

Jarmo Markkanen

Tahtikoneen

3-vaihe-magnetointilaitteen toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

5.4.2016

ALKUSANAT

Tämä insinööriytyö tehtiin ABB Oy:n Pitäjänmäen Motors & Generators -yksikköön. Työ oli erittäin opettavainen ja antoi hienon mahdollisuuden tutustua taajuusmuuttajan sielunelämään sekä sen käyttöönottoon liittyviin suunnittelutoimiin.

Haluan kiittää ohjaajaani Jukka Karppista Metropolian puolelta. Erityiskiitokset käyttöpäällikkö Kari Pärssiselle, joka toimi ohjaajana ABB:n puolelta, sekä Tero Väisäselle, jonka ansiosta sain projektin hoidettavakseni.

Helsingissä 5.4.2016

Jarmo Markkanen

Tekijä Otsikko	Jarmo Markkanen Tahtikoneen 3-vaihemagnetointilaitteen toteutus
Sivumäärä Aika	55 sivua + 3 liitettä 5.4.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Käyttöpäällikkö Kari Pärssinen Lehtori Jukka Karppinen
<p>Tämä insinööriytyö tehtiin ABB Oy:n Pitäjänmäen Motors & Generators -yksikön testauskentälle. Työssä suunniteltiin ACS880-taajuusmuuttajan käyttöönotto harjattomien tahtikoneiden 3-vaihe-magnetointiin. Uudenaikaisen taajuusmuuttajan tarkoituksena on parantaa tahtikoneiden loppukoestuksen laatua.</p> <p>Lähtökohtana oli tarkastella aiemmassa kokoonpanossa ilmenneitä ongelmakohtia ja suunnitella uusi magnetointi käyttäen ACS880-taajuusmuuttajaa. Toteutukseen kuului suunnitella toimivin verkostomalliratkaisu sähköjakelua varten sekä mitoittaa kaapelointi ja suojauslaitteisto noudattaen ajanmukaisia standardeja.</p> <p>Insinööriytyössä on kerrottu perusteoriaa taajuusmuuttajan ja tahtikoneiden toiminnasta sekä harjattomien tahtikoneiden testauksessa ilmenneitä ongelmia. Työssä on osoitettu valitun sähkönsyötön ja verkostomallin edut sekä käyty läpi suojaukseen ja kaapelointiin liittyvät toimenpiteet. Työssä myös testataan kokoonpanon toimivuus ja analysoidaan tulokset. Lisäksi työssä kartoitettiin taajuusmuuttajan säätöön tarvittavaa automaatiota ja laitteistoa.</p> <p>3-vaihemagnetointilaitteiston suunnitelmat ja toteutus tehtiin yhdessä ABB:n ammattihenkilöiden kanssa. Suunnitelman pohjalta rakennettiin uusi 3-vaihemagnetointilaitteisto ABB Pitäjänmäen Motors & Generators-yksikön testauskentälle.</p>	
Avainsanat	Taajuusmuuttaja, tahtikone, magnetointi

Author Title	Jarmo Markkanen Execution of Three Phase Excitation Apparatus for Synchronous Machines
Number of Pages Date	55 pages + 3 appendices 5 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Kari Pärssinen, Maintenance Manager Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>This thesis was carried out for ABB, Pitäjänmäki Motors & Generators test field in Helsinki. The purpose of the thesis was to plan introduction of ACS880 drive for brushless 3-phase magnetization use for synchronous machines. Modern drive improves the quality of final testing of the synchronous machines.</p> <p>The starting point was to recognize the problems of the previous assembly, and to design a new excitation using the ACS880-drive. The aim was to design a functional model of a network solution for the distribution of electricity, as well as to calculate needed cabling and protection equipment in accordance with the standards.</p> <p>The thesis clarifies the basic theory and functions of the drive and synchronous machines, and explains arisen problems during the testing of brushless synchronous machines. The thesis points out the benefits of the chosen power supply and network model, and explains how protection and cabling was executed. The work will also test the functionality of the assembly and analyze the results. In addition, the necessary automation and equipment for the adjustment and control of the drive were mapped.</p> <p>Magnetization equipment plans were carried out in cooperation with ABB professionals. On the basis of the plan, a new drive configuration was built for three phase magnetization for synchronous machines in ABB Pitäjänmäki test field.</p>	
Keywords	Drive, synchronous machine, magnetization

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

LYHENTEET

1	JOHDANTO	1
2	TAAJUUSMUUTTAJA	2
2.1	Taajuusmuuttajan pääpiirin toiminta	3
2.1.1	Tasasuuntaaja	3
2.1.2	Välipiiri	5
2.1.3	Vaihtosuuntaaja	5
2.1.4	IGBT-vaihtosuuntaaja	6
2.2	Taajuusmuuttajan säätötavat	7
2.2.1	Skalaariohjaus ja -säätö	7
2.2.2	Vektorisäätö	8
2.2.3	DTC	9
2.3	EMC-yhteensopivuus	10
3	TAHTIKONE	11
3.1	Tahtikoneiden magnetointimenetelmät	12
3.2	Harjallinen tahtikone	13
3.3	Harjaton tahtikone	14
4	ONGELMAN TARKASTELU	17
4.1	Tahtikoneen koestus ja lämpenemiskoe	17
4.2	Lämpenemiskokeen suoritus ja ongelman tarkastelu	17
5	SÄHKÖNSYÖTÖN SUUNNITTELU	19
5.1	Verkostomalli	21
5.2	Suojausmenetelmät	22
5.2.1	Kahvasulake	24
5.2.2	Selektiivisyys ja energia-arvot	29
5.2.3	Kytkinvaroke	30

5.2.4	Kytkinvarokekaappi	31
5.3	Kaapelivalinta	32
5.3.1	Kaapelin oikosulkusuojaus	33
5.3.2	Palokatko	37
5.3.3	Oikosulkukestoisuus	38
5.3.4	Ohjauskaapelit	38
6	ACS880-TAAJUUSMUUTTAJA JA SEN OHJAUS	40
6.1	ACS880-taajuusmuuttajan modifikaatio	41
6.2	Laitteiston ohjaus	42
6.3	Työpistehjaus	44
7	LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS	46
7.1	Käyttöönotto	46
7.2	Testattava moottori	48
7.3	Eristysvastusmittaus	49
7.4	Laitteiston testaus	50
8	YHTEENVETO	53
	LÄHTEET	54
	Liitteet	
	Liite 1. ACS880 Tekniset tiedot	
	Liite 2. ISU:n ja INU:n ohjainyksiköt	
	Liite 3. Käyttöönoton tarkastuslista	

Lyhenteet

ABB	Asea Brown Boveri; sähkövoima- ja automaatioteknoogian teollisuuskonserni
ACS880	ABB:n taajuusmuuttajaperhe
ACMK	PVC-eristeinen alumiinijohtiminen kaapeli
A/D,D/A	Analog/Digital, Digital/Analog
AXCCMK	PVC-eristeinen alumiinijohtiminen häiriösuojattu kaapeli
BCU	Taajuusmuuttajan ohjausyksikkö
DTC	Direct Torque Control; suora momenttisäätö
EMC	ElectroMagnetic Compatibility; sähkömagneettinen yhteensopivuus
EMI	ElectroMagnetic Interference; sähkömagneettinen häiriö
gG	Yleiskäyttöön tarkoitettu sulake, johdon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen
IEC	International Electrotechnical Comission; kansainvälinen sähköalan standardoimisjärjestö
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor; transistori, jolla luodaan vaihtosuuntaus halutulle taajuudelle
LC	suodin, jossa kela ja kondensaattori
LCL	suodin, jossa kela, kondensaattori ja kela
MCMK	PVC-eristeinen kuparijohtiminen kaapeli
MCCMK	PCV-eristeinen kuparijohtiminen häiriösuojattu kaapeli

PDC	Power Drive System
PLC	Programmable Logic Controller
PVC	PolyVinyl Chloride; kaapeleissa käytetty eriste
RFI	Radio-Frequency Interference; häiriösuodin
SFS	Suomen standardoimisliitto
TRIAC	Triode for Alternating Current; kaksisuuntainen tyristori, joka johtaa virtaa molempiin suuntiin

1 JOHDANTO

ABB eli Asea Brown Boveri on sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. ABB työllistää noin 140 000 henkilöä 100 maassa, joista Suomessa on noin 5200. Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisista työnantajista, pääkaupunkiseudun suurin.

ABB:n panostaa vahvasti tutkimukseen ja kehitykseen, jonka seurauksena syntyy jatkuvasti uusia innovaatioita. Siksi ABB kuuluu maailman johtaviin teollisuuden moottorien ja taajuusmuuttajien, tuuliturbiinigeneraattoreiden sekä sähköverkkojen toimittajiin. [1]

ABB kehittää jatkuvasti myös sähkökoneiden testaukseen vaikuttavia tekijöitä. ABB Pitäjänmäen Motors & Generators -yksikkö tarvitsee uudenlaisen laitteistoratkaisun harjattomien tahtikoneiden loppukoestukseen, jonka avulla parannettaisiin testausten laatua.

Tässä insinööriyössä suunnitellaan ACS880-taajuusmuuttajarakaisu edeltävän tilalle tahtikoneiden roottorin vaihtosähkögeneraattorin 3-vaihemagnetointiin. Työssä pyritään löytämään paras mahdollinen verkostomalli, jolla sähkönsyöttö saadaan rakennettua mahdollisimman taloudellisesti poistaen aiemmassa kokoonpanossa esiintyneen magnetointivirran epätasaisuuden. Työ sisältää kaapeloinnin ja suojalaitteiston mitoituksen sekä laitteiston käyttöönoton.

Taajuusmuuttajan käyttöönoton suunnittelu tehtiin ABB:n ammattihenkilöiden avustuksella. Tämän suunnitelun pohjalta toteutetaan ensimmäinen ACS880:n ohjauksella toteutettu ratkaisu harjattomien tahtikoneiden magnetointiin eri testikentille ABB:n Pitäjänmäen Motors & Generators -yksikköön.

Insinööriyö sisältää

- perusteoriaa taajuusmuuttajista ja sen rakenteesta
- perusteoriaa tahtikoneista
- ongelman tarkastelua

- toimivan sähkönsyötön suunnittelun
- kaapeleiden ja suojalaitteiden mitoituksen
- laitteiston testauksen.

Tämän insinööriyön ulkopuolelle jää työpistekohtaisen ohjauslaitteiston testaus ja käyttöohjeet. Nämä asiat toteutetaan magnetointilaitteistolle insinööriyön valmistumisen jälkeen.

2 TAAJUUSMUUTTAJA

Teollisuuden sähköenergiasta lähes 70 prosenttia kuluttavat sähkömoottorit. Nykyaikaisten säädettyjen sähkökonekäyttöjen ohjaus on pääsääntöisesti toteutettu taajuusmuuttajien avulla, joilla pystytään säätämään portaattomasti koneen pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia. Tällä tavoin voidaan ohjata koneeseen syötettävää tehoa huomattavasti muita ohjaustekniikoita tehokkaammin, ja sähkökäytön tehokerroin saadaan vietyä lähemmäksi ykköstä.

ABB:n taajuusmuuttajilla varustettujen sähkökäyttöjen energiatehokkuuden tuomat säästöt vuodessa ovat yhtiön arvion mukaan 115 miljoonaa MWh, mikä vastaa 14 ydinreaktorin vuosituotantoa. Uusien taajuusmuuttajakäyttöjen tuoma energiasäästö voi olla niinkin suuri, että investointiin käytetyn rahasumman takaisinmaksuajan voi mitata muutamissa kuukausissa. Teollisuudessa ja toimistoissa ympäri maailman on käytössä miljoonia moottoreita, joista alle kymmenen prosenttia on varustettu käyttöillä. [2]

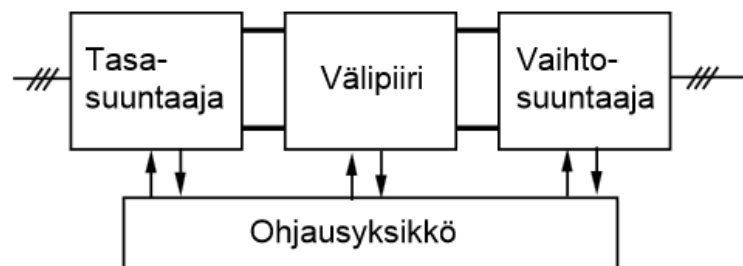
Tehoelektronikan ja mikroprosessoritekniikan kehitys on ollut avainasemassa taajuusmuuttajien yleistyessä. Erityisesti transistorien kehitys on mahdollistanut nopeampien ja tarkempien taajuusmuuttajien valmistamisen.

Taajuusmuuttajan päävirtapiirit toteutetaan tehopuolijohdekytkimillä. Niitä käytetään kytkemään kuorma toistuvassa sekvenssissä haluttuun jännitetasoon tai vaihejännitteeseen. Tehopuolijohdekytkinten kytkentänopeudet ja tarkkuudet mekaanisiin kytkimiin verrattuna ovat ylivoimaisia. Nopeimmat kytkimet ylittävät usean kymmenen kHz:n kytkentätaajuuteen eli kymmeniin tuhansiin kytkentöihin sekunnissa.

2.1 Taajuusmuuttajan pääpiirin toiminta

Taajuusmuuttajan pääpiiri koostuu neljästä osasta.

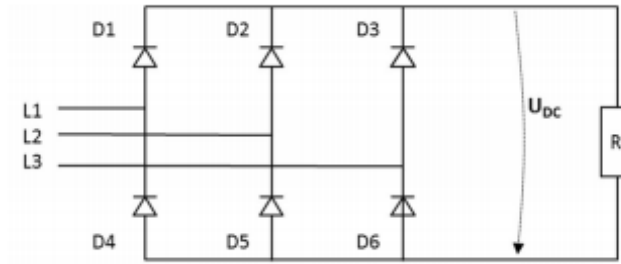
- Tasasuuntaaja muuttaa kolmivaiheisen syöttöjännitteen tasajännitteeksi.
- Jännitevälipiiri tasaa DC-jännitteen aaltoisuutta LC-alipäästösuodattimella tai piirissä oleva virta muutetaan tasavirraksi tasoituskuristimella.
- Vaihtosuuntaaja muodostaa välipiirin tasasähköstä halutun taajuista vaihtosähköä.
- Ohjausyksikkö ottaa vastaan ulkoisia ohjeita ja mittasignaaleja, ja huolehtii taajuusmuuttajan tarkoituksenmukaisesta toiminnasta.



Kuva 1. Taajuusmuuttajan lohkoakaavio. [3]

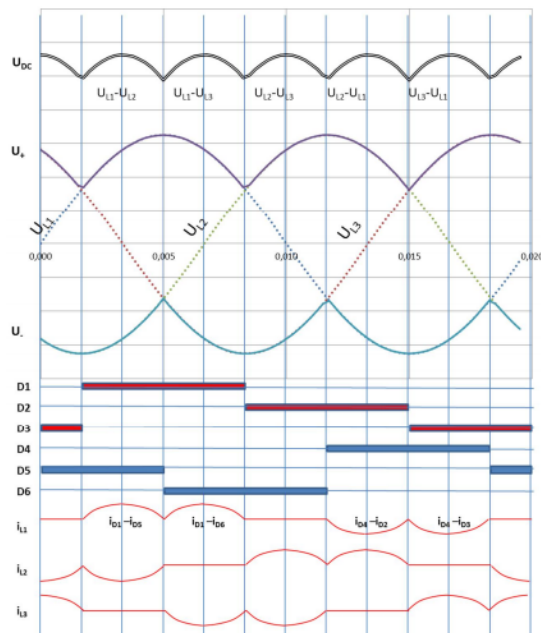
2.1.1 Tasasuuntaaja

Tasasuuntaaja on laite, joka muuttaa vaihtojännitteen sykkiväksi tasajännitteeksi. Tasasuuntaaja on yksinkertaisimmillaan diodisilta, jossa jokainen syöttövaihe on kytketty kahden sarjaan kytketyn diodin väliin.



Kuva 2. 6-pulssinen kolmivaiheinen dioditasasuuntaaja. [4]

Tasasuuntaus toteutetaan yleensä 6-pulssisella kolmivaiheisella dioditasasuuntaajalla, joka tuottaa 6-pulssista tasajännitettä U_{DC} . Kuvassa 3 on esitetty 6-pulssitasasuuntaajan jännitteet, diodien toiminnat ja vaihevirrat resistiivisellä kuormalla. Kolmivaihetasasuuntaajan tuottamaa jännitettä voidaan tarkastella seuraavasti. Vaiheen yksi diodi D1 johtaa kun jännite U_{L1} on korkeampi kuin kumpikaan vaiheiden L_2 ja L_3 jännitteistä. Johtovuoro siirtyy seuraavalle vaiheelle, kun sen jännite nousee korkeammaksi kuin kahden muun vaiheen jännite. Tämä vuorottelu toistuu ja ulostulona saadaan tasasuunnattua jännitettä U_{DC} .



Kuva 3. 6-pulssitasasuuntaajan jännitteet, diodien toiminta ja vaihevirrat resistiivisellä kuormalla. [4]

Tasasuunnatun jännitteen suuruus voidaan laskea seuraavasta integrointilausekkeesta, jossa jännite U on verkon pääjännite:

$$U_{DC} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{2} U \cos \omega t d(\omega t) = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} U = 1,35U \quad (1)$$

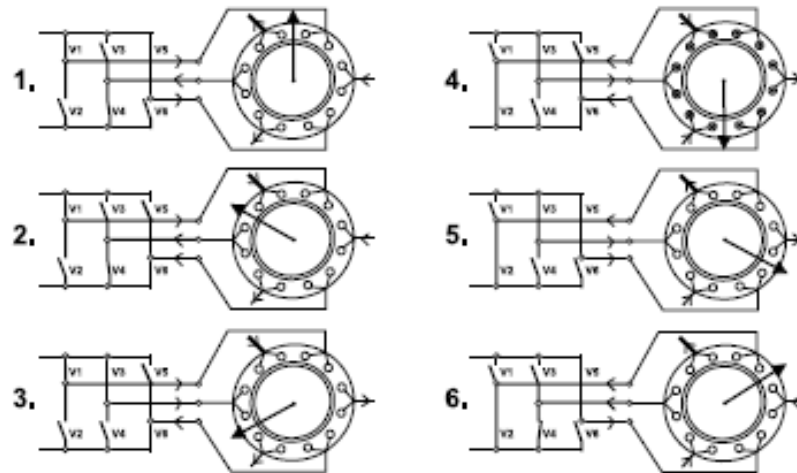
2.1.2 Välipiiri

Välipiirin rakenteen perusteella taajuusmuuttajat voidaan jakaa kahteen päätyyppiin. Tasavirtavälipiirillä varustetussa taajuusmuuttajassa välipiiri muodostuu ainoastaan tasoituskuristimesta. Tässä taajuusmuuttajassa virran amplitudia ohjataan tasasuuntaajassa tai tasasähköpiiriin sarjaan kytketyllä katkojalla siten, että moottorin navoille saadaan haluttu jännite. Tasavirtavälipiirillä varustettu taajuusmuuttaja on tarkoitettu yksittäismoottorikäyttöihin.

