



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HILLOTEHTAAN TAAJUUSMUUTTAJIEN ENNAKOIVA KUNNOSSAPITO

TEKIJÄ: Perttu Huotari

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala		
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn tekijä Perttu Huotari		
Työn nimi Hillotehtaan taajuusmuuttajien ennakoiva kunnossapito		
Päiväys	21.05.2020	Sivumäärä/Liitteet
		57/9
Ohjaaja(t) Lehtori Pasi Lepistö, Savonia, Lehtori Jari Ijäs, Savonia, Tehdaspalvelupäällikkö Tero Parviainen, Valio Oy		
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Valio Oy Suonenjoen hillotehdas		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyön aihe tuli esille kesällä 2019, koska hillotehdas oli saanut ABB:ltä taajuusmuuttajien huoltotarjouksen. Hillotehtaan kunnossapidolla ei ollut selkeää listausta käytettävistä taajuusmuuttajista ja mitkä niistä olivat tuotannon kannalta kriittisiä. Siitä kehittyi idea selvitystyöstä, miten hillotehtaalla olevien taajuusmuuttajien ennakoiva kunnossapito voidaan toteuttaa, mitä siihen sisältyy ja kannattasiko ABB:n huoltotarjous ottaa.</p> <p>Työn ensimmäisenä vaiheena oli kartoittaa kaikki tehtaalla käytössä olevat taajuusmuuttajat läpi ja kirjata ylös niiden perustiedot. Kun käytössä olevat taajuusmuuttajat olivat tiedossa, oli aika pyytää taajuusmuuttaja valmistajilta materiaalia työtä varten. Hillotehtaan kunnossapidon asentajalta löytyi myös vanhaa taajuusmuuttajien huoltomateriaalia, jonka avulla oli hyvä alkaa pohjustamaan työtä. Tehtaalla käytetään taajuusmuuttajia moniin eri tarkoituksiin tuotannon mahdollistamiseksi. Tuotantolinjoilla sekoittaja- ja pumppumootoreihin, IV-konehuoneella tehtaan tilojen ilmanvaihtoon ja konehuoneella raaka-aineiden säilöntään. Taajuusmuuttajia on tärkeä tutkia, koska niiden oikea aikainen huoltaminen varmistaa, ettei tehtaan tuotantoon tulisi yllättäviä keskeytyksiä tai hidastuksia.</p> <p>Työn tuloksina syntyi kartoitus tehtaalla käytettävistä taajuusmuuttajista ja niiden kriittisyysluokittelu. Määräaikaishuollossa tehtävien toimenpiteiden ajoitus ja ennakoivan kunnossapidon toteutuksen tarkastelua. Lisäksi näkemys olla ottamatta ABB:n huoltotarjousta.</p>		
Avainsanat Taajuusmuuttaja, kunnossapito, ABB, VACON ja OMRON.		

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Perttu Huotari			
Title of Thesis Preventive Maintenance of Jam Factory's Frequency Converters			
Date	21 May 2020	Pages/Appendices	57/9
Supervisor(s)			
Client Organisation /Partners Valio Oy Suonenjoki jam factory			
<p>Abstract</p> <p>The subject of this thesis came up last summer, in 2019 when the jam factory received a service offer from ABB. The service offer was about the maintenance of the frequency converters in the factory. The jam factory's maintenance team had no clear bookkeeping of its frequency converters and which of them were the most critical to the production. It led to an idea of a study on how preventive maintenance of the jam factory's frequency converters can be done, what it includes and whether it was worthwhile to take ABB's service offer.</p> <p>The first task of the thesis was to write down all frequency converters in use at the factory and enter their basic information. Once it was known which frequency converters are used in the jam factory it was time to ask frequency converter manufacturers if they would give material for the thesis. The jam factory's maintenance installer had an old frequency converter maintenance material, which assisted the start of the thesis. The jam factory uses frequency converters in many ways to enable production. For example, on production lines for mixer and pump motors, in the air condition machine room for the ventilation of the factory premises and in the machine room for the storage of raw materials. It was important to study the frequency converters because their timely maintenance ensures that there will be no unexpected production interruptions or slowdowns in the factory's production.</p> <p>As a result of the thesis, a mapping of the jam factory's frequency converters and criticality classification was created. In addition, a schedule about the factory's frequency converters maintenance measures and review of the implementation of preventive maintenance was created. This thesis further confirmed a viewpoint of not to accept ABB's service offer.</p>			
Keywords Frequency converter, maintenance, ABB, VACON and OMRON.			

ESIPUHE

Kesätöiden aikana minulle tarjoutui mahdollisuus tehdä taajuusmuuttajiin liittyvä opinnäytetyö. Olen halunnut oppia, millä periaatteella taajuusmuuttajien kunnossapitoa tehdään. Kiinnostuin aiheesta, koska taajuusmuuttajat ovat olleet monesti esillä opintojeni aikana, mutta niiden huoltamisesta ja kunnossapidosta ei ollut minkäänlaista teoreettista tai käytännön opetusta. Opinnäytetyön ansiosta opin uusina asioina taajuusmuuttajille tehtävistä kunnossapito tehtävistä ja taajuusmuuttajien elinkaari vaiheista.

Haluan kiittää koko Valio Oy Suonenjoen hillotehtaan kunnossapidon henkilöstöä. Opinnäytetyön mahdollistamisesta Tero Parviaista ja Jani Laaksoa. Hillotehtaalla opastuksesta, kehittävästä ideoista Mikko Karvosta ja opinnäytetyöhön annetusta materiaaleista Timo Salpakaria. Lisäksi haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajaa Pasi Lepistöä. Taajuusmuuttaja valmistajien yhteyshenkilöistä haluan kiittää Petteri Raiviota (ABB), Jarkko Hakalaa (Danfoss) ja Pertti Hännistä (OMRON). Suurin kiitos kumppanilleni, joka on motivoinut ja saanut minut jaksamaan töiden ohella työn kirjoittamista.

Kuopiossa 14.05.2020, päivitetty 2.06.2020

Perttu Huotari

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	7
2	VALIO OY SUONENJOEN HILLOTEHDAS	8
3	TAAJUUSMUUTTAJA	9
3.1	Tasasuuntaaja	10
3.2	DC-välipiiri.....	11
3.3	Vaihtosuuntaaja.....	12
3.4	Suorat verkkokytkeytyt taajuusmuuttajat	13
3.4.1	Syklokonvertteri	13
3.4.2	Matriisikonvertteri	15
4	KUNNOSSAPITO	16
4.1	Yleistä	16
4.1.1	Analysoiva kunnossapito	16
4.1.2	Ennakoiva kunnossapito	16
4.1.3	Huoltava kunnossapito	17
4.1.4	Korjaava kunnossapito	17
5	TAAJUUSMUUTTAJIEN ENNAKOIVA KUNNOSSAPITO	18
5.1	Yleistä.....	18
5.2	Jäähdytys.....	18
5.3	Puhdistus	20
5.4	Välipiirin kondensaattori	21
5.5	Vuotovirtamittaus	21
5.6	Tehopuolihohteet ja niiden mittaus	23
5.7	Liitokset	31
5.8	Varmuuskopiointi ja dokumentointi	33
5.9	Lämpökamerakuvaus	33
5.10	Kaapelit.....	34
5.11	Varastoinnin vaikutus	35
5.12	Kuormitettavuus	36
6	TAAJUUSMUUTTAJIEN TAKUUEHDOT	37
6.1	Taajuusmuuttajan elinkaaren vaiheet	38
7	HILLOTEHTAAN TAAJUUSMUUTTAJAT	41

7.1	Taajuusmuuttajat.....	41
8	KUSTANNUSTEN TARKASTELU	46
8.1	Kustannusten arviointia	46
8.2	Huollon toteuttaminen.....	48
9	HUOLTOSUUNNITELMA	50
9.1	Huoltosuunnitelma	50
10	ENNAKOIVAN KUNNOSSAPIDON TOTEUTUS.....	51
10.1	Huoltotarpeen ennakointi	51
10.2	Valmistajien tarjoamat palvelut.....	52
11	YHTEENVETO.....	54
	LÄHDELUETTELO.....	55
	LIITE 1: TAAJUUSMUUTTAJAN TARKASTUS DOKUMENTTI.....	58
	LIITE 2: VALMISTAJIEN MÄÄRÄAIKAISHUOLTO TAULUKOT	61

1 JOHDANTO

Taajuusmuuttajat ovat keskeisiä nykypäivän teollisuudessa ja niitä käytetään kaikkialla pyörivien moottorikuormien ohjauksessa. Tavoitteena on, että tuotanto saadaan pidettyä mahdollisimman korkealla ja huoltokustannukset mahdollisimman alhaisina. Kaiken sen toteutumiseksi on oleellista, että laitteet ja kuluvat osat pitää saada käytettyä optimaalisesti.

Taajuusmuuttajat ovat melko huoltovapaita laitteita, koska ne eivät sisällä paljoa mekaanisesti rasittuvia komponentteja. Siltikin niiden toimivan ja pitkäaikaisen elinkaaren aikana tarvitaan määrääkaikaisesti tapahtuvaa huoltoa ja valvontaa. Ennakoivaan kunnossapitoon sisältyvällä kunnonvalvonnalla ja määrääkaikaishuolloilla pyritään mahdollistamaan laitteiden pitkäaikainen käyttö.

Taajuusmuuttaja valmistajat tarjoavat asiakkailleen huoltopalveluita, joiden avulla taajuusmuuttajista saataisiin mahdollisimman paljon hyötyä. Työn tilaajalle oli tärkeää saada kokonaisvaltainen kartoitus tehtaan taajuusmuuttajista ja niiden tiedoista. Lisäksi missä määrin tehtaan taajuusmuuttajien huollot pystytään toteuttamaan ilman ulkopuolisia huoltopalveluita. Tässä työssä tarkastellaan taajuusmuuttajien ennakoivan kunnossapidon keskeisiä osa-alueita ja mitä toimenpiteitä kunnossapidon henkilöstö pystyy niistä tekemään.

2 VALIO OY SUONENJOEN HILLOTEHDAS

Valio on suomalainen yritys, joka on perustettu vuonna 1905. Sen omistaa 14 osuuskuntaa. Näistä osuuskunnista viidellä on hankintasopimus Valion kanssa. Kyseiset osuuskunnat omistavat yli 99 % Valio-konsernista (Valio Oy, 2019). Vuonna 1974 perustettu Valio Oy:n hillotehdas sijaitsee Suonenjoella. Alussa tehtaalla SOK jalosti kaalikäärleisiin kaalin lehtiä. Tehtaalla on käsitelty sieniä, kalaa ja pakastettu saunavastoja hotellien käyttöön. Nykyisin marjojen jalostuksessa ja hankinnassa tehdas on Suomen suurin. Suurin osa (noin 85 %) sen tuotannosta menee Valion omiin tuotteisiin, jogurttihin, maustettuihin rahkoihin ja muihin välipaloihin. Tehdas työllistää noin 100 henkilöä (Valio, 2019). Kuvassa 1 on ilmakuva hillotehtaasta.



Kuva 1. Valio Oy Suonenjoen hillotehdas (Valio, 2019).

3 TAAJUUSMUUTTAJA

Teollisuudessa käytetään paljon nostureita, kuljettimia ja työstökoneita, joita pyöritetään yleisesti oikosulkumoottoreilla. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden säätö voidaan toteuttaa perinteisesti muuttamalla moottorin napalukua tai jättämää (liukurengasmoottori käytössä), sekä käyttämällä variaattoria tai vaihteistoa. Kyseisillä keinoilla ongelmaksi muodostuu, joko käynnistystilanteessa liian nopea alkunopeus, mekaaninen kuluminen tai kallis ja monimutkainen kauko-ohjaus. Sopiva alkunopeus on tärkeää raskaissa kuljettimissa, hihnoissa ja siten tuotanto prosessien toimivuudessa. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 1997), (Toimi Keinänen P. K., 2007).

Taajuusmuuttajan avulla voidaan ratkaista ongelmat. Nimensä mukaisesti taajuusmuuttaja säätää oikosulkumoottorille tulevaa jännitettä ja taajuutta siten, että vääntömomentti saadaan pysymään samana, mutta pyörimisnopeutta pystytään muuttamaan. Pyörimisnopeuden säätöalue on pääsääntöisesti 0–50 Hz, kuitenkin sitä pystytään säätämään jopa 500 Hz asti. Moottorin sopivalla kiihdytyksellä ja hallitulla pysäytyksellä poistetaan mekaaniset rasittumiset, rikkoutumiset kuljetin- ja ruuvikäytöissä ja paineiskut putkistoissa. Oikosulkumoottorin käynnistysvirta saadaan paljon pienemmäksi, kuin suorassa käynnistyksessä ilman taajuusmuuttajaa. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 1997), (Toimi Keinänen P. K., 2007).

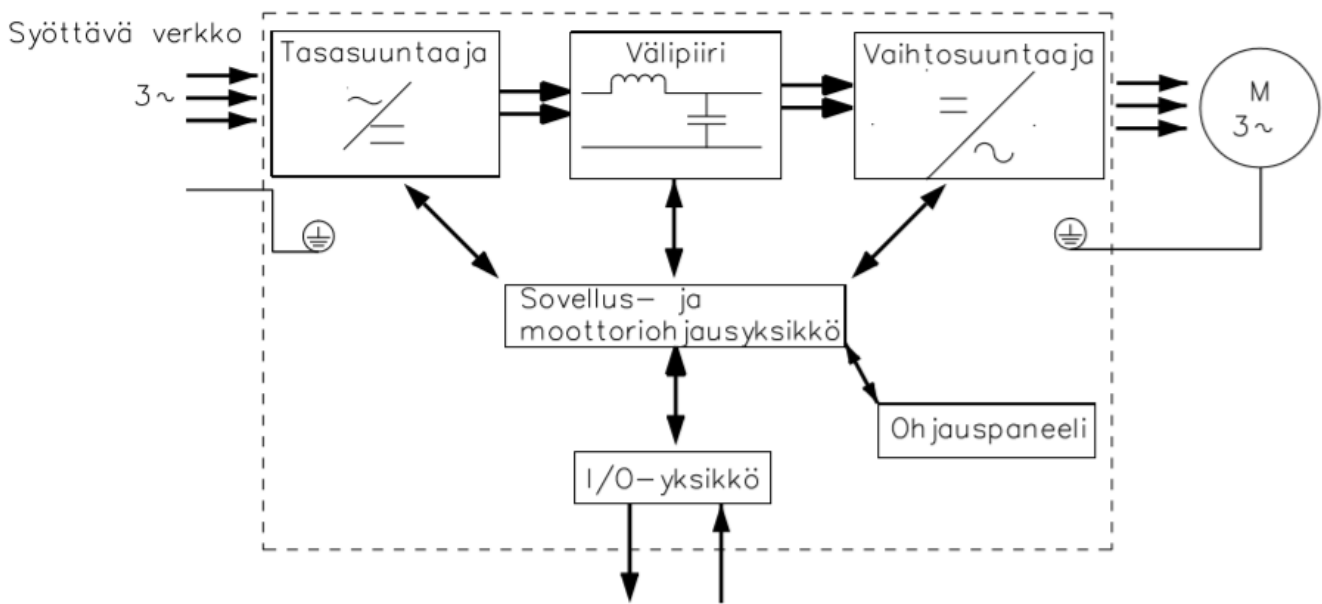
Taajuusmuuttajaa voidaan ohjata ja ohjelmoida paikallisesti ohjauspaneelilta tai kauko-ohjauksella valvomosta. Lisäksi ohjelmoitavuuden ansiosta taajuusmuuttajan tulot, lähdöt ja automaatiojärjestelmä (täysin ohjelmoitava PID-säädin) pystytään määrittämään halutusti (Markku J.J Mäkinen, 2009). Nykypäivänä vaaditaan yhä enemmän päästöjen ja energiankulutuksen vähentämistä. Taajuusmuuttajaa voidaan käyttää hyvin pienentämään moottorien pyörimisnopeutta. Esimerkiksi sovelluksissa, joissa on puhaltimia ja pumppuja, moottorin teho on verrannollinen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin. Täten moottorin tehon puolittamiseksi täytyy vain pienentää pyörimisnopeutta 50 Hz:stä 40 Hz:iin (20 %) (Danfoss A/S, 1992).

Taajuusmuuttajat voidaan eritellä välipiirillisiin (epäsuoriin) ja välipiirittömiin (suoriin) taajuusmuuttajiin (Juho Farin, 2009). Kuvassa 2 nähdään, millainen on välipiirillisen taajuusmuuttajan periaatteellinen lohkokaavio. Siinä on tasasuuntaaja, DC-välipiiri, vaihtosuuntaaja, sovellus- ja moottoriohjausyksikkö, I/O-yksikkö ja ohjauspaneeli (Markku J.J Mäkinen, 2009, s. 139).

Taajuusmuuttajakäyttöjen hyviä puolia:

1. Moottorin pyörimisnopeuden tarkka ja portaaton säätö
2. Usean moottorin ohjaaminen ja säätäminen yhdellä taajuusmuuttajalla
3. Huollon vähentyminen
4. Energiansäästö
5. Taajuusmuuttajan ohjelmoitavuus
6. Kauko-ohjausmahdollisuus
7. Käytön kannalta pieni moottorin käynnistysvirta ja alhaisempi verkon jännitteen alenema
8. Prosessin ja laitteiden kannalta parempi käynnistys ja pysähdys

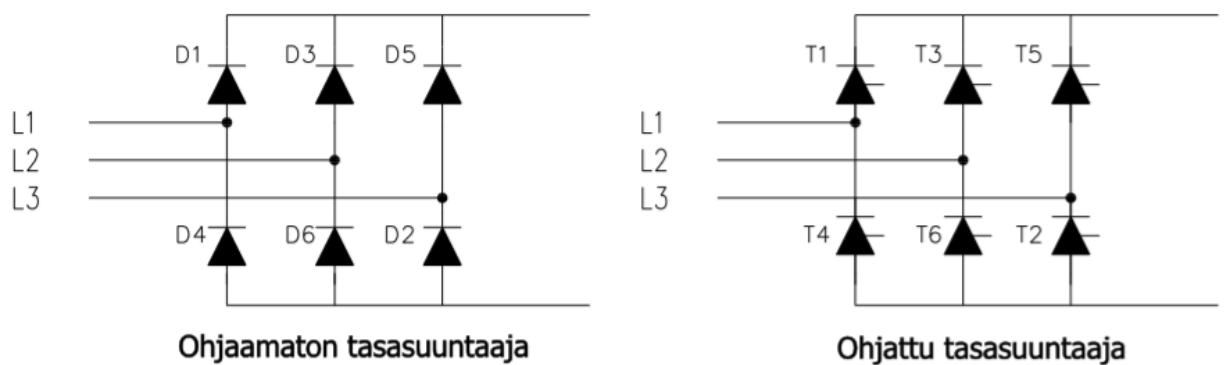
(Markku J.J Mäkinen, 2009, s. 139).



Kuva 2. Taajuudenmuuttajan periaatekaavio (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 1997),
(Markku J.J Mäkinen, 2009, s. 139).

3.1 Tasasuuntaaja

Tasasuuntaaja voi olla joko ohjaamaton tai ohjattu.

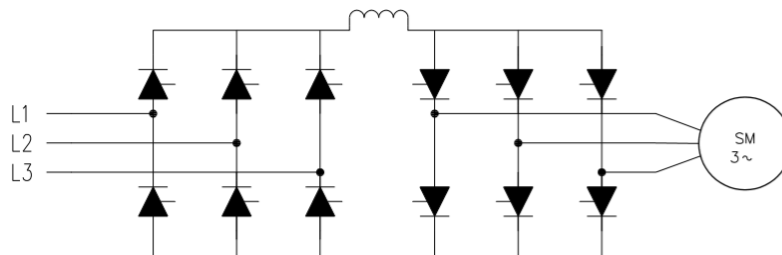


Kuva 3. Diodeilla ja tyristoreilla toteutetut 6-pulssitasasuuntaajat (Hietalahti, Tehoelektroniiikan perusteet, 2011, s. 41 ja 51).

