



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kari Lindroos

# TAHDISTUSLÄHDE

Tekniikka ja liikenne  
2014

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Kari Lindroos
Opinnäytetyön nimi	Tahdistuslähde
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	48 + 5 liitettä
Ohjaaja	Vesa Verkkonen

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ABB Low Voltage Systems -yksikköön uusi laivakojeistojen generaattoreiden tahdistuslähde tarkastamoon. Vanha tahdistuslähde on edelleen toimiva, mutta taajuuden heittäminen tahdistuksen aikana sekä tahdistimien huono siirrettävyys ja ikä vaikuttivat uuden tahdistuslähteen suunnitteluun.

Työn yksi pääkohta oli selvittää vanhan tahdistuslähteen hyvät ja huonot ominaisuudet sekä haastatella tarkastamon työntekijöitä ja suunnittelijoita, mitä ominaisuuksia uudelle tahdistuslähteelle halutaan ja tarvitaan. Uuden tahdistuslähteen suunnittelun alussa tein ABB:lle lyhyen selvityksen kahdesta eri sovellusvaihtoehdosta, joista toinen valittiin toteutettavaksi.

Tahdistuslähteen suunnittelu alkoi oikosulkumoottorin ja generaattorin mitoituksista valmiiksi hankitun ACS-800-sarjan taajuusmuuttajan ympärille. Tavoitteena oli suunnitella kokoonpano, jolla voidaan tahdistaa manuaalisesti sekä automaattisesti generaattori laivakojeiston verkon kanssa. Työhön liitettiin halutut suunnitelmat tahdistimesta, jonka mukaan laite voidaan toteuttaa ja tilata yrityksen niin halutessaan.

## ABSTRACT

Author	Kari Lindroos
Title	Synchronization source for Marine Switchgear Generator
Year	2013
Language	Finnish
Pages	48 + 5 Appendices
Name of Supervisor	Vesa Verkkonen

---

The purpose of this thesis was to design a new synchronization source for a marine switchgear generator for the test area at ABB Low Voltage Systems. The old synchronization source is still working but frequency during the testing, bad portability and age of device are the reasons for designing a new synchronization source.

One of the main problems was to figure out good and bad qualities of the old device and also to interview testing personnel and engineers to solve out what are the most important tasks for the new device. At the beginning of the designing a new device two short accounts were made about the application alternatives one of which was selected to be implemented. The designing of the new synchronization source started with the rating of the squirrel cage motor and generator for ACS-800-series frequency converter.

As a result, hardware was designed which can be used to synchronize marine generator either in manual or automatic mode. The required plans how to manufacture the synchronization source were made.

---

Keywords                      synchronization source, testing, frequency converter

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	YLEINEN KATSAUS ABB LVS: STÄ.....	9
3	TAHDISTAMINEN .....	10
3.1	Yleisimmät laivakojeiston suojaus- ja tahdistin yksiköt.....	10
3.1.1	DEIF FAS-113DG .....	10
3.1.2	DEIF GPU-3 .....	11
3.1.3	DEIF PPU-3 .....	11
3.1.4	Pääpiirin suojaus DEIFin kojeilla .....	12
3.2	Automaattitahdistus laivakojeistossa .....	13
3.3	Manuaalitahdistus laivakojeistossa.....	14
3.4	Esimerkkikojeiston manuaalinen tahdistaminen.....	15
4	NYKYINEN LAIVAGENERAATTOREIDEN TAHDISTUSLÄHDE .....	18
4.1	Tahdistimen uusimisen syyt.....	18
4.2	Kojeet.....	19
4.2.1	Tasavirtamoottori .....	19
4.2.2	Generaattori.....	20
4.2.3	Muuntajat .....	20
4.2.4	Suojauskomponentit.....	21
4.3	Rakenne.....	21
4.4	Tahdistimen syöttö.....	22
4.5	Tahdistimen tasavirtamoottorin pääpiirin toiminta.....	22
4.6	Tahdistimen generaattorin pääpiirin toiminta.....	22
5	UUDEN TAHDISTUSLAITTEEN JÄRJESTELMÄN VALINTA.....	23
5.1	Taajuusmuuttajalla toteutettu moottori-generaattori -yhdistelmä.....	23
5.2	Taajuusmuuttajalla toteutettu sovellus ilman moottori-generaattori -yhdistelmää.....	23
6	TAHDISTINLAITTEEN MITOITUS JA SUUNNITTELU .....	25
7	KOMPONENTIT .....	26
7.1	Muuntajat .....	26

7.1.1	Suojaerotusmuuntaja .....	26
7.1.2	Säätömuuntaja .....	27
7.2	Taajuusmuuttaja .....	27
7.2.1	DTC-säätö .....	28
7.2.2	Taajuusmuuttajan ominaisuudet .....	32
7.2.3	Taajuusmuuttajan parametointi .....	32
7.2.4	EMC-suojaus .....	36
7.3	Oikosulkumoottori .....	37
7.4	Generaattori .....	39
7.5	Kontaktorit .....	40
7.6	Suojaukset .....	41
7.6.1	Maasulkusuojaus .....	41
7.6.2	Oikosulkusuojaus .....	41
7.6.3	Kriittinen vaara (häätäseis-painonappi) .....	42
7.7	Hallintalaitteet .....	42
8	TEKNILLISET KUVAT JA LUETTELOT .....	43
8.1	Hahmotelmat tahdistimen rakenteesta sekä sähköiset lohkokaaviot .....	43
8.2	Osaluettelot .....	43
8.3	Mekaaniset mitoitukset ja rakenteet .....	43
8.4	Toimintaseloste .....	43
9	LOPPUPÄÄTELMÄT .....	45
	LÄHTEET .....	47
	LIITTEET	

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>KUVA 1.</b> FAS-113DG RELE.	11
<b>KUVA 2.</b> GPU-3 RELE.	11
<b>KUVA 3.</b> PPU-3 TAHDISTINRELE.	12
<b>KUVA 4.</b> TAHDISTUSPÄÄPIIRIN KYTKENTÄKAAVIO.	13
<b>KUVA 5.</b> KIRKAS-PIMEÄ-KYTKENTÄ.	14
<b>KUVA 6.</b> KATKAISIJAN JA OHJAUKSEN VALINTA TAHDISTUKSESSA.	16
<b>KUVA 7.</b> KOJEISTON OVESSA OLEVAT MITTARIT, KUN TAHDISTUS ON ONNISTUNUT.	17
<b>KUVA 8.</b> DEIF CSQ-3.	17
<b>KUVA 9.</b> NYKYINEN TAHDISTINLÄHDE.	18
<b>KUVA 10.</b> AUTOMAATTITAHDISTUKSEN NOPEUSOHJE TAAJUUSMUUTTAJAN I/O- KORTILLE.	25
<b>KUVA 11.</b> VAIHTOSUUNTAAJALTA ULOSTULEVA JÄNNITE.	27
<b>KUVA 12.</b> VERKKOVAIHTOSUUNTAAJALLA VARUSTETTU JÄNNITEVÄLIPIIRILLINEN TAAJUUSMUUTTAJA.	28
<b>KUVA 13.</b> LOHKOKAAVIO DTC-SÄÄDÖN PERIAATTEESTA.	29
<b>KUVA 14.</b> DTC-SÄÄDÖN VEKTORIEN PERIAATEKUVA.	30
<b>KUVA 15.</b> KYTKENTÄKOMBINAATIOT DTC-SÄÄDÖSSÄ.	30
<b>KUVA 16.</b> DTC-SÄÄDÖN JA VEKTORISÄÄDÖN OIKEAN KYTKENTÄKOMBINAATION ETSINTÄ.	31
<b>KUVA 17.</b> TAAJUUSMUUTTAJAN PERUSPARAMETRIT MOOTTORIN KILPIARVOISTA.	33
<b>KUVA 18.</b> TARVITTAVAT PARAMETRIT AUTOMAATTITAHDISTUKSEEN.	35
<b>KUVA 19.</b> KAAPELIN VAIPAN MAADOITUS. /13/	36
<b>KUVA 20.</b> OIKOSULKUMOOTTORIN RAKENNE.	37
 <b>TAULUKKO 1.</b> TAAJUUSMUUTTAJAN NOPEUS- JA TARKKUUSTAUUKKO ERI SÄÄDÖILLÄ TAKOMETRILLA SEKÄ ILMAN. /2/ .....	31

**LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Taajuusmuuttajan lohkokaavio

**LIITE 2.** Generaattorin lohkokaavio

**LIITE 3.** Verkonpuolen jännitekaavio

**LIITE 4.** Tahdistinlähteen kotelon hahmotelmakuva

**LIITE 5.** Tahdistuslähteen osaluettelo

## 1 JOHDANTO

Tein ABB Low Voltage Systems Oy:lle opinnäytetyön laivakojeistojen tahdistamisesta. Tehtävänä oli kartoittaa millaisilla komponenteilla olisi järkevää tehdä uusi tahdistinlähde tarkastamoon. Tavoitteena oli tehdä tahdistuslähteestä mahdollisimman pieni fyysisesti sekä sähköisesti järkevästi suunniteltu ja mitoitettu.

Laivakojeistossa on normaalisti ainakin yksi generaattorisyöttö, mikä tahdistetaan verkkoon symmetrisesti oikein, jotta vältetään ei-toivotuilta sähköisiltä ilmiöiltä, kuten takateho tai vaiheoppositio. Tahdistamisessa simuloidaan laivankäytön tahdistamista sähkönlähdevaunulla, joka toimii tässä tapauksessa laivan generaattorina verkkoa vasten.

Vanha tahdistinlaite on edelleen toimintakuntoinen, mutta nykyajan komponenteilla tahdistamisesta saadaan joustavaa ja säädön tarkkuus parantuu huomattavasti tahdistuslaitteen automatiikan ansiosta, joka nopeuttaa tarkastan työtä tahdistuksen aikana. Uuteen tahdistinlähteeseen suunnitellaan lisäksi jännitelähteet, jotka ovat ennen olleet erillisessä sähkölähdevaunussa. Tämä tuo tarkastajalle mukavuutta ja selkeyttä työntekoon, koska hänen ei tarvitse uusimisen jälkeen tarkastella kahden eri vaunun jännitemittareita, lisäksi kytkennät kojeistolle yksikertaistuvat. Sähkötyöturvallisuuteen tullaan myös kiinnittämään erityistä huomiota suunnitteluvaiheessa.



## 2 YLEINEN KATSAUS ABB LVS: STÄ

ABB LVS Suomessa myy, kokoaa ja huoltaa sähköisiä järjestelmiä, sovelluksia, osia, laitteistoja sekä palveluita. Pienjännitetuotteita tehdään monessa eri yksiköissä, mutta yhdessä ne muodostavat tarvittavan suunnittelun, toteutuksen sekä huolto- ja tukitoiminnot pienjännitetuotteille

Yksikössä on noin 110 työntekijää. Toimihenkilöitä henkilöstöstä on noin puolet ja loput ovat tuotannonpuolen asentajia sekä testaajia. Yksikkö suunnittelee, valmistaa ja huoltaa pienjännitekojeistoja moniin tarkoituksiin, mutta yleisimmin tilaajat ovat laivateollisuus, kaivosteollisuus ja sähkönjakeluyhtiöt. Yksikössä valmistetaan asiakkaan toiveiden mukaisia kojeistoja, joten niin sanottua perusmallia ei ole tässä tehtaassa olemassa. Uusimmat kojeistomallit (MNSiS-kojeistot) käyttävät profibus väyläteknologiaa, joka helpottaa kojeistojen valvontaa ja ohjausta sekä samalla tuo käyttäjälle enemmän tietoa kojeistossa tapahtuvista ohjauksista, tilatiedoista ja sähköisistä arvoista.

### 3 TAHDISTAMINEN

Tahdistamisen onnistuminen pitää sisällään neljä tärkeää ehtoa, jotka pitää olla kunnossa ennen kuin voidaan ohjata verkon ja generaattorin välinen katkaisija kiinni.

- Jännitteiden pitää olla samansuuruiset generaattorin ulostulon ja verkon välillä ( $|U_1| = |U_2|$ ). Maksimi eroarvo saa olla  $\pm 5\%$ .
- Taajuuksien tulisi olla lähellä toisiaan ennen katkaisijan kiinni-ohjausta ( $f_1 = f_2$ ). Sääntönä voidaan pitää  $\pm 1$  Hz toleranssia halutusta taajuudesta. Yleensä pyritään vielä varmistamaan, että generaattori ei pyri moottoriksi, joten generaattoripuolen taajuus halutaan pitää verkkoa suurempana.
- Tulee varmistaa, että järjestelmän vaihejärjestys on sama kuin generaattorin puolella.
- Verkon ja generaattorin vaihekulma ero tulee olla alle  $\pm 10^\circ$  ( $U_1 \angle \alpha^\circ \approx U_2 \angle \beta^\circ$ ).

Tahdistusehtoja valvovat laivakojeistoissa olevat tahdistinyksiköt. Tahdistinyksikköön tulevat tiedot sekä verkon puolelta että generaattorin puolelta. Tahdistaminen pystytään tekemään automaattisesti tai manuaalisesti. Automaattiasennossa tahdistusehdot ja katkaisijan kiinni- sekä auki -ohjauksen hoitaa laivakojeiston automatiikka. /4/

#### 3.1 Yleisimmät laivakojeiston suojaus- ja tahdistinyksiköt

Markkinoilla on saatavissa erilaisia tahdistinyksiköitä. Tässä kappaleessa esitetään muutamia vaihtoehtoisia generaattorin suojaus- ja tahdistinyksiköitä, joita ABB on käyttänyt laivakojeistoissa tahdistamisen valvontaan ja suojaukseen.

##### 3.1.1 DEIF FAS-113DG

Kuvassa 1 oleva rele on suunniteltu laivakojeistojen automaattiseen tahdistamiseen. Rele on vanhaa sukupolvea, jota käytetään muutamien tilaajien laivakojeistoissa. Automaattitahdistuksessa rele mittaa ja vertailee verkon- sekä

generaattoripuolen vaihejännitteitä, taajuuksia ja niiden vaihekulmaeroja. Kun generaattoripuolen taajuus on saavuttanut verkon taajuuden ja muut tahdistusehdot täyttyvät, niin tahdistinrele antaa kiinni-käskyn kiskokatkaisijalle.

