

Jesse Salo

# ACX580-07 -taajuusmuuttajan koestusprosessin kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

8.5.2017

Tekijä Otsikko	Jesse Salo ACX580-07 taajuusmuuttajan koestusprosessin kehittäminen
Sivumäärä Aika	27 sivua + 2 liitettä 8.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	koestaja Tomi Taipale lehtori Jukka Karppinen
<p>Insinööriyö käsittelee ABB:n uuden teollisuuden käyttöön tarkoitetun ACX580 -taajuusmuuttajan koestusta. Työn tavoitteena oli kehittää taajuusmuuttajan koestusprosessia, jotta taajuusmuuttaja saataisiin koestettua tavoiteajassa. Työ tehtiin ABB Oy:n Drives-liiketoimintayksikön, High Power Drives -yksikön toimeksiannosta.</p> <p>Insinööriyön teoriaosuudessa perehdyttiin taajuusmuuttajien toimintaan sekä taajuusmuuttajien koestukseen. Työssä perehdyttiin tarkemmin teollisuuden käyttöön tarkoitettujen kaapitettujen taajuusmuuttajien koestukseen sekä koestuksen kehittämiseen automatisoinnin avulla. Automatisoinnin avulla koestusaikaa saadaan pienennettyä ja koestuksen laatua, sekä turvallisuutta parannettua. Automatisointia käytetään ACX580-07 taajuusmuuttajan koestuksessa.</p> <p>Työn tuloksena suunniteltiin koestuskaapelit sekä kytkentäohje, joiden avulla yhdessä TSA-ohjelmiston kanssa ACX580-07 taajuusmuuttajan koestus on mahdollista suorittaa asetetussa tavoiteajassa.</p>	
Avainsanat	Taajuusmuuttaja, koestus, ACX580-07

Author Title	Jesse Salo Development of the ACX580 Frequency Converter Testing Process
Number of Pages Date	27 pages + 2 appendices 8 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical power engineering
Instructors	Tomi Taipale, Testing Engineer Jukka Karppinen. Senior Lecturer
<p>This thesis covers the testing process of the ABB's new ACX580 frequency converter for industrial use. The purpose of the study was to improve the testing process, so it can be completed in target time. This study was commissioned by ABB Ltd. Drives business unit, High Power Drives unit.</p> <p>The theoretical part of the thesis focuses on the operation and the testing of the frequency converters. The focus is more closely on the testing of the cabinet drives which are made for industrial purposes, as well as improving the testing process with automatization. With automation, testing time can be reduced and the quality and safety of the testing can be improved. Automatization is to be used to test the new ACX580-07 frequency converter.</p> <p>As a result, design for the testing cables and connection instructions for the cables were created. Together with the cables and the TSA-software, ACX580 frequency converter can be tested in the target time.</p>	
Keywords	Frequency converter, testing, ACX580-07

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Taajuusmuuttajat	2
2.1	Taajuusmuuttajien rakenne	2
2.2	Taajuusmuuttajan ohjausperiaatteet	4
2.3	ACS880 -taajuusmuuttajat	8
2.4	ACX580-07 -taajuusmuuttajat	11
3	Taajuusmuuttajien koestus	12
3.1	Visuaaliset ja mekaaniset tarkastukset	12
3.2	Jännitekokeet	13
3.3	Toiminallinen koestus	15
4	Koestuksen automatisointi	16
4.1	TSA-ohjelmisto	16
4.2	Agilent 34970A -kytkinyksikkö	18
4.2.1	Lämpötilanmittaus Agilent 34970A -kytkinyksikön avulla	19
4.2.2	Resistanssin mittaus Agilent 34970A -kytkinyksikön avulla	21
4.3	ACX580-07:n koestus	23
4.4	Kaapelit ACX580-07 -taajuusmuuttajan koestukseen	24
5	Yhteenveto	25
	Lähteet	26

### Liitteet

Liite 1. Koestuskaapeli

Liite 2. KytKentäohjeet

## Lyhenteet ja termit

PWM	<i>Pulse Width Modulating</i> . Pulssinleveysmodulointi, modulointitapa jossa lähtöjännitettä säädetään muuttamalla pulssisuhdetta.
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> . Taajuusmuuttajissa yleisesti käytetty, jänniteohjattu puolijohdekytkin.
DTC	<i>Direct Torque Control</i> . Suora momentinsäätö, ABB:n kehittämä taajuusmuuttajien ohjaustekniikka.
ASIC	Application Specific Integrated Circuit. Sovelluskohtainen mikropiiri, mikropiiri joka on suunniteltu yhden valmistajan tarpeisiin.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> . Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.
UL	Underwriters Laboratories. Amerikkalainen turvallisuuteen keskittynyt konsultointi- ja sertifiointiyritys.
CSA	Canadian Standards Association. Kanadalainen standardoimisjärjestö.
RTD	<i>Resistance Temperature Device</i> . Vastuslämpötila-anturi, lämpötilan mittaamiseen käytetty anturi, jossa anturin resistanssi muuttuu lämpötilan muuttuessa.

## 1 Johdanto

Insinööriyön tilaajana toimi ABB Oy:n Drives-liiketoimintayksikön, High power drives-yksikkö. ABB Oy on yksi maailman johtavista sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymistä. ABB syntyi vuonna 1988 ruotsalaisen ASEA:n ja sveitsiläisen BBC Brown Boverin yhdistyttyä. ABB:llä työskentelee yli 135 000 henkilöä, yli 100:ssa eri maassa. Suomessa ABB on maan suurimpia teollisia työnantajia ja työntekijöitä Suomessa on noin 5000. Pitäjänmäen Drives and Controls -yksikössä työskentelee noin 1300 henkilöä. Vuonna 2015 Suomen ABB:n liikevaihto oli 2,2 miljardia euroa. [6; 7.]

Suurin osa työstä, jonka nykypäivänä tekee ihminen, tullaan automatisoimaan tulevaisuudessa. Teollinen valmistus ja kokoonpanotyö tulee olemaan yksi eniten automatisoiduista toiminnoista. Automatisoinnin avulla tuotantoprosessia saadaan nopeutettua sekä tuotantoprosessin laatua ja turvallisuutta parannettua.

Insinööriyön tarkoituksena on kehittää ABB:n uuden ACX580-07 -taajuusmuuttajan koestusprosessia automatisoinnin avulla. Tavoitteena on saada taajuusmuuttajan koestus suoritettua yhdessä tunnissa. Insinööriyössä käydään läpi taajuusmuuttajan toimintaperiaate, sekä perehdytään teollisuuden käyttöön tarkoitettuihin kaapitettuihin taajuusmuuttajiin. Luvussa 3 keskitytään taajuusmuuttajan koestukseen ja luvussa 4 koestuksen automatisointiin.

## 2 Taajuusmuuttajat

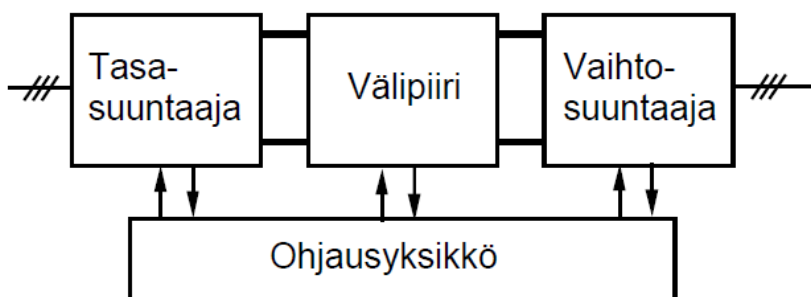
Taajuusmuuttajia käytetään teollisuudessa sähkömoottoreiden nopeuden ja momentin portaattomaan ohjaamiseen. Sähkömoottorit kuluttavat kaksi kolmasosaa teollisuuden käyttämästä sähköenergiasta. Käyttämällä taajuusmuuttajaa sähkömoottorin ohjaamiseen voidaan moottorin energiankulutusta vähentää jopa 50 prosenttia. Vuonna 2015 ABB:n taajuusmuuttajat säästivät sähköä maailmanlaajuisesti 441 terawattituntia, joka vastaa noin 110 miljoonan eurooppalaisen kotitalouden sähkönkulutusta vuodessa. [7.] Tässä työssä perehdytään teollisuuden käyttöön tarkoitettujen ABB:n ACS880 ja ACX580 kaappiin asennettuihin taajuusmuuttajiin sekä niiden koestamiseen.

### 2.1 Taajuusmuuttajien rakenne

Taajuusmuuttaja koostuu yleensä neljästä osasta:

- tasasuuntaajasta
- välipiiristä
- vaihtosuuntaajasta
- ohjauspiiristä. [9.]

Kuvassa 1 on esitetty taajuusmuuttajan periaatekaavio.



Kuva 1. Taajuusmuuttajan periaatekaavio [10, s.23.]

## Tasasuuntaaja

Tasasuuntaaja muuttaa syöttöverkon kolmivaiheisen vaihtojännitteen sykkiväksi tasajännitteeksi puolijohteiden avulla. Puolijohteina käytetään joko diodeja, tyristoreita tai näiden yhdistelmää. Diodeilla toteutettua tasasuuntaajaa kutsutaan ohjaamattomaksi tasasuuntaajaksi ja tyristoreilla toteutettua tasasuuntaajaa kokoaalto-tasasuuntaajaksi. Tyristoreiden ja diodien yhdistelmällä toteutettua tasasuuntaajaa kutsutaan ohjatuksi puoliaaltotasasuuntaajaksi. [9.]

## Välipiiri

Välipiirin rakenne riippuu taajuusmuuttajassa käytetyn tasasuuntaajan ja vaihtosuuntaajan tyypistä. Välipiiri toimii varastona, josta moottori ottaa energiansa vaihtosuuntaajan välityksellä. Välipiiri tuottaa vaihtosuuntaajalle joko muuttuvan tasavirran, muuttuvan tasajännitteen tai vakiotasajännitteen. Sykkivä tasajännite suodatetaan LC-alipäästösuodattimen avulla tai muunnetaan tasoituskuristimella tasavirraksi. On olemassa myös taajuusmuuttajia, jotka eivät sisällä ollenkaan välipiiriä. Näitä taajuusmuuttajia kutsutaan suoriksi taajuusmuuttajiksi. [9; 10.]