Kun taajuusmuuttajan välipiiri koostuu LC-alipäästösuodattimesta, sitä kutsutaan tasajännitevälipiirillä varustetuksi. Se koostuu kuormituksen kanssa sarjaan kytketystä induktanssista ja suurehkoista elektrolyyttikondensaattoreista, joiden tehtävänä on vaimentaa tasasuunnatun jännitteen aaltoisuutta eli rippeliä, sekä toimia vaihtosuuntaajalle hetkellisenä energiavarastona syöttämällä moottorille loistehoa. Kuormitustilanteessa välipiirin jännite alenee ja virta kasvaa. Vastaavasti kuormituksen pienentyessä välipiirin jännite nousee. Usein välipiirin tai vaihtoehtoisesti taajuusmuuttajan syötön puolelle lisätään vielä virtapiikkejä rajoittava kuristin.

2.1.3 Vaihtosuuntaaja

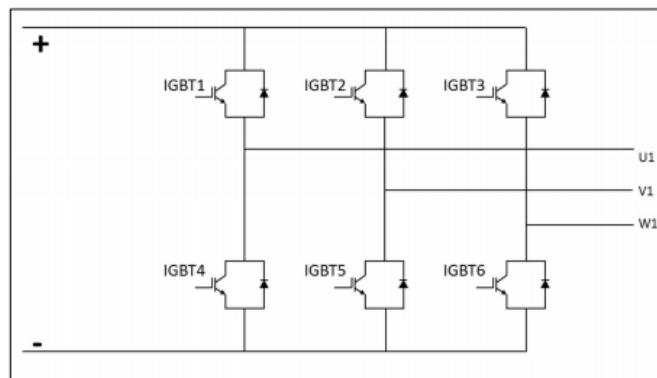
Vaihtosuuntaajassa välipiirin navat kytketään moottorikaapeleihin kytkimien kautta. Vaihtosuuntaajan kytkinkombinaatioita yhteensä kahdeksan, joista kahdessa kaikki vaiheet on kytketty samaan tasajännitevälipiiriin jännitteen ollessa tällöin nolla. Lopuissa kuudessa kytkinasennossa moottorin käämissä on jännite, joka luo magneettivuon. Käämeissä syntyvä virta ja sen suunta on esitetty kuvassa 4. Kuvasta nähdään myös eri kytkentöjen luomat magneettivuo-osoittimet.



Kuva 4. Vaihtosuuntaajan kytkentäkombinaatiot. [5]

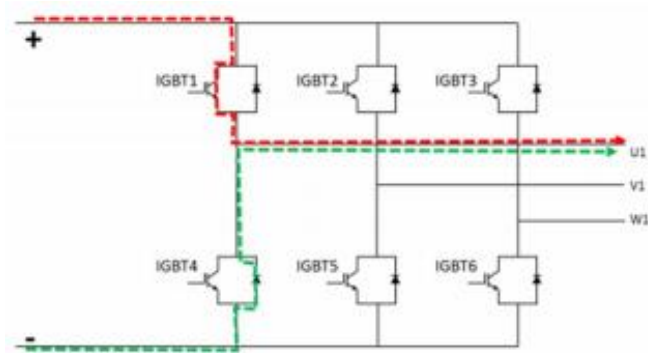
2.1.4 IGBT-vaihtosuuntaaja

IGBT-vaihtosuuntaajassa kytkinkomponentin rinnalle kytketään estosuuntainen nolladiodi, jonka tehtävänä on toimia virran kulkureittinäkytkimen auettua. IGBT-transistorit sekä niiden rinnalla olevat nolladiodit muodostavat kuusi puolijohdekatkojaa, jotka sopivassa tahdissa kytkeytyessään synnyttävät moottorille menevän ulostulojännitteen.



Kuva 5. IGBT-vaihtosuuntaaja. [4]

Esimerkiksi, kun IGBT1 on kytkettynä, U1-vaihteen virta kulkee pluskiskosta IGBT1:n kautta sähkökoneelle. Kun IGBT1 avataan, staattorin käämi vielä ottaa virtaa diodin 4 kautta (vihreä katkoviiva).



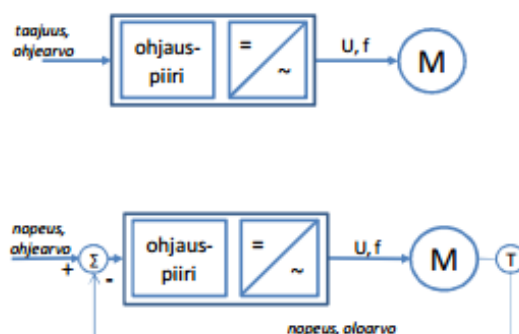
Kuva 6. Virran kulku IGBT vaihtosuuntaajassa. [4]

2.2 Taajuusmuuttajan säätötavat

Taajuusmuuttajan säädössä pyritään vaikuttamaan sähkökoneen momenttiin, pyörimisnopeuteen ja joskus myös moottoriakselin asentoon mahdollisimman tarkasti. Säädön vaatimukset riippuvat käyttösovelluksen ominaisuuksista.

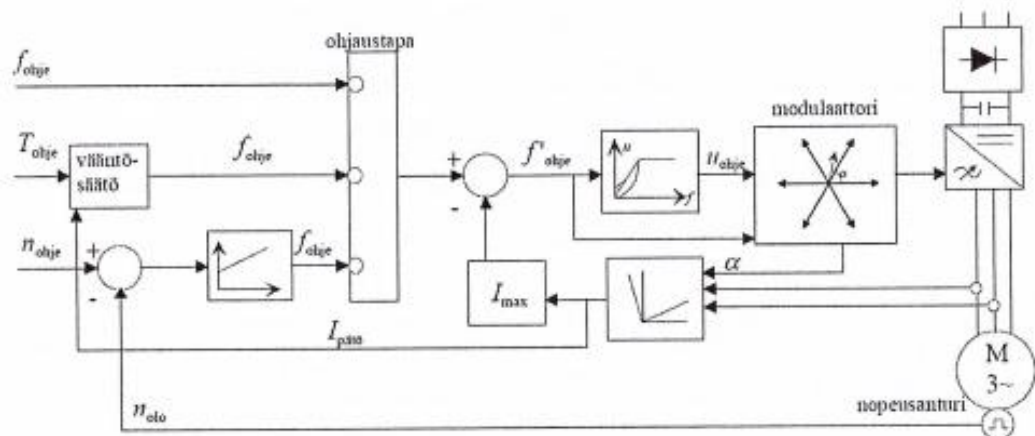
2.2.1 Skalaariohjaus ja -säätö

Skalaariohjaus on yksinkertaisin tapa antaa taajuusmuuttajalle haluttu taajuusohje. Se sopii sovelluksiin, joissa ei tarvita tarkkaa säätöä ja nopeaa reagointia. Siinä taajuus on ohjeen suuruinen ja jännite U/f -suhteen mukainen. Skalaariohjauksesta saadaan skalaarisäätö, kun siihen lisätään takaisinkytkentä. Silloin moottorin todellinen nopeus mitataan pyörimisnopeusanturilla ja verrataan sitä ohjearvoon. Tällä tavoin pyörimisnopeus saadaan vakioksi kuormasta riippumatta.



Kuva 7. Skalaariohjaus ja -säätö. [6]

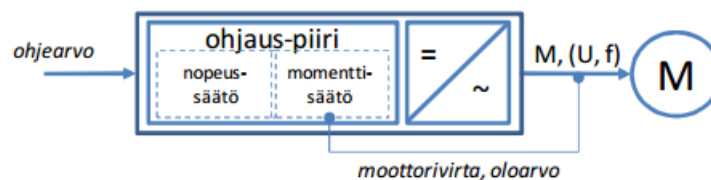
Taajuusmuuttajan pätövirta on verrannollinen moottorin kehittämään vääntömomenttiin, joten sen avulla saadaan vääntömomentille karkea arvio, mutta varsinaista moottorimallia skalaarisäätö ei sisällä. Skalaarisäätö ei reagoi nopeisiin vääntömomentin muutoksiin, ja uuden toimintatilan asettumisaika voi olla satoja millisekunteja.



Kuva 8. Skalaarisäädön lohkokkaavio. [7]

2.2.2 Vektorisäätö

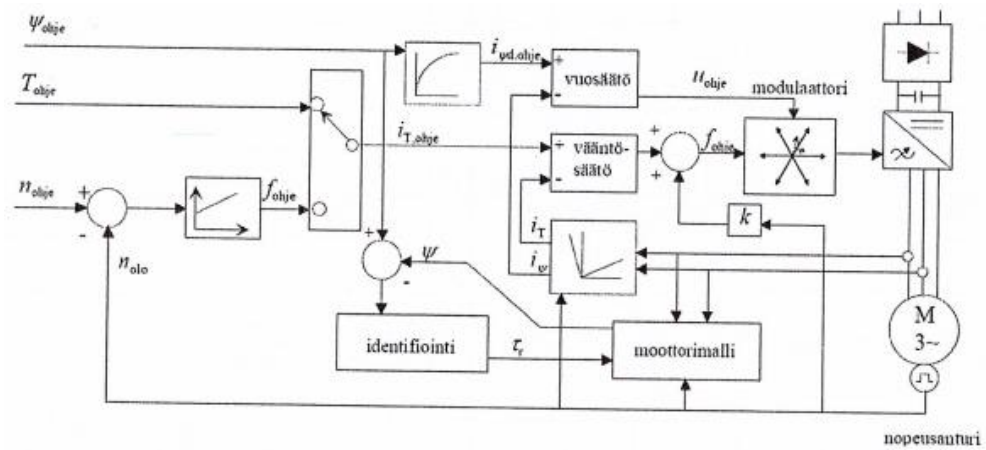
Nopeampiin vasteaikoihin päästään suoralla momenttisäädöllä. Tässä taajuusmuuttajalla on tarkka moottorimalli ja tieto moottorivirrasta. Pyörimisnopeuden tarkkaan säätöön voidaan kuitenkin tarvita edelleenkin takaisinkytkentää.



Kuva 9. Vektorivuosäätö. [6]

Vektorisäädetyt käytön hyödyt verrattuna skalaarisäätöön ovat erittäin hyvä momenttivaste ja tarkka nopeudensäätö. Sillä pystytään myös tuottamaan täysi momentti nollassa nopeudella. Vektorisäädöllä moottorin sähkömagneettinen tila pysyy

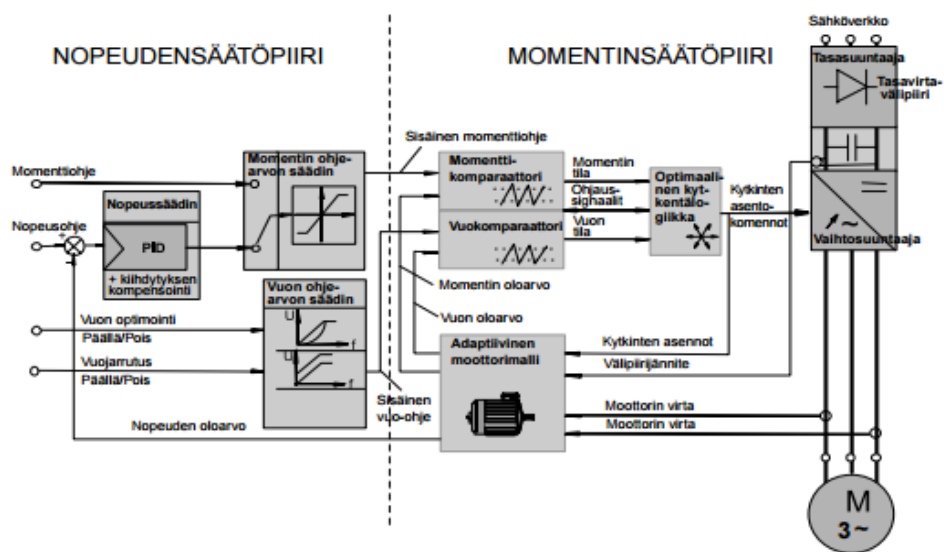
huomattavasti paremmin hallinnassa kuin skalaarisäädöllä. Vektorisäätö perustuu koneen dynaamisen tilan tuntemiseen ja sen vääntömomentin vasteaika on lyhyt (<20ms). Moottorimallin ja mittaustietojen avulla lasketaan tarvittavat ohjaussuuret.



Kuva 10. Vektorisäädön lohkoakaavio. [7]

2.2.3 DTC

DTC-teknikka (Direct Torque Control) perustuu nimensä mukaisesti suoraan momenttisäätöön. Siinä säädetään suoraan sähkökoneen käämiavuota ja sitä kautta vääntömomenttia. Suorassa momenttisäädössä vähintään kaksi moottorin vaihevirtaa ja välipiirin tasajännite mitataan. Mitatut suuret sekä tehokytinkien asentotiedot viedään adaptiiviseen moottorimalliin.



Kuva 11. Suoran momenttisäädön (DTC) lohkoakaavio. [8]

2.3 EMC-yhteensopivuus

Sähköisten tehonsiirtojärjestelmien haasteet liittyvät EMC-yhteensopivuuteen (Electro Magnetic Compatibility). EMC tarkoittaa olosuhteita, määräyksiä ja menetelmiä, joilla sähköinen järjestelmä ei aiheuta, tai ota vastaan häiriötä toisesta sähköisestä järjestelmästä. Säädettyjen sähkökäyttöjen osalta laitteiden tulee sinänsä täyttää EU:n yhteensopivuusmääräykset. Käytännössä ongelmat liittyvät asennusolosuhteisiin ja kaapeli- ja komponenttivalintoihin.

EMC-yhteensopivuus pohjautuu EMI-standardiin (Electro Magnetic Interface). Häiriöiden osalta EMI määrittää rajat sähköisten järjestelmien ominaisuuksiin synnyttää häiriötä, siirtää tai kytkeä häiriötä, tai häiriintyä häiriöstä. Säteilevien häiriöiden osalta taajuusmuuttajan komponentit, liittimet ja johtimet tulopuolen RFI-filteeristä moottorille suojataan Faradayn häkillä vaimentamaan häiriöiden muodostumista. Häiriöiden minimoimiseksi tulee huomioida:

- taajuusmuuttajan kotelointi
- suojattu moottorikaapeli, läpiviennit. Suojavaipan 360° maadoitus
- suojattu ohjauskaapeli, kierretyt johdinparit
- ohjauskaapeli / verkkokaapeli ei samalla hyllyllä moottorikaapelin kanssa.

Taajuusmuuttajakäytöissä tulo- ja lähtöpuolen häiriöiden siirtymistä voidaan rajoittaa suodinratkaisulla. Standarditaajuusmuuttajassa on yleensä tulopuolella RFI-suodin, mutta jos taajuusmuuttaja toteutetaan nopeasti ohjattavalla verkkovaihtosuuntaajalla (esim. IGBT), tulopuolelle kytketään erillinen LC- tai LCL-suodin. [7]

3 TAHTIKONE

Sähkövoimantuotannossa olevat generaattorit ovat pääsääntöisesti tahtikoneita, mutta tahtikoneita käytetään myös moottoreina usein suuritehoisissa sovelluksissa, perusteluina mm.

- ei jättämää (Nopeus tunnetaan tarkasti, eli tarkkaan nopeussäätöön ei tarvita erillistä nopeuden mittausdatan takaisinkytkentää.)
- korkea hyötysuhde
- magnetoinnilla voidaan vaikuttaa tehokertoimen säätöön / loistehon kompensointiin
- oikosulkumoottorin roottorimekaniikka on vaikea toteuttaa suurikokoisiin moottoreihin (tahtikone sallii suuremman ilmavälin)
- kestromagneettikoneet tulleet kilpailukykyisiksi myös pienillä ja keskiuurilla tehoilla. [6]

Tahtikoneita käytetään pääosin suuritehoisissa sähkökäytöissä niiden hyvän hyötysuhteen ja säädettävyyden vuoksi. Tahtikoneessa roottori pyörii nimensä mukaisesti tahdissa verkon määräämän kiertokentän nopeuden mukaan.

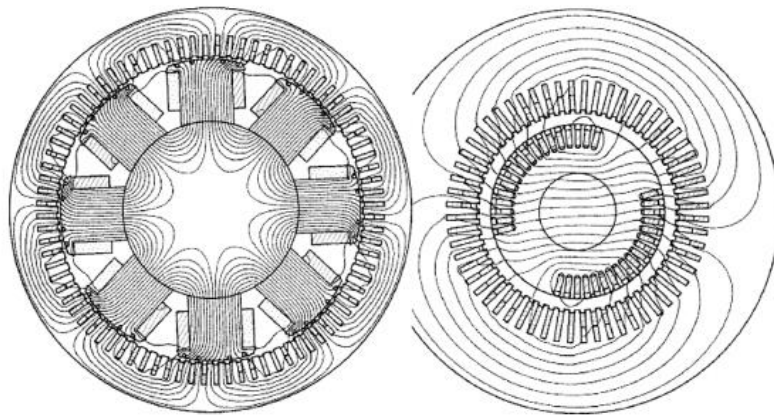
Tahtikoneen staattori on rakennettu kolmivaiheisella käämityksellä aivan kuten epätahtikoneissa. Roottorin toiminta eroaa sen sijaan epätahtikoneen oikosuljetun häkkikäämityksen sijasta oleellisesti. Tahtikoneen roottoriin luodaan oma magneettikenttä erillisellä DC käämityksellä. Harjallisessa tahtikoneessa roottorin magnetointi luodaan usein erillisellä kolmivaiheisella tasasuuntaavalla tyristorisillalla mistä se tuodaan roottorille hiiliharjojen ja liukurenkaiden avulla. Harjattomassa järjestelmässä magnetointi luodaan roottorin akselille kytketyn 3-vaihegeneraattorin ja tasasuuntaavan diodisillan avulla.

Nyt kun magneettikenttä luodaan erikseen, tahtikone ei edellytä epätahtikoneen tapaan nopeuseroa staattorin magneettikentän ja roottorin välillä. Tästä johtuen se käy synkroni- eli tahtinopeudella ilman jättämää. Roottori voidaan magnetoida myös

kestomagneeteilla. Staattorin ja roottorin napalukujen tulee olla samat kuten epätahtikoneissakin.

Tahtikoneet voidaan jakaa magnetointimenetelmiensä perusteella harjallisiin ja harjattomiin sekä roottorirakennerratkaisun mukaisesti kahteen konetyyppiin: umpinapakoneisiin ja avonapakoneisiin. Harjallinen magnetointi soveltuu dynaamisesti vaativiin käyttöihin ja harjattoman magnetoinnin etuna on vähähuoltoisuus. Umpinapakoneita käytetään nopeakäyntisissä sovelluksissa kuten kaasua ja höyryturbiinigeneraattoreina, ja avonapakoneita hitaissa sovelluksissa.

