

 *Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



TEKNIikka JA LIIKENNE

Sähkötekniikka

Sähkövoimatekniikka

INSINÖÖRITYÖ

TAAJUUSMUUTTAJAN KÄYTTÖKOHTEET

Työn tekijä: Juha Saari
Työn ohjaaja ja valvoja: TkL
Jarno Varteva

Työ hyväksytty: 20.11. 2008

Jarno Varteva
lehtori

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Juha Saari	
Työn nimi: Taajuusmuuttajien käyttökohteet	
Päivämäärä: 20.11.2008	Sivumäärä: 33 s. + 2 liitettä
Koulutusohjelma: Sähkötekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Sähkövoimatekniikka
Työn ohjaaja: lehtori TkL Jarno Varteva	
<p>Tässä insinöörityössä käsiteltiin teollisuuden sähkökäyttöjen taajuusmuuttajasovelluksia. Työssä selvitettiin, minkälaisissa eri teollisuuden kohteissa taajuusmuuttajia käytetään. Lisäksi esiteltiin, minkälaiset taajuusmuuttajat soveltuvat parhaiten työssä käsitelyihin kohteisiin. Lisäksi työssä esiteltiin taajuusmuuttajien erilaisia ohjaus- ja säätötapoja, sekä mitä säätötapoja käytetään työssä käsitellyissä kohteissa. Työssä tutkittiin, millaisia etuja taajuusmuuttajilla saavutetaan.</p> <p>Työssä tutustuttiin erityyppisiin taajuusmuuttajiin: PWM-taajuusmuuttajiin, LCI-taajuusmuuttajiin ja syklokonverttereihin. Lisäksi perehdyttiin myös erilaisiin taajuusmuuttajien säätötapoihin kuten skalaarisäätöön, vektoriskalaarisäätöön ja suoraan momenttisäätöön</p> <p>Taajuusmuuttajien käyttökohteina insinöörityössä tutustuttiin teollisuuden nostureiden taajuusmuuttajasovelluksiin, teollisuuden pumppu- ja puhallinkäyttöihin. Työssä perehdyttiin tuulivoimaloiden taajuusmuuttajasovelluksiin sekä laivojen sähköisten propulsiojärjestelmien taajuusmuuttajasovelluksiin. Laivojen sähköisistä propulsiojärjestelmistä perehdyttiin erityisesti ABB Oy:n kehittämiin Azipod-ruoripotkurijärjestelmiin.</p> <p>Työssä kerrottiin taajuusmuuttajien kysynnän kasvusta. Taajuusmuuttajien kysyntää kasvattaa energian kallistuva hinta, teollisuuden prosessien tiukentuvat laatuvaatimukset sekä tuulivoimalla tuotetun energian erittäin suuri kysynnän kasvu.</p>	
Avainsanat: taajuusmuuttaja, skalaarivektorisäätö, suora momenttisäätö, Azipod-ruoripotkuri	

ABSTRACT

Name: Juha Saari	
Title: Applications of Frequency Converter	
Date: 20 November 2008	Number of pages: 33 s. + 2 attachments
Department: Electrical Engineering	Study Programme: Power Systems
Instructor: Jarno Varteva, Senior Lecturer, Lic.Tech.	
<p>The purpose of this graduate study was to explore frequency converters in industrial power system use. One aim was to examine how frequency converters are used in industry. Another objective was to determine which kind of frequency converters are the best for the power systems covered in this work. This study also introduces different types of controls and adjustments of frequency converters whilst attempting to determine the advantages achieved by using frequency converters.</p> <p>The different kinds of frequency converters explored in this study include, for example, the PWM frequency converter, LCI frequency converter and cycloconverter. Frequency converters are used for industrial crane, industrial fan as well as pump drive applications. In addition, they are used for wind power applications and electric propulsion systems for ships. This graduate study concentrated especially on ABB inc. Azipod propulsion systems. The different controls covered comprise frequency control, flux vector control and direct torque control. In this study was also introduces that demand of frequency converter are increase rapidly.</p>	
Keywords: frequency converter, flux vector control, direct torque control, Azipod	

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

LYHENTEET

1	JOHDANTO	1
2	TAAJUUSMUUTTAJA	1
2.1	Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja.....	2
2.2	Taajuusmuuttajan ohjaus	4
2.2.1	Skalaarisäätö.....	4
2.2.2	Skalaarivektorisäätö	4
2.2.3	Suora momenttisäätö.....	4
3	NOSTURIT	5
3.1	Nostureiden sähkömoottori.....	7
3.2	Taajuusmuuttajat nostureissa.....	8
3.3	Taajuusmuuttajilla saavutettavat edut	9
4	PUHALTIMET JA PUMPUT	10
4.1	Puhaltimet ja ilmanvaihtokoneet.....	10
4.2	Pumput.....	11
4.3	Taajuusmuuttajat puhallin- ja pumppukäytöissä	12
4.4	Taajuusmuuttajien edut pumppu- ja puhallinkäytöissä.....	12
4.4.1	Puhaltimet	12
4.4.2	Pumput.....	13
4.4.3	Päätelmiä pumppu- ja puhallinkäytöistä	13
5	TUULIVOIMA	14
5.1	Offshore-tuulivoimala	15
5.2	Säätövoima	16
5.3	Tuulivoimala	17
5.3.1	Tuulivoimalan torni.....	17
5.3.2	Tuulivoimalan roottori	18

n generaattori.....	18
n vaihteisto ja jarru.....	18
n muuntaja.....	19
5.4 Taajuusmuuttajat tuulivoimaloissa.....	19
5.5 Taajuusmuuttajilla saavutettavat edut tuulivoimassa	20
6 LAIVOJEN PROPULSIOJÄRJESTELMÄT	20
6.1 Laivojen sähköinen propulsio yleisesti	20
6.2 Azipodi-ruoripotkurin rakenne	22
6.2.1 Azipodin runko.....	22
6.2.2 Azipodin sähkömoottori.....	22
6.2.3 Azipodin apulaitteet	23
6.2.4 Generaattorit ja laivan sähköjärjestelmä	23
6.3 Taajuusmuuttajat laivojen propulsiojärjestelmissä	24
6.3.1 PWM-tyyppin taajuusmuuttaja	24
6.3.2 LCI-tyyppin taajuusmuuttaja	25
6.3.3 Syklokonverterti	26
6.4 Azipodeilla saavutettavat edut	27
6.4.1 Azipodin taloudellisuus	28
6.4.2 Azipodin ohjattavuus.....	28
6.4.3 Muut edut	29
6.4.4 Edut jäänmurtajakäytössä.....	29
7 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	31
LIITTEET	
LIITE 1	ENERGIAN SÄÄSTÖLASKELMA
LIITE 2	LAIVAN SÄHKÖJÄRJESTELMÄ

ctric podded drive; ruoripotkuri

DTC	<i>Direct Torque Control; suora momenttisäätö</i>
GTO	<i>Gate Turn-Off; puolijohde</i>
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor; eristehilabipolaaritransistori</i>
LCI	<i>Load Commutated Inverte; virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja</i>
NPC	<i>Neutral Point Clamped; jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan kytkentätapa</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation; pulssinleveysmodulointi</i>
VSI	<i>Voltage Source Inverter; jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja</i>

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Tässä insinööriyössä selvitetään kattavasti taajuusmuuttajien käytöstä teollisuuden eri kohteissa. Työssä kerrotaan, millaisia taajuusmuuttajia käytetään erilaisissa kohteissa ja minkä vuoksi. Lisäksi tutustutaan taajuusmuuttajien ohjaukseen eri käyttökohteissa sekä kerrotaan taajuusmuuttajilla saavutettavista eduista erityyppisissä teollisuuden sähkökäytöissä.

Insinööriyön alussa esitellään kolme erilaista taajuusmuuttajatyyppeä: jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja, virtävälipiirillinen taajuusmuuttaja sekä syklokonvertteri. Taajuusmuuttajien esittelyssä perehdytään erityisesti taajuusmuuttajien teoriaan, taajuusmuuttajien toimintaan sekä taajuusmuuttajien ohjaukseen. Taajuusmuuttajien ohjauksessa paneudutaan tarkemmin skalaarisäätöön, skalaarivektorisäätöön sekä suoraan momenttisäätöön.

Työssä perehdytään teollisuuden nostureiden taajuusmuuttajakäyttöihin sekä nostureiden moottoriratkaisuihin. Lisäksi kerrotaan teollisuuden pumppu- ja puhallinsovelluksien taajuusmuuttajakäytöistä. Lisäksi työssä esitellään myös maailman nopeimmin kasvava energiantuotantotapa tuulivoima. Tuulivoima osiossa käsitellään tuulivoimaloiden rakenneratkaisuja, tuulivoimaloiden generaattoreita sekä tutustututaan tuulivoimaloiden taajuusmuuttajasovelluksiin.

Viimeisessä osiossa käsitellään laivojen sähköisiä propulsiojärjestelmiä. Laivojen propulsiojärjestelmissä perehdytään erityisesti ABB Oy:n Azipod-ruoripotkurijärjestelmiin. Propulsiojärjestelmäosiossa käsitellään Azipodien erilaisia sähkömoottoriratkaisuja, laivojen generaattoreita ja laivojen sähköjärjestelmiä sekä Azipodien erilaisia taajuusmuuttajasovelluksia.

2 TAAJUUSMUUTTAJA

Taajuusmuuttajia käytetään sähkömoottoreiden pyörimisnopeuden säätämiseen. Vaihtovirta sähkömoottoreiden pyörimisnopeutta ei voi tehokkaasti säätää ilman taajuusmuuttajaa. Sähkömoottoreiden tuottamaa pyörimisnopeutta on perinteisesti muutettu erilaisten vaihteistojen ja jarrujen avulla. Taajuusmuuttajien avulla saavutetaan suurta sähköenergian säästöä sekä

kömoottorien pyörittämien prosessien hallintaa. Nykyään at ovatkin yleisesti käytössä monissa teollisuusyrityksissä, niillä saavutettavien suurien etujen vuoksi. Useat käytössä olevat taajuusmuuttajat ovat jännitevälipiirillisiä taajuusmuuttajia, eli VSI (*Voltage Source Inverter*). Muita taajuusmuuttajatyyppejä ovat virtavälipiirilliset taajuusmuuttajat, eli LCI (*Load Commutated Inverter*), sekä syklokonverterit.

Taajuusmuuttajat koostuvat tehopuolijohteista. Tehopuolijohteita ovat diodit, tyristorit, IGBT-transistorit (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) sekä GTO-tyristori (*Gate Turn-OFF*). Tehopuolijohteiden avulla jännite voidaan joko tasasuunnata tai vaihtosuunnata halutunlaiseksi. Tehopuolijohteet ovat sähköisiä kytkimiä, jotka kykenevät kytkemään jännitettä päälle ja pois jopa kymmeniä tuhansia kertoja sekunnissa. Tehopuolijohteiden nopean toiminnan ansiosta tehopuolijohteilla pystytään tekemään minkämuotoista jännitettä tahansa. [1; 2.]

