

Juha Ilomäki

DC-SYÖTTÖVERKKO LAIVAOLOSUHTEISSA JA SEN
VAIKUTUKSET KÄYNNISTIN SUUNNITTELUUN

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2014

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Rolls-Royce Oy Ab:n yksikössä Raumalla. Työn ohjaajana Satakunnan ammattikorkeakoulusta on toiminut lehtori Ari Lehtio. Häntä haluan kiittää työni ohjauksesta, hyvistä ideoista ja neuvoista.

Työn ohjaajana Rolls-Roycella on toiminut sähköinsinööri Iiro Lindborg. Hänelle haluan kohdistaa suuret kiitokset työni ohjaamisesta asiantuntevilla neuvoilla, tarvittavien tapaamisten järjestelyistä, avusta tarvittavan tiedon löytämisessä ja erityisesti siitä, että hän mahdollisti työn tekemisen Rolls-Royce Oy Ab:lle. Ilman ohjaajieni apua työni ei olisi voinut valmistua.

Lisäksi haluan kiittää mekaniikkasuunnittelija Veli Holmsténia siitä, että hän auttoi minua tämän opinnäytetyöpaikan saamisessa.

Nyt koulu-urani ollessa päättymässä, haluan kiittää myös vanhempiani Jarmoa ja Ritvaa siitä, että he ovat opiskelujeni aikana auttaneet minua taloudellisesti ja elämäni varrella kannustaneet minua opiskelemaan. Ilman heidän apuaan ja kannustustaan insinöörin tutkintoni ei olisi mahdollinen. Suuren kiitoksen ansaitsee myös avopuolisoni Elena antamastaan tuesta ja kannustuksesta.

Raumalla 30.5.2014

Juha Ilomäki

DC-SYÖTTÖVERKKO LAIVAOLOSUHTEISSA JA SEN VAIKUTUKSET KÄYNNISTIN SUUNNITTELUUN

Tekijä	Juha Ilomäki
Oppilaitos	Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Vuosi	Toukokuu 2014
Ohjaaja	Ari Lehtio
Sivumäärä	48
Liitteitä	3
Asiasanat	DC, AC, Laiva, Käynnistin, Rolls-Royce

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten DC-syöttöverkko voidaan laivaolosuhteissa toteuttaa, ja minkälaisia vaikutuksia sillä on hydraulikoneikon käynnistimen suunnitteluun. Työ tehtiin Rolls-Royce Oy Ab:lle.

Työssä lähdettiin liikkeelle kertomalla laivan sähköverkosta yleisesti ja vertailemalla sitä maasähköverkkoon. Tämän jälkeen käsiteltiin AC- ja DC-syöttöverkkojen järjestelmiä laivassa ja vertailtiin niitä keskenään.

Käynnistimistä ja niiden sähköverkoista kerrottiin yleisesti kappaleessa kaksi. Käynnistintyypeistä esitettiin yleisimmät, jotka ovat suora käynnistys, tähtikolmiokäynnistys ja pehmokäynnistys.

Kappaleessa kolme käytiin läpi DC-verkon teoriaa yleisesti ja sen erityispiirteitä. Eriteltiin DC-verkon hyviä ja huonoja puolia sekä yleisimpiä haasteita ensisijaisesti verrattuna AC-verkkoon.

Kappaleessa neljä esitettiin alkuperäinen AC-syöttöverkolla toimiva käynnistin. Kappaleessa paneuduttiin käynnistimen toimintoihin, ja sen sisällä oleviin laitteisiin syvemmin.

Kappaleessa viisi esitettiin alkuperäisen AC-käynnistimen kytkentäkaavio, ja kerrottiin siihen tulevista muutoksista, kun siirrytään DC-verkkoon. AC-käynnistimen kytkentäkaavio on tämän työn lähtökohta, josta lähdettiin liikkeelle suunniteltaessa tilalle uutta DC-käynnistintä. Kappaleessa kerrottiin myös yleisimmin käytetyistä DC-jännitteistä laivassa, ja esitettiin ABB:n kaksi lähestymistapaa DC-järjestelmän rakentamiseen.

Kappaleen kuusi alussa käsitellään DC-verkon eri käyttöluokkia. Tämän jälkeen esitetään uuteen DC-käynnistimeen tuleva tankokontaktori, jota ensisijaisesti verrataan alkuperäiseen AC-käynnistimen kontaktoriin. Kappaleessa esitetään myös uusi vaihtoehto järjestelmän virtamittarille. Lisäksi esitettiin muita alkuperäisen käynnistimen laitteita.

ON BOARD DC GRID AND ITS EFFECTS TO STARTER DESIGNING

Author	Juha Ilomäki
School	Satakunta University of Applied Sciences
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Year	May 2014
Supervisor	Ari Lehtio
Number of pages	48
Appendices	3
Keywords	DC, AC, Ship, Starter, Rolls-Royce

The purpose of this thesis was to investigate how DC power grid supply should fulfill on board, and what kind of impacts it causes to electrical designing of hydraulic pump motor starter. This thesis was made for Rolls-Royce plc.

The thesis was started by discussing the ship's electrical grid in general, and comparing it to electrical grid on land. After that chapter one deals with AC and DC power grid supplies on board and compares them to each other.

About the starters and their electrical grids was commonly reported in chapter two. The most common different types of the starters was presented, which are direct on line start, star-delta start and soft start.

Chapter three told about the theory of the DC power grid in general, and its specific features. It discussed with the good and bad sides of the DC power grid, and its most common challenges, compared in priority to the AC power grid.

In the chapter four was presented the original starter based on AC power grid supply. Chapter focused on trigger functions, and presented the inside devices of the starter.

In the chapter five was presented the original AC starter's wiring diagram, and was discussed about the future changes to it, when the power supply is DC. AC starter's wiring diagram is the starting point of this work, where from was started designing the new DC starter. The chapter also discusses about the most common used DC voltages on board, and presented ABB's two different approaches to construct the DC power grid supply.

In the beginning of the chapter six was discussed about the different utilization categories of the DC systems. After that was presented the new bar contactor of the DC starter, compared in priority to the original AC starter block-contactor. Also the new ammeter is presented. Other devices was also presented from the original starter.

SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

LYHENTEET

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Rolls-Royce Oy Ab.....	8
1.2	Työn kuvaus.....	8
1.2.1	Laivan sähköverkko yleisesti	9
1.2.2	AC-syöttöverkko laivaolosuhteissa	10
1.2.3	DC-syöttöverkko laivaolosuhteissa	10
2	KÄYTETYT KÄYNNISTIMET	12
2.1	Käynnistin yleisesti.....	12
2.2	Käynnistin tyypit.....	12
2.2.1	D.O.L – Direct on line	12
2.2.2	Tähtikolmiokäynnistin.....	14
2.2.3	Pehmökäynnistin	15
2.3	Käynnistimien sähköverkot	17
3	DC-VERKON TEORIAA	19
3.1	DC-verkko yleisesti	19
3.2	DC-verkon erityispiirteitä	19
3.3	DC-verkon yleiset haasteet	22

4	ALKUPERÄINEN AC-KÄYNNISTIN.....	23
4.1	Käynnistimen etukansi ja toiminnot	23
4.2	Käynnistimen sisällä olevat laitteet	25
5	DC-VERKKO LAIVAOLOSUHTEISSA	27
5.1	Vaikutukset käynnistin suunnitteluun.....	27
5.2	Yleisimmin käytetyt DC-jännitteet laivaolosuhteissa.....	29
6	DC KÄYTTÖÖN SOPIVAKSI MUUTETTAVA KÄYNNISTIN.....	32
6.1	Käyttöluokat DC-1, -3 ja -5	32
6.2	Pääkontaktori	33
6.2.1	Alkuperäinen block-pääkontaktori	33
6.2.2	Uusi tankokontaktori	35
6.2.3	Kontaktorien yhteenveto	38
6.3	Alkuperäinen vaihevahti	39
6.4	Alkuperäinen virtamittari.....	40
6.4.1	Uusi virtamittari.....	41
6.5	Alkuperäiset kytkimet, katkaisijat ja releet.....	41
6.5.1	Katkaisijat F2, F3, F4 ja F5	41
6.5.2	Lämpörele F1	43
7	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET.....	45

LIITTEET

1. Hydraulikoneikon pumpun moottorin käynnistimen kytkentäkuva.
2. Katalogi ABB:n tankokontaktoreista.
3. Yksityiskohtaiset mitat ABB:n tankokontaktoreista.

LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boveri	Sähkö- ja automaatiotekniikan yritys
AC	Alternative Current	Vaihtovirta
DC	Direct Current	Tasavirta
DOL	Direct On Line	Suoraan sähköverkossa
G	Generator	Generaattori
HMS	Hydraulic pump Motor Starter	Hydraulipumpun moottorin käynnistin
HVDC	High-Voltage Direct Current	Suurjännitetasavirta
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	Tehopuolijohde transistori
M	Motor	Moottori
RPM	Revolutions Per Minute	Kierrosta minuutissa
VAC	Voltage Alternative Current	Vaihtojännite
VDC	Voltage Direct Current	Tasajännite

1 JOHDANTO

1.1 Rolls-Royce Oy Ab

Tämä opinnäytetyö on tehty Rolls-Royce Oy Ab:lle. Rolls-Royce on maailmanlaajuinen yritys, joka toimii siviili- ja puolustusalan ilmaisu-, meri- ja energiamarkkinoilla. Rolls-Royce työllistää yhteensä yli 40 000 työntekijää ympäri maailman. (Rolls-Royce Oy Ab:n kotisivut 2014.)

Ilmailualalla Rolls-Royce valmistaa kaasuturbiinimoottoreita sotilas-, siviili- ja liikennelentokoneisiin. Yhdysvalloissa yhtiö tekee moottoreita suihkukoneisiin ja helikoptereihin. Energia-alalla yrityksen tuotteita ovat erilaiset kaasuturbiinit, kompressorit ja dieselenergiaa käyttävät virtalähteet. (Wikipedia-artikkeli: Rolls-Royce Holdings 2014.) Meriteollisuudessa Rolls-Royce on voimansiirtojärjestelmien ja automaatio-ohjausjärjestelmien tuottaja sekä valmistaja (Lindborg, henkilökohtainen tiedonanto, 3.2.2014). Rolls-Royce on myös maailman johtava potkurilaitteiden valmistaja. Tyypillisimpiä potkurilaitteiden sovelluskohteita ovat offshorealukset, hinaajat ja lautat.

Rolls-Roycen toiminta on Suomessa keskittynyt kolmelle paikkakunnalle. Raumalla valmistetaan propulsiolaitteita sekä ankkurointi-, kiinnitys ja hinausjärjestelmiä. Kokkolassa valmistetaan vesisuihkuvetolaitteita, ja Helsingissä on maailmanlaajuinen huolto sekä myyntitoimisto, jonka valikoimaan kuuluvat myös peräsinkoneet, potkurit ja vakaimet. (Rolls-Royce Oy Ab:n kotisivut 2014.)

1.2 Työn kuvaus

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan DC-syöttöverkkoa laivaolosuhteissa ja sen vaikutuksia käynnistön suunnitteluun. Verrataan AC- ja DC-verkkojen eroja keskenään, ja suunnitellaan uutta DC-verkkoa käyttävää käynnistintä.

Uutta järjestelmää lähdettiin toteuttamaan 1000 VDC jännitteellä. Alkuperäinen laivan syöttöverkko, ja näin ollen myös käynnistimen syöttö olivat 480 VAC jännitteellä. Lähtökohtaisesti luodessa uutta DC-verkossa toimivaa käynnistintä, tarkoituksena oli, että se toimii vastaavasti, kuin alkuperäisenkin AC-verkossa toimiva käynnistin.

Työssä määriteltiin teoriapohjaisesti eri tavat DC-verkon rakentamiseen laivassa. Konkreettisemmin määriteltiin käynnistimessä olevia laitteita, jotka tulee alkuperäisestä AC-käynnistimessä korvata, jotta käynnistin saadaan toimimaan 1000 VDC -verkossa.

Työssä ei saatu valmiiksi uutta käynnistintä kokonaan. Sen sijaan tehtiin teoriapohjainen tutkimus laivan AC- ja DC-verkoista ja niiden eroista, sekä uuden käynnistimen vaatimuksista. Uuteen käynnistimeen saatiin valittua kontaktori sekä moottorin virtamittari.

1.2.1 Laivan sähköverkko yleisesti

Laivan sähköverkko muistuttaa maasähköverkkoa pienemmässä koossa, mutta niissä on kuitenkin myös paljon eroja. Suurin ero laivan sähköverkossa on maasähköverkkoon verrattuna, että se on kelluva verkko (Lindborg, henkilökohtainen tiedonanto, 3.2.2014). Lisäksi kaapeleiden pituudet ovat maasähköverkkoon verrattuna lyhyitä ja verkon seuraaminen ja hallinnointi voidaan laivassa paremmin liittää yhteen (Hyytiä 2012, 14).

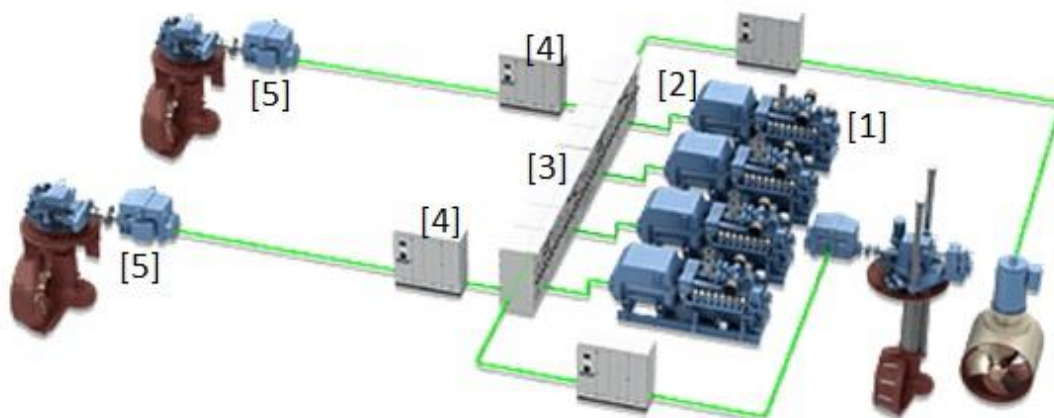
Maadoitus laivassa tapahtuu yleensä generaattorin tähtipisteestä maadoitusmuuntajan kautta laivan runkoon. Tämä perustuu muuntajan suureen impedanssiin. (Hyytiä 2012, 14.)

Laivan sähköverkko eroaa maasähköverkosta myös siten, että sen rakentaminen aloitetaan tyhjästä. Lopulta päädytään täydelliseen sekä täysin itsenäiseen sähköverkkoon, jossa dieselmootoreihin kytketyt generaattorit tuottavat kaiken aluksen tarvitseman sähköenergian esimerkiksi propulsiojärjestelmään, päätäuluhuoneeseen ja valaistukseen. Maasähköverkkoa tehdessä rakennetaan lisää jo valmiina olevaa verk-

koa, kun laivassa sähköverkko tehdään alusta asti kerralla valmiiksi. (Saastamoinen 2013, 2.)

