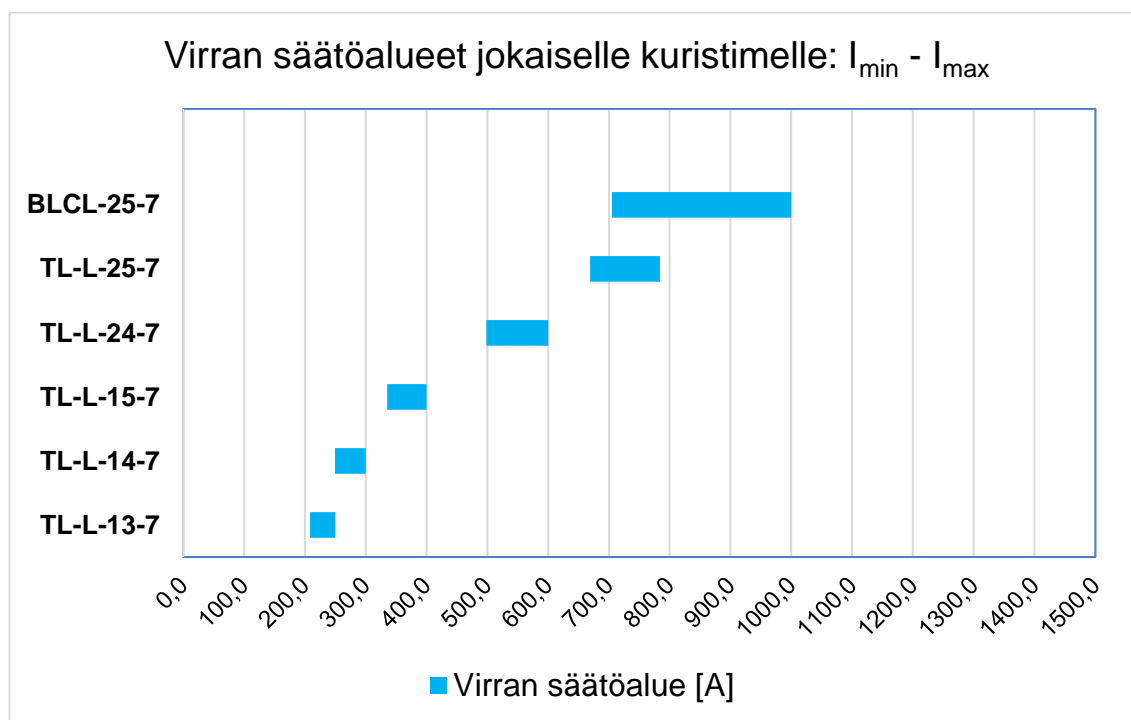
Taulukossa 3 on esitetty alkuperäisten kuristimien induktanssit ja maksimivirrat. I_{max} on tässä tapauksessa nimellinen terminen virtaraja, jonka ylittyessä kuristimen lämpenemä voi kasvaa yli sallitun. Toisin sanoen I_{max} on suurin jatkuva virta, jolla kuristinta voi kuormittaa ja kuristin toimii luotettavasti. Trafotek Oy takaa jokaiselle kuristimelle 150 %:n ylikuormituksen I_{max} virrasta, mutta 150 % on kuormitus, joka voi kestää vain tietyn ajan.

Taulukko 3. Alkuperäisten kuristimien nimellisarvot.

Kuristimet ja niiden nimellisarvot			Kuristimen virta 345 V:n moottorin nimellisjännitteellä
Tyyppi	L [μ H]	I_{max} [A]	I_{345} [A]
TL-L-13-7	507	250	209,0
TL-L-14-7	423	300	250,0
TL-L-15-7	315	400	336,0
TL-L-24-7	212	600	496,0
TL-L-25-7	158	784	669,0
BLCL-25-7	150	1000	705,0

Samalla taulukossa 3 on esitetty jokaisen kuristimen aiheuttama virta moduulin koestuspiirissä, kun moottorin nimellisjännitteeksi on valittu pienin mahdollinen. Kyseinen tieto on olennainen, koska moottorin nimellisjännitteen aiheuttama alaraja käyttää 345 V:n jännitettä pienimpänä mahdollisena, saa ajaksi pienimmän mahdollisen virran jokaisella kuristimella. Tästä seuraa, että on olemassa jokin virran säätöalue jokaiselle kuristimelle, missä pienin virta on moottorin nimellisjännitteen pienimmän arvon mukainen ja suurin kuristimen I_{\max} virran mukainen.