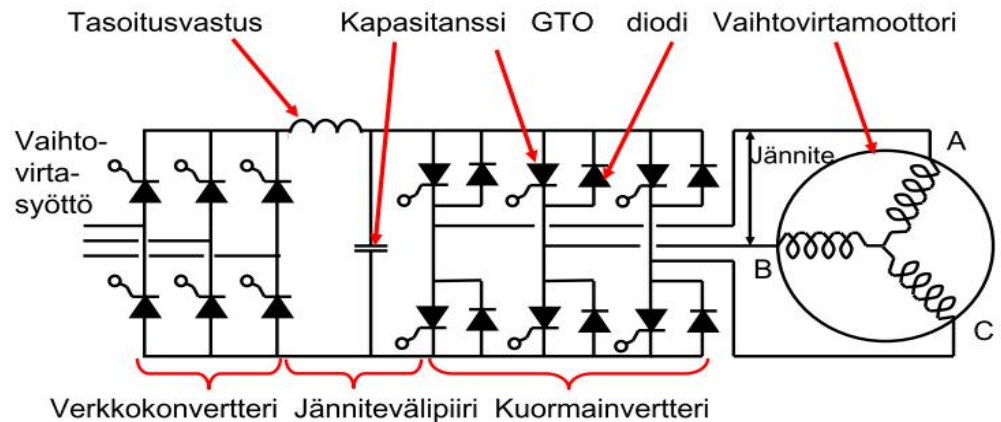
2.1 Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja

Jännitevälipiirillisillä taajuusmuuttajilla ohjataan usein suhteellisen pieni-tehoisia moottoreita. Jännitevälipiirillisestä taajuusmuuttajasta on kuitenkin tehty sovellutus, jolla voidaan ohjata myös erittäin suuria jopa 30 megawatin moottoreita. Usein jännitevälipiirillisellä taajuusmuuttajalla ohjataan oikosulkumoottoreita.

Jännitevälipiirillisessä taajuusmuuttajassa on tasasuuntaaja, välipiiri sekä vaihtosuuntaaja (kuva 1). Tasasuuntaajan tehtävä on muuttaa sähköverkosta tuleva kolmivaiheinen vaihtosähkö tasasähköksi. Tasasuuntaaja koostuu joko diodisillasta, tyristorisillasta tai IGBT-sillasta. Tasasuuntaajassa kolmivaiheinen vaihtojännite muutetaan tasajännitteeksi esimerkiksi tyristoreiden avulla. Tyristorit liipaistetaan vuorotellen johtaviksi aina silloin, kun niihin tulevan vaiheen jännitteen suuruus on suurimmillaan. Tämä jännite johdetaan taajuusmuuttajan positiiviseen kiskoon. Negatiivinen jännite saadaan aikaan, kun miinuskiskoon yhteydessä olevat tyristorit liipaistetaan johtaviksi aina, kun niihin tulevan kolmivaiheisen jännitteen suuruus on pienimmillään.

Taajuusmuuttajan jännitevälipiirissä on kela sekä kondensaattori. Jännitevälipiirin tehtävänä on suodattaa tasajännitteestä pois mahdolliset tasajännitteen epäpuhtaudet, välipiiri toimii myös energiavarastona. Välipiiristä

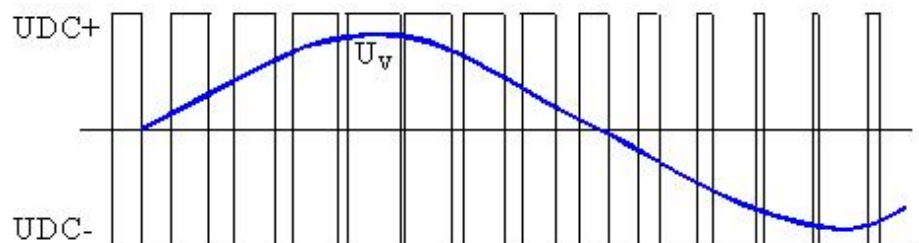
taajuusmuuttajan ohjauselektroniiikan tarvitsema käyttöjännite.



Kuva 1. Jännitevälipiirillinen PWM-taajuusmuuttaja [1]

Vaihtosuuntaajan tehtävä on muuttaa tasajännitte jälleen vaihtojännitteeksi sekä muokata jännite halutunlaiseksi. Vaihtosuuntaaja koostuu nykyään useimmiten diodien, GTO-tyristoreiden ja IGBT-transistoreiden kytkennöistä.

Vaihtosuuntaajan tasajännitteen muuttamista vaihtojännitteeksi ohjataan yleensä pulssinleveyssäädön eli PWM-säädön avulla (*Pulse Width Modulation*). PWM-säädössä vaihtosuuntaajassa olevia diodeja, GTO-tyristoreita sekä IGBT-transistoreita ohjataan siten, että ne muodostavat vaihtojännitettä. PWM-ohjaus tapahtuu siten, että tehpuolijohteet kytkevät tasajännitettä päälle ja pois hyvin suurella nopeudella. Tällä tavalla saadaan jännitettä, jonka muoto on keskimäärin sama kuin sinimuotoisella jännitteellä (kuva 2). [2.]



Kuva 2. Sinimuotoisen jännitteen tuottaminen PWM-tekniikalla [2]

ohjaus

Alipiiirillisten taajuusmuuttajien ohjaus perustuu joko skalaarisäätöön, skalaarivektorisäätöön tai suoraan momenttisäätöön.

2.2.1 Skalaarisäätö

Skalaarisäädössä säädettävät muuttujat ovat jännite ja taajuus. Pelkkään skalaarisäätöön perustuvassa ohjauksessa ei käytetä takometriä tai muita mittalaitteita, jotka mittaavat moottorin pyörimisnopeutta ja roottorin asentoa. Pelkkään skalaarisäätöön perustuvassa ohjauksessa huonoja puolia ovat ohjauksen epätarkkuus sekä pieni käynnistysmomentti. Hyviä puolia ovat järjestelmän yksinkertaisuus sekä järjestelmän halpa hinta. Skalaarisäätöön perustuvia taajuusmuuttajia käytetään yleisesti kohteissa, joissa ohjaukselta ei vaadita suurta tarkkuutta, kuten pumppu- ja puhallinkäytöissä [4].

2.2.2 Skalaarivektorisäätö

Skalaarivektorisäätö on paranneltu versio skalaarisäädöstä. Skalaarivektorisäädössä taajuusmuuttaja saa palautetta moottorilta. Taajuusmuuttajan tarvitsemat tiedot ovat, tietoa moottorin nopeudesta sekä roottorin asennosta. Skalaarivektorisäädössä moottorin vääntömomenttia pystytään säätämään. Skalaarivektorisäädössä säädettävät muuttujat ovat jännite, virta ja taajuus.

Skalaarivektorisäädössä moottorilta mitatut suureet syötetään moottorin matemaattiseen malliin. Moottorin tilatiedoista pystytään laskemaan moottorin magneettivuo sekä jakamaan virta vääntömomenttia ja magneettivuota kuvaaviin osiin. Näitä kumpaakin virranosaa pystytään säätämään erikseen. Virranosia tarvitaan siihen, että moottorin vääntömomenttia voidaan säädellä. Skalaarivektorisäädön hyviä puolia ovat säädön tarkkuus, vääntömomentin säätäminen sekä hyvä käynnistysmomentti. Huonoja puolia ovat järjestelmän monimutkaisuus ja kalleus. [4; 5, s. 444.]

2.2.3 Suora momenttisäätö

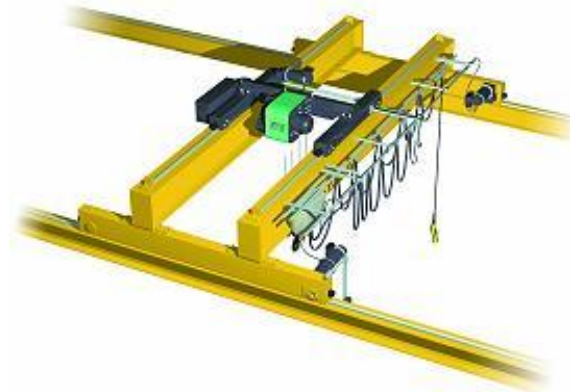
Suora momenttisäätö eli DTC (*Direct Torque Control*) on ABB Oy:n kehittämä taajuusmuuttajien ohjaustapa. Suorassa momenttisäädössä säädettäviä muuttujia ovat magneettivuo ja momentti. Suorassa momenttisäädössä magneettivuolle ja momentille asetetaan rajat, joiden

in pysyttävä. Magneettivuon, momentin tai molempien
annetuista rajoista suoritetaan korjaustoimenpide, joka
palauttaa suureet annettuihin rajoihin. Suoramomentti säätö tarvitsee hyvin
tarkan matemaattisen mallin. Suorassa momenttisäädössä ei tarvita
palautetta moottorilta, vaan taajuusmuuttaja pystyy laskemaan moottorin
tilatiedot itse.

Suora momenttisäätö on kaikkein kehittynein markkinoilla oleva ohjaus-
menetelmä. Suoran momenttisäädön hyviä puolia ovat ohjauksen tarkka
säätö, suuri käynnistysmomentti ja yksinkertainen rakenne. [4.]

3 NOSTURIT

Teollisuudessa nostureita pidetään hyvin tärkeinä. Melkein jokaisessa
tehdashallissa tai muussa teollisuusyrityksessä on nosturi. Usein teolli-
suusyritysten suuret nosturit ovat siltanostureita (kuva 3). Siltanosturit
liikkuvat tehdashallissa kiskojen päällä. Yleensä siltanosturin kiskot ovat
kiinnitettynä 5 - 20 metrin päähän toisistaan mahdollisimman korkealle,
lähelle tehdashallin kattoa. Siltanosturit liikkuvat kiskojen välissä. Tällainen
ratkaisu mahdollistaa suurienkin kuormien käsittelyn ja liikuttelun ahtaissa
tehdashalleissa.



Kuva 3. Siltanosturi [7]

Siltanosturin tärkeimmät osat ovat päädyt, pääkannattajat, vaunu ja nosto-
moottori. Päädyissä olevien pyörien avulla siltanosturi liikkuu tehdashallissa
olevien kiskojen päällä. Pääkannattajat (eli silta) ovat kiskojen välissä ja
kiskoihin nähden poikittain. Silta kannattelee pääasiassa nostettavaa
kuormaa. Vaunu liikkuu pääkannattimien välissä. Vaunuun on sijoitettu

moottori, vaihteisto sekä jarru. Siltanosturit voivat nostaa jopa kkoja. Siltanostureita käytetään, kun nostettavia kuormia ei tarvitse siirtää pitkää matkaa, eikä kuormia tarvitse nostaa korkealle.

Torninosturit ovat jokaiselle tuttu näky suurilla rakennustyömailla. Torninosturit koostuvat torniosasta, ohjaamosta, puomista sekä vastapainopuomista. Vastapainopuomin päässä on vastapaino, jonka tehtävänä on pitää nosturi tasapainossa nostotilanteissa. Torninosturin nostokyky mitataan tonn metreissä. Tonnimetri tarkoittaa, kuinka monta tonnia nosturi pystyy nostamaan ja kuinka monen metrin päästä torniosasta. Torninosturin nostokyky voi olla esimerkiksi 14 tonnia 20 metrin päähän ja 4 tonnia 60 metrin päähän. Torninosturin moottorin teho voi olla 45 kilowattia. Torninosturit ovat hyödyllisiä, kun taakkoja täytyy nostaa korkealle ja siirtää suhteellisen pitkiä matkoja.

Satamissa käytetään konttinostureita (kuva 4). Konttinostureiden tehtävänä on nostaa kontteja rahtilaivoihin ja pois laivoista. Konttinostureiden huomattavin erityispiirre on, että yleensä konttinosturit ovat siirrettäviä, eli niitä pystytään ajamaan paikasta toiseen. Monesti yhden laivan konttien lastaamisessa ja purkamisessa työskentelee samanaikaisesti useita konttinostureita. Laivat eivät myöskään pysähdy satamissa aina samaan paikkaan, joten on hyödyllistä, että konttinosturit ovat liikuteltavia. Konttinostureiden työskentelyn erityispiirteitä on, että kuormia ei tarvitse nostaa kovinkaan korkealle, eikä siirrellä erityisen pitkiä matkoja. Konttinosturin nostokyky voi olla jopa 45 tonnia. Nosturit voidaan jakaa sähkö-, polttomoottori- ja hydraulikäyttöisiin. Tässä työssä käsitellään pääasiassa sähkökäyttöisiä nostureita. [6; 8; 9.]