1.2.2 AC-syöttöverkko laivaolosuhteissa

Kuva 1 esittää laivan voiman- ja sähkönsiirron periaatteen. Kuvassa keskellä ovat dieselmootorit [1], joita on 4 kappaletta. Moottorit pyörittävät generaattoreita [2], joita on myös 4 kappaletta. Sitten päätauluhuone [3], jonka jälkeen muuntajat [4] ja lopuksi taajuusmuuttajat sekä propulsiomootorit [5].



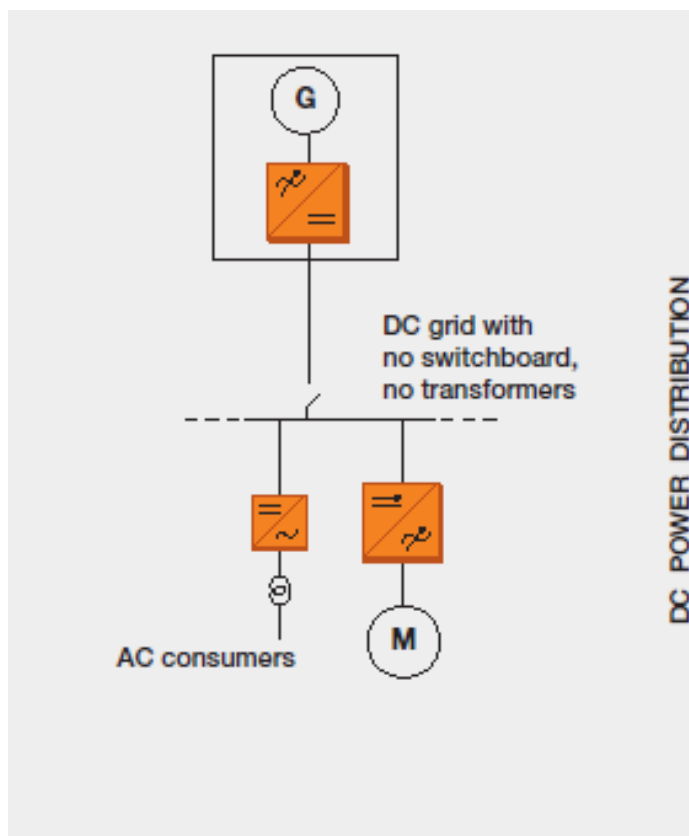
Kuva 1. Laivan AC-sähköverkko dieselmootoreilta propulsiomootoreille. (Rolls-Royce.com/Products. 2014)

Laiva tuottaa tarvitsemansa sähkön itsenäisesti generaattoreilla, jotka pyörivät dieselmootorin voimalla. Generaattoreilta sähkö siirtyy päätauluhuoneeseen, jossa jännite muutetaan sopivaksi muuntajien avulla. Sitten sähkö siirretään taajuusmuuttajien kautta sähkömootoreille/propulsiomootoreille, jotka pyörittävät laivan potkureita.

1.2.3 DC-syöttöverkko laivaolosuhteissa

Perinteisen tavan mukaan laivoihin asennetaan useita tasavirtayhteyksiä, jotka kulkevat vaihtovirtapiiristä sähkökäyttöihin ja työntömoottoreihin. Nämä kuluttavat yli 80 % laivan energiasta. Merkittävään energian säästöön päästään käyttämällä sähkönja-

kelussa vain yhtä tasavirtaverkkoa. (Nettiartikkeli: ABB:lle tilaus tasavirtateknologiasta meriteollisuuteen 2012.) Kuva 2 havainnollistaa laivan DC-verkkoa.



Kuva 2. Laivan DC-sähköverkko generaattorilta moottorille. (ABB Oy, Sundheim & Madison 2011, 2)

DC-syöttöverkossa laivassa on generaattorin jälkeen tasasuuntaaja, joka muuttaa vaihtosähkön tasasähköksi. Tämän jälkeen sähkö voidaan suoraan siirtää DC-verkosta taajuusmuuttajien kautta sähkömoottoreille/propulsiomoottoreille.

DC-syöttöverkossa ei siis tarvita perinteistä AC-päätaulua eikä muuntajia, kuten AC-järjestelmässä.

Kuluttajille jaetaan erillisten vaihtosuuntaajien kautta 230 V AC-jännitettä (ABB Oy, Hansen, Lindtjorn, Myklebust & Vanska 2011, 30).

2 KÄYTETYT KÄYNNISTIMET

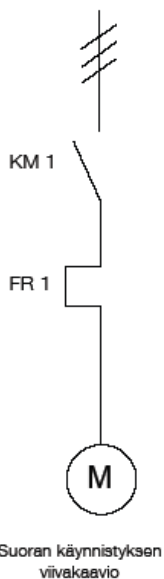
2.1 Käynnistin yleisesti

Käynnistin on laite tai laitteiden ryhmä, jolla voidaan hallita sähkömoottoria. Käynnistimessä on käsikäyttöinen tai automaattinen moottorin käynnistys ja pysäytys ja sillä voidaan valita pyöriikö moottori eteen- tai taaksepäin. Käynnistimillä voidaan säätää moottorin nopeutta ja myös vääntömomenttia, jotta vältetään liialliselta kuormittumiselta. (Wikipedia-artikkeli: Motor Controller 2014.) Käynnistimellä voidaan esimerkiksi käynnistää hydraulipumppu, joka tuottaa paineen hydraulisekoneikkoon (Lindborg, henkilökohtainen tiedonanto, 3.2.2014).

2.2 Käynnistin tyypit

2.2.1 D.O.L – Direct on line

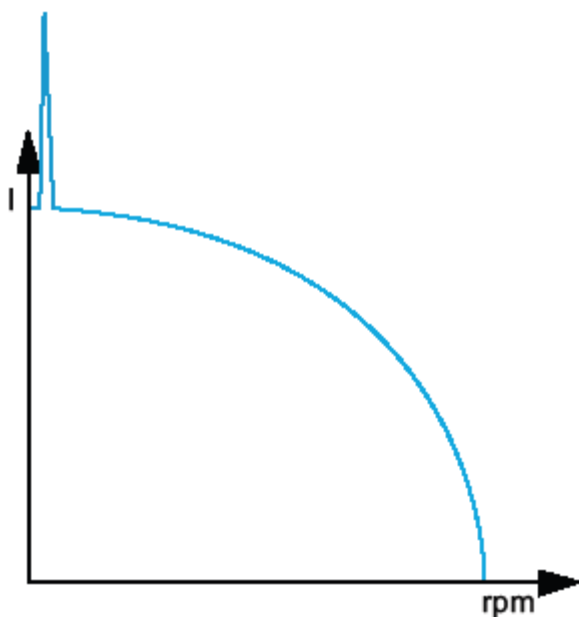
Suora käynnistys (DOL) on käynnistystavoista yleisin pienen kokonsa ja yksinkertaisuudensa ansiosta. Laitteisto koostuu vain pääkontaktorista ja lämpöreleestä tai elektronisesta ylikuormitusreleestä. (ABB Oy Pehmokäynnistinopas 2011, 13.) Kuvassa 3 on esitetty suoran käynnistyksen virtakaavio.



KM 1 Pääkontaktori
FR 1 Ylikuormitusrele

Kuva 3. Suoran käynnistyksen virtakaavio. (ABB Oy Pehmokäynnistinopas 2011, 13)

Kuvassa 4 on esitetty suoran käynnistyksen virtakäyrä.



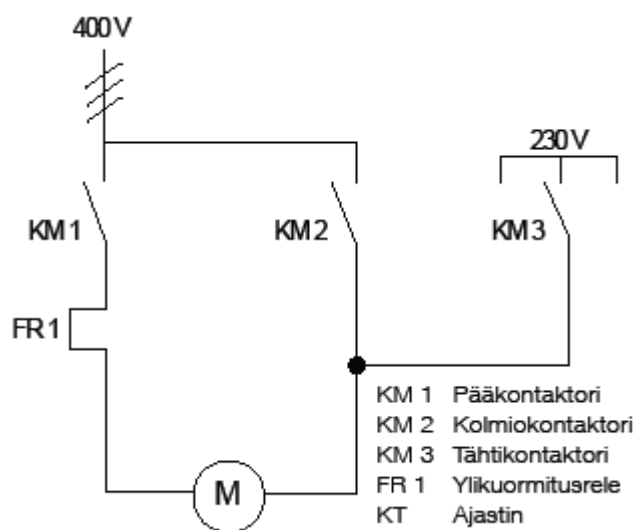
Kuva 4. Suoran käynnistyksen virtakäyrä. (ABB Oy Pehmokäynnistinopas 2011, 13)

Suoran käynnistyksen haittana on se, että käynnistäessä virta on suurin mahdollinen. Normaalisti 6-8 kertaa moottorin nimellisvirta, mutta arvot voivat nousta jopa 14-kertaisiksi. Käynnistyksen magnetointihuippu voi myös olla yli 20-kertainen nimellisvirtaan verrattuna, koska käynnistyksen aloitushetkellä, moottorissa ei ole jännitet-

tä. Myös käynnistysmomentti on erittäin suuri, mikä aiheuttaa tarpeettoman suurta rasi- tusta vetohihnoille, liittimille ja käytettävälle laiteelle. Jos käynnistystapana on suora käynnistys, voidaan moottori pysäyttää vain suoralla pysäytyksellä. Luonnolli- sesti on olemassa paljon sovelluksia, joissa suora käynnistystapa toimii moitteetto- masti, eikä sitä kannata korvata millään muulla käynnistystavalla. (ABB Oy Pehmo- käynnistinopas 2011, 13.)

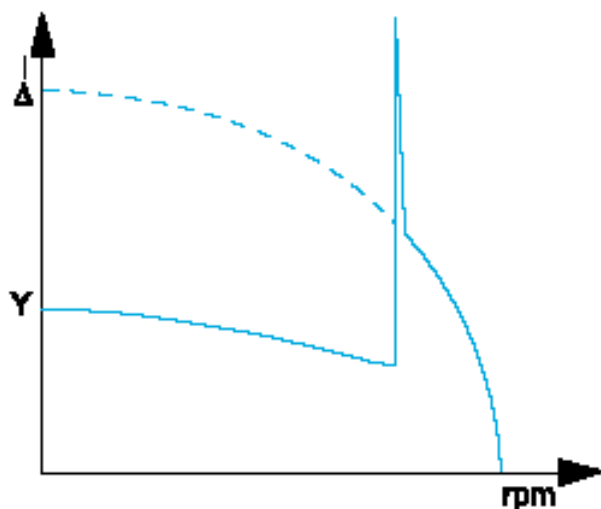
2.2.2 Tähtikolmiökäynnistin

Tähtikolmiökäynnistin koostuu kolmesta kontaktorista, ylikuormitusreleestä ja ajas- timesta. Käynnistystapa vaatii, että moottori on kolmiokytkennässä. (ABB Oy Peh- mokäynnistinopas 2011, 14–15.) Kuvassa 5 on esitetty tähtikolmiökäynnistyksen vir- takaavio.



Kuva 5. Tähtikolmiökäynnistimen virtakaavio. (ABB Oy Pehmökäynnistinopas 2011, 14)

Kiihdytyksen ensimmäisen vaiheen aikana moottorin käämitykset ovat tähtikytkennässä ja tuottavat pienempää virtaa. Määritetyn ajan jälkeen kytkentä muuttuu kolmiokytkennäksi, joka antaa moottorille täyden virran ja momentin. Tähtikytkennän virta on 1/3 kolmiokytkennän virrasta. (ABB Oy Pehmökäynnistinopas 2011, 14–15.) Näin saadaan moottorille jonkin verran hienovaraisempi käynnistys verrattuna suoraan käynnistys tapaan. Kuvassa 6 on esitetty tähtikolmiökäynnistimen virta- käyrä.

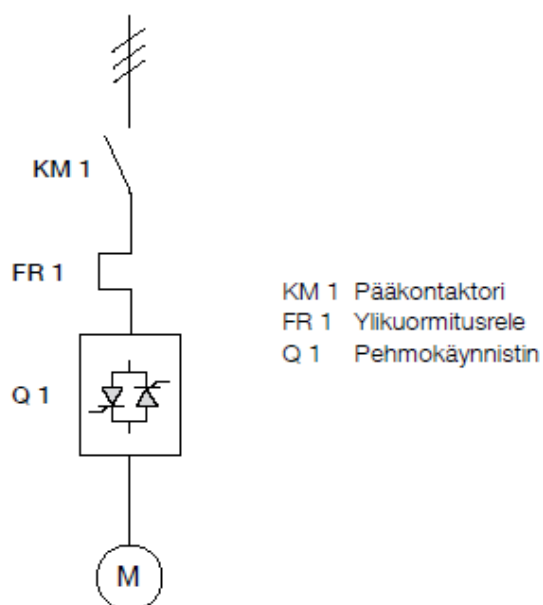


Kuva 6. Tähtikolmiokäynnistimen virtakäyrä. (ABB Oy Pehmokäynnistinopas 2011, 15)

Koska pääjännite on sama, moottori kokee tähtikäynnistyksen jännitteen alenemana. Alempi jännite pienentää luonnollisesti myös moottorin momenttia. Tähtikytkennän momentti onkin vain noin 25 % kolmiokytkennän momentista. Tästä aiheutuu se, että käynnistäessä moottoria, jolloin käytössä on tähtikytkennästä johtuva alempi momentti, ei moottori välttämättä jaksa pyörittää sovellusta. Täten tähtikolmiokäynnistyksessä toimii kuormittamattomissa tai hyvin kevyesti kuormitetuissa käynnistyksissä, mutta raskaiden sovellusten käynnistäminen ei ole mahdollista. (ABB Oy Pehmokäynnistinopas 2011, 14–15.)

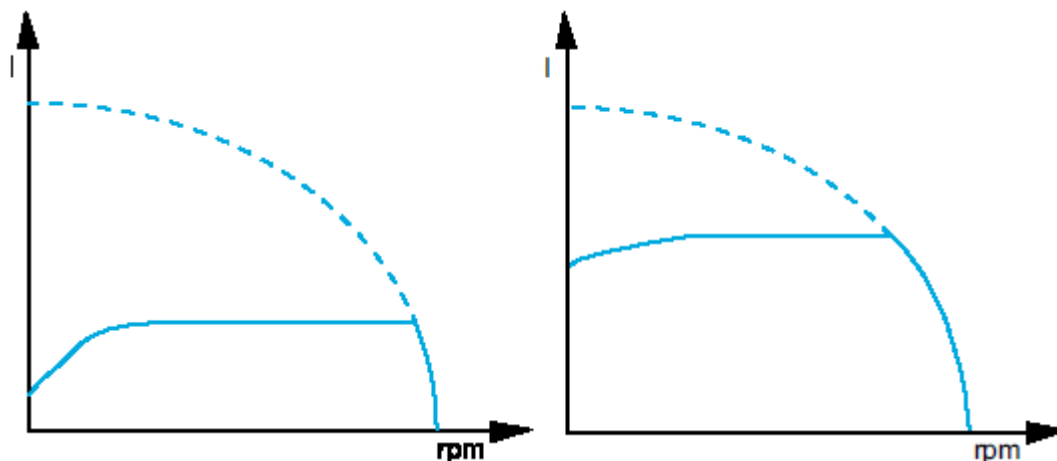
2.2.3 Pehmokäynnistin

Pehmokäynnistin rampittaa moottorille syötetyn jännitteen lähtöjännitteestä täydeksi jännitteeksi. Moottorille syötetään aluksi vain sen verran jännitettä, että vaihteiston rattaat tai vetohihnat kiristyvät. Tällöin ei tule moottoria rasittavia nytkähdyksiä. Tämän jälkeen jännite ja momentti kasvavat vähitellen, jolloin koneisto alkaa kiihtyä. (ABB Oy Pehmokäynnistinopas 2011, 18–19.) Pehmokäynnistin on toiminnallisuuksiltaan samantyyppinen kuin taajuusmuuttaja, mutta sitä voidaan ajaa vain yhteen suuntaan, kun taajuusmuuttajaa voidaan ajaa kahteen suuntaan (Lindborg, henkilökohtainen tiedonanto, 3.2.2014). Kuvassa 7 on esitetty pehmokäynnistimen virtakaavio.