Avonapakoneen roottori koostuu erillisistä navoista, joiden ympärille magnetointikäänitys rakennetaan joko lattakuparista tai muotolangasta. Roottorin navat ovat massiivirautaa tai rakennettu levyrakenteista. Umpinapakoneen magnetointikäänitys on sijoitettu roottorin akselin suuntaisiin uriin, ja roottorin rakenne on lieriömäinen.



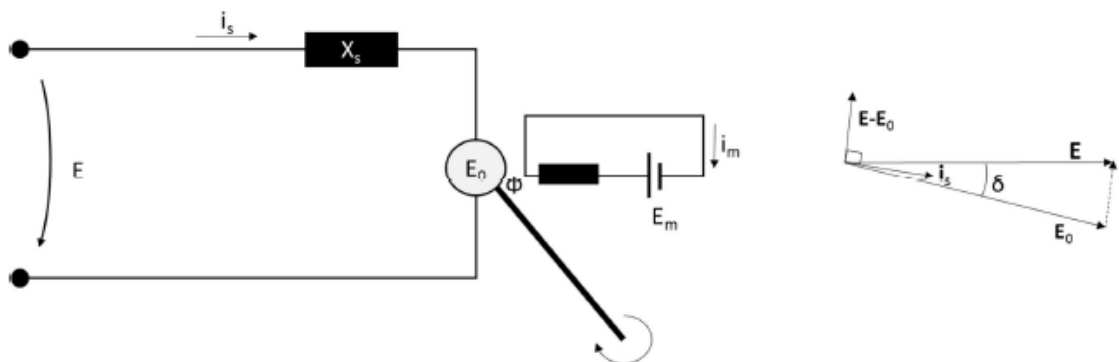
Kuva 12. Avo- ja umpinapaisen tahtikoneen poikkileikkaus ja magneettikentät. [9]

3.1 Tahtikoneiden magnetointimenetelmät

Tahdissa pysyäkseen tahtikoneen roottoriin muodostetaan tasavirralla magneettikenttä eli käänmivuo Φ , joka indusoi ankkurikäänmiin tarvittavan päälähdejännitteen. Päävuo pyörii roottorin mukaisesti. Magnetointimenetelmien perusteella voidaan tahtikoneet jakaa karkeasti kahteen ryhmään: harjallisiin ja harjattomiin.

Tahtimoottorin staattoriin sijaiskytkentä voidaan esittää yksivaiheisena kytkentänä. Kuvassa 13 esitetty vaihejännite E , staattorikämmityksen tahtireaktanssi X_s ja kämmivuon Φ indusoima jännite E_0 muodostavat suljetun virtapiirin ja jännitettä E_0 voidaan säätää magnetoinnin avulla. Osoitinpiirroksista voidaan nähdä, että osoitinvektorin E_0 pidentäminen (magnetoinnin kasvattaminen) kääntää osoittimen $E-E_0$ ja samalla vaihevirran i_s suuntaa vastapäivään. Tämä tarkoittaa sitä, että staattorin virta pyrkii jännitteen edelle (kapasitiivinen loisteho). Osoitinvektorin E_0 lyhentäminen (magnetoinnin vähentäminen) puolestaan vie tahtimoottorin tehokertoimen induktiiviselle alueelle.

Magnetoinnilla pystytään siis määrittämään, kuinka suuri osa moottorin tarvitsemasta loistehosta tuotetaan magnetointipiirillä ja kuinka suuri osa otetaan verkosta. Tahtimoottoria ylimagnetoimalla voidaan siis kompensoida verkon loistehoa, jos verkossa on esimerkiksi oikosulkukuormaa. [6]

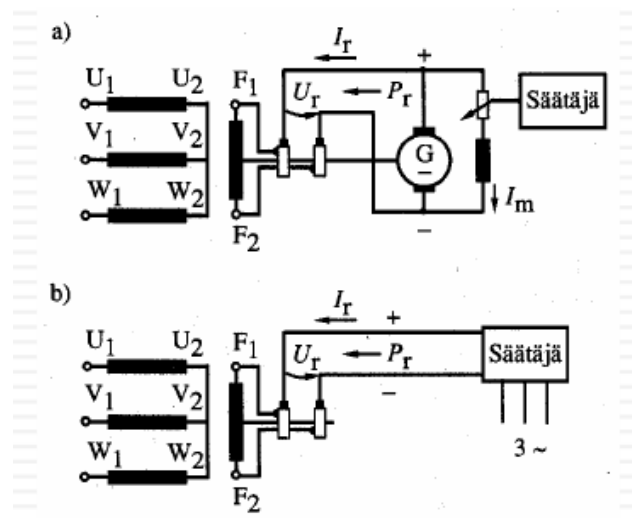


Kuva 13. Tahtimoottorin yksivaiheinen sijaiskytkentä [4]

3.2 Harjallinen tahtikone

Harjallisessa tahtikoneessa magnetointivirta tuodaan hiiliharjojen ja liukurenkaiden avulla pyörivään roottorikämmiin. Magnetoimisteho otetaan joko ulkoisesta tasasähkölähteestä tai vaihtosähkölähteestä. Tasasähkölähteenä voi toimia pääkoneen kanssa samalle akselille asennettu magnetointigeneraattori tai täysin erillinen tasasähkölähte. Ulkoista tasasähkölähdettä käytettäessä magnetointiteho saadaan normaalisti kuusipulssityristorisillalta, joka saa syöttönsä muuntajalta tai suoraan syöttävästä verkosta.

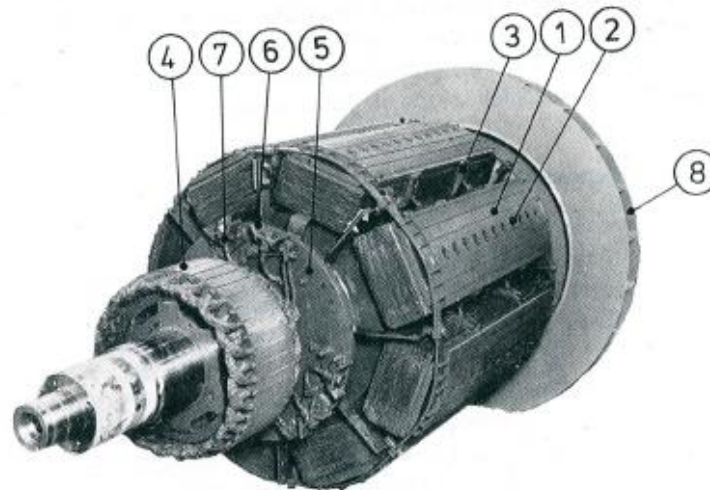
Kuvassa 14 pääkoneen magnetointia säädetään magnetointigeneraattorin magnetointivirtaa I_m säätämällä. Silloin magnetointigeneraattorin kehittämä jännite U_r muuttuu, ja sen mukana pääkoneen magnetointivirta I_r säätyy.



Kuva 14. Harjallisen tahtikoneen magnetointi. a) Tasasähkölähteestä. b) Vaihtosähkölähteestä. [10]

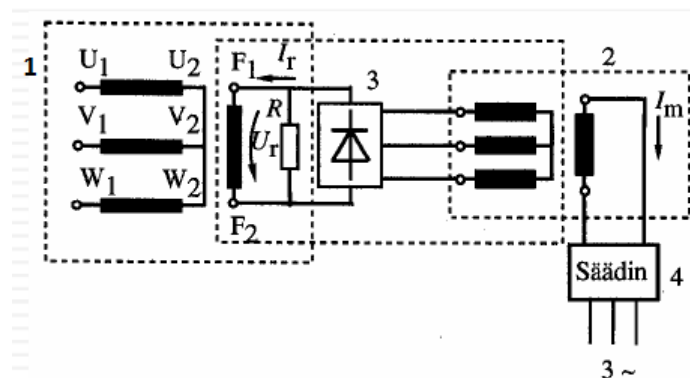
3.3 Harjaton tahtikone

Harjattoman tahtikoneen akselilla on erillinen ulkonapainen vaihtosähkögeneraattori magnetointikoneena. Ulkonapakoneessa magneettinavat ovat staattorissa ja käämitys, johon lähdejännite indusoituu, on roottorissa. Kuva 15 esittää harjattoman tahtikoneen avonaparoottorin rakenteen.



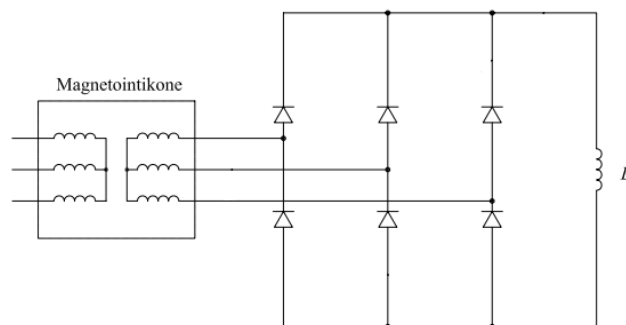
Kuva 15. Harjattoman tahtikoneen avonaparoottori. 1. Magneettinapa. 2. Navan kiinnitysruuvi. 3. Napakäämin tuki. 4. Magnetointikoneen roottori. 5. Diodien kannatinrakenne. 6. Diodien jäähdytyslementti. 7. Diodi. 8. Tuuletin. [10]

Magnetointigeneraattorin kolmivaiheisessa staattorikäymyksessä kehittyvä vaihtojännite tasasuunnataan tasajännitteeksi U_r , joka vaikuttaa pääkoneen napa- eli magneetomiskäämiin F1-F2 syöttäen siihen magneetomisvirran I_r . Tasasuuntaus tapahtuu roottorissa olevilla diodeilla. Pääkoneen magneetoinnin säätö tapahtuu magnetointigeneraattorin magneetomisvirtaa I_m säätämällä. Magneetomisvirta otetaan kuvan 16 osoittamalla tavalla vaihtosähkölähteestä säätimen välityksellä.



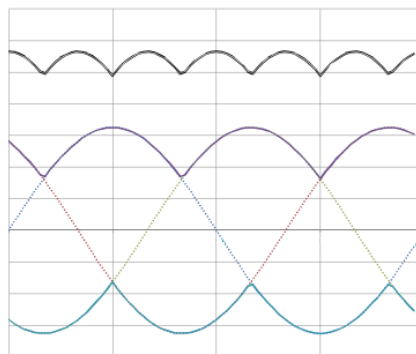
Kuva 16. Harjattoman tahtikoneen magneetointi. 1. Pääkone. 2. Magnetointikone. 3. Diodisilta. [10]

Harjattomissa tahtigeneraattoreissa magnetoitukoneen magnetointi otetaan koneiston omasta päägeneraattorista, joka on alussa jännitteetön. Siksi roottorin yksi napa on varustettu kestopagneetilla, jonka synnyttämä remanenssivuo pyörimään lähtiessä indusoi magnetoitukoneen staattoriin jännitteen. Staattoriin muodostunut jännite puolestaan aiheuttaa magnetoimisvirran pääkoneen napakäämille ja herättää koneiston. Roottorissa sijaitseva dioditasasuuntaaja voidaan kuvastaa yksinkertaisena 6-pulssidiodisiltana.



Kuva 17. Roottorin 6-pulssinen diodisillan periaatekuva [11]

6-pulssidiodisillan tuottama tasajännite muodostuu kuvan 18 osoittamalla tavalla. IGBT-tekniikan tuoman kytkentänopeuden vuoksi syntyvä tasajännite on varsin tasaista ja vaihtojännitekomponentin tuoma rippeli jää pieneksi.



Kuva 18. Roottorin diodisillan tuottama tasajännite. [6]

4 ONGELMAN TARKASTELU

4.1 Tahtikoneen koestus ja lämpenemiskoe

Tahtikoneen kokoonpanovaiheessa roottoriin asennetaan mitta-anturit roottorivirran- ja jännitteen mittaamiseksi. Näiden antureiden avulla nähdään koneen koestuksen yhteydessä koneen sisälle, mitä siellä oikeasti tapahtuu. Tahtikoneiden loppukoestukseen kuuluu ns. lämpenemiskoe. Lämpenemiskokeessa koestettavaa tahtikonetta pyörittää tarkoitukseen sopiva tasasähkömoottori, tai jokin muu apukone. Sitä kuormitetaan periaatteessa nimelliskuormalla siihen saakka, kunnes käämien, laakereiden ja muiden osien lämpötilat ovat tasaantuneet. Lämpenemiskoe tehdään kuitenkin useimmiten käyttämällä koestettavaa tahtikonetta ylimagnetoituna moottorina, jolloin kuormitus tapahtuu loisteholla. Jos tähän ei ole mahdollisuuksia, koe tehdään ns. superpositiometodilla, jolloin lämpenemä mitataan erikseen tyhjäkäynnissä, oikosulussa ja ilman magnetointia.

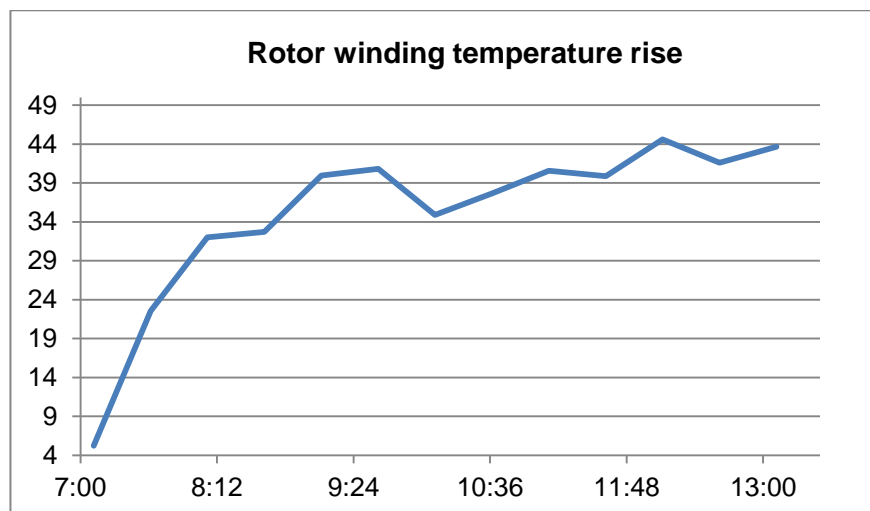
Standardit asettavat lämpenemiselle eristyksen kestävyuden, laakerien voitelun ja muiden seikkojen vuoksi tarkat rajat. Tällöin on tärkeää, että syöttöjännite ja tahtikoneen kuormitustila pysyvät lämpenemiskokeiden aikana vakiona. Koneen osien lämpötilat nousevat lämpenemiskokeen aikana alussa nopeasti, mutta alkavat tasoittua testin edetessä. Koe voidaan lopettaa yleisimpien standardien mukaan, kun käämien ja laakereiden lämpötilat ovat tasaantuneet siten, että lämpötilan muutos on maksimissaan 2 °C tunnissa.

4.2 Lämpenemiskokeen suoritus ja ongelman tarkastelu

Käämien, laakereiden ja koneen muiden osien lämpötiloja tarkkaillaan erilaisten mitta-antureiden avulla ja lämpötilojen muutokset tallennetaan piirturiohjelmalla. Koestuksen alussa ohjelma käynnistetään ja koestettava tahtikone käynnistetään apukoneella, kunnes se saavuttaa nimellisoikeutensa. Tämän jälkeen koestettavan koneen ja magnetointipiirin jännite tai virta asetetaan haluttuihin arvoihin. Lämpenemiskokeen aikana taajuus, ja staattoripuolen jännite ja/tai kuormitusvirta pidetään vakioina.

Piirturiohjelmasta seurataan että lämpötila-arvot näyttävät ”järkeville” mahdollisten lämpötila-antureiden vikatilanteiden varalta. Lämpenemiskoetta jatketaan siihen saakka, kunnes lämpötilat ovat tasaantuneet ja arvot eivät muutu yli 2 °C tunnissa.

Nykyisellä TRIAC-kokoonpanolla joissakin tapauksissa ongelmana ovat epästabiilit roottorin jännitteet ja virrat, jotka näkyvät ikävästi roottorilämpenemässä. Tämä on heijastus magnetoinnissa syntyvästä magnetointitehon heilahtelusta. Tämä ei niin yleinen mutta harmillinen ongelma syntyy pienillä kuormasta riippuvaisella taajuudella. Kun magnetointitasot eivät pysy stabiilina, tapahtuu tahtikoneen kuormituksessa heilahtelua ja tällöin lämpenemän standardinmukaista maksimissaan 2 °C toleranssia saattaa olla hankala saavuttaa. Alla esitetystä kuvasta 19 voidaan havaita kyseinen ongelma.



Kuva 19. Roottorilämpenemä.

Tässä verkostomallissa sähkönsyöttö on toteutettu generaattorilähdöstä. Generaattori syöttää TRIAC-siltaa, josta syötetään haluttu magnetointivirta tahtikoneen magnetointikoneelle. Tässä yhteydessä syntyy jossain kohtaa tehosyötössä heilahtelua, joka heijastuu suoraan roottorilämpenemään.

5 SÄHKÖNSYÖTÖN SUUNNITTELU

Suunnittelu alkoi taajuusmuuttajan sijoituspaikkaa mietittäessä. Sijoituksen kannalta tuli miettiä, minne käytön sähköteho tulee saada jaettua. Taajuusmuuttajakäyttö tulee ensisijaisesti harjattomien tahtikoneiden magnetointiin. Näitä magnetointeja tehdään konetehtaalla käytännössä kolmella eri koestuskentällä, joten syöttö tulisi saada rakennettua järkevästi näille kentille. Tahtikoneiden magnetointikoneisiin kiinnitettävät yksijohdinkaapelit löytyivät jo koestuskentiltä, joten järkevin paikka laitesijoitukselle oli kellaritiloissa, josta sähköteho saataisiin jaettua jo olemassa olevien linjastojen avulla.

