



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toni Seppä

DC - MOOTTORILÄHTÖ

DC - Jakelu

Tekniikka ja liikenne
2013

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|-----------------|
| Tekijä | Toni Seppä |
| Opinnäytetyön nimi | DC - Jakelu |
| Vuosi | 2013 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 49 + 1 liitettä |
| Ohjaaja | Tapani Esala |

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia ABB Oy:n moottorilähdön muokkaaminen tasajännitteelle. Työ on luonteeltaan perustutkimus- ja dokumentointityö, joka palvelee tuotekehityksen ja suunnittelun tarpeita. Tarkoituksena on saada kojeistolista kyseiselle invertterimoottorilähdölle.

Nykyiset moottorilähdöt ovat vaihtojännitteellisiä ja ABB haluaa luoda katsauksen tasajännitteen vaihtoehdoille, miten kyseinen tasajännite voitaisiin soveltaa jo olemassa oleviin vaihtojännitemoottorilähtiin.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään invertterimoottorilähdön ja sen kattavan kojeistolistan komponenttien valintaa sekä seikkoja jotka vaikuttavat kyseisten komponenttien valintaan, kuten lämpötilan aiheuttamat alenemat kuormakytkimessä ja sulakkeissa sekä komponenttien asento moottorilähdössä. Lisäksi laaditaan esimerkkejä komponenttien sijoittumiseen moottorilähdöissä eri invertterikoon variaatioilla ja kyseisten moottorilähtöjen sijoittuminen kojeistokaapissa.

Lopuksi luodaan katsaus tasajännitteen mahdollisuuksiin teollisuudessa ja miten se on nykypäivänä jo käytössä, kuten sähkönsiirrossa HVDC ja tasajännitejärjestelmästä teollisuuden käyttöön.

Tulokseksi saatiin alustava katsaus tasajännitteellä toimivan moottorilähdön rakenteeseen ja vaatimuksiin sekä kojeistolista invertterimoottorilähdölle.

Avainsanat

invertteri, moottorinohjauskeskus, kojeisto

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

| | |
|--------------------|-------------------|
| Author | Toni Seppä |
| Title | DC Distribution |
| Year | 2013 |
| Language | Finnish |
| Pages | 49 + 1 Appendices |
| Name of Supervisor | Tapani Esala |

The purpose of this thesis is was to research the compatibility of ABB drives with direct current applications. By its nature, this thesis is a basic research and it is meant to meet the needs of product development and design. The end result will be a list of technical data for the inverter drive in question.

Modern drives work with alternating current and ABB wishes to explore the possibility of direct current alternatives as well as how direct current can be applied to the existing AC drives.

This thesis comprises the selection of components for inverter motor control units and the technical data acquired from those components and also the requirements for the selection of such parts, such as deviations caused by temperature or placement. The placement of components in motor control units and in turn their placement in a larger whole was also looked into.

At the end we look upon the possibilities of direct current in the use of industry was considered and how it is already achieved at the moment, such as HVDC in long distance electricity transfer and DC systems in industrial usage.

The results are a preliminary review into the structure and requirements of an direct current drives and a list of technical data for an inverter drive.

| | |
|----------|---|
| Keywords | Inverter, motor control units, switchgear |
|----------|---|

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|-----------|
| SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO | 5 |
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 1.1 Työn tarkoitus ja kuvaus..... | 6 |
| 1.2 ABB-yhtymä | 6 |
| 1.2.1 ABB-yhtymä Suomessa..... | 6 |
| 1.2.2 Low Voltage Systems | 7 |
| 2 TASAJÄNNITTEEN JA VAIHTOJÄNNITTEEN VERTAILU | 8 |
| 3 DC-KOJEISTO | 10 |
| 3.1 Moottorilähdöt | 10 |
| 3.2 Moottorilähdön rakenne..... | 14 |
| 3.2.1 Taajuusmuuttaja | 16 |
| 3.2.2 Invertteri | 18 |
| 3.2.3 Kuormakytkin | 22 |
| 3.3 Komponentti valinta | 23 |
| 3.3.1 Invertteri | 24 |
| 3.3.2 Kuormakytkin | 26 |
| 3.3.3 Sulakkeet ja sulakealusta | 29 |
| 4 KOMPONENTTISIJOITUS..... | 32 |
| 4.1 Moottorilähdön sijoittuminen | 32 |
| 4.2 Keskuskokonaisuus..... | 42 |
| 5 TASAJÄNNITE TEOLLISUUDESSA | 45 |
| 5.1 Tällä hetkellä | 45 |
| 5.2 Mahdollisuudet..... | 46 |
| LÄHTEET | 48 |
| LIITTEET..... | 48 |

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

| | |
|------|--|
| AC | Alternating current, vaihtovirta |
| DC | Direct Current, tasavirta |
| IGBT | Insulated Gate Bipolar Transistor, pintakanavatransistorin ja transistorin yhdistelmä |
| I/O | Input/Output, sisääntulo/ulostulo |
| MCS | Modular Cabinet System, modulaarinen kojeistokaappijärjestelmä |
| MNS | Modulare Niederspannungs Schaltanlagen-System, modulaarinen pienjännitekojeistojärjestelmä |
| LVD | Low Voltage Directive, pienjännitedirektiivi |
| PDU | Power Distribution Unit, tehonjakeluyksikkö |
| THD | Total Harmonic Distortion, harmoninen särö |
| UPS | Uninterruptible Power Source, keskeytymätön sähkönsyöttö |
| INU | Inverter Unit, invertteriyksikkö |
| HVDC | High Voltage Direct Current, korkeaännitteinen tasavirta |
| PWM | Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio |

1 JOHDANTO

1.1 Työn tarkoitus ja kuvaus

Työn tarkoitus on tutkia nykyisen ACS 880i - järjestelmän soveltamista toimimaan tasajännitteellä. Kyseessä on jo ABB:lla olemassa olevan ACS880-104-invertteri moduulien muokkaamisesta tasajännitejärjestelmäksi, uudelleen valikoimalla järjestelmän komponentit tasavirran arvoihin sopiviksi. Eli luodaan komponenttilista tarvittavista komponenteista ja kaavio kyseisten komponenttien sijoittumisesta kokonaisuudessaan. Lopullisena tavoitteena on saada aikaiseksi kojeistolista kyseiselle invertteri moottorilähdölle, joka sisältää virta- ja tehoarvot muiden järjestelmätietojen kanssa. Lisäksi ohessa luodaan katsaus tasajännitteen mahdollisuuksiin teollisuudessa esim. tasavirtakiskot ja jarrutusenergian syöttö takaisin tasavirtajärjestelmään.

1.2 ABB-yhtymä

ABB muodostettiin tammikuussa 1988 sulauttamalla yhteen ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin sähkötekniiset liiketoiminnot 50:50-omistusperiaatteella. Nyt ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, joka toimii yli 100 maassa. Nykyään ABB on yksi johtavista maailmanlaajuisista sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymistä. ABB:n mottona on responsibility, respect, determination, eli vastuuntunto, kunnioitus ja päättäväisyys. /1/

1.2.1 ABB-yhtymä Suomessa

Suomessa ABB toimii yli 30 paikkakunnalla, ja on Suomen suurin teollisuuden kunnossapitäjä. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisista työnantajista, pääkaupunkiseudulla suurin. /1/

1.2.2 Low Voltage Systems

Low Voltage Systems -liiketoimintayksikkö valmistaa pienjänniteverkkoihin tarkoitettuja älykkäitä kojeistoja, moottorinohjausjärjestelmiä ja prosessinvalvontalaitteita.

Ne takaavat turvallisen ja varman sähkönjakelun niin teollisuuslaitoksissa, voimantuotannossa kuin kriittisissä infrastruktuurikohteissa, kuten sairaaloissa, konesaleissa ja lentokentillä.

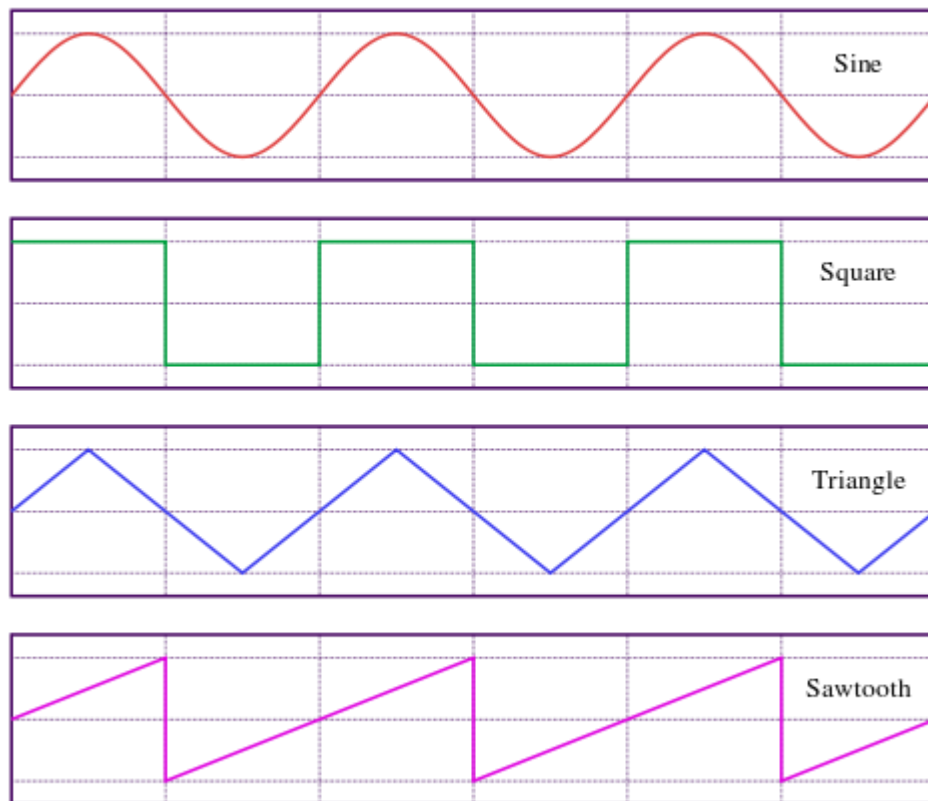
Suomessa suunnittelu, valmistus, tuotekehitys, myynti ja testaus sijaitsevat Vaasassa. Yksiköllä on käytössään oma tuotekehitysyksikkö, jolla on merkittävä rooli ABB:n globaalissa pienjännitekojeistojen tuotekehityksessä. Esimerkiksi ABB:n taajuusmuuttajien integroiminen teollisuuskojeistoihin on yksikön vastuulla.

Moottorinohjausjärjestelmät kattavat suurimman osan Low Voltage Systemsin tuotannosta ja toimista. Näitä järjestelmiä on monenlaisia eri tilanteita varten, kuten 2M- ja ACS-sarja. ACS-sarja sisältää taajuusmuuttajalähdöt ja 2M-kirjasto muut moottorilähtövaihtoehdot. Lähtöjä löytyy niin peruspaketteina kuin kustomoituina kokoonpanoina.

Liiketoiminta nojaa MNS® -teknologia-alustaan, jota on kehitetty yli 40 vuoden ajan. Vuonna 2006 lanseeratusta älykkästä MNS iS-teknologiasta on muodostunut alan johtotähti. /1/

2 TASAJÄNNITTEEN JA VAIHTOJÄNNITTEEN VERTAILU

Tasajännite on nimensä mukaisesti tasainen jännite, eli se on joko positiivinen tai negatiivinen vakioarvoinen jännite. Vaihtojännite taas on vaihteleva eli se vaihtelee positiivisen ja negatiivisen huippuarvon välillä. Tämä voi tapahtua erilaisilla aaltomuodoilla joista siniaalto on yleisin, muita aaltomuotoja ovat esim. kantti- ja kolmiaalto joista esimerkit näkyy kuvassa 1.



Kuva 1. Siniaalto, kanttiaalto, kolmiaalto ja sahanteräaallo.

Vaihtojännitteen etuna ovat useat nollakohdat, jotka helpottavat vaihtojännitteen katkaisemisessa. Kyseinen ei onnistu tasajännitteellä vaan parhainta olisi mahdollisuus laskea jännite noltaan ennen katkaisua. Pienillä virroilla tasajännitteellä pystytään siirtämään jopa 1500 VDC, kun taas vaihtojännitteellä ainoastaan 1000 VAC. Suurempi jännite mahdollistaa suuremman tehon siirron. Siirtojohdon impedanssi vaikuttaa vaihtojännitteeseen enemmän kuin tasajännitteeseen ja jännitteen alenema on vaihtojännitteellä suurempi. 1800-luvun loppupuolella päädyttiin vaihtovirtaan, kun huomattiin sen edut sähkönsiirrossa tasavirtaan nähden, mutta nykyään asiat ovat toisin. Yhä useammin käytetään pitkän matkan sähkön siirrossa HVDC:tä, eli korkeajännitteistä tasavirtaa. Lisäksi suunnitteilla ovat mahdollisuudet kokonaisista tasavirtaverkoista, jotka jatkuvat ihan kotitalouksiin asti. Näissä etuna olisivat maakaapelit, jotka vaativat ilmakaapeleita vähemmän huoltoa. Kotitalouksiin tällä jännitemuodon vaihdolla olisi pientä vaikutusta, koska suurin osa tavallisista kodin elektroniikasta jo käyttää tasavirtaa käyttöjännitteenä, ja muuntavat sen vaihtojännitteestä sisäänrakennetuilla suuntaajilla.