Laskennan jälkeen on tehty Excel-kuvaaja, joka esittää virran säätöalueet visuaalisesti. Kuvan tekemisessä virran alarajana on käytetty moduulin moottorin nimellisjännitteen 345 V:n arvoa ja ylärajana on käytetty kuristimien nimellistä maksimivirtaa. Kuvassa 16 on esitetty jokaisen kuristimen virran säätöalueet väripalkeilla.



Kuva 16. Jokaisen kuristimen virran säätöalueet. Vaaka-akselilla on virta ja sinisellä palkilla ilmaistu mahdollinen virran säätöalue. Säätöalueen pienin arvo on saatu moduulin moottorin nimellisjännitteen ollessaan 345 V ja suurin kuristimen arvon I_{\max} mukaan.

Kuvasta 16 Voi havaita että, kuristimien säätöalueet eivät kata koko virta-aluetta. Esimerkiksi kuormitusvirtoja 400 A – 500 A ei saada toteutettua millään olemassa olevista

kuristimista. Jokaisen kuristimen todellinen virran säätöalue on suurempi kuin mitä kuvassa on esitetty, mikä johtuu moduulin moottorin nimellisjännitteen ollessaan suurin mahdollinen. Käytännössä tämä on vähiten kriittinen yksityiskohta, koska kuristinkuorituksessa moduuliin lähtöjännitteeseen vaikuttaa ainoastaan koestuslinjan automaatio. Tällöin käyttäjän virhe asettaa sellainen jännite, joka tuottaa kuristimen maksimivirtaa suuremman virran, ei ole mahdollista. Alkuperäisillä kuristimilla ei saa aikaan 69 ampeerin pienimmän virran vaatimuksen eikä 2000 ampeerin ylemmän virran vaatimuksen täytettyä.

Koestamoon päätettiin hankkia erikoisvalmisteiset kuristimet, joiden induktanssit ja virta-alueet täyttävät R7i- ja R8i-moduulien tarpeet. Erikoisvalmisteisten kuristimien tekniset arvot on merkitty taulukkoon 4. Halutut kuristimien virtojen säätöalueet ja kuristimien induktanssit sovittiin ABB:n ja toimittajan teknisten asiantuntijoiden yhteistyöllä.

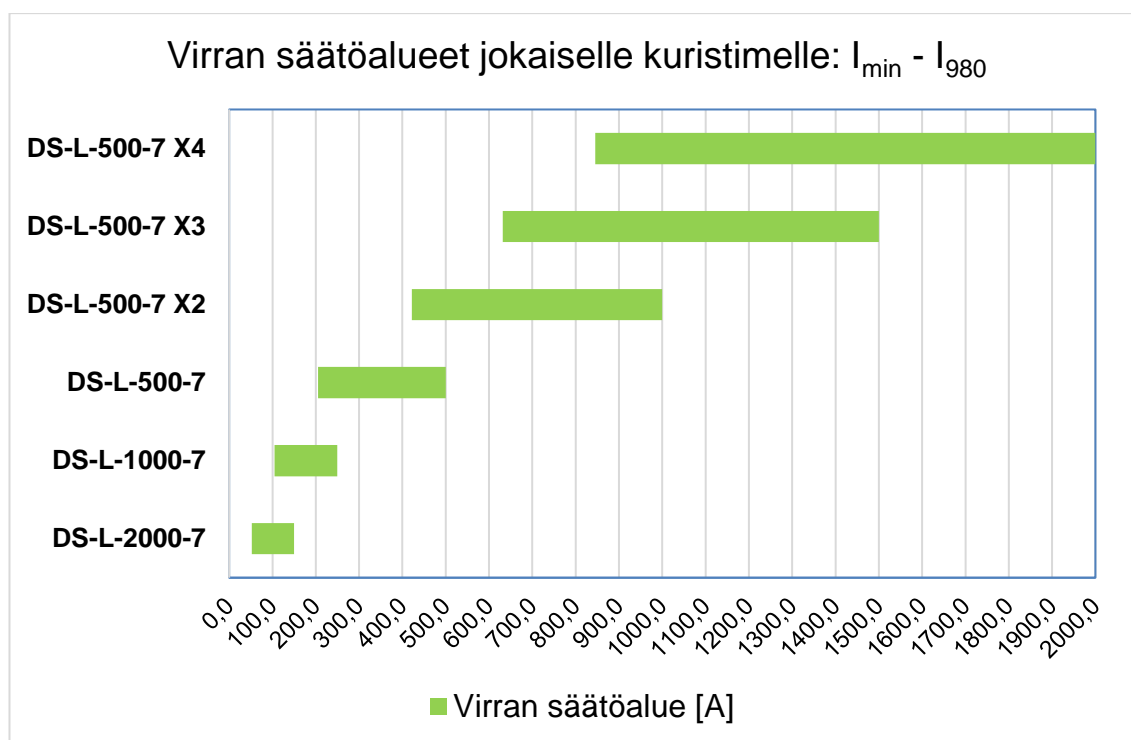
Taulukko 4. Erikoisvalmisteisten kuristimien nimellisarvot. Taulukossa myös esitetty jännite, jolla saa 120 %:n ylikuorman esitettyihin kuristimiin.