Kuva 4. Konttinosturi [10]

3.1 Nostureiden sähkömoottori

Sähkökäyttöisissä nostureissa käytetään yleisesti oikosulkumoottoria. Kuten muuallakin teollisuudessa, nostureissa oikosulkumoottoria suositaan, koska oikosulkumoottori on yksinkertainen ja kestävä, helppokäyttöinen ja vähän huoltoa vaativa moottorityyppi. Erityisesti nostureissa oikosulkumoottoria käytetään myös sen vuoksi, koska oikosulkumoottoria on helppo käyttää generaattorina. Oikosulkumoottori toimii generaattorina, kun sen akseliin aiheutuu vääntö mekaanisen voiman vuoksi. Kuorman ylösnostamisen yhteydessä kuorman varastoituu potentiaalienergiaa, mikä vapautuu, kun taakkaa lasketaan alas. Taakan laskun aiheuttama mekaaninen voima pyörittää oikosulkumoottorin akselia, jolloin oikosulkumoottori toimii generaattorina ja syöttää sähkötehoa takaisin verkkoon päin.

Nostureissa voidaan käyttää myös tasavirtamoottoreita. Tasavirtamoottorin hyvä puoli on moottorin pyörimisnopeuden helppo säätäminen. Tasavirtamoottorin pyörimisnopeutta ja momenttia voidaan säätää jännitteen suuruutta muuttamalla. Tasavirtamoottoreiden käyttäminen on kuitenkin nykyään erittäin vähäistä sen huonojen ominaisuuksien vuoksi. Tasavirtamoottori vaatii jatkuvaa huoltamista ja kommutaattoriharjojen putsaamista. Tasavirtamoottorilla on myös heikompi hyötysuhde kuin vaihtovirtamoottorilla. Tasavirtamoottorin rakenne on usein avoin johtuen tasavirtamoottorin jäähdytyksestä. Avonaisen rakenteensa vuoksi tasavirtamoottori ei sovellu käytettäväksi pölyisissä paikoissa. [5, s. 414; 8; 11.]

nostureissa

taajuusmuuttajien tasasuuntauksessa käytetään nykyään yleisesti joko diodisyöttöä tai IGBT-syöttöä. IGBT-syöttö mahdollistaa sen, että taakan laskutilanteen yhteydessä oikosulkumoottorin toimiessa generaattorina, sähkötehoa voidaan syöttää takaisin verkkoon päin. Diodisilta päästää sähkövirtaa lävitseen vain yhteen suuntaan, joten sähkövirran syöttäminen verkkoon päin ei onnistu. Kun oikosulkumoottori syöttää sähkötehoa verkkoon päin, diodisiltaa käytettäessä tämä teho on syötettävä jarrukatkojan kautta jarruvastukseen, jossa teho muuttuu lämmöksi.

Varsinkin suuritehoisissa nostureiden moottoreissa jarrukatkojat ja jarruvastuspaketit kasvavat kohtuuttoman suuriksi. Suuritehoisissa nostureissa tilankäytön kannalta onkin järkevää käyttää IGBT-syöttöä diodisillan asemasta, jotta jarrutusenergia voidaan syöttää verkkoon vastuspaketin sijasta. IGBT-sillan käyttäminen on järkevää myös prosessiteollisuudessa, jossa ilmassa on paljon metallipölyä, kuten metallivalimoissa. Esimerkiksi metallivalimoissa jarruvastusten pintaan kerääntyvä metallipöly aiheuttaa suuria ongelmia. Vastusten pinnalle kertyvä metallipöly onkin puhdistettava säännöllisesti, josta aiheutuu suuri kuluera.

Taakan laskutilanteissa oikosulkumoottoria voidaan käyttää jarruna. Oikosulkumoottorin toimiessa generaattorina taakkaan sitoutunutta potentiaalienergiaa kuluu oikosulkumoottorin roottorin pyörittämiseen, joten taakkaa alaspäin vievä vauhti pienenee.

Nostureiden taajuusmuuttajien ohjauksessa käytetään yleisesti PMW-typin taajuusmuuttajaa. PMW-typin taajuusmuuttajaa voidaan käyttää, jos sen ohjaus perustuu skalaarivektorisäädölle. DTC-taajuusmuuttajassa moottorin ohjaus perustuu sekä vuon että momentin hystereesissäätöön.

Taajuusmuuttajilla toteutetuissa nosturikäytöissä on hyvin tärkeää saada tietää moottorin roottorin tarkka pyörimisnopeus sekä roottorin asento eri tilanteissa. Kummallakin edellä mainitulla taajuusmuuttajatyypillä, PMW ja DTC saavutetaan riittävän tarkka pyörimisnopeuden ja roottorin asennon mittaustulos. Kumpaakin taajuusmuuttajatyypistä käyttäen mittaustulokset saavutetaan myös riittävällä nopeudella. DTC-typin taajuusmuuttaja

ksia jopa 40 000 kertaa sekunnissa, joten moottorin tilanne ratkaisevasti mittauksien välillä.

DTC-tyyppin taajuusmuuttaja soveltuu nostureiden moottoreiden ohjaukseen paremmin kuin skalaarivektorisäätöön perustuva taajuusmuuttaja. Taakan nostotilanteen yhteydessä moottorilta vaaditaan erittäin suurta vääntömomenttia moottorin pienillä kierroksilla. Koska DTC-ohjauksella varustetulla taajuusmuuttajalla moottorista saadaan mittaustuloksia monta kertaa sekunnissa, taajuusmuuttaja pystyy vastaamaan nopeasti momentin muutoksiin.

DTC-tyyppin taajuusmuuttajilla saavutetaan myös yksinkertaisempi rakenne, kuin skalaarivektorisäätöön perustuvalla taajuusmuuttajalla. Skalaarivektorisäätöön perustuvalla taajuusmuuttajalla, moottorin tilatiedot saadaan vain moottorista erikseen mittaamalla esimerkiksi takometrillä. DTC-tyyppin taajuusmuuttaja ei tarvitse erillisiä mittalaitteita moottoriin, vaan DTC-taajuusmuuttaja pystyy laskemaan moottorin tilatiedot itse.

PMW-tyyppin taajuusmuuttajaa ei yleensä käytetä nostureiden moottoreiden ohjauksessa, jos kyseisen taajuusmuuttajan ohjaus ei perustu skalaarivektorisäätöön. Perinteisessä PMW-taajuusmuuttajassa, jossa ohjaus perustuu jännitteen- ja taajuudensäätöön, ei välttämättä saavuteta riittäviä tilatietoja nosturin oikosulkumoottorista. [4; 8.]

3.3 Taajuusmuuttajilla saavutettavat edut

Taajuusmuuttajilla ohjatussa nosturikäytössä säästyy huomattavasti sähköenergiaa, verrattuna pelkästään oikosulkumoottorilla toteutettuun nosturikäyttöön. Taajuusmuuttajilla pystytään ohjaamaan oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta juuri nostotapahtuman vaativalle tasolle. Pelkällä oikosulkumoottorilla toteutetussa nosturikäytössä moottorin pyörimisnopeutta täytyy säätää erilaisilla jarruilla ja vaihteistoilla. Taajuusmuuttajien avulla pystytään karsimaan liialliset, helposti hajoavat mekaaniset osat nosturikäytöstä kuten vaihteistot ja jarrut.

Taajuusmuuttajien tarkan ohjauksen avulla saavutetaan myös pehmeämmät suunnan ja tilan muutokset kuin pelkällä oikosulkumoottorilla. Nämä pehmeämmät tilan muutokset säästävät nosturin laakereita, vajereita sekä kaikkia mekaanisia osia.

anteessa oikosulkumoottorin generaattorina tuottama saadaan taajuusmuuttajien kautta helposti syötettyä takaisin sankoverkkoon. Taajuusmuuttajan avulla nosturin moottorin verkkoon päin syöttämä sähkö saadaan muutettua täsmälleen halutunlaiseksi. Taajuusmuuttajaan takaisinpäin tuleva sähkö ensin tasasuunnataan, jonka jälkeen tasavirtaa käsitellään taajuusmuuttajan välipiirissä. Välipiirin jälkeen tasavirta vaihtosuunnataan ja syötetään verkkoon päin. Taajuusmuuttajaa käytettäessä vältytään myös oikosulkumoottoreiden huonoilta puolilta eli suurelta käynnistysvirralta ja pieneltä käynnistysmomentilta. [8; 12.]

4 PUHALTIMET JA PUMPUT

4.1 Puhaltimet ja ilmanvaihtokoneet

Teollisuudessa puhaltimia käytetään monissa eri sovelluksissa. Voimalaitoksissa käytetään esimerkiksi savukaasupuhaltimia, jotka puhaltavat energian tuotannossa käytetyn polttoaineen savukaasut savupiippuun, muodostaen savupiippuun samalla kunnollisen vedon. Voimalaitoksissa käytetään myös palamisilmapuhaltimia. Palamisilmapuhaltimien tehtävä on syöttää kattilaan riittävästi happea, jotta polttoaine palaa prosessin vaatimalla parhaalla mahdollisella tavalla.

Suuri yksittäinen sähkökuluttaja puhaltimien joukossa on rakennusten ilmanvaihtokoneiden puhaltimet (kuva 5). Jokaiseen uuteen rakennukseen on rakennettava toimiva ilmanvaihto, joka yleensä tarkoittaa ilmanvaihtokonetta. On suositeltavaa, että asuinrakennuksissa ilma vaihtuu kokonaan kerran kahdessa tunnissa, joten tästä saa jo käsityksen, kuinka suuresta sähkönkulutuksesta ilmanvaihtokoneiden osalta on kyse.

Teollisuudessa ilmanvaihdon tarve on yleensä huomattavasti suurempi kuin kotitalouksissa. Teollisuuden ilmanvaihdon tarve riippuu mm. teollisuusyrityksen tekemän prosessin likaisuudesta, yrityksessä työskentelevien ihmisten määrästä sekä muista mahdollisista epäpuhtauksista teollisuushallissa. Teollisuudessa, kaupoissa, toimistoissa ja nykyään myös asuinrakennuksissa puhaltimia käytetään paljon jäähdytykseen. Kauppojen kylmälaitteiden erilaiset puhaltimet ja kompressorit ovatkin huomattavia sähkökuluttajia. [13.]



Kuva 5. Ilmanvaihtokone [14]

4.2 Pumput

Pumpuilla siirretään vettä, jätevettä, teollisuudessa erilaisia nesteitä ja myös erilaisia prosessiteollisuuden massoja. Vesitorneihin pumpataan vettä öisin, joista vesi johdetaan ja pumpataan kuluttajien käyttöön. Jätevesiä kerätään suuriin paineviemäriin, joista se johdetaan pumppujen avulla jätevedenpuhdistamoihin.

Teollisuudessa pumppuja käytetään paljon ja pumppujen käyttökohteet vaihtelevat hyvinkin paljon. Paperitehtaissa pumput pumppaavat sellumassaa, erilaisia kemikaaleja ja jätevesiä, joten pumpuilla vaaditaan erinomaisen hyvää kestävyyttä. Erittäin suuria pumppuja on myös voimalaitoksissa.

Voimalaitoksien sähköntuotantoprosessia ei voitaisi toteuttaa ilman pumppuja. Voimalaitosten sähköntuotanto perustuu osaksi pumpuilla siirrettävään veteen. Voimalaitoksissa olevia pumppuja ovat mm. lauhdevesipumput, lisävesipumput, generaattoreiden ja turbiinien jäähdytysvesipumput sekä syöttövesipumput.