/7/



**Kuva 1.** FAS-113DG rele.

### 3.1.2 DEIF GPU-3

Kuvassa 2 oleva GPU-3-rele on yleisin tahdistusautomaattia valvova yksikkö ABB:n laivakojeistoissa. Se sisältää kaikki generaattorin ja kiskoston suojaukseen tarvittavat suojausfunktiot. GPU-3 yksikkö hoitaa generaattorin käynnistys- ja pysäytystoiminnot sekä ilmoittaa vioista näytölle sekä valvomoon. Siihen voidaan ohjelmoida sisääntulo- ja ulostulosignaalit asiakkaan tarpeiden mukaan. /8/



**Kuva 2.** GPU-3 rele.

### 3.1.3 DEIF PPU-3

Kuvassa 3 oleva PPU-3 on uusin ja monipuolisin rele laivakojeistojen generaattoreiden tahdistamiseen, ohjaamiseen sekä suojaamiseen. Yksikkö toimii

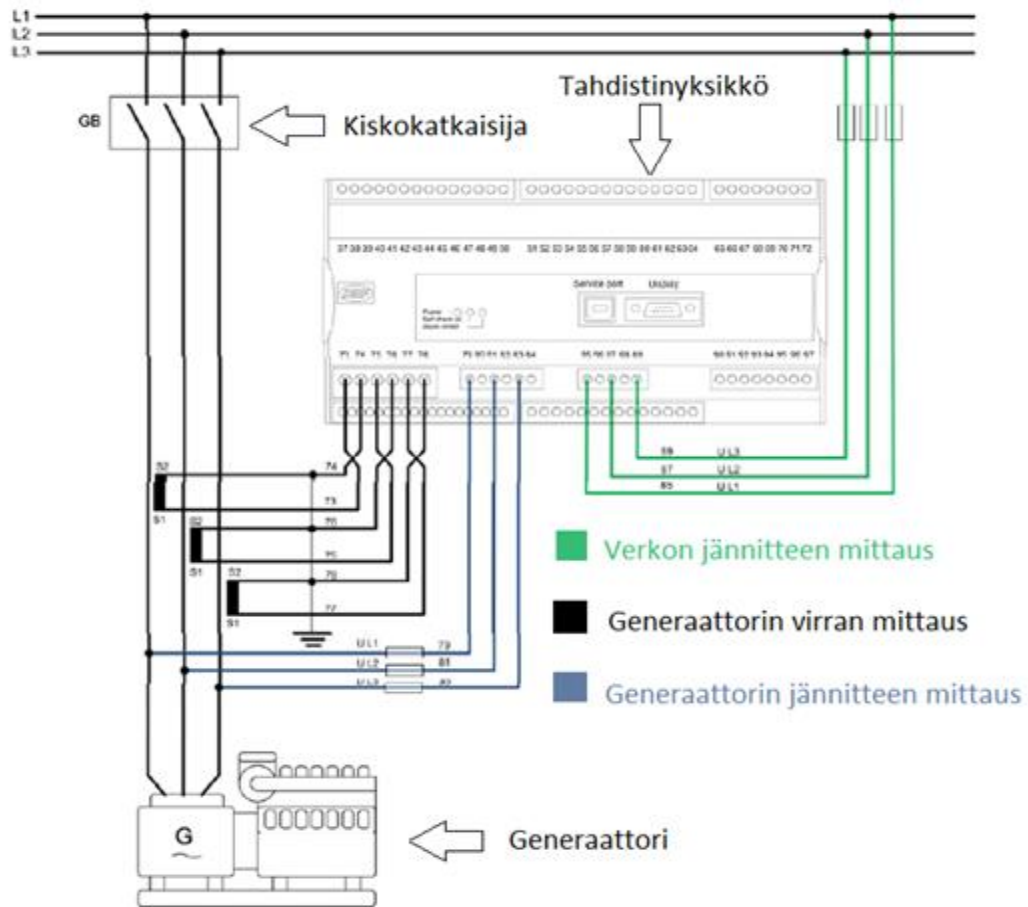
ModBus-väylän kautta, joten tahdistinyksiköt keskustelevat keskenään nopeasti ja luotettavasti ja samalla laivan valvomo pysyy tilanteen tasalla reaaliaikaisesti. Tarvittaessa laivan valvomosta voidaan myös tehdä tarvittavia ohjauksia generaattoreille. Yksikkö osaa myös kommunikoida muiden tahdistinlaitteiden kanssa automaattisesti mikä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että yksiköt voivat ajaa generaattoreita alas, jos tehon tarve laskee ja vastaavasti toisinpäin. Yksikkö suojaa generaattoreita ja muita sähköisiä komponentteja ylivirralla, taajuuden huojunnalta, jännitteen epäbalanssilta sekä yli- ja alijännitteeltä. Ohjelmoitavalla logiikalla voidaan kytkeä käyttöön tarvittavat suojaukset, ulostulotiedot sekä häiriöiden toleranssit. /9/



**Kuva 3.** PPU-3 tahdistinrele.

### 3.1.4 Pääpiirin suojaus DEIFin kojeilla

Kaikkia tahdistinreleitä yhdistää generaattorin ja verkon suojaus sekä mittauskytkentäpiiri. Pääpiirin mittaus ja suojaus toteutetaan kuvassa 4 olevalla kytkentämallilla. Eroja tahdistinlaitteissa on niiden logiikoissa ja kommunikointitavoissa. Myös automaattivalvonta ja säätö ovat erilaisia, mutta voidaan todeta, että mitä uudempi laite on, sitä kehittyneemmät ovat suojaukset ja säädöt.



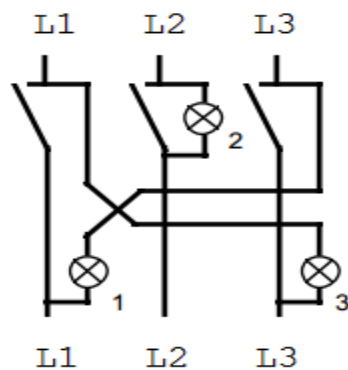
**Kuva 4.** Tahdistuspääpiirin kytkentäkaavio.

### 3.2 Automaattitahdistus laivakojeistossa

Automaattitahdistinlaitteisto on yleensä valittu niin, että kojeistoissa on minimissään synkronisaattori ja synkronoskooppi. Optiona tilaaja voi tilata muita käyttäjää avustavia ja suojaavia laitteita tai näyttöjä kojeistoon. Nämä toimivat yhteistyössä tahdistuksessa ja synkronoskooppi kertoo käyttäjälle tahdistuksen etenemisestä ja ohjaa käyttäjää lisäämään tai laskemaan generaattoripuolen taajuutta tai tekee sen itse automaattisesti. Tahdistusehtoja valvova synkronisaattori määrää, koska kiskokatkaisija tai generaattorikatkaisija voidaan ohjata kiinni. Katkaisija ohjataan kiinni automaattisesti, kun tahdistusehdot täyttyvät.

Kojeet on asennettu kojeistojen oviin niin, että niitä on helppo seurata. Tarvittaessa tahdistusehtojen asetteluarvoja, esimerkiksi taajuuden eroa generaattorin ja verkon välillä pystytään muuttamaan. Tarkastuksessa kojeistolle tehdään täydellinen toimintakoetesti. Kun kojeisto saapuu laivalle, se kytkentään toimimaan kojeiston paneeleilta sekä valvomosta käsin. Laivalla varmistetaan kojeiston toiminta tekemällä kaikki toimintakokeet uudestaan. Kaikki tarvittava tieto kojeiston tilasta ja toiminnoista pitää saada valvomon sekä kojeiston paneelien kautta toimimaan, ennen kuin laiva voidaan ottaa käyttöön.

Tarkastaja pystyy hätätapauksissa toteamaan tahdistusehtojen toteutumisen pelkkien lamppujen avulla. Lamput on aseteltu kolmiomuotoon ja kun kaksi alinta lampua palaa ja ylin sammunut, tahdistusehdot on täytetty. Kuvassa 5 olevan kytkennän mukaiset kirkas-pimeä -lamput löytyvät kojeistosta sekä myös vanhasta tahdistinlähteestä. Nykyisin tarkempaan ja turvallisempaan tahdistukseen pyrittäessä kannattaa asentaa myös tahdistinrele.



**Kuva 5.** Kirkas-pimeä-kytkentä.

### 3.3 Manuaalintahdistus laivakojeistossa

Manuaalinen tahdistuksen simulointi tapahtuu nykyisellä tahdistinlähteellä niin, että tasavirtamoottorin magnetointijännitettä säätämällä katsotaan, että

generaattorin taajuus vastaa noin 50 Hz:ä. Hienosäätö tehdään katsomalla tahdistinlähteen tahdistinvaloja sekä kojeiston tahdistimen näyttöpaneelia. Verkon ja generaattoripuolen katkaisijaa ei saa kiinni, ennen kuin tahdistusehdot täyttyvät. Manuaalintahdistuksessa kiinni- ja auki -käskyt annetaan katkaisijoille kojeiston ovien painonapeista tai suoraan katkaisijasta.

### **3.4 Esimerkkikojeiston manuaalinen tahdistaminen**

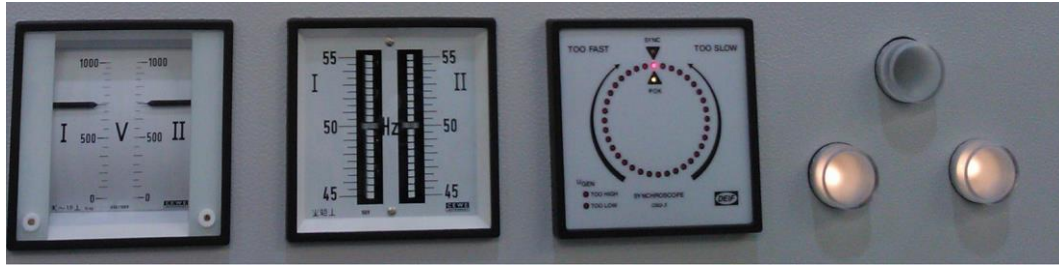
Kojeistossa on kolme päägeneraattorisyöttöä (MG1, MG2, MG3), yksi satamageneraattori syöttö (HG) sekä kiskokatkaisija (BUSTIE). Tahdistinyksikkönä toimii DEIF FAS-113DG ja DEIF-CSQ-3 sekä mukana paketissa on virtayksiköt, taajuusyksiköt sekä jänniteyksiköt. Kaikilla generaattoreilla on oma katkaisija jota voidaan ohjata manuaalisesti itse sekä katkaisijasta että päätaulun ovesta valitsemalla tarvittava katkaisija ja painamalla kiinni-painonappia (**Kuva 6**).



**Kuva 6.** Katkaisijan ja ohjauksen valinta tahdistuksessa.

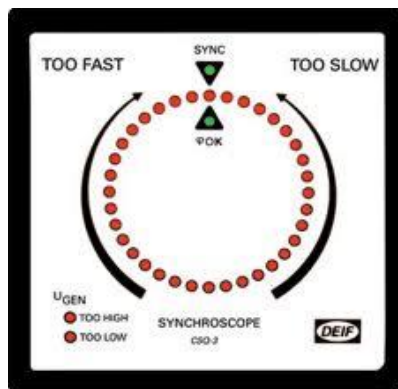
Manuaalintahdistuksen voi toteuttaa kahdella eri tavalla, ensiksi laitetaan verkon jännitteet tahdistinlähteestä päälle esimerkiksi MG1-syötölle ja laitetaan MG1-katkaisija kiinni, jolloin koko kojeiston kiskostossa on jännite kiskokatkaisijan etupuolella asti. Sen jälkeen ohjataan kiskokatkaisija päälle, milloin koko kojeiston kiskostoissa on jännite. Sitten kytketään generaattori puolen jännite HG-katkaisijan etupuolelle, jolloin tahdistinyksiköt alkavat ”nuuhkimaan” tilannetta ja näyttävät mittareilla joko taajuuden lisäystä tai laskemista. Kun tahdistusehdot täyttyvät, voidaan HG-katkaisija ohjata kiinni, jolloin tahtikone tahdistuu verkkoon. Kuva 7 on otettu kojeiston mittareista, kun tahdistus onnistunut.





**Kuva 7.** Kojiston ovelta olevat mittarit, kun tahdistus on onnistunut.

Kuvassa 8 esitellyllä DEIF-CSQ-3 releellä Mittari ohjaa pyörömittarissa olevien led-valojen avulla käyttäjää selvästi, joko käskemällä nostaa tai laskea generaattoripuolen taajuutta. Mittari näyttää generaattorin ja verkon puolen nollahetkeä. Esimerkiksi jos ympyräasteikon punainen led-valo palaa kello kahdentoista kohdassa, on vaihejännitteiden ero  $0^\circ$  tai jos punainen led-valo palaa kello 6 kohdassa, on vaihejännitteiden ero  $180^\circ$ . Releessä on myös koskettimet, jotka voidaan kytkeä antamaan kiskokatkaisijalle kiinni tai auki pulssin /6/



**Kuva 8.** DEIF CSQ-3.

## 4 NYKYINEN LAIVAGENERAATTOREIDEN TAHDISTUSLÄHDE

Nykyisessä laivakojeistojen tahdistuslähteessä (**Kuva 9**) käytetään tasavirtamoottoria generaattorin voimakoneena. Tasavirtamoottoreita käytettiin ennen suuntaajatekniikan yleistymistä sellaisissa sähkökäytöissä, joissa tarvittiin tarkkaa nopeuden tai momentin säätöä. Laivakojeistojen tahdistaminen on tehty tähän asti ”käsituntumalla”. Tahdistuslähteen generaattorin taajuudensäätöpiiri koostuu säätömuuntaja-tasavirtamoottori-generaattori yhdistelmästä. Magnetointijännitettä säätämällä tasavirtamoottorin pyörimisnopeus muuttuu. Magnetointijännitettä säädetään yksivaihesäätömuuntajalla.



**Kuva 9.** Nykyinen tahdistinlähde.

### 4.1 Tahdistimen uusimisen syyt

Haastattelin laivakojeistojen tahdistuslaitteen käyttäjää nykyisen testilaitteen hyvistä ja huonoista puolista. Tahdistuslaite on ollut ikäisekseen laitteeksi hyvin varmatoiminen.

Hyviä puolia:

- Nopeuttaa asentajan työtä generaattoreiden tahdistuksessa
- Generaattorin taajuuden säätö
- Luotettava ratkaisu
- Teholtaan riittävä
- Vaatii erittäin vähän huoltoa.

Huonoja puolia:

- Siirrettävyys (siirrettävä trukilla tai pumppukärryillä, koska painoa noin 250 kg)
- Ulostulojen rajallinen määrä (1 kpl vaikka laivakojeistossa yleensä monta generaattoria)
- Tarvitaan kaksi ”kärryä”. Toinen pää- ja apujännitteille toinen tahdistusta varten
- Automaatio-ohjauksen puuttuminen.
- Taajuuden huojunta tahdistuksessa

## 4.2 Kojeet

Kaikki tahdistuslähteen kojeet ovat pysyneet laitteen valmistumisesta asti samoina, joten voidaan todeta, että laitteisto on ollut varmatoiminen. Sulakkeiden uusiminen on ollut ainut korjaus toimenpide, mitä on pitänyt lähteeseen tehdä laitteen eliniän aikana.