Taajuusmuuttajat jakautuvat kahteen päätyyppiin riippuen välipiirin rakenteesta. Kun välipiiri muodostuu pelkästä tasokuristimesta, taajuusmuuttajaa kutsutaan tasavirtavälipiirillä varustetuksi taajuusmuuttajaksi. Tasavirtavälipiirillä varustettu taajuusmuuttaja syöttää moottorin napoihin oikeanlaisen virran, jotta moottorin napoihin saadaan haluttu jännite. Taajuusmuuttajia, joissa tasajännite suodatetaan LC-alipäästösuodattimen avulla, kutsutaan tasajännitevälipiirillä varustetuiksi taajuusmuuttajiksi. Tällaisissa taajuusmuuttajissa säädetään lähtöjännitteen taajuutta joko välipiirin jännitettä säätämällä tai *pulssi-leveysmoduloinnilla* (PWM). [10.]

## Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaaja eli *invertteri* on taajuusmuuttajan viimeinen osa ennen moottoria. Vaihtosuuntaaja muodostaa välipiirin tasasähköstä halutun taajuista vaihtosähköä mootto-



rille. Vaihtosuuntaaja koostuu puolijohdepareista, joita ohjataan ohjauspiirin avulla nopeaan tahtiin päälle ja pois. Nykyään puolijohteina käytetään pääosin IGBT-transistoreita. [9; 10.]

## Ohjauspiiri

Ohjauspiirin tehtävänä on ohjata taajuusmuuttajan puolijohteita sekä ottaa vastaan prosessin muista laitteista taajuusmuuttajalle tulevia viestejä, sekä lähettää niitä muihin laitteisiin. Ohjauspiiri sisältää mikroprosessorin, muistin sekä I/O yksikön. Mikroprosessori suorittaa taajuusmuuttajan toimintoja muistiin ladatun ohjelman määräämällä tavalla. Ohjelma ladataan ohjauspiirin muistiin ja muistiin tallentuvat myös muut taajuusmuuttajan tiedot ja parametrit. I/O yksikkö sisältää analogiset ja digitaaliset tulot ja lähdöt. Se sisältää myös yhteyden ohjauspaneeliin ja tarvittavat yhteydet muihin laitteisiin prosessissa. [10.]

## 2.2 Taajuusmuuttajan ohjausperiaatteet

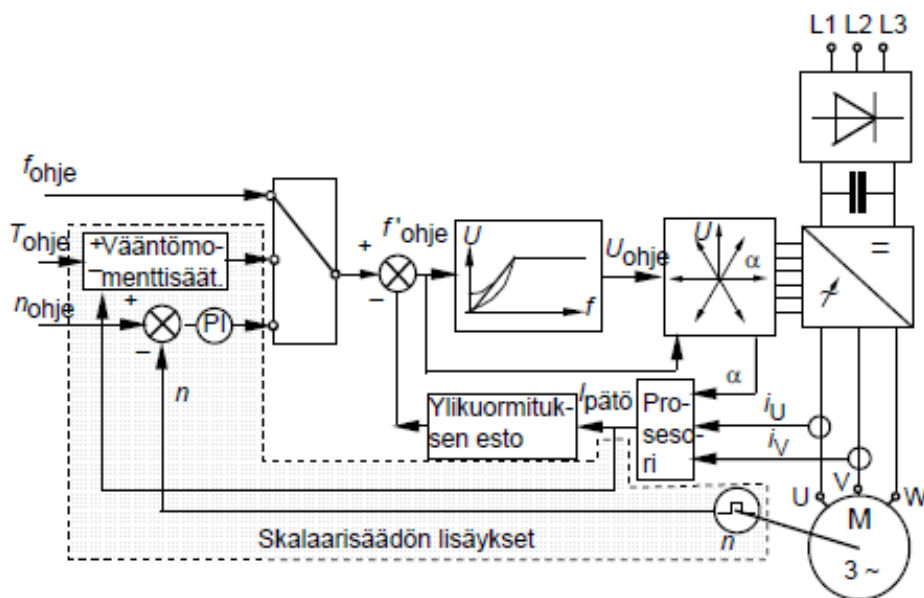
### Skalaarisäätö ja -ohjaus

Skalaariohjauksessa moottorin pyörimisnopeutta ohjataan muuttamalla vaihtosuuntaajan lähtötaajuutta. Moottorin pyörimisnopeuteen vaikuttavat moottorin syöttötaajuus sekä sen kuormitusmomentti. Lähtöjännite on riippuvainen lähtötaajuudesta, ja jännite kasvaa lineaarisesti moottorin nimellisjännitteeseen asti, joka saavutetaan moottorin nimellistaajuudella. Nimellistaajuuden yläpuolella jännite pysyy vakiona.

Skalaariohjauksessa moottorin vaihevirratt mitataan ja lasketaan pätövirtakomponentit. Pätövirtakomponentti on verrannollinen moottorin vääntömomenttiin ja moottorin vääntömomentti on suoraan verrannollinen moottorin jännitteen ja pätövirran tuloon. Tästä skalaariohjaus saa myös nimensä.

Skalaarisäädöllä voidaan ohjata moottorin pyörimisnopeutta tai vääntömomenttia, sekä molempia vuorotellen. Moottorin pyörimisnopeus jää jättämän verran syöttötaajuutta vastaavaa tahtiinopeutta pienemmäksi. Jättämä asettuu sellaiseen arvoon, että työkon-

saa vaatimansa tehon. Skalaarisäätö tarvitsee takometrin toimiakseen. Kuvassa 2 on esitetty skalaariohjauksen ja -säädön lohkokkaavio. [10.]

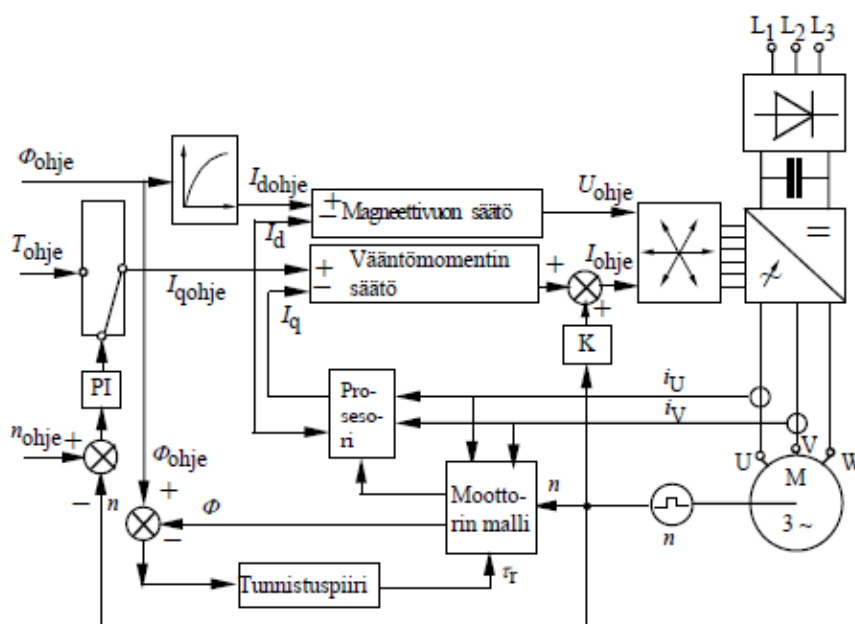


Kuva 2. Skalaarisäädön lohkokkaavio [10, s.23.]

### Vektorisäätö

Oikosulkumoottorin vääntömomentti on moottorin päävuon ja roottorivirran vektoritulo. Vääntömomenttia säätäessä on otettava huomioon myös vuovektorin suunta. Tällaista säätöä kutsutaan vektorisäädöksi.

Vektorisäätö edellyttää moottorivirtojen ja pyörimisnopeuden asennon tarkkaa mittausta. Mittaustulokset syötetään oikosulkumoottorin matemaattiseen malliin. Moottorimallin avulla voidaan laskea moottorin magneettivuo, sekä jakaa virta vääntömomenttia ja magneettivuota kuvaaviin osiin. Kumpaakin osaa voidaan muuttaa ja vuo pitää samalla vakiona. Vektorisäädössä vääntömomentin vasteaika on alle 20 ms, eli hyvin lyhyt. Vasteajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka kuluessa vääntömomentin oloarvo on saavuttanut moottorin momenttiohjeen. Vektorisäätö tarvitsee aina takometrin toimiakseen. Kuvassa 3 on esitetty vektorisäädön lohkokkaavio. [10.]



Kuva 3. Vektorisäädön lohkokaavio [10.]

### DTC-käyttö

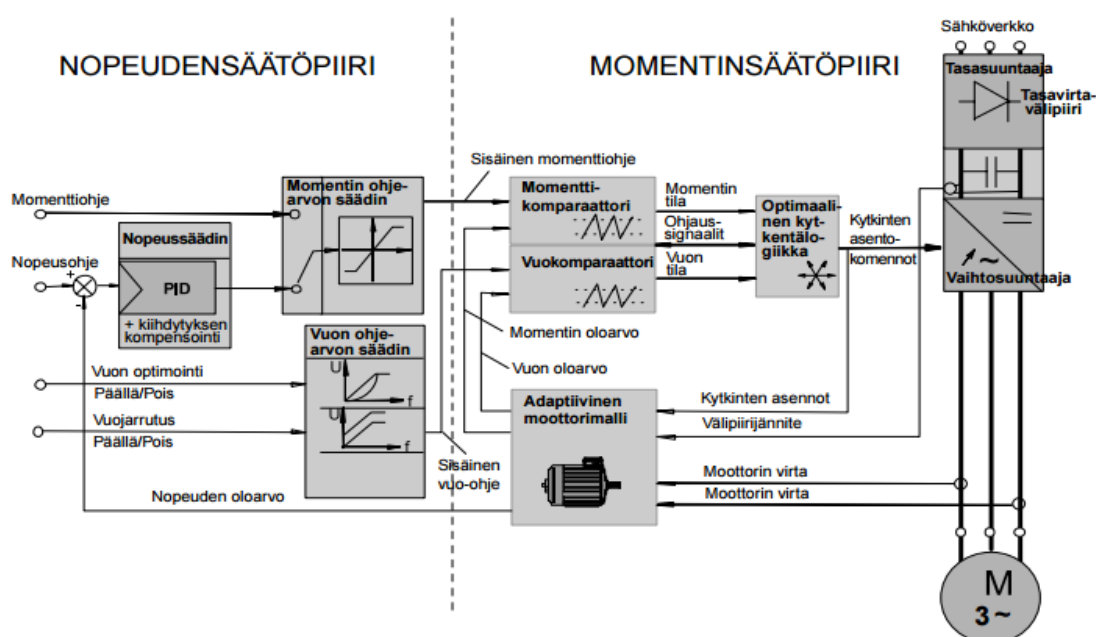
Suora momentinsäätö, DTC eli *Direct Torque Control* on ABB:n kehittämä taajuusmuuttajan ohjaustekniikka. Suoran momentinsäädön avulla voidaan ohjata suoraan moottorin vääntömomenttia sekä pyörimisnopeutta. Perinteisissä *PWM*-vaihtovirtakäytöissä säädetään lähtöjännitettä ja taajuutta. Näiden on kuitenkin oltava *pulssinleveysmoduloituja*, ennen kuin niitä käytetään moottorilla. Modulointivaihe aiheuttaa viivettä, joka hidastaa moottorin reagointia taajuus- ja jänniteohjeeseen. DTC-käyttö säättää suoraan moottorin momenttia sekä magneettivuota ilman modulaattoria, jolloin käytön momenttivaste nopeutuu huomattavasti. [10; 11.]