Lauhdevesipumpuilla pumpattava vesi jäähdyttää voimalaitoksen generaattoreita pyörittävää höyryä takaisin vedeksi. Voimalaitoksissa on myös erilaisia lisävesipumppuja, joilla pumpataan lisää vettä sähköntuotantoprosessissa mahdollisesti hukkaan menneen veden tilalle. Syöttövesipumpuilla pumpataan voimalaitoksen lämmityskattiloihin menevää vettä riittävään paineeseen. Voimalaitosten syöttövesipumput voivat olla erittäin suuritehoisia ja syöttövesipumput ovatkin Suomen suurimpia pumppuja. Esimerkiksi Meriporin hiilivoimalaitoksessa on höyryllä toimiva 16,5 megawatin syöttövesipumppu.

in jakaa mäntäpumppeihin ja kotelopumppeihin. Mäntä-
mm. nostepumppu, erotuspumppu sekä siipimäntäpumppu.
Kotelopumppeihin kuuluvat mm. keskipakoispumppu ja korkeapaine-
keskipakoispumppu. Pumput voivatkin toimia paitsi sähköllä, myös höyryllä,
hydraulisesti ja pumput voivat myös olla polttomoottorikäyttöisiä. Tässä
työssä tutustutaan tarkemmin sähkökäyttöisiin pumppuihin. [15; 16; 17.]

4.3 Taajuusmuuttajat puhallin- ja pumppukäytöissä

Puhallin- ja pumppukäytöt ovat prosessinsa kannalta hyvin samanlaisia, kummassakin tapauksessa ainetta siirretään ylipaineen avulla paikasta toiseen. Tämän vuoksi käsittelenkin pumput sekä puhaltimet saman otsikon alla.

Puhallin- ja pumppukäyttöjen tasasuuntauksessa käytetään yleisesti dioditai tyristorisiltoja. IGBT-syöttöjen käyttäminen on yleensä turhaa. Pumppujen ja puhaltimien pysäytysten yhteydessä niiden pyöriviin osiin on muodostunut aivan liian vähän liike-energiaa, jotta oikosulkumoottorin käyttäminen generaattorina oli kannattavaa. Sähköenergia joka syntyy, kun oikosulkumoottori jarruttaa pumpun tai puhaltimen pyörimistä pysäytyksen yhteydessä, ohjataan jarruvastukseen, missä sähköenergiasta muodostuu lämpöä.

Puhallin- ja pumppukäyttöjen yhteydessä käytetään yleisesti PMW-tyyppin taajuusmuuttajia. PMW-tyyppin taajuusmuuttajilla, jotka ohjaavat pumppujen ja puhaltimien moottoreita jännitteen ja taajuuden suhteen, päästään riittävään tarkkuuteen edellä mainituissa käytöissä. Pumppu- ja puhallinkäytöissä on harvoin tarvetta saada tietää moottorin roottorin täysin oikeaa pyörimisnopeutta ja roottorin täsmälleen oikeaa asentoa eri tilanteissa. Tästä johtuen PMW-tyyppin taajuusmuuttajia, jotka ohjaavat moottoreita vektoriskalaarisäädöillä ja DTC-tyyppin taajuusmuuttajia ei juurikaan käytetä, koska halvemmillä PMW-taajuusmuuttajilla jännitteen- ja taajuudensäädöillä päästään riittävän hyvään lopputulokseen. [4; 18.]

4.4 Taajuusmuuttajien edut pumppu- ja puhallinkäytöissä

4.4.1 Puhaltimet

Perinteisesti puhaltimien siirtämää ilmamäärää on säädelty muuttamalla puhaltimen propellin lapojen kulmia. Ilmamäärää on säädelty myös

nantuloaukkojen kokoa. Ilman taajuusmuuttajia puhaltimien aina pyörineet joko täysillä tai sitten olleet täysin pysähdyksissä. Ilmamäärää on voitu muuttaa vain ilman kulkua rajoittamalla. Taajuusmuuttajien avulla pystytään säätämään moottorin pyörimisnopeus juuri prosessin vaatimalle tasolle, jolloin säästyy valtavasti energiaa, kun puhaltimien moottoreita ei tarvitse pyörittää täysillä.

Taajuusmuuttajien toimintaa voidaan ohjata erilaisilla sensoreilla. Prosessissa voi olla esimerkiksi häkä-, hiilidioksidi- tai lämpöensoreita. Kun esimerkiksi hiilidioksidisensori havaitsee hiilidioksiditason nousseen prosessissa liian korkealle, sensori lähettää tiedon taajuusmuuttajalle hiilidioksiditason noususta. Tiedon saatuaan taajuusmuuttaja alkaa pyörittämään puhaltimen moottoria nopeammin, jotta hiilidioksiditaso saadaan vähenemään. [18.]

4.4.2 Pumput

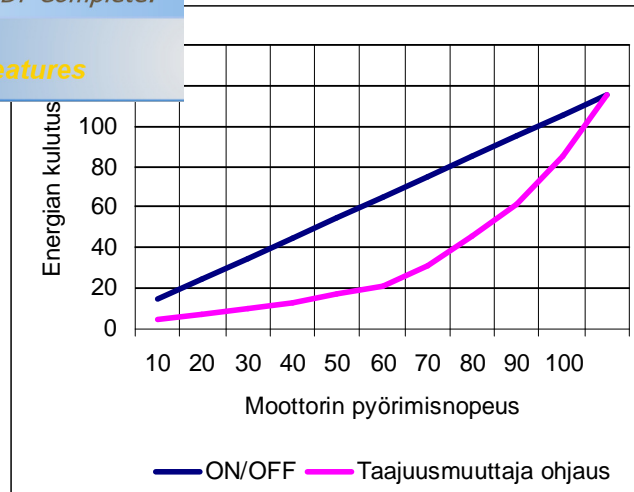
Tavallisesti pumppujen siirtämää nestemäärää on rajoitettu erilaisilla kuristimilla, säätöventtiileillä ja muilla nesteen kulkua rajoittavilla tekijöillä. Energian kulutuksen kannalta ei ole järkevää antaa pumpun moottorin pyöriä täysillä ja rajoittaa nesteen määrää prosessissa erilaisilla venttiileillä.

Pumppukäyttöihin yhdistetyllä taajuusmuuttajalla voidaan vaikuttaa pumppujen moottoreiden pyörimisnopeuteen samalla lailla kuin puhallinkäyttöjenkin kanssa. Taajuusmuuttajilla ohjataan pumppuja, jotta prosessin saama nesteen määrä saadaan koko ajan pysymään prosessin kannalta optimaalisena. [15.]

4.4.3 Päätelmiä pumppu- ja puhallinkäytöistä

Taajuusmuuttajien avulla toteutettu pumppujen ja puhaltimien pienempi pyörimisnopeus voi säästää parhaimmassa tapauksessa jopa 60 prosenttia sähköä (kuva 6). Jos pumppujen ja puhaltimien pyörimisnopeus saadaan pudotettua puoleen normaalista nopeudesta, moottorit kuluttavat sähköä ainoastaan kahdeksasosan siitä, mitä ne tuottavat normaalisti.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



Kuva 6. Ilmanvaihdon säätämällä saavutettava energiatehokkuus [19].

Taajuusmuuttajien avulla saavutettu moottorien pehmeämpi käynnistys ehkäisee myös putkien, venttiilien ja erilaisien sensoreiden rikkoutumista painevaikutuksen vuoksi. Taajuusmuuttajien avulla pystytään saavuttamaan myös moottorin 5 - 20 prosentin pyörimisnopeuden lisäys, joten taajuusmuuttajakäyttöjen avulla pystytään saavuttamaan helposti myös ylikapasiteettia.

ABB:n FanSave 4.1-laskentaohjelma laskee energian säästön, joka syntyy, kun puhallinkäyttöön asennetaan taajuusmuuttaja. Ohjelmalla laskettiin esimerkkitapaus säästöstä, joka syntyy, kun taajuusmuuttaja syöttää puhallinta. Esimerkissä puhaltimen moottori, jota käytetään vuosittain noin 8 760 tuntia on teholtaan 37 kilowattia. Tällaiseen puhallinkäyttöön taajuusmuuttajainvestointi maksaa noin 3 000 euroa. Taajuusmuuttajan avulla laskelmien mukaan säästetään sähköä 57 MWh. Rahaa säästyy pienentyneen energian kulutuksen ansiosta vuosittain 5 712 euroa. Taajuusmuuttajainvestoinnin takaisinmaksuaika on noin puoli vuotta. [19; 20.] (Liite 1.)

5 TUULIVOIMA

Tuulivoima on nopeimmin kasvava energian tuotantotapa. Tuulivoiman tuotanto on kasvanut keskimäärin 25 - 30 prosenttia vuodessa 1990-luvulta lähtien. Vuonna 2007 tuulivoimalla tuotettiin 3 prosenttia Euroopassa

sähköstä. Vuonna 2020 Euroopassa kulutetusta sähköstä Euroopan tuulivoimantuottajien edunvalvontajärjestön mukaan 13 prosenttia tuulivoimalla. Suomessa on vuonna 2008 valmiina 113 tuulivoimalaitosta ja niiden sähköntuotantokapasiteetti on noin 128 megawattia. Suomessa kulutetusta sähköstä tuulivoimalla on tuotettu 0,2 prosenttia.

Suurimmat tuulivoiman rakentajat Euroopan ulkopuolella ovat Yhdysvallat, Intia ja Kiina. Euroopassa tuulivoimaa rakennetaan eniten Saksassa, Espanjassa ja Tanskassa. Tanskassa maan sähköstä tuotetaan tuulivoimalla jopa 20 prosenttia. Tanska onkin suurin tuulivoiman tuottaja maailmassa suhteutettuna asukaslukuun. Tanskassa tuulivoiman tuotanto 1 000 ihmistä kohden on 576 kilowattia, kun taas Suomessa tuotanto on 21 kilowattia 1 000 ihmistä kohden.

Suurimmat nykyään toiminnassa olevat tuulivoimalaitokset ovat teholtaan 5 megawatin luokkaa. Suomessa sähköenergian tuotanto tuulivoimalla onnistuu lähinnä vain merenrannoilla. Tuulivoimala tarvitsee vähintään 3 m/s tuulta, jotta tuulivoimala käynnistyy. Optimi tuulen nopeus tuulivoimalan mallista riippuen on noin 13 - 25 m/s, jolloin tuulivoimala kykenee tuottamaan sille suunniteltua vakiotehoaan. Tuulen nopeuden noustessa yli 25 m/s tuulivoimala on pysäytettävä, jotta välttyään liian kovan tuulen aiheuttamalta tuulivoimalan rikkoutumiselta.

Suomessa tuulen nopeus on keskimäärin alle 5 m/s. Euroopan parhailla tuulivoiman tuotantoalueilla Saksassa, Hollannissa ja Tanskassa tuulen keskimääräinen nopeus on noin 7 - 9 m/s. [21; 22.]

5.1 Offshore-tuulivoimala

Nykyään tuulivoimaloiden rakentamisessa suositaan niin sanottuja *offshore*-tuulivoimapuistoja (kuva 7). *Offshore* tarkoittaa merelle rakennettavaa usean tuulivoimalan muodostamaa tuulivoimapuistoa. Tällaisessa *offshore*-tuulivoimapuistossa voi olla monia kymmeniä yksittäisiä tuulivoimaloita. Suomessa *offshore*-tuulivoimapuistojen rakennuspaikoiksi kelpuutetaan kohdat, joissa meren syvyys on alle 10 metriä. Suomessa *offshore*-tuulivoimalan perustus tehdään siten, että betonijalusta valetaan merenpohjasta pintaan asti. Tästä syystä meri ei voi olla liian syvä, jotta tuulivoimalan perustamiskustannukset eivät kasva liian suuriksi.

suunnitelmissa on, että merelle rakennettavat *offshore*-oissa olisi kelluvia tuulivoimaloita. Kelluvissa tuulivoimaloissa merensyvyys ei ole ongelma. Avomerellä, jonne kelluvat *offshore*-tuulivoimalat sijoitetaan, tuuliolosuhteet ovat paljon paremmat kuin rannikon tuntumassa.