Kuvassa 3 vasemmanpuoleinen on diodeista tehty ohjaamaton ja oikeanpuoleinen on tyristoreilla tehty ohjattu 3-vaiheinen 6-pulssitasasuuntaaja. Tasasuuntaajan avulla muutetaan syöttöverkon 3-vaiheinen vaihtojännite sykkiväksi tasajännitteeksi. Se voidaan toteuttaa, joko diodi, tyristori, IGBT, GTO-komponenteilla tai joidenkin edellä mainittujen yhdelmällä. Toteutustapaan vaikuttaa, halutaanko syöttää tehoa moottorilta takaisin verkkoon, kuten tuuli- tai vesivoimalakäytöissä (Hietalahti, Teollisuuden sähkökäytöt, 2013).

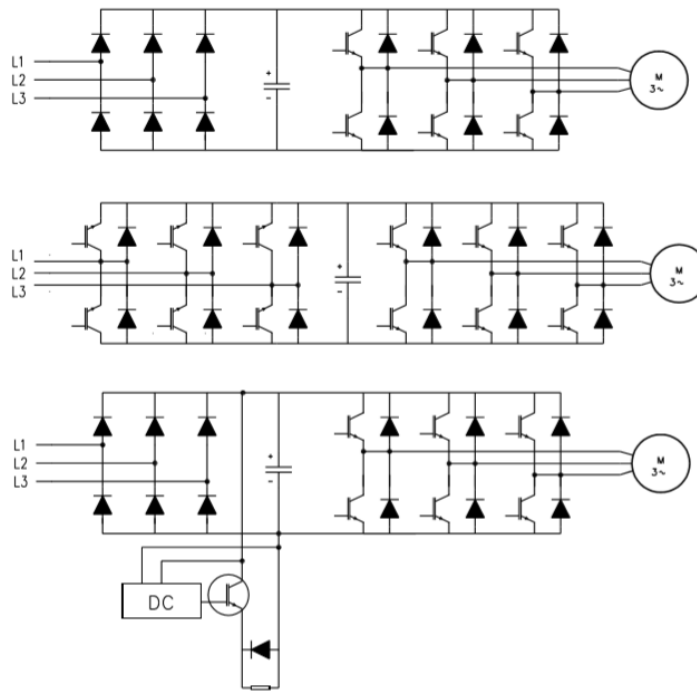
3.2 DC-välipiiri

Välipiiristä moottori saa virtaa vaihtosuuntaajan välityksellä. Välipiirin tarkoituksena on tasasähkön ohjaus ja/tai suodatus. Välipiiri voidaan toteuttaa kolmella erilaisella tavalla. Välipiiri voi sisältää suodatusta varten kondensaattorin, tasoituskuristimen tai molempien yhdistelmän (Harri Erkinheimo, 1997, s. 16). Virtavälipiiri taajuusmuuttajan CSI (current source inverter) toiminta perustuu kuristimen avulla välipiirin virran tasoittamiseen. Kuristin yhdistetään ohjattuun tasasuuntaajaan, joka on yleensä tehtynä tyristoreilla ja vaihtosuuntaaja tyristoreilla tai GTO-komponenteilla. Kuvassa 4 on esitettyinä virtavälipiiritaaajuusmuuttajan rakenne. Virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja voidaan toteuttaa myös IGBT-komponenteilla (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011, ss. 95-96).



Kuva 4. Konekomentoivan virtavälipiiritaaajuusmuuttajan rakenne, jonka käyttökohteina on tahtikonekäytöt (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011, s. 95).

Jännitevälipiiri taajuusmuuttajan VSI (voltage source inverter) toiminta perustuu kondensaattorin avulla tasasuunnatun jännitteen aaltoisuuden tasoittamiseen, jotta välipiirissä olisi vakio jännite vaihtosuuntaajalle. Jännitevälipiiriä voidaan käyttää taajuusmuuttajissa, joissa on diodisilta, aktiivinen verkkosilta tai jarrukatkojalla ja jarruvastuksella toteutettu ratkaisu, kuten kuvassa 5 on esitettyinä (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011, ss. 90-93). Välipiirissä voi olla myös kondensaattorin ja käämin yhdistelmä, eli LC-alipäästösuodatin. Kyseinen välipiiri voidaan yhdistää sekä ohjaamattomaan että ohjattuun tasasuuntaajaa (Harri Erkinheimo, 1997, s. 17).



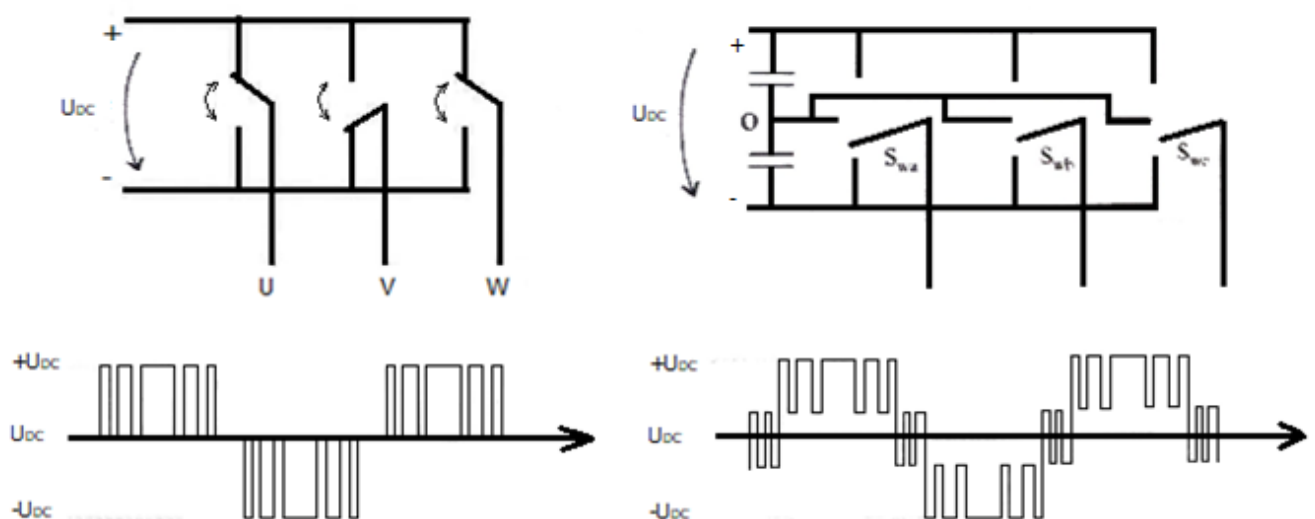
Kuva 5. Jännitevälipiirillisiä taajuusmuuttajarakenteita (Hietalahti, Teollisuuden sähkökäytöt, 2013, s. 148).

3.3 Vaihtosuuntaaja

Välipiirin toteutustavan mukaan vaihtosuuntaaja saa, joko:

- Muuttuvan tasavirran
- Muuttuvan tasajännitteen tai
- Vakio tasajännitteen

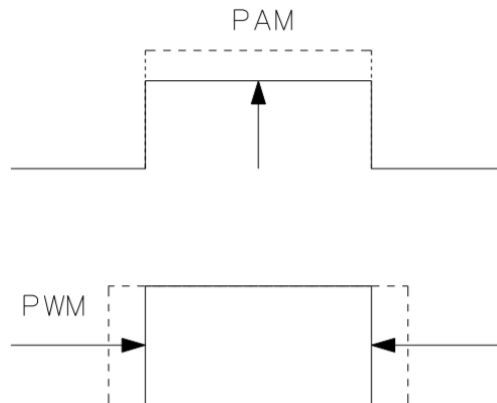
Vaihtosuuntaaja pystytään toteuttamaan tyristoreilla, GTR, MOSFET tai IGBT-transistoreilla. Vaihtosuuntaus voi olla kaksi tai kolmetasoinen. Kuvassa 6 nähdään, että vasemmanpuoleisessa kaksitasoi-



Kuva 6. Kaksi ja kolmetasoinen vaihtosuuntaajan periaatteet ja ulostulon pääjännite (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011, s. 95).

sessä vaihtosuuntauksessa saadaan 3 jännitetasoa ja oikeanpuoleisessa kolmetasoisessa vaihtosuuntauksessa saadaan 5 jännitetasoa. Kolmitasoisella vaihtosuuntauksella saadaan pääjännite lähemmäksi sinimuotoa.

Välipiirin tasajännite muutetaan vaihtojännitteeksi PAM tai PWM-moduloinnilla. Kuvassa 7 on esitetty niiden toimintaperiaatteet. PAM (Pulse Amplitude Modulation) ns. pulssin amplitudin modulaatio, joka toteutetaan ohjatulla tasasuuntaajalla tai välipiirin hakkurilla. PWM (Pulse Width Modulation) ns. pulssin leveyden modulaatio, joka toteutetaan katkomalla vakiosuuruisen tasajännitteen kestoa ja leveyttä vaihtelevan levyisiksi pulseiksi (Hietalahti, Tehoelektroniikan perusteet, 2011, ss. 87-94).



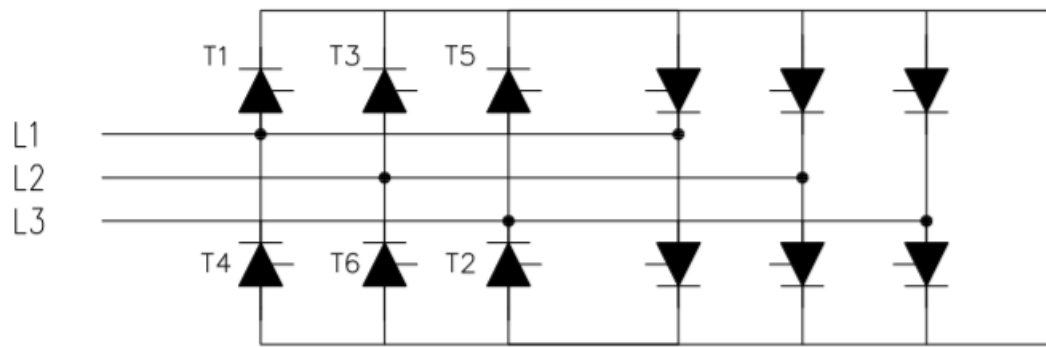
Kuva 7. Pulssin amplitudin ja leveyden modulointi (Danfoss A/S, 1992, s. 54).

3.4 Suorat verkkokytketyt taajuusmuuttajat

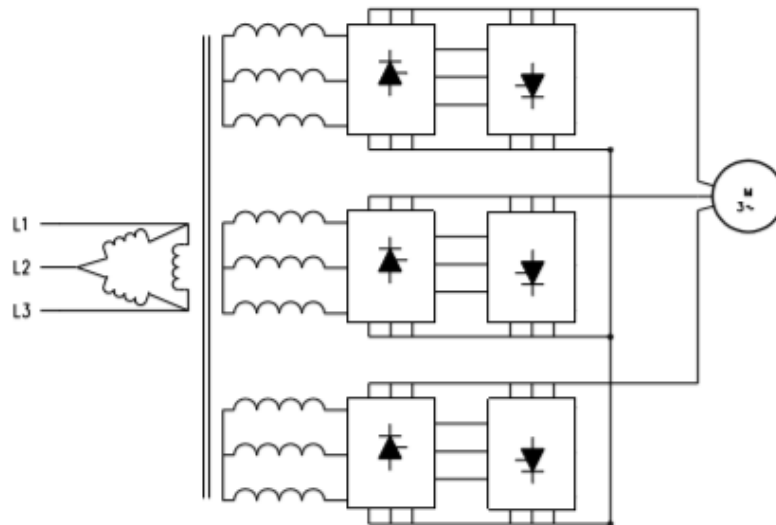
Käyttökohteen mukaan on myös taajuusmuuttajia, joissa ei ole välipiiriä ollenkaan. Näitä kutsutaan suoriksi taajuusmuuttajiksi, niitä ovat syklokonvertteri ja matriisikonvertteri. Tyypillisesti näitä käytetään hitaasti pyörivissä, suuritehoisissa käytöissä. Esimerkki käyttökohteita ovat laivojen potkurit, murskaimet, jauhimet ja valssaimet (Hietalahti, Tehoelektroniikan perusteet, 2011, s. 97).

3.4.1 Syklokonvertteri

Perinteisesti syklokonvertteri voidaan tehdä tyristorisilloista. Silloin tarvitaan kolme (jokaiselle vaiheelle oma) kuvan 8 mukaista vaihtosuuntausvaiheen kytkentää. Syklokonvertteria syötetään yleensä muuntajalla, jossa on kolme toisiokäämiä (kuva 9). Syklokonvertterin huonoina puolina ovat komponenttien hitaus ja muuttajan lähtötaajuuden rajoittuminen (Hietalahti, Tehoelektroniikan perusteet, 2011, ss. 96-98).



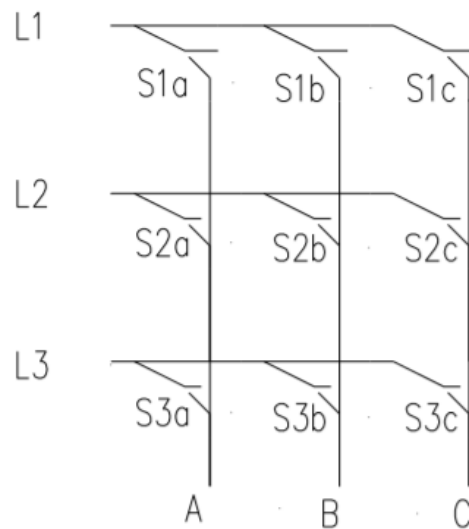
Kuva 8. Tyristorisilloista tehty yhden vaihtosuuntausvaiheen kytkentä syklokonvertterin varten (Hietalahti, Tehoelektroniikan perusteet, 2011, s. 97).



Kuva 9. Syklokonvertterin ja moottorin kytkentä.

3.4.2 Matriisikonvertteri

Matriisikonvertterissa mikä tahansa syöttövaihe pysyytään kytkemään haluttuun ulostulovaiheeseen, kuten kuvassa 10 näkyy. Käytännön matriisikonvertterissa tarvitaan molempiin suuntiin johtavia komponentteja. Tämän vuoksi sen on mahdollista toimia neljässä tehokvadrantissa. Tehon siirto on mahdollista molempiin suuntiin sekä syötön että kuorman puolelle sinimuotoisella virralla. Etuina matriisikonvertterissa on sen pieni koko, mikä edesauttaa integraalikonekäytöissä. Myös kaksi eri taajuista sähköverkkoa voidaan yhdistää suoraan matriisikonvertterin avulla. Huonona asiana on konvertterin jännitettä laskeva luonne käytettäessä standardi moottoreita (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011, ss. 99-101).

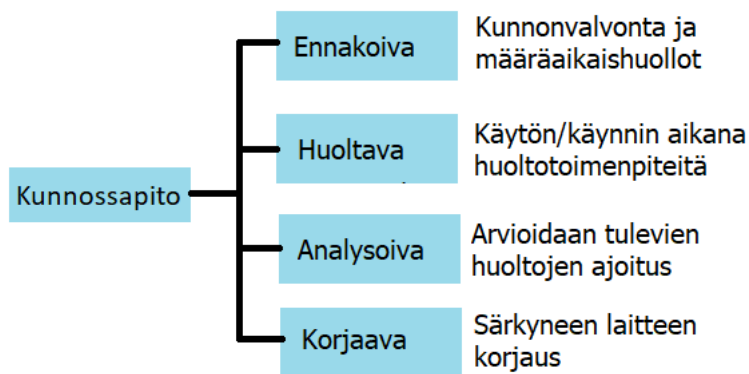


Kuva 10. Matriisikonvertterin toimintaperiaate (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011, s. 100).

4 KUNNOSSAPITO

4.1 Yleistä

Kunnossapidon keskeisin tehtävä on varmistaa tuotettavuuden keskeytyksetön toiminta. Kuitenkin tämä tulee tehdä siten, että huoltokustannukset saadaan pidettyä mahdollisimman alhaisina ja käytössä olevat laitteet ja kuluvat osat käytettäisiin optimaalisesti (Leskinen, 2012). Kunnossapitoon kuuluu mm. laitteen käyttöjakson aikaisen toiminnan, kustannusten ja kunnon seuranta sekä dokumentointi, työturvallisuuden kirjaukset ja lainsäädännön vaatimat merkinnät (Heinonkoski, 2013, ss. 11-15). Kunnossapito voidaan jakaa eri osa-alueisiin kuvan 11 mukaisesti.



Kuva 11. Kunnossapidon luokittelu (Leskinen, 2012).

4.1.1 Analysoiva kunnossapito

Käsitteinä analysoiva- ja huoltava kunnossapito eivät ole kaukana toisistaan, koska tietyillä analyysimenetelmillä pystytään havaitsemaan rakenteellisten perusvikojen lisäksi keinot niiden poistamiseen. Analysoivan kunnossapidon merkitys on kasvanut, koska nykyään pyritään juuri ajankohtaiseen ja turhia toimia vähentävään huoltotoimintaan (Leskinen, 2012). Analysoivassa kunnossapidossa seurataan laitteen kuntoa ja toimivuutta, siitä saatavilla tiedoilla tai erilaisia mittausmenetelmillä. Saadun tiedon perusteella voidaan arvioida hyvin tarkasti laitteen kunto ja tulevien huoltojen ajoitus (AEL, 2003).

4.1.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoiva kunnossapito on sitä, että laitetta huolletaan, jo ennen kuin siinä ilmenee mitään vian tai särkyneen merkkejä. Siihen sisältyy kunnonvalvonta ja määräaikaishuollot. Eli kunnossapito on ajoitettua ja osan töistä pystyy tekemään käyttöhenkilökunta. Täten voidaan saavuttaa laitteiston hyvä käytettävyyys ja alhaiset tuotannonmenetyksekustannukset (Leskinen, 2012). Kunnonvalvonta on osana ennakoivaa kunnossapitoa. Taulukossa 1 on esitettyä erilaisia kunnonvalvontamenetelmiä.

Taulukko 1. Kunnonvalvontamenetelmiä (Heinonkoski, 2013, s. 186).

1. Akustinen korrelaatiomittaus	18. Isotooppimenetelmä
2. Akustinen emissio	19. Laseretäisyysmittaus
3. Pinnoituksen paksuus	20. Vuodon mittaus
4. Tunkeumaväriin tarkastus	21. LPR-anturi
5. Pyörrevirta testaus	22. Magneettitulppa
6. Emissiospektroskooppi	23. Magneettinen partikkelimittaus
7. Endoskooppi	24. Mekaaninen kalibrointi
8. ER-anturi	25. Jäljennemenetelmä
9. Äänen mittaus	26. Termo- eli lämpötilagrafia
10. Optinen mittaus	27. Ultraäänivuotomittaus
11. Huokosreikien mittaus	28. Ultraäänivikamittaus
12. Öljyanalyysit	29. Tärinämittaus
13. Venymäliuskamittaus	30. Röntgen mittaus
14. Stroboskooppi	31. Lämpökameramittaus
15. Ferrografia	32. Painemittaus
16. Kovuuden mittaus	33. Virtausmittaus
17. Vetykenno	34. Lämpökuvaus

4.1.3 Huoltava kunnossapito

Huoltavassa kunnossapidossa laitteelle tehdään käytön/käynnin aikana huoltotoimenpiteitä, käyttöä keskeyttämättä. Nämä muodostuvat usein hyvinkin pienistä ja yksinkertaisista toimenpiteistä esim. öljyn lisäystä, kiristyksiä, yms. Tällä tavoin lisätään laitteen luotettavuutta, suorituskykyä ja turvallista toimintaa ja saadaan vähennettyä mahdollisesti laitteen suunnitteluvirheestä aiheutuvia ongelmia sekä kunnossapidon tarvetta. Keskeisenä huoltavassa kunnossapidossa on laitteissa käytönaikana havaittujen vikojen, tai ongelmien juurisyiden tutkiminen (Root Cause Failure Analysis). Sen avulla saadaan viat havaittua ja lisäksi, estetään vian uusiutuminen jatkossa tai vähennetään siitä aiheutuneet seuraamukset. (Leskinen, 2012)

4.1.4 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito huoltaa yleensä uudesta laitteesta yksittäisen rikkoutuneen komponentin tai täysin loppuun ajetun laitteen. Hyvinä puolina tässä toteutustavassa on, että kunnossapidon suunnittelukustannukset pysyvät alhaisina ja laitteet ja kuluvat osat saadaan käytettyä optimaalisesti. Tätä pyritään välttämään, koska siitä aiheutuvat korjauskustannukset ja tuotannon menetykset voivat olla suuria ja korjaukset tulee tehdä kovan kiireen ja paineen alla (Leskinen, 2012).

