



AZIREC-JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Natalie Azoulay

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

AZOULAY, NATALIE:
Azirec-järjestelmän suunnittelu

Opinnäytetyö 56 sivua, josta liitteitä 3 sivua
Huhtikuu 2012

Opinnäytetyö tehtiin ABB Oy Marinen Propulsion Products -yksikölle. Työn tarkoitus oli suunnitella Azirec-järjestelmä, josta tulee uusi lisäoptiotuote. Azirec-järjestelmä turvaa laivan kääntöjärjestelmän keskeytymättömän toiminnan blackout-tilanteessa laivalla. Azirec-järjestelmä suunnitellaan Azipod XO -ruoripotkurille.

Opinnäytetyö aloitettiin perehtymällä Azipod-ruoripotkurin ja sen kääntöjärjestelmän toimintaan. Tämän jälkeen sovellettiin luokituslaitoksien vaatimuksia Azirec-järjestelmän suunnitteluun. Seuraavaksi tutustuttiin aikaisempaan Azirec-järjestelmään, joka on käytössä hydraulisessa kääntöjärjestelmässä. Sen pohjalta suunniteltiin Azirec-järjestelmä sähköiselle kääntöjärjestelmälle. Suunnittelemisen aloitettiin laskemalla lähtötiedot, joiden avulla mitoitettiin sopiva DC-UPS-järjestelmä. Lähtötiedot laskettiin useammalle erikokoiselle ruoripotkurille. DC-UPS-järjestelmälle valittiin sopivan tyyppinen ja kokoinen akusto.

Suunnittelemisen aikana oltiin yhteydessä markkinoilla olevien laitevalmistajien kanssa, jotka tarjosivat erilaisia ratkaisuja Azirec-järjestelmän toteuttamiseen. Opinnäytetyössä esitetään kolmen eri laitevalmistajan tarjoamia ratkaisuvaihtoehtoja Azirec-järjestelmälle.

Azirec-järjestelmästä yritettiin suunnitella yksi vakiokokoinen laitteisto. Ongelmaksi tuli kuitenkin se, että laivan sähköverkon jännitetaso vaihtelee, mikä vaikuttaa akkujen määrään DC-UPS-järjestelmässä. Tämä johti siihen, että Azirec-järjestelmä suunnitellaan ja tuotteistetaan projektikohtaisesti vakiotuotteen pohjalta. Azirec-järjestelmän poikkeuksellisen suuren DC-UPS-järjestelmän jännitetason vuoksi useampi laitevalmistaja ei kiinnostunut laitteen tuotteistamisesta. Järjestelmää tehdään harvoin, minkä vuoksi isommat yritykset eivät kiinnostuneet tuotteesta. Pienet yritykset eivät halunneet ottaa vastuuta laitteiston toimivuudesta ja rakenteen kestävydestä.

Työssä ei esitetä varsinaisia mitoituslaskelmia vaan esitetään ainoastaan laskenta menetelmät. Työssä ei esitetä myöskään kustannuslaskelmia.

Luku 8 ja liite 3 on poistettu julkisesta versiosta. Ne sisältävät laitevalmistajien tarjoamat vaihtoehdot ja järjestelmän valinnan, jotka ovat yrityksen luottamuksellista aineistoa.

Asiasanat: DC-UPS, akku, blackout-tilanne, kääntöjärjestelmä, Azipod-ruoripotkuri.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Electrical Power Engineering

AZOULAY, NATALIE:
Design of Azirec System

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 3 pages
April 2012

This thesis was made for the Propulsion Products unit of ABB Oy Marine. The purpose of the thesis was to design an Azirec system, which will be a new optional product. The Azirec system secures the Steering system and gives the system uninterrupted steering ability in blackout situations on the ship. Azirec system is devised to Azipod XO rudder.

The thesis began with getting acquainted with the Azipod rudder and its Steering system. After that, the classification societies' requirements for Azirec system were applied in the system design. The next step was to get acquainted with the previous Azirec system which was designed to the Hydraulic Steering system. The new Azirec system was designed to the Electrical Steering system based on the previous Azirec system. The design began with calculating the initial data for different sizes of Azipod units. The initial data was used to dimension DC-UPS systems for Azirec system. The dimensioning included also choosing the suitable type and size of batteries for the DC-UPS system.

During the Azirec design work, there was cooperation with the manufacturers on the market which offered different solutions for Azirec system. This thesis presents three of the offered solutions.

The initial plan was to design one regular size Azirec system. However, the ships electrical network's voltage level changes between ships and this effects the amount of the batteries in DC-USP system. This leads to project-specific design and production. Azirec system's DC-UPS system has a high voltage level which leads to difficulties in finding a manufacturer. Because this product is not mass-produced, the big manufactures are not interested in producing it. Small manufactures are not willing to carry the responsibility of the product's performance and assembly's strength.

This thesis presents the principles for dimensioning but not the actual dimensioning data. Also the calculation of costs is not a part of this thesis.

Chapter 8 and enclosure 3 are deleted from the public version. They include company confidential information such as the solutions offered by the manufactures and the choice of the system for Azirec.

Key words: DC-UPS, Battery, blackout situation, Steering system, Azipod rudder.

SISÄLLYS

KÄSITTEET	6
LYHENTEET	7
SYMBOLIT	8
1 JOHDANTO.....	9
2 TOIMEKSIANTAJAYRITYS ABB OY	10
2.1 ABB Marine & Cranes	10
2.2 Azipod-ruoripotkuri	11
3 AZIPOD-TUOTEPERHE	13
3.1 Azipod XO	13
3.2 Azipod XO -ruoripotkurin sähköinen kääntöjärjestelmä.....	16
4 TEORIA	19
4.1 Taajuusmuuttaja.....	19
4.2 UPS-järjestelmä	21
4.3 Akusto	22
4.3.1 Suljettu lyijyakku	22
4.3.2 Litium-ioni-akku	23
4.4 Jännitettä nostava tasasähkökatkoja.....	24
5 AZIREC-JÄRJESTELMÄÄN VAIKUTTAVAT SÄÄDÖKSET.....	26
5.1 Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO	26
5.2 Luokituslaitoksien vaatimukset	27
6 AZIREC-JÄRJESTELMÄ	29
6.1 Blackout-tilanne laivalla	29
6.2 Aikaisempi Azirec-järjestelmä.....	30
6.3 Uusi Azirec-järjestelmä	31
6.4 DC-UPS-järjestelmä	33
7 AZIREC-JÄRJESTELMÄN MITOITTAMINEN.....	36
7.1 Mitoituslaskenta.....	37
7.2 Akuston mitoitus.....	40
9 YHTEENVETO	43
LÄHTEET.....	44

LIITTEET	46
Liite 1. Azirec-järjestelmä kahdella DC-UPS-järjestelmällä	47
Liite 2. Azirec-järjestelmä kolmella DC-UPS-järjestelmällä.....	48

KÄSITTEET

Module	isosta järjestelmästä koostuva riippumaton rakenneosa, jolla on tietty toiminta ja hyvin määritelty rajapinta
Blackout-tilanne	tilanne, jolloin mikään laivan generaattoreista ei kykene syöttämään laivan sähköverkkoon tehoa
Kenno	akun pienin yksikkö, joka koostuu positiivisista ja negatiivisista levyistä, elektrolyytistä, akkuastiasta ja muista rakenneosista
Akusto	useamman sarjaankytketyn kennon muodostama toiminnallinen kokonaisuus
Luokitus	järjestelmä, joka turvaa ihmishenkiä, omaisuutta ja ympäristöä

LYHENTEET

ABS	American Bureau of Shipping; amerikkalainen luokituslaitos
Azipod®	AZImuthing electric Podded Drive; sähkökäyttöinen ruori- potkuri
AZIREC	Azipod Rectifier; kääntölaitteen varavoimajärjestelmä
DNV	Det Norske Veritas; norjalainen luokituslaitos
ESB	Emergency SwitchBoard; hätäjakelutaulu
ESCU	Electric Steering Control Unit; sähköisen kääntöjärjestelmän ohjausyksikkö
FAT	Factory Acceptance Test; tehdaskoe
IACS	International Association of Classification Societies
IMO	International Maritime Organization; kansainvälinen meren- kulkujärjestö
LR	Lloyd's Register; englantilainen luokituslaitos
MSB	Main SwitchBoard; pääjakelutaulu
SD	Steering Drive cabinet; kääntöä ohjaava taajuusmuuttajakaa- pisto
SOLAS	Safety Of Life At Sea; IMO:n säännöstö ihmishengen tur- vaamiseksi merellä
UPS	Uninterrupted Power Supply; häiriötön tehon syöttö

SYMBOLIT

I	virta
I_{AC}	vaihtovirta
I_{DC}	tasavirta
K	vaihteiden välityssuhde
$n_{ruoripotkuri}$	kääntöakselin pyörimisnopeus
$n_{moottori}$	moottorin pyörimisnopeus
$P_{Lähtö}$	lähtöteho
P_{TAMU}	taajuusmuuttajan välipiirin teho
$P_{1moottori}$	teho yhdelle moottorille
Q	kapasiteetti/varaus
t	varmennusaika
T	vääntömomentti
$T_{1moottori}$	vääntömomentti yhdelle moottorille
T_{SOLAS}	SOLAS-vääntömomentti
U_{AC}	pääjännite
U_{DC}	tasajännite
U_{max}	maksimijännite
U_{varaus}	kennon suurin varausjännite
v_{ω}	nopeus
ω	kulmanopeus
$^{\circ}$, deg	aste
η	vaihteiston hyötysuhde
W	energia

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin Azipod XO -tuoteperheelle uusi tuoteratkaisu, joka täydentää laivan varotoimia hätätilanteessa. Azirec-järjestelmätuote suunniteltiin ABB Marineen kuuluvan Propulsion Products -yksikön toimeksiannosta.

Opinnäytetyössä perehdyttiin laivan ohjausjärjestelmän turvaamiseen blackout-tilanteessa, jossa mikään voimalaitoksen generaattoreista laivalla ei kykene tuottamaan sähköverkkoon tehoa ja siten sähköä ohjausjärjestelmälle. Azirec-järjestelmä sisältää DC-UPS-järjestelmän, joka turvaa keskeytymättömän syötön ohjausjärjestelmälle. DC-UPS-järjestelmä sisältää tarvittavat suojaus- ja lisäkomponentit. Azirec-järjestelmän on turvattava laivan ohjaus syöttämällä sähköä osalle kääntölaitteen moottoreista 60 sekunnin ajan.

Suunnittelu aloitettiin tutkimalla toimeksiantajayritystä ja sen Azipod XO -tuoteperhettä. Ensin perehdyttiin Azipod XO -yksikön kääntöjärjestelmään, jonka jälkeen voitiin aloittaa Azirec-järjestelmän suunnittelu mitoittamalla sopiva DC-UPS -järjestelmä. DC-UPS-järjestelmälle laitevalmistajat mitoittivat sopivan kokoisien ja tyyppisen akuston. Lopuksi työssä pohdittiin eri laitevalmistajien ratkaisuvaihtoehtojen valintaa Azirec-järjestelmälle.

Opinnäytetyössä otetaan kantaa myös Azirec-järjestelmän suojaukseen ja valvontaan, jotka vaikuttavat Azirec-järjestelmän elinikään. Opinnäytetyössä sovelletaan luokituslaitoksen säännöksiä ja sähköstandardeja. Suunnitteluvaiheessa oltiin yhteydessä markkinoilla oleviin laitevalmistajiin, esimerkiksi UPS-järjestelmien laitevalmistajiin.

Opinnäytetyössä esitetään Azipod XO -tuoteperheessä oleville kokoluokille Azirec-järjestelmän suunnittelu ja mitoitus. Työssä ei esitetä kustannuslaskelmia eikä varsinaisia mitoituslaskelmia.

2 TOIMEKSIANTAJAYRITYS ABB OY

ABB Oy syntyi vuonna 1988, kun ruotsalainen yritys Asea ja sveitsiläinen yritys Brown Boveri yhdistyivät yhdeksi yhtymäksi. ABB Oy:n pääkonttori sijaitsee Sveitsissä. ABB toimii globaalisti noin sadassa eri maassa ja työllistää yli 130 000 henkilöä. Suomessa se työllistää noin 7000 henkilöä yli 40 paikkakunnalla. (ABB-yhtymä 2012; ABB lyhyesti 2012.)

ABB:n suomalaiset juuret ovat peräisin jo vuodelta 1889, kun Gottfrid Strömberg perusti sähkökoneita valmistavan yrityksen Strömberg Oy:n. Ruotsalainen Asea osti 1980-luvulla Strömberg Oy:n, ja sen toiminnot ovat nykyisin ABB:n käytössä. (Nikkari 2009.)

ABB:n päätuotteita ovat moottorit, taajuusmuuttajat, muuntajat, teollisuusrobotit ja teollisuusautomaatio. ABB:n teknologiapanostus varmistaa, että ratkaisut ja sovellukset parantavat energia- ja tuotantotehokkuutta sekä sähköverkkojen luotettavuutta myös tulevaisuudessa. ABB on johtava yritys sähkövoima- ja automaatioteknologia-alalla. ABB:n ydinliiketoimintoihin kuuluu viisi divisioonaa: Sähkövoimatuotteet, Sähkövoimajärjestelmät, Sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio, Pienjännitetuotteet ja Prosessiautomaatio. (ABB-yhtymä 2012; ABB lyhyesti 2012.)

2.1 ABB Marine & Cranes

ABB Marine vastaa laivojen propulsiojärjestelmien sähköistyksestä ja laiva-automaatiosta ja kuuluu prosessiautomaatio-divisioonan liiketoimintayksikköön. Suomen toimipiste sijaitsee Helsingin Vuosaarella ja työllistää noin 250 henkilöä. ABB Marine vastaa toimituksista jäänmurtajiin, risteilijöihin, ro-ro-aluksiin, tankkereihin ja myös erikoisaluksiin. ABB Marinen liiketoimintaprosessiin kuuluu nykyisin laivan koko elinikä konseptisuunnittelusta, myynnistä ja markkinoinnista järjestelmien modernisointiin. (Turtiainen, Pakaste, Lehti, Uuskallio & Veikonheimo 2007.)