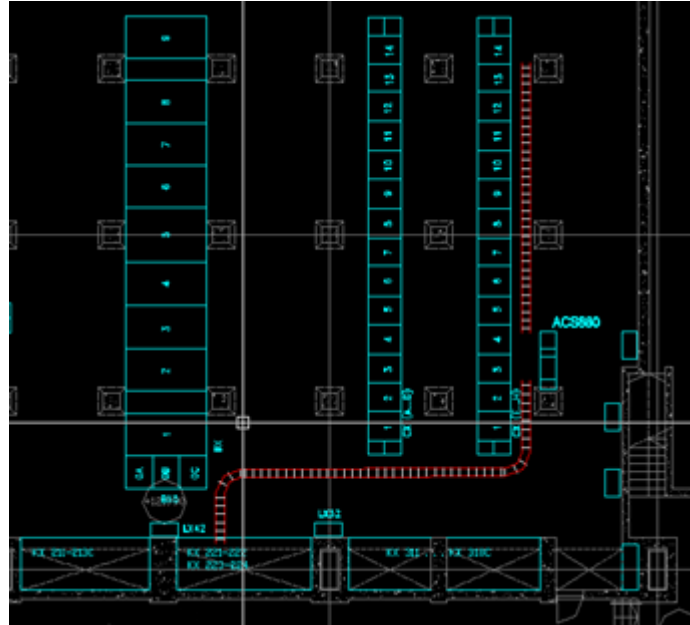
Sijoituspaikkaa miettiessä tuli ottaa huomioon myös mm. kaapelointiin ja lisälaitteistoon menevät kustannukset. Vaihtoehtona oli rakentaa oma syöttö suoraan 400 V:n jakokojeistolta CE, jota muuntajat TK6 ja TK7 syöttävät. Silloin kojeiston kennoon olisi täytynyt rakentaa kaapelisuojausten vaatima katkaisijarakenne tai sulakkeet. Kojeston etäinen sijainti kellaritiloissa ja suojaavan laitteiston rakennuskustannukset olivat ratkaiseva tekijä syöttölinjaston rakennuksen taloudellisuuden osalta.



Kuva 20. Kojeisto CE.

Vaihtoehtona olisi ollut myös erillisen ryhmäkeskuksen rakentaminen tulevia kojeistouudistuksia varten kellaritilan päätyyn, jossa erotinkiskostot sijaitsevat. Tämän rakennus ja tulevaisuuden laitelaaennusten epävarmuustekijöiden vuoksi tämä vaihtoehto kuitenkin suljettiin pois.

Parhaaksi ja taloudellisimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui käyttää jo olemassa olevia syöttölinjastoja. Tällöin saatiin taajuusmuuttaja sijoitettua lähemmäksi itse liitäntäpistettä eli erotinkiskostoa CXF. Näin välimatkat saatiin mahdollisimman lyhyeksi ja kaapelointikustannukset ja -työ saatiin minimoitua. Kuva 21 esittää taajuusmuuttajan sijoituspaikan ja kaapelihyllyjen reitityksen.



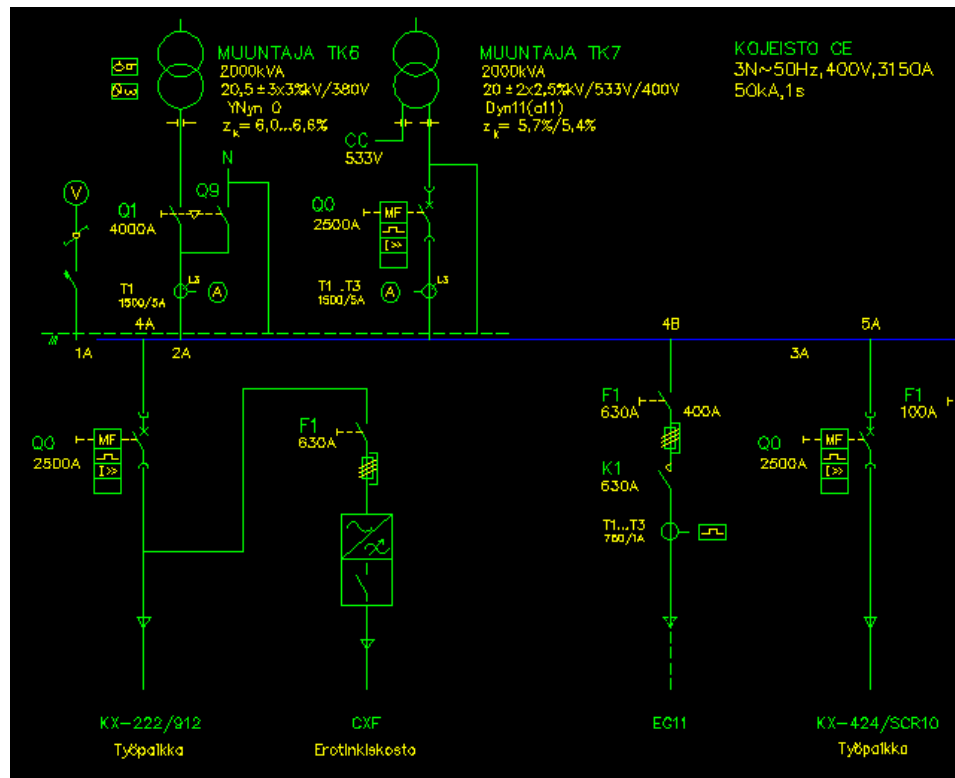
Kuva 21. Taajuusmuuttajan ja kaapelihyllyjen sijoitukset.

Lyhempää liitäntäpistettä puolsi myös lattian alla jo olemassa olevat kaapelivedot. Kaapelihyllyjen rakentelussa joutui urakoitsija käyttämään hieman luovuutta edellisten asennusten tuoman tilahtauden takia.



Kuva 22. Kaapelivetoa.

Taajuusmuuttajan syöttöpuoli kytkettiin työpistekennolle KX222 menevään 400 V:n muuntajasyöttöön, joka sijaitsi verrattain lähellä taajuusmuuttajalaitteiston asennuspistettä. Tämä linjasto suojaa 2500 A:n katkaisija, ja se saa syöttönsä käytännössä muuntajalta TK6. Tämä tarkoittaa sitä, että linjan 4A syöttöä voidaan käyttää yhtäaikaisena syöttönä, sekä kennolle KX222 ja uudelle taajuusmuuttajakäytölle sen virrankestoisuuden puitteissa. Kuvasta 23 saadaan käsitys sähkön syötön reitityksestä. Taajuusmuuttajan sähkönsyöttö haaroitetaan linjasta 4A.



Kuva 23. Uuden kytkennän lähdön periaatekuva.

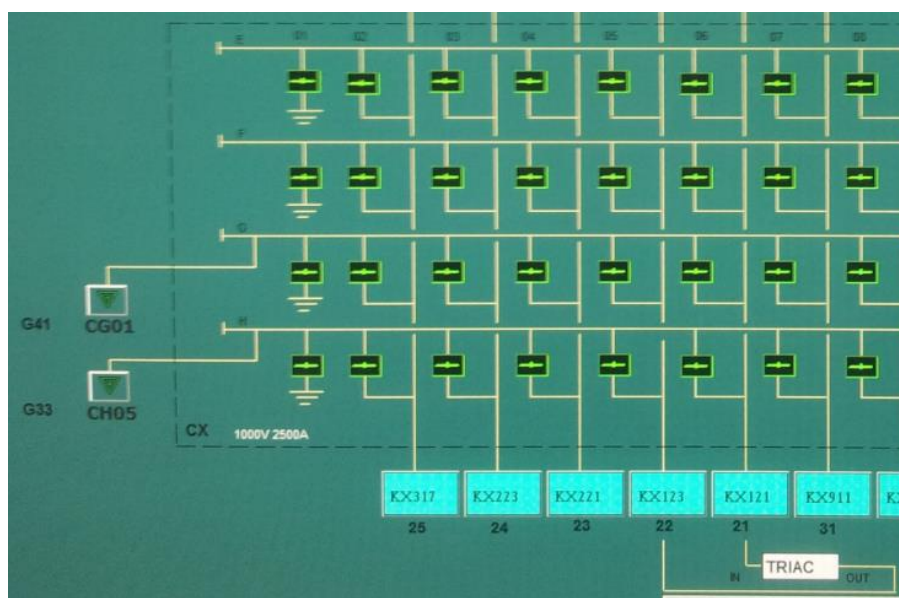
5.1 Verkostomalli

Edellisessä kolmivaihemagnetoinnissa käytössä olleessa TRIAC-kokoonpanossa sähkönsyöttö otettiin generaattorilta. Arvioitaessa sähkönsyöttöä uudelle ACS880-kokoonpanolle tuli miettiä, millaista verkostomallia käytetään ja kuinka pystytään jakamaan taajuusmuuttajan käyttö useammalle koestuskentälle. Parhaaksi vaihtoehdoksi katsoimme rakentaa taajuusmuuttajalle syötön muuntajalta ja kytkeä lähtöpuoli erotinkiskostoon, jolloin useille koetuskentille jako onnistuisi helposti

linjaerottimien reitityksien muutoksilla. Kuvassa 24 esitetään CX-kennostorakennetta ja erotinjärjestelmää.

Verkostomallin luonti tapahtuu automaation avulla työnjohdon toimesta, jolloin tarvittaville koestuspaikoille luodaan sähkönsyöttö erilaisten verkostomalliratkaisujen avulla. Työnjohto luo tarvittavan linjan erilaisilla erottimien kytkentäkombinaatioilla.

Erotinkiskostot ovat 100x10 mm:n kuparikiskoista ja erottimista rakennettuja sähkönjakeluretin valintakeskuksia. Kiskoston erotinmuutoksilla sähkönsyöttöjä voidaan hallita ja sähkölinja voidaan luotua käytännössä mille tahansa koestuskentälle. Erottimia ohjataan automaation ja kenttäväylätekniiikan avulla. Tämän tekniikan avulla taajuusmuuttajakäytön syöttö saatiin jaettua kätevästi tahtikoneiden eri testauskentille.

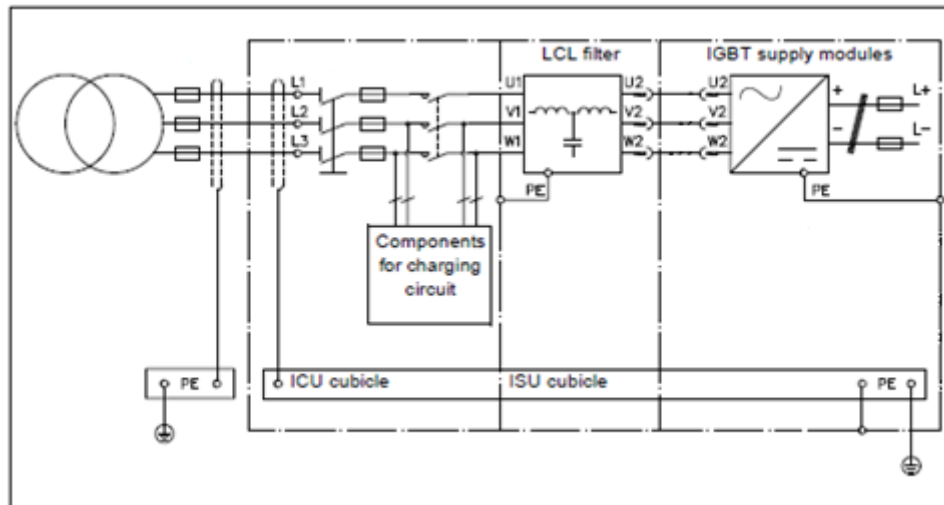


Kuva 24. Osa erotinkiskostoa.

5.2 Suojausmenetelmät

Taajuusmuuttajassa on omat sitä oikosulkutilanteessa suojaavat sulakkeet. Sulakkeet suojaavat myös lähdön kaapeleita ja sähkökonetta oikosulkutilanteessa, kun kaapelit on mitoitettu taajuusmuuttajan nimellisvirran mukaan. Taajuusmuuttaja myös suojaa itseään sekä tulo- että lähdön kaapeleita ylikuormitustilanteissa. Siksi tulopuolen

suojauksessa riitti kaapeleiden suojaus sulakkeilla tai soveltuvalla katkaisijalla oikosulun varalta.



Kuva 25. Taajuusmuuttajan tulon suojauksen periaatekytkentä. [12]

Koska sähkönsyötön liitäntäpaikaksi valittiin jo olemassa olevan KX222-työpaikkakeskukselle menevä linjasto, tuli edullisimmaksi ratkaisuksi valita johdonsuojaksi sulakkeellinen ratkaisu. Sulakkeeksi valittiin 630 A gG -tyypin kahvasulake taajuusmuuttajan nimellisvirran (taulukko 1), ja teknisissä tiedoissa ohjeistetun standardin IEC 60269 mukaisesti. [liite 1] Jotta uusi linja saataisiin vastaamaan standardin asettamia ehtoja ja erotettua turvallisesti, rakennettiin vielä erillinen kytkinvarokekaappi lähelle liitäntäpistettä.

Taulukko 1. Taajuusmuuttajan nimellisarvot. [12]

Drive type	Nominal ratings				Output ratings			
					Light-overload use		Heavy-duty use	
	I_N	I_{max}	P_N	S_N	I_{Ld}	P_{Ld}	I_{Hd}	P_{Hd}
	A	A	kW	kVA	A	kW	A	kW
$U_N = 400 \text{ V}$								
ACS880-17-0450A-3	450	590	250	312	432	200	337	160
ACS880-17-0620A-3	620	810	355	430	595	315	464	250

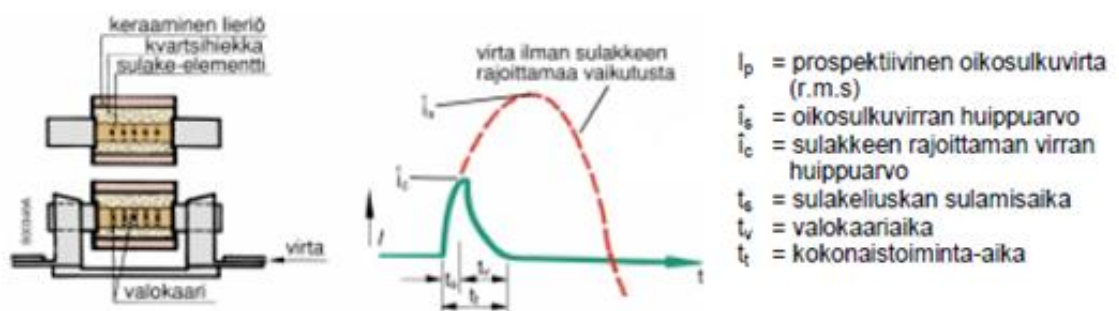
5.2.1 Kahvasulake

Kahvasulakkeita käytetään yleisesti pienjänniteverkon suojaukseen niiden edullisuuden, turvallisuuden, selektiivisyyden ja hyvän virranrajoituskyvyn vuoksi. ABB:n kahvasulakesarjan gG-tyyppin yleissulakkeet sopivat johtimien ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen.



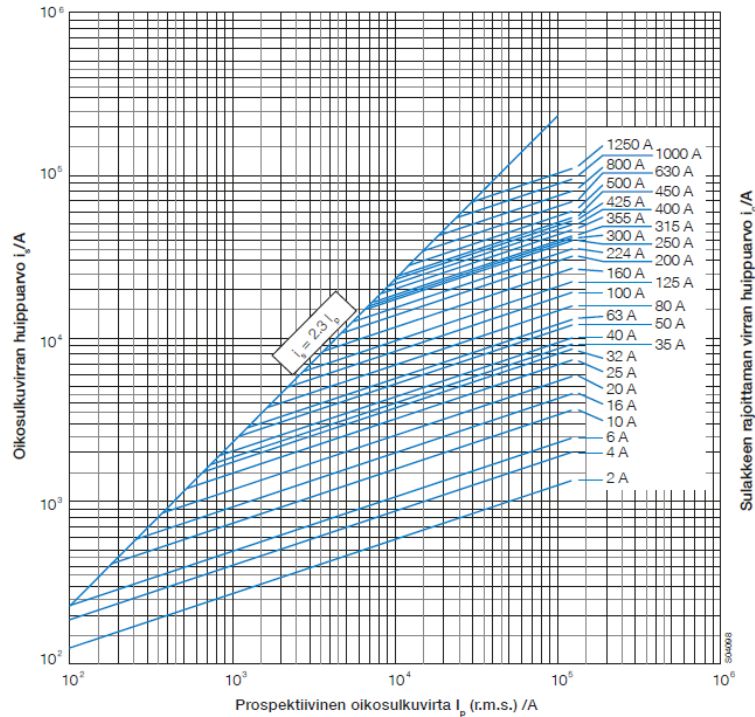
Kuva 26. 630 A:n kahvasulake. (ABB Oy)

Kahvasulakkeilla on erinomainen virranrajoituskyky, minkä vuoksi piirin muita kojeita ja komponentteja ei tarvitse ylimitoitaa. Myös johtimia ja kojeita rasittavat oikosulkuvirrat jäävät pieniksi. Kahvasulakkeiden virranrajoituskyky perustuu sulakkeiden sisällä syntyvän valokaariresistanssin nopeaan kasvuun.



Kuva 27. Kahvasulakkeen rakenne ja toiminta oikosulussa. [3]

Virranrajoituskäyristä voidaan lukea suurin virtahuippu, jonka sulake päästää läpi tietyllä prospektiivisen virran arvolla. Kuvasta 28 nähdään, kuinka oikosulkuvirran huippuarvoa saadaan kahvasulakkeen avulla leikattua merkittävästi pienemmäksi.



Kuva 28. OFAF3H630-sulakkeen virranrajoitus. (ABB Oy)

Oikosulkusuojauksen on täytettävä kaksi vaatimusta:

1. Oikosulkusuojan on pystyttävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta.
2. Poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat.

Oikosulkusuojauksessa suojalaitteen mitoituskatkaisukyky ei saa olla pienempi kuin suojalaitteen asennuspaikalla esiintyvä prospektiivinen oikosulkuvirta. OFAF3H630-kahvasulakkeen katkaisukyky AC-jännitteellä on 100 kA. Muuntajan toisioille muodostuva maksimioikosulkuvirta voidaan arvioida teoreettisesti laskemalla.

Muuntajan oikosulkuimpedanssi saadaan yhtälöstä:

$$Z_k = \frac{z_k}{100\%} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{6}{100\%} * \frac{(400V)^2}{2MVA} = 4,8 \text{ m}\Omega \quad (2)$$

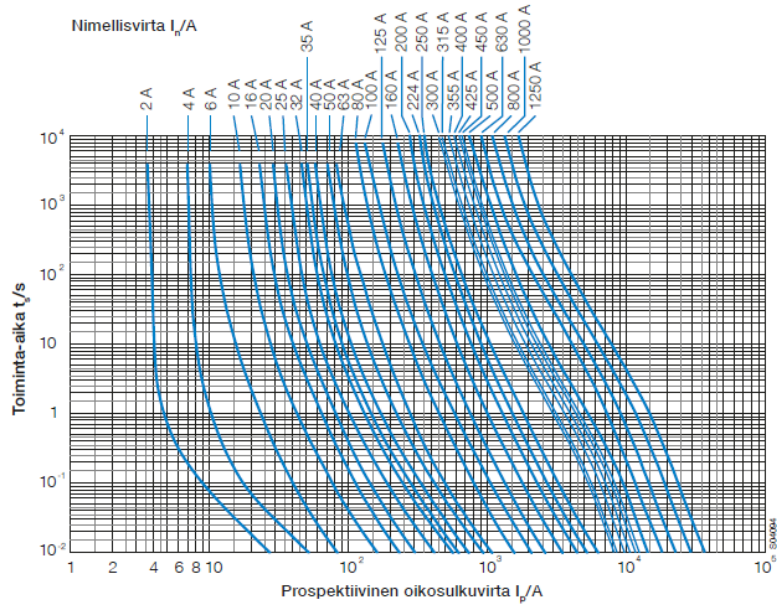
Laskennoissa suurten muuntajien impedanssin voidaan olettaa koostuvan pelkästään oikosulkureaktanssista resistanssin osuuden ollessa hyvin pieni.