Kuva 7. Pehmökäynnistimen virtakaavio. (ABB Oy Pehmökäynnistinopas 2011, 18)

Pehmökäynnistimen käytössä on useita eri etuja, esimerkiksi se, että momenttia on mahdollista säätää ja pääkontaktoria ei tarvita. Lisäksi pehmökäynnistimen käyttö vähentää verkon jännitteenalenemia, koska aloitusvirta on alhaisempi. Myös käynnistymismomentti on alhaisempi, jolloin laitteeseen kohdistuva mekaaninen rasitus on vähäisempi, joka puolestaan vähentää huollon ja ylläpidon tarvetta. Käynnistimen kanssa voidaan käyttää tavallisia moottoreita, joissa ei tarvitse olla vahvennettua eristystä tai erikoislaakereita. (ABB Oy Pehmökäynnistinopas 2011, 18–19.) Kuvassa 8 vasemmalla on esitetty pehmökäynnistimen virtakäyrä, kun kyseessä on vähän kuormitettu moottori, ja oikealla, kun kyseessä on paljon kuormitettu moottori.



Kuva 8. Pehmökäynnistimen virtakäyrä. Vasemmalla vähän ja oikealla paljon kuormitettu moottori. (ABB Oy Pehmökäynnistinopas 2011, 19)

Pehmökäynnistimellä voi suorittaa pehmeän käynnistyksen lisäksi pehmeän pysäytyksen, poistaa paineiskut ja –aallot pumppujärjestelmistä ja välttää hihnakuljettimien herkkiä osia vaurioitumasta (ABB Oy Pehmökäynnistinopas 2011, 18–19).

2.3 Käynnistimien sähköverkot

Vaihtovirralla tarkoitetaan sähkövirtaa, jonka suunta vaihtelee ajan funktiona. Ammattikielessä puhutaan vaiheesta virran suunnan sijaan. Yleinen lyhenne vaihtovirralle on AC (engl. *Alternating Current*) ja siitä käytetään symbolia "~". (Ahoranta 2012, 32–35.)

Verkkovirtana Suomen kotitalouksissa käytetään sinimuotoista vaihtovirtaa, jonka vaihejännitteen tehollisarvo on nimellisesti 230 voltia ja taajuus 50 hertsiä. Nykyajan laivoissa on yleensä käytössä AC-verkko, sekä joissain uusissa DC-verkko.

Vaihtovirrasta saadaan tasavirtaa tasasuuntaajalla, joka vakiinnuttaa virran suunnan. Tasasuuntaaja voidaan rakentaa esimerkiksi diodeista, tyristoreista, tehotransistoreista tai näiden yhdistelmistä sekä IGBT-sillalla (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). (Hakola 2008, 8.)

Toisin kuin vaihtovirta, on tasavirta puolestaan sellaista sähkövirtaa, jonka vaihe pysyy kokoajan muuttumattomana. Tasavirrassa siis virta kulkee koko ajan samaan

suuntaan. Virran suunnan muutos saadaan aikaan 180 asteen vaihesiirrolla. Yleinen lyhenne tasavirralle on DC (engl. *Direct Current*) ja siitä käytetään symbolia "=" tai muuten samanlaista symbolia, mutta alempi viiva on katkoviiva. (Ahoranta 2012, 32–35.)

Tasavirtaa tuottavia laitteita ovat muun muassa paristot, akut ja aurinkokennot. Tasavirralla toimivat esimerkiksi autot, joiden sähköjärjestelmä käyttää 12 voltin tasavirtaa.

Vanhojen laivojen verkko oli aina tasasähköä. Vaihtosähkön kehittyessä huomattavasti tasasähkön edelle 50-luvulla, aloitettiin vaihtosähköverkkoisten laivojen valmistus. Nykyään tasasähköverkkojen energiatehokkuus ja tekniikka on mennyt puolestaan vaihtosähköverkkojen edelle, ja uusia laivoja on rakennettu tasasähköverkolla. Tällaisia laivoja ovat esimerkiksi Suomessa rakennettu matkustaja-alus Viking Grace ja Norjassa rakennettu tavarankuljetusalus Dina Star, jotka molemmat valmistuivat vuonna 2013.

3 DC-VERKON TEORIAA

3.1 DC-verkko yleisesti

Tasasähköverkossa virta kulkee aina samaan suuntaan, eli jännitelähteen plusnavasta miinusnapaan. Jännite pysyy vakiona, ja se on joko positiivinen tai negatiivinen. (Ahoranta 2012, 32–35.)

Laivassa verkon nimellisjännite on 1000 VDC (ABB 2011. Onboard DC Grid, 3) tai 750 VDC (Vacon 2012, 46). Tasasähköverkkoihin liittyen puhutaan myös HVDC-verkosta (*High Voltage Direct Current*) eli suurjännitetasavirrasta.

DC-verkon hyviä puolia ovat muun muassa sen tehokkuus, sekä ylimääräinen virta kuluttajilta voidaan palauttaa takaisin verkkoon (Lindborg, henkilökohtainen tiedonanto, 3.2.2014). Sillä voidaan siirtää monta kertaa enemmän tehoa kuin perinteisillä AC-järjestelmillä ja se on taloudellisempi siirrettäessä suuria määriä tehoa pitkillä välimatkoilla. Siinä on myös yleisesti pienemmät häviöt ja se on edullisempi toteuttaa, koska sähkölaitteita tarvitaan vähemmän. Sähkökaapelit vievät vähemmän tilaa, koska ei tarvita kolmea eri vaihetta.

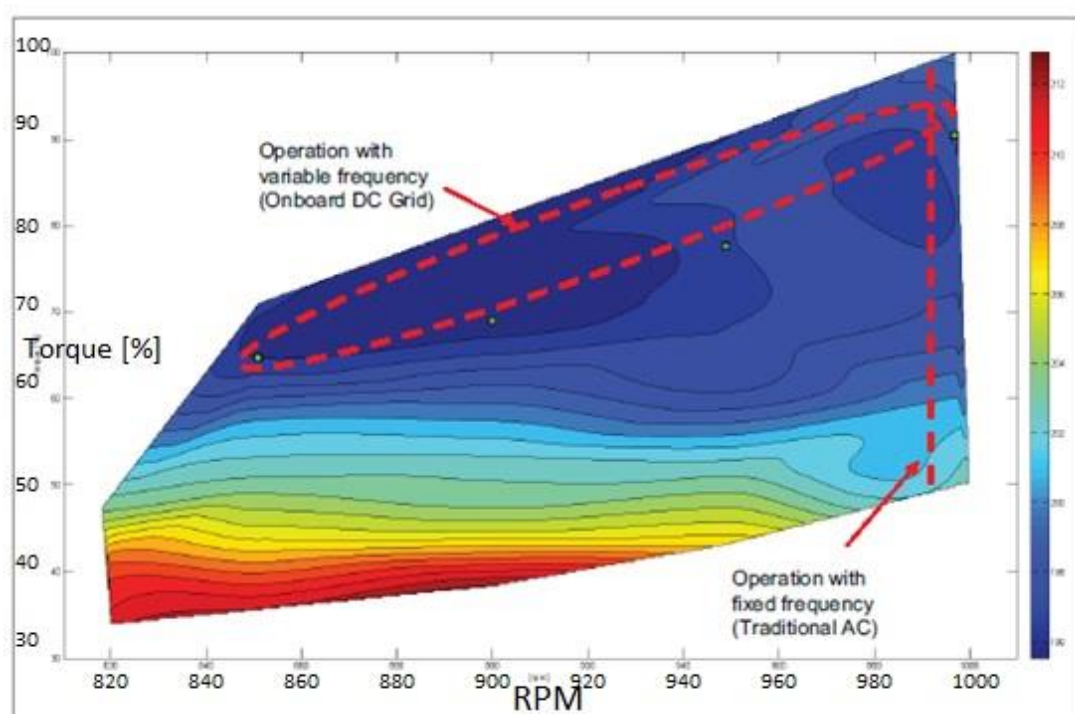
3.2 DC-verkon erityispiirteitä

Tasasähköverkkoa käytettäessä laivan hyötysuhde on parempi. Tämä johtuu siitä, että tasasähköverkossa laivan moottoreiden nopeutta voidaan säätää polttoaineen kulutuksen optimoimiseksi, (Nettiartikkeli: ABB:lle tilaus tasavirtateknologiasta meriteollisuuteen 2012.) ja esimerkiksi jarrutusenergia voidaan syöttää suoraan sähköverkkoon (Lindborg, henkilökohtainen tiedonanto, 3.2.2014).

Jarrutuksesta syntyvästä energiasta, joka yleensä jää hukkalämmöksi, voidaan ainakin osa saada talteen erilaisilla jarruvastuksilla, (engl. *brake resistor*). Normaalisti kiihdyttäessä tai ajaessa eteenpäin sähkömoottori pyörittää laivan potkureita. Jarruttaessa laivan nopeutta, potkuri pyörittää sähkömoottoria, jolloin sähkömoottorista

tulee generaattori. Tämä sähkömoottorin jarrutusenergia on mahdollista syöttää takaisin verkkoon käyttäessä tasavirtaverkkoa.

Kuvassa 9 on esitetty esimerkki tapauksessa laivan polttoaineen kulutusta. Vaaka-akselilla on moottorin kierrokset (rpm) ja pystyakselilla vääntö (%). Värit kuvastavat polttoaineen kulutusta. Tummanpunaisella/punaisella alueella polttoaineen kulutus on korkea. Tummansinisellä/sinisellä alueella alhainen. Punaisella katkoviivalla ympäröity alue kuvastaa kulutusta, kun käytössä on DC-verkko, ja punainen lähes pystysuora katkoviiva, kun käytössä on perinteinen AC-verkko.



Kuva 9. Moottorin polttoaineen kulutus vaihtelevalla nopeudella. Vääntömomentti moottorin kierrosten funktiona. (ABB 2011, Onboard DC Grid, 2)

Kuvasta voidaan päätellä, että käytettäessä DC-verkkoa laivan sähköverkkona polttoaineen kulutus pysyy ajon aikana kokoajan alhaisissa rajoissa, kun AC-verkkoa käytettäessä polttoaineen kulutus on tietyissä ajon tilanteissa suurempi.

Toinen merkittävä hyöty DC-syöttöverkosta laivassa on, että sähkölaitteita on vähemmän, jolloin myös niistä koostuva paino vähentyy (ABB 2011. Onboard DC Grid, 3). Taulukossa 1 on vertailtu esimerkki tapauksessa AC- ja DC-verkon laitteiden painoa laivassa.

Taulukko 1. AC- ja DC-verkon laitteiden massat. (ABB 2011. Onboard DC Grid, 3)

Equipment	Q'ty	Rating	Weight Traditional	Weight Onboard DC Grid
Generators w/aux	4	2500 kVA	38000 kg	39000 kg
Main AC SWBD	1	690 VAC	4450 kg	0 kg
Main DC distribution	1	1000 VDC	0 kg	2400 kg
Distribution AC	1	450V/230V	14490 kg	16530 kg
Propulsion drives	2	3500 kVA	31980 kg	13680 kg
Thruster drives	3	1200 kVA	26600 kg	13750 kg
Total			115520 kg	85360 kg

Taulukosta 1 voidaan todeta, että tässä esimerkki tapauksessa, tasavirtaverkkoa käytettäessä voidaan vähentää laivassa sähkölaitteiden vaatimaa painoa noin 30 000 kg. Taulukko on havainnollistava. Se kuinka paljon painoa lopulta vähenee, vaihtelee laivoittain ja riippuu laivan tyypistä ja järjestelmästä. (ABB 2011. Onboard DC Grid, 3.)

Muuntajien ja muiden sähkölaitteistojen vähentyessä, säästetään energian ja painon lisäksi myös tilaa laivassa. Tästä seuraa se merkittävä etu, että myös sähköjärjestelmän laitteet voidaan sijoittaa laivaan joustavammin. (Nettiartikkeli: ABB:lle tilaus tasavirtateknologiasta meriteollisuuteen 2012.)

Polttoaineen kulutuksen optimoinnin ja jarrutusenergian hyödyntämisen lisäksi DC-verkon käyttäminen laivassa mahdollistaa myös sen, että verkkoon voidaan liittää suoraan vaihtoehtoisia energianlähteitä kuten aurinkopaneeleita, polttokennoja ja akkuja. Tämä parantaa aluksien valmiutta energian säästämiseen. (Nettiartikkeli: ABB:lle tilaus tasavirtateknologiasta meriteollisuuteen 2012.)

3.3 DC-verkon yleiset haasteet

HVDC-verkko on vähemmän luotettava ja heikommin saatavilla kuin vastaava AC-verkko. Muuntajat ovat kalliita ja koska siirtoetäisyydet ovat lyhyempiä, häviöt muuntaja-aseilla voivat olla suuremmat kuin vastaavilla matkoilla AC-verkossa. (Koldby & Hyttinen 2009, 1-8.)

HVDC-verkko on vähemmän standardoitu, ja siihen on vaikeampi rakentaa katkaisijoita, koska osa mekanismeista pitää sisällyttää itse katkaisijaan, jotta virta saadaan tarvittaessa nollassi. Muuten hankaussähkön ja valokaaren riskit ovat liian suuret salliakseen luotettavaa kytkemistä pois ja päälle. (Koldby & Hyttinen 2009, 1-8.)

AC-jännite on helpompi katkaista kuin DC-jännite, tämä johtuu siitä, että AC-verkossa jännite ylittää nolapisteen jokaisen puolikkaan jakson aikana. DC-verkossa jännite on aina sama, mistä johtuu, että DC-katkaisijat (engl. *DC circuit breaker*) ovat paljon monimutkaisempia, ja täten myös kooltaan isompia ja hinnaltaan kalliimpia. DC-katkaisijat ovat myös vaikeimmin saatavissa kuin vastaavat AC-katkaisijat (engl. *AC circuit breaker*). (ABB 2011. Onboard DC Grid, 2.)

Esimerkki DC-katkaisijasta löytyy kappaleesta 6.2.2 Uusi tankokontaktori.