Tilausvalmisteiset kuristimet ja niiden nimellisarvot			Kuristimen virta 345 V:n moottorin nimellisjännitteellä	Kuristimen virta 980 V:n moottorin nimellisjännitteellä
Tyyppi	L[μ H]	I _{max} [A]	I ₃₄₅ [A]	I ₉₈₀ [A]
DS-L-2000-7	2000	150	52	150
DS-L-1000-7	1000	250	105	300
DS-L-500-7	500	500	205	600
DS-L-500-7 X2	250	1000	422	1200
DS-L-500-7 X3	167	1500	632	1800
DS-L-500-7 X4	125	2000	845	2400

Tilausvalmisteisten kuristimien taulukossa on esitetty yhteensä kuusi kuristinvaihtoehtoa, joista kolme on samanlaisten kuristimien rinnankytkentöjä. Jos kaksi samoilla nimellisarvoilla olevaa kuristinta kytketään rinnan, virta jakautuu tasaisesti kummallekin kuristimelle, koska niiden induktanssit ja jännitteet ovat samat ja antovirta tällöin kaksinkertaistuu. Taulukossa on myös esitetty jokaiselle kuristimelle virta moottorin nimellisjännitteen ollessaan 980 V, mikä tuottaa tietyille kuristimille 120 % ylikuormaa. Tällainen ylikuormatilanne on mahdollista järjestää tilausvalmisteisilla kuristimilla ja 120 %:n ylikuorma esiintyy lämpörasitusajossa vain hetkellisesti. Trafotek Oy sallii 150 %:n

ylikuormituksen jokaiselle heidän valmistamalleen kuristimelle, joten 120 %:n ylikuorma on päätetty esittää tilausvalmisteisten kuristimien taulukossa normaalina käyttöolosuhteena.

Jos kuristimet joudutaan valmistamaan siten, että jokainen kuristin kestää ylikuormitusta kauemmin tai jatkuvasti, kuristimista tulee suuria ja kalliita. Jokaiselle tilausvalmisteiselle kuristimelle on laskettu oma virran säätöalue käyttäen moottorin nimellisjännitteen pienintä jännitettä ja 980 V:n jännitettä. Säätöalueet on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Virtojen säätöalueet jokaiselle tilausvalmisteiselle kuristimelle. Vaaka-akselilla on virta, ja vihreä palkki esittää virran säätöaluetta.

Kuvassa 17 on käytetty jokaisen kuristimen virran säätöalueen ylärajana 120 %:n ylivirtaa kuristimen maksimivirran sijasta, mikä vastaa 980 V:n moottorin nimellistä jännitettä. Kuvasta voi myös huomata, että jokaisen kuristimen säätöalueen maksimivirta ulottuu aina seuraavaksi suuremman kuristimen säätöalueen puoliväliin. ABB halusi tällaiset kuormitusvirta-alueet, koska se on varmuussyistä ollut käytössä jo aiemmin tehtaalla.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoite oli suunnitella, tilata ja asentaa kuormakuristimet uuteen moduulikoestuslinjaan, joka otettiin käyttöön Drives Servican koestamossa. Työ aloitettiin sen jälkeen, kun uuden koestuslinjan sähköinen ja mekaaninen suunnittelu oli tehty. Uuden koestuslinjan lattiapinta-ala oli etukäteen määritetty ja kuristimien lukumäärä oli rajoitettu kuudeksi. Kyseinen määräys perustuu siihen, että vastaavaa ratkaisua on käytetty Drives-tehtaalla jo aiemmin.