3 DC-KOJEISTO

3.1 Moottorilähdöt

ABB:n moottorilähtövaihtoehtoja on monenlaisia, kuten 2M- ja ACS-sarja. ACS-sarja sisältää säädettävät moottorilähdöt, joissa säädöt tapahtuvat taajuusmuuttajan avulla ja 2M-kirjasto sisältää niin sanotut ON/OFF-lähdöt eli moottorille syötetään jännitettä tai ei syötetä, toisin kuin taajuusmuuttajalla, jossa jännitettä muokataan tarpeen mukaan. Toimintajännitteet ovat 400 V ja 690 V.

ABB:n moottorilähdöt jakautuvat pääasiassa kiinteisiin moottorilähtöihin ja kasettimoottorilähtöihin. Kiinteällä moottorilähdöllä tarkoitetaan välipohjalle asennettuja komponentteja ja johdotuksia, jotka ovat kiinteästi kiinnitetty kojeiston pystykiskoon. Kasettimoottorilähdöllä tarkoitetaan lähtöä, joka on kasettimuodossa eli voidaan vikatilanteessa poistaa kojeistosta ja näin ollen erottaa jännitteestä ilman, että tarvitaan katkaista jännitettä koko kojeistojärjestelmästä eli toisin kuin kiinteässä. Valinta tapahtuu tilaajan omien mieltymysten mukaisesti. Kasetti lähdöillä on etuina käytännöllisyys esim. vikatilanteessa voidaan korvata vioittunut kasetti toimivalla ja näin vähentäen toimintakatkoksen pituutta, kun taas kiinteä on halvempi tuottaa ja kokoonpanoltaan luotettavampi, mutta vikatilanteessa koko kojeistojärjestelmä joudutaan laittamaan jännitteettömäksi huollon ajaksi.

Kiinteät moottorilähdöt ja kasetti moottorilähdöt jakautuvat suojaukseltaan sulakkeellisiin ja sulakkeettomiin. Nimensä mukaisesti oikosulkusuojaus tapahtuu sulakkeilla sulakesuojauksessa, kun taas sulakkeettomassa oikosulkusuojauksessa se tapahtuu katkaisijoilla ja ABB:lla MCCB-katkaisijakokoonpanolla yleisesti, josta näkyy esimerkki kuvassa 2.



Kuva 2. MCCB-tyypin järjestelmän useamman moottorilähdön yhteinen katkaisijakaappi.

Sulakkeeton tai sulakkeellinen vielä jakaantuu moottorin valvonta- ja kontaktorin ohjaustyyppin mukaisesti. Tyyppejä on monia, mutta päätyypit, jotka ABB:lla on käytössä, ovat lämpörele, elektroninen lämpörele, INSUM, UMC ja uusin MNS iS.

Lämpöreleet ovat kolminapaisia releitä, jotka toimivat bi-metallielementtien avulla. Moottorin virta kulkee bi-metallilaukaisinelementtien läpi ja lämmittää niitä suoraan ja välillisesti. Ylikuormitustapauksissa bi-metallielementit taipuvat kuumenemisen seurauksena. Tämä laukaisee releen ja vaihtaa koskettimen asentoa. /1/

Elektronisen lämpöreleen lähtökohtana on suoriutua bi-metallilämpöreleen toiminnoista, etuja on laaja virransäätöalue. Lisätoimintoina on muun muassa suojaus vaihevirheeltä ja maasulkuvirralla.

INSUM-moottorien hallintakomponentti on etänä säädettävä ja ohjelmitava valvonta- ja hallintakomponentti. Järjestelmä voi sisältää useita INSUM-komponentteja, joita kaikkia voidaan valvoa ja hallinnoida yhdeltä koneelta. Kuitenkin pikkuhiljaa INSUM on jäämässä uudemman MNS iS:sän jalkoihin.

UMC on universaali moottorien hallintakomponentti. UMC on ABB:n ratkaisu moottorin hallinnan integroimisesta järjestelmän hallintaan. UMC:n joustavan logiikan vuoksi, se on optimaalisesti muokattavissa erilaisille järjestelmävaatimuksille. Se kykenee elektronisesti valvomaan ja suojaamaan moottoria sekä ilmoittamaan moottorin tiedot tilanteen valvojalle. /4/

MNS iS on ABB:n uusiin järjestelmä pienjännitekytkinlaitteissa ja moottorin hallinnassa. ABB:n MNS-kojeistot on ollut jo 30 vuotta ABB: asiakkaiden suosikki ja iS sisältää MNS-järjestelmän parhaat puolet ja samalla parantaa sekä uudistaa sitä. Uudistuksia ovat toisistaan erotetut käynnistin- ja ohjauskentät, standardoidut, vaihtokelpoiset ja käyttövalmiit moottorinkäynnistimet ja laajat tehoalueet, joustavat ohjausmoduulit, valittavissa olevat lämpötila-, virta- ja jännitemittaus, joita voidaan käyttää erilaisiin moottorin, prosessilaitteistojen ja kojeiston sekä kaapeloinnin kunnonvalvontaan sekä monia muita. Esimerkkinä kuvassa 3 MNS iS järjestelmän kasetti. /5/



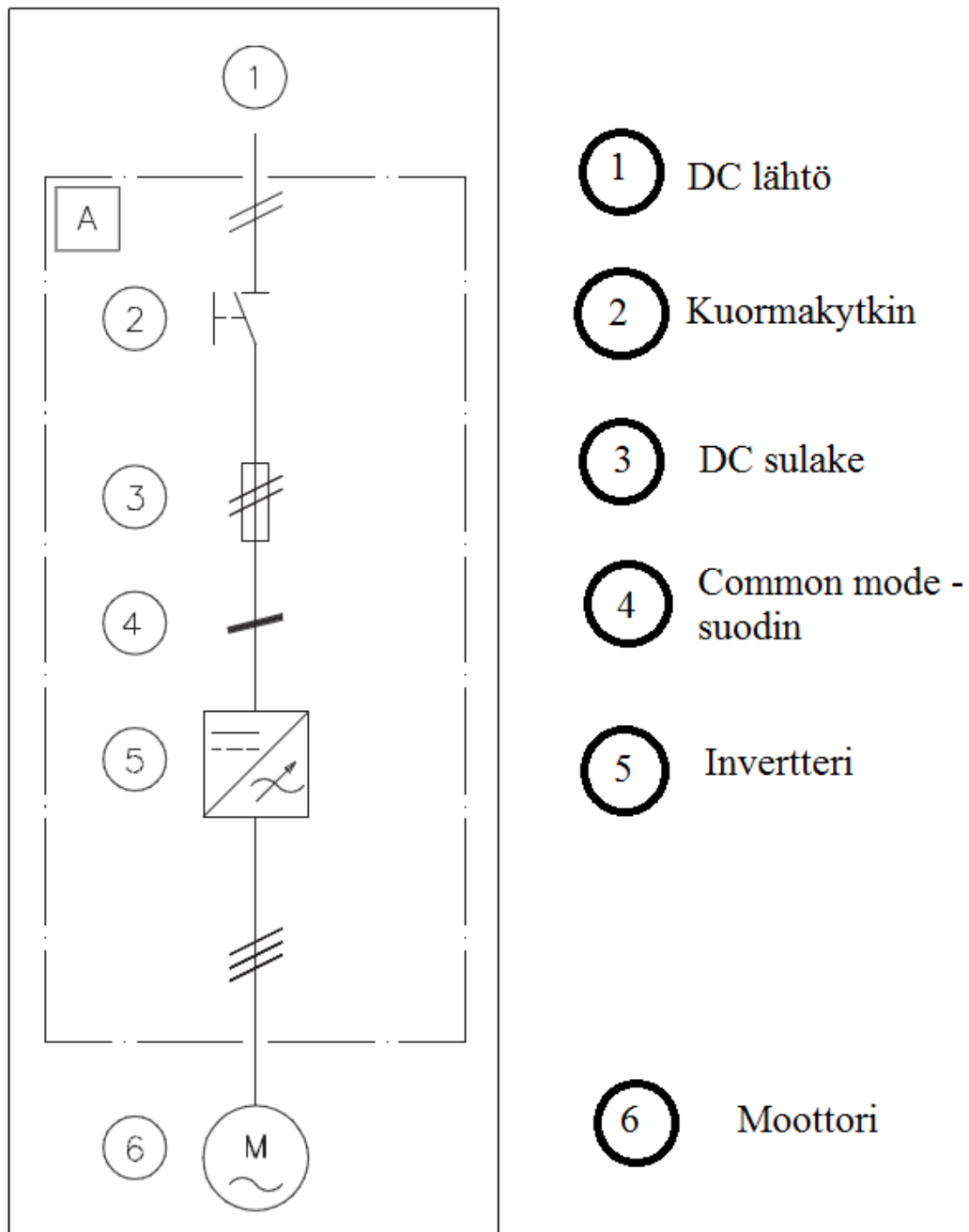
Kuva 3. MNS iS järjestelmän kasetti.

Kaiken edellä mainittujen variaatioiden lisäksi löytyy kyseisistä moottorin suunnanvaihdon lähtövaihtoehdot, joissa voidaan määritellä moottorin pyörimissuunta. Kaikkien edellä mainittujen variaatioiden avulla saadaan aikaan kustomoitava moottorilähtövalikoima monilla eri valvonta- ja hallintatavoilla, melkein rajattomin vaihtoehdoin.

3.2 Moottorilähdön rakenne

Tutkimuksen kohteena oleva invertteri moottorilähtö, joka on tarkoitettu tasavirta järjestelmään, koostuu pääasiassa muutamasta tärkeästä komponentista. Nämä komponentit ovat tietenkin itse invertteri, joka muuttaa järjestelmän tasavirran moottorin ohjaamiseen tarvittavaksi vaihtovirraksi, eli näin ollen ohjaa moottoria itseään. Toisena huomattavan tärkeänä komponenttina on kuormakytin, joka toimii oikosulkusuojauksena ja suojaa muutenkin lähdön muita komponentteja sekä erottaa lähdön päävirtapiiristä. Kolmantena, mutta ei vähäisempänä, DC-sulakkeista jotka suojaavat piiriä oikosuluilta. Muita lähtöön tulevia komponentteja ovat sulakepohjat, mahdolliset riviliittimet ja common mode-suotimet muun muassa.

Kyseiset komponentit, asennetaan 400 mm leveään ja tässä invertterilähdön kohdalla 600 mm korkealla olevaan moottorilähtö pohjaan, jonka korkeus kuitenkin skaalautuu invertterin koon ja komponenttien tilavaatimusten puitteissa. Komponenttien esimerkillinen sijoittuminen näkyy kuvassa 4.



Kuva 4. Invertterimoottorilähdön rakenne DC-lähdöltä moottorille.

3.2.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on sähkölaite, jonka tarkoituksena on muuttaa jännitettä, taajuutta ja amplitudia erillisten sähköverkkojen välillä. Yleisin käyttö on verkon ja moottoriin välillä, jossa se toimii moottorin ohjaajana. Sähkömoottorikäytössä taajuusmuuttajalla saadaan moottori pyörimään halutulla nopeudella tilanteen mukaan, mikä lisää prosessin tehokkuutta huomattavasti. Taajuusmuuttajan etuna on energian säästö, koska moottoria käytetään aina prosessin tarpeen mukaisella nopeudella.

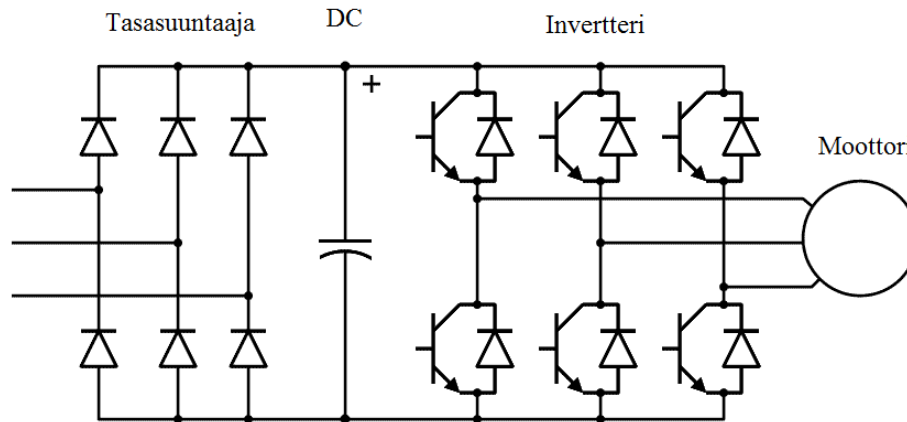
Taajuusmuuttajalla muokataan kiinteäamplitudisesta ja – taajuisesta verkon vaihtosähköstä vaihtosähkömoottorille haluttu amplitudi, taajuus ja jännite. Muuttamalla taajuutta ja jännitettä voidaan säätää moottorin pyörimisnopeutta ja sen vääntömomentti ohjata halutuksi.