Offshore-tuulivoimaloita suositaan nykyisin, koska merellä on huomattavasti paremmat tuuliolosuhteet kuin maalla. Merellä 5 - 10 kilometrin päässä rannasta tuuli voi olla 30 - 50 prosenttia voimakkaampaa, kuin rannikolla. Merelle sijoitetut *offshore*-tuulivoimalat vähentävät myös tuulivoimaloiden aiheuttamia meluhaittoja sekä esteettisiä haittoja. [23.]



Kuva 7. *Offshore*-tuulivoimapuisto Tanskan länsirannikolla [23]

5.2 Säättövoima

Tuulivoimalat tarvitsevat tuekseen aina säättövoimaa. Tuuliolosuhteet voivat vaihdella hyvinkin paljon eri vuorokauden ja vuoden aikoina. Tuuliolosuhteita on hyvin vaikea ennustaa edes muutaman vuorokauden mittaisella aikavälillä. Tuulivoima tarvitseekin rinnalleen sähköntuotantotavan, joka on nopeasti säädettävissä, luotettava sekä ennen kaikkea helposti ennustettavissa. Tällaisia energiantuotantotapoja ovat vesivoima sekä erilaiset kaasuturbiinilaitokset ja myös joissain tapauksissa hiilivoimalaitokset.

Säättövoimaa tarvitaan, kun tuulivoimalla ei pystytä tuottamaan riittävästi sähköä, mutta kulutus pysyy entisellään. Tuulivoiman tuottamatta jättämä sähkökapasiteetti on tuotettava jollain muulla tavalla. Tähän tarkoitukseen

tyvä tapa tuottaa sähköä, koska vesivoiman sähköntuotanto-
n helppo lisätä nopeasti.

Sähkönkulutuksen pysyessä ennallaan ja tuotannon jostain syystä
vähetessä sähkön taajuus laskee. Sähkönkulutuksen laskiessa ja tuotannon
pysyessä ennallaan sähkön taajuus nousee. Nykyiset sähkölaitteet vaativat
hyvin laadukasta sähköä, joten on tärkeää pitää verkon tuotanto ja kulutus
tasapainossa. [24.]

5.3 Tuulivoimala

Tuulivoimala koostuu tornista, roottorista sekä konehuoneesta.
Tuulivoimalan konehuoneessa sijaitsevat generaattori, vaihteisto,
taajuusmuuttajat, jarrut sekä muuntaja (kuva 8).



Kuva 8. Tuulivoimalaitoksen konehuone [25]

5.3.1 Tuulivoimalan torni

Tuulivoimalan torni on yleensä tehty teräksestä. 3 megawatin
tuulivoimalassa torni on noin 90 metriä pitkä. Tornin halkaisija alaosasta on
4,2 metriä. Tuulivoimalaitos on rakennettu betonista tehtyjen perustusten
varaen [22].

en roottorit ovat yleensä kolmilapaisia. Tuulivoimalassa, jonka teho on 3 megawattia, roottorin halkaisija on noin 100 metriä. Roottorin lapakulmia voidaan säätää tuulen nopeuden mukaan optimaaliseksi, joko sähköisesti tai hydraulisesti. Varsinkin suurissa tuulivoimaloissa jokaista lapaa ohjaa oma sähkömoottori [22].

5.3.3 Tuulivoimalan generaattori

Tuulivoimaloiden generaattoreina voidaan käyttää hyvinkin erilaisia generaattorityyppejä. Seuraavassa kappaleessa esittelen kolme ehkä yleisimmin käytettyä generaattorityyppiä.

Induktiogeneraattori on yleisin tuulivoimaloissa käytetty generaattorityyppi. Induktiogeneraattoria käytetään, sen kestävän ja yksinkertaisen rakenteen sekä halvan hinnan vuoksi. Induktiogeneraattorin pystyy myös helposti liittämään ja irrottamaan sähköverkosta sekä liittämään sen myös joissain tapauksissa suoraan sähköverkkoon.

Toinen yleisesti käytetty generaattorityyppi on kestromagneettitahtigeneraattori. Kestomagneettitahtigeneraattoreita käytetään varsinkin pienissä, alle 10 kilowatin tuulivoimaloissa. Kestomagneettitahtigeneraattoreita voidaan käyttää vaihtelevilla nopeuksilla, tämän vuoksi kestromagneettitahtigeneraattoreita ei voida kytkeä suoraan sähköverkkoon. Kestomagneettitahtigeneraattorin voi kytkeä verkkoon ainoastaan taajuusmuuttajan tai vaihteiston kautta.

Kestomagneettitahtigeneraattoreita voidaan käyttää myös suoravetogeneraattoreina. Suoravetogeneraattoreissa ei tarvitse vaihteistoa. Suoravetogeneraattoreissa käytetään niin paljon napoja, että generaattori voi pyöriä yhtä nopeasti kuin tuulivoimalan roottori. Suoravetogeneraattoreita käytetään varsinkin suuritehoisissa tuulivoimaloissa. [22.]

5.3.4 Tuulivoimalan vaihteisto ja jarru

Vaihteistolla säädetään roottorin pyörimisnopeus generaattorille sopivaksi. Tuulivoimaloiden vaihteiston välityssuhde on yleensä 1:6 tai suurempi. Jarruilla hidastetaan tuulivoimalan roottorin pyörimisnopeutta kovilla tuulilla. Yli 25 m/s myrskytuulilla [22].

taaja
ivoimalan tuottama sähkö muutetaan verkon jännitettä vastaavaksi. Yleensä tuulivoimalat syöttävät sähköä 110 kilovoltin verkkoon, joka myöhemmin nostetaan 400 kilovoltiin, jotta säästytään liiallisilta häviöiltä sähkön siirrossa [22].

5.4 Taajuusmuuttajat tuulivoimaloissa

Tuulivoimaloissa yleisesti käytetty taajuusmuuttajatyyppe on PWM-tyyppin taajuusmuuttaja. Tasasuuntauksessa käytetään lähinnä IGBT-syöttöä. Myös tyristorisiltoja voidaan käyttää, mutta edellä mainitut syötöt ovat lähes korvanneet tyristorisyötön tuulivoimaloiden taajuusmuuttajissa, kuten muissakin taajuusmuuttajien tasasuuntaajissa.

Tuulivoimaloiden taajuusmuuttajien ohjauksessa voidaan käyttää lähinnä DTC-ohjattuja taajuusmuuttajia sekä PWM-tyyppin taajuusmuuttajia skalaarivektorisäädöllä. Taajuusmuuttajien on hyvä saada tuulivoimalan generaattorista tarkkoja tilatietoja, kuten generaattorin pyörimisnopeus. Taajuusmuuttajien ohjauksessa voidaan käyttää lähinnä vain edellä mainittuja ohjaustapoja. PWM-tyyppin taajuusmuuttaja, jota ohjataan jännite- ja taajuussäädöllä ei yleensä käytetä ohjauksen ja mittaustietojen epätarkkuuden vuoksi.

Taajuusmuuttajien tärkein tehtävä tuulivoimaloissa on muuttaa generaattorin tuottaman sähkön taajuus vastaamaan sähköverkon taajuutta. Suomen sähköverkossa taajuus on 50 Hz.

Taajuusmuuttajia käytetään myös tuulivoimalan roottoreiden lapakulmien säätöön tarkoitettujen moottoreiden ohjaukseen. Taajuusmuuttajia käytetään ohjaamaan myös tuulivoimalan konehuoneen pyörittämiseen tarkoitettuja moottoreita. Tuulivoimala on tärkeä saada tuulen suhteen optimiasentoon, joten tuulivoimalan yläosaa voidaan käänellä.

Tuulivoimala on tärkeä saada käyntiin myös hiljaisella tuulella, jotta tämä onnistuisi on tuulivoimalan generaattoria käytettävä moottorina. Generaattorin on pyörittävä tuulivoimalan roottoria, koska muuten hiljaisella tuulen nopeudella tuuli ei pysty voittamaan rootto rin, mahdollisen vaihteiston ja generaattorin lepokitkaa. Taajuusmuuttaja mahdollistaa tässäkin

generaattorin pehmeään käynnistykseen ja tarkan säätämisen. [4;

5.5 Taajuusmuuttajilla saavutettavat edut tuulivoimaloissa

Taajuusmuuttajilla voidaan säätää generaattorin syöttämän jännitteen taajuutta. Tuulivoimaloissa, joissa ei ole taajuusmuuttajia, roottorin pyörimisnopeus on muutettava vaihteiston avulla generaattorille optimaaliseksi, jotta generaattori syöttäisi verkon taajuutta vastaavaa jännitettä. Vaihteiston pois jättämisellä saavutetaan huomattavia säästöjä. Vaihteisto on kallis osa tuulivoimalaa, ja sen pois jättämisellä säästetään huoltokustannuksissa, kun helposti hajoava mekaaninen osa saadaan jätettyä pois. Vaihteiston pois jättämisellä saavutetaan myös huomattava tilan säästö.

Taajuusmuuttajilla varustettu tuulivoimalaitos mahdollistaa myös sähköntuotannon hiljaisilla tuulen nopeuksilla, koska tuulen energiaa ei kulu liikaa mekaanisten osien pyörittämiseen. Taajuusmuuttajien avulla tuulivoimalan ylimääräistä energiaa voidaan myös varastoida roottorin mekaaniseksi pyörimisenergiaksi ja myös jonkin verran magneettiseksi energiaksi, jota voidaan hiljaisemmilla tuulen nopeuksilla vapauttaa generaattorin pyörittämiseen.

Taajuusmuuttajien avulla saadaan myös säädettyä suoraan verkon loistehoa. Ilman taajuusmuuttajia tarvitaan kalliita ja tilaa vieviä kompensointikondensaattoreita loistehon säätämiseen. [22.]

6 LAIVOJEN PROPULSI OJÄRJESTELMÄT

6.1 Laivojen sähköinen propulsio yleisesti

Laivojen sähköinen propulsio tarkoittaa laivojen potkureiden pyörittämistä sähkömoottoreilla. Sähköistä propulsiota käyttävissä laivoissa on generaattoreita, joilla tuotetaan kaikki laivan tarvitsema sähkö. Generaattoreita voidaan pyörittää esimerkiksi dieselmoottorilla, kaasuturbiinilla tai sotalasaluksissa myös ydinenergialla.

Sähköistä propulsiojärjestelmää suositetaan erityisesti aluksissa, joissa on suuri sähkön tarve sekä aluksissa joissa propulsiotehon ja sähkötehon tarve

resti. Sähköistä propulsiota käytetään myös aluksissa joissa ja sähkötehon huippuja ei tarvita samanaikaisesti. Sähköistä propulsiojärjestelmää suositetaan myös aluksissa, joissa tarvitaan suurta vääntömomenttia. Tällaisia aluksia ovat mm. jäänmurtaajat sekä hinaajat.

Laivojen sähköisissä propulsiojärjestelmissä voidaan käyttää kahta erilaista potkurijärjestelmää. Joko pod-tyyppistä potkurijärjestelmää tai sitten perinteisellä akselilla pyöritettävää potkuriä. Pod-tyyppistä järjestelmää sanotaan ruoripotkurijärjestelmäksi (kuva 9). Ruoripotkurijärjestelmässä moottori ja potkuri ovat samassa paketissa, joka sijoitetaan laivan rungon ulkopuolelle.