ABB Marine on kehittänyt oman tuotteen Azipod-ruoripotkurin, joka koostuu propulsio- ja kääntölaitemoduulista. Azipod-ruoripotkurin lisäksi ABB Marine toimittaa usein myös lähes koko laivan sähköjakelujärjestelmän, joka koostuu koko laivan sähkönjakelusta paitsi Diesel-generaattoreista. Toimitukseen kuuluvat myös laivan automaatiolaitteet, energiansäästöjärjestelmät ja laivan ohjausjärjestelmä, joka sijaitsee laivan komentosillalla. Kuviossa 4 näkee ABB Marinen toimittamien tuotteiden kokonaisuuden. (Turtiainen, Pakaste, Lehti, Uuskallio & Veikonheimo 2007.)

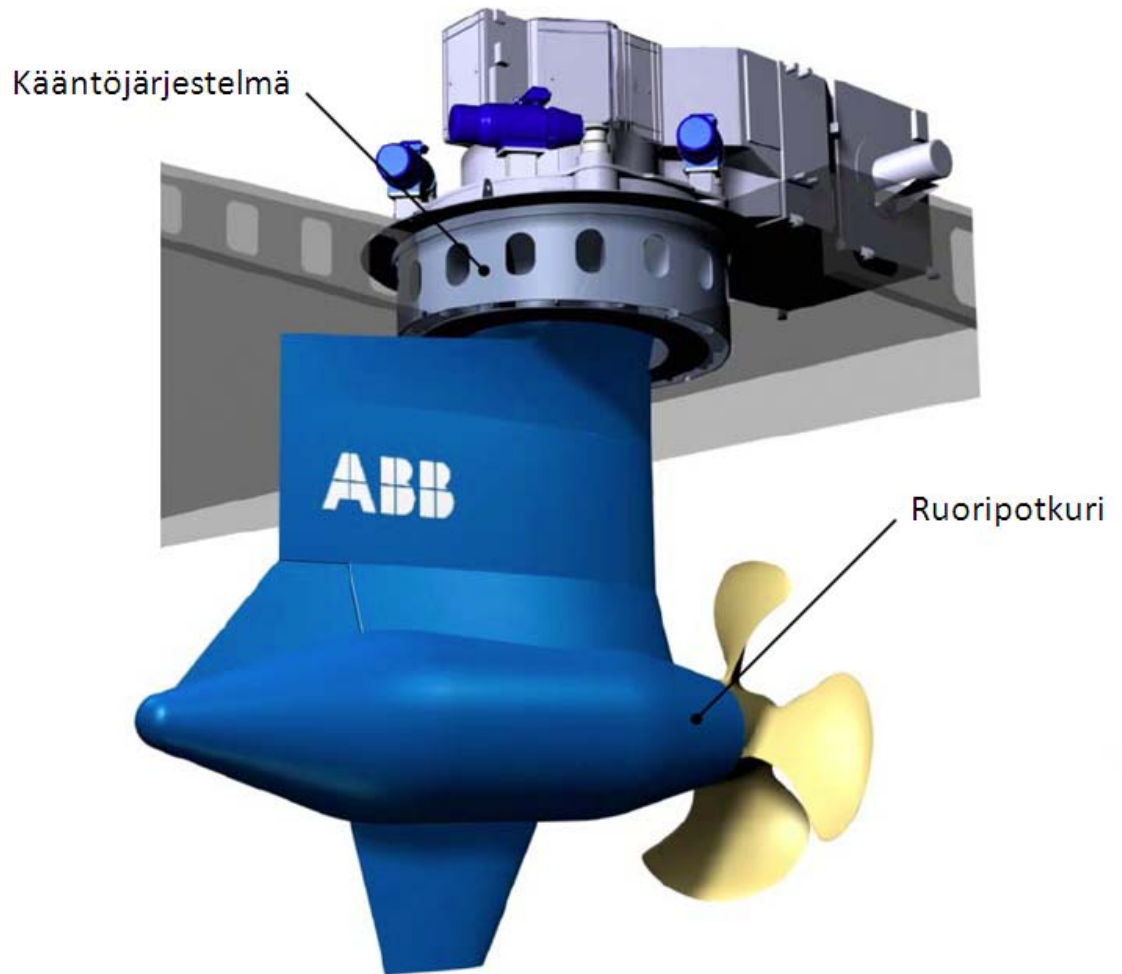
2.2 Azipod-ruoripotkuri

ABB Oy määrittelee Internet-sivuillaan, mikä on Azipod-ruoripotkuri:

Azipod (AZImuthing electric POrded Drive) on sähkökäyttöinen ruoripotkurilaitte. Kiinteälapaista potkuria pyörittävä vaihtosähkökäyttöinen moottori sijaitsee erillisessä ohjailuyksikössä, joka pystyy kääntymään 360 astetta pysty akselinsa ympäri. Sähkömoottorin pyörimisnopeutta säädetään portaattomasti. Toimintaperiaatteeltaan Azipod muistuttaa sähköistä perämoottoria.

Koska Azipod-ruoripotkuri kääntyy, laivaa on helppo ohjata kaikilla nopeuksilla. Azipod tarvitsee vähemmän tilaa ja se on kevyempi propulsioratkaisu kuin perinteinen sähköinen potkurimoottori akseleineen. Tilaa jää käytettäväksi muihin tarkoituksiin, ja lisäksi laivan polttoainetalous paranee. (Turtiainen, Pakaste, Lehti, Uuskallio & Veikonheimo 2007.)

Kuviossa 1 on esitetty Azipod-ruoripotkuri.



KUVIO 1. Azipod®-ruoripotkuri (ABB Oy, Marine: Azipod XO2100 Product Introduction 2009, muokattu)

3 AZIPOD-TUOTEPERHE

Azipod-ruoripotkurin tuoteperhe jakautuu kolmeen eri päätuotteeseen, jotka ovat C, V ja X. Azipod C on pienikokoinen ruoripotkuri, Azipod V on isokokoinen ruoripotkuri ja Azipod X on uusi korvaava tuote Azipod V -ruoripotkurille. Suurikokoinen ruoripotkurin tehotaso on 5–25 MW ja pienikokoisen ruoripotkurin tehotaso on 1300–4500 kW. Tuotteita täsmennetään toisella kirjaimella, joka tarkoittaa tuotetta.

Täsmentävät kirjaimet:

- O: avovesistöön suunniteltu ruoripotkuri
- I: jääolosuhteisiin suunniteltu ruoripotkuri
- C: vastakkain pyörivät potkurit
- Z: potkuri sijaitsee suulakkeen sisällä

(ABB Oy, Marine: Azipod Product Platform Selection Guide 2010)

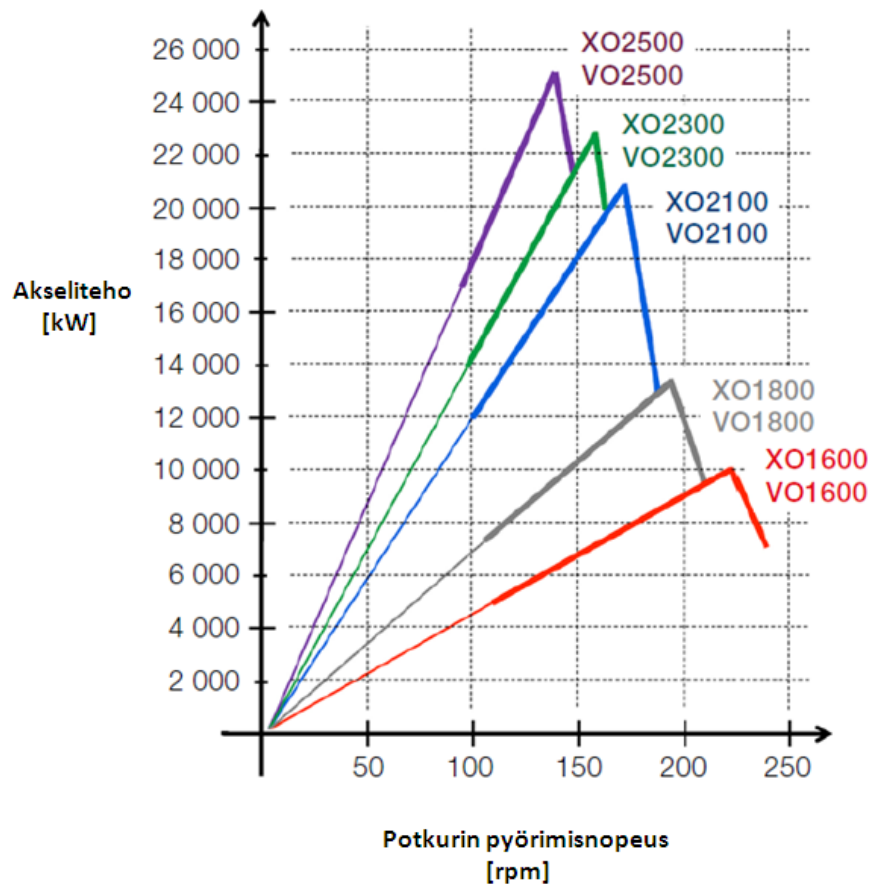
X-tuote korvaa V-tuotteen, jonka vuoksi oli myös uudistettava vanha Azirec-järjestelmä uudelle X-tuotteelle.

3.1 Azipod XO

Azipod XO on avoveteen tarkoitettu suurikokoinen ruoripotkuri, johon suunnitellaan uusi Azirec-järjestelmä. Azipod XO -ruoripotkureita on kokoluokkina XO1600, XO1800, XO2100, XO2300 ja XO2500. Kuviossa 2 on esitetty potkurin pyörimisnopeus akselitehoon nähden. (ABB Oy, Marine: Azipod XO The new generation 2010.)

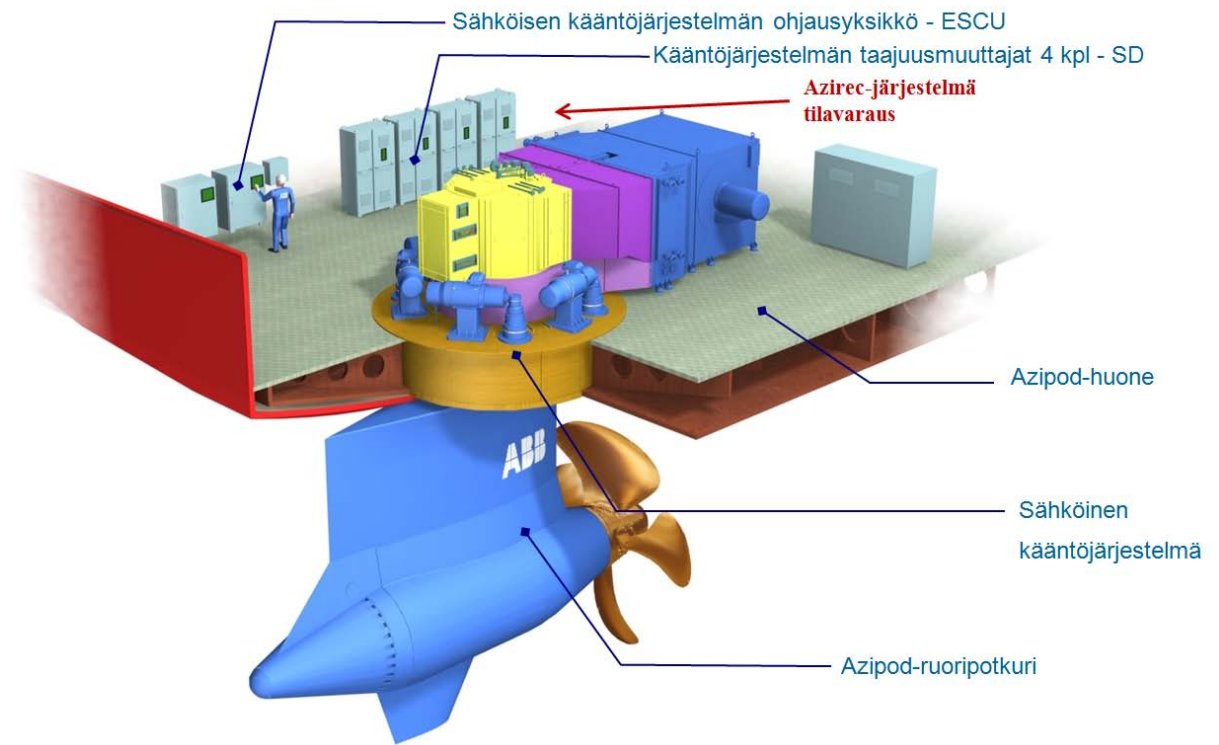
Uusi Azirec-järjestelmä suunnitellaan ensimmäisenä XO2300:selle. Jatkossa se skaalataan myös muille kokoluokille.