Rakenteellisesti taajuusmuuttaja koostuu suuntaajista. Suuntaajaksi kutsutaan laitetta, joka muokkaa sähkötehoa muodosta toiseen. Sähköteho on aina laskettavissa jännitteen ja virran tulona

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (1)$$

Helpompi mieltää suuntaaja laitteeksi, joka muokkaa joko jännitteen tai virran tai molempien käyrämuotoa sovellutukseen sopivaksi. Muokkaus voi tapahtua vaihtojännitteestä tasajännitteeksi tai toisinpäin.

Taajuusmuuttaja koostuu pääasiassa kahdesta suuntaajasta, tasasuuntaaja ja vaihtosuuntaaja, kuten kuvassa 5 näkyy.



Kuva 5. Kuvassa oleva taajuusmuuttaja koostuu kolmipulssitasasuuntaajasta ja vaihtosuuntaajasta (Invertteri), joka ohjaa moottoria.

Suuntaaja on laite, joka muuntaa sähköenergiaa. Suuntaajien tarkoituksena on muuntaa sähköenergia kyseistä laitetta varten sopivaan muotoon. Tämä tapahtuu vaikuttamalla taajuuteen, jännitteen suuruuteen, virtaan jne. Tämä näkyy parhaiten esimerkiksi jännitteen tai virran muuntamisessa sinimuotoiseksi tai sinimuotoisesta takaisin tasavirraksi tai – jännitteeksi. Silloin kun muutetaan sinimuotoista virtaa tai jännitettä tasaiseksi, kyseessä olevaa suuntaajaa kutsutaan tasasuuntaajaksi. Yleisesti tämä muunnos tapahtuu tasasuuntaajalla energian ja pätötehon kulkusuuntaan, kun taas vaihtosuuntaaja, jota myös kutsutaan invertteriksi, muuntaa energian tasasähköstä vaihtosähköksi. Huomioon on otettava energian kulun suunta, koska monet nykyiset suuntaajat voivat toimia sekä vaihto- että tasasuuntaajina.

Suuntaajien tarkoituksena on muuntaa sähköenergia kyseistä laitetta varten sopivaan muotoon. Tämä tapahtuu vaikuttamalla taajuuteen, jännitteen suuruuteen, virtaan jne.

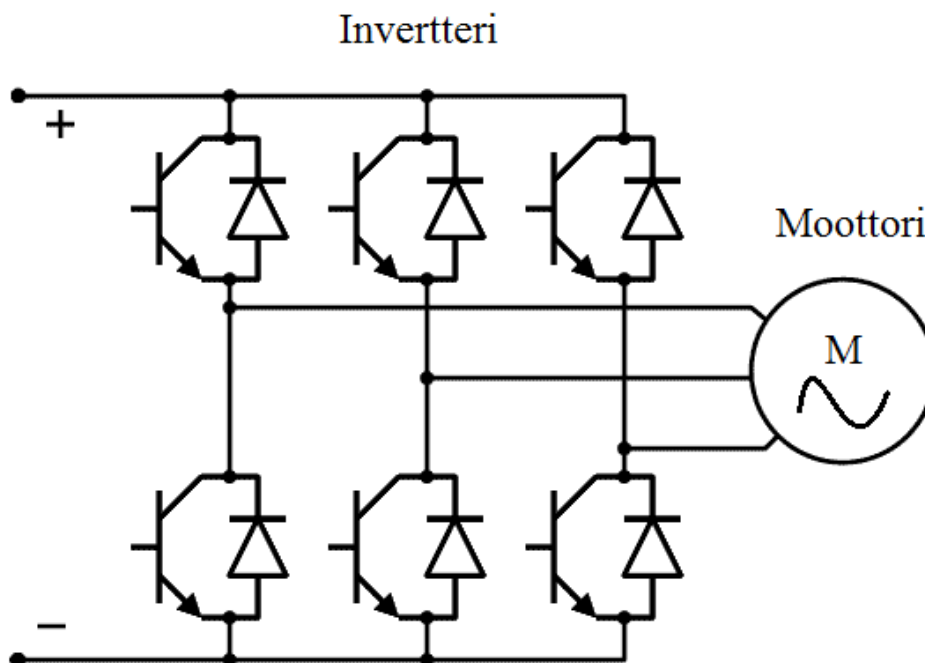
Johtuen työn tarkoituksesta keskittyä tasavirtajärjestelmiin suuremmissa osassa ovat vaihtosuuntaajat, koska tasavirran muunto vaihtovirraksi on moottorilähtöjen

kannalta tärkeämpää.

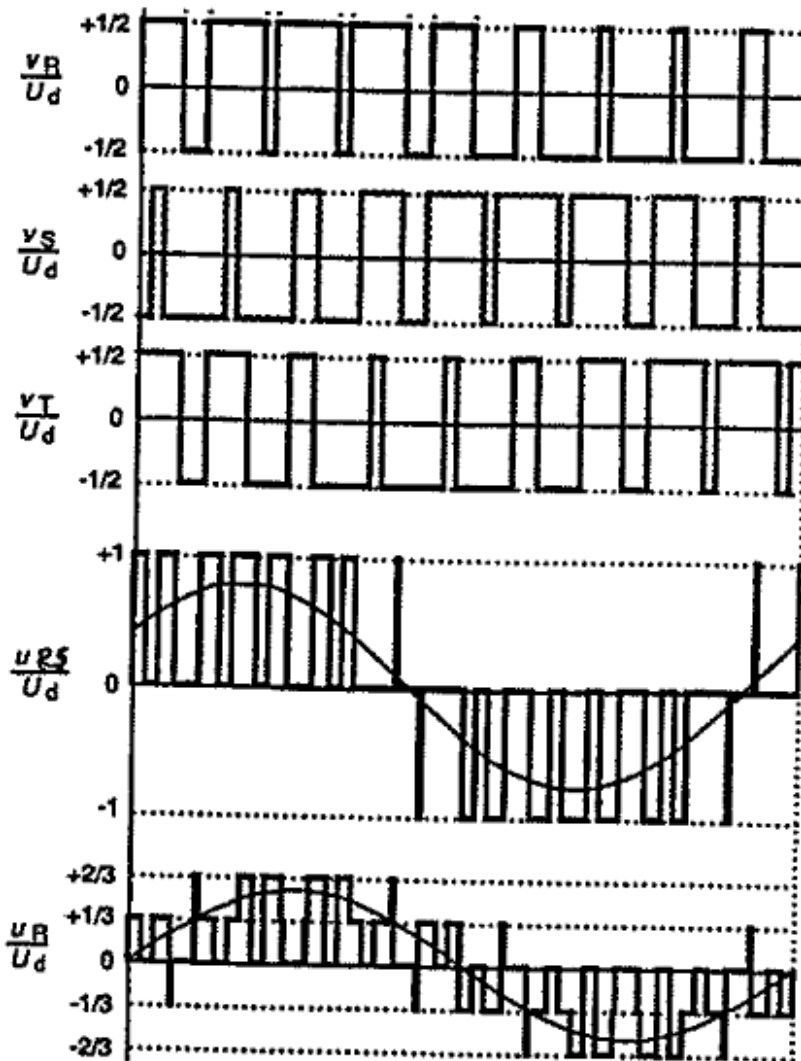
3.2.2 Invertteri

Vaihtosuuntaaja eli invertteri muokkaa tasajännitteestä vaihtojännitettä. Yleisimpiä invertterin käyttöalueita on tasavirtalähteiden kuten akustojen ja aurinkovoiman muuntaminen vaihtovirraksi sekä HVDC-siirtojärjestelmissä ja kotitalouksissa, kuten tietokoneissa ja lämpöpuhaltimissa.

Inverttereitä on yksivaiheisia, kuten puolisolainvertteri ja kokosolainvertteri sekä kolmivaiheisia. Kolmivaiheiset invertterit ovat moottorilähtöjen kannalta tärkeimpiä, joten tämän tutkimuksen kannalta myös. Esimerkkinä kuvan 6 kolmivaiheinen invertteri.



Kuva 6. Kolmivaiheinen PWM-ohjattu invertteri ohjaa oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta. PWM-ohjauksella vaihtojännitteen tehollisarvoa muutetaan pulssileveyttä muuttamalla.



Kuva 7. Kolmivaiheisen PWN-ohjatun invertterin jännitteet. Huomaa vaihtojännitteen tehollisarvon muutos kun pulssin leveys muuttuu.

Otetaan esimerkiksi invertterin ohjauksen pääperiaatteet oikosulkumoottorilla. Taajuuden säätö tapahtuu ohjaamalla tehokytkinmoduleita siten, että jännitteelle ja virralle saadaan haluttu taajuus. Esimerkkinä kuvassa 7 näkyvä jännitteen muutos.

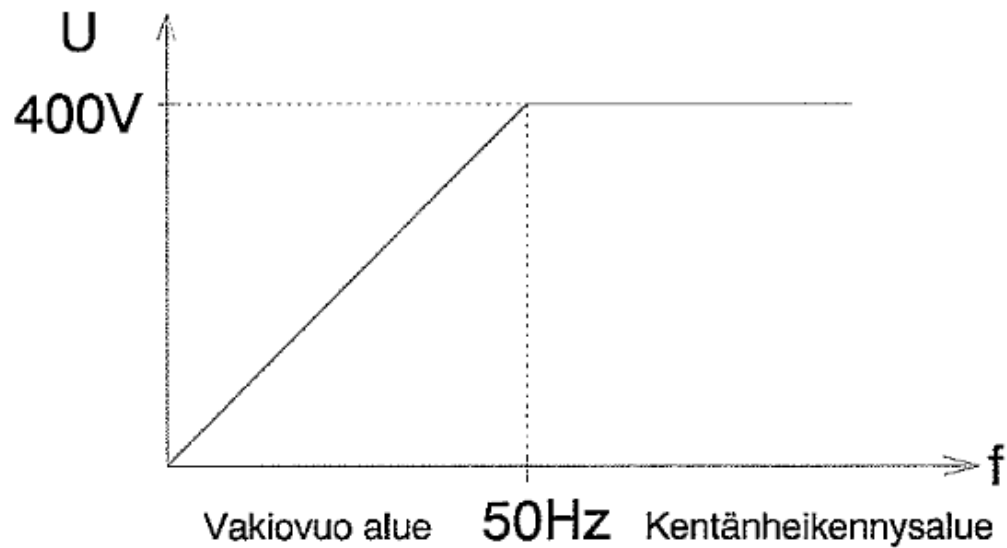
Oikosulkumoottorin synkronisnopeus $n_s = f/p$, jossa p on napapariluku. Moottorin todellinen nopeus on jättämän verran, n. 0-2 %, pienempi kuin synkronisnopeus, mutta useimpiin sovellutuksiin saadaan riittävän tarkka nopeudensäätö jo pelkästään taajuutta säätämällä.

Kun ohjataan oikosulkumoottoria taajuusmuuttajalla, yleensä taajuuden muuttaminen ei yksin riitä, pitää myös muuttaa jännitteen tehollisarvoa. Syynä tähän on magneetoimisvirta I_m .

$$I_m = \frac{U'_{25V}}{2\pi f \cdot L_m} = \frac{U_{IV}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_m} \quad (2)$$

Otetaan esimerkiksi verkkotaajuus $f = 50$ Hz, kun aletaan nopeuden pienentämiseksi taajuutta pienentää ilman, että jännitettä pienennettäisiin, kasvaa magneetoimisvirta yllä esitetyn kaavan mukaan. Moottorin magneettivuo on verrannollinen magneetoimisvirtaan ja momentti vuohon ja roottorivirtaan I_2' . Jotta moottorin momentti- ja lämpenemisominaisuudet eivät muuttuisi taajuuden pienetessä, pitää vuo pitää vakiona. Tämä onnistuu yllä esitetyn yhtälön perusteella, kunhan U/f -suhde pysyy vakiona.

Kun käytetään invertteriä, moottorin yleensä halutaan toimivan myös nimellispisteessä, kuten 400V, 50 Hz. Silloin kun nopeutta ja taajuutta halutaan kasvattaa yli nimellispisteen, ei jännitteen tehollisarvoa enää voida kasvattaa, koska se on jo nimellisarvossaan. Tämä johtaa siihen, että magneetoimisvirta pienenee ja moottori toimii ns. kentänheikennysalueella, kuten kuvasta 8 nähdään.



Kuva 8. Periaatekuva invertterin jännitteen tehollisarvon ja taajuuden suhteesta.

Mitä tulee mahdollisimman sinimuotoiseen virtaan, pitää ottaa huomioon, että invertterin syöttämä virta muuttuu kytkentäilmiölle luonteenomaisella tavalla aina invertterin kytkennän muuttuessa.

Kasvattamalla kytkentätaajuutta saadaan virran käyrämuoto ”sahaamaan” lähempänä sinimuotoista virtaa. Tästä seuraa, että kytkentätaajuutta kasvattamalla voidaan pienentää moottorivirran yliaaltoja, mikä taas vähentää moottorin häviöitä ja pienentää moottorin käyntiääniä. /6/

3.2.3 Kuormakytkin

Kuormakytkimiä käytetään pääkytkiminä teollisuuden pienjännitekojeistojen sähkönjakelujärjestelmissä. Kuormakytkimet suojaavat moottoreita, kaapeleita ja muita laitteita oikosuluilta ja ylikuormilta. Kuormakytkin eroaa kytkinvarokkeesta sillä, että kuormakytkimessä ei ole sulakepaikkoja, kun taas kytkinvarokkeessa on. Esimerkkinä kuvan 9 kuormakytkin. Sulakkeet yleisesti asennetaan erillisille sulakealustoille kuormakytkimen jälkeen.