Työ aloitettiin tutustumalla taajuusmuuttajan kuormittamiseen kuristimella sekä R7i- ja R8i-moduulien käyttöön skalaariohjauksella. Projektin aikana tutkittiin myös muita ABB:n tehtailla käytössä olevia kuristinkuormitusratkaisuja.

Uuden Blue-DS-moduulikoestuslinjan kuormituskuristimet mitoitettiin ja koestuslinja otettiin käyttöön. Lopullisesti valituilla erikoisvalmisteisilla kuristimilla pystytään kuormittamaan kaikki runkojen R7i- ja R8i-moduulit, joiden virrat vaihtelevat 69 A:n ja 1500 A:n välillä. Kuristimia valittaessa otettiin huomioon myös nykyisiä suuremmat taajuusmuuttajamoduulit ja siksi varauduttiin 2000 A:n kuormituksiin.

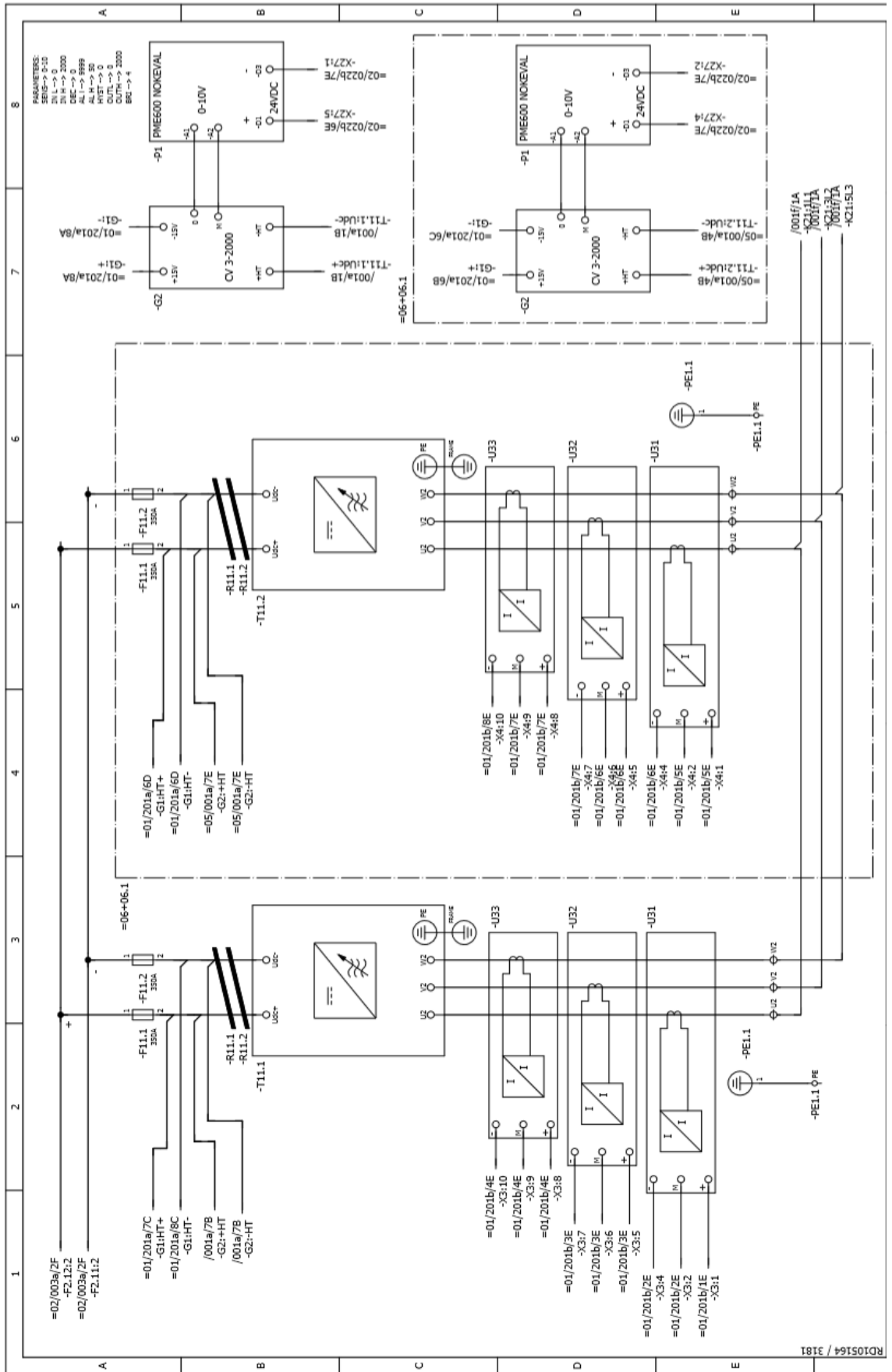
Valitettavasti kuristimien virtojen laskennan yhteydessä ei otettu huomioon kuristimien resistansseja. Näiden resistanssien vuoksi kuormitusvirrat eivät aivan saavuta suunniteltuja arvoja ja koestuslinjan käyttöönoton jälkeen on jouduttu tekemään hienosäätöjä paikan päällä moduulien lähtövirroille. Koska kuristimien virtojen laskennassa on jätetty kuristimien sarjaresistanssit pois, kuristimien virrat olivat hieman pienemmät kuin laskennallisesti saadut.