Potkurin pyörimisnopeus akselitehon funktiona



KUVIO 2. Kuvaaja Azipod XO- ja Azipod VO -tuoteperheen potkurin pyörimisnopeudesta akselitehon funktiona (ABB Oy, Marine: Azipod XO The new generation 2010, muokattu)

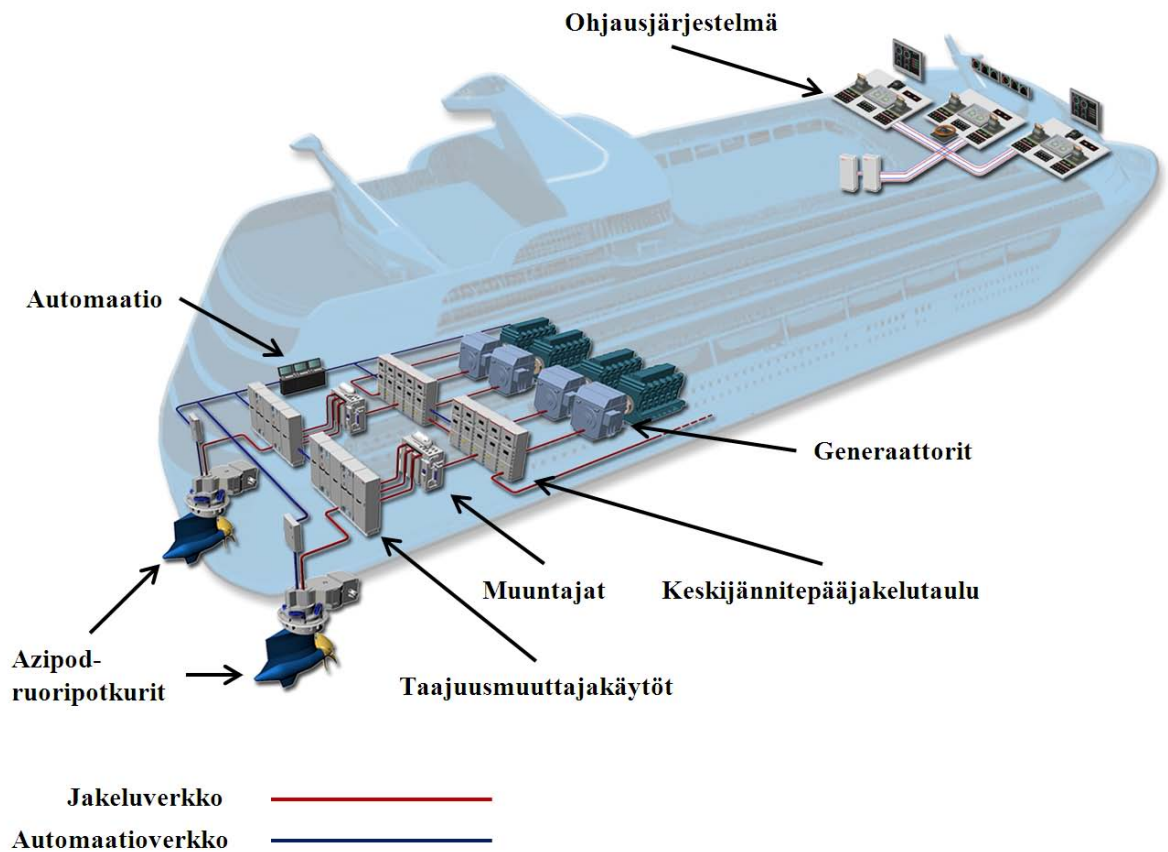
Kuviossa 3 on esitetty Azipod XO. Siitä näkee myös Azipod-huonetilan, johon sijoitetaan merkityt laitteet kuten myös Azirec-järjestelmä kääntöjärjestelmän taajuusmuuttajien lähetyville.



KUVIO 3. Uuden sukupolven Azipod XO (ABB Oy, Marine: Azipod XO2100 Product Introduction 2009, muokattu)

Kuviossa 4 esitetään esimerkki laivan propulsiojärjestelmän tyypillisestä toimituslaajuudesta. Siitä nähdään myös, miten ruoripotkurit on asennettu laivan ulkopuolelle. Ohjausjärjestelmä sijaitsee laivan komentosillalla. Laivalla on useampi generaattori ja ne syöttävät sähköverkolle noin 6–11 kV:n jännitteen. Keskijännitepääjakelutaulut syöttävät muuntajien kautta taajuusmuuttajakäyttöjä. Taajuusmuuttajakäytöt syöttävät Azipod-ruoripotkurille noin 3 kV:n jännitteen. (Keronen 2006.)

Keskijännitepääjakelutaulu syöttää myös moottoriohjauskeskukselle jännitteen, joka muunnetaan alajännitepäätaululle 400 voltin, 440 voltin tai 690 voltin jännitetasoksi. Tällöin 400 voltin tapauksessa taajuus on 50 Hz, 440 voltin ja 690 voltin tapauksissa taajuus on 60 Hz. (Keronen 2006.)



KUVIO 4. Laivan toimituslaajuus (ABB Oy, Marine: Azipod XO The new generation 2010, muokattu)

3.2 Azipod XO -ruoripotkurin sähköinen kääntöjärjestelmä

Azipod-ruoripotkuri on laivoissa käytettävä potkuriyksikkö, joka on käännettävissä pysty akseliinsa nähden. Potkuriyksikkö kääntyy 360°, joten se korvaa perinteisen peräsiimen ja on toteutettu sijoittamalla sähkömoottori itse yksikköön. (Turtiainen, Pakaste, Lehti, Uuskallio & Veikonheimo 2007.)

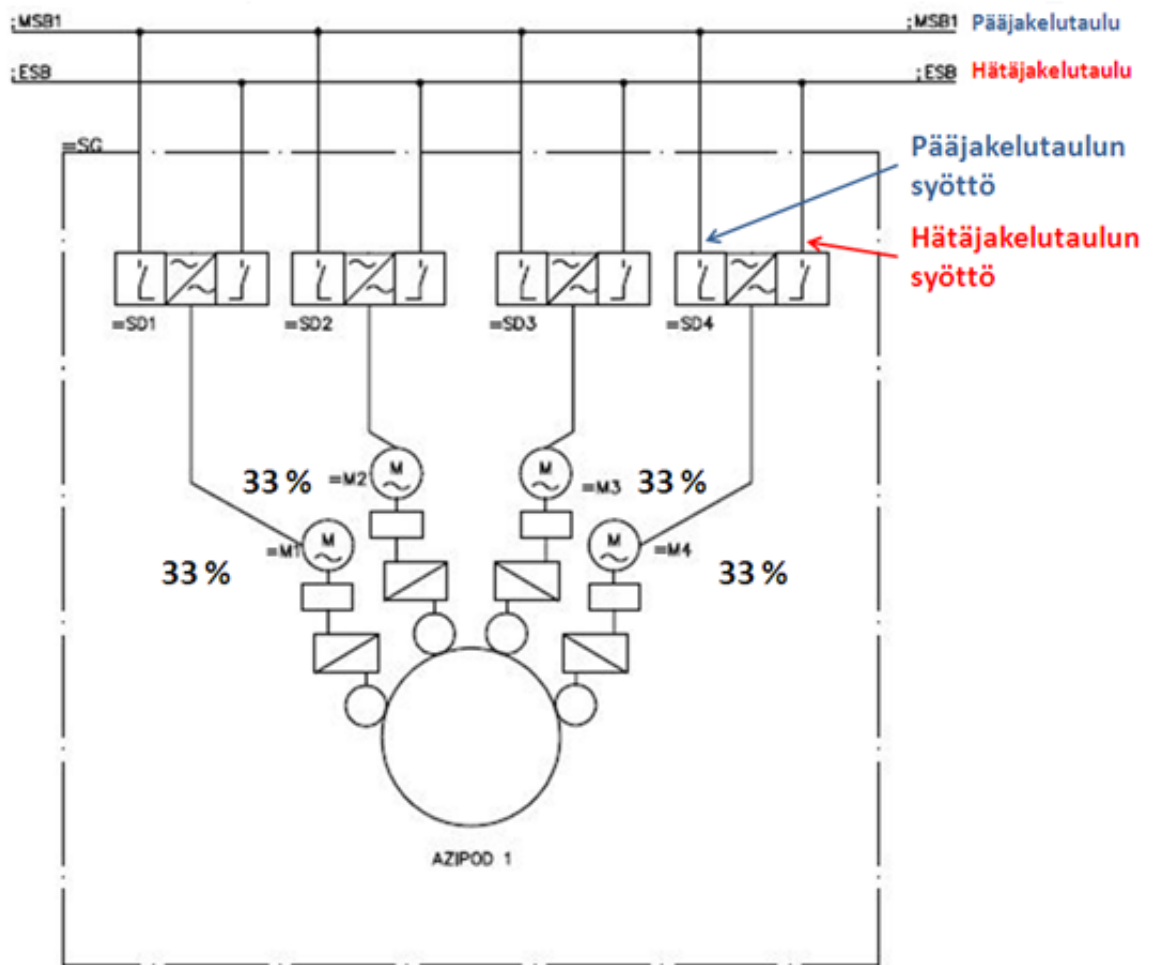
Laivalla on kaksi jakelutaulua: pää- ja hätäjaketutaulu. Hätäjaketutaulu huolehtii tärkeimpien toimintojen sähkösaannista, kun pääjaketutaulu ei ole toiminnassa. Redundanttisen kääntöjärjestelmän ohjaus toimii esimerkiksi neljällä moottorilla, jotka tuottavat tarvittavan kääntömomentin. Mitoitus perustuu siihen, että jokaiselle moottorille on laskettu 33 %:n kääntömomentin tuotto ja kokojärjestelmän kääntömomentin tuotto on $4 \times 33 \% \approx 133 \%$. Yhden moottorivian syntyessä teho putoaa 100 %:iin. Siten voidaan

määrittää redundanttinen järjestelmä (n-1)-järjestelmäksi. Ohjausjärjestelmän kääntömomentti ja ohjausnopeus selvitetään taulukossa 1. (Peljo 2011.)

TAULUKKO 1. Redundanttinen kääntöjärjestelmä (Peljo 2011).

n = 4 moottoria	Käytön määrittäminen	Kääntömomentti [%]	Ohjausnopeus matka-ajolla ja satamassa [deg/s]	Ohjauslaitteen kääntökyky
n	Normaali käyttö	133	5	SOLAS
n-1	Yksittäisvika	100	2,5	SOLAS
n-2	Useampi käyttövika	66	2,5	Jos ruoripotkurin kääntökulma karkaa, jarrut kytkeytyvät päälle
n-3	Useampi käyttövika	33	2,5	Jos ruoripotkurin kääntökulma karkaa, jarrut kytkeytyvät päälle
n-4	blackout	0	Jarrut kytkeytyvät päälle	Laivan ohjaaminen ei ole mahdollista

Kuviossa 5 on esitetty sähköinen redundanttinen kääntöjärjestelmä yhdelle Azipod-ruoripotkurille. Kääntöjärjestelmän taajuusmuuttajat saavat syöttönsä pääjakelutaululta normaalitilanteessa. Silloin kun pääjakeluverkko ei kykene syöttämään taajuusmuuttajia, ne saavat syöttönsä hätäjakelutaululta. Taajuusmuuttajat eivät saa syöttöä molemmilta jakelutauluilta samanaikaisesti. Samanaikaisuus vältetään vaihtokytkennän avulla.



KUVIO 5. Redundanttinen sähköinen kääntöjärjestelmä (Peljo 2011)

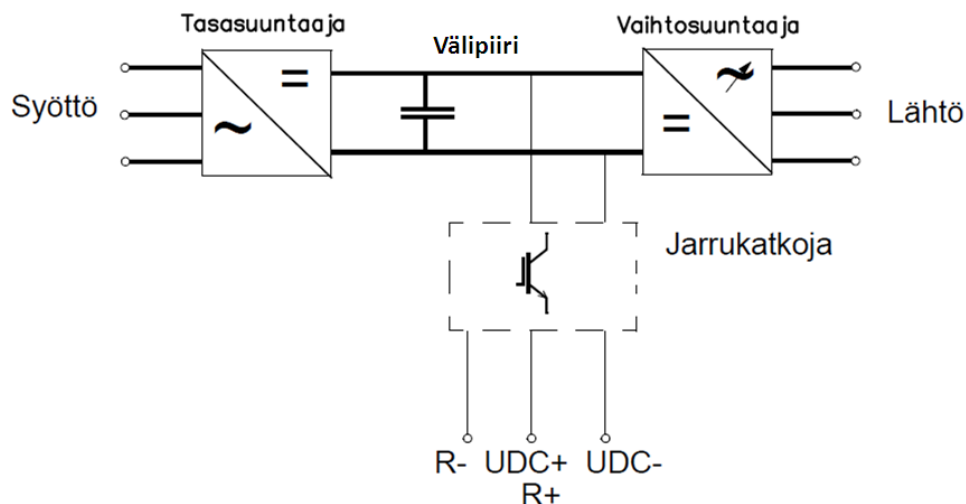
4 TEORIA

Luvussa 4 tuodaan esille opinnäytetyön oleellista teoriaa, jota suunnittelussa sovelletaan.

4.1 Taajuusmuuttaja

Tämän opinnäytetyön kannalta on tärkeä perehtyä taajuusmuuttajan toimintaan, koska Azirec-järjestelmä mitoitetaan sähkökäytölle, joka sisältää taajuusmuuttajan ja moottorin.

Taajuusmuuttaja on laite, joka säätelee portaattomasti moottorin pyörimisnopeutta ja momenttia. Sen avulla sähkömoottoria pystytään käyttämään tehokkaammin läpi koko pyörimisnopeusalueen. Taajuusmuuttajan pääpiirin pääkomponentit ovat: 6-pulssinen tasasuuntaaja, välipiiri ja vaihtosuuntaaja. Tasasuuntaaja muuttaa kolmivaiheisen vaihtojännitteen tasajännitteeksi. Välipiirin kondensaattori toimii energiavarastona ja vakauttaa välipiirin tasajännitteen. Taajuusmuuttajan välipiiriin on kytketty jarrukatkoja, ja siinä on myös välipiirin DC-liittimet. Vaihtosuuntaajan avulla tasajännite muutetaan halutun kaltaiseksi vaihtojännitteeksi. Kuviossa 6 on esitetty taajuusmuuttajan rakenne. (ABB Oy: ACS800 laiteopas 2008, 25.)



KUVIO 6. Taajuusmuuttajan rakenne (ABB Oy: ACS800 laiteopas 2008, 25)

Taajuusmuuttajan välipiirin tasajännite on laskettavissa taajuusmuuttajalle syötettävästä vaihtojännitteestä kaavan 1 mukaisesti:

$$U_{DC}[VDC] = U_{AC}[VAC] * 1,35 \quad (1)$$

Jossa:

- U_{AC} on syöttävän verkon pääjännite [VAC]
- 1,35 on ohjaamattoman 6-pulssisillan vakiotermi

(ABB Oy: ACS800 laiteopas 2008, 120.)