### 4.2.1 Tasavirtamoottori

Tarkastamossa käytössä olevan laivakojeistojen tahdistuslähteen tasavirtamoottorin teho on 6 kW ja sen nimellipyörimisnopeus on 1500 /1800 r/min. Tasavirtamoottorin pyörimisnopeus tahdistuksen aikana on aina nimellinen tai yli, koska pyörimisnopeus on verrannollinen generaattorin syöttötaajuuteen, jonka pitää olla 50 Hz tai 60 Hz. Tarkastamon tasavirtamoottorin nopeudensäätö tapahtuu magnetointijännitettä säätämällä. Jännitettä säädetään ns. variacsäätömuuntajalla, joka on toiselta nimeltään yksivaihesäätömuuntaja. Tällä

nopeudensäätömenetelmällä päästään hyvään tarkkuuteen, mutta reagointi generaattorin kuormituksen muutoksiin on riippuvainen tarkastajan nopeudesta.

Kaavasta

$$n = \frac{U - R_a \times I_a}{k\phi} \quad (1)$$

voidaan vielä todeta, että jos  $I_a$  (ankkuripiirin virta) kasvaa ja muut pysyvät vakiona  $k$  (konevakio),  $R_a$  (ankkuripiirin resistanssi) ja  $\phi$  (konevuo) niin  $n$  (pyörimisnopeus) laskee. /1,3/

#### 4.2.2 Generaattori

Tarkastamon generaattori on 80-luvun alussa tehty BBC:n valmistava tahtikone. Generaattorissa on neljänapainen avonapainen roottori, mikä tarkoittaa että sen pyörimisnopeus 50 Hz:llä on 1500 r/min. Tämä voidaan todeta kaavasta

$$n = \frac{f}{p}, \text{ jossa} \quad (2)$$

$n$  = pyörimisnopeus,  $f$  = järjestelmän taajuus,  $p$  = generaattorin napapariluku

Tahdistinlähteen generaattori on mekaanisesti kytketty tasavirtamoottoriin. Generaattorin pyörimisnopeus on sama kuin moottorin pyörimisnopeus, mutta siihen vaikuttaa tahtikoneen kuorma. Kun generaattori kytketään katkaisijan kautta syöttämään sähkötehoa verkkoon, sen vastamomentti kasvaa ja roottorin nopeus laskee jos ei tasavirtamoottorin pyörimisnopeutta nosteta. Ongelma toistuu toiseen suuntaan kun generaattori pudotetaan verkosta ja vastamomentti putoaa. Tämän seurauksena tasavirtamoottori pyrkii pyörimään nopeampaa ja testaaja joutuu käsin taas korjaamaan magnetointijännitettä suuremmaksi, jotta pyörimisnopeus saadaan halutulle nopeudelle. /1,4/

#### 4.2.3 Muuntajat

Vanhassa tahdistinlähteessä on kaksi kolmivaiheista erotusmuuntajaa ja kaksi kolmivaiheista säätömuuntajaa sekä yksivaihesäätömuuntaja. Erotusmuuntajat ovat kytketty erottamaan syöttävän verkon ja moottorin pääpiirin sekä

generaattorin ja sen ulostuloliittimet. Verkonpuolen kolmivaihe säätömuuntajan tosiosta otetaan kojeistojen testaukseen tarvittava säädettävä ulostulojännite (0-720 VAC). Toisella kolmivaiheisella säätömuuntajalla säädetään generaattorin ulostulojännitettä. Yksivaihesäätömuuntajalla säädetään moottorin magnetointijännitettä, joka siis vaikuttaa suoraan tasavirtamoottorin pyörimisnopeuteen eli generaattorin taajuuteen.

Erotusmuuntaja erottaa galvaanisesti ensiö- ja toisiopuolen toisistaan. Tämä muuntaja suojaa käyttäjää esimerkiksi eristysvikatilanteessa. Jos vika syntyy toisio-puolelle, niin vika ei etene muuntajan kautta ensiö-puolelle.

#### **4.2.4 Suojauskomponentit**

Tahdistinlähteen sähköisiä suojauskomponenttejä ovat oikosulku-, ylivirta- sekä maasulkusuojaus. Oikosulku- sekä ylivirtasuojaukset on toteutettu sulakkeilla sekä johdonsuojakatkaisijoilla. Moottorin pääpiiri on suojattu 25 A sulakkeilla ja magnetointipuoli 3 A sulakkeilla. Tahdistinlähteen kannesta otettava ”verkonpuoli” on suojattu 10 A sulakkeilla. Generaattoripuolen ulostulo on suojattu 10 A sulakkeilla. /1/

### **4.3 Rakenne**

Vanha tahdistinlähde on raskas rakenteeltaan ja sitä voidaan liikuttaa vain trukilla tai pumppukärryllä. Uuden tahdistinlähteen suunnittelussa tullaan juuri kiinnittämään huomiota siirrettävyyteen. Muuten vanha tahdistinlaite on ollut jäykkä, eikä siihen ole tarvinnut korjauksia tehdä. Rakenne on suunniteltu niin, että moottori ja generaattori on sijoitettu tahdistimen taakse suojaan, jolloin käyttäjä ei joudu vaaraan pyörivien osien kanssa. Suojaukset, muuntajat ja kontaktorit on koteloitu niin, että käyttäjä ei pääse vahingossa kosketukseen jännitteelle alttiille osille, mutta komponenttien vaihto ja huolto onnistuvat tarvittaessa suhteellisen helposti. Kaikki säätö- ja ohjaukseen vaikuttavat painonapit ja kytkimet on sijoitettu paneeliin. Paneelissa on myös kaikki virta-, jännite- ja taajuusmittarit.

#### **4.4 Tahdistimen syöttö**

Jakokeskuksesta tulee 3-vaiheinen syöttökaapeli jokaiseen tarkastamon osioon, joka on suojattu 16 A C-luokan automaatilla. Syöttökaapeleiden voimapistorasian urospäät roikkuvat tarkastamon yläpuolella olevissa kiskostoissa. Tahdistinlähteeseen tarvitaan yksi syöttö voimapistorasian kautta. Voimapistorasian ja tahdistinlähteen välille on tehty adapteri, jonka toinen pää on voimapistorasian naaras- ja toinen ns. harting-liitin. Kaikkia tarkastamon sähkölähdevaunuja syötetään harting-liittimen kautta yhtenäisyyden vuoksi. Sähkölähdevaunua tarvitaan tahdistinlähteen rinnalla, josta otetaan tarvittavat apujännitteet sekä ns. UPS-syötöt kojeistolle. UPS-syöttö tarkoittaa varmennettua sähköjakelua, joka suojaa kriittiset laitteet sähkökatkoksen aikana.

#### **4.5 Tahdistimen tasavirtamoottorin pääpiirin toiminta**

Tahdistimeen tuleva jännite viedään pääkytkimen ja pääkontaktorin kautta erotusmuuntajalle. Erotusmuuntajan toisiopuolelta jännite viedään sulakkeiden kautta tahdistimen paneelille, josta saadaan ”verkon” syöttö laivakojeistolle. Erotusmuuntajan ensiö-puolelta otetaan jännite, joka tasasuunnataan tasavirtamoottorin magnetointiin sekä moottorin pääpiirille. Tasavirtamoottoria ei voida käynnistää väärin, koska kontaktoreilla on varmistettu, että tasavirtamoottori saa jännitteen ensiksi magnetointiin ennen pääpiirin kytkemistä jännitteiseksi. Häätätilanteissa hätäseis-nappia painaessa katkeaa releen ohjauksen jännite ja pääkontaktori avaa koskettimensa, jonka jälkeen pääpiiri on jännitteetön.

#### **4.6 Tahdistimen generaattorin pääpiirin toiminta**

Generaattorin jännite johdetaan kolmevaiheisen säätömuuntajan sekä erotusmuuntajan kautta ulostuloliittimille. Ulostuloliittimiä on vain yhdet (L1, L2, L3, N) ja ne on suojattu 10 A johdonsuojakatkaisijalla. Jännitettä voidaan säätää portaattomasti alueella 660 - 720 V, mikä mahdollistaa laivakojeistoissa olevien yli- ja alijännitesuojien testauksen.

## **5 UUDEN TAHDISTUSLAITTEEN JÄRJESTELMÄN VALINTA**

Yksi työn tutkimuskohteista oli selvittää, millaisista komponenteista uusi tahdistinlaite olisi järkevää ja perusteltua rakentaa. Tahdistimen rakenteellisia haasteita on saada laite niin pieneen kokoon kuin mahdollista unohtamatta standardien vaatimuksia, oikosulkusuojauksia sekä kaapeloinnin ja häiriöiden vaatimia etäisyyksiä johtimista runkoon sekä johtimien välille.

ABB LVS halusi selvityksen, että voidaan tahdistaminen tehdä ilman tahtikonetta sekä generaattoria. Pidimme yhteisiä kokouksia testaushenkilökunnan ja suunnittelijan kanssa, missä totesimme että yksi mahdollisuus olisi taajuusmuuttaja ja sen perässä sinisuodin, joka tekisi taajuusmuuttajan ulostulojännitteen kanttiaallosta sinimuotoisempaa.

### **5.1 Taajuusmuuttajalla toteutettu moottori-generaattori -yhdistelmä**

Tämä järjestelmä olisi loogista rakentaa, koska tahdistinlähde vastaa tällöin suoraan laivassa olevaa järjestelmää. Järjestelmä on hyvä, koska generaattorin tekemä jännite on suoraan siniaaltoista, mikä varmistaa, että tahdistinyksiköt toimivat häiriöttä. Tämä taas tarkoittaa sitä, että laivakojeistossa olevat suojaukset sekä tahdistinyksiköt toimivat laitevalmistajan haluamalla tavalla ja häiriöiden riskit ovat minimaaliset jännitteen puhtauden vuoksi.

### **5.2 Taajuusmuuttajalla toteutettu sovellus ilman moottori-generaattori -yhdistelmää**

Taajuusmuuttajalla toteutettu sovellus olisi kevyt, koska tahdistinlähteeseen ei tulisi mekaanisesti pyöriviä koneita (oikosulkumoottoria ja generaattoria). Tätä sovellusta ei ole kuitenkaan järkevä rakentaa laivakojeistojen tahdistamiseen, koska

- todellisessa tilanteessa tahdistetaan tahtikonetta. Sen vuoksi olisi luonnollisinta luoda käytäntöä vastaava tilanne eli käyttää pyörivää konetta tahdistimessa.

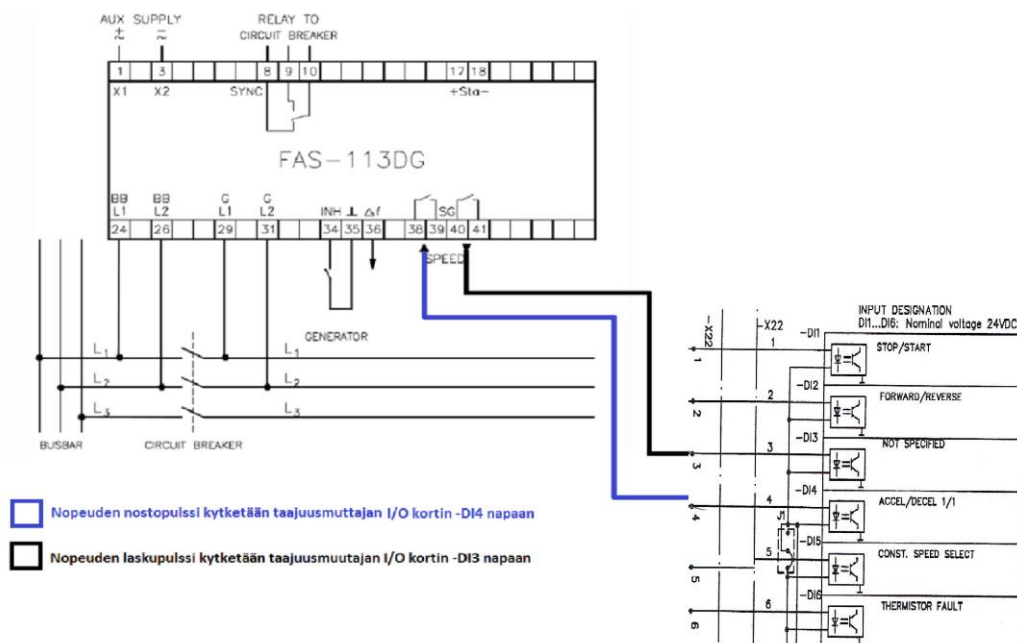
- taajuusmuuttajaa suoraan tahdistuksessa aiheutuu suodattimenkin kanssa enemmän häiriöitä tahdistuslaitteelle kuin tahtikoneen tapauksessa.
- moottori-generaattori yhdistelmä toimii ”galvaanisena erotuksena” vikatilanteissa.
- vikatilanteessa rasitettaisiin suotta taajuusmuuttajaa.
- vektorisäätöinen taajuusmuuttaja tarvitsee aina moottorikuorman toimiakseen.
- skalaarisäätöinen taajuusmuuttajalla vakiomagnetointi hoidetaan  $\frac{U}{f}$  suhteen vakioinnilla. Jos taajuutta säädetään, niin jännitekin muuttuu. Jos taas toimitaan alueella, jossa jännite on vakio, niin verkkojännitteen vaihdellessa taajuusmuuttajan jännite ei seuraa mukana. Tahdistusehtojen täyttäminen olisi hankalaa. Se on mahdollista, mutta vaatisi insinööriyön suuruisen työn, jossa taajuusmuuttajaa jouduttaisiin ohjelmoimaan toimimaan tilanteen vaatimalla tavalla.
- taajuusmuuttajan jännitteen häiriöiden poistajaksi tulevasta sinisuotimesta kuuluu yleensä häiritsevä ”ininä”, mikä voi vaikuttaa tarkastajan keskittymiseen tahdistuksen aikana.
- sinisuodin viritetään tietylle taajuudelle ja tässä työssä tarvitaan kahta aluetta, mikä tekisi asettelusta hankalan tai tarvitsisi kaksi suodinta. Suotimen toiminnan laatu heikkenee huomattavasti kun taajuusalue kasvaa.

Nämä perustelut riittivät tukemaan päätöstä, että tahdistinlähde kannattaa tehdä oikosulkumoottori-generaattori yhdistelmällä ja oikosulkumoottorin nopeudensäätö tehdään taajuusmuuttajan DTC-säädöllä, joka poistaa taajuuden heittelyn tahdistuksen aikana.



## 6 TAHDISTINLAITTEEN MITOITUS JA SUUNNITTELU

Tahdistaminen tullaan toteuttamaan niin, että käyttäjä voi valita haluaako hän tahdistaa kojeiston käsin ohjaamalla taajuusmuuttajan nopeusohjetta paneelista tai valitsemalla kytkimestä automaatti-asennon, joka tahdistaa itsensä oikeaan taajuus-/nopeusarvoon, jotta kiskokatkaisija voidaan ohjata kiinni. Automaattiasennossa kytkentä tullaan toteuttamaan kuvassa 10 olevalla kytkentämallilla. Taajuusmuuttaja saa DEIFin logiikalta pulsseja joko nopeuden nostoon tai laskuun. Logiikasta tulevat käskyt viedään taajuusmuuttajan RMIO-kortille paikkoihin –DI3 ja –DI4. Paikat parametroidaan niin, että ne tottelevat logiikasta tulevia nopeuden nostoa tai laskua koskevia tietoja oikein.