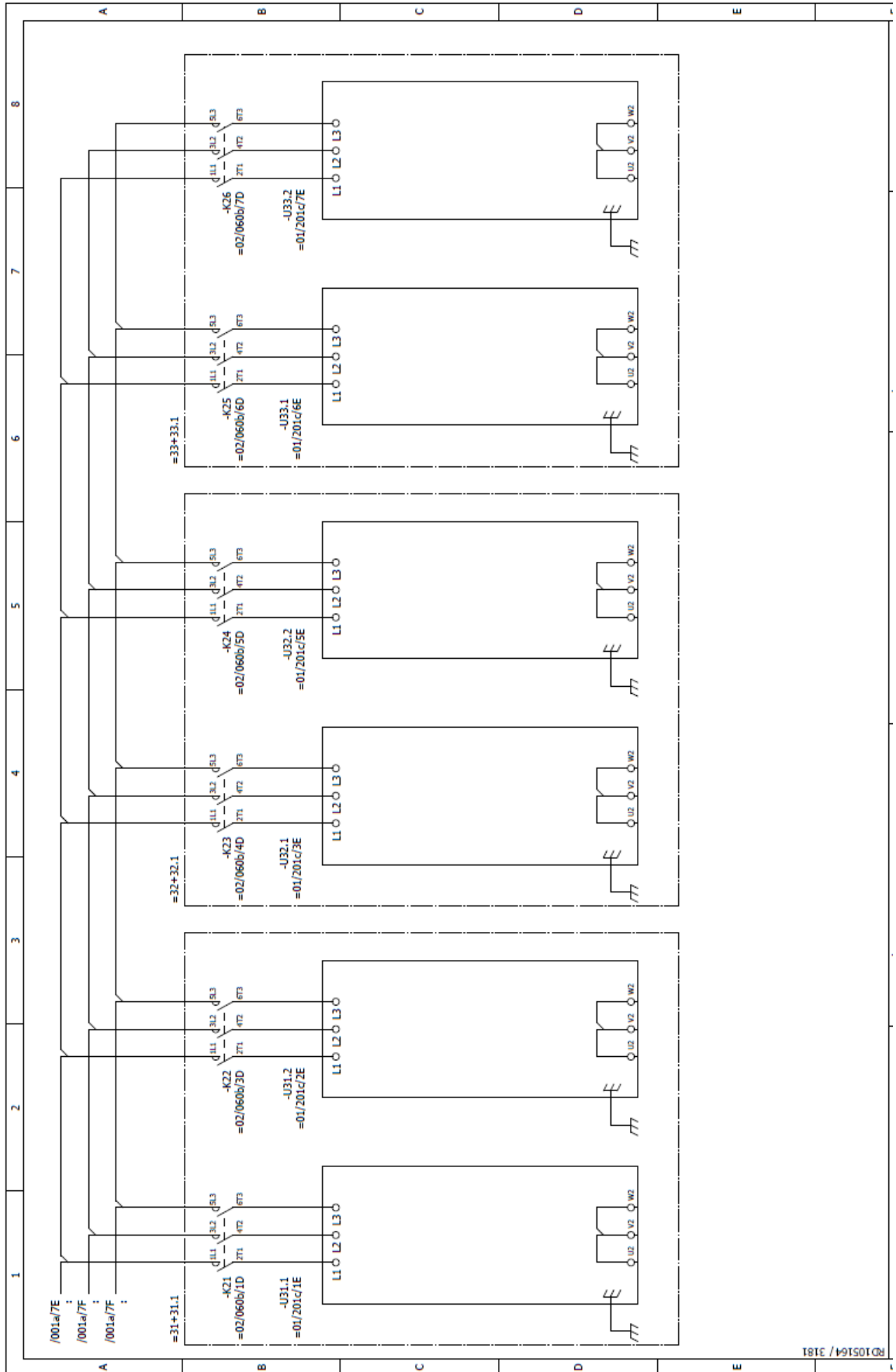
Työn suurin haaste oli selvittää, miten uudella koestuslinjalla voidaan kuudella kuristimella testata ACS800-tuoteperheen R7i- ja R8i-runkojen kaikki moduulit lämpörasitusajossa.