Azipod-yksikön sähköisessä kääntöjärjestelmässä käytetään ACS800-04-taajuusmuuttajia jokaisen moottorin ohjaukseen. Kuvassa 1 on esitetty taajuusmuuttaja ACS800-04, jolle Azirec-järjestelmä mitoitetaan. Taajuusmuuttajaa syöttää 690 voltin pääjakelutaulu, jolloin voidaan laskea kaavalla 1 taajuusmuuttajan välipiirijännitteeksi 931.5 V DC. Kun taajuusmuuttajaa syöttää 400 voltin tai 440 voltin pääjakelutaulu, lasketaan vastaavasti taajuusmuuttajan välipiirijännitteeksi 540 V DC ja 594 V DC kaavalla 1. Taajuusmuuttajan välipiirille on määritetty control limit -arvo, johon saakka taajuusmuuttaja toimii normaalisti. Kun kyseinen control limit -parametri on aktivoituna, välipiirijännite voi laskea korkeintaan 18 %. Jos control limit -parametri ei ole aktivoituna, toimii rajana tripping limit -parametri, jolloin taajuusmuuttaja lakkaa toimimasta välipiirijännitteen pudottua 40 %.

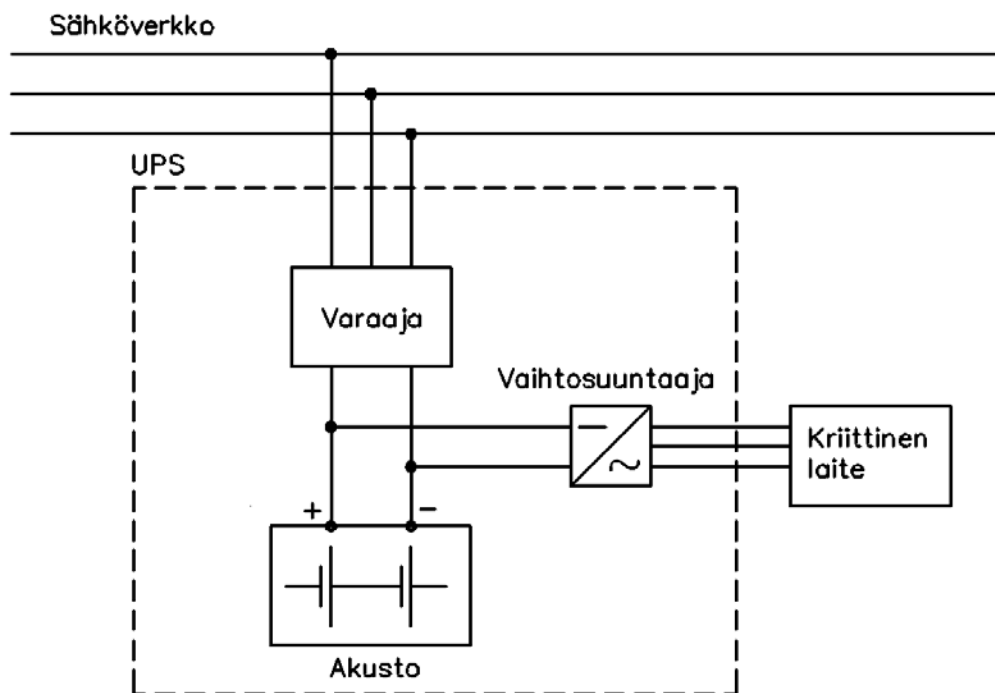


KUVA 1. Taajuusmuuttaja ACS800-04 (ABB Product guide, Single drive modules 2012, 10, muokattu)

4.2 UPS-järjestelmä

UPS-järjestelmän tarkoitus on varmistaa häiriötön sähkönsyöttö niille laitteille ja järjestelmille, joiden on toimittava 100 %:n varmuudella silloinkin, kun sähköverkko ei kykene syöttämään sähköä. UPS-järjestelmän pääosat ovat: akusto, tasasuuntaaja ja vaihtosuuntaaja. DC-UPS-järjestelmässä ei ole vaihtosuuntaajaa, koska järjestelmän tarkoitus on syöttää tasajännitettä kriittiselle laitteelle. UPS-laitteessa käytetään puolijohdesiltoja ja perustoimintoihin kuuluu myös ohitustoiminto ylikuormaa ja vikatilanteita varten. (ST-käsikirja 20, 2005, 59.)

Vaihtojännitteinen sähköverkko syöttää UPS-järjestelmää. UPS-järjestelmä muuttaa tasasuuntaajan avulla vaihtojännitteen tasajännitteeksi, jolloin se lataa UPS-järjestelmän akustoa tasajännitteellä. UPS-järjestelmän akusto syöttää vaihtosuuntaajalle tasajännitettä, jonka se muuttaa vaihtojännitteeksi kriittiselle laitteelle. Normaalin UPS-järjestelmän toiminta on esitetty kuviossa 7. (ST-käsikirja 20, 2005, 64.)



KUVIO 7. UPS-järjestelmän rakenne (Kuvio: Natalie Azoulay 2012)

4.3 Akusto

Akku on sähkökemiallinen energiavarasto, joka purettaessa muuttaa kemiallista energiaa tasasähköksi ja varattaessa sähköenergiaa kemialliseksi energiaksi. Akkuun varastoidaan sähköenergiaa kemiallisessa muodossa. (Vahlman 2006; ST-kortisto 2003. ST 52.30.01, 1.)

4.3.1 Suljettu lyijyakku

Suljetussa lyijyakussa kenno on akun pienin yksikkö, joka koostuu positiivisista ja negatiivisista levyistä, elektrolyytistä, akkuastiasta ja muista rakenneosista. Akusto on useamman sarjaankytketyn kennon muodostama toiminnallinen kokonaisuus. Akku on kriittinen ja kallis komponentti, ja yleensä sen elinikä on UPS-järjestelmän muita osia lyhempi. (Vahlman 2006; ST-käsikirja 20, 2005, 84–85.)

Lyijyakussa energiavarastona toimivat positiivisen levyn lyijyoksidin ja negatiivisen levyn lyijy sekä elektrolyytinä käytettävä rikkihappo. Suljetussa lyijyakussa akkuhappo eli elektrolyytti on imeytetty levyjen välissä olevaan ohutkuituiseen lasikuitumattoon tai siitä on muodostettu geeli sekoittamalla siihen 4–8 % amorfista piidioksidia (SiO_2); tällaista akkua kutsutaan geeliakuksi. (Vahlman 2006; ST-kortisto 2003. ST 52.30.01, 1.)

Paikallisakut ovat akkuja, joiden tarkoitus on varmistaa katkotonta tehonsyöttöä myös silloin, kun verkkosähköä ei ole saatavilla. Nämä akut on suunniteltu kestäväksi jatkuvaa ylläpitovarausta useamman vuoden ajan. Paikallisakku voidaan sijoittaa tilanteesta riippuen laitteen sisään, lukittavaan akkukaappiin, normaaliin huonetilaan, telineelle tai erilliseen akkuhuoneeseen. (Sähkötieto ry. ST-kortisto 2003. ST 52.30.01, 1.)

Nimelliskapasiteetti on sähkömäärä, joka voidaan purkaa akusta määritellyissä olosuhteissa. Nimelliskapasiteetti on riippuvainen lämpötilasta, purkausajasta ja loppujännit-

teestä. UPS-käytössä lyijyakuille ilmoitetaan yhden kennon tehonsyöttökyky (W/kenno), esimerkiksi purkausajalla 15 min loppujännitteeseen 1,67 V/kenno lämpötilassa +25 °C. (Vahlman 2006; ST-kortisto 2003. ST 52.30.01, 2.)

Suljettu lyijyaku valmistetaan tehtaalla, ja sen jälkeen käyttäjän ei tarvitse enää avata kennotulppia, esimerkiksi lisätäkseen akkuun tislattua vettä. Useimmiten se ei ole edes mahdollista, minkä vuoksi akkua kutsutaan suljetuksi akuksi. Sähkön varastointiperiaate on suljetussa lyijyakussa samanlainen kemiallinen reaktio kuin perinteisessä lyijyakussa. Suljetun akun veden kulutus on erittäin vähäinen, ja niinpä se ei vaikuta akun elinikään rajoittavasti. (Vahlman 2006; ST-kortisto 2003. ST 52.30.01, 2.)

Geeliakkujen varausjännite on 2,23 V/kenno ylläpitovarauksessa ja pikavarauksessa 2,4 V/kenno. Suljetussa lyijyakussa lasikuitumaton sähköinen varaus on pieni, minkä vuoksi tarvittaessa akkua voidaan kuormittaa suurella virralla. Suurin osa suljetuista lyijyakuista on lasikuitumattotyyppisiä ja varausjännite on 2,26–2,3 V/kenno. Kummankaan tyyppisissä akuissa ei saa olla vapaana nesteenä olevaa happoa, koska se estää kaasun kulun levyltä toiselle. (Vahlman 2006; ST-käsikirja 20, 2005, 84–85.)

UPS-järjestelmissä käytetään paikallisakkuja, jotka ovat yleensä lyijyakkuja. Azirec-järjestelmän tapauksessa käytetään mieluummin suljettuja lyijyakkuja, koska niillä saadaan DC-UPS-järjestelmästä huomattavasti suurempi energiamäärä lyhyillä purkausajoilla kuin avoimilla lyijyakuilla.

4.3.2 Litium-ioni-akku

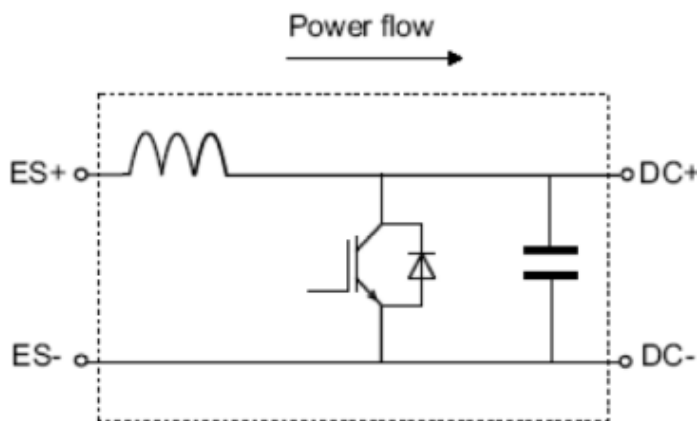
Litium-ioni-akku valmistetaan luonnosta saadusta kevyestä metallista, joka on litium ja sen kemiallinen symboli on Li. Akku koostuu anodista, katodista, orgaanisesta elektrolyytistä ja erottimesta. Elektrolyytinä käytetään litiumheksafluorofosfaattia, jonka kemiallinen symboli on LiPF_6 . Aktiivisena katodimateriaalina käytetään yleensä litiumkobolttioksidia (LiCoO_2). Siinä on korkea energiatiheys, ja sitä on helppo valmistaa. Huonoina puolina ovat aineen myrkyllisyys ja kallis hinta, mikä tekee litium-ioniakuista kalliimpia kuin suljetut lyijyakut. Litium-ioni-akuissa energia varastoidaan liti-

um-ioneina, jolloin latautuessa litium-ionit siirtyvät katodilta anodille. Akun energian purkautuessa litium-ionit siirtyvät anodilta katodille. (Kauppinen 2010, 3–7.)

4.4 Jännitettä nostava tasasähkökatkoja

Tasasähkökatkojaa eli toisella nimellä DC-DC-muunninta käytetään laskemaan ja nostamaan jännitetasoa sähkökäytöissä. Se toimii hyvin sähkökäytöissä, joissa on akusto ja taajuusmuuttaja, koska akustossa on yleensä pienempi jännitetaso kuin taajuusmuuttajien välipiireissä. Muunnin lataa akustoa laskemalla jännitetasoa halutun suuruisiksi sekä purkaa akustoa nostamalla jännitetasoa halutun suuruisiksi. Tasasähkökatkojaa käyttämällä akkujen tarve vähenee, koska pystyy nostamaan jännitetasoa isommaksi kuin akusto sille syöttää. (Mohan, Undeland & Robbie 2003; Kyyrä 2009, Salmian 2010 mukaan.)

Kuviossa 8 on esitetty tasasähkökatkojan sisältö, silloin kun tasasähkökatkoja nostaa jännitettä. Kuvioista nähdään laitteiston sisältävän kuristimen ja ohjattavan tehpuolijohteen. Siinä tehon kulkusuunta on akustolta syötölle, jolloin puretaan akustoa DC-piirille.

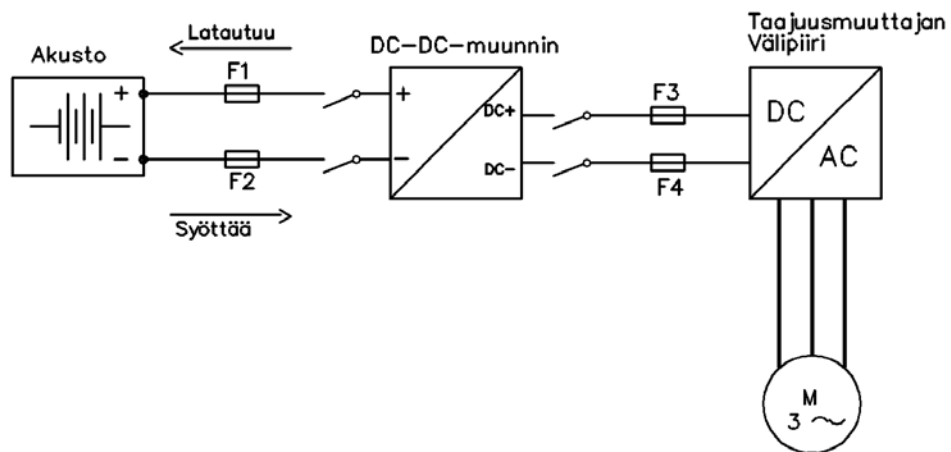


KUVIO 8. Jännitettä nostava tasasähkökatkoja

Katkojan kuristimeen varastoituu energiaa silloin, kun virta kasvaa lineaarisesti ja muunnin laskee jännitetasoa. Silloin teho kulkee DC-piiristä akustolle päin ja akusto

latautuu. Kuviossa 8 nähdään, että tehon suunnan kääntyttyä purkaukseen, kuristimen kautta menevä virta pääsee kulkemaan ohjattavan tehpuolijohteen läpi, jolloin virta pienenee ja jännite kasvaa. Jännitetasoa nostettaessa kuristin purkaa varastoidun energiansa, ja silloin kun jännitettä lasketaan, kuristin varastoi energiansa.