**Kuva 10.** Automaattitahdistuksen nopeusohje taajuusmuuttajan I/O-kortille.

## 7 KOMPONENTIT

Tässä luvussa perehdytään uuden tahdistuslähteen komponentteihin syvällisemmin ja perustellaan, miksi ne ovat tähän työhön valittu. Komponenttien mitoituksissa on käytetty ABB:n omia mitoitusaulukoita ja omia laskelmia.

Tahdistuslähdettä tullaan syöttämään kahdella voimapistoriällä. Toisella syötetään niin sanottua ”verkon puolta” ja toisella taajuusmuuttajaa eli generaattorin puolta. Syötöt tehdään erikseen, etteivät taajuusmuuttaja- sekä apujännitepuoli katkea samaan aikaan, esimerkiksi jos laitteeseen tai kojeistoon tulee vika. Toiseksi varmistetaan, etteivät syötön automaattit laukea, kun jännitteet kytketään tahdistuslähteeseen. Syöttöjen erotteluun vaikuttaa myös taajuusmuuttajan häiriövirtojen estäminen apujännitepuolelle.

### 7.1 Muuntajat

Tahdistuslähteessä tarvitaan erilaisia muuntajia, joko erottamaan galvaanisesti ensiö ja toisiö (erotusmuuntaja) tai säätöön tarvittavia muuntajia (säätömuuntaja). Tahdistinlähdevaunusta halutaan ottaa myös kojeistolle tarvittavat normaalit syöttöjännitteet, joista yleisimmät ovat: 24 VDC, 110 VDC, 230 VAC, sekä säädettävä kolmivaihejännite 400 - 720 VAC.

#### 7.1.1 Suojaerotusmuuntaja

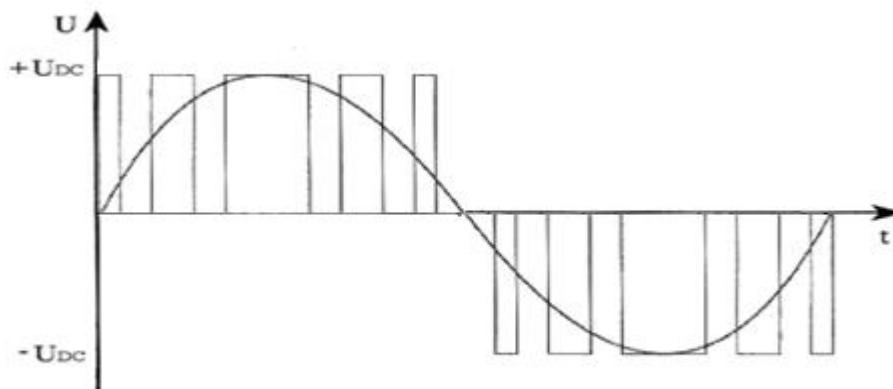
Erotusmuuntajan päätehtävä on erottaa verkko ja tahdistinlähde galvaanisesti toisistaan. Ensiö- ja toisiopuoli ovat yhteydessä vain sähkömagneettisen kentän kautta toisiinsa. Tahdistinlähteen vikatilanteessa erotusmuuntaja suojaa verkon käyttäjiä ei-toivotuilta sähköisiltä ilmiöiltä, kuten oiko- tai maasuluilta. Suojaerotusmuuntajalla ei yleensä alenneta tai ylennetä jännitettä, vaan ensiön ja toision välinen jännite pidetään samana. Esimerkiksi syötöstä tuleva jännite johdotetaan erotusmuuntajan ensiöön ja toisiosta otetaan sama jännite ulos, mutta sen jälkeen jännite on ns. suoja-erotettu verkosta (jännite ensiössä ja toiossa 400/400V).

### 7.1.2 Säättömuuntaja

Säättömuuntajia tarvitaan tahdistuslähteeseen, koska laivakojeistoissa on erilaisia suojauskojeita, jotka tarvitsee portaatonta jännitteen säätöä. Esimerkiksi generaattorin suojauslele pitää kojeistaa yli- ja alijännitteellä. Suojauslelele asettelu on yleensä  $\pm 30V$  eli laukaisu pitäisi tapahtua alijännitteellä 660V ja ylijännitteellä 720V. Tahdistuslähteeseen tulevalle toisella säättömuuntajalla säädetään portaattomasti virtaa 0-15A, joka näkyy liitteessä (liite 2).

### 7.2 Taajuusmuuttaja

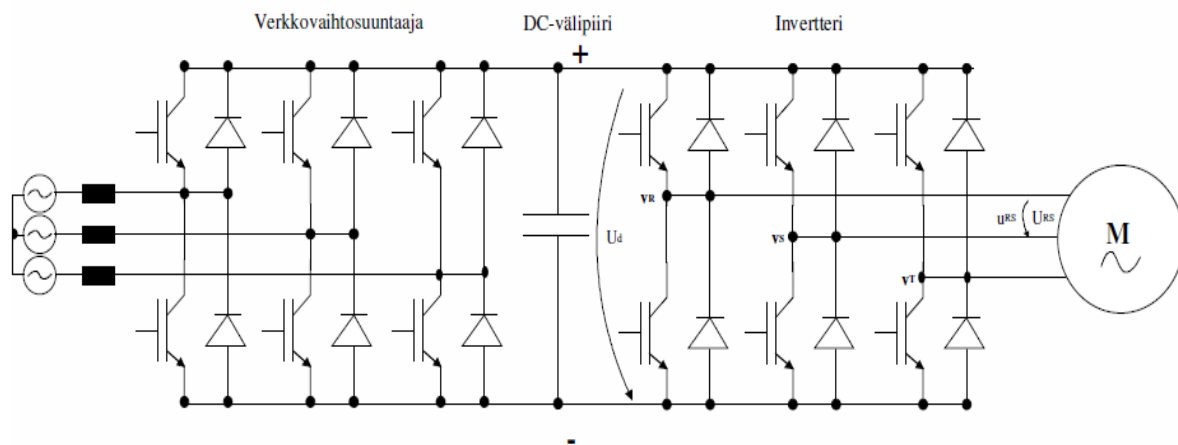
Pääperiaatteessa kaikki taajuusmuuttajat toimivat samalla tavalla, pääjännite tuodaan taajuusmuuttajan tasasuuntaajaan, joka muuntaa jännitteen tasajännitteeksi. Jännite vietään suodatettavaksi välipiiriin ja sieltä taas vaihtosuuntaajalle, joka muuntaa tasajännitteen tarvittavan taajuiseksi ja suuruiseksi vaihtojännitteeksi kuvassa 11 esitetyllä tavalla. Vaihtosuuntaaja on yleisesti toteutettu IGBT-transistoreilla.



**Kuva 11.** Vaihtosuuntaajalta ulostuleva jännite.

Taajuusmuuttajia valmistetaan moneen käyttötarkoitukseen, kuten pumppu- ja puhallinsovelluksiin sekä tehdaskäyttöön. Taajuusmuuttajakäyttöjen etuihin lukeutuu esimerkiksi pieni käynnistysvirta, energian säästö ja mekaanisten rasitusten väheneminen moottorissa.

Taajuusmuuttajalla ohjataan ja säädetään oikosulkumoottorin kierrosnopeutta sekä momenttia. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeuteen vaikuttavat taajuus, jännite ja vastamomentti.



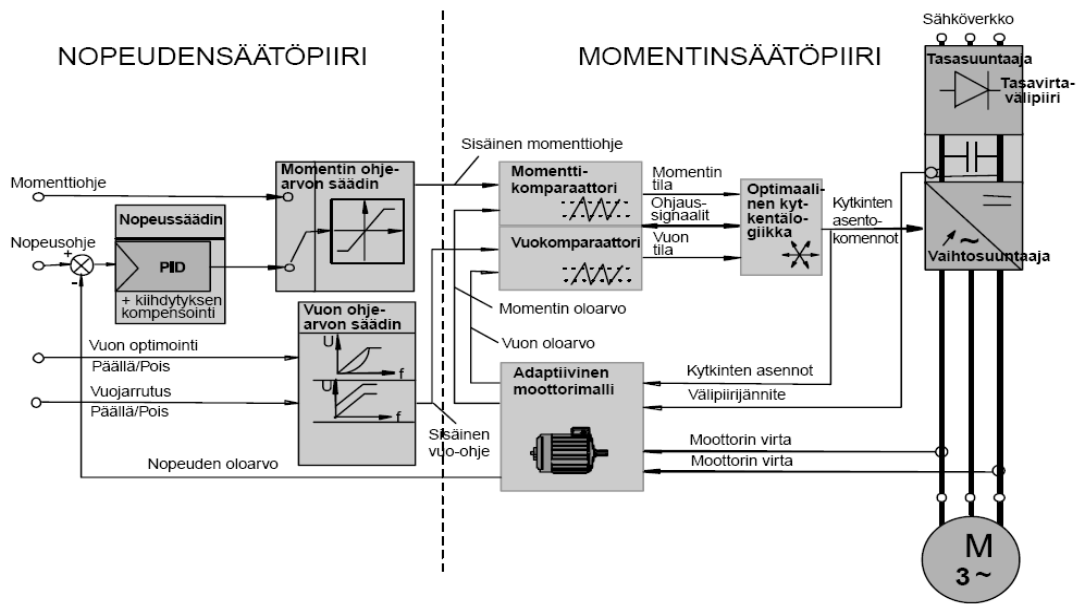
**Kuva 12.** Verkkovaihtosuuntaajalla varustettu jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja.

Taajuusmuuttajan tyyppi valitaan moottorin ja käyttötarkoituksen sekä olosuhteiden perusteella. Taajuusmuuttajan koon valintaan vaikuttavat monet asiat, kuten moottorin tarvitsema virta, teho, momentti sekä käyttöluokka.

Tarkastamoon on tilattu aikaisemmin ABB:n ACS800-sarjaa oleva taajuusmuuttaja. Tätä taajuusmuuttajaa on tarkoitus käyttää uuden tahdistamislaitteen komponenttina. ACS800-sarja on tarkoitettu tehdaskäyttöön. Malli on: ACS800-01-0020-3. /1,11/

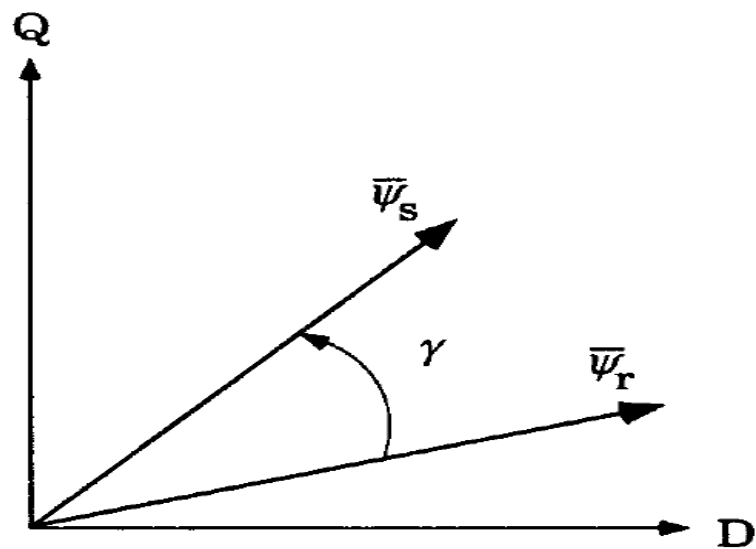
### 7.2.1 DTC-säätö

Taajuusmuuttajan säätötavaksi tulee valita DTC-säätö. Direct Torque Control (DTC) tarkoittaa suoraa nopeuden tai momentin säätöä valinnasta riippuen. Säätö perustuu oikosulkumoottorin staattorivuon säätöön. Vuota säädetään jännitevälipiirillisen suuntaajaan kytkentätiloilla.

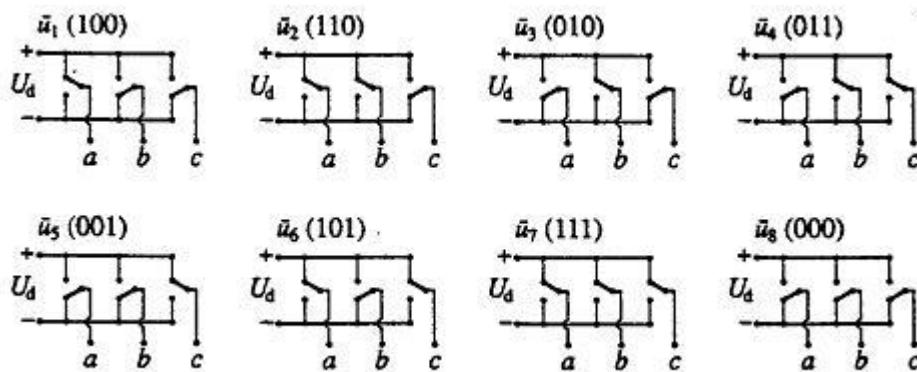


**Kuva 13.** Lohkokaavio DTC-säädön periaatteesta.

DTC-tilassa taajuusmuuttajan säätöperiaate on pitää vakiovoalueella staattori- ja roottorivektorit vakiona sekä halutun hystereesiympyrän sisällä. Momenttia säädetään voiden välistä kulmaa muuttamalla.

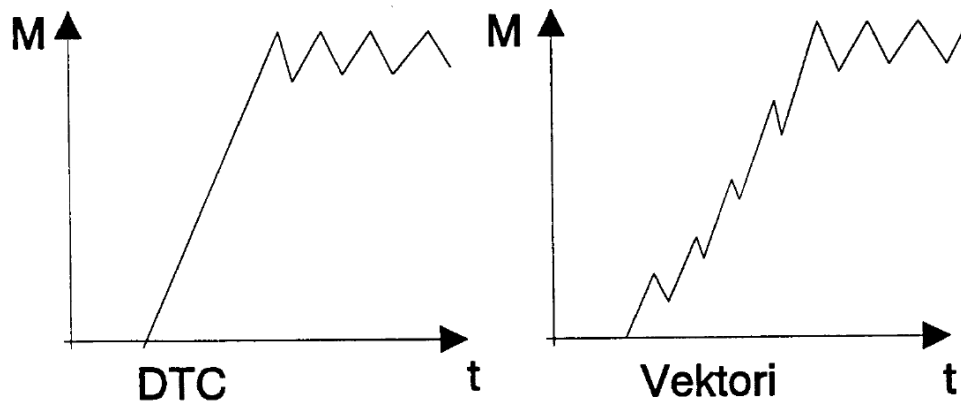


**Kuva 14.** DTC-säädön vektorien periaatekuva.



**Kuva 15.** Kytentäkombinaatiot DTC-säädössä.

Kytentäkombinaatioita on kahdeksan erilaista, joista DTC-säädöllä taajuusmuuttaja valitsee parhaimman jännite-kytensämuodon staattorille. Säätö laskee 25  $\mu$ s välein optimaalisen kytkennän, jolla säädetään staattorivuota sekä momenttia. Säädön nopeus perustuvat oikean kytkentäkombinaation valintaan kun nopeus tai momentti muuttuu moottorilla. Turhat välikytkentäkombinaatiot jätetään välistä ja valitaan paras kombinaatio tilanteen korjaamiseen. Kuvassa 16 näkyy DTC-säädön nopeus verrattuna vektorisäädön nopeuteen oikeana kytkentäkombinaation etsinnässä.