Kuva 9. Esimerkki OTDC-tyypin kuormakytkimestä, ilman väännintä.

Tutkimuksen kohteena olevassa lähdössä, invertterilähtö, kuormakytkintä käytetään oikosulkusuojaukseen ja erottamiseen päävirtapiiristä erillisten sulakkeiden kanssa. Niiden katkaisukyky on suuri ja oikosulkulujuus ABB:n kuormakytkimissä 100 kA. Oikosulun tapahduttua täytyy vain sulake vaihtaa, joten käyttökeskeytys jää lyhyeksi. Sulakesuojauksen antaa myös parhaan oikosulkusuojauksen muihin suojausmenetelmiin verrattuna.

Kuormakytkimen käyttö erottimena on luotettavaa ja käyttötoimenpiteet suojatun rakenteen ja vääntimen ominaisuuksien vuoksi turvallista. Vääntimen asennonosoitus on luotettava niin vikatilanteessa kuin sen jälkeenkin. Vääntimen osoittaessa I-asentoa lähtöyksikön ovi lukittuu ja estää tahattoman pääsyn lähtöyksikön jännitteisiin osiin. Kyseisen turvalukituksen ovessa voi ohittaa, mikäli lähdössä on tehtävä mittauksia ja säätöjä ilman käyttökeskeytystä. Huomioon on otettava, että ainoastaan sähköalan ammattilainen voi suorittaa kyseisiä toimenpiteitä. /2/

3.3 Komponentti valinta

Suunniteltaessa kojeistolistaa invertterimoottorilähdölle on otettava huomioon jokaisen listaan tulevan komponentin tiedot ja erinäiset syyt jotka voivat vaikuttaa komponenttien toimintaan. Näitä syitä ovat esimerkiksi ympäristön lämpötila, jännite laatu, komponenttien sijoittuminen kojeistossa ym.

Johtuen tutkimuksen puhtaasti teoreettisesta rakenteesta, huomioon otettiin ainoastaan teoreettiset ja jo olemassa olevat arvot. Minkäänlaisia mittauksia ei otettu työn aikana, ainoastaan puhtaita taulukkoarvoja käytettiin.

Valinnan kannalta tärkeimmiksi komponenteiksi muodostui invertteri, kuormakytkin, sulake ja sulake ”pesä”. Muita komponentteja kuten invertterin tuuletin ja common mode-suodin tarkasteltiin, mutta ei liitetty mukaan pääasialliseen tutkimukseen, koska tutkimus keskittyi kojeistolistan vaatimiin komponentteihin.

3.3.1 Invertteri

Invertterin valinta tapahtuu ABB:n omista invertterimoduulivaihtoehdoista. Näistä löytyy omat ohjekirjansa ja tekniset tietonsa, josta saadaan poimittua tarvittavat arvot. Tässä tapauksessa päädyttiin käyttämään Low Voltage Systemsin uusimman järjestelmän, ACS880, jo olemassa olevia invertteri moduuleja eli ”ACS880-104 inverter modules”, joista kokoluokat näkyy kuvassa 10.

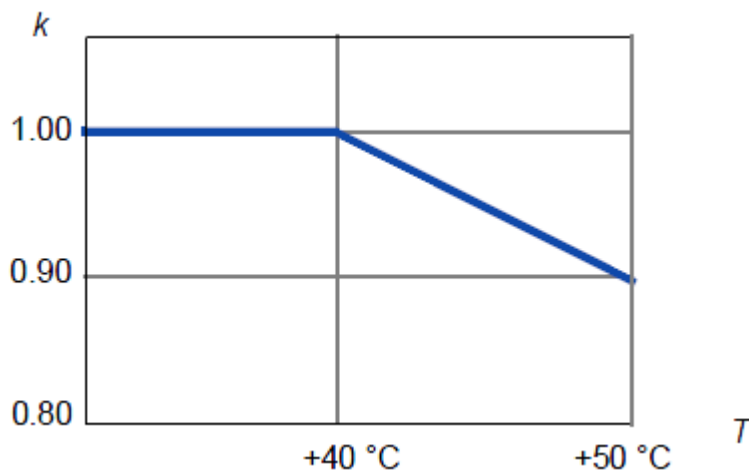


Kuva 10. ACS880-104 tyypin invertteri moduulit R1i – R7i.

Invertterin valinta tapahtui ainoastaan 400 V lähtöjännitteellä. Kojeistolistaan valittavat arvot saadaan suoraan ABB:n jo olemassa olevasta invertterimoduulien teknisten tietojen taulukoista. Kyseisistä taulukoista saadaan kaikki arvot, joita tarvitaan kun määritellään invertterille sopivat komponentit, kuten sulakkeet.

Huomioon otettavia asioita invertteriä valittaessa on ympäristön lämpötilan aiheuttama alenema ja korkeuden aiheuttama alenema. Näistä tilanteellisesti tärkeämpänä lämpötilan aiheuttama alenema.

Ympäristön peruslämpötilaksi, jossa teknisten taulukoiden arvot pätevät, on määritetty $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tästä arvosta eteenpäin, kun lämpötila alkaa nousta, alkaa myös alenema, esimerkkinä kuva 11. Nimellisarvot alenevat 1 % jokaista $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ kohden. Nimellisvirran voidaan laskea kertomalla taulukossa annettu virta lämpötilakertoimella k .



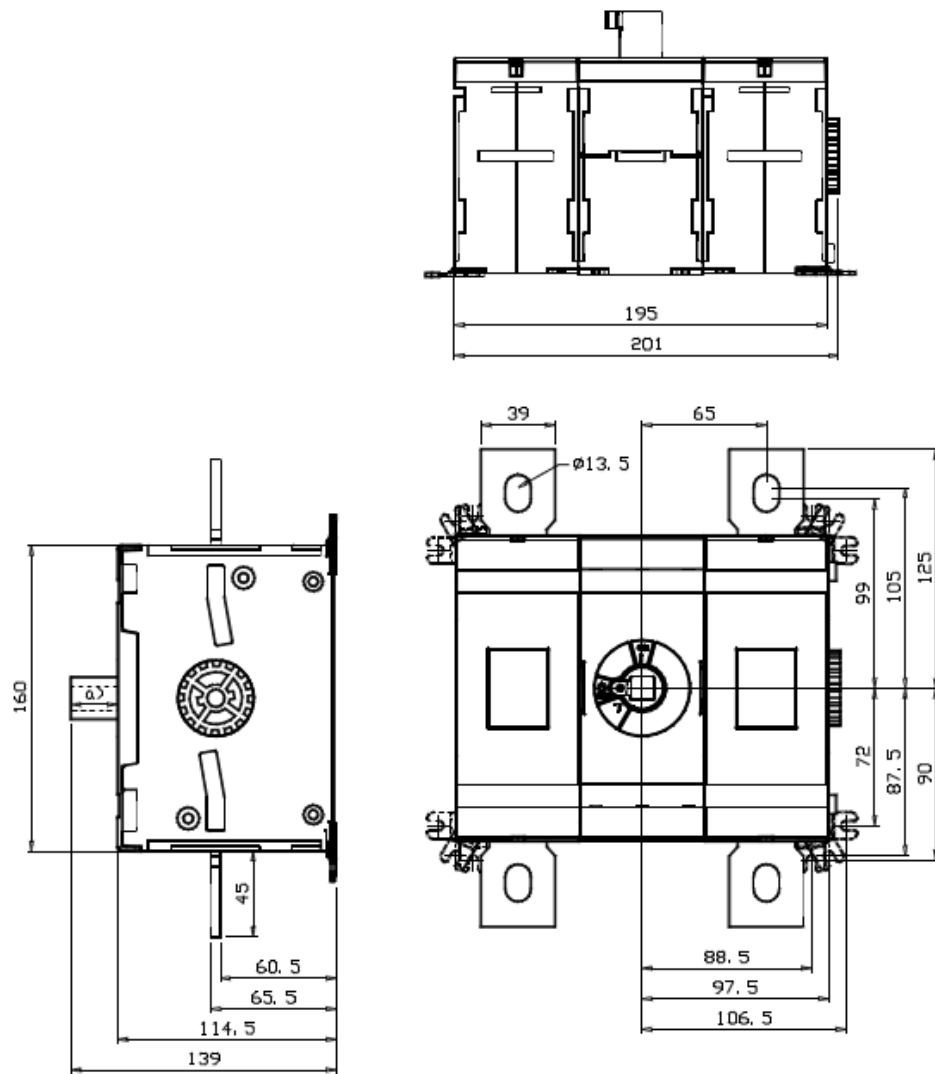
Kuva 11. Lämpötilan T ja lämpötilakertoimen k suhde.

Korkeusalenema otetaan huomioon korkeuksilla 1000 - 4000 m merenpinnasta. Jatkuvat nimellisvirrat tulee alentaa 1 % jokaista 100 metriä kohden. /3/

3.3.2 Kuormakytkin

Kuormakytkimiä valittaessa on huomioon otettava muutama tärkeä seikka. Päällimmäinen lähtökohta on, että kuormakytkin pystyy katkaisemaan laitteen kuormitusvirran. Toissijaisina kriteereinä on otettava huomioon lämpötila ja asennustapa. Kun nämä seikat otetaan huomioon, pystytään määrittämään kuormakytkimen todellinen kuormitettavuus.

Johtuen järjestelmän tasavirtakokoonpanosta, kuormakytkimien valinta keskittyi tasavirtaisen järjestelmän kanssa yhteensopiviin kuormakytkimiin. ABB:n omien kuormakytkimien tutkimisen jälkeen päädyttiin OTDC-tyypin tasavirtajärjestelmän kuormakytkimiin. Kyseessä olevat OTDC-kuormakytkimet on alustavasti suunniteltu toimimaan aurinkoenergiavoimaloiden yhteydessä, mutta katkaisukyvyltään ja arvoiltaan toimivat myös invertteri moottorilähdön yhteydessä, varsinkin kun lähtöjännite on vain 400 V luokkaa. Ainoana haittana on OTDC-tyypin kuormakytkinten määritelty toimintavirta 100 – 250 A, kun tarvitaan suurimmillaan 450 A luokkaa oleva kuormakytkin. Tästä johtuen jouduttiin vielä löytämään sen luokan kuormakytkin, joka on vielä yhteensopiva tasavirran kanssa. Päädyttiin OT315-400 ja OT630 luokan kuormakytkimiin, esimerkki kuvassa 12, jotka pystyvät toimimaan tasavirralla ja katkaisemaan korkeimpia virtoja invertteri moottorilähdössä.



Kuva 12. OT630E11-tyypin kuormakytkinmitat.

Seuraavaksi on esitetty ABB:n OT-sarjan, niin OTDC, kuin OT315-400 ja OT630 kuormakytinten suurimpaan kuormitettavuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä niistä aiheutuvia korjauskertoimia:

1. ABB:n OT-sarjan kuormakytinten taulukoissa annettujen arvojen toimintalämpötilaksi on annettu 40 °C, kun lämpötila nousee 60 °C, laskee kuormakytimen kuormitettavuus 20 %.
2. Jos kuormakytimen asennus tapahtuu niin, että se tulee sulakkeiden kanssa vaakatasoon, laskee suurin kuormitettavuus 8 %.
3. Jos kuormakytimen asennus tapahtuu ylösalaisin, niin suurin kuormitettavuus laskee 10 %.

Yleisesti arvioitu lämpötila, jossa kuormakytimet tulevat toimimaan on 55 °C, joten otetaan huomioon 20 % alenema kuormitettavuudessa. Kojeistolistaan (LIITE 1) on otettu niin 40 °C kuin 55 °C alueelle sopivat kuormakytimet. Johtuen invertterien suomasta lisätilasta, verrattuna taajuusmuuttajiin, kuormakytimet voidaan poikkeuksetta kytkeä pystyasentoon. Näin ei tarvitsisi ottaa huomioon asennosta johtuvaa alenemaa, mutta johtuen tutkimuksen teoreettisesta luonteesta, 55 °C kohdalla otettiin huomioon mahdollisuus kuormakytimen asennuksesta vaakatasoon, mikä saattaa olla tilanne itse komponenttien kiinteän asennuksen yhteydessä, varsinkin R1i ja R2i koon invertteri moduulien kanssa.

3.3.3 Sulakkeet ja sulakealusta

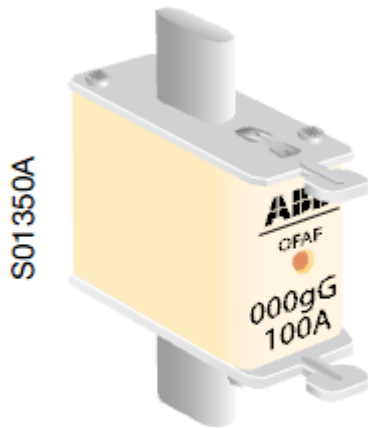
Sulakkeiden valinta tapahtuu huomioimalla, että pääsulakkeita yleisesti ottaen käytetään suojaamaan invertterin ja kuormakytkimen välistä piiriä oikosuilta. Invertteriä ei oteta huomioon, koska sen sisäinen suojauslogiikka suojaa niin syöttö- ja moottorikaapeleita kuin invertteriä itseään termiseltä ylikuormitukselta. Näin ollen erillisiä lämpöreleitä ei suojaukseen tarvita.