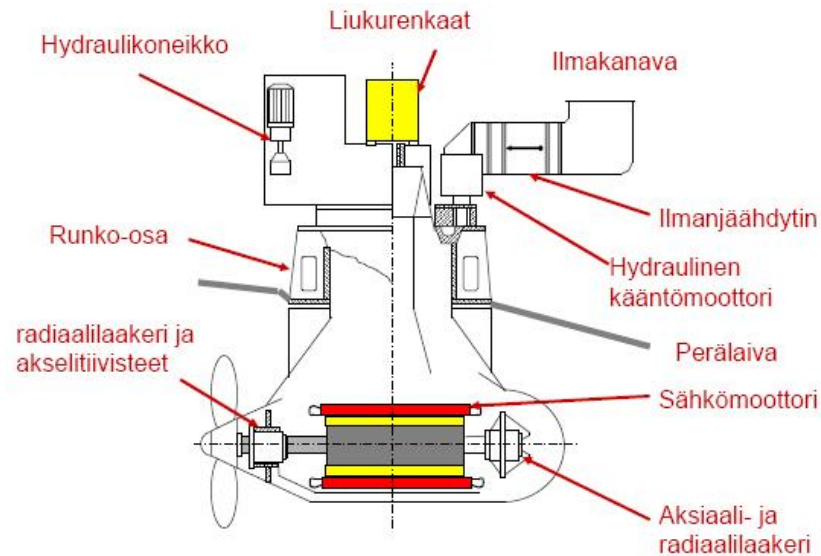
Kuva 9. Azipod-ruoripotkuri [26]

Pod-tyyppistä ruoripotkurijärjestelmää suositetaan nykyisissä laivojen sähköisissä propulsiojärjestelmissä enemmän kuin perinteistä akselijärjestelmää. Pod-järjestelmän etuja akselijärjestelmään on podien parempi hyötysuhde, parempi ohjattavuus sekä säästynyt tilantarve verrattuna perinteiseen akselijärjestelmään.

Tässä laivojen propulsiojärjestelmät luvussa tutustumme erityisesti ABB:n valmistamiin Azipodeihin. Käsittelen Azipod-ruoripotkurijärjestelmiä, koska ABB:n valmistavat Azipodit olivat ensimmäisiä ruoripotkureita ja ABB:n tuotteet ovat vieläkin edelläkävijöitä laivojen sähköisissä propulsiojärjestelmissä. [3; 27.]

Rakenne

Potkuri koostuu rungosta, sähkömoottorista, potkurista, kääntölaitteista, Azipodin sähkönsyöttöön tarkoitetuista taajuusmuuttajista sekä muista apulaitteista (kuva 10) [27].



Kuva 10. Ruoripotkurin poikkileikkaus [28]

6.2.1 Azipodin runko

Azipodin runko valmistetaan laivanrakennusmetallista, ja se on laakeroitu runkoon. Azipodin rungon suunnittelussa tulee huomioida niin rungon hydrodynaamiset ominaisuudet kuin rakenteen kestävyys. Rungon muoto suunnitellaan tarvittaessa niin, että se sopii yhteen laivan rungon kanssa hydrodynaamisten ominaisuuksiensa puolesta. [3.]

6.2.2 Azipodin sähkömoottori

Laivojen sähköisissä propulsiojärjestelmissä käytetään yleisesti tahtimoottoreita, kestmagneettimoottoreita ja epätahtimoottoreita. Tahtimoottoreita käytetään pääasiassa suurissa yli 6 megawatin moottorijärjestelmissä. Tahtimoottoreiden hyviä ominaisuuksia ovat suuri vääntömomentti ja pienemmät häviöt kuin epätahtimoottoreilla. Tahtimoottoreista pystytään rakentamaan helposti suuritehoisempia kuin epätahtimoottoreista.

Kestomagneettimoottoreita käytetään pienitehoisissa Azipod-ruoripotkurijärjestelmissä. Kestomagneettimoottoreiden hyviä puolia on

ko. Moottorin pienen koon ansiosta kestmagneettimoottoria Azipodin hydrodynaamiset ominaisuudet ovat parempia kuin muiden moottoreiden kanssa. Kestomagneettimoottorin pienempi koko ja pienempi lämmöntuotanto mahdollistaa Azipodin jäädyttämisen suoraan meriveteen, joten erillistä jäähdytysjärjestelmää ei tarvita. Kestomagneettimoottorissa on myös pienemmät häviöt kuin muissa moottorimalleissa. Kestomagneettimoottorin roottori ei tarvitse vierasmagnetointia, joten kestmagneettimoottorissa ei ole roottorihäviöitä.

Epätahtimoottoreista ruoripotkurijärjestelmissä käytetään pääasiassa oikosulkumoottoria. Yleisesti oikosulkumoottoria käytetään suhteellisen pienitehoisissa ruoripotkurijärjestelmissä. Nykyisin, kun taajuusmuuttajatekniikka on kehittynyt, oikosulkumoottoria on alettu käyttämään yhä suuritehoisemmissakin järjestelmissä. Azipod-järjestelmää käyttävissä laivoissa oikosulkumoottoria käytetään myös yleisesti laivan ohjauspotkureiden moottoreina. Oikosulkumoottoria käytetään, koska oikosulkumoottori on rakenteeltaan yksinkertainen ja kestävä. Oikosulkumoottori on myös helppokäyttöinen ja vähän huoltoa vaativa moottorityyppi. [3; 29.]

6.2.3 Azipodin apulaitteet

Azipod-yksikkö pystyy pyörimään 360 astetta pystyakselinsa ympäri. Tätä varten Azipodissa on 2 - 4 hydraulista kääntölaitetta. Ne kääntelevät ruoripotkuria vaakatasossa akselinsa ympäri.

Sähkö Azipodille siirretään yleensä liukurenkaiden avulla. Liukurenkaat ovat toisiaan vasten olevat johtavat kappaleet. Ne pääsevät liikkumaan toisiinsa nähden, mutta liukurenkaat pysyvät silti aina kosketuksissa toisiinsa. Näin sähkö pääsee kulkemaan moottorille, ja Azipod pystyy silti pyörimään ympäri.

Azipodi jäädytetään joko erillisellä jäähdytysjärjestelmällä, tai se voi myös luovuttaa lämpönsä suoraan meriveteen. Karkeasti voidaan sanoa, että 5 megawattiin asti Azipod ei tarvitse erillistä jäähdytystä. [3.]

6.2.4 Generaattorit ja laivan sähköjärjestelmä

Sähköisissä propulsiojärjestelmissä laiva tuottaa tarvitsemansa sähköön vaihtovirtageneraattoreiden avulla. Laivan sähköjärjestelmä rakentuukin

ta, ilmatatkaisijoista, muuntajista, taajuusmuuttajista, jänniteverkosta ja jänniteverkosta. Pienjänniteverkkoon kuuluvat esimerkiksi valaistus, ilmanvaihto sekä kaikki muut pienjännitettä käyttävät kojeet.

Laivojen generaattoreita voidaan pyörittää esimerkiksi dieselmootorin avulla, joka on nykyisissä laivoissa yleisimmin käytetty tapa. Generaattoreita voidaan pyörittää myös kaasuturbiinin tai höyryturbiinin avulla. Sotalauksissa voidaan myös käyttää ydinenergiaa generaattoreiden pyörittämiseen.

Suuret laivoissa käytettävät generaattorit ovat usein tahtigeneraattoreita. Laivan koosta riippuen generaattoreita on yleensä kolmesta kuuteen. Generaattoreiden kuormitus riippuu sähkönkulutuksesta. Huippukulutuksen aikana laivan kaikki generaattorit ovat kytkettynä verkkoon. Pienemmän kulutuksen aikana vain osa generaattoreista on verkossa. [29.] (Liite 2.)

6.3 Taajuusmuuttajat laivojen propulsiojärjestelmissä

Laivojen propulsiojärjestelmissä käytettävät taajuusmuuttajatyypit ovat PWM-tyyppin eli jännitevälipiirilliset taajuusmuuttajat, syklokonverterikäytöt sekä LCI-taajuusmuuttajat. Taajuusmuuttajia käytetään laivojen propulsiokäytöissä päämootoreiden sekä ohjausmootoreiden nopeuden säätöön [29].

6.3.1 PWM-tyyppin taajuusmuuttaja

PWM-tyyppin taajuusmuuttajia käytetään pääasiassa oikosulkumootoreilla ja kestmagneettimootoreilla varustettujen ruoripotkureiden nopeuden säätöön. PWM-taajuusmuuttajia käytetään yleensä verrattain pienissä Azipod-sovelluksissa. Kuitenkin nykyään PWM-taajuusmuuttajia voidaan käyttää myös yhä isommissa moottorisovelluksissa nykyään jopa 30 megawatin sovelluksissa.

PWM-tyyppin taajuusmuuttajien tasasuuntauksessa voidaan käyttää dioditasasuuntaajaa, tyristorisiltaa tai IGBT-tekniikalla toteutettua tasasuuntausta. IGBT-syöttö ja tyristorisilta mahdollistavat jarrutusten yhteydessä syntyvän energian syöttämisen takaisin laivan sähköverkkoon. Diodisillan yhteydessä sähkön syöttäminen verkkoon päin ei onnistu, vaan

on kuluttava loppuun taajuusmuuttajien välipiirissä olevilla

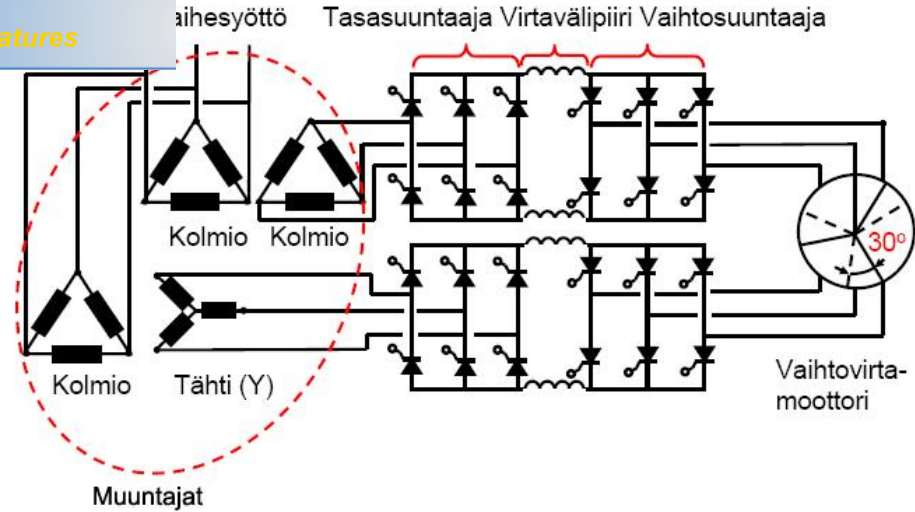
PWM-tyyppin taajuusmuuttajien ohjaus on yleensä toteutettu joko DTC-ohjauksella tai skalaarivektoriohjauksella. Edellä mainituilla ohjaustavoilla saavutetaan riittävän tarkka ohjaustapahtuman hallinta. PWM-tyyppin taajuusmuuttaja, jota ohjataan jännitteen ja taajuuden suhteen ei enää nykyään tarjoa riittävän tarkkoja tilatietoja moottorista.

Erittäin suuritehoisissa PWM-tyyppin jännitevälipiirillisissä taajuusmuuttajissa voidaan käyttää NPC-kytkentää (*Neutral Point Clamped*). NPC-kytkennässä taajuusmuuttajan välipiirissä jokainen moottorille menevä vaihe voidaan kytkeä eri potentiaaliin. Nämä eri potentiaalit ovat pluspotentiaali, nolla-potentiaali tai miinuspotentiaali. Tämän vuoksi taajuusmuuttajaa, jossa on NPC-kytkentä, sanotaankin kolmitasoinverteriksi. NPC-kytkentäisen taajuusmuuttajan välipiirissä olevien diodien ja transistorien yli menevät jännitteet ovat puolet vähemmän kuin normaalissa PWM-tyyppin taajuusmuuttajassa. Tämän vuoksi NPC-kytkentäiseen taajuusmuuttajaan voidaan syöttää suurempaa jännitettä ja näin ollen taajuusmuuttajasta saadaan enemmän tehoa kuin normaalista jännitevälipiirillisestä taajuusmuuttajasta. [3; 4; 29.]