Lähteet

- 1 vfds.org. Verkkodokumentti. <<http://www.vfds.org/what-is-vfd-how-it-works-964803.html>>. Luettu 13.04.2020.
- 2 Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry:n julkaisu. Taajuusmuuttajat. Tammer-Paino Oy, Tampere. Espoo 1997.
- 3 Jouko Niiranen. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Otatiето 1999. Haka-paino Oy Helsinki 1999.
- 4 ABB Drives - Frequency Converters and Wind Turbine Converters. Mikko Routimo. ABB:n PDF-verkkodokumentti. <https://mycourses.aalto.fi/plu-ginfile.php/559662/mod_resource/content/4/Routimo%20-%20ABB%20Drives.pdf>. Luettu 18.09.2020.
- 5 ABB:n tekninen opas nro 4. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. <https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf>.
- 6 Infineon. Tehopuolijohteiden valmistajan virallinen internet-sivusto. <<http://www.irf.com/electronics/topology-fundamentals>>. Luettu 15.03.2020.
- 7 ABB:n tekninen opas nro 7. Sähkökäytön mitoitus. <https://library.e.abb.com/public/b11dafe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf>.
- 8 Soisalo, Luojus, Mörsky, Könönen ABB:n PEQ tiimin ja testauslaboratorion asiantuntijat sisäiset haastattelusarjat 20.5.2019 – 1.10.2020.
- 9 Lauri Hietalahti. Muuntajat ja sähkökoneet. Hansaprint Oy Direct, Vantaa 2011.
- 10 Electrical A2Z. Verkkodokumentti. Induktanssi AC piirissä. <<https://electricala2z.com/electrical-circuits/inductors-ac-circuits/>>. Luettu 14.04.2020.
- 11 K.N Srinivas. 2007. Basic Electrical Engineering. I.K International Publishing House Pvt. Ltd. New Delhi, Mumbai, Bangalore.
- 12 Matti Lounila. Magneettisten komponenttien suunnittelu. Sisäinen ABB:n dokumentti.
- 13 Lauri Aura, Antti J. Tonteri ja Werner Söderström Osakeyhtiö 1996. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet. WSOY:n graafiset laitokset, Porvoo 1996.

- 14 ABB:n tekninen opas. Hardware Manual ACS800-207 IGBT supply units
<https://library.e.abb.com/public/89a33f33ef3046c08583d37ed67fc254/EN_ACS880-207_HW_C_screen.pdf>.
- 15 ABB:n ACS800-104 moduulien käyttöohje. Hardware Manual ACS800-104 Inverter Modules (1.5 to 2900 kW).





RD105164 / 3181