Kuviossa 9 on esitetty DC-DC-muuntimen perinteinen käyttö, jossa käytetään DC-DC-muunninta molempiin suuntiin.



KUVIO 9. DC-DC-muuntimen käyttö (Kuvio: Natalie Azoulay 2012)

5 AZIREC-JÄRJESTELMÄÄN VAIKUTTAVAT SÄÄDÖKSET

ABB Marine määrittää tarvitsemansa laitteiden toiminnan. Luokituslaitokset puolestaan hyväksyvät ja valvovat laivasääntöjen noudattamista tarkastuksilla. Laivan operoinnin kannalta kriittisten järjestelmien laitteet on luokiteltava. Opinnäytetyössä perehdytään myös luokituslaitoksien vaatimuksiin, koska Azirec-järjestelmä on suunniteltava ja valmistettava säännösten mukaisesti. Azirec-järjestelmässä sovelletaan peräsinkoneen luokituslaitoksien vaatimuksia.

Laivalla olevan peräsinkone täyttää luokituslaitoksien vaatimukset ilman Azirec-järjestelmää, joten se on liitettävä peräsinkoneeseen täysin erillisenä laitteena. Peräsinkoneen toiminta ei saa muuttua mitenkään jo olemassa olevasta toiminnasta.

5.1 Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO säätelee merenkulkua kansainvälisten sopimusten avulla. Se toimii YK:n alaisuudessa, ja sillä on 168 jäsenvaltiota Suomen lisäksi. IMO:n tehtävänä on huolehtia siitä, että laivat noudattavat kansainvälisiä sopimuksia. IMO on julkaissut SOLAS-säännösten, joka ottaa kantaa teknisiin ratkaisuihin, joiden avulla varmistetaan henkilöturvallisuus merellä. (IMO 2012.)

SOLAS-säännöstö

SOLAS-säännöstö on saanut alkunsa Titanicin onnettomuudesta, jossa laiva törmäsi jäävuoreen, koska se ei kyennyt tekemään riittävää väistökäännöstä. (IMO 2012.)

Opinnäytetyön kannalta SOLAS-säännöstö on merkittävä, koska se määrittelee kääntöjärjestelmän väistöliikkeen vaatimukset, jotka vaikuttavat Azirec-järjestelmän sähkökäytön momenttimitoitukseen. SOLAS-säännöstössä luvussa 2 on esitetty vaatimus ohjauksen kyvykkyyteen.

3. Pääperäsinkoneen sekä peräsimen on oltava

.1 Riittävän tehokas ohjaamaan laivaa suurimmalla mahdollisella ope-
rintinopeudella, joka on todistettava;

.2 Kääntämällä peräsintä 35 asteen kulmasta toiselle puolelle 35 asteen
kulmaan syvimmässä merellisessä kulkusyvyudessa suurimmalla etene-
misnopeudella. Lisäksi pitää pystyä kääntämään peräsintasamassa olo-
suhteessa 35 asteen kulmasta toiselle puolelle 30 asteen kulmaan kestä-
mättä yli 28 sekuntia... (SOLAS 2011, Kuokkasen 2011 mukaan, 20.)

Säännöstössä luvussa 29 vaaditaan hätäjakelutaulun käynnistymistä 45 sekunnin sisällä.
SOLAS-säännöt eivät vaadi tämän 45 sekunnin syötön varmistamista kääntöjärjestel-
mälle. Azirec-tapainen järjestelmä on kuitenkin välttämätön, jos halutaan turvata kes-
keytymätön toiminta kääntöjärjestelmälle. Näin ollen Azirec-järjestelmä määritetään
lisäoptioksi normaalia käyttöä täydentämään. (SOLAS 2011.)

5.2 Luokituslaitoksien vaatimukset

Luokituslaitokset laativat sääntöjä, joiden mukaan laivat suunnitellaan ja rakennetaan,
sekä määräävät, miten laivalla tulee operoida. Luokituslaitokset ovat soveltaneet IEC-
standardeja luodakseen säännökset. (DNV 2012.)

Luokituslaitoksia on useita, esimerkiksi DNV, ABS ja LR. DNV on norjalainen, ABS
on amerikkalainen, ja LR on englantilainen (IACS 2012).

Ympäristöolosuhteet

Luokituslaitokset määrittelevät, että laivalle tulevien laitteiden on sovelluttava merelli-
siin ympäristöolosuhteisiin. Ympäristössä esiintyy lämpötilavaihteluja, voimakasta tä-
rinää ja kosteustaso voi olla todella korkea. Nämä olosuhteet vaikuttavat laitteiden va-
lintoihin ja laitteiden valmistuskustannuksiin. Laitevalmistajan on tunnettava ympäris-
töolosuhdevaatimukset merellä ja toimitettava ympäristöolosuhteita kestävä laitteet.
Kriittisien järjestelmien laitteille suoritetaan kestävyystestauksia, joilla varmistetaan,
että ne on mitoitettu oikein. Olosuhteille on useita luokkia, Azirec kuuluu konehuone-
vaatimusten alaisuuteen. Olosuhdevaatimukset on esitetty taulukossa 2. Azirec-

järjestelmän sisältävien laitteiden on kestettävä taulukossa 2 esitetyt vaatimukset. (Kaksonen 2005, 5.)

TAULUKKO 2. Ympäristöolosuhteet merellä (Kaksonen 2005, 5, muokattu)

Ympäristöolosuhteet	Vaatimukset
Ympäristölämpötila	Vaihtelee 0 – +45 asteen välillä
Ympäristön suhteellinen kosteusarvo	95 % RH, tiivistymiä ei sallita
IP-kotelointiluokitus	Vähintään IP44
Tärinä Azipod-huoneessa	2–13,2 Hz ± 1 mm (huippuarvo) Siirtymää 13,2–100 Hz ± 0,7 g kiihdytystä

Materiaalit

Luokituslaitokset määrittelevät, että laivalla käytettävien materiaalien on oltava halogeenivapaita, koska halogeenivapaiden materiaalien palaessa ei synny syövyttäviä ja hengenvaarallisia kaasuja, vaan vapautuu lähinnä vettä ja hiilidioksidia. Laitevalmistajan on huomioitava nämä materiaalivaatimukset asennuskaapeleiden, johtimien ja muovisuojiin valinnoissa. (ABB Oy, Drives.)

6 AZIREC-JÄRJESTELMÄ

Azirec-järjestelmä on laitteisto, joka takaa keskeytymättömän tehon syötön laivan Azipod-yksikön kääntöjärjestelmälle blackout-tilanteessa. Azirec-järjestelmä on Azipod XO -kääntöjärjestelmään kuuluva tuote, joka varmistaa sähkösyötön kääntöjärjestelmälle. Blackout-tilanne saa kestää korkeintaan 45 sekunnin ajan. Azirec-järjestelmä koostuu kahdesta tai kolmesta erillisestä DC-UPS-järjestelmästä.

Azirec-järjestelmästä tuotteistetaan lisäoptiotuote. Azirec-järjestelmää suunniteltaessa oltiin yhteydessä markkinoilla oleviin eri laitevalmistajiin, jotka tarjoavat eri ratkaisuja Azirec-järjestelmälle. Tavoitteena oli saada ainakin yksi valmistajista sitoutumaan uuteen tuotteeseen ja valmistamaan sitä jatkossa ABB Marinelle.

6.1 Blackout-tilanne laivalla

Blackout-tilanne on vikatilanne, jossa yksikään laivan generaattoreista ei tuota laivan sähköverkkoon tehoa. Blackout-tilanne syntyy, kun esimerkiksi laivan voimalaitosta käytetään vastoin suosituksia. Esimerkiksi käyttäjä ohittaa valmiiksi säädetyn ohjauksen ja käyttää järjestelmää käsiohjauksella väärin ja kuormittaa voimalaitosta liikaa poistamalla jonkun moottorin käytöstä. Silloin tehoa ei synny riittävästi ja toiset moottorit kuormittuvat liikaa. Seurauksena on koko sähköjärjestelmän kaatuminen ja myös monissa tapauksissa generaattorin vikaantuminen. (Romppanen, haastattelu 2011.)

Myös vääränlaisen polttoaineen käyttäminen aiheuttaa konerikkoja ja niiden seurauksena voi myös aiheutua blackout-tilanteita laivalla. Käyttäjällä olettaa säästävänsä ostamalla halvempaa polttoainetta, mutta huonolaatuinen polttoaine aiheuttaa epäluotettavuutta ja sitä kautta aiheuttaa lisää kustannuksia. (Romppanen, haastattelu 2011.)

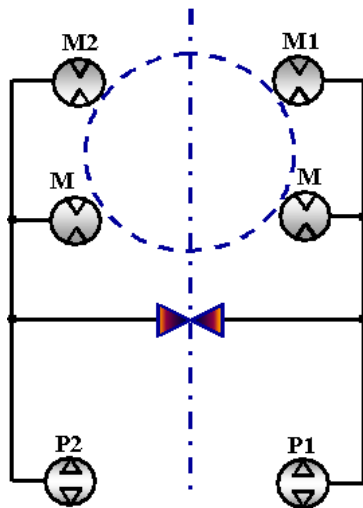
Blackout-tilanteessa Azirec-järjestelmä takaa tehon syötön ohjailujärjestelmälle, joka on välttämätön, esimerkiksi laivan ollessa ahtaassa paikassa, kuten kanavassa, blackout-

tilanne aiheuttaa vaaratilanteen, joka voidaan ohjauksen osalta välttää käyttämällä Azirec-järjestelmää.

6.2 Aikaisempi Azirec-järjestelmä

Vanha Azirec-järjestelmä on Azipod V -ruoripotkurin hydrauliseen kääntöjärjestelmään kuuluva järjestelmä, jonka pohjalta suunniteltiin uusi Azirec-järjestelmä Azipod XO -ruoripotkurin sähköiselle kääntöjärjestelmälle. Vanha Azirec-järjestelmä koostui yhdestä DC-UPS-järjestelmästä ja taajuusmuuttajasta. Kyseinen järjestelmä varmensi hydraulista kääntöjärjestelmää, jossa se syötti yhdelle pumppumootorille tehoa vakiotaaajuudella, jonka avulla saatiin blackout-tilanteessa useampi hydraulimoottori toimimaan.

Kuviossa 10 on havaittavissa hydraulinen kääntöjärjestelmä. Vanhassa Azirec-järjestelmässä DC-UPS-järjestelmän akusto sisälsi 60 kappaletta suljettuja lyjyakkuja, jotka oli kytketty sarjaan. Vanhan järjestelmän DC-UPS-järjestelmä syötti taajuusmuuttajan välipiiriä, joka syötti kolmivaiheiselle pumppumootorille tehoa.

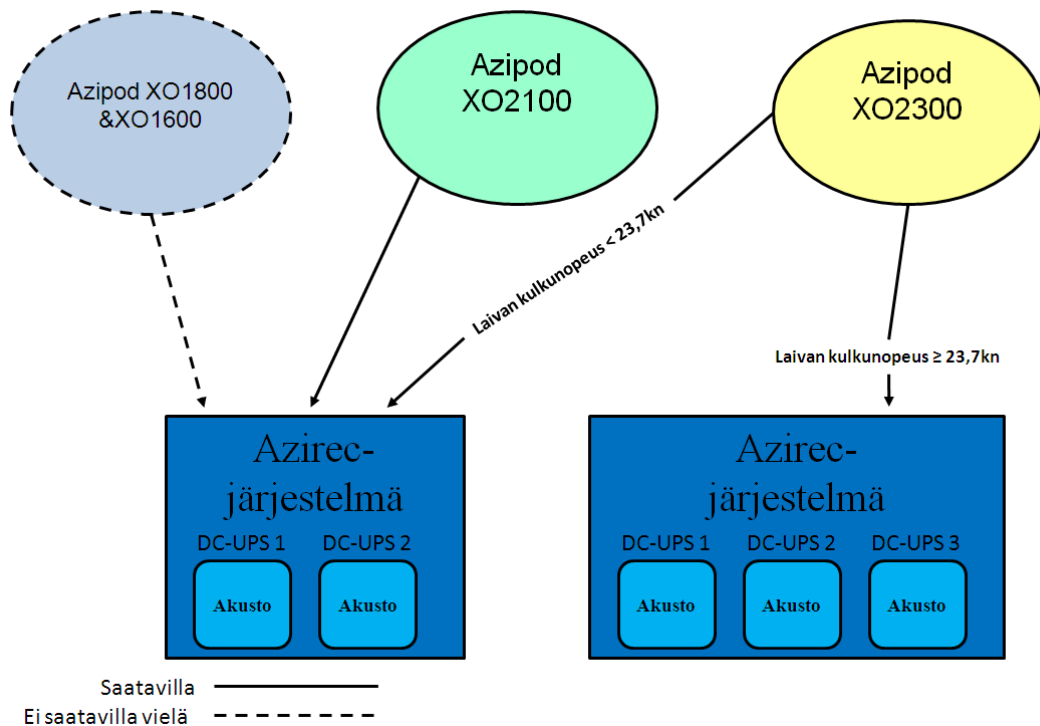


KUVIO 10. Azipod V -ruoripotkurin hydraulinen kääntöjärjestelmä (ABB Oy:n sisäinen luottamuksellinen aineisto)