Tavallisesti lähdön päävirtapiirin sulakkeet valittaisiin taajuusmuuttaja- tai invertterivalmistajan laiteoppaan mukaan, mutta johtuen kahvasulakkeiden tuomien etujen ja käyttö ystävällisyyden takia, jouduttiin hylkäämään laiteoppaan ehdottamat erilliset sulakkeet. Alustavasti tutkittiin laiteoppaan ehdottamien merkkien sulakeluettelot sopivia kahvasulakkeita varten. Kaikki tasavirralla määritellyt kahvasulakkeet olivat väärää kokoa. Näin ollen siirryin haussani ABB:n omien sulakkeiden puoleen.

ABB:n omat sulakkeet on pääasiassa suunniteltu vaihtovirralla, mutta ne on testattu myös tasavirralla ja näin ollen löytyi erilliset tiedot niiden katkaisukyvyistä tasavirralla. Näiden tietojen avulla pystyttiin määrittämään tarvittavat sulakkeet invertterilähdöille.

Lähdön oikosulkusuojaukseen käytetään gG-tyypin sulakkeita, koska invertterilähdössä ei esiinny suuria käynnistysvirtasysäyksiä. Kyseisen tyypin sulakkeet luovat paremman oikosulkusuojauksen invertterilähdön herkille komponenteille. Sulakkeiden suojaus perustuu niiden nopeaan toimintaan. Nopeutensa ansiosta sulake pystyy rajoittamaan oikosulkuvirran ensimmäisen virtahuipun suuruutta ja siten suojaamaan syöttökaapelin ja invertterilähdön laitteita.

Lopullinen valinta päättyi OFAF-tyypin gG-sulakkeisiin, joiden pitäisi teoreettisesti pystyä suojaamaan kyseistä lähtöä. Maksimi katkaisukyky tasavirralla, 400 V on 80 kA. Esimerkki kuvassa 13.

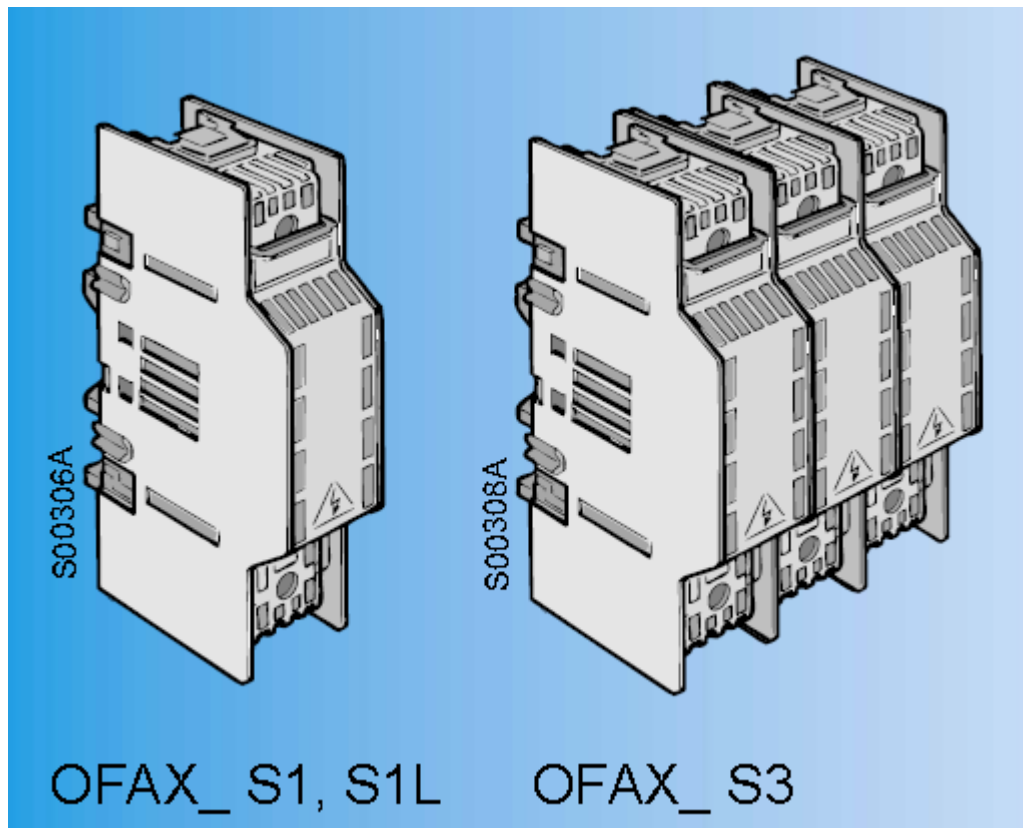


OFAF000H_

Kuva 13. Esimerkki OFAF-sulakkeesta kokoluokkaa 000.

Seuraavaksi tulee valita sulakealusta, joka on yhteensopiva valittujen sulakkeiden kanssa. Johtuen siitä, että käytetään kuormakytkintä, joudutaan erikseen valitsemaan sulakealusta. Kytkinvarokkeissa on sulakkeille paikat, mutta ei kuormakytkimissä.

Tutkimalla ABB:n omia sulakealusta kirjastoja, päädyttiin OFAX-tyypin sulakealustoihin, katso kuva 14, johtuen OFAX-tyypin sulakealustojen yhteensopivuudesta OFAF-tyypin sulakkeiden kanssa, niiden muokattavuuden ja yhteensopivien virta-arvojen takia.



Kuva 14. OFAX tyypin sulake alustoja kokoa S1 ja S3.

Kytkinvarokkeisiin verrattuna kuormakytkimet sulakealustojen kanssa vievät enemmän tilaa, mutta silti käytämme kuormakytkimiä johtuen siitä, että kuormakytkimet toimivat kytkinvarokkeita paremmin tasavirralla.

4 KOMPONENTTISIJOITUS

Komponenttien sijoitus käsittelee valittujen komponenttien sijoittumista moottorilähtökeskuksessa. Kyseisessä sijoituksessa määriteltiin pääkomponenttien invertteri- ja kytkinvarokesijoittuminen annetussa tilassa annettujen rajoitusten ja määriteltyjen sääntöjen mukaisesti. Huomioon on myös otettava kytkinvarokkeen vääntimen ja invertterin ohjauspaneelin sijoittuminen kojeiston ovesa suhteessa laitesijoituksiin. Lopullisena tuloksena on tarkoitus saada alustava, kerättyyn materiaaliin perustuva kojeistokaappikonaisuus. Suunnittelu tapahtui AutoCAD-ohjelmalla.

4.1 Moottorilähdön sijoittuminen

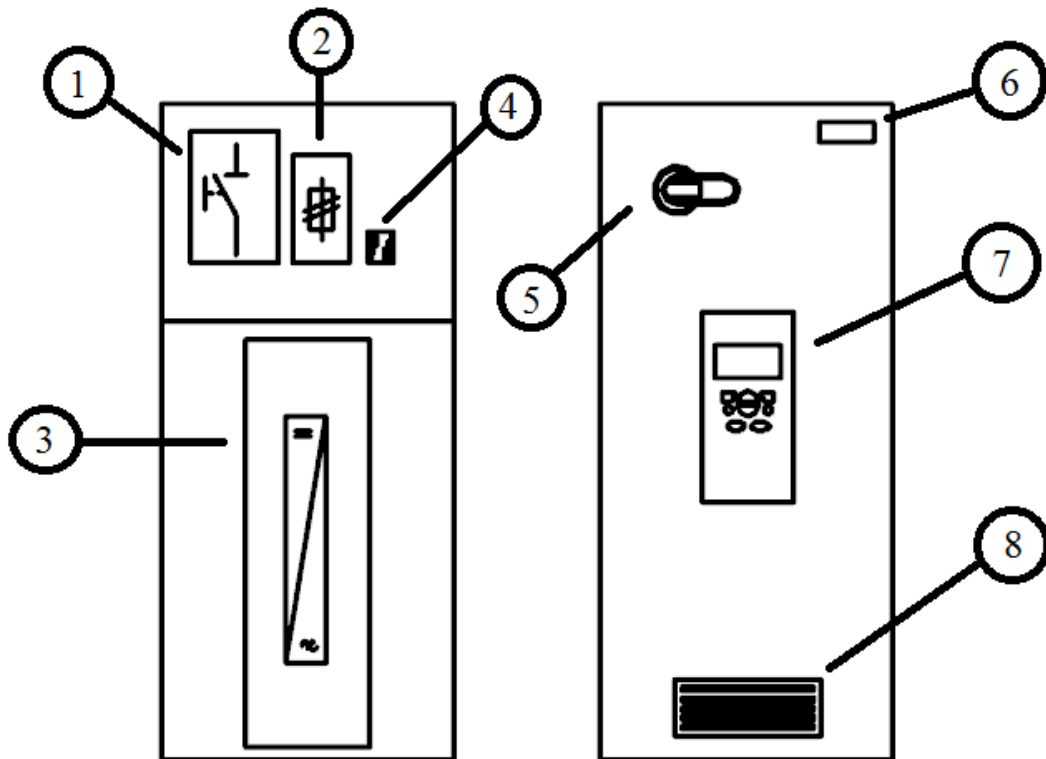
Moottorilähdön suunnittelu Autocadilla tapahtui määrittämällä jokainen tarvittava komponentti ja luomalla niistä kappaleita. Näistä kappaleista pystyy sitten kokoamaan haluttuja kokonaisuuksia ilman, että joutuu luomaan viiva viivalta komponentit uudestaan jokaisen moottorilähdön kohdalla.

Näiden alustavien mittojen mukaisesti luotujen piirustusten avulla pystytään hahmottamaan miltä kyseiset lähdöt tulisivat näyttämään ja miten komponentit sijoittuvat oikeassa kokoonpanossa. Tämä tulee olemaan kojeistolistan kanssa hyödyksi, jos invertteri moottorilähdön tutkimus siirtyy käytännön testiasteelle.

ABB:lta löytyy tietyt määritellyt mitat keskuksille ja moottorilähdöille, joiden mukaan on toimittu suunnitteluvaiheessa. Keskuksen peruskorkeus on määritelty 2200 mm, lähdöille varattu tila 2125 mm ja moottorilähdön pohja on peruskooltaan 400 mm leveä ja korkeus alustavasti 600 mm. Moottorilähdön leveys pysyy samana komponenteista riippumatta, mutta korkeus vaihtelee invertteristä toiseen.

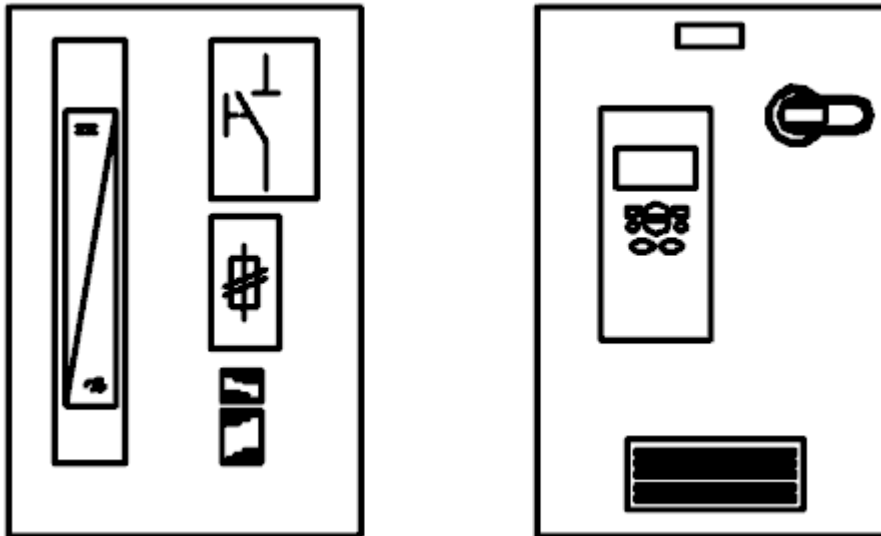
Pääkomponentit invertteri moottorilähdön piirustuksessa ovat:

1. kuormakytkin
2. sulakealusta
3. invertteri
4. mahdolliset riviliittimet
5. kytkinvarokkeen väännin
6. tuotekilpi
7. invertterin ohjauspaneeli
8. tuuletusaukko.



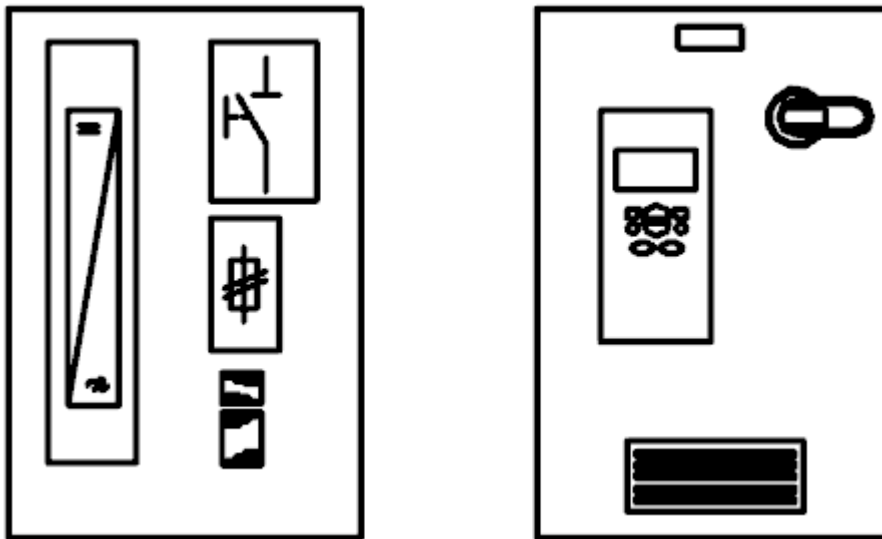
Kuva 15. Esimerkki Invertterimoottorilähdön komponenttien sijoittumisesta niin asennuspohjalla kuin lähdön ovessa.