**Kuva 16.** DTC-säädön ja vektorisäädön oikean kytkentäkombinaation etsintä.

Havainnollistamiskuvasta 16 huomataan, että DTC-säätö ei tee välikytkentöjä oikean kytkentäkombinaation saavuttamiseksi kuten vektorisäädetty taajuusmuuttaja ja tähän perustuu säädön nopeus.

**Taulukko 1.** Taajuusmuuttajan nopeus- ja tarkkuustaulukko eri säädöillä takometrillä sekä ilman. /2/

	Skalaarisäätöinen PWM ilman takometriä	Vektorisäätöinen PWM + takometri	Tasavirtakäyttö ja digitaalinen takometri	DTC ilman takometriä	DTC + takometri
<b>VÄÄNTÖMOMENTTISÄÄTÖ</b>					
lineaarisuus	12 %	4 %	3 %	4 %	3 %
toistettavuus	4 %	1 %	-	1 %	1 %
vasteaika	150 ms	10 ... 20 ms	10 ... 20 ms	1 ... 2 ms	1 ... 2 ms
<b>NOPEUSSÄÄTÖ</b>					
Staattinen tarkkuus	1 ... 3 %	0.01 %	0.01 %	0.1 ... 0.5 %	0.01 %
Dynaaminen tarkkuus	3 %s	0.3 %s	0.3 %s	0.4 %s	0.1 %s

Tahdistinlähteen tarkkuus DTC-nopeussäädöllä ilman takometriä on riittävän tarkka tahdistukseen. Staattinen tarkkuus eli nopeuden oloarvon ja ohjearvon välinen tarkkuus on taulukon (**Taulukko 1.**) mukaan 0,1...0,5 %. Käsien

tahdistaessa taajuusmuuttajaan voidaan syöttää esimerkiksi 0,1Hz suurempi taajuus halutusta oloarvosta tahdistuksen onnistumisen varmistamiseen. /2/

### 7.2.2 Taajuusmuuttajan ominaisuudet

Taajuusmuuttajan nimellisarvot:

- 400 V
- Nimellisteho 15 kW
- Nimellisvirta 32 A
- Induktiivinen virta 23 A
- Kuusipulssisuuntaaja
- IP21-suojaus

### 7.2.3 Taajuusmuuttajan parametointi

Taajuusmuuttaja pitää parametroida käyttöönotossa moottorin kilpiarvojen mukaan. Ensimmäisellä käynnistyksellä DTC-säätö valittuna taajuusmuuttaja tekee moottorille ID-ajon (identifiointiajo). Taajuusmuuttajan tekemä ID-ajo tarkoittaa, että taajuusmuuttaja tutkii moottoria syöttäen sille jännitettä ja laskee sen avulla magnetointivirran ja staattori-resistanssin sekä U/f-käyrän. Taajuusmuuttajaan muistiin on valmiiksi ajettu tehtaalla matemaattisia moottorimalleja ja niistä taajuusmuuttaja osaa valita oikean ID-ajossa suoritettujen toimenpiteiden jälkeen. ID-ajo olisi hyvä tehdä ilman kuormaa, koska moottorin käyttäytyminen ääritilanteissa voi vääristyä, jos ajo on tehty kuorman kanssa. Toisaalta moottorin pitäisi tahdistimessa olla käytössä vain kevyellä kuormalla, joten ääritilanteita ei pitäisi tahdistimessa tulla.

Parametointi onnistuu paneelilta käsin tai tietokoneella ABB:n omalla parametointiohjelmalla. Parametointi tehdään vain kerran, jonka jälkeen tahdistinlähde on valmis tarkastamon toimenpiteisiin. Kuvassa 17 on listaus tärkeimmistä parametreista mitkä tarvitaan, että tahdistinlähde toimisi. Ensimmäisellä käynnistyksellä taajuusmuuttaja kysyy moottorin nimellisnopeutta, nimellisjännitettä, nimellisvirtaa sekä nimellistaajuutta. Alempana on vielä



lueteltuna parametrit, jos niitä tarvitsee muuttaa jatkossa moottorin vaihtuessa tai muusta syystä.

99	KÄYTTÖÖNOTTOTIEDOT	
99.01	KIELI	ENGLISH
99.02	SOVELLUKSET	TEHDAS
99.03	SOVEL. PALAUTUS	EI
99.04	MOOTTORIOHJAUS	DTC
99.05	MOOTT NIM JÄNNITE	0 V
99.06	MOOTT NIM VIRTAA	0,0 A
99.07	MOOTT NIM TAAJUUS	50,0 Hz
99.08	MOOTT NIM NOPEUS	2900 rpm
99.09	MOOTT NIM TEHO	0,0 kW
99.10	MOOTT ID-AJO	ID MAGN

**Kuva 17.** Taajuusmuuttajan perusparametrit moottorin kilpiarvoista.

Kuvassa 17 on moottorin käyttöönoton tärkeimmät parametrit, joiden tilalle laitetaan kytketyn oikosulkumoottorin kilpiarvot (parametrit 99.04 - 99.09). Säädoksi siis DTC-säätö (kohta 99.04) ja moottorille käyttöönotossa suoritettava ID-ajo (99.10). Kuvassa 18 lueteltu automaattiseen tahdistamiseen vaadittavat tärkeimmät parametrit sekä selitteet ja ohjearvot parametreille

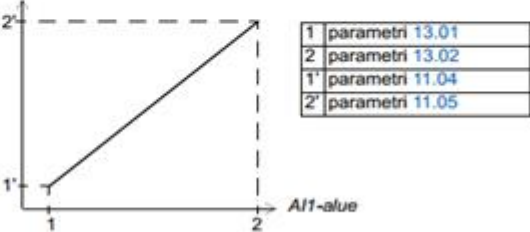
**11.03** valitaan ulkoisen ohjeen ref 1 signaalilähde. Parametriin tulee valita DI3U,4D. Digitaalitulon –DI3 kytketään laivakojeistolta tuleva nostopulssi ja –DI4 kytketään laskupulssi.

**11.04** ref minimi, joka asetetaan 1450 r/min. Tämä tarkoittaa sitä, että automaattiasennossa taajuusmuuttaja ajaa moottoria 1450 r/min ja hienosäätää kierrokset tahdistinreleeltä tulevilla pulsseilla niin, että kojeiston tahdistusehdot täyttyvät. Tämä on aseteltu 50 Hz ja 60 Hz toimivaksi minimitaajuudeksi. Automaattisäädöllä tahdistus kestää kauemmin, jos tarvitaan 60 Hz ohjearvoa, koska tahdistinreleeltä tulevia nostopulsseja tulee huomattavasti enemmän kuin 50 Hz tahdistinohjeistuksessa.

**11.05** ref maksimi, joka asetellaan 1850 r/min. Huomioidaan, että tahdistin toimii myös 60 Hz:llä. Kojeiston haluttu tahdistustaajuus ( $f = 60$  Hz) niin,  $n = \frac{f}{p} \times 60 = 1800$  r/min. Siihen kun lisätään toleranssia 50 r/min, tulee taajuusmuuttajan maksimiohjearvoksi 1850 r/min.

**22.04** ramppiaika kiihdytykselle, määritellään käyttöönotossa. Aloitusarvoksi voi laittaa esimerkiksi 0,1 Hz / pulssi jolloin nähdään onko asetus liian hidas tai suuri automaattitahdistukseen.

**22.05** ramppiaika hidastukselle, määritellään käyttöönotossa. Aloitusarvoksi voi laittaa esimerkiksi 0,1 Hz / pulssi jolloin nähdään onko asetus liian hidas tai suuri automaattitahdistukseen.

11.03	ULK OHJ1 VALINTA DI3U,4D	Valitsee ulkoisen ohjeen REF1 signaalilähteen. Digitaalitulo 3: Ohje suurenee. Digitaalitulo DI4: Ohje pienenee. Ohjelma tallentaa aktiivisen nopeusohjeen (ei nollassa seis-komennolla eikä kytkemällä virtaa pois). Parametri 22.04 määrää ohjesignaalin muuttumisnopeuden.	18
11.04	ULK. OHJ1 MINIMI 0 ... 18000 rpm	Määrittää ulkoisen ohjeen REF1 minimiarvon (absoluuttiarvo). Sama kuin käytössä olevan lähdesignaalin minimiasetus. Asetusalue, rpm. (Hz, jos parametrin 99.04 arvo on SKALAARI.) <b>Esimerkki:</b> Analogiatulo AI1 valitaan ohjeen lähteeksi (parametrin 11.03 arvo on AI1). Minimi- ja maksimiohje vastaavat tulon AI minimi- ja maksimiasetuksia seuraavasti: <i>EXT REF1 -alue</i>  <b>Huomaa:</b> Jos ohje annetaan kenttävytän kautta, skaalaus eroaa analogiasignaalin skaalauksesta. Lisätietoja on luvussa <i>Kenttävytösohjaus</i> .	1 ... 18000
11.05	ULK. OHJ1 MAKSIMI 0 ... 18 000 rpm	Määrittää ulkoisen ohjeen REF1 maksimiarvon (absoluuttiarvo). Vastaa käytetyn lähdesignaalin maksimiasetusta. Asetusalue. (Hz, jos parametrin 99.04 arvo on SKALAARI.) Katso parametri 11.04.	1 ... 18000
22.02	KIIHDYTYSAIKA 1	Määrittää kiihdytysajan 1 eli ajan, joka kuluu nopeuden muutokseen nollassa maksiminopeuteen. - Jos nopeusohje kasvaa nopeammin kuin asetettu kiihdytysaika, moottorin nopeus noudattaa kiihdytysaikaa. - Jos nopeusohje kasvaa hitaammin kuin asetettu kiihdytysaika, moottorin nopeus noudattaa ohjesignaalia. - Jos kiihdytysaika määritetään liian lyhyeksi, taajuusmuuttaja kiihdyttää automaattisesti pidempään siten, että taajuusmuuttajan toimintarajoja ei ylitetä.	
22.03	HIDASTUSAIKA 1	Määrittää hidastusajan 1 eli ajan, joka kuluu nopeuden muutokseen maksiminopeudesta (katso parametri 20.02) nollassa. - Jos nopeusohje pienenee hitaammin kuin asetettu hidastusaika, moottorin nopeus noudattaa ohjesignaalia. - Jos nopeusohje muuttuu nopeammin kuin asetettu hidastusaika, moottorin nopeus noudattaa hidastusaikaa. - Jos hidastusaika määritetään liian lyhyeksi, taajuusmuuttaja hidastaa automaattisesti pidempään siten, että taajuusmuuttajan toimintarajoja ei ylitetä. Jos on epäilystä, että hidastusaika on liian lyhyt, tulee varmistaa, että DC-ylijännitteen valvonta on käytössä (parametri 20.05). <b>Huomaa:</b> Jos lyhyttä hidastusaikaa tarvitaan suurinertiasovelluksessa, on suositeltavaa varustaa taajuusmuuttaja sähköisellä jarrutuksella eli jarrukatkojalla ja jarruvastuksella.	
22.04	KIIHDYTYSAIKA 2	Katso parametri 22.02.	
22.05	HIDASTUSAIKA 2	Katso parametri 22.03.	

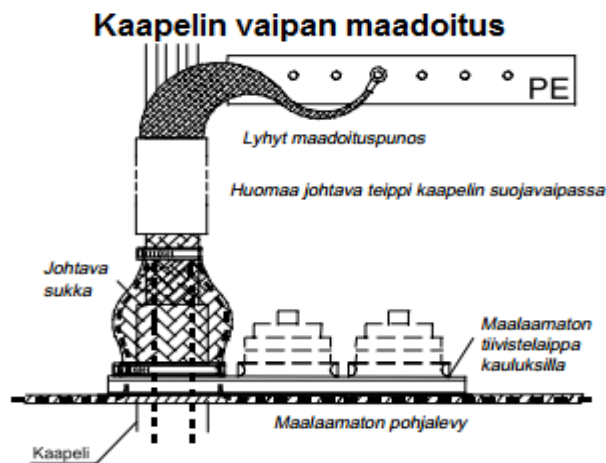
**Kuva 18.** Tarvittavat parametrit automaattitahdistukseen.

Käyttöönnotossa moottoria käynnistäessä, jos moottori alkaa rämistä, ongelma on yleensä vahvistuksessa. Yleensä sen voi tehdä pienentämällä vahvistusta. Vahvistuksen voi säätää tarkasti kohdalleen värähtelykoemenetelmällä, johon tarvitaan oskilloskooppia. /5,10/

## 7.2.4 EMC-suojaus

EMC-suojaus tulee englannin kielen sanoista Electromagnetic Compatibility, joka tarkoittaa sähköisten laitteiden kykyä toimia häiriöttömänä sähköverkossa. EMC-suojaus on tärkeä taajuusmuuttajakäytössä, koska taajuusmuuttajan IGBT-tyristorit aiheuttavat kytkentähetkillä suuritaajuisia häiriöitä, jotka etenevät kaapeleita pitkin muihin laitteisiin. Suuritaajuiset häiriöt voivat vaurioittaa piirikortteja tai aiheuttaa häiriöitä väylässä toimivien laitteissa. EMC-suojauksessa tulee huomioida valmistajan ohjeet kaapeloinnissa ja rungon maadoituksissa.

Taajuusmuuttajan asennus pitää tehdä niin, että taajuusmuuttajan runko maadoitetaan hyvin tahdistimen koteloon sekä moottorikaapeli valitaan siten, että vaipan maadoitus on mahdollista 360-asteisesti moottorin ja taajuusmuuttajan päässä kuvassa 19 esitetyllä tavalla. Tahdistimen koteloon on jätettävä maalamatonta pintaa jota voidaan käyttää kaapeleiden ja laitteiden maadoituksissa. Ohjaus- ja moottorikaapelit on suositeltavaa pitää erillään, etteivät häiriöt pääsisivät indusoitumaan ohjauskaapeliin.