Silloin oikosulkuvirta saadaan Theveninin menetelmällä yhtälöstä:

$$I_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3} Z_k} = \frac{1 * 400V}{\sqrt{3} * 4,8 * 10^{-3} \Omega} \approx 48 \text{ kA} \quad (3)$$

Kun tarkastellaan mahdollista oikosulkuä heti kahvasulakkeen jälkeen, on huomioitava ennen muuntajaa olevan verkon ja muuntajan jälkeisen kaapeloinnin impedanssi. Nämä impedanssit vaikuttavat kokonaisimpedanssiin Z_k sitä kasvattaen. Voidaan siis todeta, että oikosulku kahvasulakkeen jälkeen on oleellisesti pienempi kuin 48 kA.

Toista kohtaa tarkastellessa vaatimukset täyttyvät, kun virtapiiri suunnitellaan standardin [9] mukaan niin, että johtimen termien raskuus oikosulun aikana ei saa ylittää suojalaitteen läpipäästämää energiaa. Käytännössä tämä voidaan varmistaa valmistajan antamien käyrästöjen ja taulukoiden avulla.



Kuva 29. OFAF3H630-sulakkeen toiminta-ajat. (ABB Oy)

Kaapelinvalmistajan ilmoittama suurin sallittu 1 s terminen oikosulkukestoisuus on vaihejohtimelle 27,5 kA. Enintään 5 s kestävässä oikosuluissa voidaan soveltaa standardin (SFS 6000-4-43) esittämää kaavaa:

$$t = \left(\frac{k \cdot A}{I}\right)^2 \quad (4)$$

Kaavassa t on kesto-aika sekunteina, A on johtimen poikkipinta-ala, I on oikosulkuvirta ja k on johdinmateriaalista riippuvainen kerroin. Kerroin ottaa huomioon johtimen resistiivisyyden, lämpötilakertoimen, lämmönvarauskyvyn sekä alku- ja loppulämpötilat. Alle 300 mm²:n PVC-eriteisellä kuparijohtimilla kerroin on 115. Muokkaamalla kaavaa saadaan kaapelin maksimivirtakestoisuus ajan suhteen laskettua:

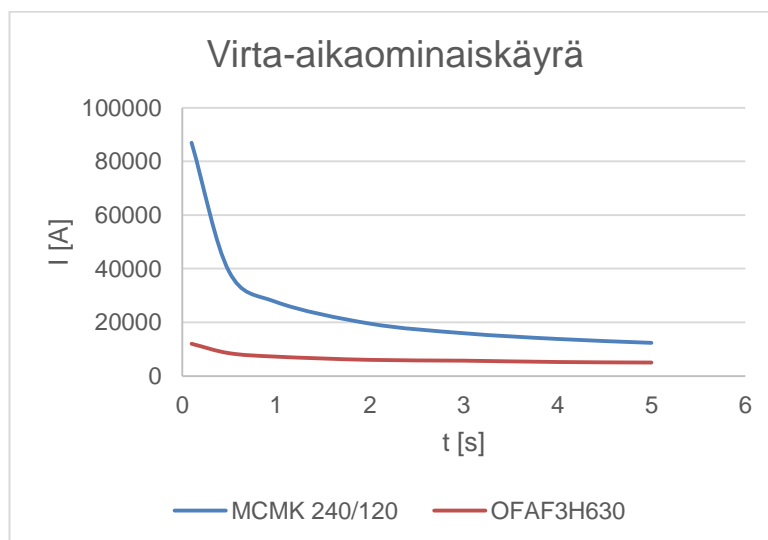
$$I_{max} = \frac{k \cdot A}{\sqrt{t}} \quad (5)$$

Kun laskettuja arvoja verrataan valmistajan kahvasulakkeelle antamiin virta-aika arvoihin, nähdään alle 5 s poiskytkennän toteutuvan turvallisesti. (Kuva 6.9)

Taulukko 2. Kaapelin virrankestoisuudet ja sulakkeen läpi päästämä oikosulkuvirta eri aika-arvoilla.

t [s]	MCMK [I]	OFAF [I]
5	12343	5000
4	13800	5200
3	15935	5700
2	19516	6000
1	27600	7200
0,5	38890	8500
0,1	86960	12000

Kuva 30 esittää kahvasulakkeen virrankatkaisun ja kaapelin virrankestoisuuden eri aika-arvoilla. Kuvaajasta voidaan hyvin nähdä kahvasulakkeen oikosulkusuojauksen toimivuuden.



Kuva 30. Kaapelin ja sulakkeen virta-aikakäyrät.

Kun oikosulun kesto-aika on pienempi kuin 0,1 s, on virran epäsymmetrialla merkitystä ja silloin täytyy tarkastella suojalaitteen läpi kulkevaa kokonaisenergiaa. Tällöin kaapelin energiakestoisuuden arvon k^2A^2 on oltava suurempi kuin suojalaitteen läpi päästämä energia. Valitulla kaapelilla k^2A^2 arvoksi saadaan 761 760 000, joka on reilusti sulakkeen OFAF3H630 läpi päästämää energiaa suurempi.

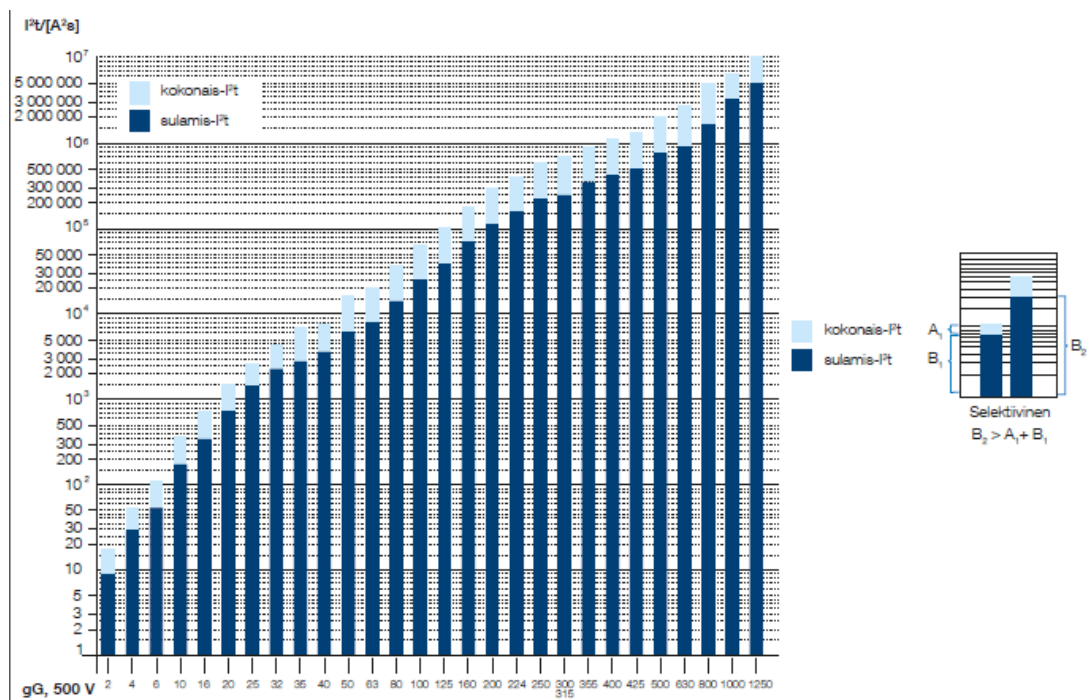
Standardin [9, 434.4] mukaan yksi suojalaite voi suojata kahta rinnankytkettyä johdinta, jos kyseinen suojalaite varmistaa suojauksen toimimisen silloinkin, kun vika sattuu yhden rinnankytketyn johtimen hankalimmassa kohdassa. Jos yhden suojalaitteen

käyttö ei ole tehokasta, voidaan noudattaa menettelytapaa, missä oikosulkusuojalaite sijoitetaan kunkin rinnankytketyn johtimen alkuun.

Taajuusmuuttaja soveltaa standardia IEC 61439-1 ja teknisissä tiedoissa [liite 1] kerrotaan suurimmaksi sallituksi prospektiiviseksi oikosulkuvirraksi 65 kA. Valitun sulakkeen katkaisukyky riittää.

5.2.2 Selektiivisyys ja energia-arvot

Selektiivisyydellä tarkoitetaan vian rajoittamista pienelle alueelle vikatilanteen sattua, jolloin muu osa verkosta toimii normaalisti. Selektiivisyys saavutetaan, kun suuremman sulakkeen sulamisenergia I^2t on suurempi kuin pienemmän sulakkeen kokonaisenergia I^2t . Virranrajoitusominaisuudet selventävät hyvin läpipääsevän huippuvirran sisältämästä energiasta.



Kuva 31. I^2t -kokonaisenergia, oikosulunrajoitusarvot. (ABB Oy)

OFAF3H630-sulakkeella:

- sulamisenergia $I^2t = 900\ 000\ \text{A}^2\text{s}$
- kokonaisenergia $I^2t = 3\ 500\ 000\ \text{A}^2\text{s}$,

jossa sulamisenergian arvo on integraali sulakkeen sulamisajan yli, ja kokonaisenergian arvo on integraali (jouleintegraali) sulakkeen toiminta-ajan yli.

5.2.3 Kytkinvaroke

Jotta taajuusmuuttajan lähtöpuoli saataisiin turvallisesti erotettua, kahvasulakkeen alustaksi valittiin manuaalisesti ohjattava kytkinvaroke. Kytkinvarokkeen käyttö varmistaa turvalliset asennonohjaukset poistaen sähköönnettomuuksien riskit.

ABB:n OS-kytkinvarokkeiden sulakekansissa on riittävän kokoiset ikkunat, joista sulakkeiden indikointi näkyy kertavilkkaisulla. OS-kytkinvaroke sopii erinomaisesti myös kaksoiskaapelointiin, jota tässä projektissa käytimme. Kompaktin kokonsa ansiosta myös varokekaapin kustannukset saadaan minimoitua.



Kuva 32. 800 A:n kytkinvaroke OS800D12P. (ABB Oy)

Kytkinvarokkeen teknisissä tiedoissa mainittu sulakkeen maksimitehohäviö saa olla 55 W, kun kytkinvaroke on koteloituna. OFAF3H630-sulakkeen tehohäviö 47,5 W.

5.2.4 Kytkinvarokeaappi

Kytkinvarokeaapin asennuskohtaa suunnitellessa oli huomioitava liitoskohta, jossa kaapeloinnin poikkipinta-alassa tapahtuu muutos pienempään. Standardin (SFS 6000-5-52) mukaan piiriä suojaava suojalaite on sijoitettava siihen kohtaan, jossa johtimen poikkipinnan, asennustavan tai muun rakenteen vuoksi kuormitettavuus alenee. Mikäli kuitenkin muutoskohdan ja ylikuormitussuojan sijoituspaikan välillä johtoa ei haaroiteta, eikä välillä ole pistorasioita, voidaan se sijoittaa mihin tahansa kohtaa johtoa. Silloin asennuksessa tulee täyttyä seuraavat ehdot:

- Johdon pituus saa olla enintään 3 m.
- Asennus toteutetaan siten, että oikosulun vaara on mahdollisimman pieni.
- Johtoa ei sijoiteta lähelle palavia materiaaleja.

Nyt sulakkeellinen kytkinvarokeaappi tuli sijoittaa siten, että edellä olevat ehdot täyttyvät. Kuvassa 33 liitäntäpiste ja kytkinvarokeaappi.



Kuva 33. Taajuusmuuttajan lähdön liitäntäpiste.

5.3 Kaapelivalinta

Kaapelivalinnassa otettiin huomioon suosittuimusi, jolla tarkoitetaan poikkipinnaltaan yleisempiä ja jatkuvasti saatavissa olevia kaapelityyppejä. Kaapelin termisen ja dynaamisen oikosulkukestoisuuden tulee olla riittävä ympäristöolosuhteet huomioiden. Tässä projektissa kaapelivedot ovat sen verran lyhyitä, ettei jännitteen alenemaa tarvitse tarkastella.

Nopeussäädettyjen käyttöjen perusstandardina käytetään PDS-käyttöjen (Power Drive System) EMC-standardia, joka määrää häiriöiden osalta tietyt kriteerit taajuusmuuttajakäyttöille. Siinä häiriöiden syntymistä ja siirtymistä pyritään rajoittamaan taajuusmuuttajan kotelointi- ja kaapelointiratkaisuilla. Taajuusmuuttajan tulopuolella on häiriöitä suodattava LCL-suodin, mutta tämän asennuksen ongelmakohtana oli toteuttaa lähdön EMC-yhteensopivuus.

Taajuusmuuttajan kaapeloinnille on esitetty EU:n asettamat vaatimukset SFS-EN 61800-3 standardissa. (taulukko 3) Käyttöympäristössä 1 (toimistot ja kotitaloudet), taajuusmuuttajan lähdön kaapelit ovat häiriösuojattua MCCMK- tai AXCCMK- tyyppistä kaapelia. Käyttöympäristössä 2 eli teollisuusympäristössä moottorikaapeleina voidaan käyttää MCMK-tyyppisiä kaapeleita. Koska tässä projektissa lähtö toteutetaan erotinkiskoston kautta, ei lähdön kaapelointi ole yhtenäinen vaan koostuu kolmivaiheisesta kaapelista, kiskostosta ja yksivaiheisesta kaapelista. Tulon kaapelointi KX222 liitäntäpisteestä taajuusmuuttajalle ja lähdön kaapelointi erotinkiskostolle asti toteutettiin häiriösuojaamattomalla MCMK-kaapelilla.

Taulukko 3. Sovellettavat standardit käyttöympäristön mukaan. [14]

EMC-standardit			
EMC standardin EN 61800-3 (2004) mukaisesti tuotestandardi	EN 61800-3 tuotestandardi	SFS-EN 55011, tuoteperhestandardi teollisille, tieteellisille ja lääketieteellisille laitteille	SFS-EN 61000-6-4, yleinen päästöstandardi teollisiin ympäristöihin
1. käyttöympäristö, rajoittamaton jakelu	C1-luokka	Ryhmä 1, luokka B	Ei sovellettavissa
1. käyttöympäristö, rajoitettu jakelu	C2-luokka	Ryhmä 1, luokka A	Sovellettavissa
2. käyttöympäristö, rajoittamaton jakelu	C3-luokka	Ryhmä 2, luokka A	Ei sovellettavissa
2. käyttöympäristö, rajoitettu jakelu	C4-luokka	Ei sovellettavissa	Ei sovellettavissa

5.3.1 Kaapelin oikosulkusuojaus

Tässä tapauksessa kun taajuusmuuttaja suojaa kaapeleita niiden ylikuormitukselta jäi sulakkeiden ainoaksi tehtäväksi toimia kaapelin oikosulkusuojana. Silloin piti huomioida vain asennusolosuhteiden vaatimat korjauskertoimet kaapelin kuormituksessa.

Nyt kun sulakekooksi valittiin 630 A:n gG sulake, saadaan johtimen pienin sallittu kuormitusvirta taulukosta 3. (SFS 6000-5-52)

Taulukko 4. Johtimen kuormitettavuuden minimiarvo. [13]

Taulukko C.52.1 Johtimien kuormitettavuuden minimiarvot erilaisilla sulakkeen nimellisvirroilla

gG tyyppisen sulakkeen nimellisvirta A	Johtimen kuormitettavuuden minimiarvo A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883

Johtimen jatkuvan kuormitettavuuden todellinen arvo I_z määräytyy asennusolosuhteista, ja se täytyy korjata korjauskertoimin:

$$I_z = I_t \times C1 \times C2 \times C3 \dots$$

missä I_t = taulukossa esitetty yhden kaapelin kuormitettavuus ja C1, C2 jne. ovat korjauskertoimia, joilla otetaan huomioon asennusolosuhteet.

Asennusolosuhteista riippuen kaapelin lämpö siirtyy ympäristöön eri tavalla. Tästä syystä on tarkasteltava kutakin asennuskohtaa erikseen ja määrittää kaapelin kuormitettavuus niissä pisteissä.

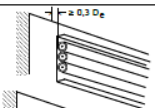
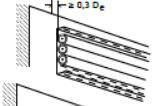
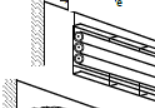
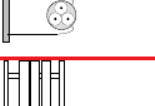
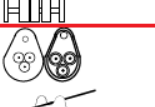


Tässä asennuksessa kaapelit menevät koko matkaltaan kaapelitikkailla, joten korjauskertoimien tarkastelun suhteen ei tarvitse määrittää kuin tämä kohta, huomioiden läpiviennit.

Kaapelivalmistaja on ilmoittanut kaapelin maksimikuormitusarvon ilma-asennuksille, joten soveltaen standardia (SFS 6000-5-52) päästään tarkastelemaan korjauskertoimia.

Taulukosta 5 nähdään käyttämämme asennustapa, missä kaapelit menevät kaapelitikkailla, ja asennustapa E tarkoittaa monijohdinkaapelia ilma-asennuksissa.

Taulukko 5. Asennustapa. [13]

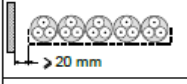
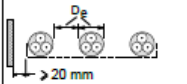
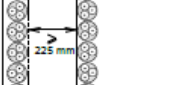
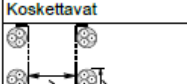
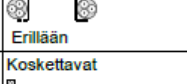
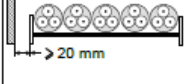
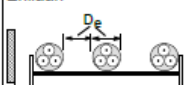
Taulukko A.52.3 jatkoa

Kohta nro	Asennustapa	Kuvaus	Referenssiasennustapa, jota käytetään kuormitettavuuden määrittelemisessä (ks. liite 52B)
30		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Rei'ittämättömällä hyllyllä asennettuna vaakasuoraan tai pystysuoraan ^{c, h}	C ja taulukon B.52.17 kohta 2
31		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Rei'itetyllä hyllyllä asennettuna vaakasuoraan tai pystysuoraan ^{c, h} HUOM. Määrittely, katso kohta B.52.6.2.	E tai F
32		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Kaapelikannattimilla tai lankaverkon päällä asennettuna vaakasuoraan tai pystysuoraan ^{c, h}	E tai F
33		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Yli 0,3 kertaa kaapelin halkaisijan etäisyydellä seinästä	E tai F tai menetelmä G ^g
34		Yksi- tai monijohdinkaapelit: Kaapelitikkailla	E tai F
35		Yksi- tai monijohdinkaapeli ripustettu kannatusvaijerista tai sisältäen kannatusvaijerin	E tai F
36		Pajjas tai eristetty johdin eristimillä	G

Kun sekä lähdön, että tulon kaapelointi on toteutettu kahdella rinnakkain asennetulla monijohdinkaapelilla, saadaan korjauskertoimen taulukosta 6.