5 TAAJUUSMUUTTAJIEN ENNAKOIVA KUNNOSSAPITO

5.1 Yleistä

Taajuusmuuttajalle tehtävän ennakkohuollon tarkoituksena on, että sen jälkeen laite pystyy edelleen jatkamaan tavallista toimintaa, mutta entistä paremmin ja varmemmin (AEL, 2003, s. 1). Taajuusmuuttajien huoltoa ei pysty tekemään kuka tahansa. Taajuusmuuttajien huoltoon tarvitaan sähkötyöturvallisuuden vaatimusten takia sähköalan ammattihenkilö tai siihen erikoistunut asiantuntija (Heinonkoski, 2013, s. 208). Toiminnallisuuden takia taajuusmuuttajissa yhdistyy monenlaista eri tekniikkaa: mikroprosessori-, vahvavirta- ja puolijohdetekniikka. Taajuusmuuttajat ovat melko huoltovapaita, koska niissä on vähän liikkuvia/pyöriviä osia lukuun ottamatta jäädytykseen tarvittavaa puhallinta. Huoltotoimenpiteet pysytäänkin rajaamaan toimivan jäädytyksen varmistamiseen. Suurin osa kunnossapidon osalta tehtävistä toimenpiteistä ovat yksinkertaisia, mutta oleellisia laitteen pitkän käyttöajan varmistamiseksi (AEL, 2003).

Ennakkohuollon työtehtävinä on tarkastaa taajuusmuuttajasta:

1. Jäähdytys
2. Puhdistus
3. Kondensaattorit
4. Tehopuolijohteet
5. Liitokset
6. Varmuuskopiointi ja dokumentointi

5.2 Jäähdytys

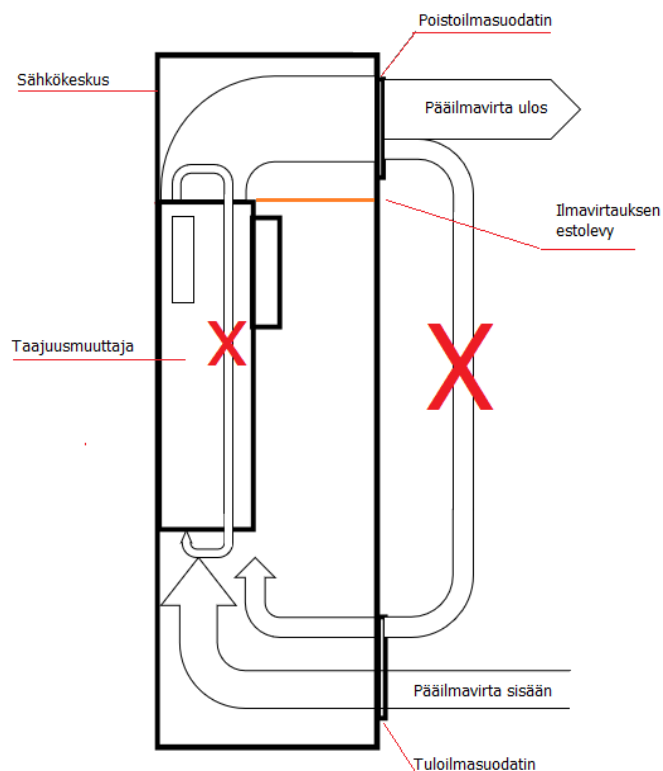
Taajuusmuuttajan toiminnan aikana syntyy lämpöhäviöitä. Vapaan tuuletusilman kulkemisen avulla estetään tehokkaasti kriittisten komponenttien ylikuumentuminen, siten niiden suuret lämpöhäviöt ja ennenaikainen kuluminen. Taajuusmuuttajassa käytettävän jäähdytyspuhaltimen laskennallinen elinikä on noin 50 000 h (noin 6 vuotta). Jäähdytys on keskeinen taajuusmuuttajan komponenttien käyttöiän kannalta. Etenkin kondensaattoreissa, koska niiden jännitekestoisuus riippuu lämpötilasta. Iso osa häviöistä aiheutuu myötävirroista ja suuntaajien tehopuolijohteiden kytkennöistä. Taajuusmuuttajan komponenttien jäähdyttäminen pystytään toteuttamaan ilmankierrolla, josta seuraa lämpimän ilman siirtäminen ylöspäin ja jäähdyttävän kylmän ilman otto alasuunnasta tilalle. Nestejäähdytystä käytetään suuri tehoisemmissa taajuusmuuttajakäytöissä, joissa tehoalue on noin. (1...10 MW). Jäähdytys-elementtien puhdistus voidaan tehdä harjaamalla ja imuroimalla tai paineilmalla (AEL, 2003, s. 4). Kuvassa 13 on jäähdytyksen toteutuksesta esimerkki, ABB:n ACS880 taajuusmuuttajan laiteopista.

Tulo- ja poistoilmasuodattimien vaihto kuuluu määräaikaiseen huoltoon. Ilmanvaihtosuodattimen kotelointiluokan vaihdolla jäähdytysilman laatua pystytään parantamaan. Huonona puolena tässä ratkaisussa on mahdollinen ilmavirran hidastuminen. Yhtenä keinona on ottaa puhaltimen mitoittamisessa huomioon suotimen kotelointiluokan vaihtuminen tai parantaa lämmön siirtämistä lisäpuhaltimella. On

varmistetta myös huoneen riittävä jäähdytys. Varsinkin, jos pienessä tilassa on monta suuri tehoista taajuusmuuttajaa. Jäähdytystä voi tehostaa myös poistamalla taajuusmuuttajamoduulista etukansi. Jäähdytysilman lämpötila ei saa olla yli + 40 °C (ABB, 2017, s. 57). Kuvassa 13 ilmavirran estolevyllä estetään lämpimän jäähdytysilman pääsy keskuksen sisältä takaisin laitteeseen. Huomioitavana asiana taajuusmuuttajia asentaessa (päällekkäin) on varmistaa niiden riittävä etäisyys toisiinsa. Mikäli taajuusmuuttajat on pakko sijoittaa perätysten, voidaan niiden väliin asennettavan metallilevyn avulla varmistaa alemman taajuusmuuttajan lämpimän poistoilman oikea suuntaus (AEL, 2003, s. 5). Kuvassa 12 on esimerkki monen taajuusmuuttajan sijoittelusta pieneen tilaan.



Kuva 12. Taajuusmuuttajien sijoittelu.



Kuva 13. ABB ACS880 laiteoppaan jäähdytysohjeet (ABB, 2017, s. 56).

5.3 Puhdistus

Ympäristön yleissiisteyden varmistaminen ja aistinvaraiset tarkastukset kuuluvat kunnossapidon perustyötehtäviin. Laitetta tutkittaessa tarkastetaan, kuuluuko laitteesta mitään epäolennaista/normaalista poikkeavaa ääntä. Mikäli näin on, tarkistetaan laitteen eri pintojen lämpötilat ja yleissilmäys, onko laitteen rungossa tai suojauksessa vaurioita. Liian suuri laitteen sisäinen lämpötila voi johtua vapaan tuuletusilman kulkemisen ongelmista. Kaikki taajuusmuuttajan läheisyydessä olevat epäolennaiset ja vaaralliset materiaalit tulee poistaa lähistöltä. Tärkeimpinä pöly ja roskat (AEL, 2003, s. 4). Hillotehtaalta otetusta kuvassa 14 nähdään, miten ajan saatossa tuulettimeen kertyy pölyä ja muuta roskaa.

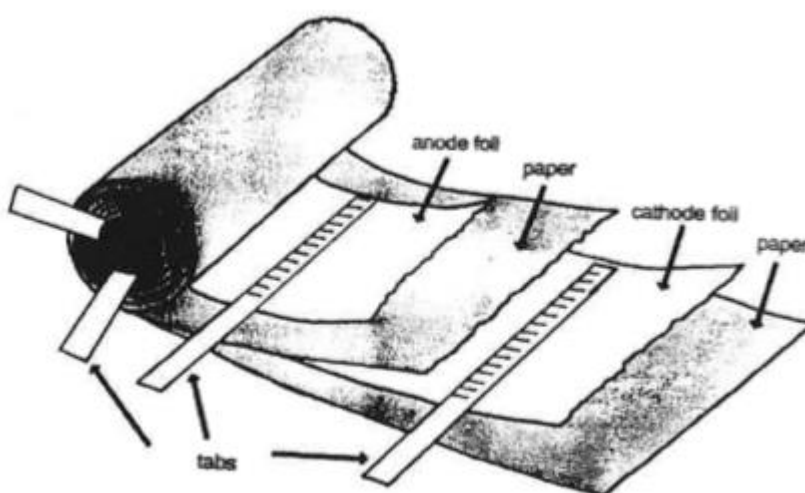
Staattisen sähkön purkaus (ESD =Electro Static Discharge) tulee huomioida, kun korjataan elektronikkaa tai käsitellään komponentteja/piirilevyjä. Täten pienennetään staattisen varauksen purkautumisesta aiheutuvaa turhaa huoltokäyntiä ja viankorjausta. Staattisen varauksen suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat ilmankosteus ja aine, jota käsitellään. Purkausta voidaan minimoida oikeilla työmenetelmillä, työvaatetuksella ja välttämällä elektronisten laitteiden turhaa koskemista. Taajuusmuuttajaa imuroitaessa, imurin tulisi olla ESD-luokiteltu. Paineilmaa käyttäessä on oltava huolellinen, ettei mitään roskaa mene laitteen sisälle. Paineilman on oltava puhdasta ja käyttöpaineen voimakkuus säädettävä tilanteen mukaan. Kemikaaleja tulisi käyttää taajuusmuuttajien puhdistuksessa harkiten (AEL, 2003, ss. 1-5).



Kuva 14. Lian ja pölyn kertymistä teollisuuden olosuhteissa.

5.4 Välipiirin kondensaattori

Alumiini elektrolyyttikondensaattori on ollut suosittu taajuusmuuttajan DC-välipiirissä, johtuen sen suuresta kapasiteetista ja halvasta hinnasta verrattuna muihin kondensaattoreihin. Huonoina puolina ovat sen herkkyys lämpötilalle ja taajuudelle (Karhumäki, 2015). Välipiirin kondensaattorin määrälläinen huoltaminen on taajuusmuuttajan käyttövarmuutta koskien tärkeää. Oikosulkuun joutuessa kondensaattori pystyy vahingottomaan taajuusmuuttajan muita komponentteja, kuten tasa- tai vaihtosuuntaajaa (AEL, 2003, s. 9). Muun tyyppisiin kondensaattoreihin verrattuna elektrolyyttikondensaattorissa on positiivisesti oksidoitu alumiinielektronikalvo. Elektrolyyttikondensaattorin sisällä olevaan paperiin on imeytynyt elektrodinestettä ja se on yhteydessä alumiinikalvoon (AEL, 2003, ss. 70-71). Elektrolyyttikondensaattorin rakenne on esitettyä kuvassa 15.



Kuva 15. Rakennokuva elektrolyyttikondensaattorista (RIFA).

5.5 Vuotovirtamittaus

Kuvassa 16 on esitettyä kondensaattorin sijaiskytkentä, jossa kondensaattorilla on tietyn suuruinen sisäinen resistanssi ESR (Equivalent Series Resistance), jota pyritään minimoimaan. ESR aiheuttaa kondensaattorissa lämpöhäviöitä, vuotovirtaa ja heikentää sen varauskykyä. Kondensaattorin sisäinen resistanssi muuttuu sen käyttöiän aikana.

Sisäinen resistanssi on:

$$R_{ESR} = R_{el} + R_{Al} + R_{ox}, \text{ jossa:}$$

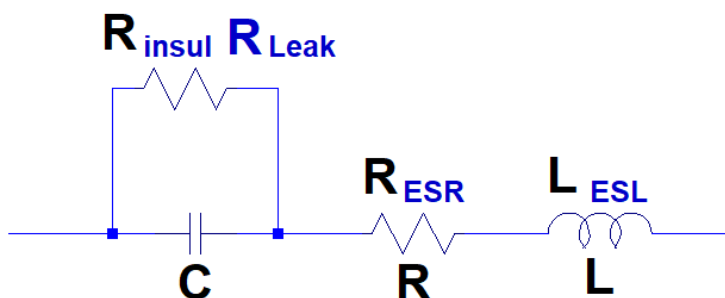
R_{ESR} = häviöresistanssi

R_{el} = elektrolyytin ja paperin resistanssi

R_{ox} = alumiinioksidin resistanssi

R_{Al} = liitinten, nauhojen ja kalvojen alumiiniresistanssi

Alumiini elektrolyyttikondensaattorien yleisiä vikatiloja ovat oikosulku, avoin piiri, vuotovirran lisääntyminen ja elektrolyytin höyrystyminen (Karhumäki, 2015). Taajuusmuuttajassa käytettävän elektrolyyttikondensaattorin laskennallinen elinikä on noin 100 000 h (11 vuotta). Elektrolyyttikondensaattorin elinikään vaikuttaa taajuusmuuttajan käyttöjaksot, kuormitus ja lämpötilat (AEL, 2003).



Kuva 16. Kondensaattorin sijaiskytkentä (Wikipedia, 2020).

Maksimivuotovirta on laskettavissa kaavalla 1.

Kaava 1. $I_{RL} = 0,003 * C_R * U_R + 4 \mu A$, jossa:

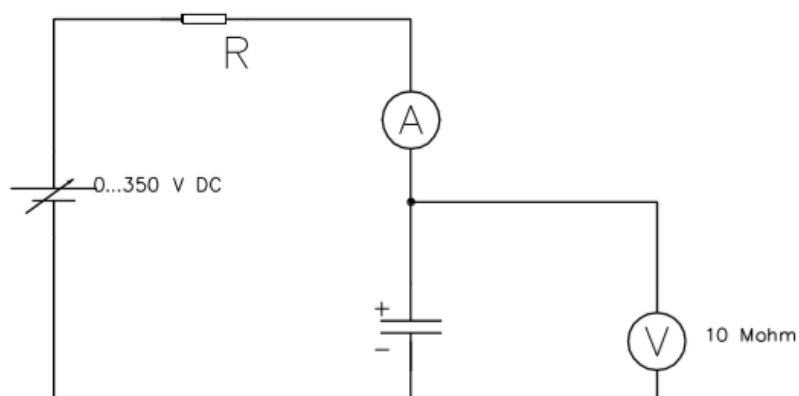
I_{RL} = maksimivuotovirta

C_R = nimelliskapasitanssi

U_R = nimellisjännite

(AEL, 2003, s. 10)

Kondensaattorin ominaisuudet ja toimintatoleranssit määrittää sen valmistaja. Ne perustuvat kansainvälisiin standardeihin, kuten *IEC 60384-4:2016* (IEC, 2016). Kondensaattorin valmistajan ilmoittamiin toleranssiarvoihin tulee verrata laskettua maksimivuotovirtaa. Toleranssin ylittyessä on harkittava kondensaattorin vaihtoa (AEL, 2003, s. 10). Vuotovirtamittaus voidaan tehdä kuvan 17 mukaisella kytkennällä. Mittausta varten on myös vuotovirtatestilaitteita. Vuotovirran suuruuteen vaikuttaa lämpötila. Vuotovirta on +80 °C:ssa neljä kertaa suurempi, kuin +20 °C:ssa mitattuna. Mittauksen aikana kondensaattorin tulee olla irti taajuusmuuttajan liitoksista. Mittausjännitteenä käytetään kondensaattorin nimellisjännitettä, jonka voi säätää säädettävällä jännitelähteellä. Kuvan 17 kytkennässä olevan vastuksen resistanssiarvo tulee valita mittausjännitteen mukaan. Mittausjännitteen ollessa alle 100 V tulee käyttää noin 100 Ω vastusta ja yli 100 V mittausjännitteellä 1000 Ω vastusta. Virranrajoitusvastusta on suositeltavaa käyttää etenkin, jos taajuusmuuttaja on ollut pitkän aikaa varastoituna. Mikäli mittavista kondensaattoreista neljännes on vioittunut ja taajuusmuuttaja on jo kymmenen vuotta vanha, on suositeltavaa vaihtaa kerralla koko kondensaattoriparisto (AEL, 2003, s. 11).



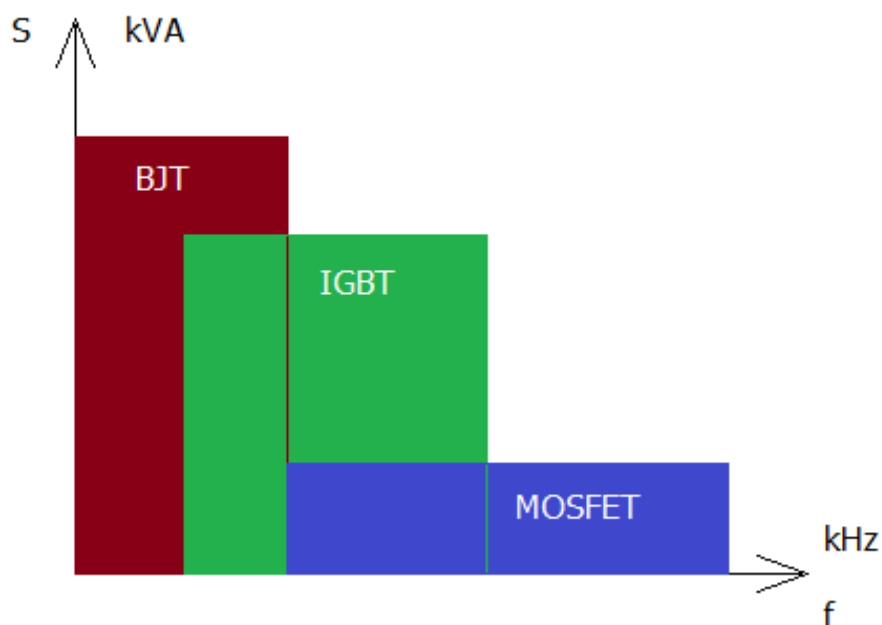
Kuva 17. Vuotovirtamittauksen kytkentämalli (AEL, 2003).

5.6 Tehopuolijohteet ja niiden mittaus

Taajuusmuuttajan ennakkohuollon kannalta, tehopuolijohteiden mittaaminen ei kannata. Kyseessä on aikaa vievää työtä ja puolijohteen vikaantuessa taajuusmuuttajan toiminta loppuu. Taajuusmuuttajassa olevia tehopuolijohteita ovat tehodiodit, GTO tyristorit, IGBT ja BJT (GTR) tehotransistorit. Yleensä vikaantuessaan tehopuolijohteet oikosulkevat päävirtapiirin liittimistään. Silloin vian voi todeta yleismittarilla diodikoestus- tai ohmialueella. Toinen vikaantuminen on vuotovirran kasvu tai läpilyönti. Siinä tilanteessa yleismittarilla tehtävä mittaus ei välttämättä näytä vikaa ollenkaan. Vian paljastamiseksi tarvitaan eristysresistanssimittaus. Tällöin läpilyönti havaitaan helposti ja kasvanut vuotovirta ilmenee pienentyneenä resistanssina (kun käytetään samantyyppistä ehjää laitetta referenssinä). Komponenttien sisäisten ohjauspiirivikojen paikantamiseen tarvitaan oskilloskooppia. Mikäli tehopuolijohde komponenteista ei löydy vikaa, on se yleensä silloin ohjauspiirissä. Silloin ratkaisuna on taajuusmuuttajan piirikortin vaihto uuteen (AEL, 2003). Taulukossa 2 on eriteltynä taajuusmuuttajissa käytettävien tehopuolijohteiden erilaiset ominaisuudet ja kuvassa 18 teho ja taajuusalueet.