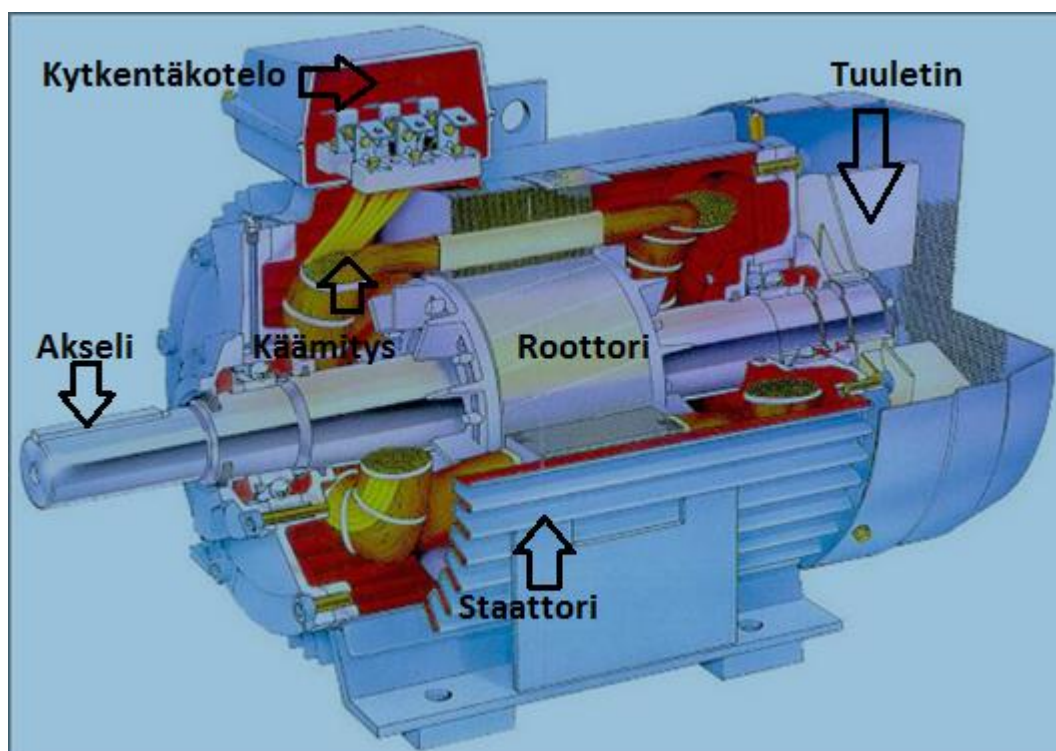


**Kuva 19.** Kaapelin vaipan maadoitus. /13/

### 7.3 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori on yleisin teollisuudessa käytetty sähkömoottori. Oikosulkumoottori on epätahtikone, jonka pyörimisnopeus riippuu vastamomentista. Oikosulkumoottorin suosioon ovat vaikuttaneet moottorityypin erinomaiset ominaisuudet, joista tärkeimmät ovat:

- yksinkertainen ja luja rakenne
- hyvä hyötysuhde ja alhaiset huoltokustannukset
- soveltuu hyvin myös vaativiin ympäristöolosuhteisiin.



**Kuva 20.** Oikosulkumoottorin rakenne.

Oikosulkumoottorin (**Kuva 20**) kaksi tärkeintä sisäistä komponenttia ovat roottori ja staattori. Oikosulkumoottorin pyörivää osaa nimitetään roottoriksi, jossa on käämit ja levyistä tehty magneettiipiiri. Staattorissa on myös käämitys sekä levyistä tehty magneettiipiiri. Jännite syntyy indusoitumalla roottorista ilmvälin kautta staattorille. Epätahtikoneessa ei ole siis muuta kuluva osaa kuin

runkolaakerit. Tahtikoneessa kuluvia osia on hiiliharjat sekä liukurenkaat, jotka kuluvat käytön mukaan ja tarvitsevat huoltoa.

Tähän työhön valittu moottori on oikosulkumoottori, joka on teholtaan 7,5 kW. Oikosulkumoottorin etuihin lukeutuu sen huoltovapaus käytön kannalta ja toimivuus taajuusmuuttajakäytössä. Oikosulkumoottori on suhteellisen pieni valitun taajuusmuuttajan kanssa mutta taajuusmuuttajan ACS-800-1 manuaalissa sanotaan, että DTC-säädöllä moottorin nimellisvirta (14,9 A) pitää olla vähintään  $1/6$  taajuusmuuttajan  $I_{2hd}$  (23 A) arvosta eli  $\frac{1}{6} * 23A = 3,83 A$  eli oikosulkumoottorin pitäisi toimia normaalisti taajuusmuuttajan kanssa.

Moottorin valintaan vaikuttavat runkokoko, kuormitettavuus ja tarvittava pyörimisnopeus. Moottoriksi valitsin ABB:n valuraudasta tehdyn oikosulkumoottorin **M2BA 132 SMC**. /1,2,11/

Oikosulkumoottorin kilpiarvot ovat:

- Jännite 400 V
- Taajuus 50 Hz
- Teho 7,5 kW
- Nimellisvirta 14,9 A
- 4 napaa
- Kierrosluku 1450 r/min
- $\cos \phi = 0,81$
- Hyötysuhde 89 %

Nimellismomentti saadaan kaavasta

$$M_N = \frac{P_N}{2\pi n_N} = \frac{7500W}{2\pi \left(\frac{1450}{60}\right)} = 49,4 \text{ Nm} \quad (3)$$

## 7.4 Generaattori

Generaattorin valintaan vaikuttaa fyysinen koko, ulostuloteho sekä mekaaniset ominaisuudet. Generaattori tulisi valita niin, että laivakojeiston sähköntarve toteutuu ja se ei olisi ali- tai ylimitoitettu. Tahdistimen generaattorilla ei pyritä syöttämään kuin pientä tehoa kojeistoon tahdistuksien aikana, joten generaattori tulee olemaan pienitehoinen.

Generaattoreita valmistetaan moneen tarkoitukseen ja erilaisilla rakenteilla, mutta tässä työssä keskitytään vain pienimpään laivageneraattoriin. Laivageneraattorin standardit ovat erilaiset kuin maapuolen generaattoreilla. Vaikka generaattori tulee fyysisesti olemaan teollisuushallin lattialla, niin valintaan vaikutti se, että tahdistamisprosessi vastaisi oikeata laivakäyttötahdistusta.

Generaattorin tehtävänä tahdistinlähteessä on simuloida oikeata tilannetta laivassa. Laivassa on monia generaattoreita, joita käytetään joko satamassa tai laivan ollessa liikkeellä. Tahdistimen generaattori on kooltaan paljon pienempi kuin laivassa kojeistoon liitettävä, mutta sillä saadaan simuloitua tarvittavat suojausien testit sekä tahdistamiseen ja ohjauksiin liittyvät toimintatarkastukset.

Tahdistimen komponenttien valitsemisessa, mitoitusjärjestyksessä ensimmäisenä oli generaattori, jonka valinnassa päädyttiin pienimpään mahdolliseen laivageneraattoriin mitä ABB:n luetteloista löytyi. Generaattori on teholtaan 12 kVA, joka on tähän käyttöön ylimitoitettu, mutta se ei aiheuta ongelmia tahdistuslähteessä. Generaattorista otetaan tarkastuksessa hyvin pieni määrä tehoa ulos normaalissa laivakojeiston tarkastuksessa. Laivakojeistolle tehtävissä toimintokokeissa pyritään pitämään verkkoa syötettävän tehon lähteenä kojeistolle.

Valittu generaattori on ABB:n laivageneraattori **AMG 0180AA04 DBAM**. /12/

## 7.5 Kontaktorit

Kontaktori on sähkömagneettinen kytkin, jota ohjataan vaihto- tai tasajännitteellä. Kontaktorin rakenne on yleensä aina vakio, mihin kuuluu pääkoskettimet, rautasydän ja ohjauskela. Ohjauskela voidaan valita tarpeen mukaan vaihtojännitteelle tai tasajännitteelle. Ohjauskela on nimensä mukaisesti kontaktorin ohjaukseen tarkoitettu käämi, joka on kontaktorin magnetointipiirissä. Kun ohjauskela saa jännitteen, syntyy kontaktorin rautasydämeen voima, joka vetää rautaosat yhteen ja sulkee pääpiirin koskettimet. Ohjausjännitteen katketessa tai alentuessa alle raja-arvon kontaktorin rautasydäntä yhteen vetävä voima alentuu ja rautasydän avautuu sydämessä olevien jousien avulla.

Kontaktoreita on suunniteltu erilaisiin tarkoituksiin, yleisimmät ovat oikosulkumoottorin tai lämmittimen ohjaukseen tarkoitettuja. Valmistaja ilmoittaa aina kontaktorin nimellisvirran, nimellisjännitteen, ohjauskelaan vaadittavan jännitteen sekä kontaktorin käyttöluokan.

Kontaktoria voidaan myös nimittää releeksi, jos ohjattava jännite on pieni tai sillä katkotaan jotain muuta kuin pääjännitettä. Kontaktorilla ei kuitenkaan voida eikä sen tarkoitus ole katkaista oikosulkuvirtaa.

Kontaktorin tehtävä on kytkeä ja katkoa jännite taajuusmuuttajalle. Kontaktorin ohjaus tulee suunnitella niin, että jos jokin suojauksista laukeaa, niin kontaktorin ohjauskelan jännite katkeaa ja pääkoskettimet avautuvat. Tällöin jännitesyöttö katkeaa taajuusmuuttajalta ja oikosulkumoottori pysähtyy. Kontaktoriin saa kiinni myös apukoskettimia, joilla voidaan viedä tieto valvontaan kontaktorin tilasta.

Tahdistinlähteeseen taajuusmuuttajan eteen tuleva kontaktori valitaan moottorin taajuusmuuttajan nimellisvirran ja käyttötarkoituksen mukaan. Kontaktoreille on olemassa teknisiä mitoitus taulukoita, joista voi suoraan valita kontaktorin tiedettäessä taajuusmuuttajan koko, oikosulkumoottorin nimellisvirta tai lämmittimen teho. Tässä tietenkin taajuusmuuttajan tiedot vaikuttavat kontaktorin kokoon. Valitsin kontaktorin suoraan ABB:n mitoitus taulukosta, kun tiedettiin taajuusmuuttajan malli. Kontaktoriksi on valittu **ABB:n AC-1 luokan A30**.



A30-kontaktori kestää noin miljoona kytkentää, mikä tässä tapauksessa riittää moneksi kymmeneksi vuodeksi, koska tahdistinlähde tulee käyttämään noin kerran viikossa.

Muita pienempiä apukontaktoreita tulee myös työhön ja niitä kutsutaan releiksi, koska ne eivät katko pääjännitettä. Releiden tyyppi ja kokoluokka selviää osaluettelosta, mutta ne toimivat toiminnallisesti samoin kuin yllä olevassa tekstissä kontaktorit.

## **7.6 Suojaukset**

Suojauksien merkitys tahdistinlähteessä on suuri. Tahdistinlähteessä on monia komponentteja, jotka tarvitsevat suojausta yllättävissä tilanteissa tai verkon häiriöiden vuoksi. Myös käyttäjälle pitää olla standardin mukaiset suojaukset. Suojauksikomponentit ovat listattu työn lopussa olevassa liitteessä 5. Suojauksien tarkka mitoitus ja selektiivisyyden toteutuminen jää valmistajan harteille.

### **7.6.1 Maasulkusuojaus**

Maasulkusuojauksen mittaamista voidaan toteuttaa monella eri menetelmällä mutta ABB:n kojeet mittaavat vaiheen ja maan välistä resistanssia ja kun alaraja saavutetaan, niin koje ilmoittaa viasta hälytyksenä tai katkaisee piirin kytkennästä riippuen. Resistanssin raja-arvon saa aseteltua 1 – 100 kΩ sekä 2 – 200 kΩ, joista jälkimmäinen voi olla hälytysraja ja toinen katkaisuraja.

Kolmivaiheinen maasulkusuojaus toteutetaan ABB CM-IWS-kojeella sekä generaattorin että verkon puolelta. Jännitejakelun yksivaiheinen maasulkusuojaus toteutetaan ABB CM-IWN-kojeella.

### **7.6.2 Oikosulkusuojaus**

Oikosulku- ja ylikuormitussuojaus tahdistinlähteen generaattoripuolen ulostuloista suojataan ABB:n omilla johdonsuojakatkaisijoilla S203-B10, jotka ovat kolmevaiheisia, laukaisukäyrä B ja virtaraja 10 A. Verkosta otettava jänniteulostulo, erotus- ja säätömuuntajan jälkeen suojataan ABB:n S203-B10 johdonsuojakatkaisijalla. Taajuusmuuttajan ACS-800-01-0020-3

etusuojakojeeksi ABB:n mitoitustaulukon mukaan OS63 ja sulakkeiksi 40 A OFA 000, joiden nopeusluokka on H.

### **7.6.3 Kriittinen vaara (häätäseis-painonappi)**

Häätäseis-painonappi asennetaan näkyvään paikkaan tahdistinlähteen paneelille niin, että käyttäjän tai muun henkilön on helppo havaita kytkin ja tarpeen vaatiessa myös painaa nappi pohjaan. Napin painautuessa pohjaan koskettimet aukeavat ja tämä ohjaa pääkontaktorin pitopiirin auki, joka katkaisee tahdistimenpuolen sekä verkonpuolen pääjännitteet ulostuloliittimistä.

## **7.7 Hallintalaitteet**

Käyttäjän pitää olla ajan tasalla tahdistamisen aikana taajuudesta, generaattorin virrasta ja jännitteestä. Käyttäjän täytyy saada halutessaan tietää jännite esimerkiksi generaattorin ulostuloliittimissä tai verkon puolen liittimissä varmistaakseen toimivan tahdistuksen ja saadakseen varmuuden, että kaikki toimivat tahdistinlähteessä oikein.

Kaikki mittaukseen liittyvät paneelit asetellaan tahdistimen kannelle niin, että käyttäjän on helppo lukea mittareita tahdistuksen aikana. Hallintalaitteet merkitään selvästi omilla tunnuksillaan ja asennetaan loogisesti kannelle. Tahdistimen ja normaalin jännitejakelun välille teipataan tahdistimen kanteen erotusteippi tai muu huomiota herättävä merkkaus niin, että vältyttäisiin virhekytkennöiltä.

Laivakojeistoissa on kiskostoissa virtamuuntimia jotka toimintakokeen aikana täytyy tarkastaa, koska kojeistoa ei voida ajaa oikealla kuormalla. Virtamuuntajien ollessa esimerkiksi 3000A/5A pitää muuntajat tarkastaa ajamalla virtaa suoraan virtamuuntajan toisio-puolelle ja toteamalla, että virtamuuntaja toimii ja on kytketty oikein. Tahdistinlähteessä tarvitaan siis virransyöttöä kojeistolle, jota voidaan säätää 0 – 15 A. Virtaa säädetään portaattomasti yksivaihesäätömuuntajalla.