6.3.2 LCI-tyyppin taajuusmuuttaja

LCI-tyyppin taajuusmuuttajaa eli virtavälipiiritäajuusmuuttajaa voidaan käyttää vain tahtimoottorin ohjaukseen. Vain tahtimoottori pystyy tuottamaan tarpeeksi loisteho LCI-taajuusmuuttajan kommutoinnin tarpeisiin. LCI-taajuusmuuttajan yhteydessä tahtimoottoria on käytettäväkin ylimagneitoituna, jotta tahtimoottori tuottaisi riittävästi kommutointiin tarvittavaa loistehoa. Esimerkiksi oikosulkumoottori ja kestromagneettimoottori eivät pysty tuottamaan tarpeeksi loistehoa.

LCI-tyyppin taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, virtavälipiiristä sekä vaihtosuuntaajasta (kuva 11). Tasasuuntaaja koostuu kahdesta tyristorisillasta, jotka tasasuuntaavat kolmivaihejännitteen. Virtavälipiirissä on kaksi tasoituskuristinta. Tasoituskuristimien tehtävänä on vähentää tasavirrassa esiintyvää jännitteen aaltoilua. Vaihtosuuntaaja koostuu tasasuuntaajan tavoin kahdesta tyristorisillasta.



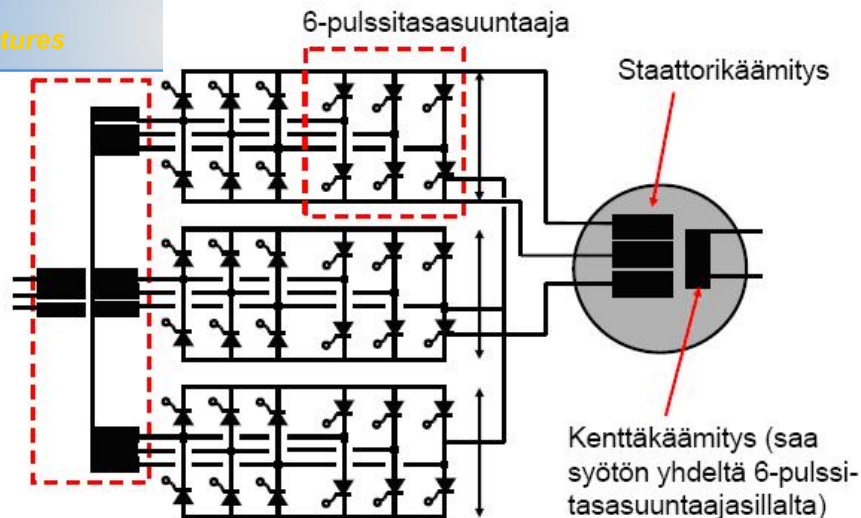
Kuva 11. LCI-taajuusmuuttajan kaavakuva [1]

LCI-tyypin virtavälipiiritaajuusmuuttaja pystyy jarrutusilanteissa syöttämään sähkötehoa takaisin verkkoon päin. LCI-taajuusmuuttaja koostuu kahdesta samanlaisesta tyristorisilta osasta. Normaalissa tilanteessa moottori saa sähkötehoa kuvassa olevassa ylemmästä tyristorisillasta. Jarrutusilanteessa moottorin toimiessa generaattorina moottori syöttää sähkötehoa alemman tyristorisillan kautta verkkoon päin.

LCI-tyypin taajuusmuuttajan yleisin käyttökohde on sellaisissa laivoissa, joiden propulsiolaitteiden moottoreilta ei vaadita suurta vääntömomenttia pienillä moottorin kierroksilla. Moottorin pienellä nopeudella LCI-taajuusmuuttaja ei saa riittävästi vastajännitettä moottorilta, joten tällaisessa tapauksessa taajuusmuuttajaa on pakkokommutoitava. [1; 29.]

6.3.3 Syklokonvertteri

Suuritehoisissa laivojen sähköisissä propulsiojärjestelmissä käytetään yleisesti syklokonvertteria eli suoraa taajuusmuuttajaa (kuva 12). Syklokonverttereita voidaan käyttää jopa 30 megawatin tehoisissa sovelluksissa. Syklokonvertteri pystyy ohjaamaan sekä epätahtimoottoreita että tahti-moottoreita. Syklokonvertterissa syöttöverkon kolmivaihejännite muuttuu suoraan halutunlaiseksi kolmivaihejännitteeksi ilman välipiiriä. Syklokonvertteri koostuu yleisimmin vastarinnan kytketyistä 6-pulssi tyristorisilloista. Syklokonvertteri voi koostua myös 12-pulssi tyristorisillasta.



Kuva 12. Syklokonvertterin kaavakuva [1]

Syklokonvertterin ohjaus voi tapahtua sini- tai trapetsiohjauksella.

Trapetsiohjauksella tarkoitetaan ohjaustapaa, jossa lähtöjännite muuttuu trapetsikäyrän mukaisesti. Siniohjauksessa taas taajuusmuuttajan lähtöjännitteen pitää muuttua sinimuotoisesti.

Syklokonvertteria suositetaan, koska syklokonvertteria pystytään käyttämään helposti suurissakin propulsiojärjestelmissä. Syklokonvertterin etuja on myös yksinkertainen rakenne. Varsinkin se, että syklokonvertterissa ei ole välipiiriä. Syklokonvertteria pystytään myös kommutoimaan verkkojännitteellä. Syklokonvertterin suuri etu verrattuna muihin taajuusmuuttajatyyppeihin on, että syklokonvertteri on suoraan nelikvadranttinen ilman mitään lisälaitteita. Syklokonvertteri pystyy syöttämään jarrutus-tilanteissa sähköä suoraan verkkoon ilman mitään lisälaitteita. Syklokonvertterilla saavutetaan myös tasainen vääntömomentti koko syklokonvertterin tehoalueelle. Syklokonverttereilla saavutettava matala 40 hertsin taajuus soveltuu hyvin suurille potkurijärjestelmille. [1; 27; 29.]

6.4 Azipodeilla saavutettavat edut

Azipod-ruoripotkurijärjestelmällä saavutetaan monia etuja verrattuna perinteisiin laivojen sähköisiin propulsiojärjestelmiin sekä verrattuna perinteisiin polttomoottorijärjestelmiin.

reilla varustettu laiva kuluttaa selkeästi vähemmän polttoainetta kuin tavalliset laivat. Tämä johtuu paitsi sähkömoottoreiden paremmasta hyötysuhteesta niin myös laivan parantuneista hydrodynaamisista ominaisuuksista. Azipod-potkurijärjestelmällä varustettu laiva ei tarvitse sivutyöntölaitteita tai akselinkannakkeita, mikä pienentää hydrodynaamista vastusta. Toisin sanoen rungon vastus pienenee, kun ylimääräiset ulokkeet poistetaan.

Azipod-moottoreiden tarvitsema sähkö tuotetaan diesel- tai kaasukäyttöisillä moottoreilla. Tästä huolimatta Azipodeilla päästään parempaan polttoainetaloudellisuuteen, koska polttomoottoreita voidaan käyttää koko ajan niiden optimikierroslukualueella.

Parantunut hydrodynaaminen hyötysuhde merkitsi jo ensimmäisissä Azipodeilla varustetuissa laivoissa noin puolen solmun parannusta nopeuteen. Pieneltä tuntuva lukema tarkoittaa kuitenkin merkittävää laivan tehon tarpeen vähenemistä. Hyötysuhteen 8 - 9 prosentin parantuminen voi merkitä jopa noin 40 tonnin polttoainesäästöjä laivaa kohti viikossa, riippuen laivan koosta. Tämä taas säästää selvää rahaa varsinkin, kun polttoaineen hinta on jatkuvassa kasvussa.

Pienentynyt polttoaineen käyttö merkitsee luonnollisesti myös pienentyneitä päästöjä ilmakehään. Tulevaisuudessa päästökaupan ansiosta hiilidioksidipäästöjen vähentäminen voi olla myös laivaliikenteessä taloudellisesti erittäin kannattavaa. [3.]

6.4.2 Azipodin ohjattavuus

Azipod-moottori kääntyy 360 astetta pystyakselinsa ympäri ja toimii samalla laivan peräsimenä. Tämä tarkoittaa, että laivaa on helpompi ohjata kuin perinteisellä peräsimellä varustettua laivaa. Varsinkin pienissä nopeuksissa ero on merkittävä. Laivan kääntösäde pienenee huomattavasti Azipod-moottoreita käytettäessä samoin kuin pysähtymismatka. Parempi ohjattavuus tuo lisää turvallisuutta erityisesti satamissa liikuttaessa

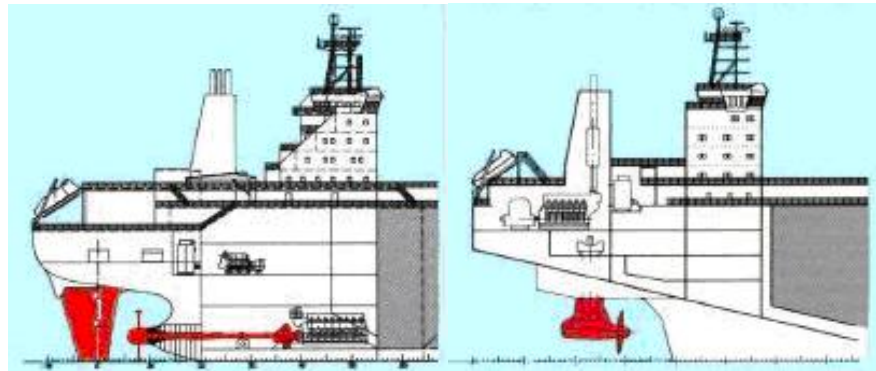
Azipod-ruoripotkurijärjestelmällä pystytään suorittamaan tehokas laivan hätäpysäytys. Azipodilla suoritettu hätäpysäytys pysäyttää laivan jopa 42 prosenttia lyhyemmällä matkalla kuin normaalilla potkurijärjestelmällä

...pysäytys. Azipodilla voidaan suorittaa laivan hätäpysäytys
...pulsioitehoa alennetaan 40 - 50 prosenttia täydestä tehosta.
...ron aiennuksen jälkeen azipodit käännetään 180 astetta laivan
kulkusuuntaan nähden. [3; 29.]

6.4.3 Muut edut

Azipod-järjestelmä vie vähemmän tilaa ja on kevyempi kuin perinteinen propulsiojärjestelmä (kuva 13). Koska Azipod ei tarvitse suoraa akseliyhteyttä moottoreilta potkureille, voidaan moottorit sijoittaa vapaammin ja akseleiden tarvitsema tila vapautuu muuhun käyttöön. Myös laivan rungon, ja erityisesti perän voi suunnitella vapaammin Azipodia käytettäessä. Azipod-moottori myös eliminoi erillisen vaihdelaatikon.

Yksi Azipod-järjestelmän selkeimmistä eduista laivojen matkustajien kannalta on laivan vähentynyt täriä. Perinteisissä järjestelmissä potkuri-akseli ja esimerkiksi vaihteisto aiheuttavat paljon täriä laivan runkoon. Azipod-moottorein varustetussa laivassa nämä täriä ja niiden aiheuttama melu pienenevät huomattavasti. Azipod-moottoreiden huoltoväli on myös pidempi kuin tavallisilla moottoreilla. [3.]