Taulukko 2. Taajuusmuuttajan tehopuolijohteiden ominaisuudet (Danfoss A/S, 1992, s. 56)

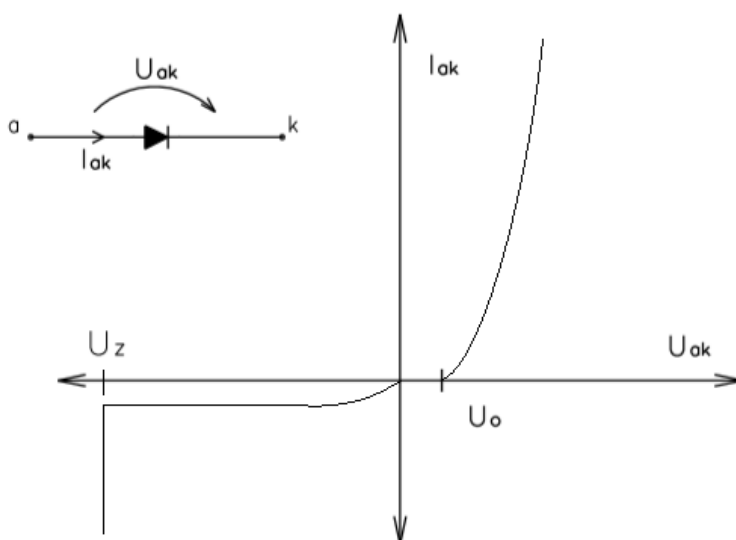
Puolijohde	MOSFET	IGBT	BJT
Johtavuus ominaisuudet			
<i>Virranjohtavuus</i>	<i>Pieni</i>	<i>Suuri</i>	<i>Suuri</i>
<i>Häviöt</i>	<i>Suuret</i>	<i>Pienet</i>	<i>Pienet</i>
Estojännite			
<i>Yläraja</i>	<i>Matala</i>	<i>Korkea</i>	<i>Keskimääräinen</i>
Kytkeytymisominaisuudet			
<i>Syttymisaika</i>	<i>Lyhyt</i>	<i>Keskimääräinen</i>	<i>Keskimääräinen</i>
<i>Sammumisaika</i>	<i>Lyhyt</i>	<i>Keskimääräinen</i>	<i>Lyhyt</i>
<i>Häviöt</i>	<i>Pienet</i>	<i>Keskimääräiset</i>	<i>Suuret</i>
Ohjausominaisuudet			
<i>Teho</i>	<i>Pieni</i>	<i>Pieni</i>	<i>Suuri</i>
<i>Suure</i>	<i>Jännite</i>	<i>Jännite</i>	<i>Virta</i>



Kuva 18. Taajuusmuuttajien tehopuolihoitteiden teho ja taajuusalueet (AEL, 2003).

Diodi

Diodi on sähkötekniikassa toiminnallisuudeltaan "*takaiskuventtiili*" komponentti, joka päästää sähkövirtaa normaalissa toiminnassa vain yhteen suuntaan ja estää sen paluun takaisin. Kuvassa 19 on esitetty diodin ominaisuuskäyrä funktiona. Funktion vasen osa kuvaa diodin estotilaa ja oikea osa Kuvassa diodin päästötilaa. U_0 on diodin kynnysjännite, jonka saavutettua virta alkaa vasta kulkea diodin läpi. U_z on läpilyöntijännite, joka saavutetaan tilanteessa, jossa estosuuntaista jännitettä kasvatetaan liian suureksi ja diodissa tapahtuu vyöryilmiö (Hietalahti, Tehoelektroniikan perusteet, 2011).



Kuva 19. Diodin ominaiskäyrä (Hietalahti, Tehoelektroniikan perusteet, 2011, s. 8).

Diodin mittaus

Diodin voi todeta ehjäksi, kun sille tehtävä resistanssimittaustulos poikkeaa selkeästi oikosulusta. Mittauksessa yleismittarin positiivinen napa kytketään diodin anodiin ja negatiivinen napa katodiin. Kun mittausta tehdään yleismittarin diodialueella, päästöjännite on anodilta katodille (kuva 20).

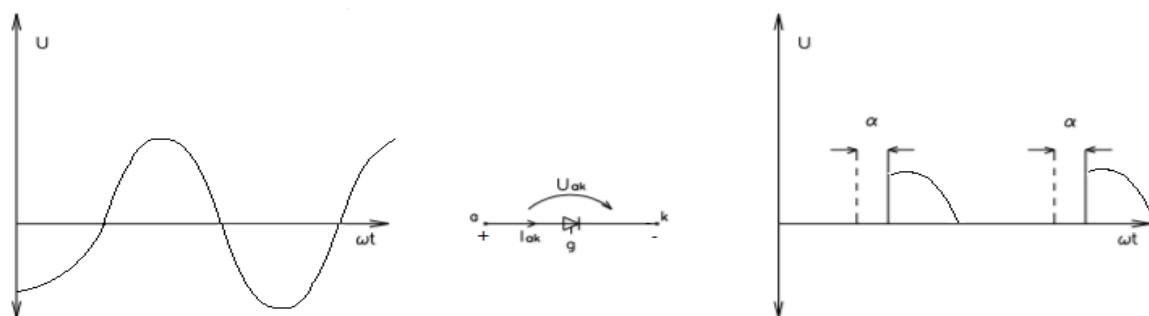
Kuva 20. Diodin kunnon mittaus (Fluke, 2020)



Diodin mittausanalyysi:

Ehjän diodin päästösuuntainen mitattu resistanssi pitäisi olla $1000\ \Omega$:sta $10\ \text{M}\Omega$:iin ja estosuuntainen mitattu resistanssi pitäisi näyttää OL (ääretön vastus) yleismittarissa. Diodi on viallinen, jos mittauslukemat ovat samoja molemmista suunnista mitattuina. Kuvan 20 vas. päästöjännitemittauksessa ehjän (silikonista valmistetun) diodin jänniteputoaman arvo on $0,5$:stä $0,8\ \text{V}$:iin. Germaniumista tehdyn diodin jänniteputoaman arvo on $0,2$:sta $0,3\ \text{V}$:iin. Kun kuvan 20 oik. ehjän diodin estojännitemittauksessa yleismittari näyttää OL, se indikoi, että diodi vastaa mitattaessa avointa kytkintä. Rikkoutunut diodi ei salli virran kulkua kummastakaan suunnasta ja yleismittarin mittaustulos näyttää OL molemmissa kuvan 20 tapauksissa. Mikäli diodi on oikosulussa, sen jänniteputoaman arvo on noin $0,4\ \text{V}$ molempiin suuntiin (Fluke, 2020).

Tyristori



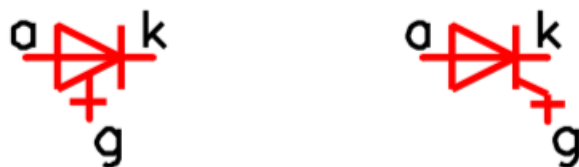
Kuva 21. Tyristorin toimintaperiaate (Harri Erkinheimo, 1997).

Tyristori on käytännössä diodi, jonka virran kulkua anodilta-katodille säädellään hilan (Gate) avulla. Kuvassa 21 on esitettyä tyristorin toimintaperiaate. Tyristoreilla toteutetun tasasuuntaajan avulla voidaan siirtää tehoa verkkoon tai verkosta sähkökäyttöön. Verkkokommutoiva tasasuuntaaja muodostetaan korvaamalla 6-pulssisen tasasuuntaajan diodit tyristoreilla. Jotta tyristori saadaan johtavaan tilaan, tarvitaan liipaisupulssi. Täten voidaan viivyttää vaihekulmaa, jossa tyristorin johtotila alkaa. Kun syttymiskulmaa viivytetään yli 90° , tasajännitevälipiirin jännitteestä tulee negatiivinen. Tämä mahdollistaa tehon takaisinsyötön tasajännitevälipiiristä syöttävään verkkoon. Hilassa oleva viesti on tyristorin ohjausviesti, jonka tunnus on α . Se on aikaviive, joka ilmoitetaan asteina. Asteet osoittavat sen aikaviiveen, jonka kuluttua tyristori muuttuu johtuvaan tilaan. Kun sytytyskulma on $0^\circ \dots 90^\circ$, tyristorikytkentää käytetään tasasuuntaajana ja vaihtosuuntaajana kulman ollessa $90^\circ \dots 300^\circ$ (Harri Erkinheimo, 1997).

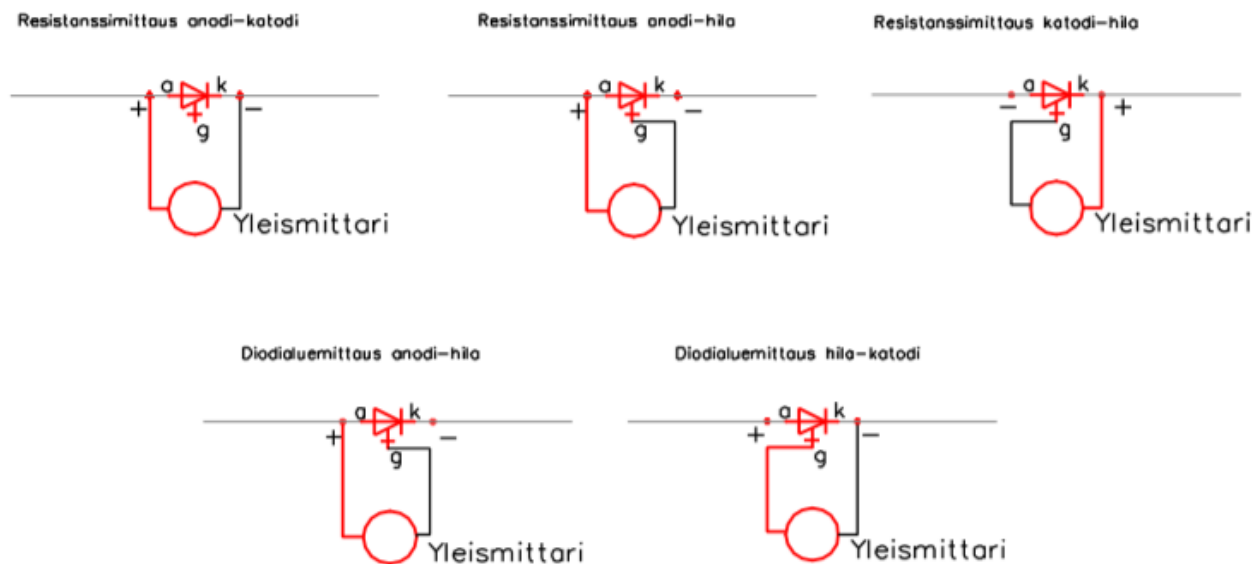
Tyristorin kunto voidaan määrittää resistanssimittauksella. Se tulee ensin irrottaa liitoksistaan. Kuvan 23 mukaisilla resistanssimittauksilla tyristori on kunnossa, kun anodi-katodi, anodi-hila ja katodi-hila mittaussivien resistanssiarvot poikkeavat oikosulusta. Kuvan 23 diodialuemittauksien perusteella tyristori on ehjä, jos mittausväliit käyttäytyvät kuin diodi, jonka päästöjännite on n. 0,5 V. GTO-tyristorin vuotovirtaa voidaan myös mitata. Vuotovirtamittauksen tekemiseen tarvitaan virtamittari ja tasajännitelähde (4,5 V), joka kytketään estosuuntaan katodi-hila välille. Mittausjännite saadaan kytkemällä vaihtosuuntaajaan apusähköt (-14 V). Vuotovirran tulee olla ehjällä tyristorilla alle 100 mA (AEL, 2003, s. 6).

GTO-tyristori

GTO-tyristori saadaan syttymään ja sammumaan hilaohjauksella. Kun hilalle g annetaan voimakas negatiivinen hilajännitepulssi, saadaan sammuminen toteutettua. Sammumisessa päävirtapiiriin luodaan tyhjennysalue. GTO-tyristorien rakenteen takia sen virtakestoisuus ei ole samaa luokkaa kuin tavallisen tyristorin. Käyttökohteina GTO-tyristorille on suurjännitteiset teollisuuden 1 ... 10 MW ja alle 1 kHz moottorikäyttöjen taajuusmuuttajat (Hietalahti, Tehoelektroniikan perusteet, 2011, ss. 22-23). Kuvassa 22 on GTO-tyristorin piirrosmerkkejä.



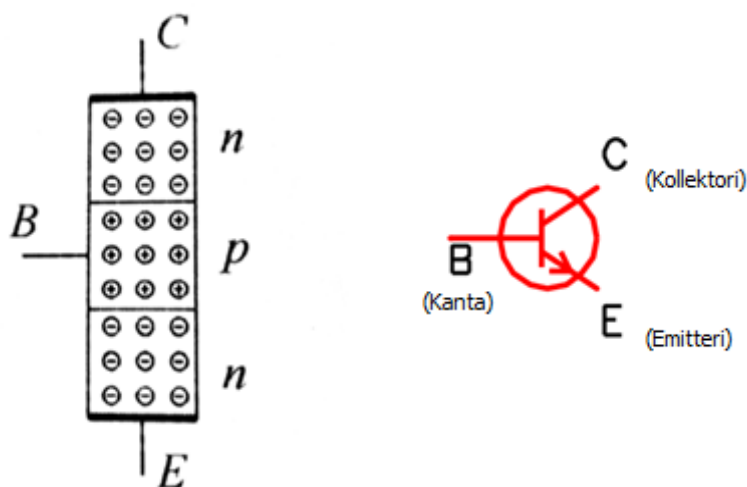
Kuva 22. GTO-tyristorin piirrosmerkkejä (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011, s. 22).



Kuva 23. GTO-tyristorille tehtäviä kuntomittauksia (AEL, 2003).

Tehotransistori GTR (BJT)

Kytkenä käytettävä GTR tehotransistori (Bipolar Junction Transistor) bipolaaritransistori on ohjattu puolijohdekomponentti. Kuvassa 24 on esitettyä NPN-transistorin rakenne. On olemassa myös PNP-transistori, jonka erona on n- ja p-puolijohdeiden eri paikat. Lisäksi sen piirrosmerkissä nuoli on vastakkaisuuntainen.



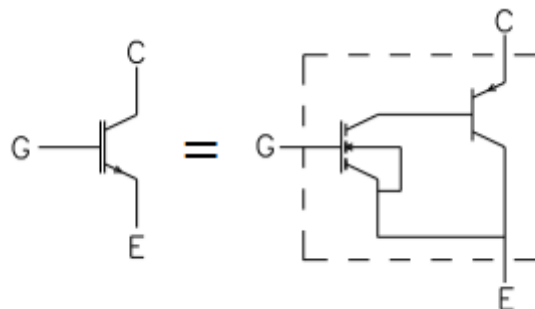
Kuva 24. NPN-transistori rakenne ja piirrosmerkki (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011).

Tehotransistorin mittaus

Transistorin kunto voidaan määrittää resistanssi mittauksella. Se tulee ensin irrottaa liitoksistaan. Kollektoriin (C) kiinnitetään mittarin + napa ja - napa tarvittaessa emitterin (E) tai kantaan (B) (kuva 24). Ehjän transistorin kollektorin ja emitterin sekä kollektorin ja kannan välinen mitattu resistanssiarvo tulee poiketa oikosulusta vähintään 10 k Ω . Edellä mainitut mittauspisteet voi vielä mitata yleismittarin diodialueella. Transistorin kollektori vastaa diodin katodia. Tällöin mitattaessa emitteri ja kollektori sekä kanta ja kollektori välit käyttäytyvät kuin diodi. Mikäli niiden päästöjännitteen arvo on 0,3:stä 0,5 V arvoon, transistori on ehjä (AEL, 2003).

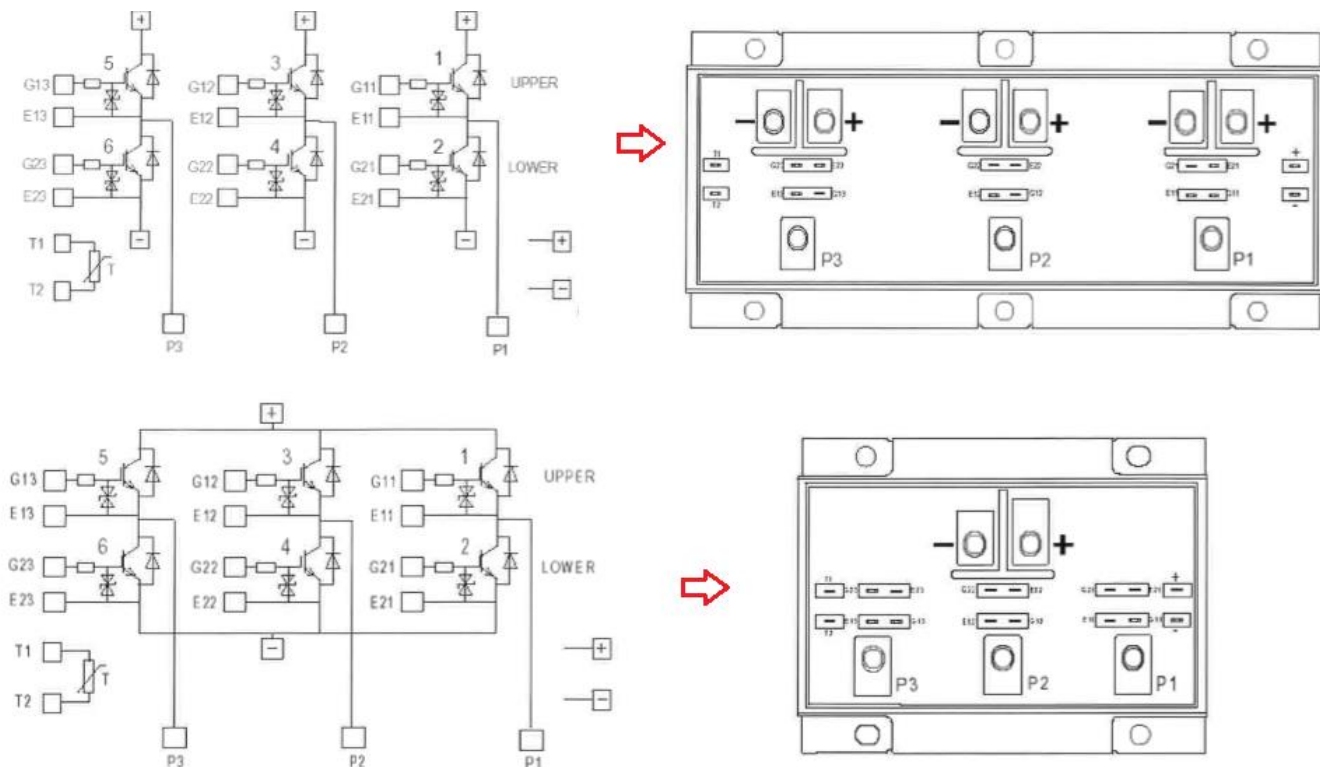
IGBT

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) on yhdistelmä komponentti, jossa periaatteessa yhdistyy kanavatransistori ja bipolaaritransistori (kuva 25). IGBT:n ohjaus tapahtuu sen MOSFET osan hilalla G. Sen avulla ohjataan PNP-transistori kantavirtaa (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011, s. 17).



Kuva 25. IGBT:n piirrosmerkki ja rakenne (Hietalahti, Tehoelektronikan perusteet, 2011, s. 17).

IGBT:n mittaus



Kuva 26. IGBT moduuli tyyppiä LPP ja MPP (AEL, 2003, s. 10).

Kuvassa 26 on ylhäällä IGBT moduuli tyyppiä LPP ja alhaalla moduuli tyyppiä MPP. Kuvassa 27 on kuvailtu IGBT moduulille tehtäviä mittauksia. Mikäli kuvan 26 moduuleille yleismittarilla tehtävät mittaukset antavat kuvan 27 mukaisia tuloksia, on puolijohdemoduuli ehjä. Muut taajuusmuuttaja valmistajat voivat poiketa kuvan 26 mukaisista moduulin liitin merkinnöistä.