Taulukko 6. Asennustavan mukainen korjauskertoimen. [13]

Taulukko B.52.20 Korjauskertoimet usean monijohdinkaapelin ryhmille (HUOM. 1), jota sovelletaan verrattuna monijohdinkaapelin asennukseen vapaasti ilmassa – (Taulukoiden B.52.4...B.52.7 mukainen asennustapa E)

Taulukon B.52.1 mukainen asennustapa		Hyllyjen Luku- määrä	Kaapelien lukumäärä					
			1	2	3	4	6	9
Reiitetyt hyllyt (HUOM. 2)	Koskettavat 	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
		2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
		3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
	Erillään 	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	–
		2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	–
		3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	–
Pystysuorat reiitetyt hyllyt (HUOM. 3)	Koskettavat 	1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
		2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
	Koskettavat 	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	–
		2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	–
	Erillään 	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	–
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	–
Tikas, tuet, kiinnikkeet yms. (HUOM. 2)	Koskettavat 	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
	Erillään 	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	–
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	–
		3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	–

Kaapelinvalmistaja on ilmoittanut kuormitusarvonsa ympäristön lämpötilassa 25 °C. Yleensä tehdasympäristössä käytetään lämpötilan korjauskertoimenä 30 °C:ta, vaikka tässä asennuksessa se on kellarikerroksen hyvän ilmanvaihdon vuoksi hieman yläkanttiin osuva arvio. Jos kuitenkin käytetään tätä arvoa, saadaan ympäristön lämpötilan soittama korjauskertoimen taulukosta 7.

Taulukko 7. Ympäristön lämpötilan osoittama korjauskerroin. [13]

Taulukko B.52.14 Ilmaan asennettävien kaapelien yhteydessä käytettävät korjauskertoimet muita ympäristön lämpötiloja kuin 25 °C varten

Ympäristön lämpötila °C	Korjauskerroin johtimen eristeen ja sallitun lämpötilan mukaan	
	70 °C PVC	90 °C PEX, EPR, PVC 90 °C
10	1,15	1,11
15	1,10	1,07
20	1,05	1,04
25	1,00	1,00
30	0,94	0,96
35	0,88	0,92
40	0,82	0,88
45	0,75	0,84
50	0,67	0,79
55	0,58	0,73
60	0,47	0,68
65	–	0,62
70	–	0,56
75	–	0,48
80	–	0,39

Näin ollen korjauskertoimiksi saadaan:

$$C1 = 0,87$$

$$C2 = 0,94.$$

Standardin (SFS 6000-5-52, 523.7) mukaan kahden tai useamman johtimen rinnankytkentä voidaan toteuttaa samassa vaiheessa tai navassa, kun:

- johtimet ovat samaa materiaalia
- niillä on sama poikkipinta-ala
- ne ovat suunnilleen yhtä pitkiä eikä niitä haaroiteta
- johtimet ovat monijohdinkaapeleita.

Taulukko 8. Kaapelivaihtoehdot.

Prysmian		I [A]	C1	C2	I' [A]
AMCMK	3x300/88	380	0,87	0,94	311
MCMK	3x240/120	425	0,87	0,94	348

Asennuksen kannalta kaapelointi kannatti toteuttaa maksimissaan kahdella kaapelilla, joten kaapeliksi valittiin kaapelivalmistaja Prysmianin MCMK 240/120 AN 1 kV:n monijohdinkaapeli, jolle valmistajan ilmoittama maksimikuormitettavuus on 425 A.

Kuormitettavuuden korjatuksi arvoksi kahdelle rinnankytketylle kaapelille saadaan:

$$I_z = 2 \times 425 \text{ A} \times 0,87 \times 0,94 = 696 \text{ A.}$$

Tämä täyttää standardien edellyttämät vaatimukset.

5.3.2 Palokatko

Läpivienneissä kaapelit muodostavat eri palo-osastoja, joilla pyritään rajaamaan mahdollinen tulipalo pienelle alalle. Palon leviämisen vaara on minimoitava valitsemalla sopivat asennustarvikkeet ja asennutapa. (SFS 6000-5-52) Läpiviennit eristetään palokatolla mikä vaikeuttaa liekkien ja kuumuuden leviämisen osastosta toiseen. Mikäli sähköläpivienti tehdään palo-osastoivan rakenteen läpi, tulee se eristää siten, että muodostuu palokatko.

Asennuksessa käyttämämme kaapelit täyttävät standardin IEC 60332-3 mukaiset vaatimukset, jotka koskevat itsestään sammuvia niputettuja kaapeleita. Läpivientien eristys toteutetaan useimmiten akryyli- tai sementtipohjaisilla palokatkomassoilla. Tässä kohtaa täytyy huomioida läpiviennin paksuus ja sen vaikutus kaapelin lämmönjohtavuuteen.

Taulukko 9. Läpivientien korjauskertoimet.

Taulukko 52.X Korjauskertoimet lämpöeristeen läpäiseville kaapeleille ja asennusputkissa oleville johtimille

Lämpöeristeen paksuus mm	Korjauskertoin
50	0,89
100	0,81
200	0,68
400	0,55
500	0,50

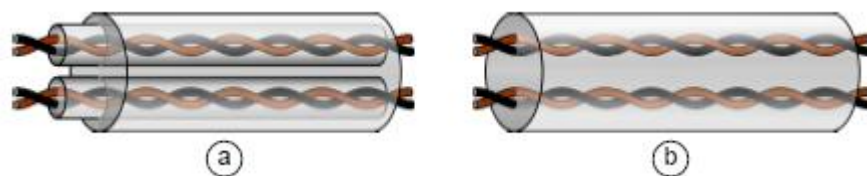
5.3.3 Oikosulkukestoisuus

Johtimen terminen oikosulkukestoisuus ilmoitetaan yleensä suurimpana sallittuna 1 sekunnin virta-arvona suurimmalla sallitulla käyttölämpötilan arvolla. Termistä oikosulkukestoisuutta tarkasteltaessa on huomioitava suojalaitteiden toiminta-ajat. Terminen oikosulkukestoisuus on käsitelty luvussa 6.2.1.

Dynaamisen oikosulkukestoisuuden kannalta suurimmat vaikuttavat voimat määrää dynaaminen oikosulkuvirta I_{dyn} (sysäyoikosulkuvirta), jonka suuruudeksi voidaan pienjänniteverkossa pyöristää 2 kertaa alkuoikosulkuvirta. Tällöin varusteiden lisäksi on tarkistettava myös itse kaapelin kiinnityksen dynaaminen kestävyys.

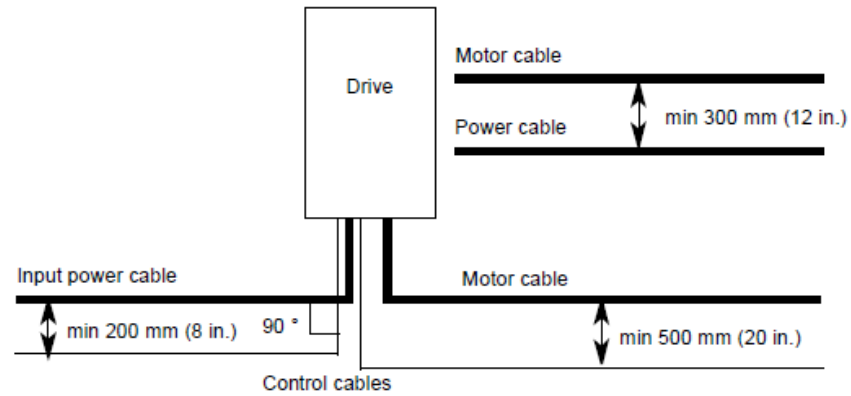
5.3.4 Ohjauskaapelit

Taajuusmuuttajan ohjauskaapelit tulee olla häiriösuojattuja kaapeleita. Yleisimmin käytetään kierretyistä johdinpareista muodostuvia kaapeleita, joilla on joko yksinkertainen tai kaksinkertainen suojaus. Kuvassa on esitetty ohjauskaapelityypit.



Kuva 34. Ohjauskaapelityypit. a) Double-shielded cable. b) Twisted pair cable. [12]

Kaapelireitityksessä on huomioitava seikka, jossa ohjauskaapelin ja moottorikaapelin risteämä täytyy muodostaa 90° kulmaan ja niiden etäisyys toisistaan täyttää kuvan mukaiset vaatimukset. Kuvasta 35 näkee myös taajuusmuuttajan syöttö- ja lähtökaapelin minimietäisyysvaatimuksen.

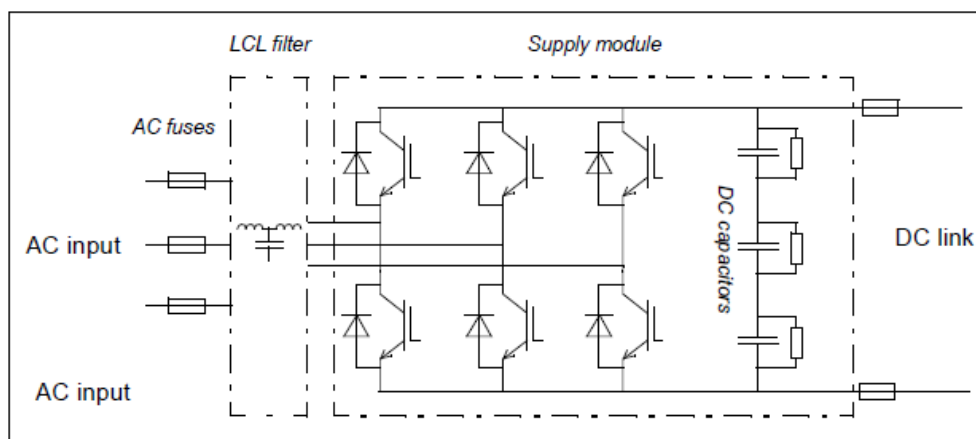


Kuva 35. Kaapelireitityksen ohje. [12]

Tässä asennuksessa taajuusmuuttajan säätö toteutetaan ohjauspaneelilla työpistekohtaisesti, ja etäältä itse taajuusmuuttajaa, ohjauksen tiedonsiirtokaapeleina käytetään optisia kaapeleita niiden hyvän häiriösuojausvuoksi. Taajuusmuuttajaan asennetaan tarvittaville lähdöille erillinen moduuli, joka muuttaa digitaalisignaalin valosignaalksi, joka taas muutetaan työpisteellä takaisin digitaaliseen muotoon.

6 ACS880-TAAJUUSMUUTTAJA JA SEN OHJAUS

ACS880-sarjan taajuusmuuttajat ovat ABB:n aina yhteensopivien taajuusmuuttajien valikoimaa. Ne on suunniteltu käytettäväksi missä tahansa moottorikäyttöisissä sovelluksissa, ja ne ovat yhteensopivia käytännössä kaikkien prosessien ja automaatiojärjestelmien kanssa. Kuva 36 esittää projektissa käyttämämme ACS880-17-taajuusmuuttajan syöttöpuolen kaaviota joka muodostuu LCL-suodinmoduulista ja syöttöpuolen moduulista.



Kuva 36. Syötön komponenttikaavio [12].

Käyttämämme ACS880-17-taajuusmuuttaja on rakennettu kolmella moduulilla jotka ovat LCL-suodin, ISU ja INU. ISU on syötön puolen moduuli ja INU lähdön puolen. ISU:n ja INU:n välissä on du/dt suotimella varustettu jännitevälipiiri. Du/dt suodin vähentää vaihe- ja verkkojännitteiden vaihtelua ja siten myös käämitysten sisäistä jänniterasitusta. INU moduuli on käytännössä samanlainen moduuli kuin ISU, mikä tarkoittaa että tehoa voidaan syöttää myös sähkökoneelta verkkoon.

Taajuusmuuttajan syötön puolella sijaitseva LCL-suodin vaimentaa jännitesäröt ja virran harmoniset yliaallot ja muodostaa ne mahdollisimman sinimuotoiseksi ja estää näin häiriöiden siirtymisen. Suotimen kapasitiivinen komponentti tasoittaa verkkojännitteen aaltomuodon vääristymiltä, joita ilmenee suurilla kytkentätaajuuksilla. [2]

Taajuusmuuttajassa on sekä tulolle että lähdölle oma ohjausyksikkö (BCU). Kuvassa 37 ylempi ohjaa tulopuolen (ISU) suuntaajamoduulia ja alempi (INU) lähdön moduulia. Ohjausyksiköiden kautta kontrolloidaan laitteen toimintaa ja sen kautta kytketään laite haluttuun ohjainyksikköön ja automaattioratkaisuun. Liitteissä 3 ja 4 esitetään ohjainkortin liitännämahdollisuudet.



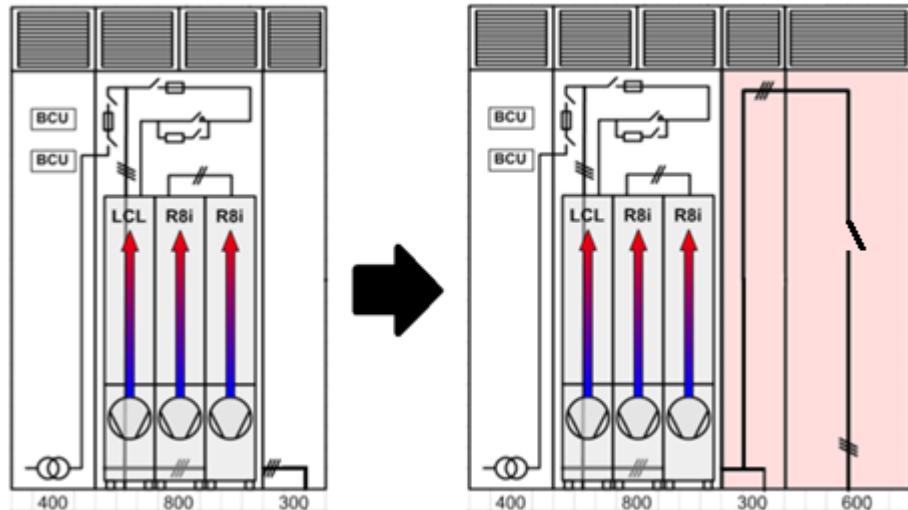
Kuva 37. Taajuusmuuttajan ohjausyksiköt.

6.1 ACS880-taajuusmuuttajan modifikaatio

Koska parhaaksi verkostomalliratkaisuksi katsottiin CX-erotinkiskostojen käyttö niiden ajopaikkakohtaisten sähkönjakelun vuoksi, oli hyvä saada taajuusmuuttaja myös erotettua sen kytkennästä CXF-kiskoon. Taajuusmuuttajassa ei itsessään ollut lähtöpuolen erotinratkaisua, joten tässä vaihtoehtona oli rakentaa uusi ohjattava erotin CXF-kiskolle tai muunlainen katkaisijaratkaisu taajuusmuuttajan ja CXF-kiskon välille. ABB:n drives -yksiköltä kysyttiin tarjoustaan taajuusmuuttajan lähtökentän modifikaatiolle, jotta siihen saataisiin lähdön erottava ratkaisu.

Vastauksena saatiin, että yleisesti on käytetty moottoroitua OTM-kuormankytkintä lähtöerottimena ja että lähes valmis kiskodesign löytyisi jo olemassa olevasta 600

mm:n kaapista. Hyväksyimme tämän tarjouksen, joka toi taajuusmuuttajalle lisää leveyttä kyseisen moduulin verran. Kuva 38 esittää laiterakenteen ja -laajennuksen.



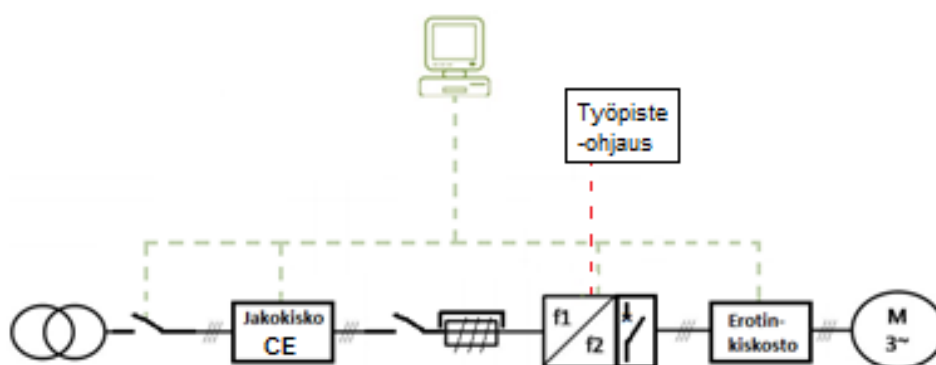
Kuva 38. Taajuusmuuttajan modifikaatio.

6.2 Laitteiston ohjaus

Taajuusmuuttajan ohjaus ja sen kytkentä muihin automaatiojärjestelmiin voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Sovellusliittymän avulla päästään käsiksi taajuusmuuttajan analogi- ja digitaalituloihin, jotka ovat vapaasti ohjelmoitavissa. Liittymän kautta taajuusmuuttaja voidaan liittää ohjauspaneeli tai PC-ohjaukseen, sekä kenttäväylään väyläkohtaisella kortilla. Liityntäkorttien avulla voidaan kytkeytyä erilaisiin standardin mukaisiin automaatiojärjestelmiin.

ABB:n käyttämiä kenttäväyläteknikoita ovat mm. Profibus- ja Modbus-protokollat. Sopivan kenttäväyläsovittimen avulla saadaan taajuusmuuttaja liitettyä tehtaan automaatiojärjestelmään esimerkiksi Ethernet-kaapelilla. Laitteisto tullaan liittämään tällä tekniikalla automaatiojärjestelmään johon saadaan myöhemmin kytkettyä siirrettävä ohjausyksikkö.

ACS880-laitteiston sähkönsyötön hallinnassa työnjohto ohjaa erotinkiskoston erottimia ja luo verkostomallin taajuusmuuttajakäytölle. Kommunikointi kojeistolta CE lähtevän syötön ja erotinkiskosten välillä tapahtuu, että syöttölinja voidaan luoda vain, jos erotinkisko CXF on jännitteettömässä tilassa. Tämä toteutetaan siten, että ohjausyksikölle tuleva mahdollisuus kytkeä taajuusmuuttajan lähdön puolen kytkin annetaan vasta kun verkostomalli on luotu. Erottimien ohjaus tapahtuu myös kenttäväyläteknikan avulla. Taajuusmuuttajan ohjaus/säätö toteutetaan liikutettavalla ohjauslaitteella, jolloin se voidaan liittää eri työpisteiden kenttäväyläliitännäisiin. Kuvassa 39 on esitetty periaatteellinen laitteisto-ohjaus. Punaisella merkitty työpisteohjaus on toteutettu taajuusmuuttajassa olevan paneelin avulla.