Kokoluokan R1i-invertteri moduuli sopii ongelmitta perus 400x600 mm pohjaan. Koska kaikilla R1i:n virtavariaatioilla kelpaa OTDC 100-kuormakytin, niin yksi kojeiston ja oven kattava piirustus riittää. Huomioitavia asioita on invertterin, kuormakytimen ja sulake alustan sijoitus. Kaikki komponentit tulee olla 1cm päässä kotelon ylälevystä ja alalevystä sekä 4 cm päässä kotelon sivuista. Kuormakytimessä on myös otettava huomioon kuormakytimen vääntimen sijoittuminen ovesa niin, että se on tarpeeksi etäällä oven saranoista ja kuormakytimen akseli ei osu ovea avattaessa mihinkään. Esimerkkinä kuva 16.



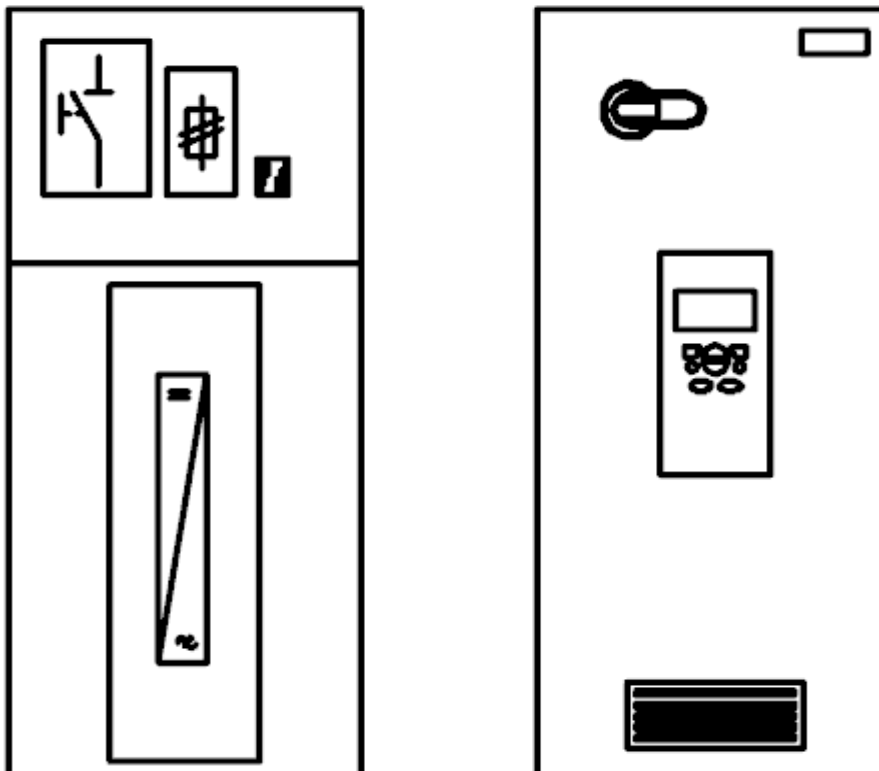
Kuva 16. R1i-invertteri koon kokonaisuus.

Kokoluokan R2i-invertteri moduuli sopii ongelmitta perus 400x600 mm pohjaan. Koska kaikilla R2i:n virtavariaatioilla kelpaa OTDC 100 kuormakytin, niin yksi kojeiston ja oven kattava piirustus riittää. Huomioitavia asioita ovat samat kuin R1i-invertteri moduulissa. Esimerkkinä kuva 17.



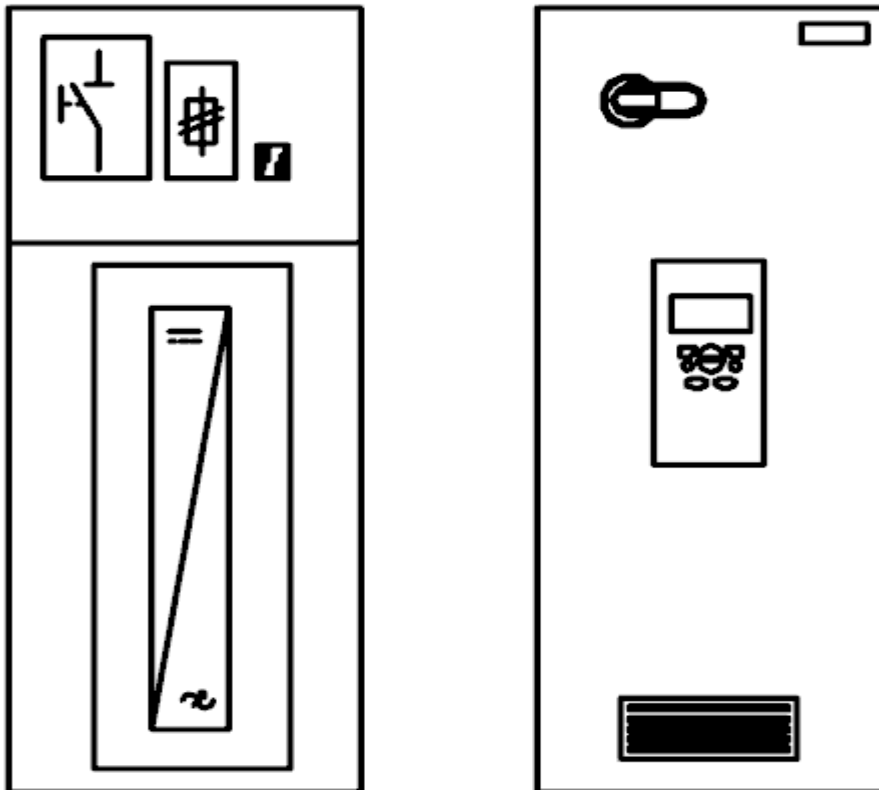
Kuva 17. R2i-invertteri koon kokonaisuus.

Kokoluokan R3i-invertteri moduuli vaatii hiukan enemmän tilaa, 400x900 mm. Tämä johtuu invertterin koosta joka ei enää sovi vierekkäin kuormakytkimen ja sulake alustan kanssa 400 mm tilaan. Näin ollen kokonaisuus hajautetaan kahteen yhdistettyyn koteloon joista toinen sisältää kuormakytkimen, sulakealustan riviliittimiseen ja toinen invertterin. Pääosalta kuormakytkimeksi riittää OTDC 100, paitsi aivan suurimmalla virralla. Kyseinen virta vaatii OTDC 160 luokan kuormakytkimen. Onneksi suunnittelun kannalta OTDC sarja 100 A – 250 A on kooltaan identtiset. Näin ollen yksi piirustus riittää. Huomioitavia asioita on invertterin, kuormakytkimen ja sulake alustan sijoitus, kuten aiemmissa R1i ja R2i, mutta johtuen kuormakytkimen sijoittumisesta nyt kesemmäksi tästä lisääntyvä tila kytkinvarokkeen molemmin puolin vähentää vääntimen sijoittamiseen huomioitavien seikkojen vaikutusta. Tuloksena kuvan 18 kokonaisuus.



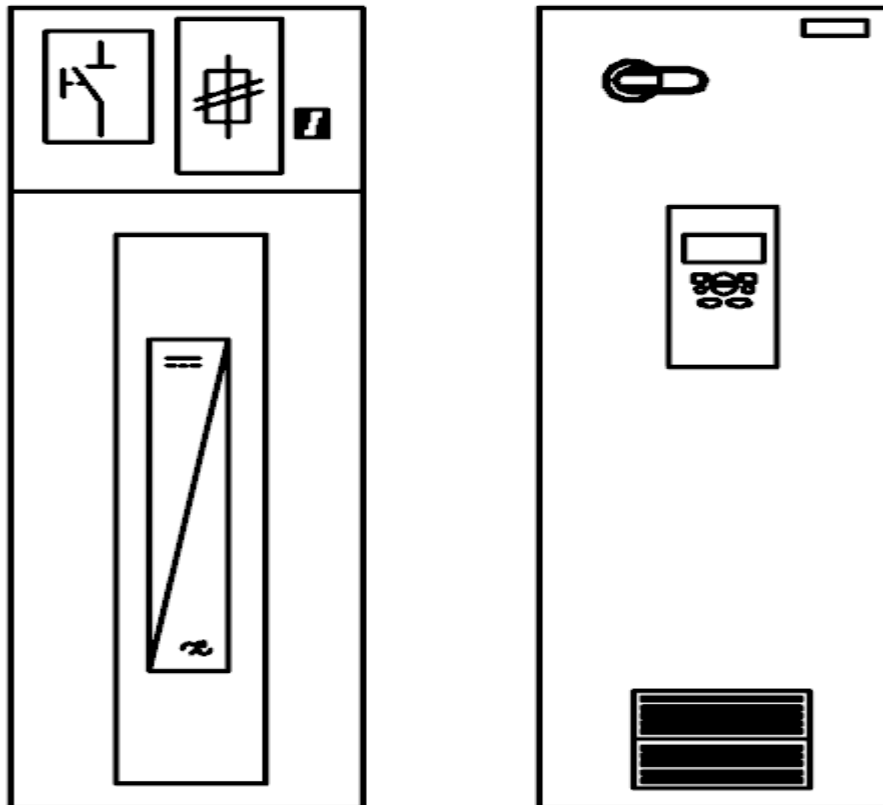
Kuva 18. R3i-invertteri koon kokonaisuus.

Kokoluokan R4i-invertteri moduuli vaatii tilaa, 400x1000 mm. Tämä johtuu invertterin koosta joka ei enää sovi vierekkäin kuormakytkimen ja sulake alustan kanssa 400 mm tilaan. Näin ollen kokonaisuus hajautetaan kahteen yhdistettyyn koteloon joista toinen sisältää kuormakytkimen, sulake alustan riviliittimiseen ja toinen invertterin. Pääosalta kuormakytkimeksi riittää OTDC 160, paitsi aivan suurimmalla virralla. Kyseinen virta vaatii OTDC 200 luokan kuormakytkimen. Onneksi suunnittelun kannalta OTDC sarja 100 A – 250 A on kooltaan identtiset. Näin ollen yksi piirustus riittää. Huomioitavia asioita on invertterin, kuormakytkimen ja sulake alustan sijoitus, mutta johtuen kuormakytkimen sijoittumisesta nyt kesemmäksi tästä lisääntyvä tila kuormakytkimen molemmin puolin vähentää vääntimen sijoittamiseen huomioitavien seikkojen vaikutusta. Tulokseksi saadaan kuvan 19 kokonaisuus.



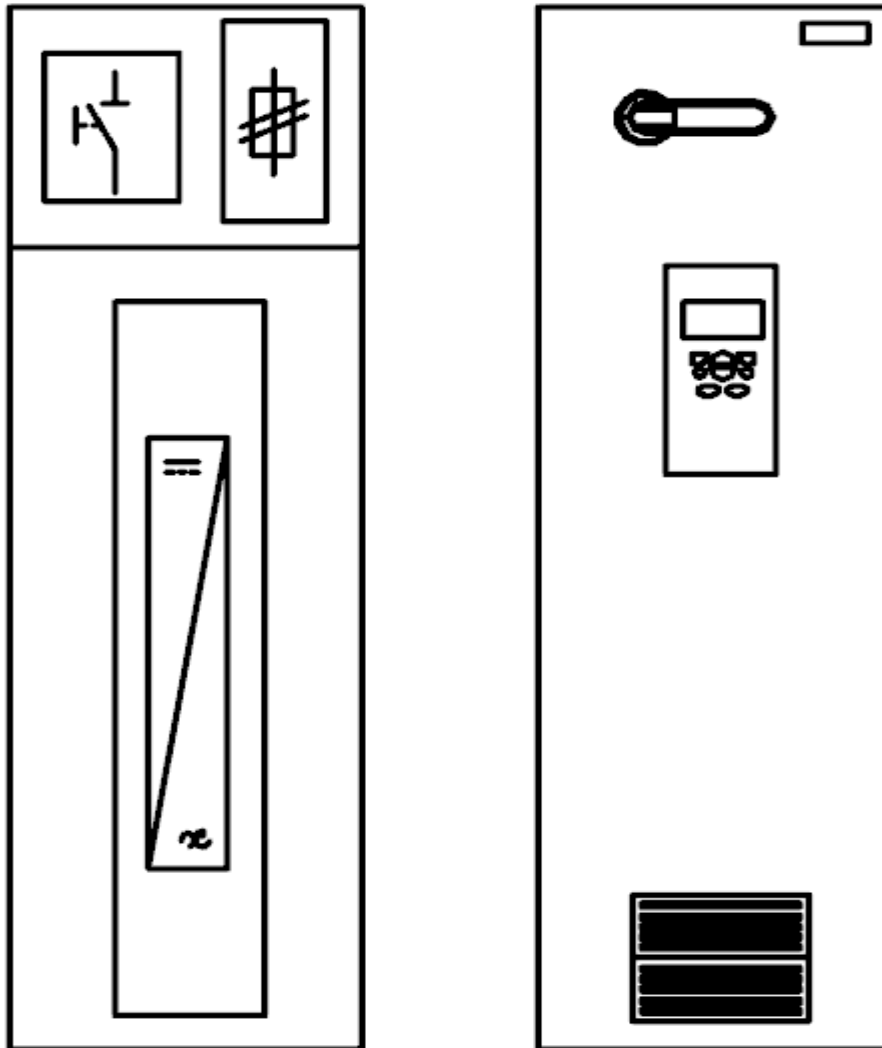
Kuva 19. R4i-invertteri koon kokonaisuus.