4 ALKUPERÄINEN AC-KÄYNNISTIN

4.1 Käynnistimen etukansi ja toiminnot

Kuva 10 on kuva tällä hetkellä käytössä olevan käynnistimen etukannesta. Kyseessä on Aquamasterin 3-vaiheinen max. 600 V jännitteellä ja 60 Hz taajuudella AC-verkossa toimiva hydraulipumpun sähkömoottorin käynnistin. Käynnistystapana on suora käynnistys (DOL). Tämä käynnistin oli työn lähtökohta, josta aloitettiin muokkaamaan täysin DC-verkossa toimivaa vaihtoehtoa. Käynnistimiä käsiteltiin yleisesti kappaleessa 2. Tässä kappaleessa perehdytään käynnistimen käyttöön ja sen sisällä oleviin laitteisiin.



Kuva 10: Käynnistimen etukansi. (Lindborg sähköposti 25.3.2014)

Etukannesta löytyy ylhäältä päin vasemmalta lukien ensimmäisenä punainen nappi (S0), josta tapahtuu moottorin pysäytys (engl. *stop*). Seuraavat ovat vihreä valo (H1), joka palaa moottorin ollessa käynnissä (engl. *run*) ja vihreä nappi (S1), josta moottori käynnistetään (engl. *start*). Viimeisenä on sininen valo (H3), joka palaa moottorilämmityksen ollessa päällä. Toisella rivillä ensimmäisenä on valkoinen valo (H2),

joka palaessaan ilmoittaa, että järjestelmässä on jännite ja sen olevan valmis (engl. *ready*) käytettäväksi. Seuraavat ovat kytkimiä. Ensimmäisestä kytkimestä (S34) voidaan valita ohjataanko moottoria paikallisesti (engl. *local*) vai kauko-ohjauksella (engl. *remote*). Toisesta kytkimestä (S3) voidaan kytkeä pois ja päälle moottorinlämmitin (engl. *heating*). Laivassa tämän lämmittimen osuus on tärkeä, koska siellä voi olla kosteapitoista ilmaa. Lämmittimen avulla voidaan tehokkaasti poistaa kosteutta sähkömoottorista. Kannessa oleva mittari (P20) on ampeerimittari (engl. *ammeter*). Yleensä kannessa on myös käyttötuntimittari (Ph), jollainen on kuvassa 11. Alimpana vasemmalla on käynnistimen pääkytkin (Q1) (engl. *main switch*).



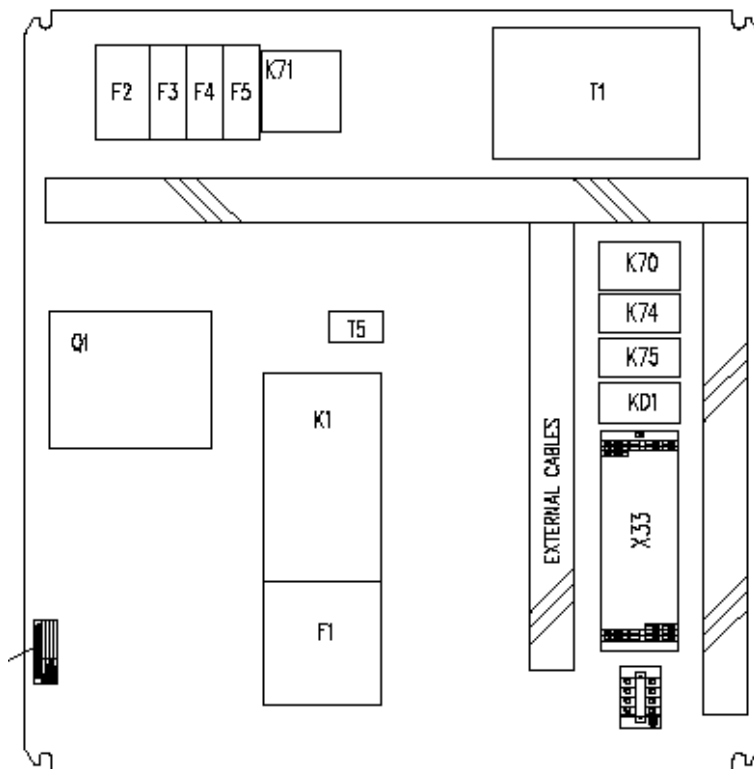
Kuva 11: Käyttötuntimittari. (Lindborg sähköposti 25.3.2014)

Käyttötuntimittari mittaa tunneissa aikaa, jonka moottori on ollut käynnissä. Alkuperäisessä käynnistimessä on käytössä Müllerin valmistama käyttötuntimittari.

Laskuria ei välttämättä tarvitse lähteä vaihtamaan rakennettaessa uutta DC-käynnistintä, koska laskuri toimii myös 12-48 VDC ja 110 VDC syöttöjännitteellä (Sähkötuote 2014). Joten laskuri voidaan siirtää järjestelmän 24 VDC piiriin.

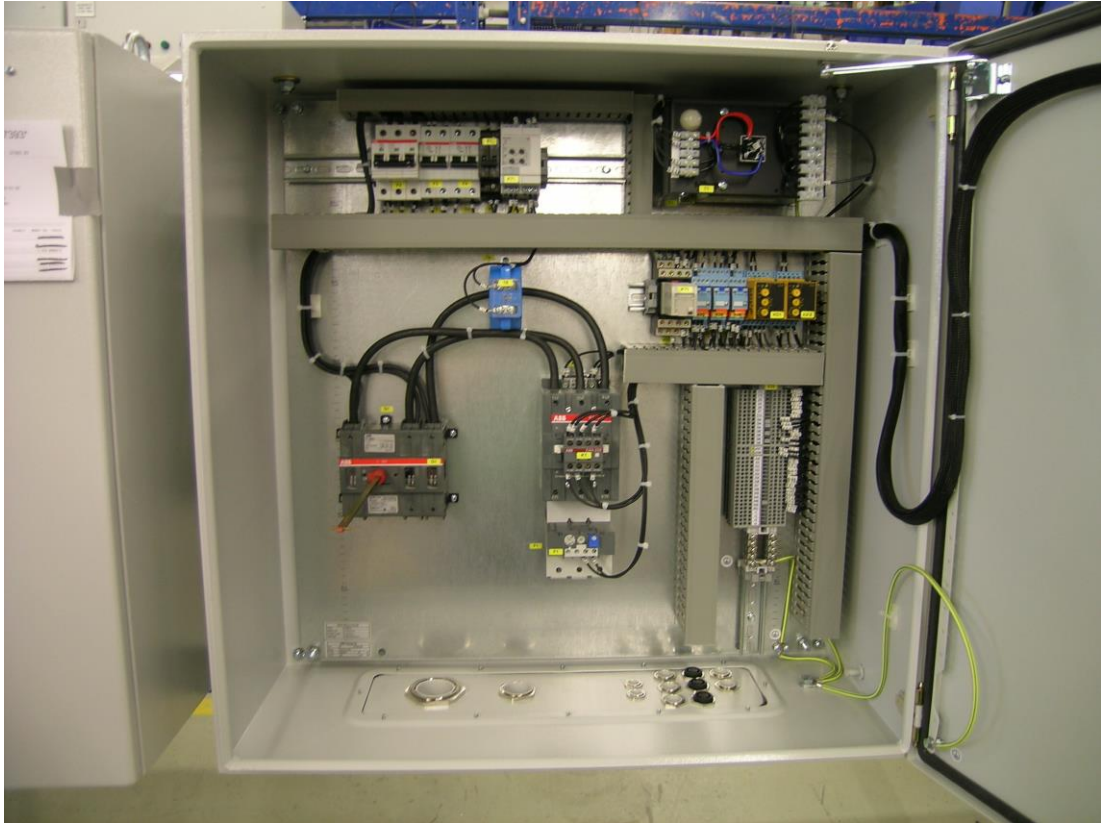
4.2 Käynnistimen sisällä olevat laitteet

Kuva 12 on piirroskuva käynnistimen sisällä olevista laitteista.



Kuva 12: Piirroskuva käynnistimen sisällä olevista laitteista. (Rolls-Royce Oy Ab:n tietokanta 2014)

Käynnistimen sisältä ylhäältä vasemmalta päin lukien ensimmäisinä löytyvät F2, F3 ja F4, jotka ovat ABB:n valmistamia automaattisia katkaisijoita. F5 on ETA:n valmistama katkaisija ja K71 on Carlo Gavazzi –merkkinen vikavaiherele. T1 on Intertrafo Oy:n valmistama ohjausjännitteen muuntaja, joka muuntaa käynnistimen 480 VAC syöttöjännitteen 230 VAC ja 24 VDC ohjausjännitteiksi. Q1 on ABB:n valmistama käynnistimen pääkytkin. T5 on Gossen Mueller & Weigertin valmistama virtamittari, joka mittaa moottorille menevän virran. K1 on ABB:n valmistama käynnistimen block-kontaktori. F1 on ABB:n valmistama lämpörele. K70, K74, K75 ja KD1 ovat paikkoja erilaisille releille ja X33 on terminaaliblokki. Kuvassa 13 on vastaavat laitteet käynnistimen sisällä kuin piirroskuvassa 12.



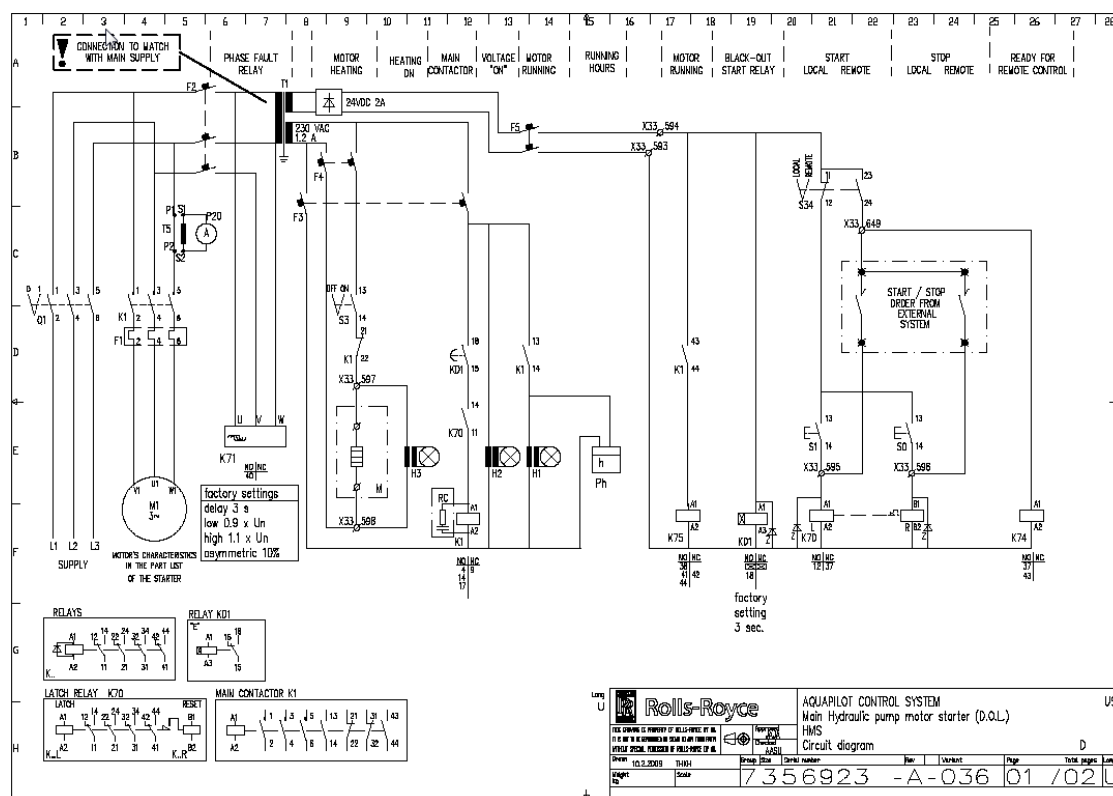
Kuva 13: Käynnistimen sisäpuoli. (Lindborg sähköposti 25.3.2014)

Käynnistimen pohjassa olevista rei'istä saadaan tuotua sisälle tarvittavat kaapelit, jotka sitten viedään pitkin harmaan väristä johtokourua ja asennetaan laitteisiin. Johtokouru on merkitty kuvaan 12 nimellä *external cables*.

5 DC-VERKKO LAIVAOLOSUHTEISSA

5.1 Vaikutukset käynnistin suunnitteluun

Kuvassa 14 on viime kappaleessa esitetyn Aquamasterin 3-vaiheisen max. 600 V käynnistimen kytkentäkaavio, jonka mukaan käynnistys on tällä hetkellä toteutettu. Käytössä on suora käynnistystapa (DOL), jota ei muuteta, vaikka verkko muutetaan-kin DC:ksi. Suurempi kytkentäkuva löytyy liitteestä 1.



Kuva 14. Päähydraulipumpun moottorin käynnistimen kytkentäkaavio. (Rolls-Royce Oy Ab:n tietokanta 2014)

Käynnistintä syötetään 480 VAC jännitteellä, jonka taajuus on 60 Hz ja teho on 64 kW. Syöttö (engl. *supply*) on kolmivaiheinen (L1, L2, L3), josta virta jaetaan sähkömoottorille, vikavaihereleelle (engl. *phase fault relay*) ja muuntajan kautta muille eri laitteille.

Käynnistimen DC-versiossa syöttöjännite on 1000 VDC ja kolmivaiheinen syöttö muuttuu plussaksi ja miinukseksi. Käytännössä vaiheet L1, L2 ja L3 korvataan merkeillä + ja -.

Uusien kytkimien ja katkaisijoiden tulee toimia 1000 V tasajännitteellä. Entistä vikavaiherelettä, eli vaihevahtia ei DC-käynnistimessä tarvita, vaan se korvataan jännitteenvalvonnalla. (Visser. 2014. ABB sähköpostiviesti.)

Alkuperäinen, teholtaan 132 kW, kolmella vaiheella ja 480 VAC – verkossa toimiva moottori voidaan vaihtaa 1000 V DC-moottoriin. Tällöin DC-moottorin tulee olla vähintään yhtä tehokas. (Visser. 2014. ABB sähköpostiviesti.)

Jos vanha moottori jätetään, tulee sille menevä jännite muuttaa silloin 1000 V:n tasajännitteestä 480 V:n vaihtojännitteeseen. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi taajuusmuuttajan avulla, mutta silloin ei enää olisi käytössä suora käynnistystapa, vaan taajuusmuuttajalla toteutettu käynnistys. (Visser. 2014. ABB sähköpostiviesti.)

Moottorin sovelluskohteesta riippuen, käynnistystapana voi olla suora käynnistys tai taajuusmuuttaja käynnistys. (Visser. 2014. ABB sähköpostiviesti.)

Moottorin lämmitysjärjestelmä on myös syytä uusia, jos moottorikin vaihdetaan.

Apujännitteet alkuperäisessä käynnistimessä muuntajan jälkeen ovat osittain 230 VAC ja 24 VDC.

230 V vaihtojännitettä jaetaan moottorinlämmitykseen (engl. *motor heating*), pääkontaktorille (engl. *main contactor*), käyttötuntimittarille (engl. *running hours meter*) ja järjestelmän toiminnoista kertoville kolmelle eri lampuille, jotka ovat H3 eli lämmitys päällä (engl. *heating on*), H2 eli jännite ”päällä”/käynnistin on valmis käyttöön (engl. *voltage on*) ja H1 eli moottori on käynnissä (engl. *motor running*). Valon palassa kyseinen toiminta on käytössä.