IGBT:n mittaus, (ABB ACS600)

Kollektori-emitteri resistanssimittaus

Mittaus tehdään yleismittarin dioditestaus-alueella

+ Mittapää	- Mittapää	Näyttö
+	P1	OL
+	P2	OL
+	P3	OL
P1	-	OL
P2	-	OL
P3	-	OL

Diodien testaus

Mittaus tehdään yleismittarin dioditestaus-alueella

+ Mittapää	- Mittapää	Näyttö
P1	+	≈ 0,35 V
P2	+	≈ 0,35 V
P3	+	≈ 0,35 V
-	P1	≈ 0,35 V
-	P2	≈ 0,35 V
-	P3	≈ 0,35 V

(Apu) emittereiden mittaus

Mittaus tehdään yleismittarin resistanssimittaus-alueella

+ Mittapää	- Mittapää	Näyttö
E11	P1	≈ 0 Ω
E21	P2	≈ 0 Ω
E12	P3	≈ 0 Ω
E22	-	≈ 0 Ω
E13	-	≈ 0 Ω
E23	-	≈ 0 Ω

Hilojen mittaus

Mittaus tehdään yleismittarin resistanssimittaus-alueella

+ Mittapää	- Mittapää	Näyttö	
G11	E11	OL	OL (varaa kapasitanssia)
G21	E21	OL	OL (varaa kapasitanssia)
G12	E12	OL	OL (varaa kapasitanssia)
G22	E22	OL	OL (varaa kapasitanssia)
G13	E13	OL	OL (varaa kapasitanssia)
G23	E23	OL	OL (varaa kapasitanssia)

Termistorin mittaus

Mittaus tehdään yleismittarin resistanssimittaus-alueella

+ Mittapää	- Mittapää	Näyttö
T1	T2	10 kΩ (± 10 %)

Mittaukset runkoa vasten

Mittaus tehdään yleismittarin resistanssimittaus-alueella

+ Mittapää	- Mittapää	Näyttö	
T1	Runko	OL	
T2	Runko	OL	
+	(apusähkö)	Runko	OL
-	(apusähkö)	Runko	OL
P1	Runko	OL	
P2	Runko	OL	
P3	Runko	OL	

Kuva 27. IGBT:n mittaus (AEL, 2003).

5.7 Liitokset

Taajuusmuuttajassa olevat liitokset ovat joko johto- tai kiskoliitoksia. Ruuviliitokset ovat johtoliitok-
sista yleisimpiä. Muina vaihtoehtoina on puristus ja juotosliitokset. Vanhoista taajuusmuuttajista saat-
taa löytyä juottoliitoksia, mutta ne ovat harvinaisia. Puristusliitoksessa johdin tai johdinmatto on pu-
ristettu määrättyyn liittimeen, joka kytketään vastakappaleeseen. Riviliitintä käytetään pääasiassa
pienitehoisissa päävirtapiireissä ja ohjauvirtapiireissä, jotka ovat pienivirtaisia. Pientehoisissa taajuus-
muuttajissa sitä syöttävän ja moottorille lähtevän kaapelin liitokset tehdään yleensä puristus/pulttiii-
toksella. Pulttiliitoksessa johtimen päähän puristetaan kaapelikenkä, joka liitetään pulttiliitoksella joh-
dinkiskoon. Kiskoliitoksia käytetään suuritehoisissa taajuusmuuttajissa ja linjakäyttö moduuleissa. Li-
itoksen kuntoa voi tarkastaa sen ollessa jännitteellinen tai jännitteetön (AEL, 2003, ss. 13-16). Riviii-
tosten kuntoa kuuluu tarkastaa määräjain. Kuvassa 28 on lueteltuna taajuusmuuttajan liitoksille teh-
tävät määräaikaistarkastus toimenpiteet.

Jännitteinen liitos

Silmämääräinen tarkastus
Pintalämpötilan mittaus:
Lämpökameralla tai
infrapunalämpömittarilla

Jännitteetön liitos

Silmämääräinen tarkastus
Riviliitinliitoksille vetokoe

Kisko/kaapelikenkäliitoksille kireyskoe
momenttiavaimella harkinnan mukaan

Mekaanisille liitoksille kireuskoe
momenttiavaimella harkinnan mukaan

Kuva 28. Liitokseen tehtävät toimenpiteet eri käyttötilanteen mukaan (AEL, 2003, s. 73).

Taajuusmuuttajien valmistajat ilmoittavat datalehdissä laitteilleen tehtävät mekaanisten liitoksien kiireydet. Kuvissa 29 ja 30 on esimerkkejä taajuusmuuttaja valmistajien ilmoittamista liitosten kiristysmomenteista.

10.5 Liitinten kiristysmomentit

Taulukko 30: Liitinten kiristysmomentit, Nm (lb-in.)

Kokoluokka	Taajuusmuuttajan tyyppi	Verkko- ja moottoriliittimet	Kaapelin suojavaipan maadoituspuristimet	Maadoitusjohtimen maadoituspuristimet
MR4	0003 2 - 0012 2 0003 5 - 0012 5	0,5–0,6 (4,5–5,3)	1,5 (13,3)	2 (17,7)
MR5	0018 2 - 0031 2 0016 5 - 0031 5 0004 6 - 0011 6	1,2–1,5 (10,6–13,3)	1,5 (13,3)	2 (17,7)
MR6	0048 2 - 0062 2 0038 5 - 0061 5 0018 6 - 0034 6 0007 7 - 0034 7	10 (88,5)	1,5 (13,3)	2 (17,7)
MR7	0075 2 - 0105 2 0072 5 - 0105 5 0041 6 - 0062 6 0041 7 - 0062 7	8 ⁽¹⁾ /5,6 ⁽²⁾ (70,8 ⁽¹⁾ /49,6 ⁽²⁾)	1,5 (13,3)	8 ⁽¹⁾ /5,6 ⁽²⁾ (70,8 ⁽¹⁾ /49,6 ⁽²⁾)

Kuva 29. VACON-100 sarjan kiristysmomentit (Danfoss, 2019, s. 113).

Runko	Kaapelien läpiviennit		L1, L2, L3, T1/U, T2/V, T3/W						Maadoitusliittimet	
	kpl	Ø *	Johtimen koko mm ²	T (johtimen kiinnitysruuvi)		l mm	T (liittimen mutteri)		Johtimen maksimikoko mm ²	T Nm
				M...	Nm		M...	Nm		
R1	2	17	0,75...6	-	0,6	8	-	-	25	1,8
R2	2	17	0,75...6	-	0,6	8	-	-	25	1,8
R3	2	21	0,5...16	-	1,7	10	-	-	25	1,8
R4	2	24	0,5...35	-	3,3	18	-	-	25	2,9
R5	2	32	6...70	M8	15	18	-	-	35	2,9
R6	2	45	25...150	M10	30	30	-	-	185	9,8
R7	2	54	95...240 (25...150**)	M10	40 (30*)	30	-	-	185	9,8
R8	4	45	2 × (50...150)	M10	40	30	M10	24	2 × 185	9,8
R9	4	54	2 × (95...240)	M12	70	30	M10	24	2 × 185	9,8

Runko	Kaapelien läpiviennit		Liittimet R-, R+/UDC+ ja UDC-					
	kpl	Ø *	Johtimen koko mm ²	T (johtimen kiinnitysruuvi)		l mm	T (liittimen mutteri)	
				M...	Nm		M...	Nm
R1	1	17	0,75...6	-	0,6	8	-	-
R2	1	17	0,75...6	-	0,6	8	-	-
R3	1	21	0,5...16	-	1,7	10	-	-
R4	1	24	0,5...35	-	3,3	18	-	-
R5	1	32	6...70	M8	15	18	-	-
R6	1	35	25...95	M8	20	30	-	-
R7	1	43	25...150	M10	30	30	-	-
R8	2	45	2 × (50...150)	M10	40	30	M8	24
R9	2	54	2 × (95...240)	M12	70	30	M8	24

Kuva 30. ABB ACS880 kiristysmomentit ja johtimen koot (ABB, 2017, s. 195).

5.8 Varmuuskopiointi ja dokumentointi

Taajuusmuuttajien parametrien kopioiminen on ennakoivana huoltotoimenpiteenä tärkeää. Se tulee tehdä siltä varalta, jos taajuusmuuttaja äkillisesti särkyy ja joudutaan vaihtamaan uusi laite. Siinä vaiheessa olisi mahdotonta muistaa, mitkä olivat kyseiseen käyttökohteeseen asetetut parametrit, ja voi aiheutua turhia kuluja ja työajanmenetystä. Parametrien kopiointi on kertaluonteinen ennakoivuoltotoimenpide, ellei niitä jouduta muuttamaan käytön aikana. Vikahistoriasta saa tärkeää tietoa mahdollisesta särkymiseen johtaneista syistä. Pidemmällä aikavälillä vika historian tallennuksen ansiosta saadaan analysoivan kunnossapidon kehittämiseen materiaalia (AEL, 2003, s. 18). Käytettävien taajuusmuuttajien dokumentointiin kuuluu laitteen perustietojen talteen ottaminen. Tärkeimpiä tietoja ovat valmistus- ja käyttöönottoajankohta. Täten pystytään ajoittamaan taajuusmuuttajalle tehtävä määräaikaishuolto ja siihen kuuluvat toimenpiteet oikein.

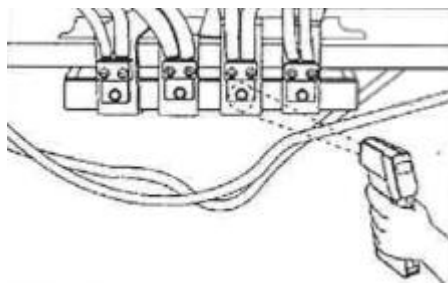
5.9 Lämpökamerakuvaus

Lämpökamerakuvaus pystytään näkemään, mikäli laitteessa on huono liitos tai mistä kohtaa laite ylikuumenee liian paljon. Huono liitos havaitaan, kun se kuumenee ympäristön lämpötilaan verrattuna tarpeettoman paljon. Kuvaus tulee tehdä, kun laite on jännitteisenä (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2017).



Kuva 31. Lämpökamerakuvaus.

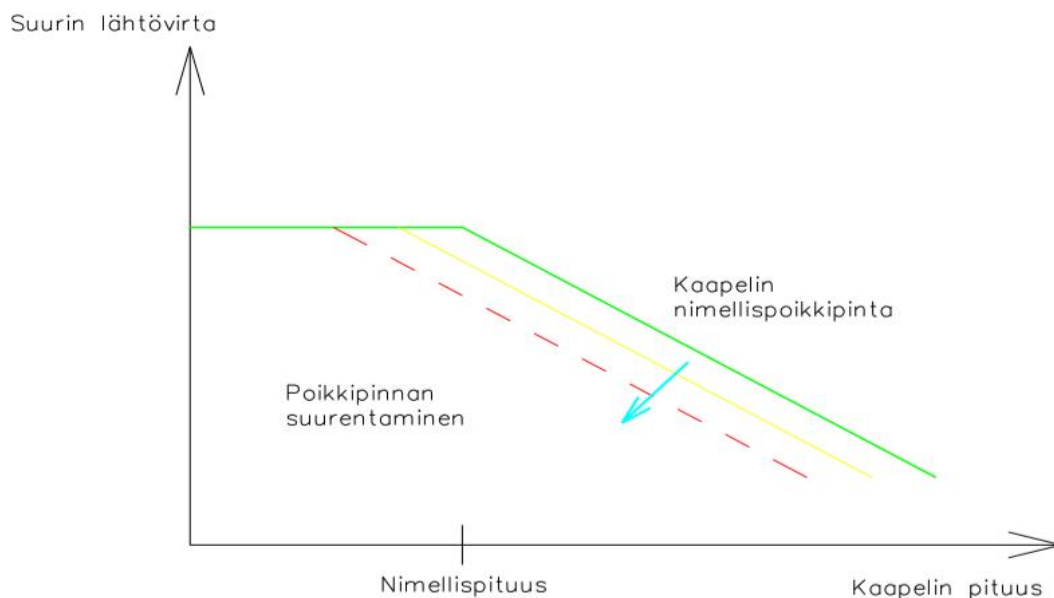
Lämpötila pystytään mittaamaan tarkasti myös IR-pintalämpökameralla, joka on lämpökameraan verrattuna halvempi vaihtoehto, mutta käyttöetäisyys ja lisätoiminnot ovat vähäisempiä (AEL, 2003, s. 17). Kuvassa 32 on esimerkki IR-pintalämpökameran käytöstä.



Kuva 32. IR-pintalämpökameran käyttö (AEL, 2003).

5.10 Kaapelit

Kertaluontoisesti ennakoivassa kunnossapidossa tulisi tarkistaa taajuusmuuttajien ja moottorien kaapelityypit, niiden kunto ja pituudet. Moottorikaapeleille ovat taajuusmuuttajien valmistajat antaneet asennusohjeissaan maksimipituudet ja suositeltavat johdinpoikkipinta-alat. Käyttäjien olisi hyvä noudattaa valmistajien antamia nimellisarvoja, sillä niillä on oleellinen vaikutus taajuusmuuttajan jäähdytystarpeeseen. Pidemmällä moottorikaapeleilla aiheutuu taajuusmuuttajissa enemmän lämpöä. Tämä johtuu siitä, että kapasitiivinen vastus on pienempi ja kaapelin häviöt suurempia, mitä suurempia kaapelipituuksia tai poikkipintoja käytetään (kuva 33) (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 1997). Standardissa SFS-EN 64800-3 on esitetty vaatimuksia taajuusmuuttajien kaapeloinnille (Hietalahti, Teollisuuden sähkökäytöt, 2013, s. 89).



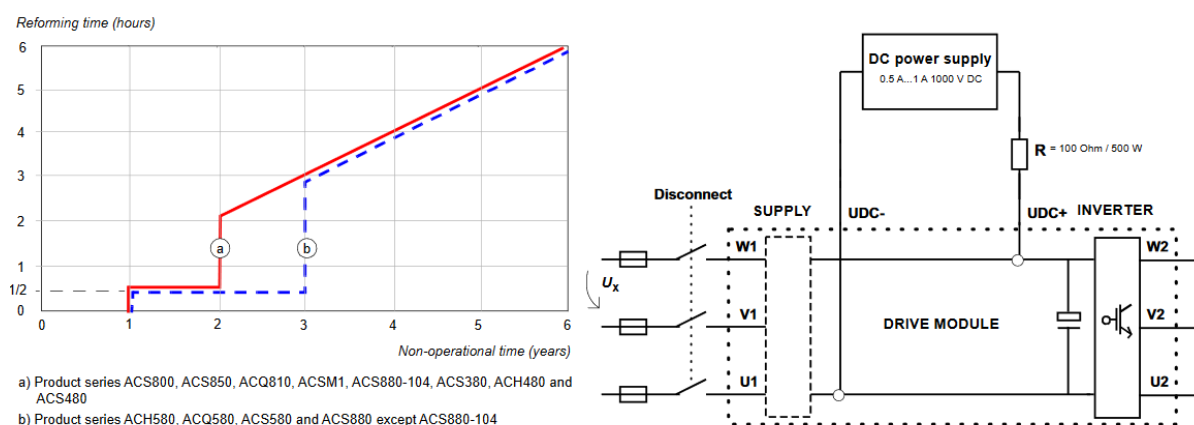
Kuva 33. Taajuusmuuttaja suurin lähtövirta riippuu moottorikaapelin pituudesta ja poikkipinnasta (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, 1997, s. 77).

Kaapelointiin liittyy oleellisesti EMC-suojaus. Kaapeloidessa taajuusmuuttajaa, tulee noudattaa valmistajan asennusohjetta (Markku J.J Mäkinen, 2009). Taajuusmuuttajien kaapeloinnissa huomioitavia asioita ovat:

- Päävirta- ja ohjaukskaapelit on asennettava eri hyllyille
 - Päävirta- ja ohjaukskaapeleiden risteilyt on asennettava 90° kulmassa
 - Ohjausvirtakaapeleina suositellaan käyttämään NOMAK- tai JAMAK-tyyppisiä kaapeleita
 - Moottorikaapelin läpiviennissä tulisi käyttää EMC-liitintä
 - Verkkokaapelin läpivienti kumisella kalvotiivisteellä
 - EMC rakennus ympäristön mukaan:
 - Teollisuusympäristöissä moottorikaapelina MCMK-tyyppisiä kaapeleita
 - Kotitalouksissa ja toimistoissa MCCMK-tyyppisiä kaapeleita
 - Läpivienneissä holkkitiivisteitä, jotka kytkevät kaapelin suojavaipan kotelon runkoon 360° maadoituksella
 - Standardi SFS-EN 61800-5-1 kohdan (4.3.5.5.2) vaatimusten mukaisesti.
- (Hietalahti, Teollisuuden sähkökäytöt, 2013, s. 89), (ABB, 2017, s. 33).

5.11 Varastoinnin vaikutus

Taajuusmuuttajien varastoinnissa tulee noudattaa valmistajien määrittämiä ohjeita. Taajuusmuuttajan pitkäaikaisen varastoinnin seurauksena kondensaattoreiden sisäinen rakenne voi muuttua epätaiseksi ja jännitteiden kytkeminen pitkän käyttämättömän jakson jälkeen voi aiheuttaa niiden vahingoittumisen (Hietalahti, Teollisuuden sähkökäytöt, 2013, s. 88). Taajuusmuuttajan elektrolyyttisiä kondensaattoreita tulee käyttää jännitteisenä tietyin väliajoin. Kondensaattoreita voidaan elvyttää kytkemällä laite kuormattomana virralliseksi tai käyttämällä ulkoista tehollähdettä (kuva 34 oik.) (Putala, 2019). Elvytys tapaan vaikuttaa, miten kauan taajuusmuuttaja on ollut käyttämättömänä (varastoitu) ja taajuusmuuttajan moduulityyppi (ABB, 2019, ss. 9-12). Kuvassa 34 on esitettyä ABB:n taajuusmuuttaja kondensaattorien elvytysohjeet. Kuvan 34 vasemmalla puolella on kuvaaja ABB:n taajuusmuuttaja mallien elvytys ajoista ja oikealla puolella on hahmotus elvytyksestä tehollähteen avulla.



Kuva 34. Välipiirin kondensaattorien elvytys (ABB, 2019).

Varastotilan ilmanlämpötilan tulisi olla suojapakkauksessa olevalle taajuusmuuttajalle -40° C ... +70° C rajoissa. Veden kondensoitumisen estämiseksi ilmankosteus saisi olla maksimissaan 95 % (ABB, 2017, s. 203).

5.12 Kuormitettavuus

Tärkeää taajuusmuuttajan käyttöönotossa on, että varmistetaan sen toimintalämpötila ja että se on pysynyt kuivana. Normaalisti kuormitettavan taajuusmuuttajan toimintaympäristön lämpötilan on oltava noin -10°C ... $+50^{\circ}\text{C}$. Jokaista toimintaympäristön lämpötilan ylittävää lämpöastetta kohden kuormitettavuus (nimellinen lähtövirta) pienenee tietyn prosentuaalisen määrän, tähän vaikuttaa mm. taajuusmuuttajan tyyppi ja kotelointiluokitus. Taajuusmuuttaja rajoittaa moottorille syöttämänsä tehoa, mikäli normaaleista käyttölämpötiloista poiketaan suuresti (ABB, 2017, s. 160).

6 TAAJUUSMUUTTAJIEN TAKUUEHDOT



Taajuusmuuttajaan sisältyvän normaalin takuuajan (1–2 vuotta) puitteissa ei tarvitse tehdä komponenttien vaihtoja. ABB:ltä toimitettuun materiaaliin (esim. laitetuulettimiin) sisältyy takuu. Laitteisiin tehtävän työn ja muun käsittelyn vastuu sisältyy työn suorittajalle (Petteri Raivio, 2020, Drives Service Finland, Product Manager, ABB Oy. Sähköpostiviesti 4.3.2020).