Kokoluokan R6i-invertteri moduuli vaatii tilaa, 400x1300 mm OTDC 250, 400x1300 mm OT 315 – 400 ja 400x2025 mm OT 630. Tämä johtuu invertterin koosta joka ei enää sovi vierekkäin kuormakytkimen ja sulake alustan kanssa 400 mm tilaan. Näin ollen kokonaisuus hajautetaan kahteen yhdistettyyn koteloon joista toinen sisältää kuormakytkimen, sulakealustan riviliittimeen ja toinen invertterin. 315 A viralla lisätään vielä oma kotelo moottorilähdön tuulettusta varten. R6i-tyypin invertteri moduuli eroaa muista siten, että huomioitavia asioita on invertterin, kuormakytkimen ja sulake alustan sijoitus, mutta johtuen kuormakytkimen sijoittumisesta, nyt keskeemmäksi tästä lisääntyvä tila kuormakytkimen molemmin puolin vähentää vääntimen sijoittamiseen huomioitavien seikkojen vaikutusta. Tuloksena kuvan 20 kokonaisuus.



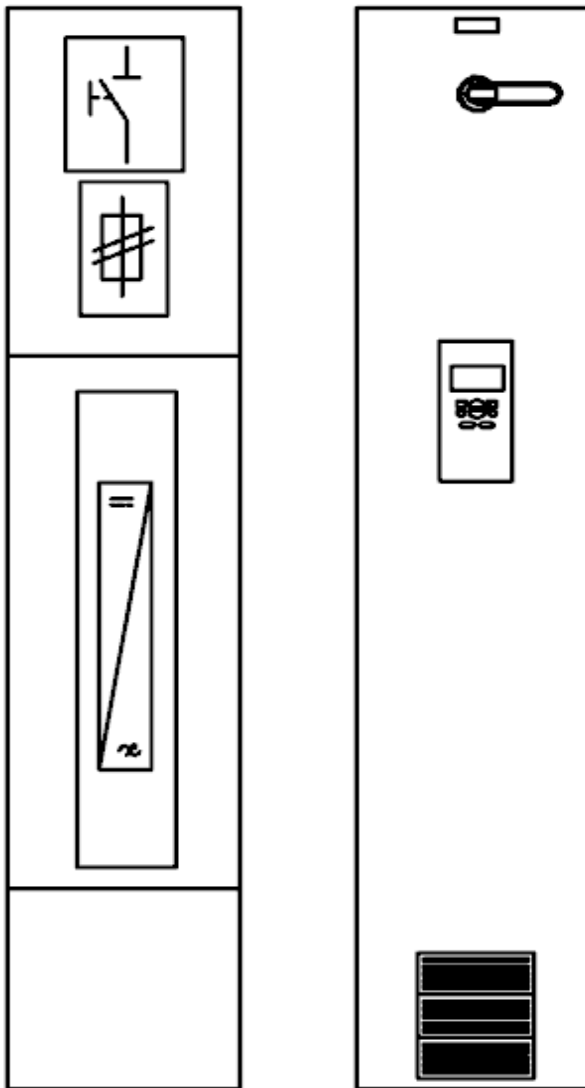
Kuva 20. R6i-invertteri koon kokonaisuus OTDC 250 tyypin kuormakytkimellä.

Sulake alusta on kokoa OFAX 1 S2 ja näin ollen vie huomattavasti enemmän tilaa verrattuna OFAX 00 S2. Katso kuva 21.



Kuva 21. R6i-invertteri koon kokonaisuus OT 325 – 400 tyyppin kuormakytkimellä.

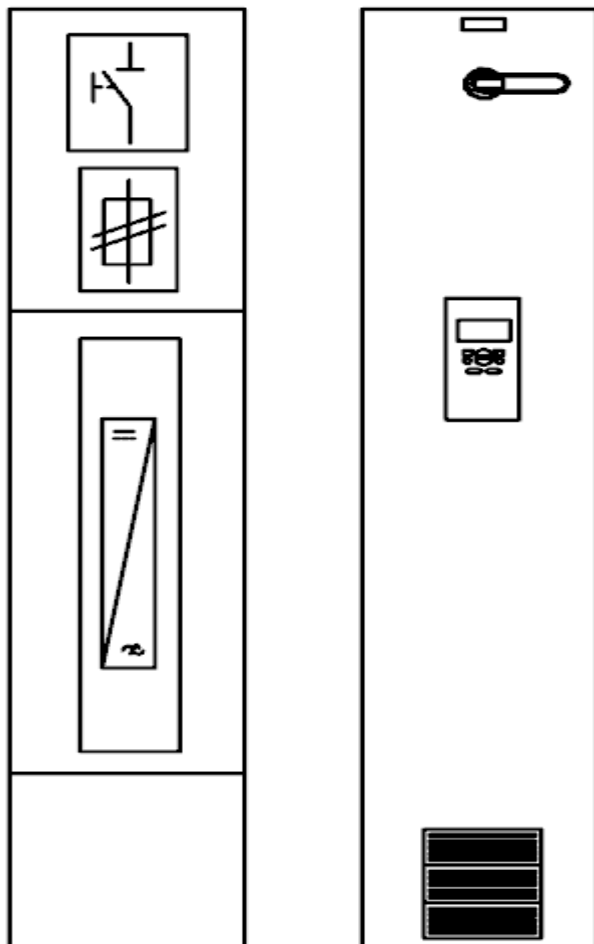
Huomaa sulake alustan huomattava koon kasvu, kuva 21, joka jättää vähemmän tilaa riviliittimille ja kuormakytkimen vaihtuminen OTDC:stä OT 325 – 400:aan.



Kuva 22. R6i-invertteri koon kokonaisuus OT 630 tyyppin kuormakytkimellä.

Kuten kuvasta 22 näkyy sulakealustan vaihtuminen OFAX 2 S2 aiheutti yhdessä OT 630:n kanssa sen, että kyseiset komponentit eivät enää sovi vierekkäin 400 millimetriin.

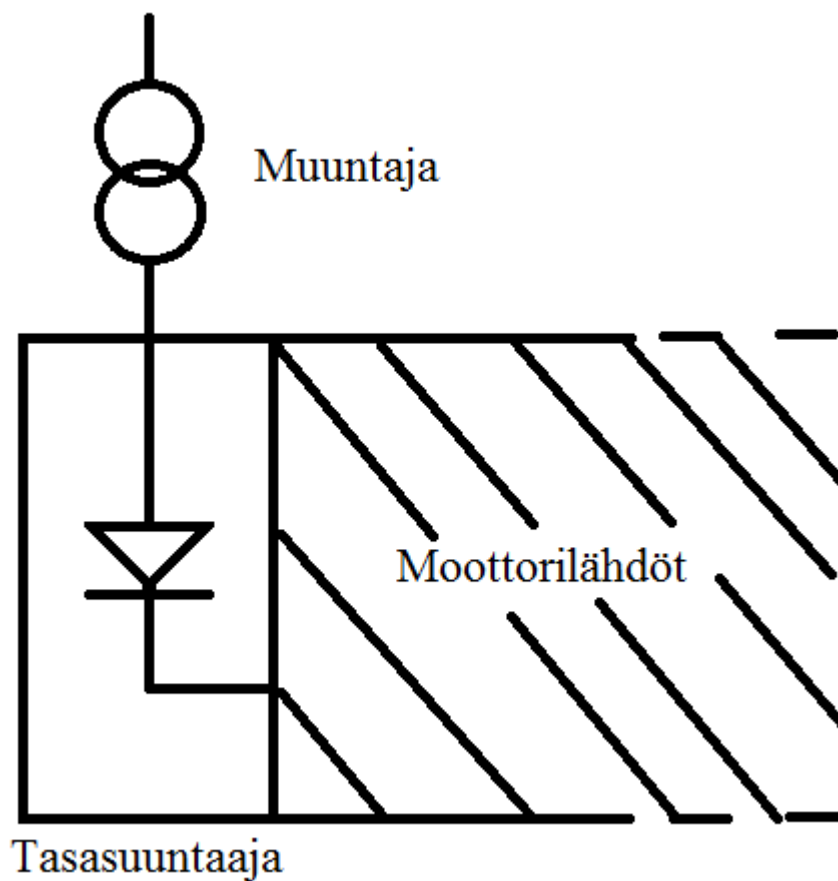
Kokoluokan R7i-invertteri moduuli vaatii tilaa, 400x2025 mm. Tämä johtuu invertterin koosta joka ei enää sovi vierekkäin kuormakytkimen ja sulake alustan kanssa 400 mm tilaan. Näin ollen kokonaisuus hajautetaan kolmeen yhdistettyyn koteloon joista yksi sisältää kuormakytkimen ja sulakealustan riviliittimiseen, toinen invertterin ja kolmas tilaa ilmanvaihtoa varten. R7i-tyypin invertteri moduuli eroaa muista siten että, huomioitavia asioita on invertterin, kuormakytkimen ja sulake alustan sijoitus, mutta johtuen kuormakytkimen sijoittumisesta nyt keskeemmäksi tästä lisääntyvä tila kuormakytkimen molemmin puolin vähentää vääntimen sijoittamiseen huomioitavien seikkojen vaikutusta. Tulokseksi saadaan kuvan 23 kokonaisuus.



Kuva 23. R7i-invertteri koon kokonaisuus OT 630 tyypin kuormakytkimellä.

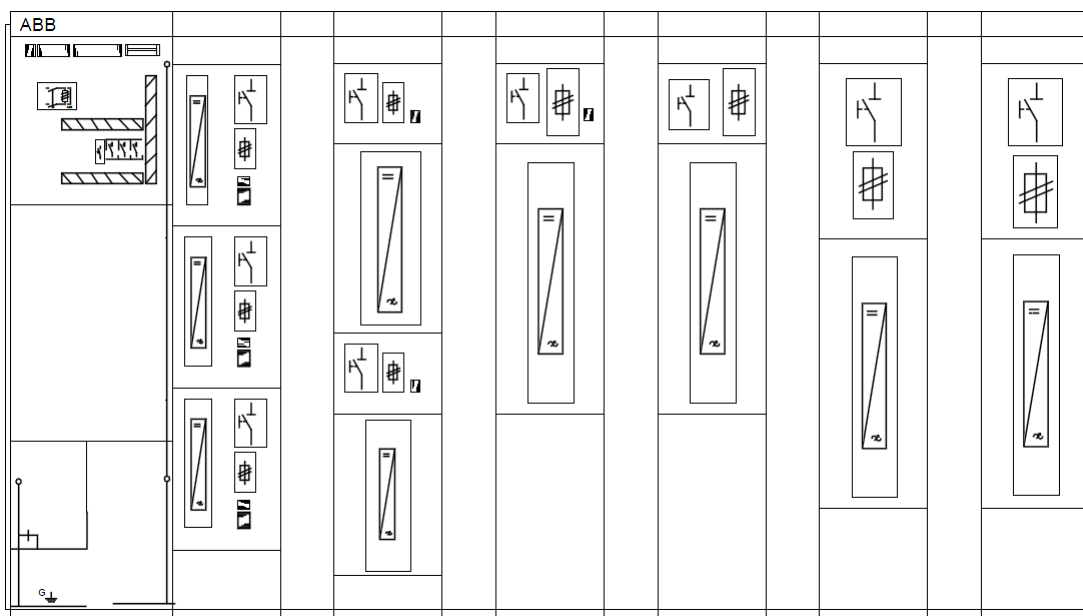
4.2 Keskuskokonaisuus

Keskuskokonaisuus käsittää miten moottorilähdöt sijoittuvat itse keskuksessa, kuinka yhteen sopivia ja/tai tilaa vieviä ne ovat toisten moottorilähtökokojen kanssa. Kyseessä on esimerkillinen kokoonpano, joka sisältää ainakin yhden jokaista moottorilähtö kokoa. Esimerkkinä kuva 24.



Kuva 24. Periaatteellinen kuva keskuksen rakenteesta DC:llä.