24 V tasajännitteellä toimii moottorin kauko-ohjaus (engl. *remote control*). Kauko-ohjattuna moottoria voidaan ohjata samalla tavalla kuin paikallisesti ohjattaessa.

24 V tasajännitepuoleen ei tarvitse tehdä muutoksia muokattaessa käynnistintä DC-käyttöiseksi. Sen sijaan 230 V vaihtojännitepuolelta voitaisiin siirtää joitakin toimintoja 24 V tasajännitepiiriin, jos mahdollista.

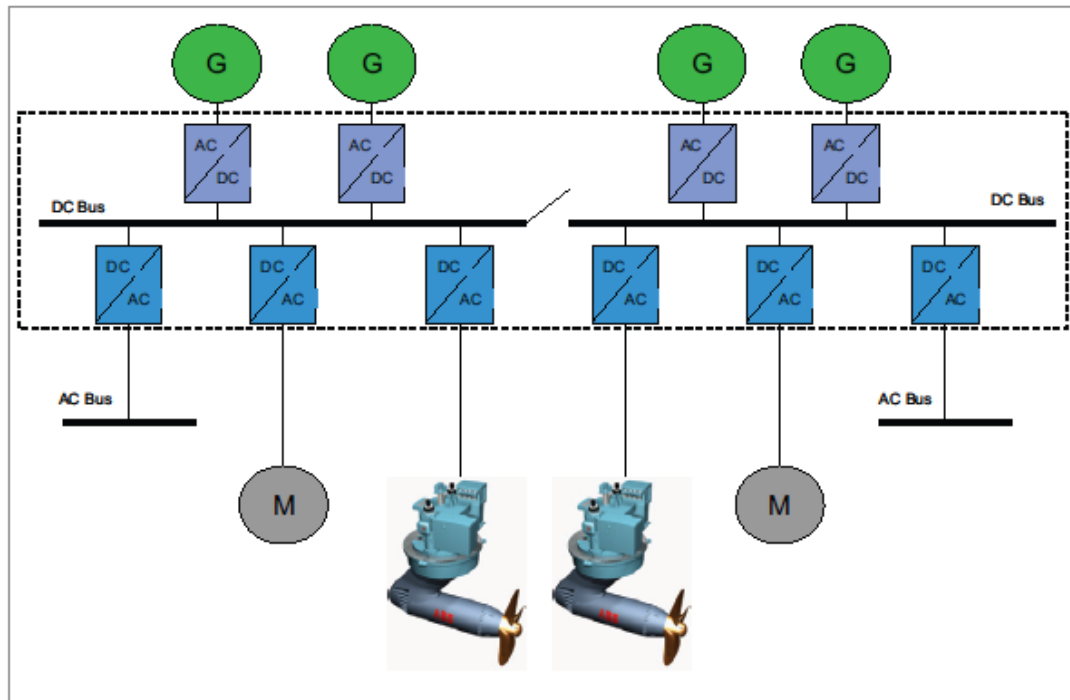
Jätettäessä 230 V vaihtojännitepuoli ennalleen, tulee silloin löytää siihen tarkoitukseen sopiva vaihtosuuntaaja, joka muuttaa 1000 VDC jännitteen 230 VAC jännitteeksi.

Vaihtoehtoisesti voi etsiä muunninta, joka muuttaa 1000 V tasajännitteestä 24 V tasajännitettä. Tällöin entiseltä 230 V vaihtojännitepuolelta laitteet tulee siirtää joko 1000 V tai 24 V tasajännitepuolelle. Siinä tapauksessa entiset 230 VAC puolen laitteet tulee korvata laitteilla, jotka toimivat esimerkiksi 24 VDC – jännitteellä, tai jollain muulla DC-jännitteellä, kuten 1000 V:llä.

Pääkontaktori voidaan korvata tankokontaktorilla. ABB:llä tankokontaktorit on jaettu A- ja R-sarjaan. Tähän tilanteeseen sopii paremmin R-sarjan tankokontaktorit, koska niiden jännitealue on 1000 V:sta lähtien ylöspäin, kun A-sarjan kontaktoreilla on alle 600 V. Tankokontaktoreita sekä käynnistimen alkuperäistä block-kontaktoria käsitellään syvemmin kappaleessa 6.

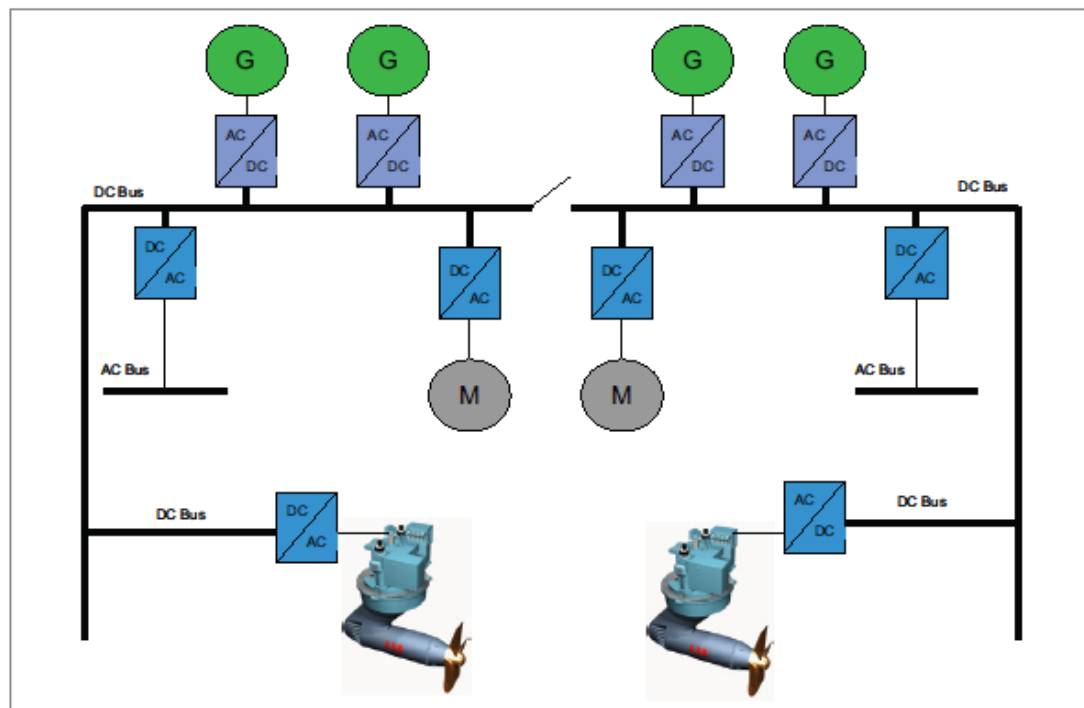
5.2 Yleisimmin käytetyt DC-jännitteet laivaolosuhteissa

ABB:n kehittämä DC-järjestelmä laivoihin toimii 1000 VDC:n nimellisjännitteellä (ABB 2011. Onboard DC Grid, 3). Vaconin järjestelmässä nimellisjännite on sen sijaan 750 VDC (Vacon 2012, 46). Kuvissa 15 ja 16 on esitetty ABB:n kaksi erilaista lähestymistapaa DC-järjestelmän rakentamiseen: Multidrive ja Distributed (ABB 2011. Onboard DC Grid, 1-2).



Kuva 15. Multidrive lähestymistapa. (ABB 2011. Onboard DC Grid, 2)

Multidrive -tavassa kaikki muuntimet ovat sijoitettuina samaan riviin ja mahtuvat vastaavaan tilaan kuin AC-järjestelmän pääkytkintaulu (ABB 2011. Onboard DC Grid, 1-2).



Kuva 16. Distributed lähestymistapa. (ABB 2011. Onboard DC Grid, 2)

Distributed -tavassa jokainen muunnin sijaitsee mahdollisimman lähellä sille kuuluvaa virtalähdettä tai kuormaa (ABB 2011. Onboard DC Grid, 1-2).

Yhteistä molemmille vaihtoehdoille on, että AC-pääkytkintaulu ja kaikki keulapotkureiden muuntajat on jätetty pois. Kaikki tuotettu sähköteho syötetään suoraan tai tasasuuntaajan kautta DC-väylälle, joka jakaa sähköenergian kuluttajille. (ABB 2011. Onboard DC Grid, 1-2.)

Kuluttajille jaetaan jännitettä erillisistä vaihtosuuntaajayksiköistä, joka syöttää 230 VAC jännitettä (ABB Oy, Hansen ym. 2011, 30). Tällä jännitteellä laivassa toimivat esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmät, valaistus ja tietokoneet.

6 DC KÄYTTÖÖN SOPIVAKSI MUUTETTAVA KÄYNNISTIN

6.1 Käyttöluokat DC-1, -3 ja -5

Sähkötekniikassa laitteiden käyttöluokat määritellään IEC-standardien mukaan. Käyttöluokkien tarkoitus on helpottaa tarvittavien komponenttien valintaa. Taulukossa 2 on esitetty eri käyttöluokat.

Taulukko 2: Laitteiden eri käyttöluokat. (EEC Controls, IEC Utilization Categories)

Voltage	Category	Typical Applications	IEC Product Standard 3
A.C.	AC-1	Non Inductive or slightly inductive loads, example: resistive furnaces, Heaters	947-4
	AC-2	Slip-ring motors: switching off	
	AC-3	Squirrel-cage motors: starting, switches off motors during running time <i>Most typical industrial application for motors</i>	
	AC-4	Squirrel-cage motors: starting, plugging (1), inching (2)	
	AC-5a	Switching of electric discharge lamps	
	AC-5b	Switching of incandescent lamps	
	AC-6a	Switching of transformers	
	AC-6b	Switching of capacitor banks	
	AC-7a	Slightly inductive loads in household appliances: examples: mixers, blenders	
	AC-7b	Motor-loads for household appliances: examples: fans, central vacuum	
	AC-8a	Hermetic refrigerant compressor motor control with manual resetting overloads	
	AC-8b	Hermetic refrigerant compressor motor control with automatic resetting overloads	
	AC-12	Control of resistive loads and solid state loads with opto-coupler isolation	947-5
	AC-13	Control of solid state loads with transformer isolation	
	AC-14	Control of small electromagnetic loads	
	AC-15	Control of A.C. electromagnetic loads	947-3
	AC-20	Connecting and disconnecting under no-load conditions	
	AC-21	Switching of resistive loads, including moderate loads	
AC-22	Switching of mixed resistive and inductive loads, including moderate overloads		
AC-23	Switching of motor loads or other highly inductive loads		
A.C. and D.C.	A	Protection of circuits, with no rated short-time withstand current	947-2
	B	Protection of circuits, with a rated short-time withstand current	
D.C.	DC-1	Non Inductive or slightly inductive loads, resistance furnaces, heaters	947-4
	DC-3	Shunt-motors, starting, plugging(1), inching(2), dynamic breaking of motors	
	DC-5	Series-motors, starting, plugging(1), inching(2), dynamic breaking of motors	
	DC-6	Switching of incandescent lamps	
	DC-12	Control of resistive loads and solid state loads with opto-coupler isolation	947-5
	DC-13	Control of D.C. electromagnetics	
	DC-14	Control of D.C. electromagnetic loads having economy resistors in the circuit	
	DC-20	Connecting and disconnecting under no-load conditions	947-3
	DC-21	Switching of resistive loads, including moderate overloads	
	DC-22	Switching of mixed resistive and inductive loads, including moderate overloads (i.e. shunt motors)	
DC-23	Switching of highly inductive loads (i.e. series motors)		

(1) Plugging - Stopping a motor rapidly by reversing the incoming power connections.

(2) Inching - Energizing a motor repeatedly for short periods to obtain small incremental movements.

Taulukosta nähdään, että DC-1 –luokkaan kuuluvat tasavirralla toimivat laitteet, joissa ei ole induktiivisia tai on hieman induktiivisia kuormia kuten vastusuunit tai lämmittimet.

DC-3 –luokkaan kuuluvat Shunt-moottorit. Nämä eroavat sarjamoottoreista siten, että magneettisydän ja käämitykset ovat kytkettyinä rinnan DC-virtalähteen kanssa (Kissel 2006). Luokkaan kuuluu myös kyseisten moottoreiden käynnistimet ja kytkennät.

DC-5 –luokkaan kuuluvat Series-moottorit eli sarjamoottorit, sekä niiden käynnistimet ja kytkennät. Sarjamoottoreissa magneettisydän ja käämitykset ovat kytkettyinä sarjaan DC-virtalähteen kanssa (Kissel 2006).

6.2 Pääkontaktori

6.2.1 Alkuperäinen block-pääkontaktori

Alkuperäisessä Aquamasterin käynnistimessä on käytössä ABB:n 3-napainen, 230 VAC 50 Hz, A185–sarjan kontaktori, jollainen on kuvassa 17. Kontaktorin tarkka lajimerkki on A185-30-22-80. Kuva alkuperäisestä käynnistimestä löytyy tämän opinnäytetyön sivulta 27, ja piirroskuva sivulta 26. Kontaktori (K1) sijaitsee noin keskellä käynnistintä.



Kuva 17: ABB:n block-kontaktori A185-30-11. (SLO Oy tuoteluettelo 2014)

Kontaktorin paino on 3,5 kg ja tilavuus 3,68 dm³. Myyntihinta on 1009,36 €/kpl 24%:n arvolisäveron kanssa. (SLO Oy tuoteluettelo 2014.)

Hyviä puolia block-kontaktoreissa on muun muassa se, että niiden valmistus on suurta, niillä on pienet mitat ja pienet kotelot, joista seuraa pienemmät turvaetäisyydet. (ABB Oy, Trompier 2007.)

A185 – sarjan block-kontaktoreiden leveys on 11,2 cm, korkeus 19,6 cm ja syvyys 16,0 cm.