DTC-käytöt kestävät hyvin prosessissa tapahtuvia kuorman muutoksia ja se palautuu vakaaseen tilaan nopeasti äkillisen kuorman muutoksen jälkeen. DTC-käyttö säästää myös energiaa moottorin vuon optimoinnin ansiosta. Moottorin vuon optimointi vähentää myös moottorin melutasoa verrattuna tavalliseen PWM-käyttöön. DTC-käyttö ei tarvitse takometriä akselin pyörimisnopeuden mittaamiseen. [11.]

DTC-käytön perustana on tarkka moottorimalli, jonka lähdetietoina ovat moottorin kilpiarvot. DTC-käyttö tekee myös ensimmäisen käynnistyksen yhteydessä moottorin ID-ajon,

jossa se tutkii moottorin sähköisiä ominaisuuksia ja niiden avulla tarkentaa moottorimal-  
lia. ID-ajon aikana määritellään muun muassa staattorin vastus, keskinäisinduktanssi  
kyllästymisvakiot ja moottorin hitausmomentti. Ominaisuudet saadaan mitattua ilman ak-  
selin pyörittämistä, mutta tarkemmat tulokset saadaan, jos akselia pyöritetään muuta-  
man sekunnin ajan. [11.]

Kuvassa 4 esitetystä DTC-käytön lohkokaaviosta nähdään, että DTC-käyttö muodostuu  
kahdesta pääosasta: momentinsäätöpiiristä ja nopeudensäätöpiiristä.



Kuva 4. Suoran momentinsäädön (DTC) lohkokaavio [11, s.26.]

### Momentinsäätöpiiri

Momentinsäätöpiirissä mitataan kahta moottorivirran vaihetta, välipiirin jännitettä ja taa-  
juusmuuttajan kytkimien asentoa. Mittaustulokset käsitellään moottorimallin avulla, joka  
lähettää ohjaussignaaleja, jotka kertovat moottorin todellisen momentin ja staattorin  
vuon. Moottorimalli laskee myös akselin nopeuden. Momentin ja vuon oloarvot syötetään  
komparaattoreille, joissa niitä vertaillaan 25 mikrosekunnin välein ohjearvoihin. Tämän

jälkeen signaalit syötetään optimaaliselle kytkentälogiikalle, jossa vaihtosuuntaajan puolijohdeiden kytkentäjärjestys määritetään 40 MHz:n taajuudella toimivan digitaalisignaali-proessorin (DSP), sekä sovelluskohtaisen ASIC-mikropiirin avulla. Kaikkien säätösignaalien johtamiseen käytetään optisia kuituja tiedonsiirron nopeuttamiseksi. DTC-käytössä jokainen puolijohdekytkimen kytkentä on tarpeellinen, toisin kuin perinteisessä PWM-käytössä, jossa jopa 30 % kytkennöistä on tarpeettomia. Tiedonkäsittelyn nopeus mahdollistaa DTC-käytön erinomaisen suorituskyvyn. [11, s.28.]

### Nopeudensäätöpiiri

Momentin ohjearvon säätimessä rajoitetaan nopeussäädön lähtöarvoa momenttirajojen ja välipiirin DC-jännitteen avulla. Tässä säätimessä säädetään myös nopeutta, jos käytetään ulkoista momenttisignaalia. Sisäinen momenttiohje johdetaan tästä yksiköstä momenttikomparaattoriin. Seuraavana säätöpiirissä on Nopeussäädin, joka koostuu PID-säätimestä ja kiihdytyskompensaattorista. Ulkoista nopeusohjetta verrataan moottorimallista saatavaan nopeuteen ja näiden arvojen erotus johdetaan PID-säätimeen, sekä kiihdytyskompensaattoriin. Näistä lähtevä signaali on molempien säätöpiirien signaalien summa. Seuraavana piirissä on staattorin vuon ohjearvon säädin. Säädin syöttää vuon ohjearvon vuokomparaattoriyksikköön. Tämän avulla voidaan helposti toteuttaa monia vaihtosuuntaajan toimintoja, kuten vuon optimointi ja vuojarutus. [11, s.29.]

### 2.3 ACS880 -taajuusmuuttajat

ACS880 -taajuusmuuttajat ovat ABB:n teollisuuden käyttöön tarkoitettuja taajuusmuuttajia. Niillä voidaan ohjata lähes kaiken tyyppisiä AC-moottoreita ja niitä käytetään laajasti teollisuudessa esimerkiksi nostureiden, hissien ja pumppujen ohjaukseen. ACS880 -taajuusmuuttajat ovat yksinkertaisia käyttää ja ne ovat yhteensopivia lähes kaikkien prosessien ja automaatiojärjestelmien kanssa, joten ne soveltuvat hyvin käytettäväksi lähes mihin tahansa sovellukseen. Taajuusmuuttajissa on laajat tulo- ja lähtöliitännät sekä tärkeimpien kenttäväyläprotokollien tuki. ACS880 -taajuusmuuttajat suunnitellaan aina erikseen asiakkaan tarpeiden mukaan. Taajuusmuuttajat käyttävät ABB:n kehittämää suoran momenttisäädön (DTC) tekniikkaa. [3.]

*ACS880-01* on pienin ACS880-sarjan taajuusmuuttaja. ACS880-01 asennetaan seinälle, eikä sitä tarvitse asentaa kaappiin toisin kuin suuremman teholuokan ACS880 -taajuusmuuttajia. ACS880-01 taajuusmuuttajaa saatavana jännitealueella 230–690 V, sekä tehoalueella 0,55–250 kW [3, s.11.]

*ACS880-07* on kaappiin asennettu ilmajäähdytteinen taajuusmuuttaja ja se on suunniteltu teollisuuden käyttöön. Niitä käytetään lähes kaiken tyyppisten sähkömoottoreiden ohjaukseen. ACS880-07 -taajuusmuuttajaa on saatavana jännitealueella 380–690 V sekä tehoalueella 45–2 800 kW. [3, s.14.]

*ACS880-17* on verkkoon jarruttavilla toiminnoilla varustettu kaapitettu taajuusmuuttaja. Moottorin jarrutusenergia palautetaan taajuusmuuttajalle, jonka kautta se palautuu syöttöverkkoon. Jarrutusenergia ei näin häviä ylimääräisenä lämpönä, ja ratkaisu on tehokkaampi ja säästää enemmän energiaa verrattuna esimerkiksi vastuksilla toteutettuun jarrutukseen. ACS880-17 -taajuusmuuttaja ei tarvitse erillistä jarrulaitetta, ja sitä on saatavana tehoalueella 250-3 200 kW. [3, s.17.]

*ACS880-37* on matalaharmoninen kaapitettu taajuusmuuttaja, joka sisältää aktiivisen syöttöyksikön. Aktiivisen syöttöyksikön avulla saadaan alhaisempi harmonitaso normaalin diodisyöttöön verrattuna. Aktiivisen syöttöyksikön avulla voidaan myös nostaa lähtöjännitettä tarvittaessa. Yliaaltojen hallinta- ja ohjaustoimintojen avulla taajuusmuuttaja saavuttaa tasaisen tehokertoimen ja se kestää syöttöverkon häiriöt erinomaisesti. Taajuusmuuttaja ei tarvitse ulkoista muuntajaa tai suotimia, ja sitä on saatavana tehoalueella 250–3 200 kW. [3, s. 19.]



Kuva 5. ACS880-07 -taajuusmuuttaja runkokoossa 1xD8T+2xR8i. [3.]

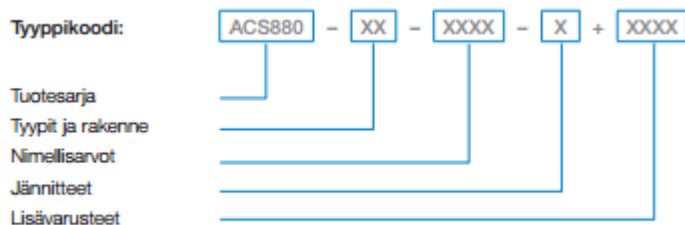
ACS880-07 -taajuusmuuttajien pienimmissä teholuokissa komponentit mahtuvat yhden oven taakse. Muissa malleissa ja suuremman teholuokan ACS880-07 -taajuusmuuttajissa taajuusmuuttaja koostuu useista kentistä. Nämä kentät sisältävät syöttö- ja moottoriliittimet, suodatinmoduulit, diodisyöttömoduulit sekä vaihtosuuntaajamoduulit. Kenttien järjestys, koko ja määrä vaihtelevat taajuusmuuttajan teholuokan ja tilattujen lisävarusteiden mukaan. Kuvassa 5 on esitetty ACS880-07 -taajuusmuuttaja, joka koostuu yhdestä diodisyöttömoduulista ja kahdesta vaihtosuuntaajamoduulista. [2, s. 29.]

Taajuusmuuttajan tyyppikilpi ja -koodi

Taajuusmuuttajan tiedot löytyvät etukannessa sijaitsevassa tyyppikilvessä. Tyyppikilvessä ilmoitetaan taajuusmuuttajan tyyppikoodi, nimellisarvot sekä yksilöllinen sarjanumero. Näiden avulla yksittäiset laitteet voidaan tunnistaa. [1, s. 49.]

Taajuusmuuttajan tyyppikoodi kertoo taajuusmuuttajan tekniset ominaisuuden ja sen kokoonpanon. Ensimmäinen osa koodista kertoo laitteen tuotesarjan ja tyypin. Seuraavana koodista löytyvät nimellisarvot ja jännitealue. Mahdolliset lisävarusteet löytyvät koodin

loppuosasta, eroteltuna +-merkein. Kuvassa 6 on esitetty tyyppikoodin rakenne. [1, s. 49.]



Kuva 6. Taajuusmuuttajan tyyppikoodi [3, s.10.]