## **8 TEKNILLISET KUVAT JA LUETTELOT**

### **8.1 Hahmotelmat tahdistuslähteen sähköisistä kaavioista**

Liitteen 1 lohkokaaviokuvasta selviää taajuusmuuttajan syöttö- ja lähtökytkennät. Liitteessä 2 generaattorin pääjännitekaavio sekä virtaulostulo. Liitteessä 3 verkonpuolen jännitejakelut. Kaaviot ovat tehty suuntaa-antaviksi, joista selviää komponentti ja sen tunnus. Tunnukset ovat samat kuin osaluettelossa.

### **8.2 Osaluettelot**

Osaluettelosta (liite 5) nähdään laitteen valmistaja, malli, tekniset speksit, laitetunnus ja kappalemäärät. Osaluettelossa otettu huomioon vain pääpiirteittäin tarvittaviin sähköisiin komponentteihin, joten tahdistuslähteen valmistajan tulee valita mekaaniset osat, sekä varmistaa sähköiseen suojaukseen valitut komponentit.

### **8.3 Mekaaniset mitoitukset ja rakenteet**

Mekaanisessa mitoituksessa otetaan huomioon käyttäjän helppous hallita laiteita, työturvallisuus, liittimien näkyvä sijainti ja siirrettävyys. Tahdistimessa tulee olla tukeva rakenne, koska painoa on paljon. Tahdistinta pitää olla mahdollisuus siirtää paikasta toiseen helposti, joten isot kääntyvät pyörät tulee asentaa koteloinnin alle.

Painoa laitteelle tulee noin 500 kg. Tahdistimen eri komponenttien painot ovat: oikosulkumoottori 73 kg, generaattori 115 kg, taajuusmuuttaja 14 kg ja muuntajat 50 kg + apujännitejakelut 200 kg. Lisäksi tulevat kaikki tarvittavat johdotukset, pienet kojeet sekä runko. Liitteessä 4 on hahmotelma rakennekuva tahdistuslähteen kotelosta.

### **8.4 Toimintaseloste**

Tahdistinlähteen käyttö vaatii sähköalan tuntemusta sekä perusosaamista taajuusmuuttajan käytöstä. Taajuusmuuttajan parametreihin ei tarvitse koskea

muutoin kuin kojeiston 60 Hz:n tahdistuksessa. Manuaaltilassa paneeliin syötetään vain haluttu kierrosnopeus tai taajuus.

Tahdistinlähteeseen kytketään ensiksi harting-liitin kiinni (tahdistinpuolen liittimeen) ja käännetään pääkytkin päälle. Taajuusmuuttajan paneeliin syttyy valot ja verkonpuolen jännitemittarit näyttävät jännitteen. Sen jälkeen tahdistin on valmiina käyttöön.

Tahdistimen voi valita joko automaattiasennossa tahdistamaan automaattisesti, kun kojeiston tahdistusreleeltä kytketään nopeuden lasku- tai nostopulssin johtimet tahdistimen nopeus plus- ja miinus-liittimiin. Manuaalisesti tahdistaminen onnistuu helposti ajamalla taajuusmuuttajan paneelilta käsin. Taajuusmuuttajaan pitää vain syöttää oikea taajuus (50 Hz:llä 1500 r/min tai 60 Hz:llä 1800 r/min). Generaattorin tekemä jännite tuodaan muuntajien ja sähköisten suojakojeiden kautta tahdistinlähteen kanteen, josta jännite voidaan kytkeä laivakojeiston kiskoihin. Laitteen valmistajan tulee tehdä tahdistuslähteestä tarkat käyttö- ja turvallisuusohjeet tilaajalle.

## 9 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyöni oli mielestäni laaja aihe-alueeltansa ja haastava, mutta mielenkiintoinen. Työn aloituksessa meni kauan, ennen kuin havainnollistin työn tavoitteet. Työn aloitin tutkimalla vanhaa tahdistinlähdettä. Vanha tahdistinlähde on edelleenkin toimintakuntoinen, mutta tahdistamisessa esiintyvät ongelmat taajuuden huojunnassa ja laitteen siirrettävyydestä tekee työstä hankalaa ja epämiellyttävää.

Uuden tahdistinlähteen suunnittelussa aloitettiin työ tekemällä kartoitusta erilaisista kokoonpanovaihtoehdoista, millä tahdistinlähde voitaisiin toteuttaa. Esittelin ABB:lle lyhyesti kaksi vaihtoehtoa, miten mielestäni sovellus kannattaisi toteuttaa. Totesimme, että olisi järkevintä tehdä tahdistuslaite, joka vastaisi laivassa olevaan järjestelmää eli taajuusmuuttajalla ohjattuna oikosulkumoottori - generaattori yhdistelmää.

Tahdistimeen tulevista komponenteista taajuusmuuttaja oli jo valmiiksi hankittu yritykseen, jonka ympärille lähdettiin mitoittamaan oikosulkumoottoria, generaattoria sekä muita pienempiä komponentteja. Taajuusmuuttaja, oikosulkumoottori ja generaattori ovat työhön tehollisesti ylimitoitettut, koska kojeistoon ei ole tarkoitus syöttää tehoa tahdistimen kautta. Ylimitoitus antaa tahdistuslähteelle enemmän käyttömahdollisuuksia tarkastamoon, koska sillä voidaan jatkossa myös syöttää tehoa kojeistoon.

Työn yksi vaativimmista osuuksista oli pohtia kuinka taajuusmuuttaja parametroitaisiin toimivaksi niin, että kojeisto voidaan tahdistaa 50 Hz:llä sekä 60 Hz:llä automaattisesti tai manuaalisesti. Automaattiasennossa tahdistusohjauksen taajuuden nostoon tai laskuun antaa käskyn laivakojeistolla oleva tahdistuslogiikka.

Työn tavoitteet, jotka kirjattiin aloituspalaverissa, sain omasta mielestäni tehtyä ja kirjattua sekä piirsin tavoitteisiin kirjatut hahmotelmakuvat tahdistimen rakenteesta ja lohkoaviot taajuusmuuttajasta, generaattorista sekä verkonjännitejakelusta. Työn määrittelyssä ohjeena oli piirtää tahdistinlähteestä

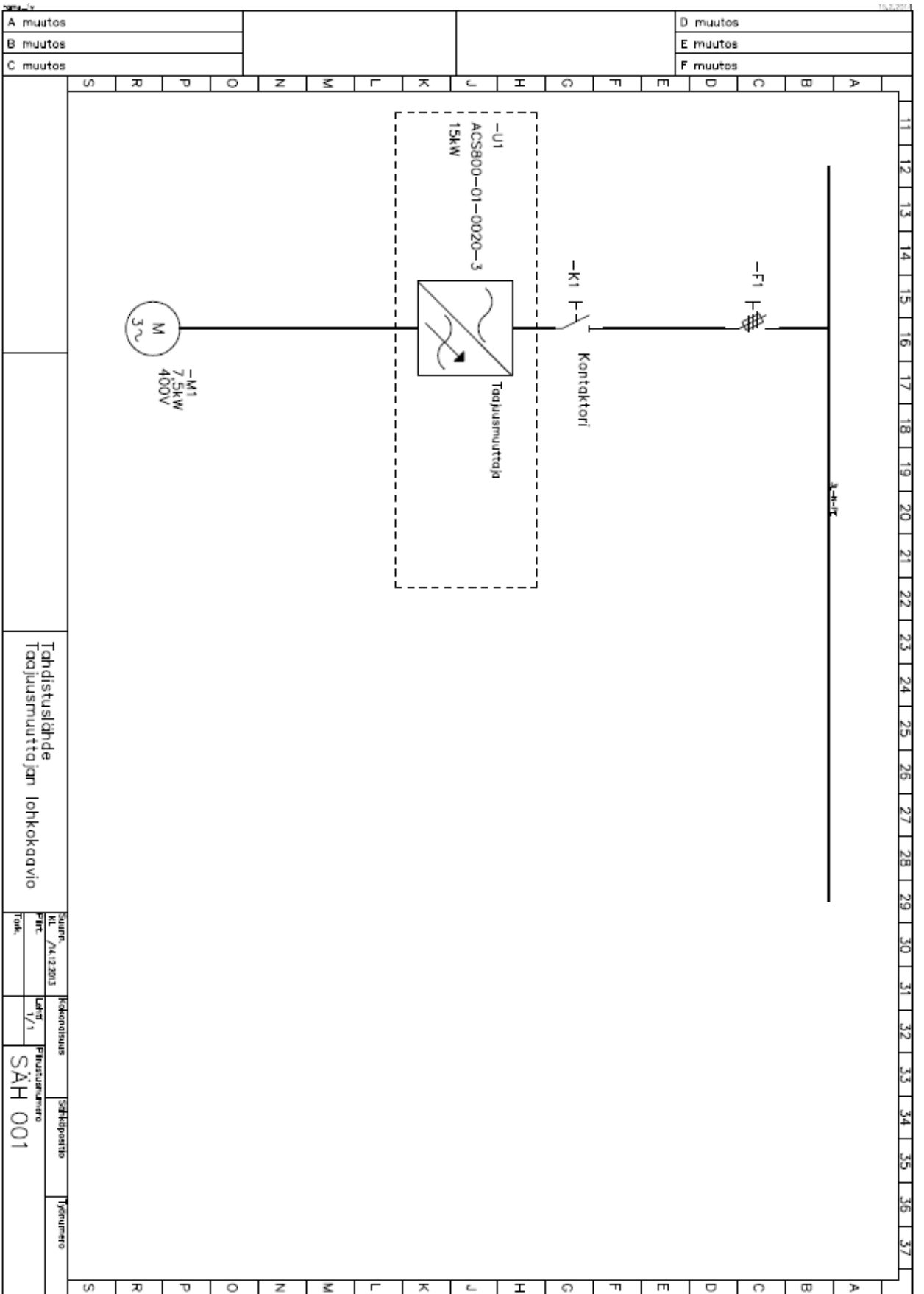
piirikaavio kuvat, mutta työtä rajattiin niin, että kuvat vaihdettiin ”lohkokaavioiksi”, joissa näkyy tärkeimmät suojaukset, mittaukset ja komponentit tahdistinlähteestä.