Keskuksen peruskorkeus on määritelty 2 200 mm, lähdöille varattu tila 2 125 mm ja pienimmän moottorilähdön pohja on peruskooltaan 400 mm leveä ja 600 mm korkea. Tavallisesti moottorilähtö kaappien väliin jätetään 200 mm leveä tila johdotukselle. Moottorilähtöjen sijoituksessa on myös hyvä ottaa huomioon korkeudet joille kuormakytkimien vääntimet ja invertterien ohjauspaneelit tulevat. Ohjauspaneelit ovat sijoitukseltaan vapaat riippuen ainoastaan johdotuksen tyyppistä invertterille, kun taas vääntimet ovat kiinteästi yhteydessä kuormakytkimiin.



Kuva 25. Keskus kokonaisuuden sisältö.

Keskus kokonaisuus sisältää tulo-osuuden, tässä tapauksessa esimerkillisen, ja moottorilähdöt. Ensimmäinen kaappi sisältää yhden R1i-lähdön ja kaksi R2i-lähtöä. Toinen kaappi sisältää ylhäältäpäin katsoen R4i-lähdön ja R3i-lähdön. Seuraavat kolme kaappia sisältävät R6i-lähdön eri variaatiot ja kuudes R7i-lähdön. Lähtöjen sijoitus kaapeissa on tilanteen ja asiakkaan toiveiden mukaisesti toteutettavissa. Esimerkkinä kuvan 25 kokonaisuus.



Kuva 26. Keskus kokonaisuuden päällys.

Kuvassa 26 voidaan nähdä miten väännin ja invertterin ohjaus paneeli sijoittuvat oveen. Korkeimmillaan väännin on noin 190 cm korkeudessa johon kyllä keskimääräisesti suuri osa ihmisistä ylettyy ilman minkäänlaista apua. Toisaalta lähtöjen paikkaa voidaan siirtää tarpeen mukaan R1i – R6i tapauksissa ja R6i:n suurimman virran ja R7i kohdalla lähtö vie koko kaappitilan.

5 TASAJÄNNITE TEOLLISUUDESSA

5.1 Tällä hetkellä

Tasajännitteen yleisyys tämänhetkisessä teollisuudessa on vähäinen. Yleisesti tasajännitettä käytetään vain muutamissa niin teollisuuden kuin yleisen infrastruktuurin sovelluksissa. Huomattava osa tasajännitteestä ilmenee osana olemassa olevia vaihtojännitejärjestelmiä, kuten tietoteknisten komponenttien virran lähteenä. Nykyiset tietokoneet käyvät vaihtosähköverkkoon, mutta sisäisesti muuntavat sen tasasähköksi. Sama pätee suurimpaan osaan pienlaitteista niin teollisuudessa kuin kotitalouksissa. Esimerkiksi UPS käyttää tasajännitettä akkujensa lataukseen ja tarpeen tullen syöttävät sitä takaisin, kuitenkin vaihto- ja tasasuuntaajat ovat tarpeellisia, että kyseinen voi toimia vaihtojännite järjestelmän ohella.

Huomattava osa virranlähteistä niin akustoista kuin aurinkopaneeleista tuulivoimaan tuottaa tasajännitettä joka muutetaan vaihtojännitteeksi nykyiseen verkkoon sopivaksi. DC-moottorit ovat huomattavasti vähentyneet AC-moottorien tieltä, niiden laajemman säädettävyyden takia. Joissakin vanhemmissa paperitehtaissa voi vielä järjestelmä toimia DC-moottoreilla. Myös teollisuuden ulkopuolella joissakin sähköautoissa, hybridi tyyppisissä, käytetään akuston ohella DC-moottoria.

Näkyvimpiä tasajännitteen käyttömuotoja on itse sähkön siirrossa pitkillä matkoilla. HVDC eli korkea jännitteisellä tasavirran siirrolla pystytään kattamaan pitkien matkojen välinen sähkönsiirto, jopa vaikeissa olosuhteissa, kuten merenpohjassa. Etuna on myös mahdollisuus siirtää sähköä kahden erillisen vaihtojänniteverkon välillä ilman, että verkot voisivat vaikuttaa harmillisesti toisiinsa. Yleisesti ottaen on huomattu, että tasajännite sopii hyvin sähkön siirtoon.

5.2 Mahdollisuudet

Tasajännitteen mahdollisuudet ovat kasvaneet yhtäaikaaisesti teknologian kehityksen kanssa. Syyt jonka vuoksi aikoinaan siirryttiin vaihtojännitejärjestelmään eivät enää ole yhtä painavia kuin 1800-luvun loppupuolella. Näin ollen tasajännitteen uusi nousu on mahdollinen.

Vaikkakin tasajännitteen hyödyt pitkien matkojen sähkön siirrossa on huomattu, niin tasajännitteen sovellutukset pienjännite järjestelmiin on vielä alkutaipaleellaan. Käytännön asteella pienjännitejärjestelmiin on päästy laivojen AC-järjestelmien DC-vaihtoehdossa. Kyseisen järjestelmän edut vaihtovirtaan verrattuna on toimivampi asennus joustavampien komponenttien vuoksi, koneiden vähentynyt huolto tehokkaamman toiminnan vuoksi, parantunut dynaaminen vaste ja ohjattavuus, lisääntynyt tila vähentyneen komponenttimäärän ja lisääntyneen komponenttien asennusjoustavuuden vuoksi ja jopa 20 % polttoaine säästöt.

Tästä seuraa kysymys tasavirtajärjestelmän mahdollisuudesta esimerkiksi teollisuuden oloissa, kuten tehdashalleissa. Hyvänä esimerkkinä on tämän tutkimuksen aiheen sopivuus kyseiseen järjestelmään. Etuina kyseisellä tasavirta järjestelmällä olisi kohtalaisesti samat kuin edellä mainitussa laivojen tasavirta järjestelmässä. Suojaus tapahtuisi sulakkeiden, eristävillä kytkimillä ja hallituilla turn-off puolijohdetehokytkinlaitteilla. Vielä huomioon otettavia etuja olisi mahdollisuus moottorien jarrutusenergian talteenotto tasavirtajärjestelmässä. Yleisesti jarrutusenergia muutetaan jarrukatkojan ja jarruvastuksen avulla lämmöksi, koska tasavirta järjestelmässä joka ei pysty varastoimaan kyseistä energiaa johtaa jännitteen nousemiseen. Mutta kun energian varastointi saadaan toimimaan voidaan jarrutus energioiden lisäksi ottamaan huomioon aurinkoenergian ja tuulivoiman liittämismahdollisuus järjestelmään, mikä tässä tapauksessa lisäisi järjestelmän energian kulutuksen hyötysuhdetta sekä tasavirran vuoksi erillisiä suuntaajia ei tarvittaisi kyseisten voimaloiden yhteydessä, koska virta olisi jo valmiiksi tasavirtaa.

Vielä voidaan ottaa huomioon tasavirran käyttö sähkönsiirrossa kotitalouksiin. Tämä mahdollistaisi maakaapeleiden käytön ja loisi asteittaisemman järjestelmän, joka toisi hyötyä kun jokin osa järjestelmästä joutuisi vikatilaan, voisi muu järjestelmä toimia silti.

Yleisesti ottaen tasavirran hyödyt ovat kasvamassa päin ja tulevaisuudessa tasavirtajärjestelmien hyödyt tullaan huomaamaan, mikä taas johtaa alan huomattavaan kasvuun tulevaisuudessa.

LÄHTEET

/1/ ABB Oy:n kotisivut. Viitattu 5.2.2013. <http://www.abb.fi/>.

/2/ ABB Pienjännitekojeet. Kytkimet Kuormankytkimet OT, OETL, OTDC ja OTM. Tuote-esite.

/3/ ABB Industrial drives. Hardware manual ACS880-104 inverter modules.

/4/ ABB Catalog 2012, FBP FieldBusPlug – Communicative Control and Protection Components

/5/ ABB MNS *iS* moottorikojeisto. Järjestelmä ohje.

/6/ Jokinen K. Taajuusmuuttajat. Opetusmoniste. Vaasan ammattikorkeakoulu.

LITTEET

| TECHNICAL DATA | | | | | | | | | | | | SELECTION TABLE | | | | | | | |
|--------------------|------------|-----------------------|---------|-----------------|----------|--------------------|----------------------|----------------|-------------------|----------|------------|--|-------------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------|-----------|--|
| Inverter unit type | Frame Size | Input ratings | | No-overload use | | Light-overload use | | Heavy-duty use | | Air Flow | Power loss | Input current I _{input} A | Fuse | | | DC switch-disconnector | | Fuse base | |
| | | I _{max} A | IN A | PN kW | ILd A | PLd kW | I _{Hd} A | PHd kW | m ³ /h | W | A | | Type | IEC-size | T _{ymp} < 40 C | T _{ymp} < 55 C | Type | In A | |
| UN = 400V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACS880-104-004A3 | R1i | 5.3 | 4.8 | 1.5 | 4.5 | 1.5 | 4.0 | 1.5 | 24 | 126 | 5.4 | 10 | OFAF000H10 | 000 | OTDC100E02 | OTDC100E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-006A3 | R1i | 8.8 | 6.0 | 2.2 | 5.5 | 2.2 | 5.0 | 2.2 | 24 | 148 | 6.8 | 10 | OFAF000H10 | 000 | OTDC100E02 | OTDC100E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-008A3 | R1i | 10.5 | 8.0 | 3.0 | 7.6 | 3.0 | 6.0 | 2.2 | 24 | 172 | 9.0 | 16 | OFAF000H16 | 000 | OTDC100E02 | OTDC100E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0011A3 | R2i | 13.5 | 10.5 | 4.0 | 9.7 | 4.0 | 9.0 | 4.0 | 48 | 212 | 12.0 | 16 | OFAF000H16 | 000 | OTDC100E02 | OTDC100E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0014A3 | R2i | 16.5 | 14.0 | 5.5 | 13.0 | 5.5 | 11.0 | 5.5 | 48 | 250 | 16.0 | 20 | OFAF000H20 | 000 | OTDC100E02 | OTDC100E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0018A3 | R2i | 21 | 18.0 | 7.5 | 16.8 | 7.5 | 14.0 | 7.5 | 48 | 318 | 21 | 25 | OFAF000H25 | 000 | OTDC100E02 | OTDC100E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0023A3 | R2i | 33 | 25 | 11.0 | 23 | 11.0 | 19.0 | 7.5 | 142 | 375 | 29 | 35 | OFAF000H35 | 000 | OTDC100E02 | OTDC100E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0025A3 | R2i | 44 | 35 | 15.0 | 32 | 15.0 | 29 | 15.0 | 142 | 485 | 40 | 50 | OFAF000H50 | 000 | OTDC100E02 | OTDC100E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0044A3 | R2i | 53 | 44 | 18.5 | 41 | 22 | 35 | 18.5 | 200 | 541 | 50 | 63 | OFAF000H63 | 000 | OTDC100E02 | OTDC100E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0050A3 | R2i | 66 | 50 | 22 | 46 | 22 | 44 | 22 | 200 | 646 | 57 | 80 | OFAF000H80 | 000 | OTDC100E02 | OTDC160E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0061A3 | R4i | 78 | 61 | 30 | 57 | 30 | 52 | 22 | 290 | 840 | 69 | 80 | OFAF000H80 | 000 | OTDC100E02 | OTDC160E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0078A3 | R4i | 100 | 78 | 37 | 74 | 37 | 69 | 37 | 290 | 1020 | 88 | 100 | OFAF000H100 | 000 | OTDC100E02 | OTDC160E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0094A3 | R4i | 124 | 94 | 45 | 90 | 45 | 75 | 37 | 290 | 1200 | 106 | 125 | OFAF000H125 | 00 | OTDC160E02 | OTDC160E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0100A3 | R4i | 125 | 104 | 55 | 100 | 55 | 78 | 37 | 290 | 1200 | 117 | 125 | OFAF000H125 | 00 | OTDC160E02 | OTDC200E02 | OFAX 00 S 2 | 160 | |
| ACS880-104-0140A3 | R6i | 169 | 141 | 75 | 135 | 75 | 105 | 55 | 540 | TBA | 159 | 160 | OFAF1H160 | 1 | OTDC200E02 | OTDC250E02 | OFAX 1 S 2 | 250 | |
| ACS880-104-0170A3 | R6i | 203 | 169 | 90 | 162 | 90 | 126 | 55 | 540 | TBA | 191 | 200 | OFAF1H200 | 1 | OTDC250E02 | OT315E11 | OFAX 1 S 2 | 250 | |
| ACS880-104-0210A3 | R6i | 247 | 206 | 110 | 198 | 110 | 154 | 75 | 540 | TBA | 232 | 250 | OFAF1H250 | 1 | OTDC250E02 | OT400E11 | OFAX 1 S 2 | 250 | |
| ACS880-104-0250A3 | R6i | 295 | 246 | 132 | 236 | 132 | 184 | 90 | 540 | TBA | 277 | 315 | OFAF2H315 | 2 | OT315E11 | OT630E11 | OFAX 2 S 2 | 400 | |
| ACS880-104-0300A3 | R7i | 360 | 300 | 160 | 288 | 160 | 224 | 110 | 1020 | TBA | 338 | 400 | OFAF3H400 | 3 | OT400E11 | OT630E11 | OFAX 3 S 2 | 630 | |
| ACS880-104-0350A3 | R7i | 420 | 350 | 200 | 336 | 200 | 262 | 132 | 1020 | TBA | 394 | 425 | OFAF3H425 | 3 | OT650E11 | OT630E11 | OFAX 3 S 2 | 630 | |