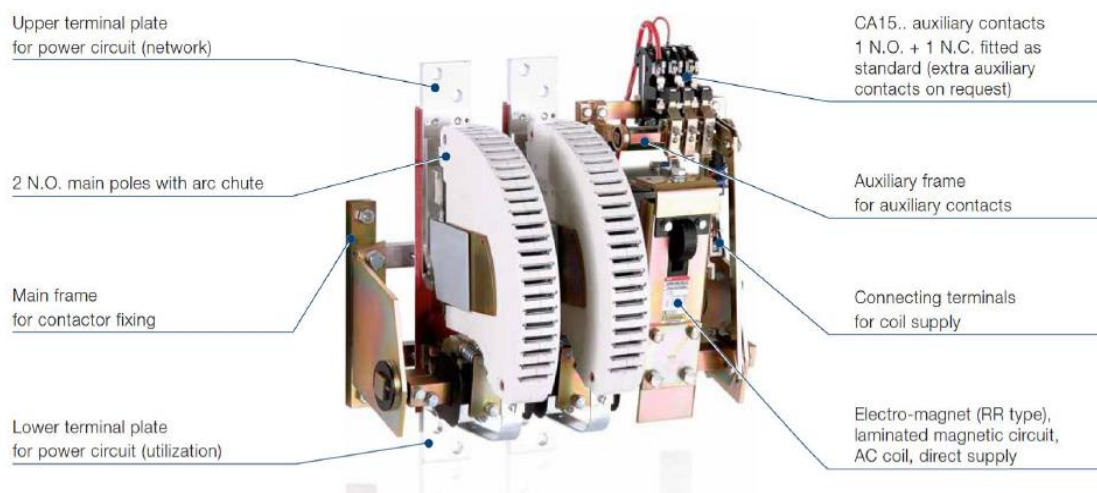
Huonoja puolia block-kontaktoreissa on kiinteä rakenne, joka rajoittaa erilaisten mallien ja versioiden valmistusta. Block-kontaktoreita käytetään myös pääsääntöisesti AC-sovelluksissa ja DC-käytöissä virtaan ja jännitteeseen liittyvät suoritukset ovat rajoitettuja. (ABB Oy, Trompier 2007.) Tällä tarkoitetaan esimerkiksi sitä, että 1000 VDC – jännitteellä toimivat block-kontaktorit eivät ole tarkoitettuja moottorinohjaukseen, koska ne kattavat vain DC-1 käyttöluokan, kuten edellä jo mainittiinkin. Alle 1000 VDC – jännitteellä toimivia moottorinohjaukseen tarkoitettuja block-kontaktoreita on olemassa, mutta ne eivät ole tämän opinnäytetyön kannalta oleellisia.

6.2.2 Uusi tankokontaktori

Lähtökohtaisesti tähän opinnäytetyöhön lähdettiin hakemaan sellaisia korvaavia laitteita, jotka toimivat 1000 VDC syöttöverkossa. Tähän tarkoitukseen löytyy esimerkiksi ABB:lta GAF-tyypin block-kontaktorit. Niissä ongelmana oli vain, että niillä ei voi käynnistää moottoreita, koska niillä on vain DC-1 käyttöluokan arvot, joten niitä ei voinut tässä tarkoituksessa käyttää. Tämän jälkeen ABB:n kanssa palaverissa esiin nousi tankokontaktoreilla tehty ja toteutettu vaihtoehto.

Niin sanottuja tankokontaktoreja (engl. *bar contactor*) käytetään yleisesti sovellusten ohjaukseen suurijännitteisissä DC-verkoissa niin rauta- ja terästeollisuudessa, kisko-liikenteessä kuin elektrolyysi- ja nostolaitteissakin. Sovelluksissa käytettävät virrat voivat olla 63 - 5000 A. Kuvassa 18 on ABB:n R-sarjan tankokontaktori. (ABB Oy:n kotisivut. 2014.)

Luonnollisesti kontaktorin koko kasvaa siirryttäessä alkuperäisestä pääkontaktorista tankokontaktoriin, koska jännitekin kasvaa, jotta valokaari saadaan katkaistua. Hyviä puolia tankokontaktoreissa on muun muassa se, että jakokoskettimien määrä voidaan valita. (ABB:n ja Rolls-Roycen palaveri, Voutilainen, henkilökohtainen tiedonanto 9.4.2014.)



Kuva 18: R-sarjan 2-napainen tankokontaktori. (ABB:n ja Rolls-Roycen palaveri 9.4.2014. Materiaali: ABB Oy, Trompier 2014)

R-sarjan kontaktorit koostuvat tukevasta sähkömagneettirungosta, päänavoista ja apukoskettimista. Rakenne on yhtä joustava standardikontaktoreissa kuin räätälöidyissäkin versioissa:

- Vaihteleva määrä napoja täyttävät vaatimukset
- Navoissa on valinnainen sammutuskela, joka on mitoitettu napojen nimellisvirran mukaan
- Sulkeutuvat koskettimet
- Avautuvissa koskettimissa on ”kytke ennen katkaisua” tai ”katkaise ennen kytkeä” –rakenne, kun ne yhdistetään sulkeutuvien koskettimien kanssa.
- Useita tavallisia, ajastettavia ja säädettäviä sekä sulkeutuvia ja avautuvia apukoskettimia
- Sähkömagneettien erityisominaisuudet riippuvat sekä ohjausjännitteestä että toiminta-aikakäyrästä. (ABB Oy:n kotisivut. 2014.)

R-sarjan tankokontaktoreista löytyy vielä 1-, 2- ja 3-napaisia vaihtoehtoja sekä eri DC-luokkiin DC-1, DC-3 ja DC-5 kuuluvia tankokontaktoreita. Tämän työn tarkoitukseen sopii parhaiten 2-napaiset DC-3 luokassa olevat tankokontaktorit, koska ne sopivat 1000 VDC-jännitteelle. Taulukossa 3 on ABB:n eri vaihtoehdot 2-napaisille tankokontaktoreille. DC kontaktorit ovat alempana. Vasemmalta lukien toisessa sarakkeessa ovat DC-3 luokkaan kuuluvat tankokontaktorit.

Taulukko 3: ABB:n R-sarjan 2-napaiset tankokontaktorit. (ABB:n ja Rolls-Roycen palaveri 9.4.2014. Materiaali: ABB France 2007)

2-pole Contactors (Connection of the 2 poles in series) - Ordering Details

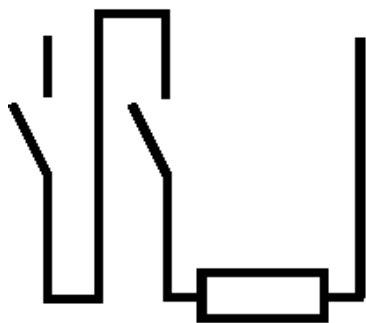
Rated operational current		Number of poles	Type to be completed with: - coil voltage in plain text L L L see page 1/10	Order code to be completed with codes: - extra aux. contacts - coil voltage see page 1/10	Unit weight without pack ⁹⁹ kg
$U_o \leq 1500$ V d.c. DC-1 A	$U_o \leq 1000$ V d.c. DC-3/DC-5 A				
IORR...-CC contactors (a.c. operated)					
1000	1000	2	IORR 1000-20-CC L L L	FPL 871 6215 R □□□□	40.00
1250	1250	2	IORR 1400-20-CC L L L	FPL 611 6215 R □□□□	42.00
1600	1600	2	IORR 1700-20-CC L L L	FPL 621 6215 R □□□□	47.00
2000	2000	2	IORR 2100-20-CC L L L	FPL 631 6215 R □□□□	52.00
Note: The IORR 1000-20-CC contactor must be provided on request in IOR 1000-20-CC version for direct supply of the coil (coil 50 Hz or coil 60 Hz).					
IORE...-CC contactors (d.c. operated - with economy resistor)					
1000	1000	2	IORE 1000-20-CC L L L	FPL 871 0215 R □□□□	41.00
1250	1250	2	IORE 1400-20-CC L L L	FPL 611 0215 R □□□□	42.00
1600	1600	2	IORE 1700-20-CC L L L	FPL 621 0215 R □□□□	47.00
2000	2000	2	IORE 2100-20-CC L L L	FPL 631 0215 R □□□□	52.00

Taulukosta nähdään, että tankokontaktorien massa vaihtelee välillä 41 - 52 kilogrammaa, riippuen siitä, kuinka suurelle virralle soveltuvaa tankokontaktoria käytetään.

Esimerkkinä tankokontaktorin mitoista ja koosta voidaan ottaa DC-käyttöön soveltuva 2-napainen IORE-CC 1400 -malli. Sen leveys on apukoskettimien määrästä riippuen noin. 49,5 – 65,0 cm, jos napoja on enemmän kuin kaksi lisäävät ne huomattavasti laitteen leveyttä, korkeus on noin 56,0 cm ja syvyys 42,5 cm. Tarkemmat tiedot eri mallien mitoista löytyvät liitteestä 3.

Kyseessä on siis huomattavasti suurempi kontaktori, sekä kooltaan että massaltaan, kuin alkuperäinen AC-verkossa toimiva block-kontaktori, joka mahtuu sellaisenaan käynnistimen sisälle.

Kuvassa 19 on 2-napaisen DC-3 luokan tankokontaktorin piirrosmerkki.



Kuva 19: Tankokontaktorin piirrosmerkki. (ABB Oy, Trompier 2007)

Tankokontaktorin hinnoittelu on aina tapauskohtausta riippuen siitä millaiseen käyttöön tankokontaktori tulee. Hyviä puolia tankokontaktoreissa on muun muassa, että siinä on yksinkertainen katkaisutapa, jolla on hyvä suorituskyky katkaisuisissa. Tankokontaktorit toimivat hyvin suurilla jännitteillä ja virroilla, mikä on huomattavan tärkeää juuri DC-sovelluksissa. Lisäksi hyviä puolia on, että jokainen tankokontaktori räätälöidään asiakkaalle juuri sellaiseksi kuin halutaan sovelluskohteesta riippuen. AC-sovelluksissa jännitteet voivat olla enintään 1000 V ja DC-sovelluksissa 1500 V. Katalogi tankokontaktoreiden eri vaihtoehtoista löytyy liitteestä 2. (ABB Oy, Trompier 2007.)

6.2.3 Kontaktorien yhteenveto

Varmasti suurin ero entisen AC-järjestelmän block-kontaktorin ja uuden DC-järjestelmän tankokontaktorin välillä on koko. Block-kontaktorin massa on 3,5 kg ja mitat (leveys; korkeus; syvyys) 11,2; 19,6 ja 16,0 cm, kun tankokontaktori painaa 41-52 kg ja mitat samassa järjestyksessä ovat 49,5–65,0; 56,0 ja 42,5 cm. Kontaktorit tulevat viemään siis huomattavasti enemmän tilaa laivassa kuin ennen.

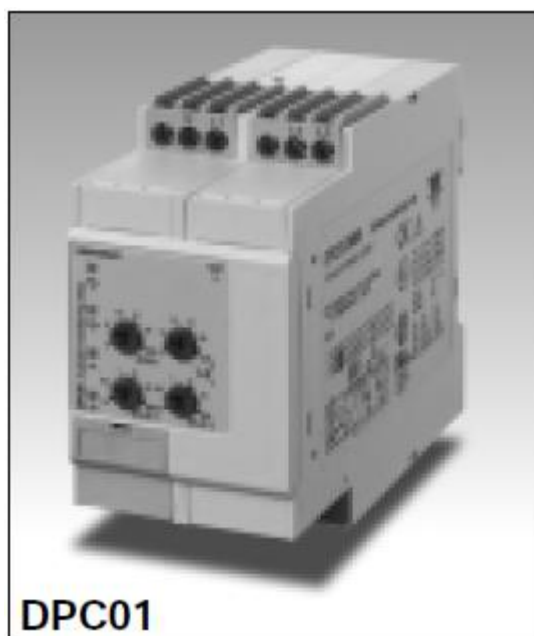
Toinen suuri ero on tuotteen soveltuvuudessa. Block-kontaktoreissa on selviä rajoitteita sen kiinteä rakenteen vuoksi, varsinkin DC-sovelluksissa. Tankokontaktorit valmistetaan erikseen asiakkaan toiveiden ja tarpeiden mukaan jokaiseen erilaiseen käyttötarkoitukseen. Tankokontaktoria valmistaessa on monia vaihtoehtoja muun muassa jako- ja apukoskettimien sekä lisävarusteiden määrässä.

Tankokontaktori soveltuu paremmin hyvän ja luotettavan katkaisukykyensä ansiosta suurjännitteisiin 1000 VDC-sovelluksiin kuin block-kontaktorit. Tässä tapauksessa, kun haettiin 1000 VDC jännitteellä ja moottorin käynnistykseen soveltuvaa kontaktoria, oli tankokontaktori ainoa toimiva vaihtoehto, koska 1000 VDC:llä toimivaa GAF-tyyppistä block-kontaktoria ei ole tarkoitettu moottoreiden käynnistämiseen.

Kolmas suuri ero on tuotteen hinnassa. Tankokontaktori on mittatilaustyönä huomattavasti kalliimpi kuin sarjatuotantona tehty block-kontaktori.

6.3 Alkuperäinen vaihevahti

Alkuperäisessä Aquamasterin käynnistimessä on käytössä Carlo Gavazzin valmistama DIN-tyyppinen DPC 01 vikavaiherele (Kuva 20), jonka tarkka lajimerkki on DPC 01 D M49 400HZ. Vikavaiherele on merkattu alkuperäiseen käynnistimeen tämän opinnäytetyön sivulla 26 kuvassa 15 merkein K71. Käynnistimen kytkentäkuva on liitteessä 1. Laite sijaitsee järjestelmässä 480 VAC pääpiirissä.



Kuva 20: Carlo Gavazzi DPC 01. (Carlo Gavazzi 2007)

DPC 01 D M49 400HZ on suunniteltu toimimaan 440 – 480 VAC jännitevälillä ja taajuus voi olla 50 – 400 Hz. Vikavaihereleen eli jännitteenvälvontareleen tehtävä on valvoa mahdollisia yli- ja alijännitteitä, epäsymmetriaa ja että järjestelmässä toimivat

kaikki kolme vaihetta. Jännitteenvalvontarele tunnistaa kun kaikki kolme vaihetta ja nolla ovat toiminnassa, oikeassa järjestyksessä ja asetettujen jännitteiden rajoissa. Rele tunnistaa jos epäsymmetria on alle asetetun arvon. Asetusarvot ja viiveet ovat erikseen säädettäviä. (Carlo Gavazzi 2007.)

6.4 Alkuperäinen virtamittari

Alkuperäinen virtamittari on Gossen Mueller & Weigertin valmistama, jollainen on sivulla 26. Tarkka lajimerkki on MBS 7014 ASK 31.3. Alkuperäisen käynnistimen kuvassa virtamittari on merkattu merkein T5.



Kuva 21: Virtamittari ASK 31.3. (GMW Vario-Series)

Virtamittarin tehtävä on mitata moottorille menevä virta, ja se sijaitsee järjestelmässä 480 VAC pääpiirissä. Moottorille menevän virran näkee käynnistimen kannessa olevasta näytöstä. Kaapeli, josta virta mitataan, viedään laitteessa olevan reiän läpi.

6.4.1 Uusi virtamittari

Uudeksi virtamittariksi voidaan valita CEWE instrument –merkinen, malli shunt 6119 virtamittari. Malleista tähän tarkoitukseen sopivat CQ48, CQ72 ja CQ96. (Visser. 2014. ABB sähköpostiviesti.)

6.5 Alkuperäiset kytkimet, katkaisijat ja releet

6.5.1 Katkaisijat F2, F3, F4 ja F5

Alkuperäisessä käynnistimessä, sivulla 26, F2 on ABB:n valmistama 3-napainen automaattinen katkaisija (Kuva 22). Lajimerkki on S223-K8.



Kuva 22: ABB S223-K8.

F2 - katkaisijan tehtävä on kytkeä päälle ja tarvittaessa pois hydraulikoneikon moottorin ohjauspiirin syöttö.

F3 ja F4 ovat myös ABB:n valmistamia automaattisia katkaisijoita (Kuva 23). Ne sijaitsevat järjestelmän 230 VAC ohjauspiirissä. F3:n tehtävä on kytkeä päälle ja tarvittaessa pois ohjauspiirin virta. F4:n tehtävä on kytkeä päälle ja tarvittaessa pois moottorin lämmitys. Molempien lajimerkki on S202-K2.