6.3 Uusi Azirec-järjestelmä

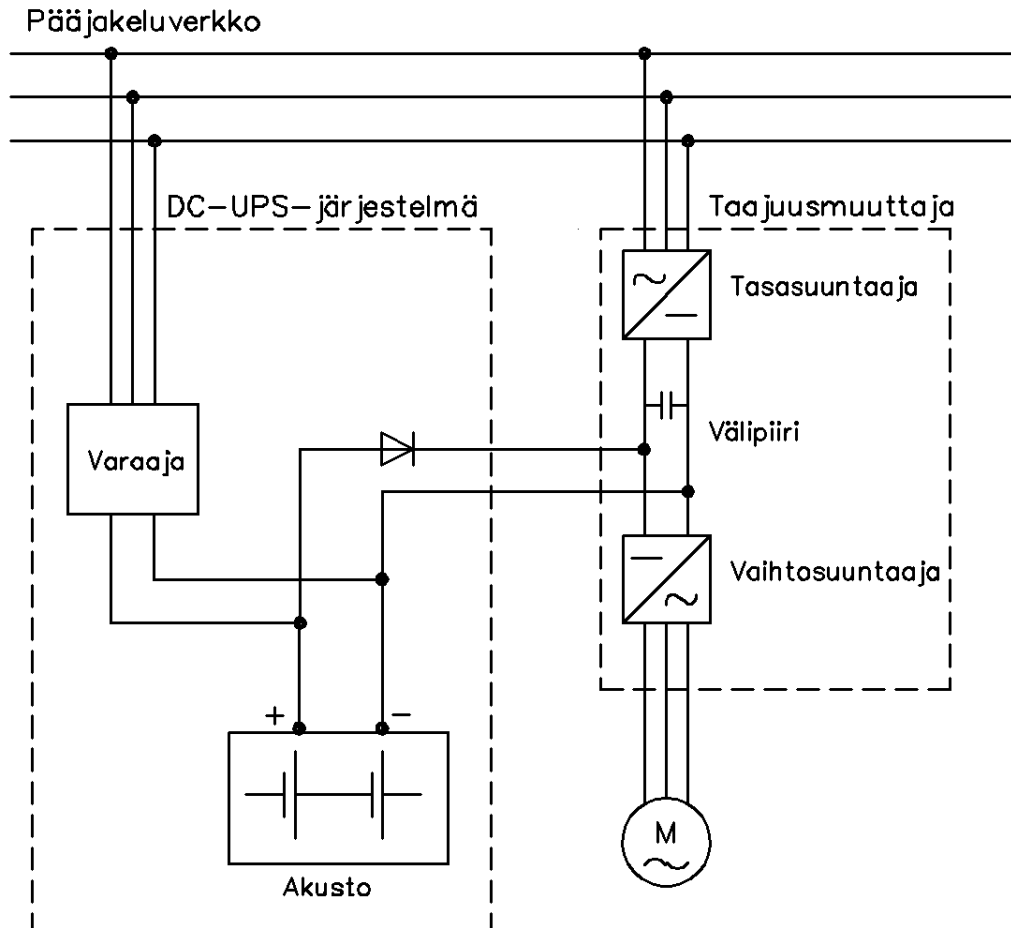
Azirec-järjestelmä sisältää vastaavasti kuin hydraulinen käyttö myös DC-UPS-järjestelmän. Se mitoitetaan syöttämään sähköistä kääntöjärjestelmää. Uuden järjestelmän mitoitus perustuu kääntöjärjestelmän taajuusmuuttajien mitoitukseen, joka on valmiiksi mitoitettu kääntöjärjestelmälle. Uuteen Azirec-järjestelmään ei tule omaa hydraulimoottorin ohjaavaa taajuusmuuttajaa. Uuteen Azirec-järjestelmään tarvitaan useampi DC-UPS-järjestelmä. Yksi moottorikäyttö sähköisessä kääntöjärjestelmässä ei vaadi yhtä paljon tehoa kuin pumppumoottori vaatii hydraulisessa kääntöjärjestelmässä. Sähköisessä kääntöjärjestelmässä moottorikäytöt on hajautettuna, kun taas hydraulisessa kääntöjärjestelmässä yksi sähköinen pumppumoottori syöttää useampaa hydraulimoottoria.

Riippuen Azipod-yksikön akselitehosta ja laivan nopeudesta on laskettavissa tarvittavien DC-UPS-järjestelmien määrä Azirec-järjestelmässä. Kuviossa 11 on esitetty akselitehon ja laivan kulkunopeuden mukaan tarvittava DC-UPS-järjestelmien määrä. DC-UPS-järjestelmät ovat täysin identtisiä, ja ne kytketään kääntöjärjestelmässä oleviin taajuusmuuttajiin. Taajuusmuuttajien toiminto on esitetty kuviossa 5.



KUVIO 11. Tarvittavien käyttöjen määrän määrittely Azirec-järjestelmässä (Kuvio: Natalie Azoulay 2012)

Kuviossa 12 on esitetty DC-UPS-järjestelmän sisältö ja sen kytkeytyminen pääjakelu-
tauluun ja taajuusmuuttajan välipiiriin.



KUVIO 12. Sähkökäytön perusrakenne ja liityntä taajuusmuuttajaan (Kuvio: Natalie Azoulay 2012)

Azirec-järjestelmän toiminta

Azirec-järjestelmä sisältää kaksi tai kolme DC-UPS-järjestelmää, jotka syöttävät ohjausjärjestelmän taajuusmuuttajille tehoa blackout-tilanteessa. Yhtä taajuusmuuttajaa kohden tarvitaan yksi DC-UPS-järjestelmä. DC-UPS mitoitetaan toimimaan vähintään 60 sekunnin ajan, jonka jälkeen akut lakkaavat syöttämästä taajuusmuuttajia ja latautuvat. Azirec-järjestelmän toiminta on esitetty liitteissä 1 ja 2.

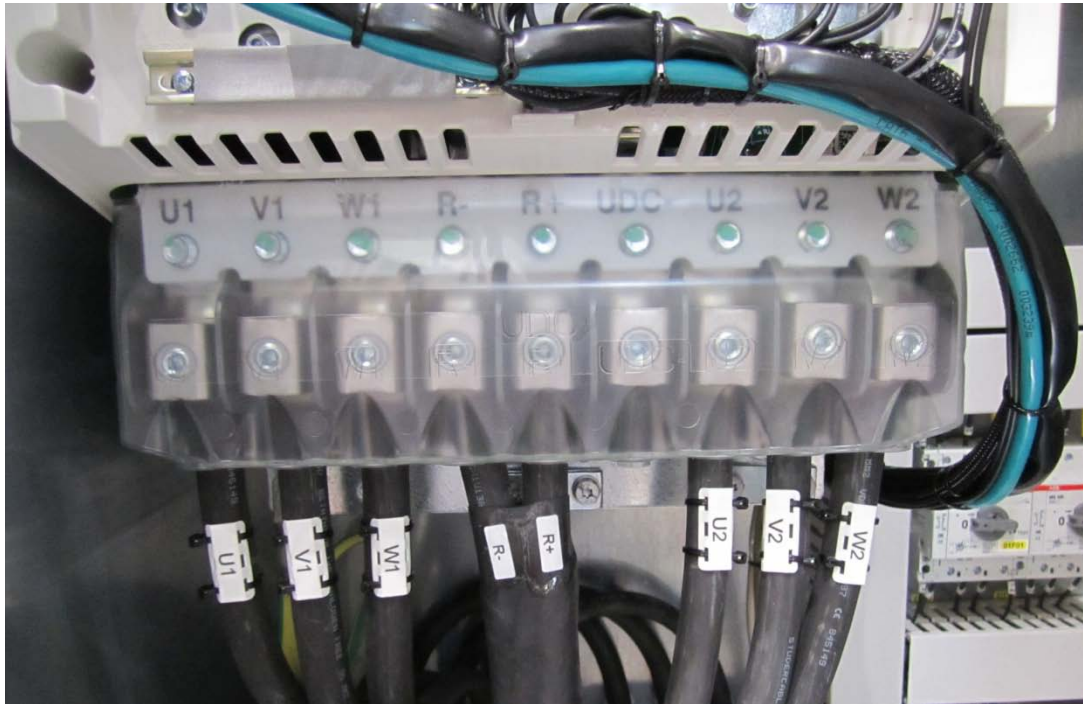
6.4 DC-UPS-järjestelmä

Taajuusmuuttajan välipiirijännitetaso on korkea verrattuna markkinoilla olevien DC-UPS-järjestelmien tuottamaan jännitetasoon. Tästä johtuen DC-UPS-järjestelmä on kehitettävä yhteistyössä laitevalmistajien kanssa. Kyseessä on poikkeuksellinen DC-UPS-järjestelmä, joka on suunniteltu vain Azirec-järjestelmälle.

DC-UPS-järjestelmä koostuu varaajasta ja akustosta sekä järjestelmän suojaamiseen ja valvontaan liittyvistä komponenteista. Lisäksi akusto tarvitsee jäähdytyslaitteiston, laivan korkean ympäristölämpötilan vuoksi (konehuone). Varaaja saa syöttönsä laivan pääjakeluverkosta, ja sen tehtävänä on ladata akustoa. Akusto on DC-UPS-järjestelmän energiavarasto. Akusto sisältää useita kymmeniä akkuja, jotka on kytketty sarjaan riittävän jännitetason saavuttamiseksi. DC-UPS-järjestelmä suunnitellaan teollisuuden tarkoitettuun modulaariseen kaappijärjestelmään.

DC-UPS-järjestelmä on kytketty kääntötaajuusmuuttajan välipiiriin. Kääntötaajuusmuuttaja saa tarvittavan energian DC-UPS-järjestelmältä laivan blackout-tilanteessa silloin, kun kääntötaajuusmuuttaja ei saa sähköä jakeluverkosta. DC-UPS järjestelmä on mitoitettu niin, että taajuusmuuttajan välipiirin jännitteen laskiessa enemmän kuin 10 %, DC-UPS-järjestelmä alkaa syöttää taajuusmuuttajaa automaattisesti. Tällä taataan häiriötön toiminta kääntötaajuusmuuttajalle. Toisaalta mitoituksella varmistetaan, että laivan jakeluverkon normaalit jännitevaihtelut eivät kuormita turhaan DC-UPS-järjestelmää.

DC-UPS-järjestelmä kytketään taajuusmuuttajan välipiirissä oleviin DC-liittimiin, jotka näkyvät kuvassa 2.



KUVA 2. Taajuusmuuttajan kytkentäliittimet (Kuva: Natalie Azoulay 2012)

DC-UPS-järjestelmän kaapelit kytketään UDC+- ja UDC- -liittimiin. UDC+- ja R+ (jarruvastus) -liitännöillä on yhteinen kaapeliliitäntä (ks. kuvio 6).

DC-UPS-järjestelmän suojaus ja valvonta

Suojaus toteutetaan sulakkeilla, johdonsuojakatkaisijoilla, ylivirtasuojalaitteilla sekä vikavirtasuojakytkimillä. Erittäin tärkeää on kyetä erottamaan DC-UPS-järjestelmä täysin taajuusmuuttajasta, jolloin taajuusmuuttaja saadaan huollettua ja akusto ei häiritse huoltoa. Ongelmana voi olla se, että huoltotilanteessa taajuusmuuttaja kytketään täysin jännitteettömäksi, jolloin DC-UPS-järjestelmä saa käsityksen, että kyseessä on blackout-tilanne ja alkaa automaattisesti syöttää sähköä taajuusmuuttajalle. (ST-käsikirja 20, 2005, 165–166.)

Erittäin tärkeää on myös saada akusto erotettua huoltoa varten muista laitteista DC-UPS-järjestelmässä. Erittäin tärkeät suojat ovat akuston pääsulakkeet, jotka on mitoitettu toimimaan vain tasasähkökeskuksen kiskosto-oikosuluissa, koska kiskostosta lähtevillä syöttöillä on omat ylivirtasuojansa. (ST-käsikirja 20, 2005, 165–166.)

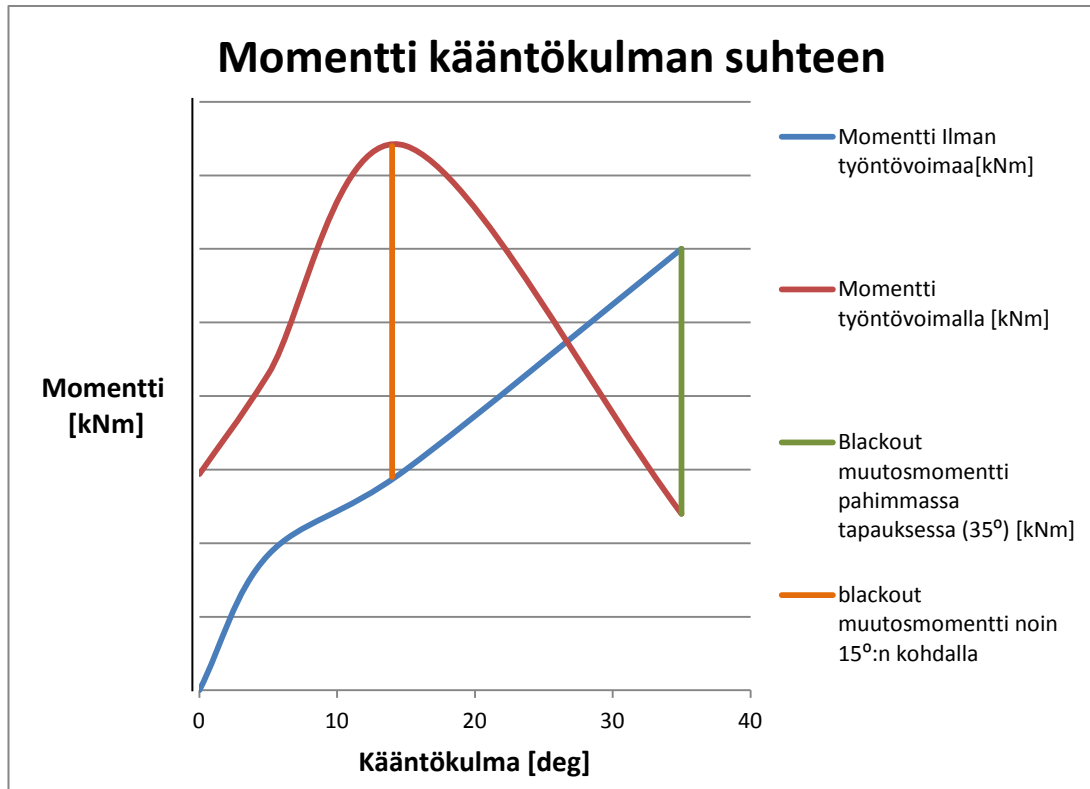
DC-UPS-järjestelmä voi sisältää myös kunnonvalvonnan, jonka tarkoitus on huolehtia akuston toiminnasta. Akkuvalvonta tarkkailee akuston varaustilaa ja valvoo, että akustoa ei ladata jatkuvasti ja että akusto ei pääse tyhjenemään liikaa. Liika tyhjentyminen tuhoaisi akuston. Kunnonvalvonta ilmoittaa myös huoltotarpeista ja laitevioista.