Kuva 39. Laitteistorakenne ja -ohjaus

Taajuusmuuttaja on osa laajempaa automaatiojärjestelmää, ja sen kommunikointi järjestelmän kanssa toteutetaan kenttäväyläliitynnän avulla. Kenttäväylän avulla voidaan tehdä myös taajuusmuuttajan käyttöönotto ja parametointi tietokoneen avulla. Taajuusmuuttajaan on mahdollista kytkeä eri standardin mukaisia optionaalisia liityntäkortteja.

Automaatioarkkitehtuurin rakenne voidaan erottaa neljään hierarkkiseen tasoon. Alimmalla tasolla on perusinstrumentointi antureineen ja toimilaitteineen. Automaatiojärjestelmät muodostuvat prosessiasemien ja valvomojen digitaalisesta liikenteestä. Valvomoasemalta nähdään prosessin tila ja sitä kautta voidaan suorittaa ohjauksia esimerkiksi PC:n kautta kenttä- tai solutasolla. Ylimmällä tasolla on tehtaan hallinnollinen tietojärjestelmä.

6.3 Työpisteohjaus

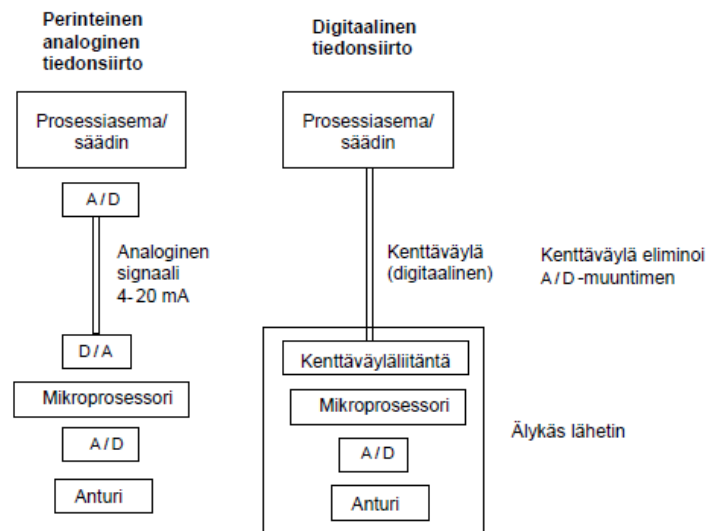
Harjattomien tahtikoneiden magnetointikoneen magnetointia ohjataan siis magnetointivirtaa muuttamalla. Siksi työpisteohjausyksikössä tarvitaan vain muutama tilatieto ja ohjaus.

Tässä projektissa taajuusmuuttajalta tarvittavat tiedot ovat käytännössä:

- jännitetieto
- magnetointivirta
- taajuus.

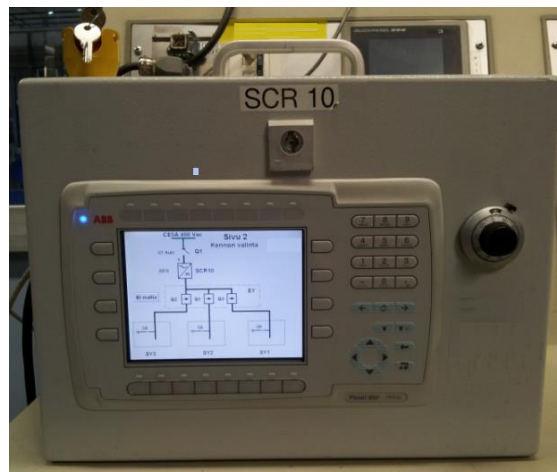
Näistä säädettäviä ovat magnetointivirta ja taajuus.

Ohjattavia ovat myös taajuusmuuttajan pääkatkaisija ja modifikaatiossa lisätty lähdön puolen katkaisija. Ohjausmoduuliin tuodaan myös vika- ja hälytystiedot sekä niiden kuittaus. Väylä taajuusmuuttajalta ohjausyksikköön toteutetaan digitaalisesti kenttäväylätekniikan avulla, jolloin voidaan käyttää jo olemassa olevia automaatioverkostoja. Kuva 40 esittää tiedonsiirron periaatteelliset kytkennät. Taajuusmuuttajan työpisteohjausmoduulissa tulee olemaan myös analogisäädöllä oleva anturi.



Kuva 40. Analoginen ja digitaalinen tiedonsiirto. [3]

Työpisteohjaus toteutetaan erillisellä paneelilla, josta painonapein ohjataan taajuuden arvoa, katkaisijoita ja vikatietojen kuittaus. Paneeli ohjelmoidaan näyttämään myös valittu ajopaikka. Itse magnetointivirran säätö tapahtuu analogisesta vääntönapistä. Kuva 41 esittää, miltä ohjainyksikkö mahdollisesti näyttää.



Kuva 41. Työpisteohjausmoduulin malli.

Hätä/Seis piiri rakennetaan siten, että kun laitteiston ohjausmoduuli kytketään työpisteen pöytään, se muodostaa erillisen piirin. Piirin avaimellinen nappi on kuvan 44 vasemmassa ylänurkassa.

7 LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS

7.1 Käyttöönotto

Ennen laitteiston käyttöönottoa tulee tarkastaa, että sähköasennus on tehty määräysten mukaisesti. Siksi sähkölaitteistolle tehdään käyttöönottotarkastus, jolla selvitetään, ettei laitteistosta aiheudu sähköturvallisuuslain 5 §:ssä tarkoitettua vaaraa tai häiriötä. Käyttöönottotarkastusvelvoite koskee myös sähkölaitteistojen muutos- ja laajennustöitä, minkä piiriin tämä projekti sisältyy. Tarkastuksessa noudatetaan standardin 6000 mukaisia ohjeita, joissa asennus tarkastetaan sekä aistinvaraisesti että mittaamalla ja testaamalla.

Käyttöönottotarkastuksessa täytyy käydä läpi standardin SFS 6000-6 osoittamat kohdat silloin, kun ne ovat relevantteja:

- sähköiskulta suojaukseen käytetyt menetelmät
- palosuojuksien käyttö ja toimenpiteet lämpövaikutuksilta suojaamiseksi sekä palon leviämisen estämiseksi tehdyt toimenpiteet
- johtimien valinta kuormitettavuuden ja sallitun jännitteenaleneman kannalta
- suoja- ja valvontalaitteiden valinta ja asettelu
- erotus- ja kytkinlaitteiden valinta ja oikea sijoitus
- sähkölaitteiden ja suojausmenetelmien valinta ulkoisten tekijöiden vaikutuksen mukaan
- nolla- ja suojajohtimien oikeat tunnuksset
- yksivaiheisten kytkinlaitteiden kytkentä äärijohtimiin
- piirustusten, varoituskilpien tai vastaavien tietojen olemassaolo

- virtapiirien, varokkeiden, kytkimien, liittimien yms. tunnistettavuus
- johtimien liitosten sopivuus
- suojajohtimien olemassa olo ja sopivuus
- sekä sähkölaitteiston käytön, tunnistamisen ja huollon vaatima tila. [22]

Laitteiston testauksen kannalta on tehtävä seuraavat testit silloin, kun ne liittyvät tarkistettavaan työsuoritukseen:

- suojajohtimien jatkuvuus
- sähköasennuksen eristysresistanssi
- SELV- ja PELV-piirien tai sähköisesti erotettujen piirien erotus
- lattia- ja seinäpintojen resistanssi
- syötön automaattisen poiskytkennän toiminta
- lisäsuojaus
- napaisuustesti
- kiertosuunnan mittaus
- toiminta- ja käyttötestit
- jännitteenalenema.

Kuvassa 42 on esitetty mittausmenetelmä vaiheistuksen ja kiertosuunnan tarkastusta varten. Tarkastus tehtiin kytkinvarokkeelle tulevista kaapeleista RST-mittarilla.



Kuva 42. Kentän kiertosuunnan ja vaiheistuksen mittaus.

Testaamalla suoritetuista tarkastuksista huolehtii sekä urakoitsija että ABB:n valtuutettu henkilö. Sähkölaitteiston käyttöönoton yhteydessä luodaan käyttöönototarkastuspöytäkirja. Pöytäkirja pitää sisällään asennuksen yksityiskohtaisen määrittelyn sekä tulokset tarkastuksista ja testauksista. Laitteistolle tehdään fyysinen kansio, jonne tarkastuspöytäkirja, käyttöönoton tarkastuslista sekä laitepiirustukset arkistoidaan. Laitteiston testauksessa apuna käytettiin manuaalista löytyvää tarkastuslistaa, joka löytyy liitteestä 3.

7.2 Testattava moottori

Taajuusmuuttajalaitteisto tulee tahtikoneiden kolmivaihemagnetointiin, mutta laitteiston testaus suoritettiin pienemmällä induktiomootorilla. Tällä tavoin testauskentän rakenteluun käytettävä aika saatiin minimoitua. Koska lopullisessa kolmivaihemagnetointikäytössä ei taajuusmuuttajalle ole moottorilta minkäänlaista takaisinkytkentää, ei käyttö ”tiedä”, minne tehoa syötetään, joten testaus voitiin

suorittaa induktiomootorilla. Käytettävän nelinapaisen induktiomootorin kilpiarvot ovat nähtävissä taulukosta 9.

Taulukko 9. Induktiomootorin kilpiarvot.

Type: M3BP280SMC4 IMB3/IM1001				Ins. Cl. F	IP 55	
V	Hz	kW	rpm	A	cos φ	Duty
400 D	50	110	1485	194	0.86	S1

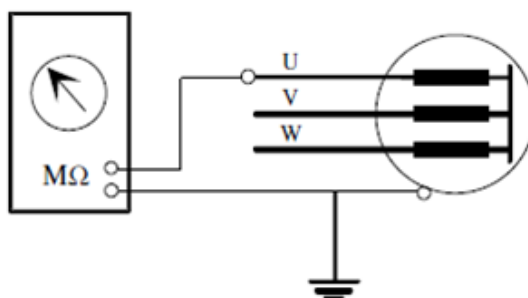
7.3 Eristysvastusmittaus

Eristysvastusmittauksella tarkastetaan, että koneen käämitysten, liitäntöjen ja muiden osien eristykset runkoa ja muita osia vastaan ovat kunnossa ja kuivat. Mittaus on tehtävä ennen kuin moottoriin kytketään ulkopuolisia kaapeleita. Koneiden käämitysten eritysvastusmittaukset suoritetaan asennustesterillä käyttäen taulukon 10 mukaista tasajännitettä.

Taulukko 10. Koneiden käämien eristysvastusmittauksessa käytettävät tasajännitteet.

Koneen nimellisjännite U_N [V]	Eristysvastusjännite U_{DC} [V]
< 2300	1000
2300 - 3999	2500
≥ 4000	5000

Koneen runko ja käämityksessä olevat vastusanturit maadoitetaan ja mittalaitteesta tarkistetaan, että kalibrointi on tehty. Staattorikäämin tähtipistettä ei tarvitse avata, vaan kaikki vaihekäämitykset mitataan yhteen kytkettynä kuvan 43 mukaisella tavalla. Staattorikäämityksen ja käämityksiin kiinteästi asennettujen vastusantureiden pienin sallittu arvo on 1000 M Ω .



Kuva 43. Epätähtikoneen eristysvastuksen mittaus. [3]

7.4 Laitteiston testaus

Taajuusmuuttajassa on irrotettava paneeli, jonka avulla voidaan suorittaa laitteiston käyttöönotto- ja huoltotoita. Laitteiston testausta varten koestuskentälle tuodaan erillinen Ethernet-kaapeli, johon ohjauspaneeli saadaan kytkettyä. Tietokoneen ja paneelin välinen yhteys saadaan USB-kaapelilla.



Kuva 44. Taajuusmuuttajan ACS-AP-I-ohjauspaneeli. [14]

Käyttöönottoa varten tietokoneeseen ladataan erillinen PC-työkaluohjelma (Drive Composer), jolla taajuusmuuttaja voidaan käynnistää. Työkaluohjelman avulla voidaan tarkastella ja määrittää taajuusmuuttajan parametreja sekä valvoa ja säätää prosessin suorituskykyä. Tästä voidaan käyttää termiä paikallisohjaus.

Kuva 45 esittää laitteiston ohjaustavat. Lopullinen ohjaus toteutetaan PLC-tekniikan ja kenttäväyläsovittimien avulla.



Kuva 45. Taajuusmuuttajan ohjaustavat. [14]

Laitteiston ensimmäinen käynnistys suoritettiin lähdön puolen katkaisijan ollessa vielä auki. Tässä vaiheessa tarkastetaan, että tuulettimet pyörivät oikeaan suuntaan eikä muita ongelmia ilmene. Ohjauspaneelin avulla asetettiin päivämäärä ja aika-asetukset sekä syöttöjännitteen arvo. Tässä vaiheessa annettiin myös ajettavan induktiomootorin tiedot. Moottorin parametreista asetettiin sen seuraavat nimelliset arvot: virta, jännite, taajuus, nopeus, teho ja $\cos\phi$. Tämän jälkeen paneeli antoi virheilmoituksia.

Ensimmäinen virhekoodi liittyi ACS880-taajuusmuuttajan integroituun STO-toimintoon (safe torque off), jonka avulla kone voidaan pysäyttää turvallisesti ilman, että virtaa tarvitsee katkaista kokonaan. Tämä toiminto myös jarruttaa häiriötilanteen sattuessa koneen turvallisella momentilla pysähdyksiin esim. oikosulkumootorin tapauksessa. Kolmivaihemagnetointisovelluksessa kuitenkin roottorin magnetoinnin kadotessa se jää pyörimään voimakoneen varaan, joten toimintoa ei tarvita. STO-toiminnon poisto onnistui ohjainyksikköön lisättävillä kahdella johtimella.

Seuraava virhekoodi koski järjestelmän lämpötilan mittaukseen kuuluvan piirin toimintavirheestä. Asennuksen yhteydessä sattunut kimmellus aiheutti sen, että taajuusmuuttajan LCL-moduuli piti vaihtaa uuteen. Piirustuksista huomattiin, että uudessa moduulissa oleva johdotus erosi aikaisemman moduulin johdotuksesta, ja virhekoodi johtui tästä. Korjaava toimenpide oli muuttaa taajuusmuuttajan johdotus

yhteensopivaksi uuden LCL-moduuliin käypäiseksi, mikä käytännössä tarkoitti vain kahden johdon riviliitinmuutosta.

Laitteiston testauksessa käytettiin siis tietokoneeseen liitettyä Drive Composer -ohjelmaa, jolla moottoria päästiin ohjaamaan. Koska ohjelmaan annettiin moottorin parametrit jo aiemmassa vaiheessa, voitiin siirtyä ID-ajoon.

Alkutietojen pohjalta taajuusmuuttaja hakee säätöön ja turvallisuuteen tarvittavia parametreja. ID- eli identifointiajossa taajuusmuuttaja tunnistaa moottorin toiminnalliset parametrit, kuten staattori-resistanssin, hajainduktanssin, roottoriaikavakion ja luo sähkökoneen moottorimallin. Laitteiston testi suoritettiin DTC-tilassa, jossa ID-ajo on mahdollista tehdä, ja sillä testattiin moottorin pyörimissuunta ja sitä, että se seuraa nopeusohjetta.

Käyttöönottovaiheessa menttiin laiteoppaasta löytyvän käynnistysproseduurin mukaisesti, joka löytyy liitteestä 3. Ohjelman kautta päästään käsiksi parametriverhoihin kuten kiihdytys- ja hidastusramppien asetuksiin tai nopeuden, virran tai momentin maksimi- ja minimiarvoihin. Kuvassa 46 on esitetty eräs parametri-ikkuna. Testauksen tarkoituksena oli siis tarkastaa laitteiston toimivuus. Näin käyttöönotto voitiin katsoa tapahtuneeksi.

Index	Name	value	Unit	Min	Max	Default
1. Actual values						
1	Motor speed used	0.00	rpm	-30000.00	30000.00	0.00
2	Motor speed estimated	0.00	rpm	-30000.00	30000.00	0.00
4	Encoder 1 speed filtered	0.00	rpm	-30000.00	30000.00	0.00
5	Encoder 2 speed filtered	0.00	rpm	-30000.00	30000.00	0.00
6	Output frequency	0.00	Hz	-500.00	500.00	0.00
7	Motor current	0.00	A	0.00	30000.00	0.00
10	Motor torque %	0.0	%	-1600.0	1600.0	0.0
3. Input references						
4. Warnings and faults						
5. Diagnostics						
6. Control and status words						
7. System info						
10. Standard DI, RO						
1	DI status	0b1000 0000 0000	NoUnit	0b0000 0b1111 11'		0b0000
2	DI delayed status	0b1000 0000 0000	NoUnit	0b0000 0b1111 11'		0b0000
3	DI force selection	0b0000	NoUnit	0b0000 0b1111 11'		0b0000
4	DI force data	0b0000	NoUnit	0b0000 0b1111 11'		0b0000
5	DI1 ON delay	5.0	s	0.0	3000.0	0.0
6	DI1 OFF delay	0.0	s	0.0	3000.0	0.0
7	DI2 ON delay	0.0	s	0.0	3000.0	0.0
8	DI2 OFF delay	10.0	s	0.0	3000.0	0.0
9	DI3 ON delay	0.0	s	0.0	3000.0	0.0
10	DI3 OFF delay	0.0	s	0.0	3000.0	0.0

Kuva 46. Drive Composer -ohjelman parametri-ikkuna.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tavoitteena oli rakentaa uusi laitteisto tahtikoneiden kolmivaihemagnetointiin. Työ oli erityisen mielenkiintoinen ja projektin edetessä oppi paljon uusia asioita tahtikoneista ja taajuusmuuttajista. Myöskin itse asennuksen etenemistä oli mielenkiintoista seurata. Äärimmäisen ammattitaitoisten loppukoestajien työntekoa oli ilo seurata ja nähdä mitä kaikkea tahtikoneen lopputestaus pitää sisällään. Projektin etenemistä hidasti jonkin verran laitehankinnassa ilmenneet viivästykset ja toimitusajat.

Laitteistoa olisi ollut hyvä päästä testaamaan myös harjattoman tahtikoneen magnetointiin, mutta sopivaa konetta siihen tarkoitukseen ei juuri silloin ollut tarjolla. Myöskään laiteohjausta kenttäväylätekniiikan kautta ei tähän opinnäytetyöhön sisälletty. Projektin toteutus sujui mielestäni kuitenkin hyvin ja siitä sai arvokasta oppia sähkökäyttöjen suunnitteluun ja käytännön toteutukseen liittyvistä asioista.