Danfossin taajuusmuuttajien takuuajan säilymisen ehtona on, että takuuajana tehtäviä korjaus- ja huoltotöitä saa tehdä vain valmistajan tai VACON:n valtuuttama huoltoyhtiö. Valmistajan tai huoltoyhtiön tekemällä korjauksella on takuu, joka on voimassa korjatun tuotteen jäljellä olevan takuuajan tai kuusi (6) kuukautta sen mukaan, kumpi näistä ajoista on pidempi. Tuotteen alkuperäistä takuuajaa pidempi takuuajaa koskee vain tuotteen korjattua osaa / korjattuja osia. Jos viallinen tuote korvataan uudella tuotteella, korvaavan tuotteen takuu on voimassa viallisen tuotteen jäljellä olevan takuuajan tai kuusi (6) kuukautta sen mukaan, kumpi näistä ajoista on pidempi. Korjatun tai vaihdetun tuotteen kuuden (6) kuukauden pituisen takuuajan myöntää yksinomaan valmistaja tai huoltoyhtiö sen mukaan, kumpi vastaa korjauksesta. Takuu pysyy, jos kunnossapitohenkilöstö tekee ns. yleishuoltoa. Tähän sisältyy (puhallinvaihdot, optiokorttivaihdot jne. ja ne katsotaan usein tapauskohtaisesti) (Jarkko Hakala, 2020, Technical Support Engineer, Danfoss Drives Finland Sales, Marketing & Aftermarket Services. Sähköpostiviesti 15.1.2020).



Takuuajaksi normaaleissa asennus- ja käsittelyolosuhteissa on kaksi (2) vuotta valmistuspäivästä tai yksi (1) vuosi asennuspäivästä riippuen siitä, kumpi tapahtuu ensin. Takuu kattaa vain asennetun taajuusmuuttajan korjaamisen tai vaihtamisen OMRON:n harkinnan mukaan.

Seuraavissa tapauksissa palvelu veloitetaan ostajalta, jopa takuuajana:

- Virheelliset toiminnot tai muutokset tai virheellinen korjaus aiheuttavat toimintahäiriöitä tai vaurioita
- Vika tai vaurio, joka on aiheutunut pudotuksesta oston ja kuljetuksen jälkeen
- Tulipalon, maanjäristyksen, tulvan, valaistuksen, epänormaalin syöttöjännitteen, likaantumisen tai muiden luonnonkatastrofien aiheuttamat toimintahäiriöt tai vauriot

Kun tuotteelle vaaditaan huolto työmaalla, kaikki kenttäkorjaukseen liittyvät kulut veloitetaan ostajalta (OMRON, 2013, s. 287)

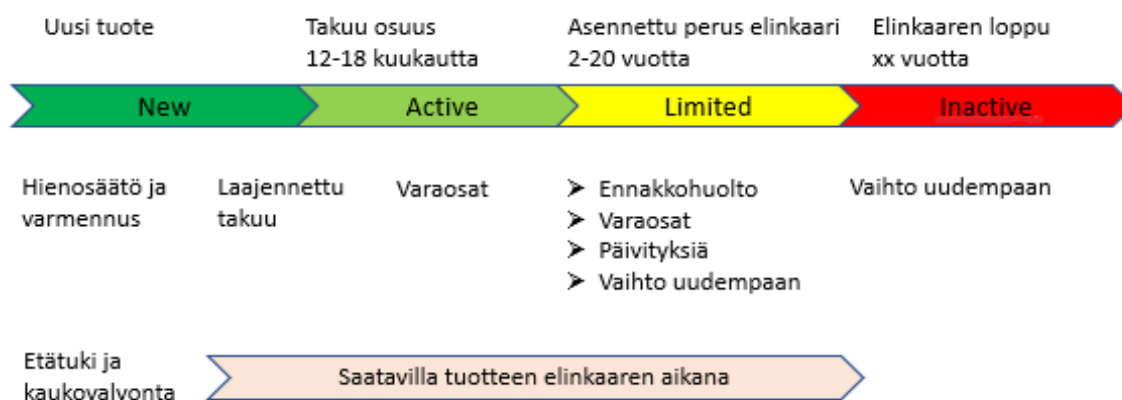
6.1 Taajuusmuuttajan elinkaaren vaiheet

Taajuusmuuttajien valmistajilla on oma elinkaari ohjelmansa ja vaiheensa laitteilleen. Kuvissa 35 ja 36 on esitettyä ABB:n ja Danfossin laitteilla kuvaamat elinkaarihallinta vaiheet. **Active** vaiheessa tuote on uusi ja tullut markkinoille. Tämän vaiheen aikana tuotteeseen on saatavilla hyvin palveluita ja sitä kehitetään aktiivisesti. Aktiiviseen vaiheeseen vaikuttaa markkinoiden ja teknologian kehitys. **Classic** vaiheessa tuote on ollut markkinoilla jo jonkin aikaa. Classic ja limited vaiheen tavoitteellinen kesto on 10 vuotta siitä, kun classic vaihe alkoi. Classic vaiheen lopussa ei tuotetta enää valmisteta. Tuotteelle on kuitenkin saatavissa päivityksiä sekä ABB:n kaikki mahdolliset elinkaari- ja varaosapalvelut että kunnossapitoaineistot. **Limited** vaiheessa tuotteeseen saatavilla olevat palvelut vähenevät. Tuotteelle saatavassa tuessa on enää kenttäpalvelua ja kunnostettuja varaosia. Tämän vaiheen aikana on hyvä alkaa miettimään käytössä olevien laitteiden päivittämistä, koska tukea ei ole kohta enää saatavissa. **Obsolete** vaiheessa tuotteelle ei enää tarjota tukea, koska se ei ole taloudellisesti kannattavaa.












Kuva 35. ABB:n Lifecycle Policy tuotteen elinkaaren hallinta vaiheet (ABB, 2020).

ABB:n *”periaatteena on, että kaikki järjestelmät pysyvät aktiivisessa vaiheessa, kun taas yksittäiset komponentit ja tuotteet (laitteet ja ohjelmat) siirtyvät elinkaaren vaiheiden läpi ja korvataan uudella teknologialla ja tuotevalikoimilla”* (ABB, 2020). ABB jakaa tuotteensa elinkaarenhallinnan vaiheet kuvan 35 mukaisesti. Eri vaiheiden aikana tuotevastuu siirtyy eri organisaatiolle, niitä ovat tuote-, palvelu- ja automaatiopalveluorganisaatio. ABB ilmoittaa active ja classic vaiheiden aikana 12 kuukautta ennen, kuin se poistaa tuotteen kyseisen vaiheen myynnistä ja siirtää sen seuraavaan vaiheeseen. ABB ilmoittaa vähintään 6 kuukautta ennen obsolete vaiheeseen siirtymistä. Ilmoituksen ajankohtaan vaikuttaa ABB:n komponenttien saanti alihankkijoiltaan. Poikkeuksena palveluiden saamiseen ja elinkaarivaiheen pituuteen on se, että ABB:ltä on saatavissa tuotteelle palveluita niin kauan, kuin komponentteja on saatavilla ja se on taloudellisesti kannattavaa. Varaosien saatavuuden osalta, kolmen ensimmäisen elinkaarenhallinnan vaiheen aikana on saatavilla hyvin varaosia. Tuki varaosien osalta noudattaa samaa Classic ja limited vaiheen tavoitteellista 10 vuoden kestoja siitä, kun classic vaihe alkoi. Obsolete vaiheessa ABB ei takaa varaosien saatavuutta, koska siihen vaikuttaa komponenttien saatavuus. Kuitenkin asiakkaan pyytäessä ABB on valmis joustamaan varaosapalveluissa tarjoamalla erilaista tukisopimusta, jossa tarjotaan tuotteelle palveluita normaalia käyttöikää kauemmin (ABB, 2020).



Kuva 36. Danfoss tuotteen elinkaaren hallinta ja palvelut (Danfoss, 2019).

DrivePro® elinkaaren hallinta palveluihin kuuluu:

	DrivePro® Retrofit		DrivePro® Start-up
	DrivePro® Spare Parts		DrivePro® Remote Expert Support
	DrivePro® Extended Warranty		DrivePro® Remote Monitoring
	DrivePro® Exchange		DrivePro® Preventive Maintenance
	DrivePro® Upgrade		

DrivePro® palvelut:

Start-up sisältää taajuusmuuttajan käytön alkuvaiheessa sisältyvän hienosäädön, varmentamisen siitä, että laitteen suorituskyky on parhaimmillaan ja prosessinkäynnistyksen ei tulisi odottamattomia ongelmia. Laajennettuun takuuseen kuuluu monia erilaisia vaihtoehtoja ja sen kesto on jopa kuuteen vuoteen saakka. Danfossin kehittämällä työkalulla, kaukovalvonnalla, pystyy tarkkailemaan järjestelmää. Sen avulla varmistuu laitteen toiminta, ennalta arvaamattomat prosessihäiriöt pystytään minimoimaan ja käyttöaikaa maksimoimaan. Vaihtopalvelulla suunnitellaan ja toteutetaan vanhan taajuusmuuttajan vaihto uudempaan siten, että mahdolliset tuotantoviiveet minimoidaan ja uusi taajuusmuuttaja on suorituskyvyltään ja luotettavuudeltaan hyvä, oli sitten kyseessä Danfossin tai jonkin muun valmistajan taajuusmuuttaja. Ennakkohoillon avulla Danfoss tarjoaa asiakkaalleen huoltosuunnitelmaa ja huoltoimenpiteitä VACON:n valtuuttamalla huoltoyhtiöllä. Täten asiakkaalla olisi mahdollisuus suunnata kunnossapidon resursseja ja aikaa muihin osa-alueisiin. Etätuen avulla Danfoss tarjoaa nopeaa ja edistynyttä vianmääritystä asiantuntevasti. Taajuusmuuttajalle räätälöityjen varaosien saatavuus kuuluvat elinkaaren osa-alueisiin, Inactive vaihetta lukuun ottamatta. Taajuusmuuttajaan saatavien päivitysten avulla varmistetaan optimaalinen suorituskyky ja säästetään korvaavan yksikön ostomenot (Danfoss, 2019).

Danfoss DrivePro® Preventive Maintenance

Kohdistuu ainoastaan VACON ja VLT sarjan taajuusmuuttajiin. Arviointikäynti (maksuton), laitekannan läpikäynti asiakkaan kanssa. Sarjanumeroiden ehdotus ennakoivasta huollosta. DrivePro® Preventive Maintenance sisältää tarkastus- ja huoltosuunnitelman (arviointiraportin ja suositukset) sekä kolmen huoltomoduulin kunnossapitototeutuksen. DrivePro huoltopartnerina on Caverion Industria (Danfoss, 2019, s. 1).

ABB Drive Care palvelut

Palvelua markkinoidaan kolmella edulla, joita ovat:

1. Tehokkuuden paraneminen
2. Kulujen väheneminen
3. Mahdollisuuden suunnata resurssit ja taajuusmuuttajien kunnossapitoon käytetty aika muualle (ABB, 2015).

Palveluun saa halutessaan:

- Preventive care
- Complete care
- Vasteaikasopimus
- Teknistä tukea (etätuki)

Ennakkohuolto tarjoaa:

- Ennakkohuollon, jonka ABB:n valtuutetut huoltomiehet tekevät huoltosuunnitelman mukaisesti sovittuna aikana
- Huoltosuunnitelma sisältää säännölliset tarkastukset, joihin kuuluu silmämääräinen tarkastus, tarkistukset, mittaukset, vikahistorian tutkiminen ja parametrien varmuuskopiointit
- Komponenttien tilaus, toimitus ja vaihtaminen
- Alkuperäiset tehtaan sertifioimat osat
- Taajuusmuuttajan toiminnallinen testaus
- Materiaali- ja työkustannukset sisältyvät sopimukseen, matkakulut voidaan tarvittaessa sisällyttää siihen
- Huoltosuunnitelman päivitys
- Korjauksessa tarvittavat osat tai moduulit
- Vikaantuneiden taajuusmuuttajien korjaus tai uusiminen
- Korjaukseen liittyvät materiaali- ja työkustannukset (ABB, 2012).

7 HILLOTEHTAAN TAAJUUSMUUTTAJAT

Hillotehtaassa käytetään taajuusmuuttajia moniin eri tarkoituksiin. Ilmanvaihdoissa tulo- poistoilmakoneet, paineilmakompressorit, tuotannon sekoittajamoottorit, pumput ja kylmäainekoneiden pyörittäminen ovat taajuusmuuttajien pääasiallisia käyttökohteita. Käyttökohteiden perusteella taajuusmuuttajat pystytään luokittelemaan tuotannon kannalta tärkeisiin ja alemman prioriteetti luokan kohteisiin. Kriittisyysluokittelulla tarkoitetaan tässä tilanteessa taajuusmuuttajien tärkeyden ja huolto prioriteetin luokittelua. Eli miten "arvokkaita" taajuusmuuttajat ovat tuotannon kannalta. Hillotehtaan taajuusmuuttajista tärkeimpiä ovat juuri tuotannossa käytettävien sekoittajien ja pumppujen taajuusmuuttajat. Niiden rikkoutumisesta tehtaalle voisi aiheutua mahdollisia tuotannon keskeytyksiä ja sen myötä rahallista menetyksiä. Muiden käyttökohteiden taajuusmuuttajan rikkoutuessa korvaava laite saataisiin suhteellisen nopeasti/pienellä rahallisella menetyksellä käyttöön ja tuotanto ei keskeydy.

7.1 Taajuusmuuttajat



Kuva 37. ABB:n taajuusmuuttajien käyttökohde.

Kuvassa 37 seinälle asennettujen ABB:n taajuusmuuttajien tehtävänä on pyörittää ammoniakki ja hiilidioksidi kompressoreita, joiden avulla raaka-aineiden säilöntään tarkoitetut pakkasvarastot pysyvät kylminä.



Kuva 38. OMRON:n taajuusmuuttajia.

Kuvassa 38 on tuotannon sähkötilassa olevia OMRON taajuusmuuttajia. Niiden pääasiallisia käyttökohteita ovat tuotantolinjoilla olevat sekoittaja- ja pumppumoottorit.



Kuva 39. VACON FLOW ja HVAC taajuusmuuttajia.

Kuvassa 39 on VACON FLOW ja HVAC taajuusmuuttajia IV-konehuoneesta. Käyttökohteina ovat ilmanvaihtokoneet, joilla toteutetaan toimisto-, sosiaali- ja tuotantotilojen ilmanvaihdot. Tehtaan tilojen ilmanvaihto on pääasiallisesti toteutettu VACON:n ja ABB:n taajuusmuuttajilla.

Integraalikonekäytöt



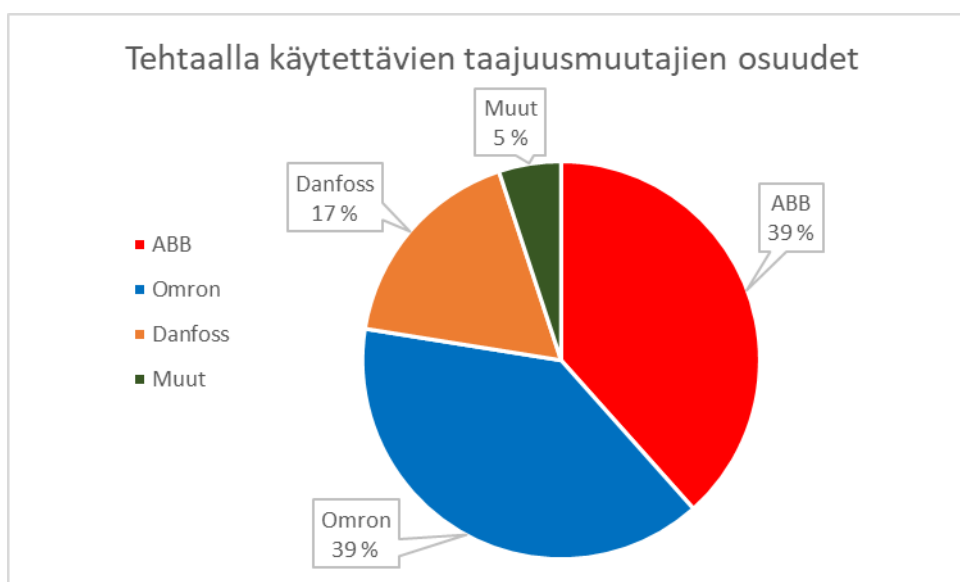
Kuva 40. Integroituja taajuusmuuttajia.

Kuvassa 40 on tehtaalla käytettäviä taajuusmuuttajia, jotka ovat kiinnitettynä suoraan moottorirakenteeseen. Tällä tavoin saavutetaan taajuusmuuttajakäytössä parempi hyötysuhde ja pienemmät tehohäviöt. Lisäksi haastavissa/ahtaissa tiloissa kaapeloinnin määrä vähenee ja tilaa säästyy.

Taulukko 3. Yksi osa tehtaan taajuusmuuttajista kerätystä perustiedoista.

Kohde	Valmistaja	Tyyppi	Teho kW	Tärkeys	Määrä kpl	Käyttökohte
10 Linja viereinen sähkökeskus	Omron	3G3AX-MX2-DRT	2,2		5	
11 Linja viereinen sähkökeskus	Omron	3G3AX-MX2-DRT	11		1	
Calortec	Danfoss	N0100-3L-0003-4-FLOW	1,1		2	Höyrykattila Calortec
Calortec	NORD	SK 200E-112-340-A-WHT	11		1	Integraalikonekäyttö Calortec
Calortec	Danfoss	N0100-3L-0004-4-FLOW	1,5		2	
Calortec	Danfoss	N0100-3L-0008-4-FLOW	3		2	
Calortec	Danfoss	NXS 00045A2H15SSA1A2000000	1,5		2	
IV-konehuone katolla	Danfoss	N0100-3L-0003-4-HVAC	1,1		2	TK1,3,5,6
IV-konehuone katolla	Danfoss	N0100-3L-0008-4-HVAC	3		1	
IV-konehuone katolla	Danfoss	N0100-3L-0009-4-HVAC	4		1	
Jätevesisiilo	ABB	ACS580-01-026A-4	11		2	
Kattilahuone	NORD	SK 200E-151-340-A-WHT	1,5		1	Integraalikonekäyttö Henschel
Kattilahuone	NORD	SK 200E-301-340-A-WHT	3		1	Integraalikonekäyttö Vapor
Kattilahuone	Danfoss	KLS 330 P T4 C66 ST R2 D0 F00 X	3		2	Integraalikonekäyttö veden kierto
Konttikompura	ABB	ACS850-04-202A-5	110		1	Paineilma (AtlasCopco)
Konttikompura	ABB	ACH550-01-015A-4	7,5		2	
Laboratorio	ABB	ACS550-01-04A1-4	1,5		1	
Laboratorio	Danfoss	N0020-3L-0003-4	0,75		1	
Lihamyly	Danfoss	N0100-3L-0023-5-HVAC	11		1	
Radan vier. IV-koneh.	ABB	ACH550-01-015A-4	7,5		3	TK5 yms.
Radan vier. IV-koneh.	ABB	ACS550-01-04A1-4	1,5		2	
Radan vier. ST	ABB	ACS550-01-04A1-4	1,5		1	L8
Radan vier. ST	ABB	ACS550-01-03A3-4	1,1		1	L8
Radan vier. ST	ABB	ACH 550-01-012A-4	5,5		1	Nederman
Radan vier. ST	ABB	ACH 550-01-023A-4	11		1	Nederman
RK20 (L45)	Omron	E7	4		1	
RK20 (L45)	Omron	V7	4		7	
RK20 (L45)	Omron	V7	7,5		3	
RK20 (L45)	Omron	E7	5,5		3	
RK20 (L45)	Omron	E7	11		1	
RK20 (L45)	Omron	V1000	4		1	
RK27 (L7, Masuko, sulatusallas)	Omron	RV	55		1	Mixerit. Tälle on vaihtotamu
RK27 (L7, Masuko, sulatusallas)	Omron	3G3MV	3		4	
RK27 (L7, Masuko, sulatusallas)	Omron	3G3MV	5,5		2	
RK27 (L7, Masuko, sulatusallas)	Omron	Varispeed E7	11		2	
Ruokalan vier. IV-keskus	Danfoss	N0100-3L-0003-4-HVAC	1,1		1	TK17
Ruokalan vier. IV-keskus	Danfoss	N0100-3L-0009-4-HVAC	4		1	

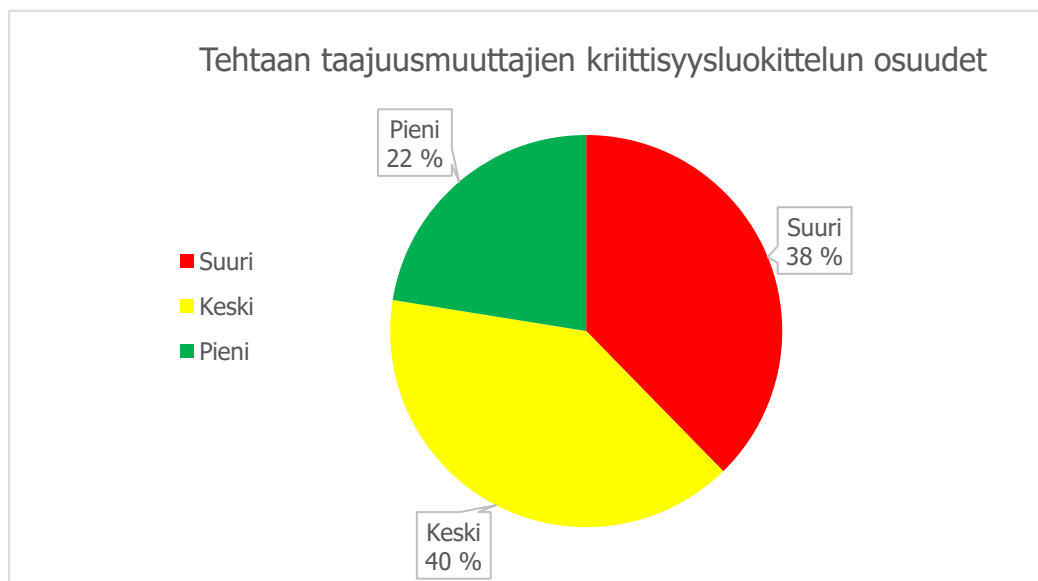
Taulukossa 3 on esitetty, mitä kaikkia tietoja tehtaan taajuusmuuttajista on kerätty. Kerättyihin tietoihin kuuluu taajuusmuuttajan kohde, valmistaja, malli, teho, tärkeys (kriittisyysluokitus), määrät ja käyttökohte. Niiden avulla pystyy kartoittamaan taajuusmuuttajien merkki ja kriittisyysluokka osuudet.