DC-UPS-järjestelmän toimiessa ja vikaantuessa se antaa hälytystiedon, joka menee ohjausyksikköön ja tarvittaessa myös laivan automaatiojärjestelmään. Hälytystiedot ovat esimerkiksi: toiminnassa, sähkökatko, vaihevika, syöttövika, varoitus ja liikakuormitus.

7 AZIREC-JÄRJESTELMÄN MITOITTAMINEN

Järjestelmän mitoittaminen aloitetaan laskemalla tarvittava tehomäärä kääntöjärjestelmältä SOLAS-kääntölaitetestin suorittamiseen. Tarvittava tehomäärä lasketaan kääntömomentin avulla, jonka suuruuteen vaikuttaa Azipod-yksikön kokoluokka. Kääntömomentin ja kääntönopeuden avulla saadaan tarvittava teho ja energiamäärä laskettua, jonka avulla voidaan mitoittaa tarvittava akuston kapasiteetti. Laskuissa käytetyt kaavat on esitetty alaluvussa 7.1. Tarkkoja arvoja ei esitetä. Mitoituksessa lasketaan ainoastaan yhdelle DC-UPS-järjestelmälle tarvittava teho, jolloin niitä tilataan Azirec-järjestelmälle useampi tarpeen mukaan.

Kuviossa 13 on esitetty momentin käyttäytyminen. Sininen käyrä kuvaa momentin käyttäytymistä ilman potkurityöntövoimaa ja punainen työntövoiman kanssa. Vihreä viiva kuvaa momentin muutosta blackout-tilanteessa kääntökulman ollessa 35 astetta. Äkillinen momentin muutos johtuu potkurityöntövoiman loppumisesta blackout-tilanteen syntyessä, jolloin momentti kasvaa suureksi. Oranssi viiva kuvaa muutosmomenttia silloin, kun kääntökulma on 15 astetta, jolloin momentti pienenee blackout-tilanteessa. Noin yli 28 asteen jälkeen blackout-tilanteen muutosmomentti on pahimmillaan. Kääntökulman ollessa 35 astetta tarvitaan blackout-tilanteessa Azirec-järjestelmältä suurin teho. Azirec-järjestelmän mitoitus perustuu pahimpaan tapaukseen.



KUVIO 13. Momentti käntökulman suhteen (Kuvio: Natalie Azoulay 2012)

7.1 Mitoituslaskenta

Aluksi redusoidaan käntöakselin pyörimisnopeus [deg/s] käntömoottorin nopeudeksi [rpm], joka saadaan redusoitua kaavalla 2:

$$n_{moottori} = n_{ruoripotkuri} * i$$

$$n_{moottori} = v_{\omega} \left[\frac{deg}{s} \right] * \frac{60 s * K}{360 deg} = [rpm] \quad (2)$$

Jossa:

- $n_{ruoripotkuri}$ on käntöakselin pyörimisnopeus
- i on pyöriän kehikon muuntosuhdekerroin
- v_{ω} on ruoripotkurin käntönopeus $\left[\frac{deg}{s} \right]$
- K on moottorin ja pyöriän kehikon välissä olevan vaihteiston välityssuhde.

(Karila 2008, 16.)

Seuraavaksi lasketaan SOLAS-vääntömomentin avulla tarvittava momentti yhdeltä moottorilta SOLAS-kääntölaitetestin suorittamiseen. SOLAS-vääntömomentti on määritelty jokaiselle ruoripotkurille erikseen. Kääntöjärjestelmän jokaiselta moottorilta vaadittava momentti lasketaan kaavalla 3 tai 4,

silloin kun käytetään kahta moottoria blackout-tilanteessa:

$$T_{1\text{ moottori}} = \frac{\frac{T_{SOLAS}[Nm]}{K}}{2} = [Nm] \quad (3)$$

silloin kun käytetään kolmea moottoria blackout-tilanteessa:

$$T_{1\text{ moottori}} = \frac{\frac{T_{SOLAS}[Nm]}{K}}{3} = [Nm] \quad (4)$$

Joissa:

- K on vaihteiden välityssuhde
- T_{SOLAS} on SOLAS-kääntölaitetestiin tarvittava vääntömomentti [Nm].

(Karila 2008, 8–9.)

Kääntöjärjestelmälle lasketaan SOLAS-kääntölaitetestiin tarvittava kokonaisteho, eli lähtöteho, joka voidaan laskea nopeuden ja momentin avulla laskukaavalla 5:

$$P_{\text{lähtö}}[W] = T[Nm] * \omega[rad/s] \quad (5)$$

Jossa:

- $P_{\text{lähtö}}$ on lähtöteho [W]
- T on moottorin vääntömomentti [Nm]
- ω on kulmanopeus $[rad/s]$.

(ABB, tekninen opas 2001, 14, kaava 4.13.)

Lähtötehon kaavaa numero 5 sovelletaan kaavassa 7 seuraavasti:

Koska moottoriteho annetaan yleensä kilowatteina ($1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$) ja nopeus kierroslukuina rpm:ää voidaan käyttää seuraavaa arvoa hyväksi lähtötehon laskennassa:

$$1 \text{ [rpm]} = \frac{2\pi}{60} \text{ [rad/s]}$$

$$\rightarrow C = \frac{1}{\frac{2\pi}{60}} \text{ [rpm]} * 1000 \text{ [kW]} = 9549,3 \text{ [rpm][kW]} \quad (6)$$

Näin ollen vaadittava lähtöteho yhdeltä moottorilta SOLAS-kääntölaitetestiin lasketaan kaavalla 7:

$$\rightarrow P_{1moottori} = \frac{T_{1 \text{ moottori}} \text{ [Nm]} * n_{moottori} \text{ [rpm]}}{\frac{C}{\eta}} = \text{ [kW]} \quad (7)$$

Jossa:

- $T_{1 \text{ moottori}}$ on yhden moottorin tarvitsema vääntömomentti [Nm]
- $n_{moottori}$ on moottorin pyörimisnopeus riippuen ruoripotkurin kääntönopeudesta [rpm]
- η on vaihteistojen kokonaishyötysuhde
- C on 9549,297, joka on johdettu kaavassa 6.

(ABB, tekninen opas 2001, 14, kaava 4.14.)

Moottoritehon laskemisen jälkeen lasketaan akustolta vaadittava teho, joka on taajuusmuuttajan välipiirin tarvitsema teho P_{TAMU} , joka on suurempi kuin moottorin teho häviöiden vuoksi. Häviöille arvioidaan kerroin, jonka avulla lasketaan taajuusmuuttajan välipiiriin tarvitsema teho. Tehohäviöitä aiheuttavat moottorin ja taajuusmuuttajan hyötysuhteet. Kerroin $K_{hyötysuhde}$ on laskettu moottorin ja taajuusmuuttajan hyötysuhteesta, jonka avulla suoritetaan tarvittava ylimitoitus. Taajuusmuuttajan tarvitsema teho lasketaan kaavalla 8:

$$P_{TAMU} = \frac{P_{1moottori} \text{ [kW]}}{K_{hyötysuhde}} = \text{ [kW]} \quad (8)$$

Jossa:

- $P_{1moottori}$ on yhden moottorin tarvitsema minimiteho SOLAS-kääntölaitetestin suorittamiseen [kW].

7.2 Akuston mitoitus

Akusto mitoitetaan vakiotehokuormalle. Akustoa mitoitettaessa käytetään akkuvalmistajien vakiotehopurkaustaulukoita, joissa on ilmoitettu akuston tehonsyöttökyky W /kenno tai W /ryhmäakku muodossa. Mitoituksessa on oltava tiedossa seuraavat lähtökohdat:

- DC-teho
- Todellinen akuston kuormitus (ei UPS:in lähtöteho)
- Varmistusaika
- Minimitasajännite
- Kennolukumäärä tai maksimitasajännite.

(ST-kortisto 2003. ST 52.30.02. 2–3.)

Purkaustaulukosta valitaan akkutyyppi, jonka tehonsyöttökyky riittää tuottamaan tehontarpeen vaaditun varmistusajan aikana. Purkauksen loppujännite ei saa olla liian alhainen, koska se rasittaa akkua. Suurin mahdollinen kennomäärä k lasketaan kaavalla 9: on yhtä kuin maksimijännite U_{max} jaettuna yhden kennon suurimmalla käytettävällä varausjännitteellä U_{varaus} :

$$k = \frac{U_{max}}{U_{varaus}} = [kpl] \quad (9)$$

Jossa:

- U_{max} on akuston maksimijännite [V DC]
- U_{varaus} on yhden kennon suurin mahdollinen varausjännite [V DC].

(ST-kortisto 2003. ST 52.30.02. 2–3.)

Akuston mitoitusta varten on laskettava taajuusmuuttajan välipiirin minimi- ja maksimijännite. Minimijännitteen laskemiseksi selvitetään taajuusmuuttajan laitevalmistajalta minimijännite, jolla taajuusmuuttaja kykenee pyörittämään moottoria tarvittavalla akseliteholla. Verkkojännitteen avulla lasketaan taajuusmuuttajan välipiirin minimijännite kaavalla 10:

$$U_{DC_minimi}[V DC] = U_{AC_minimi}[V AC] * 1,35 \quad (10)$$

Jossa:

- U_{AC_minimi} on minimiverkkojännite, jolla taajuusmuuttaja kykenee pyörittämään moottoria halutulla akseliteholla [V AC]
- 1,35 on ohjaamattoman syötön 6-pulssisillan vakiotermin.

(ABB Oy: ACS800 laiteopas 2008, 120.)

Välipiirin maksimijännite saavutetaan silloin, kun jarrukatkoja aktivoituu jarrutuksen aikana, jolloin moottorin tuottama teho kasvaa ja siten myös välipiirijännite kasvaa suureksi. Välipiirin maksimijännite lasketaan kaavalla 11:

$$U_{DC_maksimi}[V DC] = U_{AC}[V AC] * 1,35 * 1,2 \quad (11)$$

Jossa:

- U_{AC} on syöttävän verkon pääjännite [VAC]
- 1,35 on ohjaamattoman syötön 6-pulssisillan vakiotermin.
- 1,2 on taajuusmuuttajan parametri, joka liittyy välipiirin aktivoitumiseen.

(ABB Oy: ACS800 laiteopas 2008, 120.)

Akustolta tarvittava tasavirta lasketaan taajuusmuuttajan tehon ja välipiirijännitteen avulla kaavalla 12:

$$I_{DC} = \frac{P_{TAMU}}{U_{DC}} = [A] \quad (12)$$

Jossa:

- P_{TAMU} on tarvittava teho akustolta taajuusmuuttajalle [kW]
- U_{DC} on taajuusmuuttajan välipiirijännite [V DC].

(Tekniikan kaavasto 2008, 120.)

Akuston kapasiteetti saadaan laskettua akustolta tarvittavan tasavirran avulla kaavalla 13:

$$Q = I_{DC}[A] * t [h] = [Ah] \quad (13)$$

Jossa:

- I_{DC} on akustolta vaadittava tasavirta [A DC]
- t on vaadittava varmennusaika [s].

(Tekniikan kaavasto 2008, 120.)

Taajuusmuuttajan tehon avulla lasketaan akuston mitoitusta varten tarvittava energiamäärä, joka lasketaan kaavalla 14:

$$P_{TAMU} = \frac{W[kWh]}{t[h]} = [kW]$$

$$\rightarrow W = P_{TAMU}[kW] * t[h] = [kWh] \quad (14)$$

Jossa:

- W on tarvittava energiamäärä akustolta [kWh]
- P_{TAMU} on tarvittava teho akustolta taajuusmuuttajalle [kW]
- t on vaadittava varmennusaika [h].

(Tekniikan kaavasto 2008, 92.)

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä suunniteltiin Azipod XO -ruoripotkurituoteperheelle Azirec-järjestelmä. Suunnittelemisen piti sisällään Azirec-järjestelmän mitoituksen eri Azipod XO -yksikkökokoluokille, DC-UPS-järjestelmän mitoituksen, ratkaisujen vertailemisen ja yhteistyöskentelemisen useamman eri laitevalmistajien kanssa sekä Azirec-järjestelmän suunnittelun vakiotuotteeksi. Opinnäytetyötä varten oli perehdyttävä Azipod-yksikön sähköisiin ja hydraulisiin kääntöjärjestelmiin, eri akkutyyppeihin ja eri UPS-järjestelmiin.

Azirec-järjestelmän varsinainen tarve ilmeni suunnittelun keskivaiheessa, minkä seurauksena aloitettiin järjestelmän tuotteistaminen tammikuussa 2012. Suunnitteluvaiheen laskennan jälkeen selvisi, että suunnitellun vakiotuotteen pohjalta Azirec-järjestelmä tehdään projektikohtaisesti. Syynä on se, että Azirec-järjestelmään eniten vaikuttava tekijä on laivan pääjakeluverkon jännitetaso, joka vaihtelee. Vaihtelu vaikuttaa akkujen määrään DC-UPS-järjestelmässä. Azipod-yksikön kokoluokan vaihtelu vaikuttaa ainoastaan tehoon, joka muuttaa akkujen kapasiteetin suuruutta ja akun kokoa, mutta ei akkujen määrää. Akkujen lukumäärä DC-UPS-järjestelmässä on riippuvainen jännitetasosta. Kokoluokka määrittelee myös DC-UPS-järjestelmien määrän Azirec-järjestelmässä.