LÄHTEET

- 1 ABB Suomessa. Verkkodokumentti.
<<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/b5eb8a0ef12d684ac1257f1c00219edf.aspx>>
Päivitetty 15.12.2015. Luettu 15.1.2016.
- 2 ABB Suomessa. Verkkodokumentti.
<<http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/d5b664f5dd909412c1257291003ef7cc.aspx>> Päivitetty 23.6.2008. Luettu 15.1.2016.
- 3 ABB. Teknisiä tietoja ja taulukoita, 10 painos. 2000. Vaasa: ABB Strömberg.
- 4 Kupila, Karppinen. 2014. Taajuusmuuttajat. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 5 ABB. Tekninen opas nro 4. 2001. Verkkodokumentti.
<https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf> Luettu 20.1.2016
- 6 Kupila, Karppinen. 2013. Sähkökäyttöjen perusteet. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 7 Hietalahti, Lauri. 2012. Säädetyt sähkömoottorikäytöt. Tammertekniikka.
- 8 ABB. Tekninen opas nro 1. 2001. Verkkodokumentti. <
https://library.e.abb.com/public/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/Tekninen_opas_nro1.pdf > Luettu 25.1.2016
- 9 Hietalahti, Lauri. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Tammertekniikka.
- 10 Aura, Tonteri. 1996. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. WSOY.
- 11 Ruuskanen, Vesa. 2007. Tahtikoneen magneetoimisjärjestelmän mallinnus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- 12 ABB. ACS880 Hardware manual. Verkkodokumentti.
<https://library.e.abb.com/public/a3774502f4fed938c1257de700427447/EN_AC_S880-17_HW_Man_A.pdf > Luettu 15.11.2015.

- 13 SFS-Käsikirja 600-1. 2012. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000.
Pienjännitesähköasennukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.

- 14 ABB. ACS880 Ohjelmointiopas. Verkkodokumentti.
<https://library.e.abb.com/public/ffcac4c2d068e650c1257df7004af532/AINF190x_fi.pdf> Luettu 15.1.2016.

Laitteiston teknisiä tietoja

Electrical power network specification

Voltage (U_1)	ACS880-17-xxxx-3 ($U_N = 400$ V): 380/400/415 V AC 3-phase $\pm 10\%$ ACS880-17-xxxx-5 ($U_N = 500$ V): 380/400/415/440/460/480/500 V AC 3-phase $\pm 10\%$ ACS880-17-xxxx-7 ($U_N = 690$ V): 525...690 V AC (525...600 V AC in corner-grounded TN systems) 3-phase $\pm 10\%$
Frequency	50/60 Hz, Variation $\pm 5\%$ of nominal frequency
Imbalance	Max. $\pm 3\%$ of nominal phase-to-phase voltage
Short-circuit withstand strength (IEC 61439-1)	IEC/EN 61439-1:2009 Frame 1xR8i + 1xR8i: Maximum allowable prospective shortcircuit current I_{cc} is 65 kA. In this case, the input cable must be equipped with fuses as follows: • maximum 1250 A gG* *) Type gG according to IEC 60269 Maximum allowed operating time is <0.1 s for fuses mentioned above. Rated peak withstand current $I_{pk} = 105$ kA Rated short-time withstand current $I_{cw} = 50$ kA/1 s Frame 2xR8i + 2xR8i and above: Rated peak withstand current $I_{pk} = 105$ kA Rated short-time withstand current: $I_{cw} = 50$ kA/1 s for units without air circuit breaker $I_{cw} = 65$ kA/1 s for units with air circuit breaker
Overvoltage category	OVCIII
Power factor	$\cos\phi_1 = 1$, $\cos\phi$ (total) = 0.99
Harmonic distortion	Harmonics are below the limits defined in IEEE519.

R_{sc}	THD Voltage [%]	THD Current [%]
20	3	2.5*
100	0.8	2.5*

$$\sqrt{\sum_{n=2}^{50} \left(\frac{I_n}{I_N}\right)^2}$$

I_n n^{th} harmonic component

I_N nominal current

THD = Total Harmonic Distortion (THD). The voltage THD depends on the short-circuit ratio (R_{sc}). The spectrum of the distortion also contains interharmonics.

$$R_{sc} = I_{sc}/I_N$$

I_{sc} = short-circuit current at point of common coupling (PCC)

I_N = IGBT supply unit nominal current

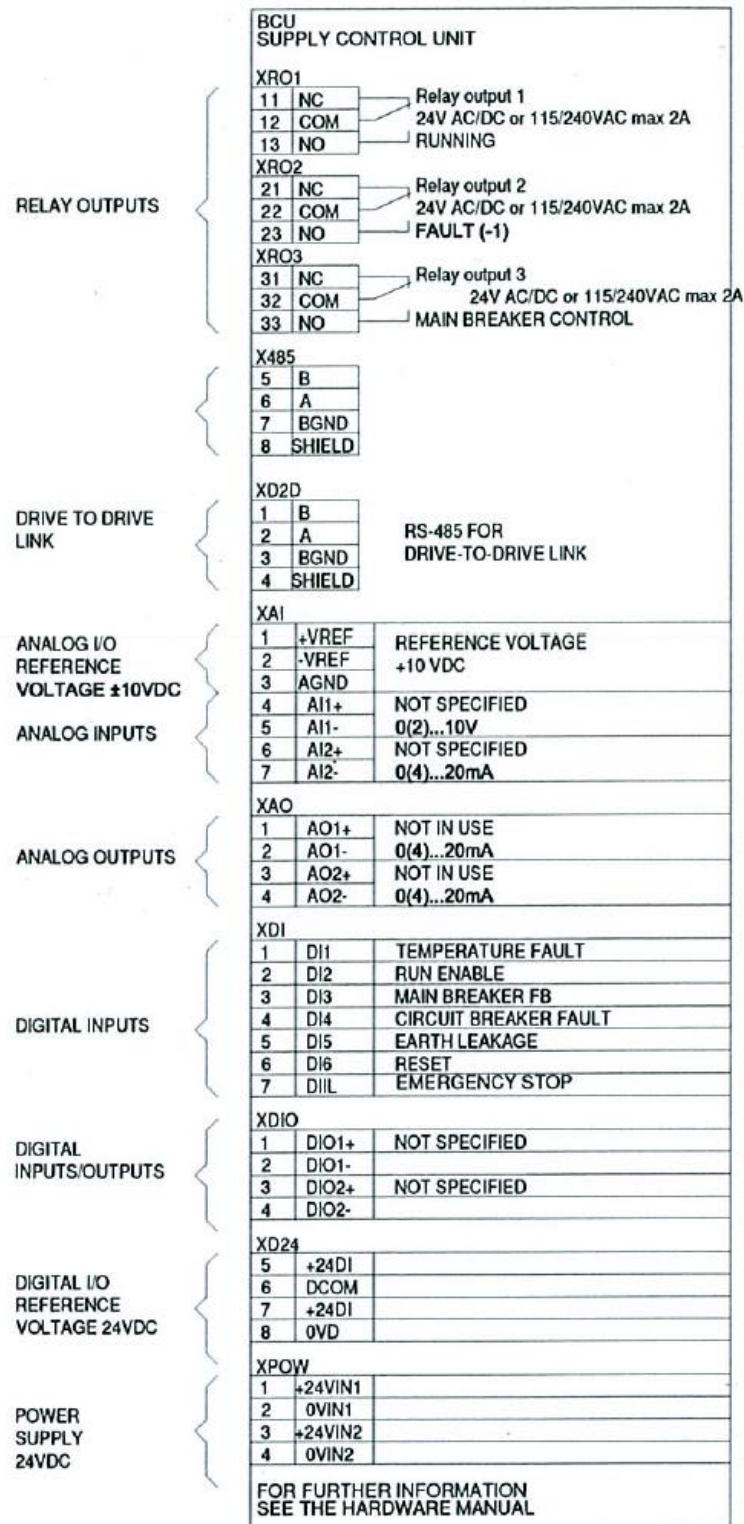
*Other loads may influence the THD value.

Motor connection data

Motor types	Asynchronous AC induction motors, permanent magnet synchronous motors, AC induction servomotors, ABB synchronous reluctance (SynRM) motors
Voltage (U_2)	0 to U_1 , 3-phase symmetrical, U_{max} at the field weakening point

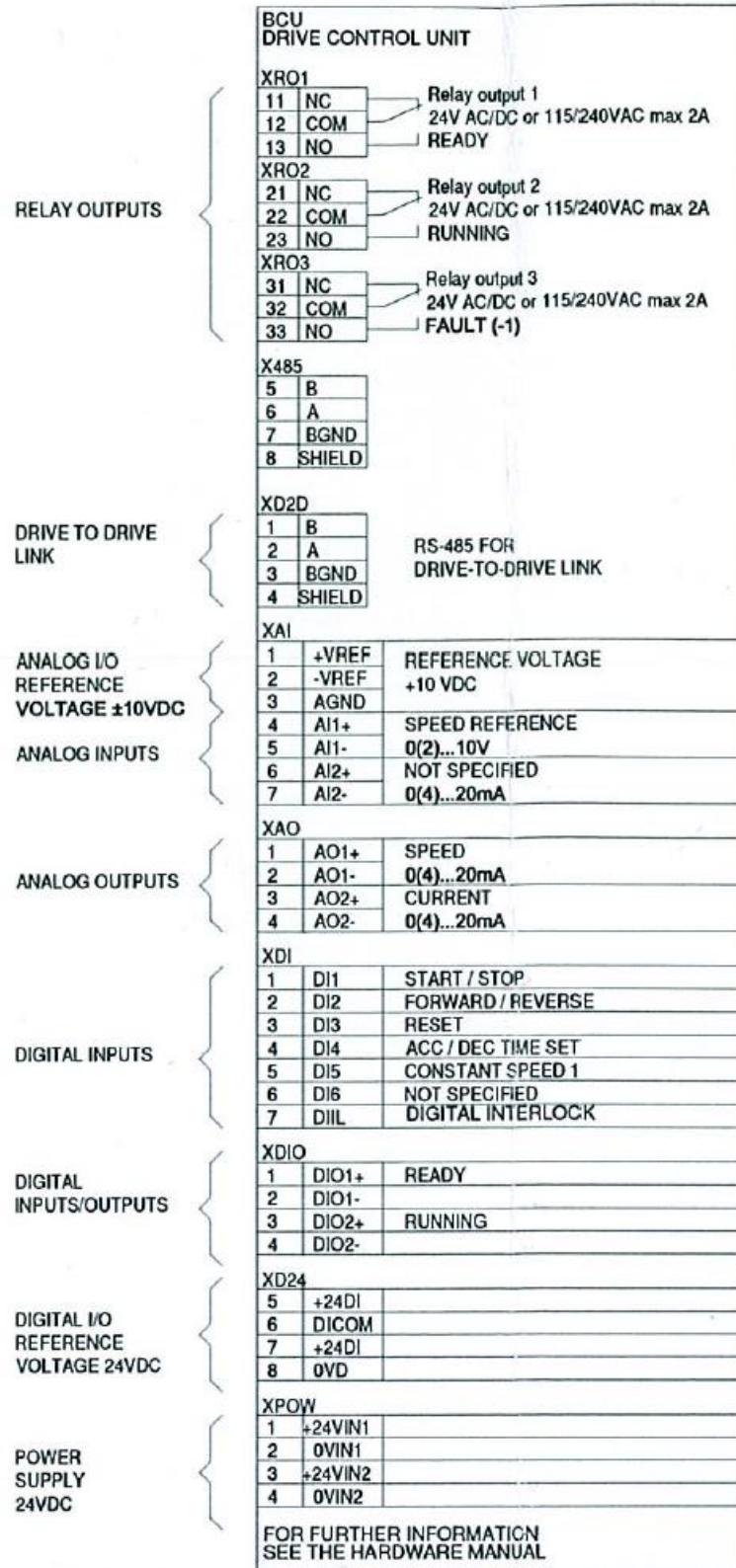
Ohjainyksikkö ISU

SUPPLY CONTROL BOARD (A51)




Ohjainyksikkö INU

DRIVE CONTROL BOARD (A41)



Käyttöönoton tarkastuslista

Action	<input checked="" type="checkbox"/>
Safety	
 WARNING! Obey the safety instructions during the start-up procedure. See chapter <i>Safety instructions</i> on page 17.	<input type="checkbox"/>
Checks/Settings with no voltage connected	
Ensure that the disconnector of the supply transformer is locked to the off (0) position, ie. no voltage is, and cannot be connected to the drive inadvertently.	<input type="checkbox"/>
Check that the main switch-disconnector [Q1.1] is switched off, or main breaker [Q1] racked out.	<input type="checkbox"/>
Check that the grounding switch [Q9.1] (option +F259) is switched on.	<input type="checkbox"/>
Check the mechanical and electrical installation of the drive. See <i>Installation checklist</i> (page 135).	<input type="checkbox"/>
Check the settings of breakers/switches in the auxiliary circuits. See the circuit diagrams delivered with the drive.	<input type="checkbox"/>
Check the tap settings of transformers T21, T101 (if present) and T111 (if present). See <i>Checking the settings of transformers T21, T101 and T111</i> (page 90).	<input type="checkbox"/>
Disconnect any unfinished or uninspected auxiliary voltage (115/230 V AC) cables that lead from the terminal blocks to the outside of the equipment.	<input type="checkbox"/>
Check that both channels of the Safe torque off circuit connected to the STO inputs of both the supply control unit [A51] and the inverter control unit [A41] are closed. Refer to the wiring diagrams delivered with the drive.	<input type="checkbox"/>
If the Safe torque off functionality is used, check that the STO OUT output on the inverter control unit [A41] is chained to the STO inputs of all inverter modules. If the Safe torque off functionality is not used, check that the STO input on all inverter modules is correctly wired to +24 V and ground.	<input type="checkbox"/>
<u>Drives with ground fault monitoring for IT (ungrounded) systems (option +Q954):</u> Adjust the settings of the ground fault monitor to suit the installation. See the circuit diagrams of the delivery and <i>IRDH275B Ground Fault Monitor Operating Manual</i> by Bender (code: TGH1386en).	<input type="checkbox"/>
<u>Drives with Pt100 relays (option +(n)L506):</u> <ul style="list-style-type: none"> • Check the connections against the circuit diagrams of the delivery. • Set the alarm and trip levels of the Pt100 relays. Set the alarm and trip levels of the Pt100 relay as low as possible based on the operating temperature and test results of the machine. The trip level can be set, for example, 10 °C higher than what the temperature of the machine is at maximal load in the maximum environmental temperature. We recommend to set the operating temperatures of the relay, typically for example, as follows: <ul style="list-style-type: none"> • 120...140 °C when only tripping is in use • alarm 120...140 °C and trip 130...150 °C when both alarm and tripping are used. 	<input type="checkbox"/>
Powering up the auxiliary circuit of the drive	
Make sure that it is safe to connect voltage. Ensure that <ul style="list-style-type: none"> • nobody is working on the drive or circuits that have been wired from outside into the drive cabinet • the cover of the motor terminal box is in place. 	<input type="checkbox"/>
<u>Drives with a voltmeter (option +G334):</u> Make sure that the circuit breaker of the measuring circuit [F5.1] is closed.	<input type="checkbox"/>
Close the circuit breakers and/or fuse disconnectors supplying the auxiliary voltage circuits.	<input type="checkbox"/>
Close the cabinet doors.	<input type="checkbox"/>
Close the main breaker of the supply transformer.	<input type="checkbox"/>

Switch on the auxiliary voltage [Q21]. <u>Drives of frame size 1xR8i + 1xR8i</u> : Close the main switch-disconnector [Q1.1]. This will power up the main circuit of the drive as well as the auxiliary voltage circuit.	<input type="checkbox"/>
Setting up the supply unit parameters	
Check the voltage range setting in parameter <i>195.01 Supply voltage</i> . For more information on setting up the supply control program, see the <i>ACS880 IGBT supply control program firmware manual</i> (3AUA0000131562 [English]). If you need more information on the use of the control panel, see <i>ACS-AP-X Assistant control panels user's manual</i> (3AUA0000085685 [English]).	<input type="checkbox"/>
Setting up the inverter unit parameters, and performing the first start	
Set up the inverter control program. See the appropriate start-up guide and/or firmware manual. There is a separate start-up guide only for some control programs.	<input type="checkbox"/>
<u>Drives with a sine output filter (option +E208)</u> : Check that parameter 95.15, bit 1 has been activated.	<input type="checkbox"/>
<u>Drives with a fieldbus adapter module (optional)</u> : Set the fieldbus parameters. Activate the appropriate assistant (if present) in the control program, or see the user's manual of the fieldbus adapter module, and the drive firmware manual. Check that the communication works between the drive and the PLC.	<input type="checkbox"/>
<u>Drives with an encoder interface module (optional)</u> : Set the encoder parameters. Activate the appropriate assistant (if present) in the control program, or see the user's manual of the encoder interface module, and the drive firmware manual.	<input type="checkbox"/>
Powering up the main circuit of the drive	
<u>Switch the grounding switch [Q9.1] (option +F259) off.</u>	<input type="checkbox"/>
Close the main switch-disconnector [Q1.1] or main breaker [Q1]. (With frame size 1xR8i + 1xR8i, this has already been done to power up the auxiliary circuit.) Note: Do not use excessive force. The main switch-disconnector (or main breaker) can only be closed when <ul style="list-style-type: none"> • the main input terminals (L1, L2, L3) are powered, and • auxiliary voltage is switched on [Q21], and • <u>grounding switch is off [Q9.1] (option +F259).</u> 	<input type="checkbox"/>
Turn the operating switch [S21] to the ON (1) position to activate the run enable signal for the supply unit. Depending on control source settings, this may also close the main contactor (if present). If a main contactor is present and does not close, refer to the circuit diagrams delivered by the drive as well as the appropriate firmware manuals.	<input type="checkbox"/>
On-load checks	
Start the motor to perform the ID run.	<input type="checkbox"/>
Check that the cooling fans rotate freely in the right direction, and the air flows upwards. A paper sheet set on the intake (door) gratings stays. The fans run noiselessly.	<input type="checkbox"/>
Check that the motor starts, stops and follows the speed reference in the correct direction when controlled with the control panel.	<input type="checkbox"/>
Check that the motor starts, stops and follows the speed reference in the correct direction when controlled through the customer-specific I/O or fieldbus.	<input type="checkbox"/>
<u>Drives in which the Safe torque off control circuit is connected in use</u> : Test and validate the operation of the Safe torque off function. See <i>Start-up including acceptance test</i> (page 227).	<input type="checkbox"/>
<u>Drives with functional safety options +Q950, +Q951, +Q952, +Q957, +Q963, +Q964, +Q978, +Q979</u> : Refer to the respective manuals of the safety option for option-specific start-up instructions.	<input type="checkbox"/>