Kuva 41. Tehtaalla käytettävien taajuusmuuttaja merkkien osuudet.

Kuvassa 41 nähdään kuinka tehtaalla käytettävien taajuusmuuttaja merkkien osuudet vaihtelevat. Listattujen taajuusmuuttajien määräksi tuli 138 kpl. Kuvan 42 ja 43 ympyräkaavioihin ei ole otettuna huomioon varastoissa varalla olevia taajuusmuuttajia. Käytettävien taajuusmuuttajien osuus kuvassa 42 jakautuu, ABB:n ja OMRON:n osalta noin 40 %. Mikäli tietyn merkkisen valmistajan osuus kaikista

käytettävistä taajuusmuuttajista olisi reippaasti yli 50 %, olisi hyvä peruste harkita kyseiseen merkkiin valmistajan tarjoamia ennakkohoito palveluita.



Kuva 42. Tehtaan taajuusmuuttajien kriittisyysluokkien osuudet.

Kuvassa 42 nähdään tehtaalla käytettävien taajuusmuuttajien kriittisyysluokittelu. Luokittelussa on lähtökohtaisesti käytetty taajuusmuuttajien arvoa tuotannon kannalta. Kriittisyyden merkitykset jaettiin suureen, keskisuureen ja pieneen. Suurimman kriittisyyden luokassa taajuusmuuttajien käyttökohteina on tuotantoon liittyvät moottorit. Niistä eniten käytetty taajuusmuuttaja merkki on OMRON (90 % osuudella). Keskisuuren kriittisyyden käyttökohteina on kompressori ja pumppukäytöt, joilla pääsääntöisesti joko hoidetaan tilojen lämpötilojen säätöä tai aineiden siirtoa. Keskisuuren kriittisyyden taajuusmuuttajien merkiosuudet jakautuvat ABB (58 %), Danfoss (18 %), Muut (12 %) ja OMRON (11 %) osuuksiin. Pienimmän kriittisyyden käyttökohteena on ilmanvaihtokoneet. Pienen kriittisyyden taajuusmuuttajien merkiosuudet jakautuvat ABB (54 %) ja Danfoss (46 %).

8 KUSTANNUSTEN TARKASTELU

Tällä hetkellä hillotehtaalla ei ole käytössä huoltosopimusta taajuusmuuttajien valmistajien kanssa, vaan kunnossapidon henkilöstö on hoitanut taajuusmuuttajien huoltoon liittyvät työt. Taajuusmuuttajan rikkoutuessa vaihtotyö voidaan jakaa kahteen eri tilanteeseen.

1. Saman mallisen taajuusmuuttajan vaihto
2. Eri mallisen taajuusmuuttajan vaihto

Saman mallisen vaihtolaitteen töihin kuuluu:

- mekaaninen ja sähköinen asennus
- parametointi ohjauspaneeliin, muistitikun ja PC:n avulla tai käsin muistilapusta katsoen
- koeajo/pyörimissuunnan tarkastus
- ohjaus- ja suojalaitteiden toiminnan tarkastus
- dokumentointi

Eri mallisen vaihtolaitteen töihin kuuluu edellisen lisäksi:

- mitoitus (teho, jännite, virta, koteloitiluokka)
- mitoitus (ulkoiset mitat, asennus)
- kaapelointi
- pääpiiri- ja ohjausvirtapiiri kytkennät
- mahdolliset lisälaitteet

8.1 Kustannusten arviointia

Hillotehtaalla on palkattuina kunnossapidon työntekijöitä, joiden työtehtävät vaihtelevat tilanteen mukaan. Tehtaan kunnossapidon asentajista, joku on vuoroviikoin iltavuorossa tai päivystäjänä. Tällöin tuotannossa taajuusmuuttajan rikkoutumisesta aiheutuvat kustannukset riippuvat sen rikkoutumisajankohdasta. Päivävuoron aikana pystytään reagoimaan laiterikkoon nopeimmin, koska tehtaalla on paikalla usea kunnossapito asentaja. Iltavuorossakin reagointi aika nopea, koska paikalla on yksi kunnossapidon asentaja. Silloin vaihtotyö voi pitkittyä, mikäli iltavuorossa tapahtuu samanaikaisesti muuta kiireistä työtä tai ko. asentaja ei ole sähköalan ammattihenkilö ja riittävän pätevä tekemään vaihtotyötä yksin. Pisin tuotannon keskeytysaika voi tulla, jos tuotannossa käytettävä taajuusmuuttaja rikkoutuu yövuoron aikana. Silloin kunnossapidon päivystäjä tulee paikalle tekemään vaihtotyön tai se joudutaan siirtämään edellä mainitusta pätevyys syystä toiselle henkilölle.

Tehtaan taajuusmuuttajien rikkoutumisesta aiheutuvia kustannuksia ovat:

1. mahdollinen tuotannon keskeytys
2. tuotannon työntekijöiden menetetty työaika
3. mahdollinen menetetty tuotanto erä

4. uusi taajuusmuuttaja tarvikkeineen
5. ylitöihin tulevien asentajien työaika- ja kilometrikorvaukset (mikäli laite särkyy yövuoron aikana)

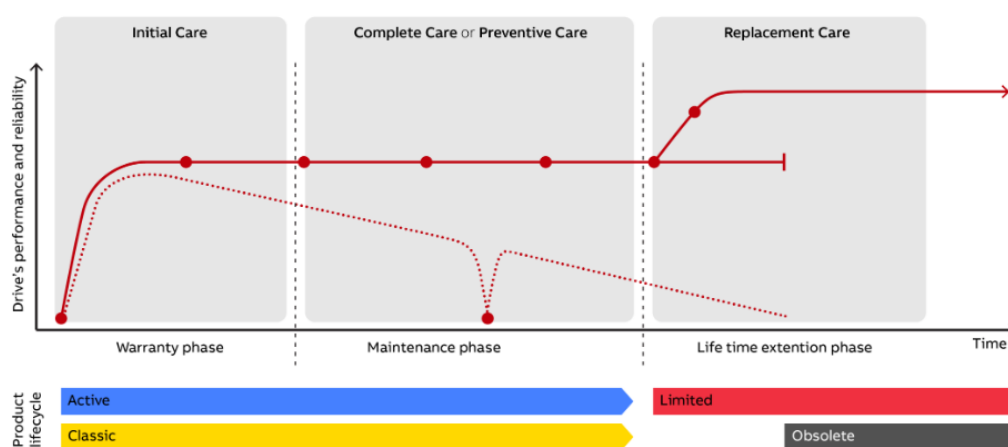
Tuotannon keskeytymisestä aiheutuvaa rahallista menetystä on vaikea arvioida, koska tuotannossa tehtävät tuotteet, aikataulut ja vaihtotyön vasteaika vaihtelevat. Sen takia se on rajattava tarkastelun ulkopuolelle. Tilanteessa, jossa tehtaalla oleva taajuusmuuttaja lakkaa toimimasta, on oletuksena, että tehtaalla on varastossa samalainen taajuusmuuttaja, kaikki tarvittavat työkalut ja lisätarvikkeet. Vaihtotyön kaikkine tehtävineen tekisi kaksi kunnossapidon sähköasentajaa noin kahdessa tunnissa. Tässä tilanteessa vaihtotyön kulut muodostuvat, työhön tarvittavista materiaaleista, tuotannon työntekijöiden työajan menetyksestä ja ylitöihin tulevien asentajien työaika- ja kilometrikorvaukset (mikäli rikkoutuminen sattuu yövuoron aikana).

8.2 Huollon toteuttaminen

Taajuusmuuttajan tehokokoluokan ylittäessä 20 kW siihen ei kannata hankkia varaosia. Kannattavampana ratkaisuna on hankkia uusi taajuusmuuttaja laiterikon varalle ja pitää sitä varaosana. Taajuusmuuttajan ollessa yli 10 vuotta vanha ja tehokokoluokaltaan yli 20 kW, sen korjaaminen ei ole kannattavaa, johtuen valmistajien tarjoaman tuen ja saatavissa olevien palveluiden hiipumisesta. Tässä tilanteessa on kannattavampaa hankkia kokonaan uusi taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajan ollessa yli 10 vuotta vanha ja tehokokoluokaltaan (pieni) alle 20 kW, sen rikkoutumista kannattaisi ennakoida hankkimalla/määrittämällä vaihtolaite ja sähköiset kuvat valmiiksi (AEL, 2003, s. 61).

ABB Drive Care

A specific service agreement offering for each life cycle phase of a Drive



Kuva 43. ABB Drive Care sopimus vaihtoehdot (ABB, 2019).

Kuvassa 43 on esitetty ABB:n Drive Care sopimus vaihtoehdot. Hillotehtaan ABB:ltä saaman taajuusmuuttajien huoltotarjouksen palvelutuote oli Complete Care. Palveluun olisi sisältynyt vanhentuneiden komponenttien korvaaminen ja korjaukset. Palvelu poistaisi kunnossapidolta taajuusmuuttajien ennakko- ja huollon tehtävät ja taajuusmuuttajan särkymisriski siirtyisi hillotehtaan kunnossapidolta ABB:lle.

Tietyn taajuusmuuttaja valmistajan huoltotarjouksen ottamisen ehdoiksi tulisi täyttyä seuraavat ehdot. Käytettävistä taajuusmuuttajista suurin osa olisi ko. valmistajan laitteita, taajuusmuuttajien tulisi olla tehokokoluokaltaan yli 20 kW:a ja tuotannon kannalta erittäin kriittisiä. Taajuusmuuttajia vikaantuisi vuoden aikana niin monta kappaletta, että uusien hankintakustannukset ylittäisivät huoltotarjouksen hinnan.

Tehtaan saamaa taajuusmuuttajien huoltotarjousta ei kannattaisi ottaa, koska siitä saatava hyöty ei kattaisi sen kustannuksia. Kaikkia tehtaalla käytettäviä taajuusmuuttajia ei saa yhden taajuusmuuttaja valmistajan huollon piiriin. Mikäli kaikki taajuusmuuttajat haluttaisiin huollettaviksi, tilaaja joutuisi sopimaan monen palvelusopimuksen eri valmistajien kanssa, mikä tulisi kohtuuttoman kalliiksi. Tehtaalla on osaava ja nopeasti toimiva kunnossapidon henkilöstö. Taajuusmuuttajan odottamattoman särkymisen tapauksessa ABB:n Drive Care palvelun vasteaika arvio on 4–48 tunnin haarukassa. Tehtaan

kunnossapidon päivystyksen ansiosta, rikkoutuneen taajuusmuuttajan aiheuttamaan tuotannon katkokseen voidaan reagoida nopeammin. Lisäksi varastossa on varalla olevia taajuusmuuttajia ja taajuusmuuttajien käyttö ja huolto on toteutettu osaavasti.

9 HUOLTOSUUNNITELMA

9.1 Huoltosuunnitelma

Suurimpana esteenä huoltopalvelujen hankkimiselle on, että kaikki taajuusmuuttajat eivät ole saman valmistajan tekemiä, kuten kuvan 41 kaaviosta nähtiin. Kunnossapidon sähkötoiden johtajan kanssa käytyjen keskusteluiden perusteella, tehdään taajuusmuuttajien määräaikaishuoltoa varten puuttui selkeä huoltotoimenpide taulukko. Liitteenä 1 olevaan tiedostoon on ryhmiteltyä taajuusmuuttajien huoltotoimenpiteet ja samalla siitä kirjattavat asiat. Taulukossa 4 on taajuusmuuttajan yleisimmät määräaikaishuollon toimenpiteet ja niiden arvioidut ajoitukset. Liitteessä 2 olevien valmistajien taajuusmuuttajille suosittelemat määräaikaishuolto taulukot eroavat hieman toisistaan. OMRON:lla ja Danfoss:lla on ilmoitettuina vuosittain tehtäviä tarkastus ja huoltotehtäviä, kun taas ABB:llä ensimmäiset huoltotoimet alkavat vasta 3 vuoden käytön jälkeen.

Taajuusmuuttajista tehtyyn listaukseen voisi kirjata taajuusmuuttajien valmistus- ja käyttöajankohdan, kun niitä käydään määräaikaissa huolloissa läpi. Tällöin tulisi kartoitus taajuusmuuttajien elinkaaren vaiheista eri käyttökohteissa ja laitekanta pystyttäisiin päivittämään oikea aikaisesti. Lisäksi myös varastoissa olevien taajuusmuuttajien kartoittaminen.

Taulukko 4. Taajuusmuuttajan määräaikaisen huollon toimenpiteet.

<i>Aika (v)</i>	<i>Toimenpide</i>
1	<i>Taajuusmuuttajan perussilmäily ja puhdistus</i>
1	<i>Toiminnan tarkastus</i>
1	<i>Piirikortit/ohjauspaneelin toimivuus</i>
1	<i>Vikahistorian tarkistus</i>
1	<i>Jäähdytystarpeen arviointi</i>
1	<i>Jäähdytystuulettimien toiminnan tarkistus ja puhdistus</i>
1	<i>Liitosten tarkastus</i>
(3)	<i>Tulo- ja poistoilmasuodattimien vaihto</i>
6	<i>Jäähdytystuulettimien vaihto</i>
10	<i>Välipiiri kondensaattorin vaihto</i>
	<i>Kertaluonteisista tarkastuksista dokumentointi</i>
K	<i>Parametrien varmuuskopiointi</i>
K	<i>Kaapeloinnin tarkastus</i>
K	<i>Valmistus- ja käyttöönottoajankohdan kirjaus</i>

10 ENNAKOIVAN KUNNOSSAPIDON TOTEUTUS

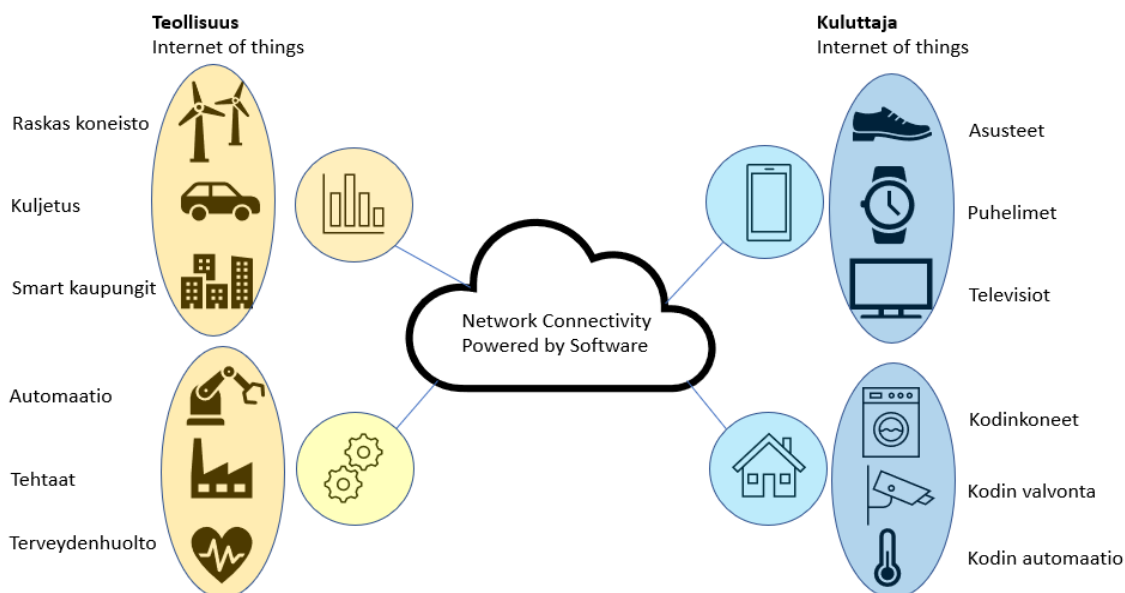
10.1 Huoltotarpeen ennakointi

Uusimmat taajuusmuuttajat sisältävät analyysoivaa ohjelmistoa, joka ilmoittaa mahdollisista ongelmista moottorikäytössä (Heinonkoski, 2013, s. 114). Taajuusmuuttajan sisältä ei ole tarvetta tehdä sähköisiä mittauksia, sillä paikallishjauksyksiköstä pystytään seuraamaan taajuusmuuttajan käyttöön liittyviä tilatietoja ja sähköisiä arvoja (Markku J.J Mäkinen, 2009).

IoT ja IIoT

Esineiden internet IoT (Internet of Things) tai teollinen internet IIoT (Industrial Internet of Things) tarkoittaa järjestelmää, joka koostuu laitteista sekä kerättävästä informaatiosta, tämä mahdollistaa ennakoivan analysoinnin ja huoltojen ajoittamisen. Tietoa voidaan analysoida ja laitteista saatu tieto voidaan käyttää tehokkaasti hyödyksi (Toimi Keinänen M. S., 2019). Kuvassa 48 on esitettyä IIoT ja IoT jakautuminen. Teollisen internetin sovellus alueita ovat:

1. Etävalvonta, etähallinta, optimointi ja etäpäivitykset.
2. Ennakoiva huoltopalvelu ja analytiikka
3. Uusi datapohjainen palveluliiketoiminta
4. Älykäs tehdas ja autonomiset tuotteet



Kuva 44. IIoT ja IoT jakautuminen.

Taajuusmuuttajien valmistajista ABB ja Danfoss tarjoavat asiakkailleen palvelua, jolla pystyy seuraamaan laitteen toimiarvoja älylaitteella, kuten tabletilla tai tietokoneella. Tärkeimpinä seurannan kohteina ovat taajuusmuuttajan kuormitus, energiankulutus ja taajuusmuuttajan ja moottorin lämpötilat. OMRON:lta saatujen materiaalien perusteella ennakoivan kunnossapidon toteutus taajuusmuuttaja käyttöihin onnistuu IO Link -liitännäisillä antureilla.