#### 2.4 ACX580-07 -taajuusmuuttajat

ACX580-07 -taajuusmuuttajaa on saatavana 3:na eri versiona. ACS580-07 -taajuusmuuttaja on teollisuuden yleiskäyttöön tarkoitettu taajuusmuuttaja, ACH580-07 -taajuusmuuttaja on teollisuuden LVI-sovelluksiin tarkoitettu taajuusmuuttaja sekä ACQ580-07 – taajuusmuuttaja, joka on tarkoitettu teollisuuden pumppusovelluksiin.

ACS580-07 -taajuusmuuttajaa voisi kutsua yksinkertaisemmaksi versioksi ACS880-07 -taajuusmuuttajasta. Kun saman teholuokan ACS880-07 taajuusmuuttajan toimitusaika on 3–4 viikkoa, ACS580-07 taajuusmuuttajan tavoitteena on päästä yhden viikon toimitusaikaan, siitä hetkestä, kun tilaus on tehty. ACX580-07 taajuusmuuttajan tavoitteena on myös säästää 20 % valmistuskustannuksissa verrattuna vastaavaan ACS880 -taajuusmuuttajaan. Kustannussäästöjä pyritään saavuttamaan tehostamalla ja nopeuttamalla valmistusprosessia ja yksinkertaistamalla taajuusmuuttajan rakennetta. [13.]

ACS880-07 -taajuusmuuttajaan on tarjolla useita eri lisäoptioita ja ne suunnitellaan aina erikseen asiakkaan tarpeiden mukaan. ACX580-07 -taajuusmuuttajaan ei ole tarjolla samaa määrää lisäoptioita, ja ne ovat hyvin pitkälti ”vakiolaitteita”, joten niitä voidaan valmistaa myös joiltain osin valmiiksi varastoon, jotta toimitusaikatavoitteisiin päästäisiin.



### 3 Taajuusmuuttajien koestus

Koestus on taajuusmuuttajien valmistuksessa viimeinen vaihe. Koestuksella tarkoitetaan taajuusmuuttajalle tehtäviä käyttöönottotarkastuksia. Koestuksen tarkoituksena on varmistaa taajuusmuuttajan turvallisuus ja sen oikeanlainen toiminta. Koestuksessa noudatetaan standardien IEC60204-1, IEC61800-5-1, UL508A ja CSA22.2 14–95 asettamia vaatimuksia. [8.]

Taajuusmuuttajien koestus sisältää kolme vaihetta:

- visuaaliset ja mekaaniset tarkastukset
- jännitekokeet
- toiminnallinen koestus.

#### 3.1 Visuaaliset ja mekaaniset tarkastukset

Visuaaliset ja mekaaniset tarkastukset suoritetaan koestusvaiheessa ensimmäisenä, heti sen jälkeen, kun taajuusmuuttaja on saatu kokoonpanolinjalla valmiiksi. Visuaalisten ja mekaanisten tarkastusten tekemiseen ei tarvita sähköä, joten tarkastukset tehdään yleensä tarkastuspisteellä kokoonpanolinjan loppupäässä, ennen kuin taajuusmuuttajat otetaan koestukseen.

Visuaalisissa ja mekaanisissa tarkastuksissa taajuusmuuttajan kunto ja rakenteet tarkistetaan silmämääräisesti. Tarkastuksissa varmistetaan, että laite on päällisin puolin ehjä ja siistin näköinen, eikä seinien ja ovien maalipinnassa ole naarmuja. Tarkastuksissa on myös varmistettava, että taajuusmuuttajassa on käytetty oikeita komponentteja ja että ne on kiinnitetty oikein ja oikeaan paikkaan. Komponentit tarkistetaan vertaamalla niitä taajuusmuuttajan osaluetteloon. Myös johdinten kiinnitys, virtakiskojen liitosten kiristyksiset, virtakiskojen riittävä ilmaväli sekä ohje- ja varoitustarrojen kiinnitys tulee tarkastaa.

#### Suojausluokat

Visuaalisissa ja mekaanisissa tarkastuksissa on varmistettava, että taajuusmuuttaja on koottu vastaamaan siihen tilattua suojausluokitusta. Suojausluokka ilmoitetaan IEC/EN

standardin 60529 mukaisesti IP-koodilla. Koodin ensimmäinen numero ilmoittaa suojauksesta kiinteitä esineitä vastaan ja koodin jälkimmäinen numero taas vedenpitävyyttä. ACS880 -taajuusmuuttajat tehdään vakiona suojausluokassa IP22, ja lisävarusteina suojausluokkaa on mahdollista nostaa tasolle IP42 tai IP54. [2, s. 47.]

IP22-suojausluokassa taajuusmuuttaja on suojattu alle 12,5 mm:n kokoisia kiinteitä vierasesineitä, sekä tippuvaa vettä 15 asteen kulmassa vastaan. Käytännössä IP22-luokitus estää vaarallisiin osiin koskemisen sormella. Taajuusmuuttajan yläosassa olevat ilmanottoaukot on peitetty messinkisäleiköllä ja ilmantuloaukot on peitetty muovisäleiköllä. Jos taajuusmuuttajan ovet ovat auki, muuttuu suojausluokitus luokkaan IP20, jossa taajuusmuuttajan jännitteiset osat ovat suojattu kosketukselta. [2, s.47.]

IP42-suojausluokassa taajuusmuuttaja on suojattu alle 1 mm:n kokoisia kiinteitä esineiltä sekä tippuvaa vettä 15 asteen kulmassa vastaan. Tuloilma-aukkoihin on tässä suojausluokassa lisätty metalliverkko. [2, s.47.]

IP54-luokituksessa taajuusmuuttaja on suojattu pölyltä sekä vesiroiskeilta. Taajuusmuuttajan tuloilma-aukkoihin on lisätty suodatinkotelot, joissa on taiteltu suodatinmatto. Taajuusmuuttajan katolle on lisätty puhallin ilmankierron varmistamiseksi. [2, s.47.]

### 3.2 Jännitekokeet

Jännitekokeiden tavoitteena on varmistaa, että laite voidaan käynnistää turvallisesti. Jännitekokeilla varmistetaan, että laitteen virtakiskojen ilmavälit sekä eristeet ovat riittäviä ja kestävät mahdollisia ylijännitteitä. Jännitekokeet sisältävät eristysvastus- sekä dielektriset mittaukset. Jännitekokeet suoritetaan koestuksessa visuaalisten ja mekaanisten tarkastusten jälkeen, ennen kuin taajuusmuuttajaan kytketään sähköt. Taajuusmuuttaja on maadoitettava ennen jännitekokeiden aloittamista turvallisuussyistä. Jännitekokeiden ulkopuolelle voidaan jättää sellaiset piirit, jotka eivät kestä jännitekokeissa käytettyjä jännitteitä.

Eristysvastusmittauksella varmistetaan taajuusmuuttajien jännitteisten osien riittävä eristys maasta. Mittaus perustuu Ohmin lakiin, eli piiriin syötetään tiedetty jännitearvo, jonka jälkeen mitataan syntyvä virta. Näiden avulla voidaan laskea eristysvastus, jonka pitäisi

olla erittäin korkea. Ulkoiset tekijät, kuten lämpötila ja ilmankosteus, voivat vaikuttaa mitaustuloksiin. [5.]

Dielektrisissä mittauksissa testataan eristeiden jännitteensietokykyä. Mittauksen tavoite on varmistaa eristysteitäisyyksien riittävyys ja se, että vuotovirta pysyy sallituissa arvoissa. Dielektrinen mittaus saattaa vahingoittaa joitakin komponentteja, joten ne on syytä eristää mitattavasta piiristä ennen testien aloittamista. [5.]

### Mittausperiaatteet

Jännitekokeissa jokaisen mitattavan piirin sähköiset osat kytketään toisiinsa piirin sisällä ja tämän jälkeen piiri kytketään kiinni taajuusmuuttajan runkoon. Kaikki taajuusmuuttajan kytkimet ja johdonsuojakatkaisijat on suljettava mitausten ajaksi. Mitattava piiri irrotetaan taajuusmuuttajan rungosta ja kytketään jännitekoelaitteeseen, joka on myös kytketty taajuusmuuttajan runkoon.

Eristysvastus mitataan mitattavan piirin sekä maan väliltä ennalta määrättyllä DC-testijännitteellä. Eristysvastuksen on ylitettävä määrätty raja-arvo. Eristysvastusmittaus tehdään uudestaan dielektrisen mittauksen jälkeen, jotta varmistutaan, että mittaukset eivät ole vahingoittaneet laitetta. Dielektrisen mittauksen jälkeen tehdyn eristysvastusmittauksen tuloksien on oltava 10 %:n sisällä ensimmäisistä mitaustuloksista.

Dielektrisessä mittauksessa mitattavan piirin ja maan välille syötetään ennalta määrätty AC-testijännite, vähintään yhden sekunnin ajaksi. Vuotovirran on oltava alle ennalta määrätyn arvon.

Taulukko 1. Jännitekokeiden testijännitteet ja raja-arvot ACS880-07 taajuusmuuttajalle runkoissa R6 - R11. [8.]

Piiri	Eristysvastusmittaus		Dielektrinen-mittaus	
	Testijännite [kVdc]	Raja [MΩ]	Testijännite [kVac]	Raja [mA]
Pääpiiri 600 – 690 V	1,0	10	2,7	30
Pääpiiri 400 – 500 V	1,0	10	2,4	30
230 V	0,5	10	2,0	20
24 V	0,1	10	0,5	10

Taulukossa 1 on esimerkkinä ACS880-07 -taajuusmuuttajalle runkokoossa R6-R11 tehtävien jännitekokeiden testijännitteet ja raja-arvot. Testijännitteet ja rajat vaihtelevat hieman riippuen taajuusmuuttajan tyypistä ja teholuokasta.

Jännitekokeiden jälkeen taajuusmuuttajan kytkimet ja johdonsuojakatkaisijat on avattava, jännitekokeissa käytetyt piuhat poistettava sekä mahdollisesti jännitekokeista pois kytketyt piirit on kytkettävä takaisin kiinni.

### 3.3 Toiminnallinen koestus

Toiminnallisen koestuksen tavoitteena on nimensä mukaisesti varmistaa, että taajuusmuuttaja toimii suunnitellusti. Toiminnallisessa koestuksessa kaikki taajuusmuuttajan testattavissa olevien sähköisten ominaisuuksien ja komponenttien toiminta varmistetaan. Viimeistään toiminnallisessa koestuksessa saadaan kaikki taajuusmuuttajan kausvaiheessa tehdyt virheet havaittua ja korjattua.