Kuva 13. Azipodin vaikutus laivan rakenteeseen [30]

6.4.4 Edut jäänmurtajakäytössä

Jäänmurtaajat olivat ensimmäisiä aluksia, joissa käytettiin Azipod-moottoreita. Jäänmurtajakäytössä suuri vääntömomentti on erityisen tärkeää. Varsinkin pienillä kierroksilla suuresta vääntömomentista on erityistä hyötyä. Monesti jäänmurtaaja joutuu lähtemään liikkeelle potkurin ollessa jäiden ympäröimänä, jolloin perinteinen propulsiojärjestelmä on kovilla. Sähkömoottori apulitteistoinen voidaan suunnitella siten, että seisovaan moottoriin

maksimi vääntömomentti. Vastaavassa tilanteessa diesel-
tömomentti on nolla. [3]

7 YHTEENVETO

Tämä insinööri työ on kattava selvitys erilaisten teollisuuden kohteiden taajuusmuuttajasovelluksista. Erityisesti työssä selvitettiin taajuusmuuttajilla saavutettavia etuja. Taajuusmuuttajien avulla saavutettavia etuja ovat tutkimuksen mukaan erittäin suuri energian säästö ja taajuusmuuttajilla ohjattavien teollisuuden prosessien tarkempi hallinta. Taajuusmuuttajilla saavutettavia suuria etuja ovat myös moottoreiden pehmeämmät tilanmuutokset sekä moottoreiden pienemmät käynnistysvirrat.

Tulevaisuudessa taajuusmuuttajien kysyntä kasvaa entisestään erittäin paljon verrattuna nykytilanteeseen. Taajuusmuuttajien kysyntää kasvattaa energian kallistuva hinta, teollisuuden prosessien tiukentuvat laatuvaatimukset sekä tuulivoimalla tuotetun energian erittäin suuri kysynnän kasvu. Taajuusmuuttajien tarvetta kasvattaa myös hiilidioksidipäästöjä rajoittava päästökauppa. Tulevaisuudessa erityisesti laivaliikenteessä hiilidioksidipäästöoikeuksien myyminen voi olla taloudellisesti erittäin kannattavaa, mikä osaltaan kannustaa energian säästöä aikaansaavan teknologian hankintaa.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

- [1] [Verkkodokumentti, *Laivan sähköverkko*, Teknillinen korkeakoulu [Verkkodokumentti, viitattu 9.10.2008] Saatavilla:
http://www.tkk.fi/Yksikot/Laiva/Opinnot/Kurssit/Kul-24.4410/pdf/luku_5.pdf
- [2] Tuusa Heikki, *Sähkötekniikka opus, Sähkömoottorikäytöt* [Verkkodokumentti, viitattu 19.10.2008] Saatavilla:
<http://www.e-leeh.org/svtopus/>
- [3] ABB Oy, *Azipod- laivojen potkuri järjestelmien edelläkävijä* [Verkkodokumentti, viitattu 8.10.2008] Saatavilla:
<http://www.abb.fi/cawp/fiabb255/7a1da3db127bd7b0c2256fdd003f831c.aspx>
- [4] ABB Oy, *Technical Guide No. 1, Direct Torque Control* [Verkkodokumentti, viitattu 26.9.2008] Saatavissa:
<http://www.abb-drives.com/StdDrives/RestrictedPages/Marketing/Documentation/files/Products/DTCtechGuide1.pdf>
- [5] *Teknisiä tietoja ja taulukoita*, ABB Strömberg 1990 Vaasa
- [6] Wikipedia [Verkkodokumentti viitattu 24.9.2008] Saatavissa:
[http://en.wikipedia.org/wiki/Crane_\(machine\)#Mechanics_and_operation](http://en.wikipedia.org/wiki/Crane_(machine)#Mechanics_and_operation)
- [7] Finox Nosturit Oy [Verkkodokumentti, viitattu 14.10.2008] Saatavilla:
http://www.finoxnosturit.fi/portal/tuotteet_ja_palvelut/siltanosturit/normaalit_siltanosturit/
- [8] Karhunen Jussi, *Nosturin tehonsyöttö rinnankytyillä verkkovaihtosuuntaajilla*, Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto [Verkkodokumentti, viitattu 14.10.2008] Saatavilla:
http://www.lut.fi/fi/technology/electrical_engineering/research/electricaldrives/publications/Documents/Diplomity%C3%B6t/Jussi_Karhunen.pdf
- [9] Talhu Oy, *Litronick-torninosturin käyttöohje* [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008] Saatavissa:
http://www.talhu.fi/tekninentuki/data/attachments/45132_280ech16lit_bed_fi.pdf
- [10] Wikipedia [Verkkodokumentti, viitattu 24.9.2008] Saatavissa:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/00b/Portainer_%28gantry_cranes%29.jpg
- [11] Lappeenrannan teknillinen yliopisto [Verkkodokumentti, viitattu 14.10.2008] Saatavilla:

- [12] ABB Oy, *Ultra-compact regenerative drive from ABB eliminates harmonic distortion* [Verkkodokumentti, viitattu 27.9.2008] Saatavissa:
<http://www.abb.us/cawp/seitp202/A220544767C95DDA85256F170066A0A5.aspx>
- [13] Wärtsilä Oy [Verkkodokumentti, viitattu 20.10.2008] Saatavilla:
http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/power/media_publications/brochures/Biopower/Biopower_2007_FI.pdf
- [14] Muukkonen Jukka, *Energiätehokkuutta kiinteistöihin: säästöä taajuusmuuttajilla*, ABB Oy, Verkkodokumentti, viitattu 14.10.2008] Saatavilla:
www.id.abb.com/cawp/seitp202/edb4b6969c4730b8c125747300258999.aspx&usg=__B6hptrkPX2C9hHxS3YBP6Ai37zc=&h=190&w=408&sz=43&hl=fi&start=3&tbnid=SbDtX9MPaukcCM:&tbnh=58&tbnw=125&prev=/images%3Fq%3Dilmanvaihtokone%2Babb%26gbv%3D2%26hl%3Dfi
- [15] Varttinen Sami, *Taajuusmuuttajat voimalaitosten pumppauksissa, erityisesti syöttöveden pyörimisnopeuden säädön vaikutus ruiskuvesijärjestelmiin*, Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto [Verkkodokumentti, viitattu 2.10.2008] Saatavissa:
http://www.lut.fi/fi/technology/electrical_engineering/research/electricitymarkets/publications/Documents/Diplomity%C3%B6t/dtyo_varttinen.pdf
- [16] Törmänen Eeva, *Suomen suurin pumppu toimii höyryllä*, Tekniikka ja Talous [Verkkodokumentti, viitattu 30.9.2008] Saatavissa:
<http://www.tekniikkatalous.fi/metalli/article29479.ece?v=t>
- [17] Wikipedia [Verkkodokumentti, viitattu 2.10.2008] Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Pumppu>
- [18] Keskutelut ABB Multidives koestamon työntekijöiden kanssa kesällä 2008
- [19] ABB Oy, *Puolet nopeudesta kahdeksasosa energialla* [Verkkodokumentti, viitattu 3.10.2008] Saatavissa:
<http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/ae3607e564dc19a9c12573d70041f292.aspx9>
- [20] ABB Oy, *FanSave 4.1*, Tietokoneohjelma [Verkkodokumentti, viitattu 20.10.2008] Saatavilla:
<http://www.abbaustralia.com.au/product/seitp322/5b6810a0e20d157fc1256f2d00338395.aspx>

- [21] [Verkkodokumentti, viitattu 3.10.2008] Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Tuulivoima>
- [22] Kallava Tomi, *Tuulivoimaloiden generaattori- ja sähkökäyttövaihtoehtojen vertailu*, Seminaarityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto [Verkkodokumentti, viitattu 6.10.2008] Saatavilla:
http://www.ee.lut.fi/courses/Sa2721200/seminaariraportit_s2006/Kallava_tuulivoimaloiden_generaattori_ja_sahkokayttovaihtoehtojen_vertailu.pdf
- [23] Lund Peter ja Paatero Jukka, *Kehittynyt tuulivoima teknologia*, Teknillinen korkeakoulu [Verkkodokumentti, viitattu 5.10.2008] Saatavissa:
http://www.tkk.fi/Units/AES/courses/crspages/Tfy-56.173_02/Tfy-56.173_02.pdf
- [24] Holttinen Hannele, *Tuulivoiman vaikutukset sähköjärjestelmään*, VTT [Verkkodokumentti, viitattu 5.10.2008] Saatavilla:
http://eny.hut.fi/education/courses/Ene-47_5140/2006/hh_energysystem_TKK20061.pdf
- [25] WinWind Oy [Verkkodokumentti, viitattu 5.10.2008] Saatavilla:
<http://www.winwind.fi/tuotteet.html>
- [26] Marinelog Magazine [Verkkodokumentti, viitattu 10.10.2008] Saatavilla:
<http://www.marinelog.com/DOCS/cfeat.html>
- [27] Häkkinen Pentti, *Laivan sähköverkko*, Teknillinen korkeakoulu [Verkkodokumentti, viitattu 8.10.2008] Saatavilla:
http://www.tkk.fi/Yksikot/Laiva/Opinnot/Kurssit/Kul-24.4410/pdf/luku_8.pdf
- [28] Häkkinen Pentti, Teknillinen korkeakoulu [Verkkodokumentti, viitattu 13.10.2008] Saatavilla:
http://www.tkk.fi/Yksikot/Laiva/Opinnot/Kurssit/Kul-24.3400/poj/POJ_luku_2.pdf
- [29] Käyhkö Tomi, *Laivan voimalaitoksen ja jännitevälipiirillisen ruoripotkurikäytön vuorovaikutuksen mallintaminen*, Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto [Verkkodokumentti, viitattu 9.10.2008] Saatavilla:
www.lut.fi/fi/technology/electrical_engineering/research/electricaldrives/publications/Documents/Diplomityöt/Kayhko_Tomi.pdf
- [30] Ghassemi Hassan, *Conventional and AZIPOD ship propulsion systems* [Verkkodokumentti, viitattu 13.10.2008] Saatavilla:
<http://hmaa.itgo.com/ghassemi.html>

Imalla laskettu puhaltimen energiansäästö [20]

FanSave 4.1 Energy saving calculator for fans

EQUIPMENT DATA - EXISTING

Fan Data
 Fan type: Centrifugal | Impeller type: Forward curved (F)
 Nominal volume flow: 10,00 m³/s = 36000 m³/h | Efficiency: 90 %
 Total pressure increase: 3000 Pa

Transmission
 Nominal efficiency: 100,0 % | Existing Flow Control: Inlet vanes

Motor and Supply Data
 Supply voltage: 400 V | 380/400/415 V
 Motor power: 37 kW | Required motor power: 36,3 kW including 10% safety margin
 Motor efficiency: 93,0 %

Operating Profile
 Annual running time: 8 760 h

5 %	=	438 h	at nom. flow
10 %	=	876 h	at 90% flow
15 %	=	1314 h	at 80% flow
20 %	=	1752 h	at 70% flow
20 %	=	1752 h	at 60% flow
15 %	=	1314 h	at half flow
10 %	=	876 h	at 40% flow
5 %	=	438 h	at 30% flow

GENERAL DATA

Measurement Units: Metric | US

Calculated by: | Calculated for: | Fan ID: |
EQUIPMENT DATA - NEW
 Improved Control Flow by: ABB standard drive ACS550
ACS550-01-072A-4 | Copy to clipboard

Energy Consumption

RESULTS

Specific fan power: 3,6 kW/(m³/s)

Saving percentage: 33,2 %

Annual energy consumption:
 with existing control method: 172 MWh
 with improved control method: 115 MWh

Annual energy saving: 57 MWh

Annual CO₂ reduction: 29 t

CO₂ emission: 0,5 kg/kWh

Economic Data
 Currency: EUR | Energy price: 0,10 EUR/kWh
 Investment cost: 3 000 EUR | Interest rate: 5,0 %
 Service life: 10,0 years

Energy Consumed (kWh)

Economic Results

Annual saving: 5 712 EUR

Payback period: 0,5 years

Net present value: 41 109 EUR ?