Kuva 23: Automaattinen katkaisija. ABB S202 – K2. (ABB Oy:n kotisivut 2014)

Katkaisijan tehtävä on sulkea sähkönsyöttö tarvittaessa. S202 – K2 -katkaisijat sulkevat sähkönsyötön automaattisesti. Katkaisijalla on kaksi eri laukaisumekanismia. Ensimmäinen on viivästynyt lämpölaukaisumekanismi ylikuormitussuojaukseen ja toinen on magneettinen laukaisumekanismi oikosulkusuojaukseen. Saatavilla on monia eri ominaisuuksilla varustettuja katkaisijoita. (ABB Oy:n kotisivut 2014.)

F5 on ETA:n valmistama katkaisija (Kuva 24), joka katkaisee tarvittaessa syötön hydraulikoneikon moottorin kauko-ohjaukseen. Katkaisija sijaitsee järjestelmän 24 VDC ohjauspiirissä.



Kuva 24: ETA 2210-T2

6.5.2 Lämpörele F1

F1 on ABB:n valmistama lämpörele. Lämpöreleet ovat pääpiiriin tarkoitettuja sähkömekaanisia suojauslaitteita, joiden tehtävä on suojata moottoreita ylikuormituksesta ja vaihevialta. Ne ovat kolminapaisia releitä, ja toimivat bimetallielementtien avulla. Moottorin virran kulkiessa bimetallielementtien läpi, se lämmittää elementtejä suoraan ja välillisesti. Kun moottori ylikuormittuu, bimetallielementit taipuvat kuumenemisen seurauksena. Tämä laukaisee releen ja katkaisee syötön. Kuvassa 24 on lämpörele TA 200 DU 110. (ABB Oy:n kotisivut 2014.)



Kuva 24: ABB thermal relay TA 200 DU 110. (ABB Oy:n kotisivut 2014)

Lämpöreleen lajimerkki on TA 200 DU 110. TA_DU -sarjan laukaisuluokka on 10 A, erikoisversioiden 20 A tai 30 A. Käyttölämpötila -25 °C – 60 °C välillä. Manuaalinen tai automaattinen katkaisu voidaan valita. ABB:n lämpöreleitä voidaan käyttää valituissa laitemalleissa sekä vaihtovirta- että tasavirtasovelluksissa. (ABB Oy:n kotisivut 2014.)

7 YHTEENVETO

Työssä ei saatu käsiteltyä uuteen käynnistimeen tulevia laitteita kokonaan. Valitettavasti tähän opinnäytetyöhön laitevalintoja tehnyt yritys ei osoittanut työn aikana tarvittavaa aktiivisuutta asiaan, jotta työ olisi ehtinyt täysin valmiiksi. Työssä saatiin kuitenkin käsiteltyä uusi käynnistin täysin pääkontaktorin valinnan osalta. Pääkontaktori on käynnistimen tärkein ja merkittävin laite, koska se suorittaa varsinaisen jännitteen katkaisun ja kytkennän moottoriin.

Laivan sähköverkkojen osalta työ onnistui hyvin. Laivan sähköverkkoa päästiin vertaamaan yleisesti maasähköverkkoon. Tässä suurimpia eroja olivat muun muassa laivan kaapeleiden lyhyt pituus verrattuna maasähköverkkoon, sekä se, että laivan sähköverkon rakentaminen aloitetaan tyhjästä ja rakennetaan kerralla valmiiksi. Laivan sähköverkko on myös itsenäinen sekä kelluva verkko. Lisäksi vertailtiin laivan AC- ja DC -verkkoja keskenään. Opinnäytetyössä todettiin, että DC-verkkoon siirryttäessä voidaan luopua perinteisestä AC-päätaulusta ja tämän jälkeisistä muuntajista. Tällöin sähkölaitteista koostuva massa vähenee merkittävästi, ja myös sähkölaitteet voidaan sijoittaa laivaan joustavammin. Lisäksi DC-verkon käyttäminen parantaa laivan hyötysuhdetta pienentämällä sen polttoaineen kulutusta, mahdollistamalla jarrutusenergian syöttämisen takaisin sähköverkkoon ja mahdollistamalla tulevaisuudessa aurinkopaneelien, polttokennojen ja akkujen käytön järjestelmässä.

Koska uutta käynnistintä lähdettiin rakentamaan 1000 VDC jännitteellä, oli pääkontaktori valinnat aika selvät. Ainoana vaihtoehtona moottorin käynnistykseen näin korkealla tasajännitteellä ABB:ltä ovat R-sarjan tankokontaktorit. Tankokontaktori on mittatilaustyötä, eli se mitoitetaan ja lisävarustellaan vielä asiakkaan vaatimusten ja toiveiden mukaan. Tämän työn tarkoitukseen sopii parhaiten 2-napaiset ja DC-3 luokassa olevat tankokontaktorit. Koska DC-jännite on vaikeampi katkaista, ovat tankokontaktoreiden koot ja massat huomattavasti aikaisemmin käytössä olevaa kontaktoria suuremmat, jolloin kontaktori on myös hinnaltaan paljon kalliimpi. Sen sijaan hyviä puolia tankokontaktorissa on sen soveltuvuus ja joustavuus.

LÄHTEET

ABB France, Automation Products Division, Export Department. 2007. R.. Series Contactors R1400, R1700, R2100. ABB:n ja Rolls-Roycen palaveri 9.4.2014. Muistitikulla saatua materiaalia ABB:n tuotehallinnan päälliköltä Voutilainen Veikko.

ABB Oy, Hansen, J.F, Lindtjorn, J.O, Myklebust, T.A & Vanska, K. 2011. Onboard DC grid – The newest design for marine power and propulsion systems. Billingstad, Norja. Viitattu 7.4.2014. Saatavissa:
[[http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/441ce50a20b6169bc1257a25002efdcdb/\\$file/28-33%202m212_EN_72dpi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/441ce50a20b6169bc1257a25002efdcdb/$file/28-33%202m212_EN_72dpi.pdf)]

ABB Oy kotimaan myynti. 2011. Pehmökäynnistinopas. Helsinki. Viitattu 17.3.2014. Saatavissa:
[[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/\\$file/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/$file/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf)]

ABB Oy. 2011. Onboard DC Grid - The step forward in Power Generation and Propulsion. Billingstad, Norja. Viitattu 17.3.2014. Saatavissa:
[[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/292d42e87306453dc12579ad0050a457/\\$file/12_10_OnboardDCGrid_Technical-Information.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/292d42e87306453dc12579ad0050a457/$file/12_10_OnboardDCGrid_Technical-Information.pdf)]

ABB Oy:n kotisivut. 2014. Pienjännitetuotteet. Viitattu 28.4.2014. Saatavissa:
[<http://www.abb.co.uk/product/fi/9AAC910006.aspx?country=GB>]

ABB Oy, Sundheim & Madison. 2011. Onboard DC Grid Flyer - A significant step forward in electric propulsion increasing vessel efficiency up to 20 %. Billingstad, Norja. Viitattu 17.3.2014. Saatavissa: [<http://www04.abb.com>.]

ABB Oy, Trompier, G. 2014. PRU Control & Protection, LBU Control Products France. R contactors Product resentation. ABB:n ja Rolls-Roycen palaveri 9.4.2014. Muistitikulla saatua materiaalia ABB:n tuotehallinnan päälliköltä Voutilainen Veikko.

Ahoranta, J. 2012. Sähkötekniikka. 1.-11. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Carlo Gavazzi. 2007. Monitoring Relays, True RMS 3-Phase, 3-Phase+N, Multifunction, Types DPC01, PPC01. Viitattu 25.4.2014. Saatavissa: [http://www.datasheetlib.com/datasheet/130589/ppc01dm48_carlo-gavazzi.html]

EEC Controls. IEC Utilization Categories (Explanation). Viitattu 14.4. 2014. Saatavissa: [<http://www.eecontrols.com/documents/Pages21-30.pdf>]

GMW. Vario-Series, Accessories, Low Voltage Current Transformers, Class 1 and 0.5. Nuremberg, Germany. Viitattu 25.4.2014. Saatavissa: [http://www.gmw.de/data/mediapool/catalog_basic-vario_gb_page_119-126_-_05.10.04.pdf]

Hakola, T. 2008. Taajuusmuuttajakäytön testausjärjestelmän käyttöönotto. Insinööri-työ. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 17.3.2014. Saatavissa: [<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/812/Taajuusm.pdf?sequence=1>]

Hyytiä, K. 2012. Laivan sähköverkon simulointi. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto Sähkötekniikan korkeakoulu. Viitattu 17.3.2014. Saatavissa: [<http://lib.tkk.fi/Dipl/2012/urn100586.pdf>]

Kissel, T. 2006. DC Shunt Motors, Industrial Electronics, Second Edition. Copyright Prentice Hall Inc, A Pearson Education Company, Upper Saddle River. New Jersey, United States Of America. Viitattu 14.4.2014. Saatavissa: [<http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/54>]

Koldby, E & Hyttinen, M. 2009. Challenges On The Road to an Offshore HVDC Grid. Paper presented at the Nordic Wind Power Conference. Bornholm, Tanska. Viitattu 10.3.2014. Saatavissa: [<http://library.abb.com>.]

Lindborg, I. 2014. Development Project Manager, Rolls-Royce Oy Ab. Rauma. Henkilökohtainen tiedonanto.

Lindborg, I. Development Project Manager, Rolls-Royce Oy Ab. Sähköpostilla lähetetyt kuvat käynnistimestä. Vastaanottaja: juha.ilomaki@student.samk.fi. Lähetetty 25.3.2014 klo 9.46. Viitattu 25.3.2014.

Nettiartikkeli: ABB:lle tilaus tasavirtateknologiasta meriteollisuuteen. Julkaistu 23.2.2012. Viitattu 17.3.2014. Saatavissa:
[<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/ffb91b70c1a5edddc12579ac004aa9b8.aspx>]

Rolls-Royce Oy Ab:n kotisivut. 2014. Viitattu 1.2.2014. Saatavissa:
[<http://www.rolls-royce.com>]

Rolls-Royce Oy Ab:n tietokanta. 2014. Rauma.

Saastamoinen, J. 2013. Jännitetasojen vertailu laivan sähköverkossa. Insinööriyö. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. Viitattu 18.3.2014. Saatavissa:
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63938/Jannitetasojen_vertailu_laivan_sahkoverkossa.pdf?sequence=1]

SLO Oy. 2014. Tuotteet > Tuoteluettelo > Tuotetiedot. Viitattu 14.4.2014. Saatavissa:
[<http://www.slo.fi/www/fi/Tuotteet/Tuoteluettelo/Sivut/tuotetietosivu.aspx?partno=3845216>]

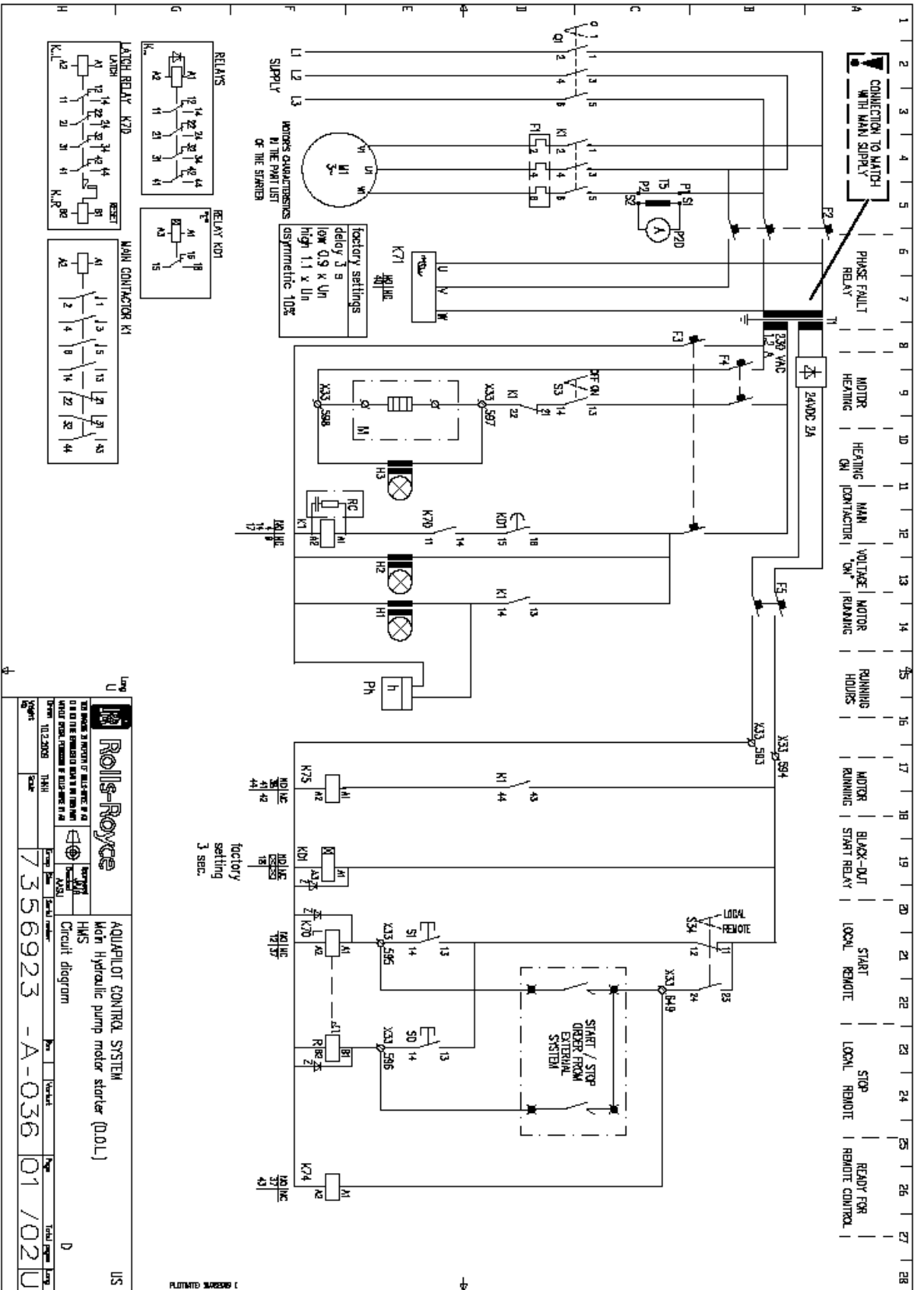
Sähkötuote. 2014. Viitattu 28.4.2014. Saatavissa:
[http://sahkotuote.fi/kauppa/index.php?main_page=product_info&products_id=6683012]

Vacon Oyj. 2012. Ship Building industry magazine volume 6 issue 6. Hollanti. Viitattu 17.3.2014. Saatavissa:
[http://www.abishipping.nl/uploads/tx_simplynews/attachments/ShipBuilding_Industry_Volume_6_Issue_6_-_Dover___Dublin.pdf]

Visser, C. 2014. Product Engineer, ABB Oy. Sähköpostiviestit. Vastaanottaja: juha.ilomaki@student.samk.fi. Lähetetty 22.5 – 23.5.2014 välisenä aikana. Viitattu 30.5.2014.