Ennen toiminnallisen koestuksen aloittamista on taajuusmuuttajalle ladattava oikea ja uusin versio taajuusmuuttajan ohjelmistoista, sekä mahdolliset ohjelmistolisenssit. Taajuusmuuttajan muuntajien jännitetasot tarkastetaan, jonka jälkeen voidaan taajuusmuuttajan johdonsuojakatkaisijat sulkea ja taajuusmuuttajalle asetetaan testauksen aikana käytettävät parametrit.

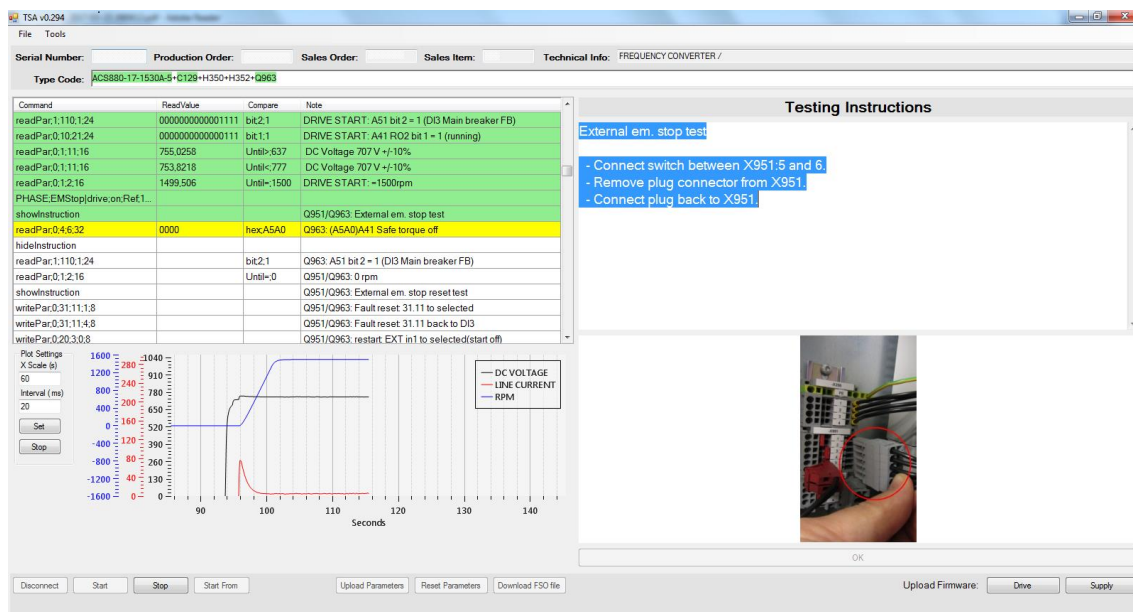
Toiminnallisen koestuksen jälkeen taajuusmuuttajan parametrit ja vikalokit nollataan sekä mukaan kerätään mukaan tulevat mahdolliset manuaalit, testauspöytäkirjat ja taajuusmuuttajan mukaan pakattavat piuhat ja kiinnikkeet. Näiden jälkeen taajuusmuuttaja on valmis lähetettäväksi asiakkaalle.

## 4 Koestuksen automatisointi

Koestus on taajuusmuuttajien tuotannossa viimeinen vaihe. Usein taajuusmuuttajan tullessa koestusvaiheeseen sillä on kiire, joten koestus olisi hyvä saada suoritettua mahdollisimman nopeasti, mutta kuitenkin tarkasti ja huolellisesti. Koestusta pyritään nopeuttamaan automatisoinnin avulla. Automatisoinnin avulla koestusaikaa saadaan pienennettyä ja koestuksen laatua sekä turvallisuutta parannettua. Tällä hetkellä kaapitettujen taajuusmuuttajien koestuksen täysi automatisointi on mahdotonta, sillä koestusprosessiin liittyy useita vaiheita, joita ei pysty automatisoinnin avulla koestettua.

### 4.1 TSA-ohjelmisto

TSA eli *Testing Support Application* on Tomi Taipaleen Pitäjänmäen Cabinet Drives koestamossa kehittämä ohjelmisto. Ohjelma kehitettiin alun perin koestajan avuksi koestusta helpottamaan ja nopeuttamaan. Ohjelmaan syötetään taajuusmuuttajan sarjanumero, jonka avulla se hakee taajuusmuuttajan tyyppikoodin. Tyyppikoodista ohjelma tunnistaa plus-koodien avulla kaikki mahdolliset koestettavat ominaisuudet. Ohjelma antaa koestajalle ohjeet tietokoneen näytölle, joita noudattamalla taajuusmuuttaja koestetaan. Kuvassa 7 esitetään TSA-ohjelmiston käyttöliittymä. Kuvassa oikealla ovat koestajalle tulevat ohjeet ja vasemmalla parametrit, joita ohjelmisto lukee koestuksen yhteydessä.



Kuva 7. TSA-ohjelmiston käyttöliittymä koestuksen aikana.

Ohjelman avulla ladataan taajuusmuuttajalle viimeisin ohjelmistoversio. Ennen testauksen alkua ohjelmisto muuttaa automaattisesti taajuusmuuttajalle testauksen aikana käytettävät parametrit. Ohjelmisto lukee reaaliaikaisesti koestuksen aikana taajuusmuuttajan parametreja, vikoja ja varoituksia. Kun koestettava asia on mennyt hyväksytysti läpi, muuttuu se ohjelmistossa vihreäksi ja ohjelma siirtyy automaattisesti seuraavaan kohtaan. Vikatilanteessa ohjelma ei etene, ja koestajan on pysäytettävä ohjelma ja selvitettävä taajuusmuuttajalla oleva vika. Testauksen lopussa ohjelma muuttaa testauksessa käytetyt parametrit takaisin oletusarvoihin ja nollaa vikalokin.

Ohjelma kerää tiedon tietokantaan kaikista muutetuista parametreista sekä käytetyistä taajuusmuuttajan ohjelmistoversioista, jotta tarvittaessa voidaan myöhemmin tarkistaa, että taajuusmuuttaja on varmasti testattu ja oikeat parametrit ovat muutettu. Turvapiireillä varustetuista taajuusmuuttajista tietokantaan kerätään erikseen tiedot myös turvapiiriin liittyvistä parametreista

TSA-ohjelmistoa voidaan käyttää myös apuna jännitekoekoiden suorittamiseen sekä taajuusmuuttajien ohjelmistojen lataamiseen käytölle. Jännitekoelaitte kiinnitetään tietokoneen sarjaporttiin, josta pitkin TSA antaa jännitekoelaitteelle komennot oikeille testijännit-

teille, jonka jälkeen ohjelmisto kirjaa tulokset automattisesti mittauspöytäkirjaan ja tallentaa tulokset tarvittaessa tietokantaan. Jännitekokeiden suorittaminen nopeutuu huomattavasti ohjelmistoa käytettäessä.

#### 4.2 Agilent 34970A -kytkinyksikkö

Tämä osio käsittelee Agilent 34970A kytkinyksikön toimintaa ja laitteen mittausperiaatteita. Osiossa käydään läpi lämpötilan ja resistanssin mittauksen perusteet Agilent 34970A -kytkinyksikön avulla.

Agilent 34970A -kytkinyksikköä käytetään TSA-ohjelmiston kanssa yhdessä nopeuttamaan koestusta. Kytkinyksikön avulla mitataan ne asiat, joita ei saada suoraan taajuusmuuttajan parametreista selville, kuten esimerkiksi releiden asiakaslähtöjen ja taajuusmuuttajan lämmittimien toiminnan varmistaminen. Normaalisissa koestuksissa koestaja toteaa relälähtöjen toiminnan manuaalisesti yleismittarilla mitaten ja lämmittimien toiminta varmistetaan infrapunalämpötilamittaria käyttäen.

Kytkinyksikössä on kolme paikkaa erilaisille moduuleille, ja jokaisessa kolmessa moduulipaikassa voidaan tarvittaessa käyttää erilaisia moduuleita samanaikaisesti. Koestuksen apuna käytetään 20-kanavaista multiplekserimoduulia 34901A sekä toisessa moduulipaikassa 20-kanavaista kytkinmoduulia 34903A. 34901A -multiplekserimoduulissa on 20 kanavaa, joiden avulla voidaan tehdä mittauksia kytkinyksikön sisäisen yleismittarin avulla. Moduulissa on näiden 20 kanavan lisäksi kaksi ylimääräistä sulakkeella varustettua kanavaa, joiden avulla voidaan mitata kalibroitua DC- tai AC-virtaa. 34903A-kytkinmoduulikorttia käytetään taajuusmuuttajan digitaalitulojen toiminnan varmistamiseen.

Kytkinyksikkö kytketään tietokoneeseen sarjaportin avulla. Taajuusmuuttaja on myös kytkettävä tietokoneeseen koestuksen ajaksi joko taajuusmuuttajan ohjauspaneelin kautta USB-kaapelin avulla tai RJ-45 -kaapelilla suoraan taajuusmuuttajan ohjauskorttiin kytkettynä.

#### 4.2.1 Lämpötilanmittaus Agilent 34970A -kytkinyksikön avulla

Taajuusmuuttajien koestuksessa lämpötilanmittausta hyödynnetään taajuusmuuttajan lämmittimien toiminnan testaamiseen. Lämpötilanmittaus tapahtuu tyypillisesti mittamalla resistanssin tai jännitteen muutosta.

Kytkeyksikkö tukee kolmea eri lämpötilanmittaustapaa: termopari-, RTD- ja termistori-mittausta. Mittaustavan valinnassa tulee ottaa huomioon mitattavan kohteen vaatimukset. Taulukossa 2 vertaillaan eri mittaustapojen eroavaisuuksia pääpiirteittäin.

Taulukko 2. Lämpötilanmittaustapojen eroavaisuudet [4, s.345.]

Mittaustapa	Lämpötila-alue (C°)	Mittausperiaate	Tarkkuus (C°)	Hinta	Kestävyys
termopari	-210–1820	jännite	0.5–5	1 €/m	hyvä
RTD	-200–850	resistanssi	0.01–0.1	20–100 €/kpl	heikko
termistori	-80–150	resistanssi	0.1–1	10–100 €/kpl	heikko

#### RTD

*RTD* eli *vastuslämpötila-anturi* koostuu metallista, yleensä platinasta, jonka vastusarvo muuttuu lämpötilan muuttuessa. Kytkeyksikön sisäinen yleismittari mittaa vastusarvon muutoksen ja laskee sitä vastaavan lämpötilan. RTD on hyvä tapa mitata lämpötilaa, jos vaaditaan tarkkoja ja pitkäaikaisia mittauksia. Agilent 34790A -kytkinyksikkö tukee vastuslämpötila-antureita joiden  $R_0$ , nimellisvastus nollassa asteessa, on väliltä 0,049-2,1 k $\Omega$  ja niiden vastuksen muutos on 0,385  $\Omega/^\circ\text{C}$  tai 0,391  $\Omega/^\circ\text{C}$ . [4, s.346.]