DC-UPS-järjestelmää olisi järkevää kehittää jatkossa siten, että järjestelmä toimisi ilman varaajaa. Akkuja ladattaisiin DC-DC-muuntimen avulla taajuusmuuttajan välipieristä. Tällöin akkujen määrä olisi kohtuullinen ja DC-DC-muunninta voitaisiin käyttää tehokkaammin. Tämä vaikuttaisi kääntöjärjestelmän vakiorakenteeseen, mikä olisi tulevaisuudessa sähkötekniisesti dokumentoinnin kannalta huono ratkaisu. Tällöin syntyisi ketjureaktio dokumentoinnissa, mikä taas olisi taloudellisesti kannattamaton yritykselle.

Azirec-järjestelmän suunnitteluvaiheessa tehtiin yhteistyötä kolmen eri laitevalmistajan kanssa, jotka tarjosivat erilaisia ratkaisuja Azirec-järjestelmän DC-UPS-järjestelmälle. Valittu laitevalmistaja tulee suunnittelemaan ja toimittamaan laitteen sisällön ABB Oy:n laatimien vaatimuksien mukaisesti.

LÄHTEET

ABB, Drives. Halogeenivapaat materiaalit ja Marine vaatimukset. 3AFE68409331 ei saatavilla yleisesti. Luettu 12.2.2012.

ABB lyhyesti. 2012. Luettu 10.10.2011.

<http://www.abb.com/cawp/fiabb251/657dfdcf6e344cc7c1256b20003149ae.aspx>

ABB Oy, Marine. 2009. Azipod XO2100 Product Introduction. [Esite]. Julkaistu Helsingissä 10/2009. Luettu 10.12.2011.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/3355105c6026658dc12575c4002fcfbf/\\$file/azipod_xo2100_product%20introduction.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/3355105c6026658dc12575c4002fcfbf/$file/azipod_xo2100_product%20introduction.pdf)

ABB Oy, Marine. Azipod Product Platform Selection Guide. [Esite]. Julkaistu Helsingissä 08/2010. Luettu 10.12.2011.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/1b13ae404001bd3ec125778a004300ac/\\$file/abb%20-%20azipod%20selection%20guide.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/1b13ae404001bd3ec125778a004300ac/$file/abb%20-%20azipod%20selection%20guide.pdf)

ABB Oy, Marine. 2010. Azipod® XO The new generation. Azipod® takes podded propulsion to a new level. [Esite]. Julkaistu Helsingissä 01/2010. Luettu 10.12.2011.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/b3d438b1fe5063c8c12576b70048dad2/\\$file/azipod%20xo_2010.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/b3d438b1fe5063c8c12576b70048dad2/$file/azipod%20xo_2010.pdf)

ABB Oy. Product guide. Single drive modules ACS800-04. 2012. [Esite] Julkaistu 03/2012. Luettu 24.3.2012.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/a7849f38686414d9c125780f003f0be5/\\$file/acs800drivemodules_catalogen_revj_6.3.2012.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/a7849f38686414d9c125780f003f0be5/$file/acs800drivemodules_catalogen_revj_6.3.2012.pdf)

ABB Oy 2008. ACS800-01 taajuusmuuttajat 0,55–200 kW. Laiteopas 3AFE64526502 REV J FI. [Verkkodokumentti]. Luettu 20.2.2012.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/e0fe223196fc01d5c12577910044a5a6/\\$file/fi_acs800_01_hw_rev_j_screen_with_suppl_page_and_updatenotice.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/e0fe223196fc01d5c12577910044a5a6/$file/fi_acs800_01_hw_rev_j_screen_with_suppl_page_and_updatenotice.pdf)

ABB 2001. Tekninen opas nro. 7. Sähköinen mitoitus. [verkkodokumentti]. Luettu 17.2.2012.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11dafe92973be93c1256d2800415027/\\$file/tekninen_opasnro7.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11dafe92973be93c1256d2800415027/$file/tekninen_opasnro7.pdf)

ABB-yhtymä. 2012. Luettu 10.10.2011.

<http://www.abb.com/cawp/fiabb251/5b3b47abc1e9e75dc2256b20003f96db.aspx>

DNV = Det Norske Veritas. Meritekniikka. 2012. [www-sivu]. Luettu 16.3.2012.

<http://www.dnv.fi/toimialat/meritekniikka/>

IACS = International Association of Classification Societies. 2012. [www-sivu]. Luettu 16.03.2012. <http://www.iacs.org.uk/>

IMO = International Maritime Organization. 2012. About IMO. [www-sivu]. Luettu 16.3.2012. <http://www.imo.org/About/Pages/Default.aspx>

Kaksonen, J. 2005. Technical Specification Electrical Equipment. 3AFV6001622 ei saatavilla yleisesti, Luettu 12.2.2012]

Karila, K 2008. Steering module dimensioning principles. 3AFV6010224 ei saatavilla yleisesti. Luettu 12.2.2012.

Kauppinen, T. 2010. Litium-ioniakkukemikaalien kierrätys. Kemianteeniikan koulutusohjelma. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Keronen, H. 2006. Marine academy Internal Basic Training course Part I. Laivan voimalaitos. Luento 4.9.2006. [Ei saatavilla yleisesti].

Kuokkanen, J. 2011. Peräsinkoneen sähkökäytön tuotteistaminen. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Metropolia ammattikorkeakoulu. Insinööriö.

Nikkari, J. 2009. Mies, jonka unelmasta kasvoi sähkötehdas. Power & Automation 3/2009

Peljo, V-P. 2011. Introduction to Azipod X Steering module and Electric Steering Gear. Luettu 10.12.2011. [ei saatavilla yleisesti]

Salmia, T. 2010. Taajuusmuuttajaan liitettävän superkondensaattorienergiavaraston tehonsiirron mitoitus. Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Aalto-Yliopisto Teknillinen korkeakoulu.

SOLAS 2011. Chapter II-1– Construction. Part C. Regulation 29 – Steering gear

ST-kortisto 2003. ST 52.30.01. Huoneet ja varaamotilat. Espoo: Sähkötieto ry

ST-kortisto 2003. ST 52.30.02. Akustot ja varaajat, valinta ja mitoittaminen. Espoo: Sähkötieto ry

ST-käsikirja 20, 2005. Varmennetut sähköjakelujärjestelmät. Espoo: Sähkötieto ry

Tekniikan kaavasto 2008. 6. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Turtiainen, M. Pakaste, R. Lehti, M. Uuskallio, A & Veikonheimo, T 2007. Azipod®-laivojen potkurijärjestelmien edelläkävijä. [verkkodokumentti]. Luettu 10.10.2011. <http://www.abb.fi/cawp/fiabb255/35e7d1dc8f204835c2256fdd003facea.aspx>

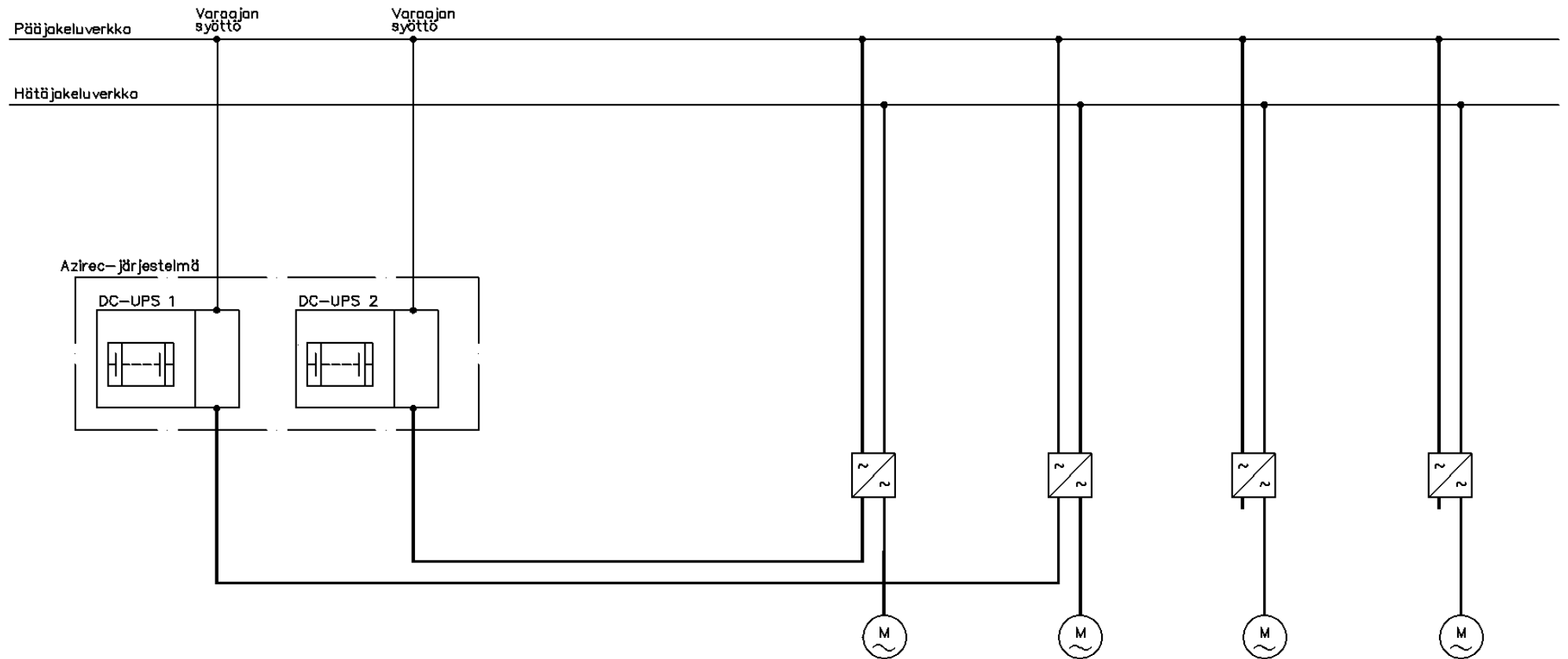
Vahlman, S. tuotepäällikkö. 2006. Sähköseminaari 15.8.2006. STUL.

LIITTEET

- Liite 1 Azirec-järjestelmä kahdella DC-UPS-järjestelmällä
- Liite 2 Azirec-järjestelmä kolmella DC-UPS-järjestelmällä

Liite 1. Azirec-järjestelmä kahdella DC-UPS-järjestelmällä

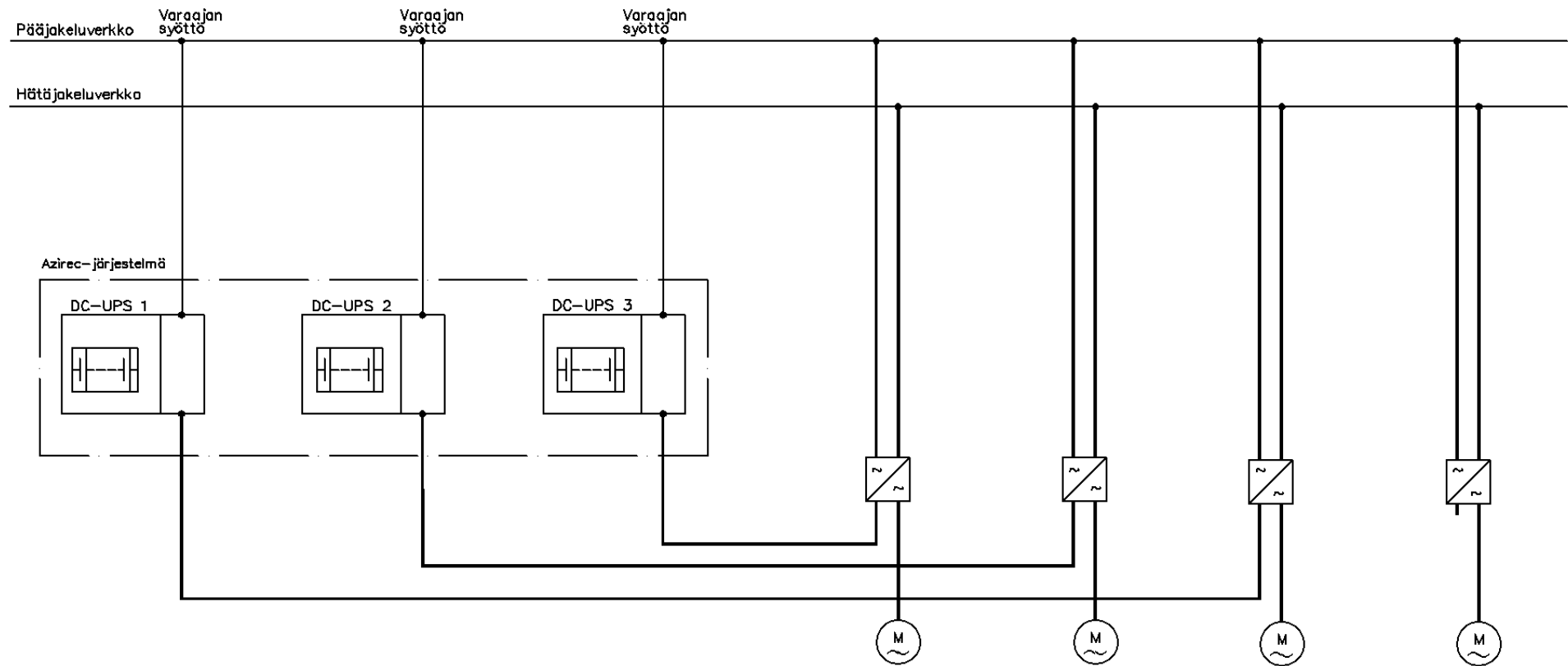
ABB Oy & Natalie Azoulay



Käntöjärjestelmän taajuusmuuttajat

Liite 2. Azirec-järjestelmä kolmella DC-UPS-järjestelmällä

ABB Oy & Natalie Azoulay



Kääntöjärjestelmän taajuusmuuttajat