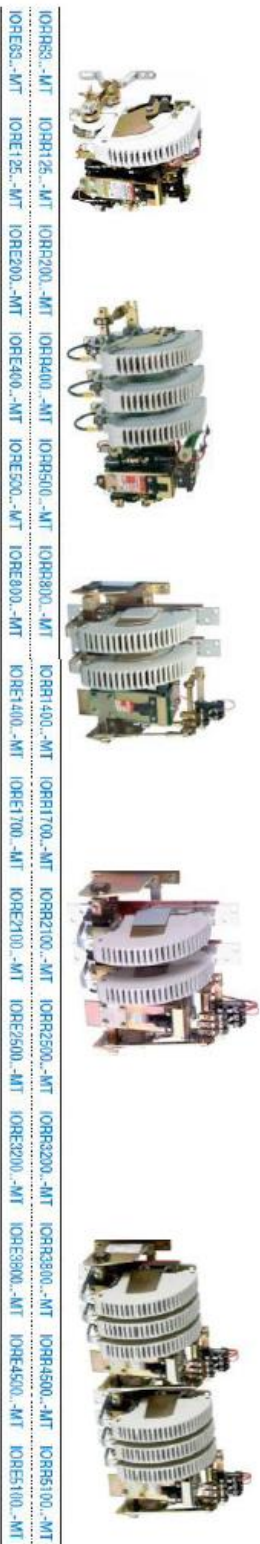
Wikipedia-artikkeli: Motor Controller. 2014. Viitattu 17.3.2014. Saatavissa:
[http://en.wikipedia.org/wiki/Motor_controller]

Wikipedia-artikkeli: Rolls-Royce Holdings. 2014. Viitattu 17.3.2014. Saatavissa:
[http://en.wikipedia.org/wiki/Rolls-Royce_plc]



Rated voltage A.C. Overview R.. and R..MT

Voltage Ue up to 1000 VAC and Current Ie up to 5000A



AC-1	85 A	170 A	280 A	400 A	550 A	800 A	1280 A	1650 A	1850 A	2200 A	3000 A	3500 A	4000 A	4500 A
AC-3	85 A	180 A	280 A	400 A	550 A	800 A	970 A	1170 A	1270 A	-	-	-	-	-
	1000V	55 A	105 A	180 A	280 A	390 A	530 A	580 A	810 A	-	-	-	-	-

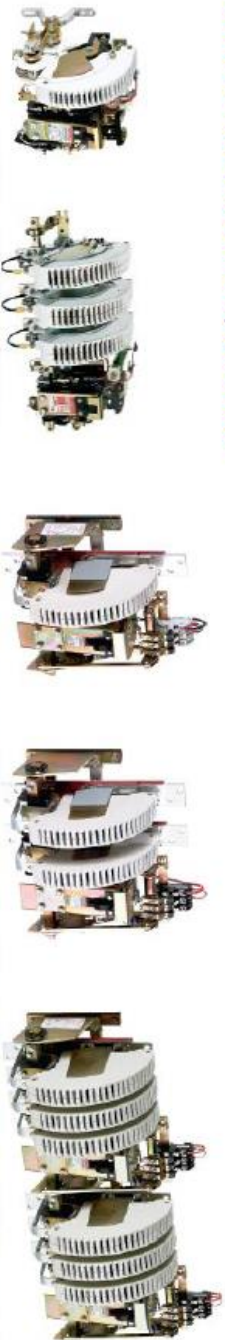
Voltage Ue up to 500 VAC and Current Ie up to 5000A

AC-1	900 A	1000 A	1350 A	1650 A	2000 A	2400 A	3200 A	3800 A	4500 A	5000 A
AC-3 440V	800 A	800 A	1080 A	1280 A	1520 A	-	-	-	-	-
500V	800 A	800 A	1080 A	1220 A	1340 A	-	-	-	-	-

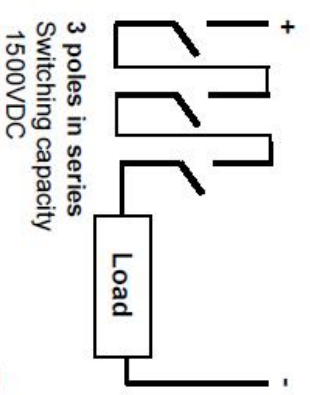
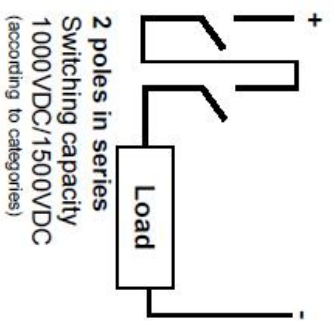
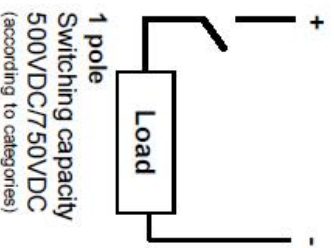


Rated voltage D.C. Series R..CC

Voltage U_e up to 1500 VDC and Current I_e up to 5000A

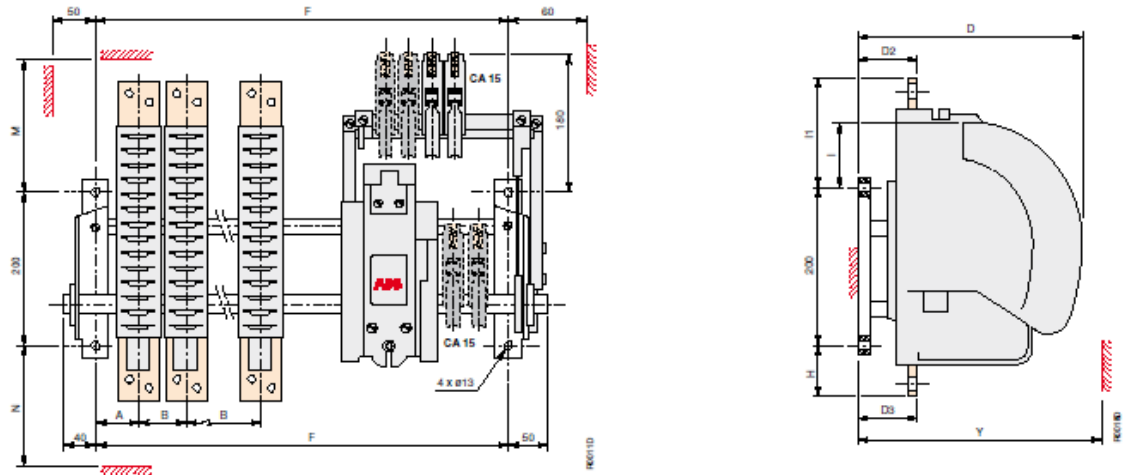


Categories	U _e max.																	
	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC	10RH83-CC 10RH125-CC 10RH200-CC 10RH400-CC 10RH500-CC							
1 pole	DC-1	500 VDC	85 A	170 A	275 A	400 A	550 A	750 VDC	800 A	1000 A	1350 A	1800 A	2000 A	2300 A	3200 A	3800 A	4500 A	5000 A
	DC-3 / DC-5	500 VDC	88 A	140 A	205 A	350 A	500 A	900 VDC	720 A	1000 A	1250 A	1600 A	1900 A	2000 A	On request	On request	On request	On request
2 poles	DC-1	1000 VDC	85 A	170 A	275 A	400 A	550 A	1500 VDC	300 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2300 A	3200 A	3800 A	4500 A	5000 A
	DC-3 / DC-5	1000 VDC	88 A	140 A	205 A	350 A	500 A	1000 VDC	220 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	On request	On request	On request	On request	On request
3 poles	DC-1	1500 VDC	85 A**	170 A**	275 A**	400 A**	550 A**	1500 VDC	300 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	2300 A	3200 A	3800 A	4500 A	5000 A
	DC-3 / DC-5	1500 VDC	88 A**	140 A*	205 A*	350 A*	500 A*	1500 VDC	220 A	1000 A	1250 A	1600 A	2000 A	On request	On request	On request	On request	On request

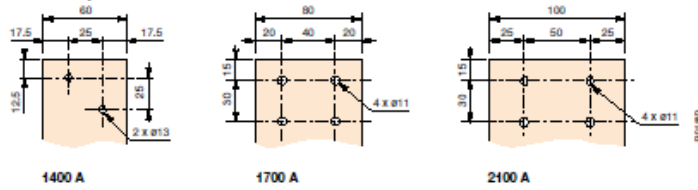


IORR., IORE., LORR., LORE.. Types Ratings 1400 ... 2100 A

Dimensions (in mm)



Terminal plate details



Terminal plate thickness for 1400 A to 2100 A ratings: top terminal plates = 10 mm, bottom terminal plates = 12 mm

Fixing

Ratings (A)	Number of poles	Fixing dimension - F acc. to number of extra CA 15.. auxiliary contacts:										Fixing holes Ø	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
1400	1	345	345	345	345	345	345	345	385	385	385	385	-
	2	445	445	445	540	540	540	540	540	540	540	540	4 x 13
	3	540	540	540	635	635	635	635	635	635	635	635	4 x 13
1700	1	345	345	345	345	345	345	345	385	385	385	385	-
	2	445	445	445	540	540	540	540	540	540	540	540	4 x 13
	3	540	540	540	635	635	635	635	635	635	635	635	4 x 13
2100	1	345	345	345	345	345	345	345	385	385	385	385	-
	2	445	445	445	540	540	540	540	540	540	540	540	4 x 13
	3	540	540	540	635	635	635	635	635	635	635	635	4 x 13

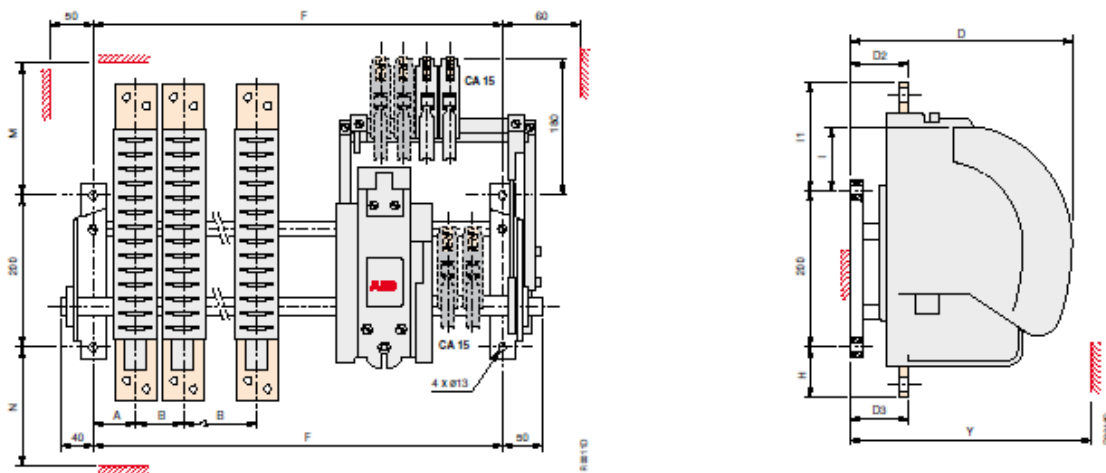
Dimensions - Clearing distances - Connecting

Ratings (A)	Number of poles	A	B	D	D1	D2	D3	H	I	I1	M	M1	N	T	Y	Y1
		(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
1400	1	85	-	325	260	75	77	70	108	98	228	165	100	-	400	280
	2	85	140	325	260	75	77	70	108	98	228	165	100	-	400	280
	3	85	120	325	260	75	77	70	108	98	228	165	100	-	400	280
1700	1	85	-	325	260	75	77	84	108	112	258	165	125	-	425	280
	2	85	140	325	260	75	77	84	108	112	258	165	125	-	425	280
	3	85	120	325	260	75	77	84	108	112	258	165	125	-	425	280
2100	1	85	-	325	260	75	77	84	108	112	258	165	125	-	425	280
	2	85	140	325	260	75	77	84	108	112	258	165	125	-	425	280
	3	85	120	325	260	75	77	84	108	112	258	165	125	-	425	280

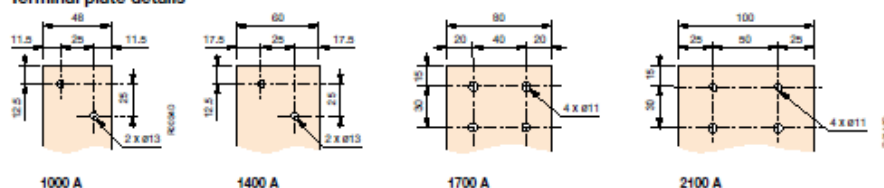
(1) LORR., LORE.. types: poles are not equipped with arc chutes. Use D1 dimension instead of D, M1 instead of M, Y1 instead of Y, I dim. is not applicable.

IORR..-MT and IORE..-MT Types IORR..-CC and IORE..-CC Types Ratings 1400 ... 2100 A (MT), 1000 ... 2100 A (CC)

Dimensions (in mm)



Terminal plate details



Terminal plate thickness for 1000 A to 2100 A ratings: top terminal plates = 10 mm, bottom terminal plates = 12 mm

Fixing

Ratings (A)	Number of poles	Fixing dimension - F acc. to number of extra CA 15.. auxiliary contacts:										Fixing holes Ø	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
1000	1	285	285	285	345	345	345	345	345	345	345	345	-
	2	345	345	345	385	385	385	385	445	445	445	445	4 x 13
	3	445	445	445	445	445	445	445	540	540	540	540	-
1400	1	285	285	285	345	345	345	345	385	385	385	385	-
	2	385	385	385	445	445	445	445	540	540	540	540	4 x 13
	3	540	540	540	635	635	635	635	635	635	635	635	-
1700	1	345	345	345	345	345	345	345	385	385	385	385	-
	2	445	445	445	540	540	540	540	540	540	540	540	4 x 13
	3	540	540	540	635	635	635	635	635	635	635	635	-
2100	1	345	345	345	345	345	345	345	385	385	385	385	-
	2	445	445	445	540	540	540	540	540	540	540	540	4 x 13
	3	540	540	540	635	635	635	635	635	635	635	635	-

Dimensions - Clearing distances - Connecting

Ratings (A)	Number of poles	Dimensions (mm)													
		A	B	D	-	D2	D3	H	I	I1	M	-	N	Y	-
1000	1	60	-	325	-	76	77	70	108	175	195	-	90	375	-
	2	60	90	325	-	76	77	70	108	175	195	-	90	375	-
	3	60	80	325	-	76	77	70	108	175	195	-	90	375	-
1400	1	80	-	325	-	76	77	70	108	175	258	-	100	425	-
	2	80	100	325	-	76	77	70	108	175	258	-	100	425	-
	3	80	120	325	-	76	77	70	108	175	258	-	100	425	-
1700	1	85	-	325	-	89	77	84	108	189	288	-	125	450	-
	2	85	140	325	-	89	77	84	108	189	288	-	125	450	-
	3	85	120	325	-	89	77	84	108	189	288	-	125	450	-
2100	1	85	-	325	-	89	77	84	108	189	288	-	125	450	-
	2	85	140	325	-	89	77	84	108	189	288	-	125	450	-
	3	85	120	325	-	89	77	84	108	189	288	-	125	450	-