PT100-anturi on teollisuudessa yleisesti käytetty vastuslämpötila-anturi. PT100 saa nimensä siitä, että sen nimellisvastus nollassa asteessa, eli  $R_0$  on 100  $\Omega$ .

#### Termistori

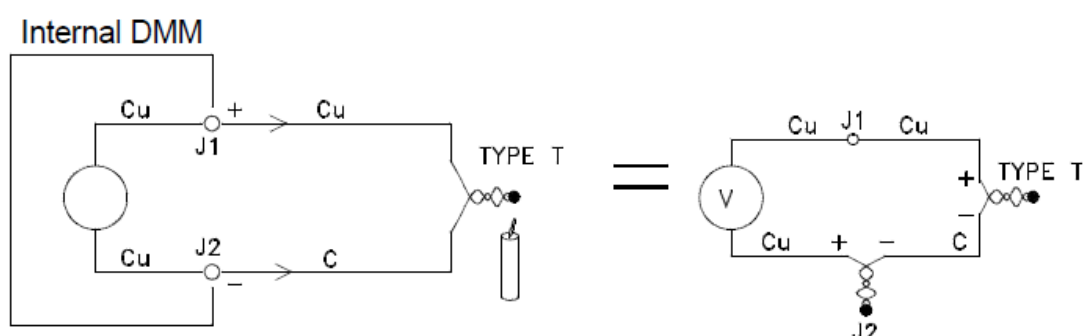
Termistori on vastus, jonka resistanssi muuttuu lämpötilan muuttuessa. Kytkeyksikkö mittaa termistorin vastusarvon ja laskee tämän avulla lämpötilan. Termistorit ovat hyvä vaihtoehto mittaukseen, kun mitataan hyvin pieniä lämpötilanmuutoksia, mutta ne toimivat parhaiten alle 100  $^\circ\text{C}$ :n lämpötiloissa. Kytkeyksikkö tukee 2,2 k $\Omega$ :n, 5 k $\Omega$ :n ja 10



k $\Omega$ :n termistoreita. Suurten vastusarvojen ansiosta, lämpötilanmittaus termistoria käyttäen voidaan tehdä kahden johtimen mittaustekniikalla. [4, s.346.]

## Termopari

Termopari muodostetaan liittämällä kahdesta eri sähköä johtavasta metallista tai metalliseoksesta valmistettua johdinta toisiinsa lämpötilan mittauspisteessä. Jos liitoskohta ja piirin toinen pää ovat eri lämpötiloissa, syntyy johdinten välille hyvin pieni jännite, joka voidaan mitata. Tätä termosähköistä ilmiötä kutsutaan Seebeck-ilmiöksi. [12, s.26.]



Kuva 8. Lämpötilan mittaus termoparilla [4, s.347].

Termoparia käyttäessä on otettava huomioon toinen termopari, joka syntyy mittalaitteen ja johdinten liitoskohtaan eri metallien välille. Kuvassa 8 esitetty tyypin T termoparilla toteutettu mittaus muodostaa pisteeseen J2 eri metallien välille toisen ei toivotun termoparin. Toista termoparia ei tarvitse ottaa huomioon, jos sen lämpötila tiedetään. Tämä kylmäpistekompensoinniksi kutsuttu ominaisuus voidaan tehdä sisäistä lämpötilamittaria käyttäen tai vaihtoehtoisesti mittaamalla lämpötila termistoria tai RTD:tä hyväksikäyttäen. Kylmäpistekompensointi voidaan myös asettaa manuaalisesti lähelle huoneenlämpöä, jolloin kytkinyksikkö osaa kompensoida automaattisesti lämpötilan pois mittaustuloksista. [4, s.347.]

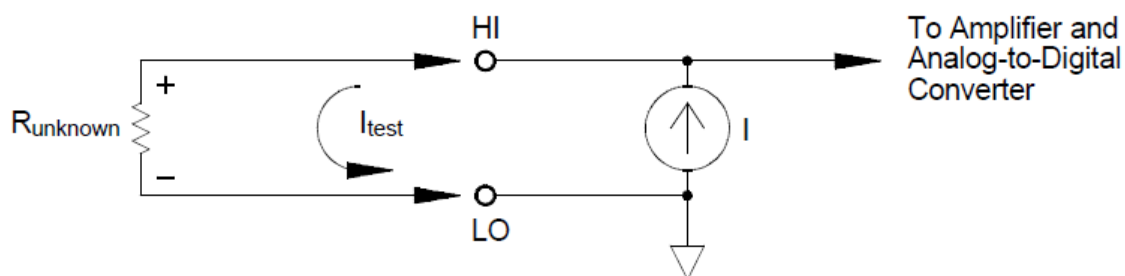
Agilent 34970A -kytkinyksikkö tukee standardin IEC 584-1 mukaisia termopareja, jotka ovat listattuna taulukossa 3. Johdinmateriaalit on taulukossa esitetty metallien lyhenneillä, esimerkiksi tyypin B termoparin toinen johdin koostuu platinan ja 30 % rodiumin yhdistelmästä ja toinen johdin koostuu platinan ja 60 % rodiumin yhdistelmästä.

Taulukko 3. Agilent 34970A:n tukemat termoparityypit. [4, s.351; 12.]

Termoparin tyyppi	Johdinmateriaali	Lämpötila-alue [°C]	Erytyspiirteet
B	Pt30Rh-Pt60Rh	250 - 1820	Korkeille lämpötiloille. Vältä kosketusta metalleihin.
J	Fe-CuNi	-210 - 1200	Vain tyhjiöön. Ei suositella alhaisille lämpötiloille.
K	NiCr-Ni	-200 - 1370	Hapettavaan ympäristöön. Lineaarinen yli 8 °C lämpötiloissa.
T	Cu-CuNi	-200 - 400	Kestää kosteutta. Alhaisten lämpötilojen sovelluksiin.
E	NiCr -CuNi	-200 - 1000	Alhaisiin lämpötiloihin. Suurin herkkyys (S).
N	NiCrNi-NiSi	-200 - 1300	Vakaa. Kehitetty K-tyypin korvaajaksi.
R	Pt13Rh-Pt	-50 - 1760	Korkeille lämpötiloille. Vältä kosketusta metalleihin
S	Pt10Rh-Pt	-50 -1760	Tarkka ja vakaa. Suurille lämpötiloille. Vältä kosketusta metalleihin.

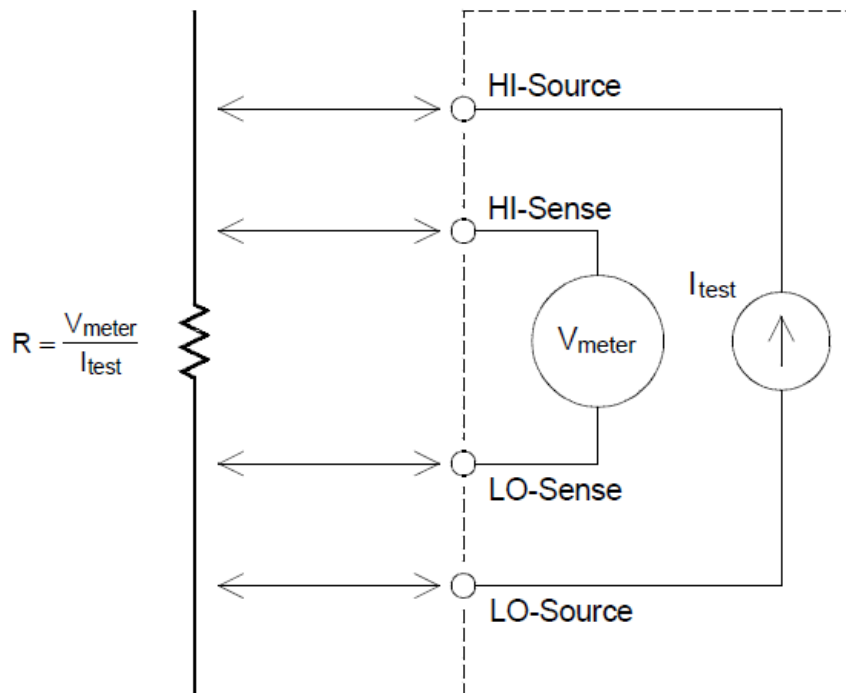
#### 4.2.2 Resistanssin mittaus Agilent 34970A -kytkinyksikön avulla

Kytkeyksikkö pystyy mittaamaan resistanssia joko 2- (kuva 9) tai 4-johdinkytkentää (kuva 10) käyttäen. Molemmissa kytkennöissä resistanssin mittaus tehdään syöttämällä tasavirtaa mittaushohteeseen ja mittaamalla jännitteen alenemaa. 2-johdinkytkennässä kytkinyksikön sisäinen yleismittari on sarjassa mitattavan resistanssin kanssa, joten kytkinyksikön ja mittaushohteen väliin tulevien johtimien resistanssi on mukana mittaustuloksessa. [4, s.369.]



Kuva 9. 2-johdinkytkentä [4, s.369.]

4-johdinkytkentää käytetään, kun halutaan tarkkoja mittaustuloksia pienillä resistanssiarvoilla. 4-johdinkytkennässä mittajohtimien, kytkinlaitteen ja kytkentöjen aiheuttamat resistanssit vähennetään automaattisesti mittaustuloksesta. 4-johdinkytkentää käytetäänkin usein, jos pitkät kaapelit mittauslaitteen ja mitattavan kohteen välillä aiheuttavat huomattavia mittausrvirheitä. 4-johdinkytkentä tarvitsee kaksinkertaisen määrän kytkimiä sekä kaksinkertaisen määrän johtimia verrattuna 2-johdinkytkentään.



Kuva 10. 4-johdinkytkentä [4, s.370.]

Kuvassa 10 esitetyssä 4-johdinkytkennässä mitattavaan vastukseen syötetään kahden johtimen kautta virtaa, jonka jälkeen jännitehäviö mitataan kahden jäljelle jäävän johtimen kautta. Mitattava resistanssi saadaan selville Ohmin lain avulla.