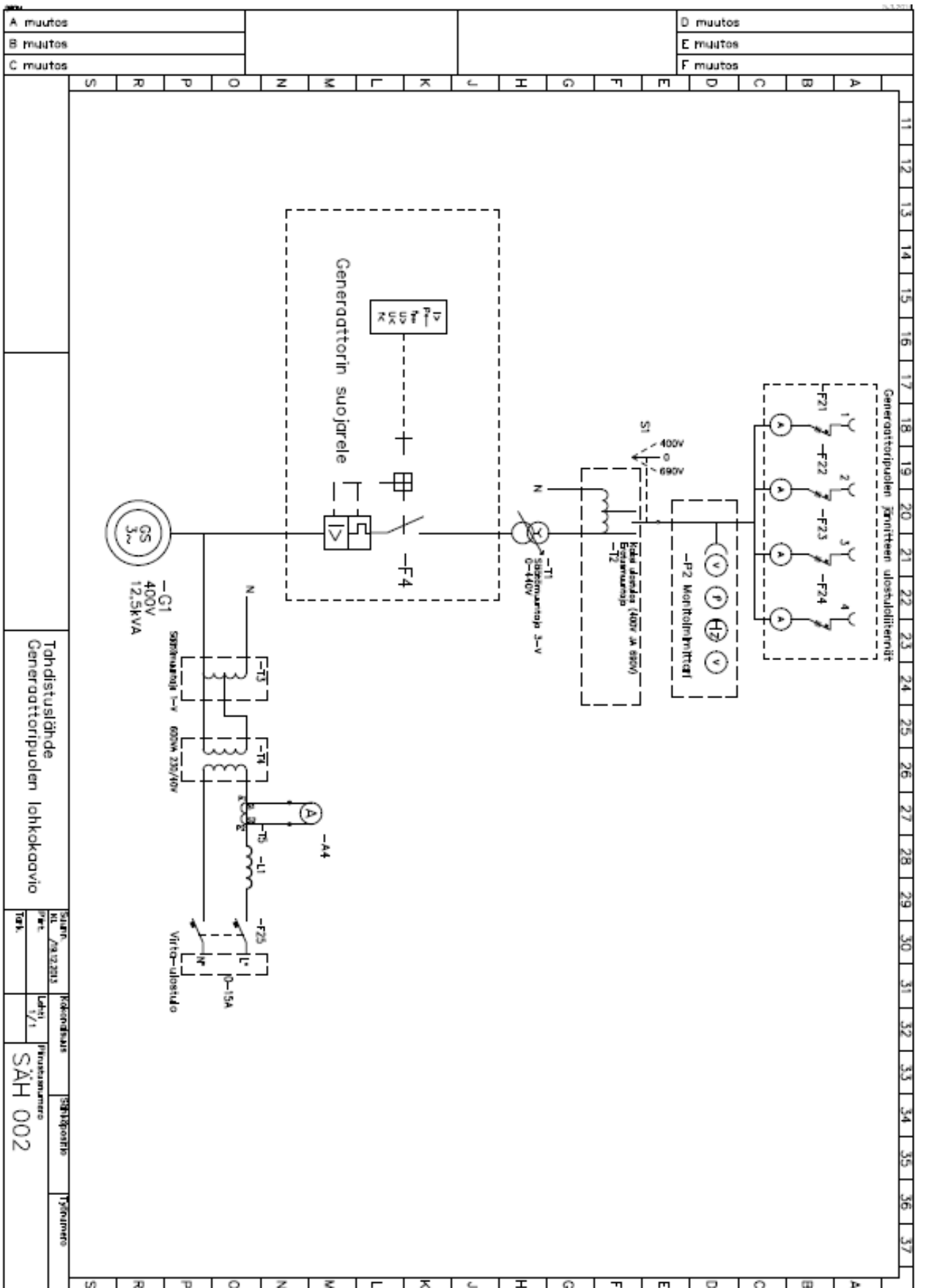
## LÄHTEET

- /10/ ABB ACS-800-sarjan taajuusmuuttajien manuaali. Viitattu 10.10.2013.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/0cb03a89ae71bba5c1257b97004fdb01/\\$file/EN\\_%20ACS800\\_01\\_HW\\_K\\_A4.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/0cb03a89ae71bba5c1257b97004fdb01/$file/EN_%20ACS800_01_HW_K_A4.pdf)
- /12/ ABB AMG 0180AA04 DBAM generaattori. Viitattu 13.12.2013.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/045a95b2e956083e48257a0d000cfac4/\\$file/LV%20generator%20catalogue%20-%20standard%20marine%20CN%20lr%20201205.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/045a95b2e956083e48257a0d000cfac4/$file/LV%20generator%20catalogue%20-%20standard%20marine%20CN%20lr%20201205.pdf)
- /11/ ABB M2BA 132 SMC oikosulkumoottori. Viitattu 20.9.2013.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/11c6e0af95bf9782c1257c010036a39a/\\$file/General%20performance%20IE2%20motors%20EU%20M%20EPS%209AKK105789%20EN%2001\\_2013%20Rev%20A.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/11c6e0af95bf9782c1257c010036a39a/$file/General%20performance%20IE2%20motors%20EU%20M%20EPS%209AKK105789%20EN%2001_2013%20Rev%20A.pdf)
- /5/ ABB Ohjelmointiopas, ACS800 Vakio-ohjausohjelmisto 7.x. Viitattu 10.1.2013.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/1f16612ce8c43d2ec12579760030018b/\\$file/FI\\_ACS800\\_standard\\_ctr\\_prg\\_FW\\_L.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/1f16612ce8c43d2ec12579760030018b/$file/FI_ACS800_standard_ctr_prg_FW_L.pdf)
- /13/ ABB Tekninen opas nro 3. Viitattu 12.1.2014.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/bb3f0dff646d5948c1256d2800411386/\\$file/technicalguideno\\_3fi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/bb3f0dff646d5948c1256d2800411386/$file/technicalguideno_3fi.pdf)
- /6/ DEIF CSQ-3 synkronisaattorin manuaali. Viitattu 20.11.2013.  
[http://www.deif.com/Ecom/Marine\\_-\\_Offshore\\_Technology/Marine\\_-\\_Offshore\\_Control\\_Technology/Products/Synchronisation/CSQ\\_3.aspx](http://www.deif.com/Ecom/Marine_-_Offshore_Technology/Marine_-_Offshore_Control_Technology/Products/Synchronisation/CSQ_3.aspx)
- /7/ DEIF FAS-113DG. Viitattu 21.11.2013.  
[http://www.deif.com/Ecom/Marine\\_-\\_Offshore\\_Technology/Marine\\_-\\_Offshore\\_Control\\_Technology/Products/Synchronisation/FAS\\_113DG.aspx](http://www.deif.com/Ecom/Marine_-_Offshore_Technology/Marine_-_Offshore_Control_Technology/Products/Synchronisation/FAS_113DG.aspx)
- /8/ DEIF GPU-3. Viitattu 21.11.2013.  
[http://www.deif.com/Ecom/Marine\\_-\\_Offshore\\_Technology/Marine\\_-\\_Offshore\\_Control\\_Technology/Products/Protection/GPU\\_3.aspx](http://www.deif.com/Ecom/Marine_-_Offshore_Technology/Marine_-_Offshore_Control_Technology/Products/Protection/GPU_3.aspx)
- /9/ DEIF PPU-3. Viitattu 20.11.2013.  
[http://www.deif.com/Ecom/Marine\\_-\\_Offshore\\_Technology/Marine\\_-\\_Offshore\\_Control\\_Technology/Applications/Marine/Containers/PPU\\_3.aspx](http://www.deif.com/Ecom/Marine_-_Offshore_Technology/Marine_-_Offshore_Control_Technology/Applications/Marine/Containers/PPU_3.aspx)
- /1/ Jokinen, Kari 2010, Opetusmateriaali. Moottorikäyttöjen ohjaus ja suojaus
- /2/ Jokinen, Kari 2010, Opetusmateriaali. Moottorikäyttöjen säätö.
- /3/ Verkkonen, Vesa 2010, Opetusmateriaali. Sähkömoottorikäytöt 1. Sähkökoneiden perusteita ja tasasähkökoneet.

/4/ Verkkonen, Vesa 2010. Opetusmateriaali. Sähkömoottorikäytöt 3.  
Tahtikoneet.

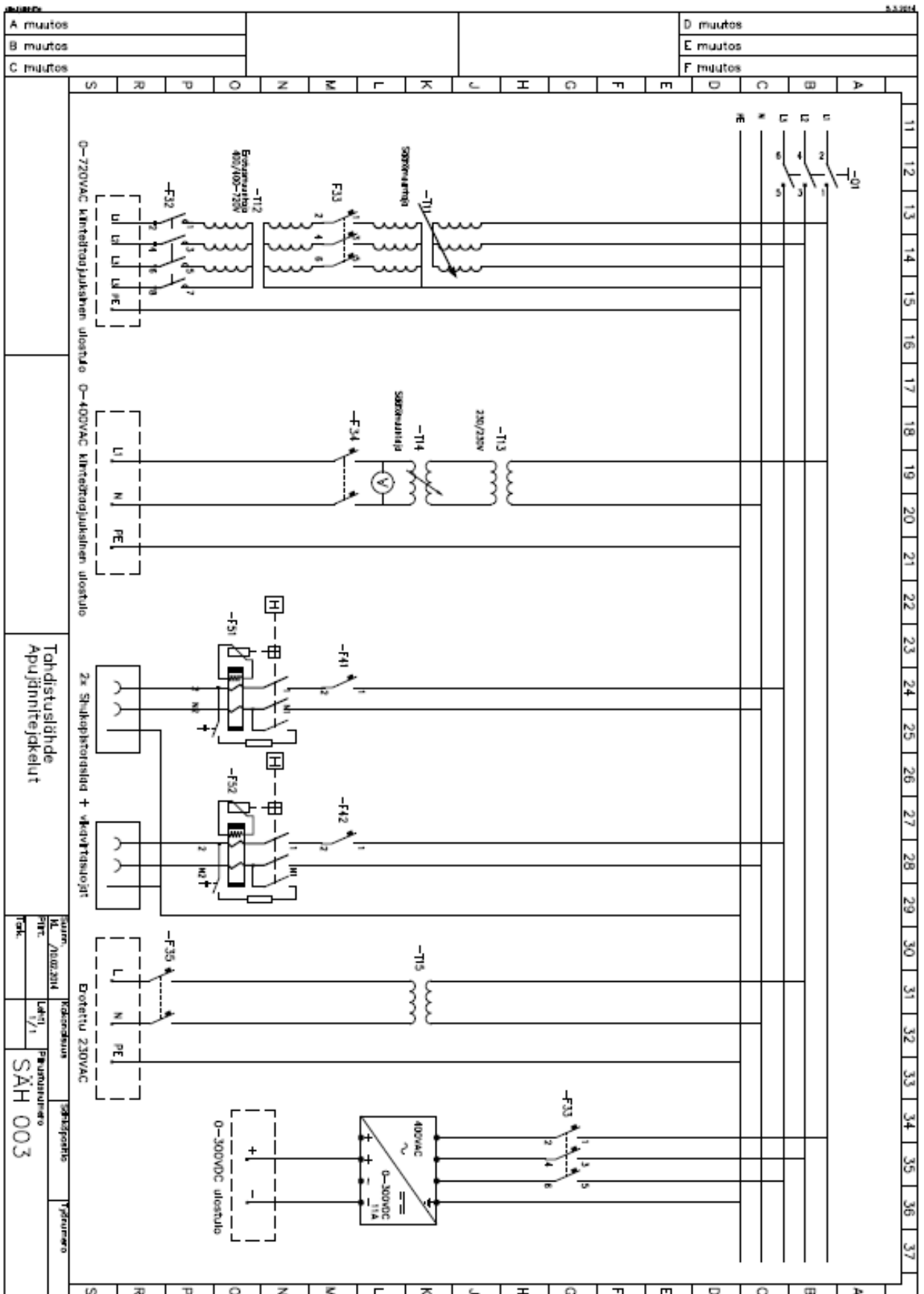


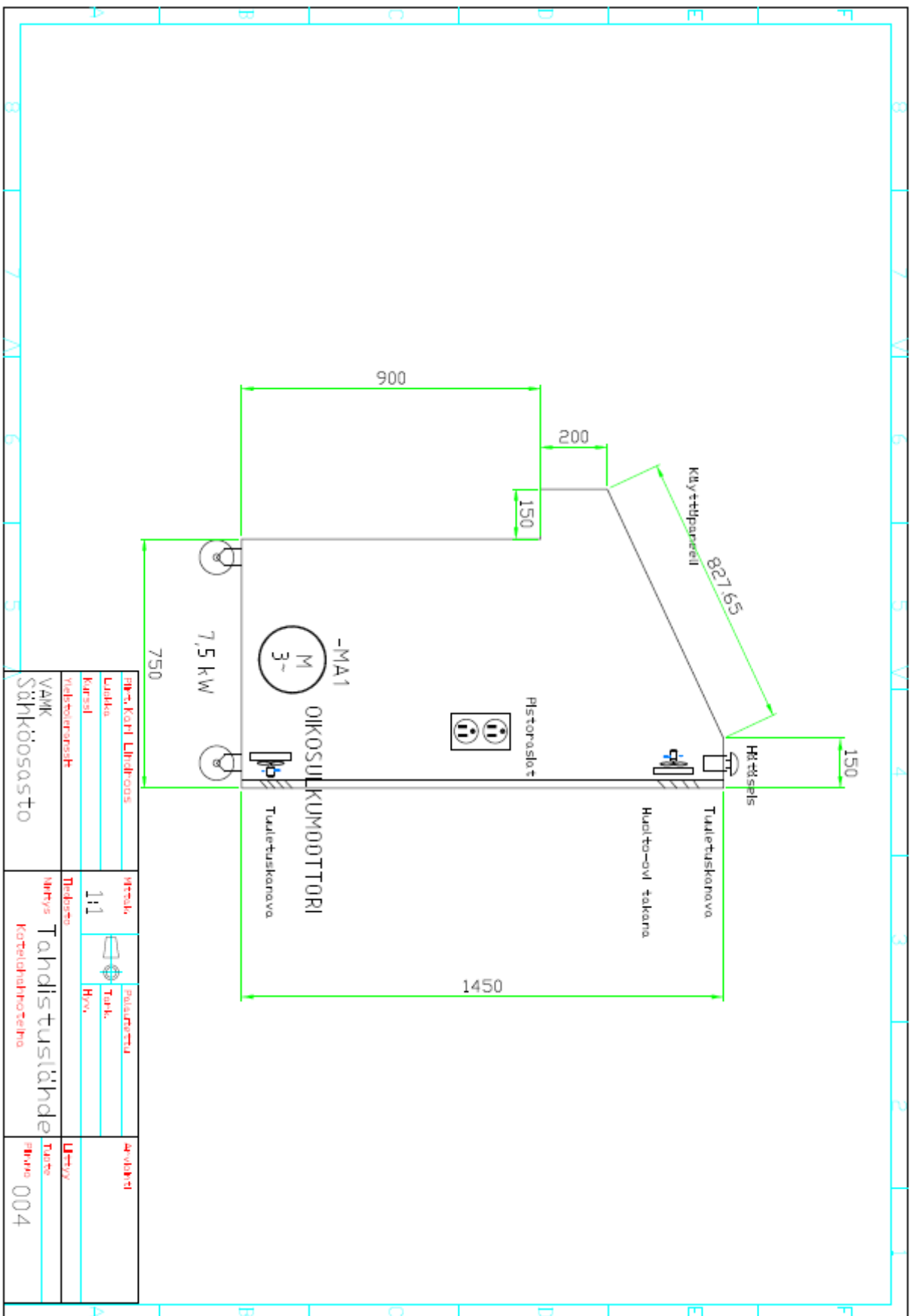




Tahdistuslähde  
Generatoripuolen lohkokaavio

Sivun nro./v. 2013	Kokonaissivut
11 / 2013	5/1
Tila	
SÄH 002	
Sivun nro.	Yksikön nro.
11	002





Tahdistuslähteen pääkomponenttien osaluettelo						
Koje	Valmistaja	Malli	Tekniset speksit	Kplimäärä	Kojetunnus	
Oikosulkumoottori	ABB Oy	M2BA 132 SMC	Teho 7,5 kW, jännite 400V, Nimellisvirta 14,9A	1	-M1	
Taajuusmuuttaja	ABB Oy	ACSS800-01-0020-3	Teho 15kW, jännite 400V, Nimellisvirta 32A	1	-U1	
Generaattori	ABB Oy	AMG 0180AA04 DBAM	Näennäisteho 12kVA, jännite 400V, 1500/1800rpm	1	-G1	
Säätömuuntaja		3-V säätömuuntaja	Saadettava jännitteen ulostulo 0-440V	1	-T1	
Erotusmuuntaja		Väliliostuloinnen	Väliliostulo 400V sekä 690V	1	-T2	
Säätömuuntaja		1-V säätömuuntaja	0-230V	1	-T3	
Muuntaja		230/40V	Näennäisteho 600VA, 230/40V	1	-T4	
Monttoimittari	Diris	A40	Mittaukset: virrat, tehot, vaihekulmat sekä jännitteet	1	-P1	
Monttoimittari	Diris	A40	Virranmittausyksikkö kojeiston milliampeeriviesteille	1	-P2	
Pääkontaktori	ABB Oy	A-30, AC-1	Tehonkesto 15kW, AC-1 luokan virtaraja 55A	1	-K1	
Kytinvaroke	ABB Oy	OS63		1	-F1-F3	
Sulakkeet	ABB Oy	40A OFA 000	Nopeusluokka H	3	-F1-F3	
Maasulkusuojausmittari	ABB Oy	ABB CM-IWS	Kaksialueinen kolmivaihemääsulkumittari 1-100kOhm,2-200kOhm	1	-IMR1	
Maasulkusuojausmittari	ABB Oy	ABB CM-IWN	Kaksialueinen yksivaihemääsulkumittari 1-100kOhm,2-200kOhm	1	-IMR2	
Johdonsuojakatkaisija	ABB Oy	S203-B10	Kolmevaiheinen, 10A, laukaisukäyrä B	4	-F21-F24	
Johdonsuojakatkaisija	ABB Oy	S202-B16	Kaksivaiheinen, 16A, laukaisukäyrä B	1	-F25	
<b>Apujännitejako</b>						
Paakytkin	ABB Oy			1	-Q1	
Säätömuuntaja		3-V säätömuuntaja		1	-T11	
Erotusmuuntaja		3-V erotusmuuntaja	400/400-720V	1	-T12	
Erotusmuuntaja		1-V erotusmuuntaja	230/230V	1	-T13	
Säätömuuntaja		1-V säätömuuntaja	0-260V	1	-T14	
Erotusmuuntaja		1-V erotusmuuntaja	230V/230V	1	-T15	
Johdonsuojakatkaisija	ABB Oy	S203-B13	Kolmevaiheinen, 13A, laukaisukäyrä B	1	-F31	
Johdonsuojakatkaisija	ABB Oy	S203-B10	Kolmevaiheinen, 10A, laukaisukäyrä B	1	-F32	
Johdonsuojakatkaisija	ABB Oy	S203-B10	Kolmevaiheinen, 10A, laukaisukäyrä B	1	-F33	
Johdonsuojakatkaisija	ABB Oy	S202-B10	Kaksivaiheinen, 10A, laukaisukäyrä B	1	-F34	
Johdonsuojakatkaisija	ABB Oy	S202-B10	Kaksivaiheinen, 10A, laukaisukäyrä B	1	-F35	
Johdonsuojakatkaisijat	ABB Oy	S201-B10	Yksivaiheinen, 10A, laukaisukäyrä B	2	-F41-F42	
Vikavirtasuojat	ABB Oy	FS 201-B	Vikavirtasuojia 30mA	2	-F51-F52	