Resistanssin mittausta voidaan hyödyntää koestuksessa releiden toiminnan testaamiseen. Normaalisti koestaja mittaa releiden toiminnan yleismittarin avulla. Agilent-kytkinyksikön avulla resistanssin mittaus tulee varmemmaksi ja nopeammaksi. Releiden toiminnan varmistamiseen ei tarvita tarkkoja mittaustuloksia, joten mittauksessa voidaan hyödyntää 2-johdinten mittaustapaa. Näin säästetään myös ohjauskortin kytkentäpaikkoja.

#### 4.3 ACX580-07:n koestus

Koska ACS580-07 -taajuusmuuttajat ovat ns. vakiolaitteita, eikä niihin suunnitella erikseen erikoisominaisuuksia, voidaan taajuusmuuttajien koestus automatisoida hyvinkin pitkälle. ACX580-07 -taajuusmuuttajat koestetaan TSA-ohjelmiston ja Agilent 34970A-kytkinyksikön avulla. ACX580 taajuusmuuttajan tuotannossa koestuksen tavoiteajaksi on asetettu yksi tunti. Koestuksen automatisoinnilla koestusaikaa saadaan lyhennettyä merkittävästi, mutta koestusprosessiin on tehtävä muitakin muutoksia, jotta aikatavoitukseen päästäisiin. [14.]

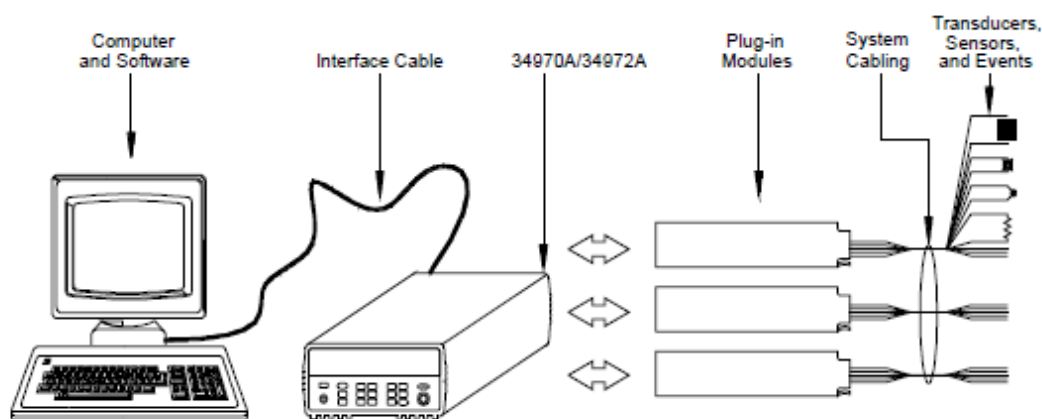
ACX580 koestuksessa ei tehdä visuaalisia ja mekaanisia tarkastuksia, vaan ne korvataan jo taajuusmuuttajan kasaamisvaiheessa käytettävällä *poka-yoke* -menetelmällä. Poka-yoke on Toyotalla työskennelleen Shigeo Shingon luoma menetelmä, jolla estetään virheiden syntyminen, Poka-yoke tarkoittaa virheiden ehkäisemistä, ja käytännössä se tarkoittaa sitä, että tutkitaan virheen tarkka alkuperä ja varmistetaan erilaisten laitteiden ja menetelmien avulla se, että virhettä ei voi tapahtua uudelleen. [13.]

Myöskään manuaalien ja muiden lisätarvikkeiden keräystä ei tehdä enää koestuksen yhteydessä, vaan lisätarvikkeet kerätään taajuusmuuttajan tuotannon muussa vaiheessa.

Ilman vikatilanteita ACS880-07 -taajuusmuuttajan koestukseen kuluu yleensä aikaa 4–10 tuntia, riippuen taajuusmuuttajan lisävarusteista ja erikoisominaisuuksista. TSA-ohjelmistoa käytettäessä taajuusmuuttajan koestus sujuu vaivattomasti ja nopeasti, joten suurin osa koestuksessa käytetystä ajasta kuluu jännitekokeiden tekemiseen, mahdollisten testauspiuhojen, sekä syöttökaapeleiden kiinnittämiseen ja irrottamiseen. Testauspiuhoja kiinnitettäessä tulee taajuusmuuttajan suojaritiloita ja levyjä mahdollisesti irrottaa, jotta kaikkiin liittimiin päästään käsiksi.

#### 4.4 Kaapelit ACX580-07 -taajuusmuuttajan koestukseen

Koestuksen nopeuttamiseksi sekä turvallisuuden parantamiseksi tulisi kehittää mahdollisimman yksinkertaiset ja helppokäyttöiset koestuskaapelit Agilent-kytkinyksikön ja taajuusmuuttajan välille. Kaapeleiden tulee olla mahdollisimman helppoja ja nopeita kiinnittää taajuusmuuttajan riviliittimiin. Kaapeleiden tulee kestää koestuksessa aiheutunut rasitus ja vastata laitteistojen asettamiin vaatimuksiin.



Kuva 11. Agilent 34970A -kytkinyksikön kaapelointiperiaate [4, s.60.]

Kuvassa 11 esitetään Agilent 34970A -kytkinyksikön kaapelointiperiaate. Koestuskaapelit liitetään kytkinyksikön moduuleihin ja moduuleista kaapelit kytketään taajuusmuuttajan liittimiin. Kytkinyksikön liitännäpisteissä suositellaan käytettäväksi  $0,5 \text{ mm}^2$ :n paksuisia johtimia. Yhteensä johtimia tulee 28 kappaletta, jotta ACX580-07 -taajuusmuuttajan kaikki ominaisuudet saadaan koestettua. Koestuskaapelina voidaan käyttää joko taipuisaa ohjauskaapelia, jossa on vähintään 29 johdinta, joiden poikkipinta-ala on vähintään  $0,5 \text{ mm}^2$ , tai 28:aa johdinta sukittuna.

Lämpötilanmittaus toteutetaan toistaiseksi tyypin J termoparilla, joka kiinnitetään taajuusmuuttajan lämmittimen lähelle magneetin avulla. Myös PT100-anturi todettiin toimivaksi ratkaisuksi, joskin anturin heikko kestävyys ja kallis hinta eivät puolla PT100-anturin käyttöä.

## 5 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli kehittää ACX580-07 taajuusmuuttajan koestusprosessia, jotta koestus saataisiin suoritettua asetetussa tavoiteajassa. ABB:n uuden ACX580-07 -taajuusmuuttajan koestus haluttiin suorittaa mahdollisimman automatisoidusti. Koestuksessa päätettiin käyttää TSA-ohjelmistoa, jota käytettiin jo epävirallisesti koestuksen apuna Pitäjänmäellä Cabinet Drives koestamossa. Työn tuloksena suunniteltiin koestuskaapelit, joiden avulla koestus saadaan suoritettua entistä nopeammin. TSA-ohjelmiston, Agilent 34970A -kytkinyksikön ja suunniteltujen koestuskaapeleiden avulla ACS580-07 taajuusmuuttaja saatiin koestettua asetetussa tavoiteajassa, mutta tässä taajuusmuuttajissa ei ollut kaikkia mahdollisia ominaisuuksia mitä ACS580-07 -taajuusmuuttajaan on mahdollista tilata.

Koestuskaapelisuunnitelman avulla jokaiselle koestuspisteelle voidaan tehdä samanlaiset koestuskaapelit. Suunnitelman kaapeleita ja kytkentäohjeita voidaan muokata ja hyödyntää myös tulevaisuudessa, kun Agilent -kytkinyksikköä ja TSA-ohjelmistoa hyödynnetään muiden taajuusmuuttajien koestuksessa. TSA-ohjelmistoa kehitetään edelleen eteenpäin ja tulevaisuudessa ohjelmistoa sekä Agilent -kytkinyksikköä olisi tarkoitus käyttää apuna myös ACS880 -taajuusmuuttajien koestuksessa. Samanlaisia koestuskaapeleita ACS880 -taajuusmuuttajan koestukseen Agilent -kytkinyksikön avulla on lähes mahdotonta suunnitella, sillä ACS880 -taajuusmuuttajat suunnitellaan aina erikseen asiakkaan tarpeiden mukaan, joten taajuusmuuttajissa on usein hyvin erilaisia kytkentöjä verrattuna vakiovarusteltuihin taajuusmuuttajiin. TSA-ohjelmiston käyttö taajuusmuuttajan koestuksessa on nopeuttanut koestusprosessia huomattavasti. Koestus sujuu ohjelmistoa käyttäen nopeasti ja vaivattomasti. Tulevaisuudessa ohjelmiston koestusohjeisiin voisi lisätä vikatilanteessa ohjeita vian selvittämiseksi.

ACX580-07 -taajuusmuuttajan tuotanto on vielä kehitysvaiheessa ja koestuksesta voitaisiin vielä karsia aikaa esimerkiksi suunnittelemalla jännitekokeita varten erilliset kaapelit, joiden avulla jännitekokeet saadaan suoritettua nopeammin. Myös vaihtoehtoisia ratkaisuja syöttökaapeleiden kiinnittämiseen voitaisiin tutkia.

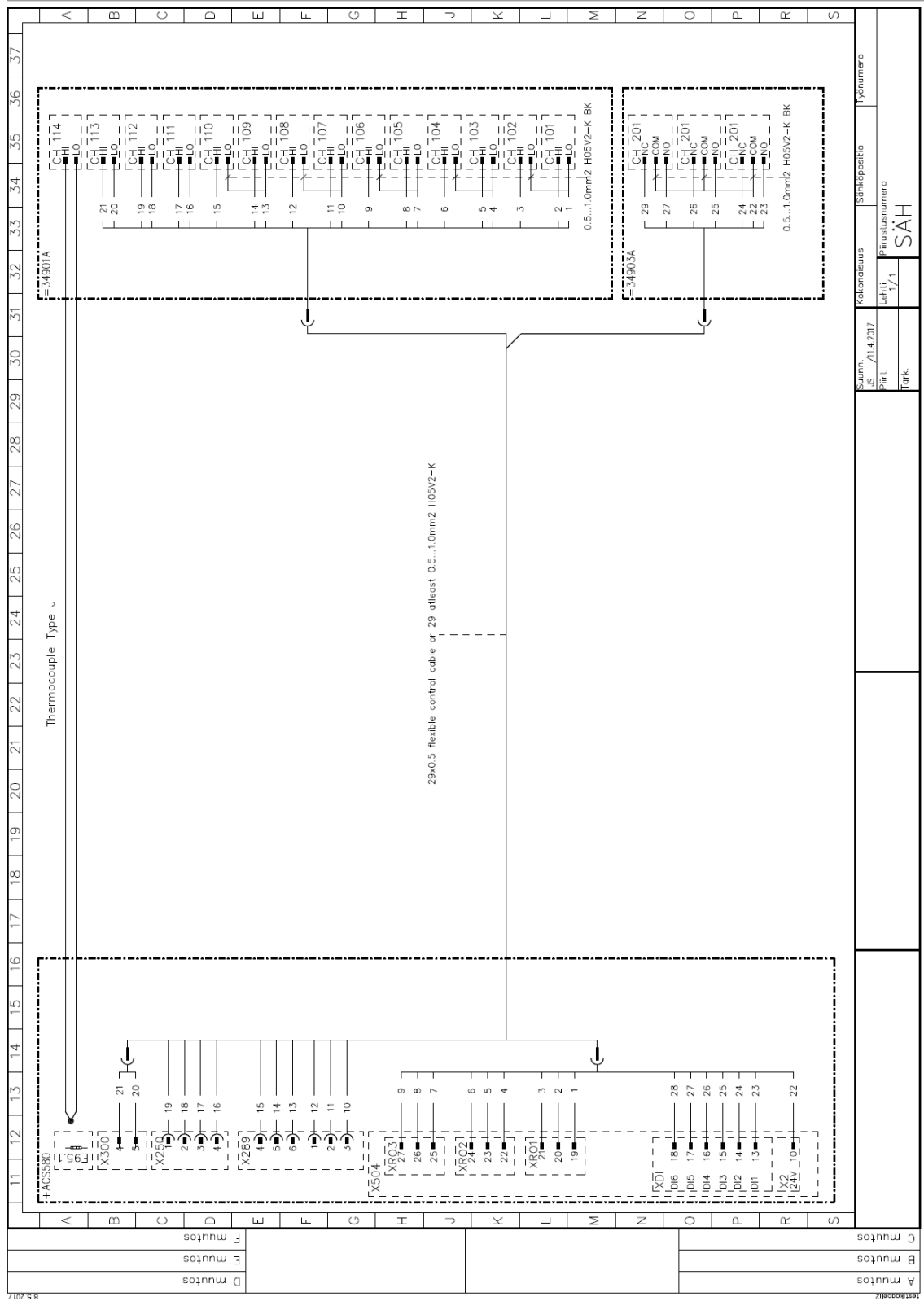
## Lähteet

- 1 Laiteopas ACS880-07-taajuusmuuttajat (45...710 kW, 50...700hv). 2015. ABB Oy.
- 2 Laiteopas ACS880-07-taajuusmuuttajat (560–2800 kW). 2015. ABB Oy.
- 3 ABB: n teollisuustaajuusmuuttajat. ACS880-taajuusmuuttajat 0,55–3200 kW Tuoteluettelo. 2015. Verkkodokumentti. <[https://library.e.abb.com/public/cb0da58246ba4a62aaae948d808fcc7d/FI\\_ACS880\\_single\\_drives\\_3AUA0000124140\\_RevJ.pdf](https://library.e.abb.com/public/cb0da58246ba4a62aaae948d808fcc7d/FI_ACS880_single_drives_3AUA0000124140_RevJ.pdf)> Luettu: 4.10.2016.
- 4 Agilent 34970A -käyttöopas. 2003. Agilent Technologies.
- 5 Eristysvastuksen mittausopas. 2014. Verkkodokumentti. Chauvin-arnoux. <[https://chauvin-arnoux.fi/wp-content/uploads/2014/07/FI\\_Eristysvastuksen-mittausopas.pdf](https://chauvin-arnoux.fi/wp-content/uploads/2014/07/FI_Eristysvastuksen-mittausopas.pdf)>. Luettu: 4.1.2017.
- 6 ABB Suomessa. 2016. Verkkodokumentti. ABB Oy. <[https://library.e.abb.com/public/90caf668b5e74131a4a286ef41ed067f/ABB%20Suomessa\\_2016.pdf](https://library.e.abb.com/public/90caf668b5e74131a4a286ef41ed067f/ABB%20Suomessa_2016.pdf)>. Luettu: 9.2.2017
- 7 Drives and Controls. 2016. Verkkodokumentti. ABB Oy. <[https://library.e.abb.com/public/9ba046d9124a45b1922d845632579852/Drives\\_Controls\\_2016.pdf](https://library.e.abb.com/public/9ba046d9124a45b1922d845632579852/Drives_Controls_2016.pdf)> Luettu: 9.2.2017
- 8 Sivers, Manfred. 2013. ACS880-07 560-2800 kW Test Specification. Yhtiön sisäinen dokumentti. ABB Oy.
- 9 Hieta-Wilkman, Sinikka. 1997. Taajuusmuuttajat: käyttö, asennus, häiriöt. Espoo: Sähköinfo.
- 10 ABB TTT-Käsikirja 2000–07. Luku 18: Sähkömoottorikäytöt. 2000. ABB Oy.
- 11 Tekninen opas Nro1: Suora momenttisäätö. 2001. Verkkodokumentti. ABB Oy. <<https://library.e.abb.com/public/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/Tekninenopasnro1.pdf>>. Luettu: 8.2.2017.
- 12 Weckström, Thua. 2005. Lämpötilan Mittaus. Verkkodokumentti. Mikes Metrologia <[http://www.mikes.fi/mikes/Oppaat/J4\\_2005\\_Lampotilan\\_mittaus.pdf](http://www.mikes.fi/mikes/Oppaat/J4_2005_Lampotilan_mittaus.pdf)>. Luettu: 19.1.2017.
- 13 K. Liker, Jeffrey. 2003. Toyotan tapaan. Helsinki: Readme.fi.

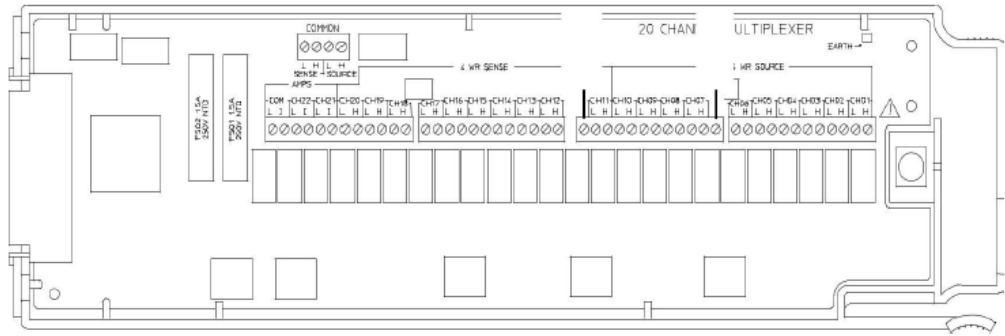
- 14 Vaimel, Taavi. Takala, Olli. 2016. Cork Oak: Production ramp up plan. Yhtiön sisäinen dokumentti. ABB Oy.



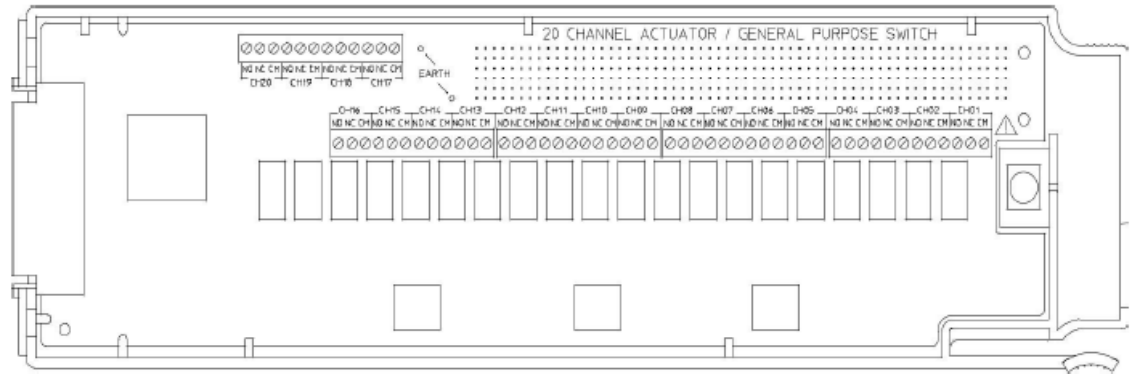
ACX580-07 -koestuskaapeli suunnitelma



Agilent 34970A -kytkentäohjeet



20-Channel Multiplexer Connections		
SLOT 1	CHANNEL	COMMENTS
101	LO	ACX580-07
	HI	
102	LO	XRO1:19 XRO1:20 XRO1:21
	HI	
103	LO	XRO2:22 XRO2:23
	HI	
104	LO	XRO2:22 XRO2:24
	HI	
105	LO	XRO3:25 XRO3:26 XRO3:27
	HI	
106	LO	XRO3:25 XRO3:27
	HI	
107	LO	X289:10 X289:11 X289:12
	HI	
108	LO	X289:10 X289:11 X289:12
	HI	
109	LO	X289:16 X289:17 X289:18
	HI	
110	LO	X289:16 X289:17 X289:18
	HI	
111	LO	X250:4 X250:5 X250:6
	HI	
112	LO	X250:2 X250:3 X250:4
	HI	
113	LO	X300:5 X300:6 X300:7
	HI	
114	LO	Thermocouple Thermocouple
	HI	
115	LO	Type J thermocouple Type J thermocouple
	HI	
116	LO	
	HI	
117	LO	
	HI	
118	LO	
	HI	
119	LO	
	HI	
120	LO	
	HI	



34908A		20-Channel ACTUATOR		
SLOT 2	CHANNEL	ACK550-07	COMMENTS	
201	NO	X1-D11		
	NC	X1-D12		
	COM	X1-24V		
	NO	X1-D13		
	NC	X1-D14		
202	COM	X2-24V	Connect to CH201.COM inside the module	
	NO	X1-D15		
	NC	X1-D16		
	COM	X1-24V	Connect to CH201.COM inside the module	
204	NO			
	NC			
	COM			
205	NO			
	NC			
	COM			
206	NO			
	NC			
	COM			
207	NO			
	NC			
	COM			
208	NO			
	NC			
	COM			
209	NO			
	NC			
	COM			
210	NO			
	NC			
	COM			
211	NO			
	NC			
	COM			
212	NO			
	NC			
	COM			
213	NO			
	NC			
	COM			
214	NO			
	NC			
	COM			
215	NO			
	NC			
	COM			
216	NO			
	NC			
	COM			
217	NO			
	NC			
	COM			
218	NO			
	NC			
	COM			
219	NO			
	NC			
	COM			
220	NO			
	NC			
	COM			