10.2 Valmistajien tarjoamat palvelut





Kuva 45. Danfoss DrivePro® Remote Monitoring service (Danfoss, 2019)

DrivePro® Remote Monitoring on palvelu, joka tarjoaa taajuusmuuttajien reaaliaikaisen etävalvonnan keräämällä siitä tietoja. Pilveen tallennettaviin tietoihin kuuluvat kaikki parametrit, mittausarvot, varmuuskopiointi ja palautusominaisuudet. Palvelun etuna on käyttäjän mahdollisuus reagoida nopeasti vikatilanteisiin, joista tulee hälytyksiä sisäänrakennetun hälytysjärjestelmän ansiosta. Danfoss:n teknisestä tuesta voi saada palvelun keräämästä tiedoista apua vianmääritykseen. Kuvassa 50 on ilmoitettu Danfoss:n taajuusmuuttajat, joihin ko. palvelu on saatavissa. Palvelun hintaan vaikuttaa siihen otettavien taajuusmuuttajien määrä (Danfoss, 2019).

Palvelu tarjoaa:

1. Järjestelmäkoonpano sovittujen asemien yhdistämiseksi pilveen
2. Käyttäjän käyttäjätiedot, joiden avulla asiakas voi käyttää verkkopalvelua verkkoportaalin kautta
3. Pilvitallennus 1 vuoden historiatietoihin
4. Yhdyskäytävän ohjelmisto- ja laitteistopäivitykset
5. Tekninen tuki Danfossin etäyhteys pyynnöstä pilvidataa käyttämällä
6. Ohjeet ja tuki asiakkaalle ongelman korjaamiseksi tai paikalla tapahtuvan vierailun ajoittamiseksi

VLT® drives	
	VLT® HVAC Drive FC 102 VLT® AQUA Drive FC 202 VLT® HVAC Drive FC 101 VLT® AutomationDrive FC 301/302 VLT® Refrigeration Drive FC 103
VACON® drives	
	VACON® 100 FLOW VACON® 100 INDUSTRIAL VACON® 100 HVAC VACON® 100 X VACON® NXP Air Cooled VACON® NXP Liquid Cooled VACON® NXP Common DC Bus VACON® NXP Grid Converter VACON® NXP System Drive VACON® NXS Family VACON® 3000

Kuva 46. DrivePro® Remote Monitoring on palvelun saatavuus Danfoss:n laitteisiin.

ABB Ability™ Condition Monitoring for drives



Kuva 47. ABB Ability™ Condition Monitoring service (ABB, 2018).

ABB Ability™ Condition Monitoring on palvelu, jonka avulla taajuusmuuttajasta voidaan saada tarkkoja, reaaliaikaisia tietoja sen ajotapahtumista. Sen avulla asiakas pääsee reaaliaikaisiin tietoihin ja raportteihin myabb.com-sivuston kautta. Palveluun sisältyy vuosittain toiminta- ja kuntoyhteenveto sekä ABB-asiantuntijan suosituksia ja tilatietoihin perustuvat ennakoivat hälytykset (ABB, 2018, s. 5).

11 YHTEENVETO

Työ tavoitteena oli saada selkeästi esitettyä, mitä kaikkea taajuusmuuttajille on kunnossapidon osalta tehtävissä. Työn tuloksina syntyi kartoitus tehtaalla käytettävistä taajuusmuuttajista ja niiden kriittisyysluokittelu. Määräaikaishuollossa tehtävien toimenpiteiden ajoitus ja ennakoivan kunnossapidon toteutuksen tarkastelua. Lisäksi näkemys olla ottamatta ABB:n huoltotarjousta. Hillotehtaan taajuusmuuttajia käytetään erilaisissa tehtävissä ja niiden toiminnan varmistaminen on tuotannon kannalta tärkeää, koska äkillisestä toiminnan keskeytymisestä aiheutuu käyttökohteen mukaan joko tuotannon hankaloitumista tai keskeytystä. Työn tulosten avulla kunnossapidolla on parempi kartoitus hillotehtaan taajuusmuuttajista ja hyvä pohja suunnitella mahdollisesti tulevaisuudessa tapahtuvaa laitekannan päivitystä tai resurssien ohjausta.

Kokonaisuudessaan työ onnistui hyvin. Työn olisi voinut tehdä paremmin ottamalla kerralla kaikki mahdolliset tiedot hillotehtaan taajuusmuuttajista. Taajuusmuuttajien ennakoivaa kunnossapitoa pystyy vielä kehittämään taajuusmuuttajien perustietojen lisäyksellä. Lisättäviä tietoja voisivat olla taajuusmuuttajien kaapelointi tiedot ja varastoissa olevien taajuusmuuttajien määrät, sekä taajuusmuuttajien valmistus- ja käyttöönottoajankohdat. Tällöin voisi kartoittaa käytettävien taajuusmuuttajien elinkaari vaiheet ja suunnitella laitekannan päivitystä.

LÄHDELUETTELO

- ABB. (2001). *Tekninen opas nro 1 Suora momentinsäätö*. ABB Automation Group Ltd. Haettu 30. tammikuu. 2020 osoitteesta <https://library.e.abb.com/public/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/Tekninenopasnro1.pdf>
- ABB. (2012). *ABB drive care -sopimus*. Haettu 6. huhtikuu 2020 osoitteesta [abb.com/library: https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=SP54&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch](https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=SP54&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch)
- ABB. (2015). *ABB Palvelusopimukset Drive Care*. ABB. Haettu 6. huhtikuu 2020 osoitteesta <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=SP76&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB. (2017). *FI_ACS880_01_HW_M_A5_screen.pdf*. ABB Oy. Haettu 15. maaliskuu 2020 osoitteesta https://library.e.abb.com/public/86ac21c012164a8cb0f7f6ada2c4ea85/FI_ACS880_01_HW_M_A5_screen.pdf
- ABB. (12. syyskuu 2018). *ABB Ability™ Condition Monitoring for Drives*. Haettu 14. toukokuu 2020
- ABB. (2018). *Maintenance Schedule ACS880-01,-01XT,-04,-04F,-04XT,-11,-14,-31,-34 Single drives and modules*. ABB. Haettu 1. huhtikuu 2020 osoitteesta https://library.e.abb.com/public/ba30c2f622f5430ebff28adef4654684/Maintenance_schedule_ACS880_single_drives.pdf
- ABB. (26. elokuu 2019). *Converter modules with electrolytic DC capacitors in the DC link*. Haettu 21. toukokuu 2020 osoitteesta https://library.e.abb.com/public/43b21606a20648d79c6c1029f2fc5f48/EN_Capacitor_reforming_instructions_G_A4.pdf
- ABB. (23. kesäkuu 2019). *Initial Care*. Haettu 25. toukokuu 2020 osoitteesta <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107045A7085&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB. (2019). *Maintenance Schedule ACS580 & ACH580*. Haettu 26. toukokuu 2020 osoitteesta <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4FPS10000309652&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB. (2020). *Hajautettujen ohjauksjärjestelmien Lifecycle Policy -ohjelma*. Haettu 22. maaliskuu 2020 osoitteesta <https://new.abb.com/control-systems/fi/palvelut/elinkaaren-hallinta>
- AEL. (6. maaliskuu 2003). ESD Staattisen sähköpurkaus. *Kunnossapidon koulutuskeskus*. (T.T, Toim.) AEL. Haettu 8. maaliskuu 2020
- AEL. (6. maaliskuu 2003). Taajuusmuuttajan ennakkohuolto. (T.T, Toim.) AEL. Haettu 13. huhtikuu 2020
- AEL. (6. maaliskuu 2003). Taajuusmuuttajan tehopuolihoiteet. 13-30. (T.T, Toim.) AEL. Haettu 13. huhtikuu 2020
- AEL. (2003). *Vaihtolaite*. AEL. Haettu 11. toukokuu 2020
- Danfoss. (2019). *DrivePro® Life Cycle Services*. Haettu 22. maaliskuu 2020 osoitteesta <https://www.danfoss.com/fi-fi/products/ac-drives/dds/drivepro-services/>
- Danfoss. (maaliskuu 2019). *DrivePro® Preventive Maintenance*. Haettu 6. huhtikuu 2020
- Danfoss. (toukokuu 2019). *DrivePro® Remote Monitoring service*. Haettu 26. huhtikuu 2020 osoitteesta <https://danfoss.ipapercms.dk/Drives/DD/Global/SalesPromotion/faq-and-service-product-description/uk/spd-drivepro-remote-monitoring/#/>

- Danfoss. (2019). *VACON® 100 seinään kiinnitettävät taajuusmuuttajat VACON® 100 INDUSTRIAL, VACON® 100 FLOW, VACON® 100 HVAC*. Huoltoaikataulu. Haettu 31. maaliskuu 2020
- Danfoss A/S. (1992). *Tietämisen arvoista asiaa taajuudenmuuttajista* (1. painos p.). (T. Sonator Oy, Käänt.) Tampere, Suomi: New Centry Schoolbook, DTP.
- Fluke. (2020). *How To Test Diodes*. Haettu 19. huhtikuu 2020 osoitteesta <https://www.fluke.com/en-us/learn/best-practices/test-tools-basics/digital-multimeters/how-to-test-diodes-using-a-digital-multimeter>
- Harri Erkinheimo, U. T. (1997). *Taajuusmuuttajat*. (S. Oksaharju, Toim.) Espoo: Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. Haettu 12. helmikuu 2020
- Heinonkoski, R. (2013). *Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito*. (U. Rasila, Toim.) Tampere: Opetushallitus, Helsinki. Haettu 5. helmikuu 2020
- Hietalahti, L. (2011). *Tehoelektroniikan perusteet* (1. Painos p.). Tampere, Suomi: Hansaprint Oy Direct Vantaa, 2011. Haettu 8. maaliskuu 2020
- Hietalahti, L. (2013). *Teollisuuden sähkökäytöt* (1. painos p.). Vantaa: Tammertekniikka. Haettu 15. maaliskuu 2020
- IEC. (12. elokuu 2016). *IEC 60384-4:1985 | IEC Webstore*. Haettu 20. huhtikuu 2020 osoitteesta <https://webstore.iec.ch/publication/15956>
- IS-VET. (ei pvm). *Elektroniikkasarja10050*. Haettu 11. maaliskuu 2020 osoitteesta [www.isvet.fi: http://opetuspaikka.isvet.fi/assets/OpetuspaikkaItemCardFiles/10050-ELEKTRONIKKA-180614-NETTI.pdf](http://opetuspaikka.isvet.fi/assets/OpetuspaikkaItemCardFiles/10050-ELEKTRONIKKA-180614-NETTI.pdf)
- Jarkko Hakala, 2020, Technical Support Engineer, Danfoss Drives Finland Sales, Marketing & Aftermarket Services. Sähköpostiviesti 15.1.2020. (ei pvm). Suomi. Haettu 5. huhtikuu 2020
- Juho Farin, L. P.-L.-J. (2009). *Taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätögeneraattorikäytöissä*. Espoo : VTT. Haettu 22. maaliskuu 2020 osoitteesta <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>
- Karhumäki, J. (1. joulukuu 2015). Taajuusmuuttajan välipiirin elektrolyyttikondensaattoreidenmittaukset kenttäolosuhteissa hyödyntäen moottorin vakio DC-magnetointia. *Diplomityö*, 20-25. Lappeenranta, Suomi. Haettu 16. huhtikuu 2020 osoitteesta <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/117820/DI%20ty%c3%b6%20Jukka%20Karhum%c3%a4ki%20Final%20tiivi.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Leskinen, S. (2012). *Kunnossapidon perusteet*. Kainuun ammattiopisto, Sähkö- ja automaatiotekniikka. Haettu 21. tammikuu. 2020
- Markku J.J Mäkinen, R. K. (2009). *Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset* (1. Painos p.). (A. Ruutu, Toim.) Helsinki, Suomi: Otavan Kirjapaino Oy. Haettu 30. tammikuu. 2020
- Nichicon Corporation. (2016). *General Descriptions of Aluminum Electrolytic Capacitors*. Haettu 20. huhtikuu 2020 osoitteesta <https://www.nichicon.co.jp/english/products/pdf/aluminum.pdf>
- OMRON. (2013). *MX2 (Model 3G3MX2) User's Manual*. OMRON. Haettu 31. maaliskuu 2020 osoitteesta <https://www.edata.omron.com.au/eData/Inverters/I570-E2-02B.pdf>
- OMRON. (2020). *Alennetut konekustannukset koneratkaisujen perustamisesta*. Haettu 27. huhtikuu 2020 osoitteesta https://assets.omron.eu/downloads/brochure/de/v2/reduced_machine_downtime_leaflet_de.pdf
- OMRON. (2020). *Vähemmän koneen seisonta-aikoja*. Haettu 27. huhtikuu 2020 osoitteesta <https://industrial.omron.fi/fi/solutions/product-solutions/reduced-machine-down-time#predictive-maintenance>

- Petteri Raivio, 2020, Drives Service Finland, Product Manager, ABB Oy. Sähköpostiviesti 4.3.2020. (ei pvm).
Jyväskylä, Suomi. Haettu 5. huhtikuu 2020
- Putala, L. (2019). *TAAJUUSMUUTTAJAN ELVYTYKSET*. Opinnäytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu. Haettu 21. toukokuu 2020 osoitteesta
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/168979/Putala_Lauri.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- SLO. (2020). *SLO tuoteluettelo/teollisuustuotteet/taajuusmuuttajat*. Haettu 23. huhtikuu 2020 osoitteesta
<https://verkkokauppa.slo.fi/fi/tuoteluettelo/teollisuustuotteet/taajuusmuuttajat-ja-pehmoakaynn?p=1>
- Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. (1997). *Taajuusmuuttajat*. (S. Oksaharju, Toim.) Espoo: Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. Haettu 12. helmikuu 2020
- Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. (2017). *Sähköasennukset 1* (4., uudistettu painos p.). (A. Metsikkö, Toim.) Espoo, Suomi: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. Haettu 6. helmikuu 2020
- Toimi Keinänen, M. S. (2019). *Automaatiotekniikka* (1. painos p.). (N. Haarala, Toim.) Helsinki, Suomi: Sanoma Pro Oy. Haettu 4. helmikuu. 2020
- Toimi Keinänen, P. K. (2007). *Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat*. (T. Wacklin, Toim.) Helsinki, Suomi: WSOY Oppimateriaalit Oy, Helsinki. Haettu 20. tammikuu 2020
- Valio Oy. (2019). *www.valio.fi/yritys*. Haettu 27. tammikuu. 2020 osoitteesta
<https://www.valio.fi/yritys/yritystieto/johto-ja-omistajat/>
- Valio, O. (30. elokuu. 2019). *Suonenjoen hillotehdas*. Suonenjoki. Haettu 16. tammikuu. 2020 osoitteesta
www.valio.fi: <https://www.valio.fi/yritys/artikkelit/suomen-suurin-hillotehdas-loytyy-suonenjoelta/>
- Wikipedia. (5. helmikuu 2020). *Wikipedia*. Haettu 16. huhtikuu 2020 osoitteesta
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Kondensaattori>

LIITE 1: TAAJUUSMUUTTAJAN TARKASTUS DOKUMENTTI

Taajuusmuuttajan tarkastus dokumentti

1

Tarkastettava taajuusmuuttaja:

Tekijä & päivämäärä:

Valmistaja:

Malli:

Käyttökohde:

Viimeisin tarkastus:

1. Jäähdytys

Tarvetta lisä jäähdytykselle: Kyllä
Ei

2. Puhdistus

Tehty: Kyllä
Ei

Paineilmalla
Imuroimalla
Käsin

Poikkeavuuksia:

Jäähdytystuuletin

Toiminnan tarkastus: Kyllä
Ei

Laskennallinen käyttöaika n. (6 v)
Ollut käytössä: v

Puhdistus: Kyllä
Ei

3. Kondensaattorit

Laskennallinen käyttöaika n. (11 v)
Ollut käytössä: v
Korjauksia/toimenpiteitä

Taajuusmuuttajan tarkastus dokumentti

2

4. Piirikortit/Ohjauspaneeli

Pariston vaihto

Vaihdettu viimeksi:

5. Liitokset

Jännitteinen liitos

Perussilmäily

Kaikki kunnossa: Kyllä
Ei

Poikkeavuuksia:

Pintalämpötilan mittaus

Lämpökameralla Kyllä
Ei

IR-pintalämpömittarilla Kyllä
Ei

Tarkasteltavan liitoksen lämpötila °C
Poikkeama ympäristön lämpötilasta °C

Jännitteetön liitos

Perussilmäily

Kaikki kunnossa: Kyllä
Ei

Poikkeavuuksia:

Liitokselle vetokoe Kyllä Tarvetta kiristykselle Kyllä
Ei Ei

Taajuusmuuttajan tarkastus dokumentti

3

6. Kaapelointi

Valmistajan suositus:	<input type="text"/>
Toteutettu kaapelointi:	<input type="text"/>
Kaapeloinnin pituus:	<input type="text"/> m
Kaapelin kunto	<input type="text"/>
Korjauksia/toimenpiteitä	<input type="text"/>

7. Viimeistely

Varmuuskopiointi ja dokumentit

Vikamuistin tarkastus:

Tehty: Kyllä

Ei

Poikkeavuuksia:

Testiajo

Kaikki kunnossa: Kyllä

Ei

Poikkeavuuksia:

Yhteenvedo

Tehtäviä toimenpiteitä:

Valmistusvuosi

Käyttöönottovuosi

Miten varauduttu taajuusmuuttajan vikaantumiseen?

LIITE 2: VALMISTAJIEN MÄÄRÄAIKAISHUOLTO TAULUKOT

Taulukko 5. OMRON 3G3MX2 huollot (OMRON, 2013).

Item Inspected		Check for...	Inspection Cycle		Inspection Method	Criteria
			Daily	Year		
Overall	Ambient environment	Extreme temperatures & humidity	✓		Thermometer, hygrometer	Ambient temperature between -10 to 50°C, Humidity 90% or less non-condensing
	Major devices	Abnormal noise & vib.	✓		Visual and aural	Stable environment for electronic controls
	Power supply voltage	Voltage tolerance	✓		Digital volt meter, measure between inverter terminals [L1], [L2], [L3]	200 V class: 50/60 Hz 200 to 240 V (-15/+10%) 400 V class: 50/60 Hz 380 to 460 V (-15/+10%)
Main circuit	Ground Insulation	Adequate resistance		✓	Refer to P6-16	5 MΩ or greater
	Mounting	No loose screws		✓	Torque wrench	M3.5: 1.0 Nm M4: 1.4 Nm M5: 3.0 M6: 3.9 to 5.1 Nm M8: 5.9 to 8.8 Nm
	Components	Overheating		✓	Thermal trip events	No trip events
	IGBT	Resistance value		✓	Refer to P6-17	
	Terminal block	Secure connections		✓	Visual	No abnormalities
	Smoothing capacitors	Leaking, swelling	✓		Visual	No abnormalities
	Relay(s)	Chattering		✓	Aural	Single click when switching ON or OFF
Control circuit	Function	Voltage balance between phases		✓	Measure voltage between U, V, W	Difference must be 2% or less.
		Protection circuit		✓	e.g. Input Ex.trip signal and check inverter behavior and alarm signal.	Functions properly.
	Overall	No odor, discoloring, corrosion		✓	Visual	No abnormalities
	Capacitor	Leaking, swelling	✓		Visual	Undistorted appearance
Cooling	Cooling fan	Noise	✓		Power down, manually rotate	Rotation must be smooth
		Dust	✓		Visual	Vacuum to clean
		Mounting	✓		Visual	Mounted firmly
	Heat sink	Dust	✓		Visual	Vacuum to clean
Display	LEDs	Legibility	✓		Visual	All LED segments work

Taulukko 6. Danfoss VACON 100 huollot (Danfoss, 2019).

Table 2. Proactive maintenance actions

	Inspection intervals	Service schedule	Proactive maintenance actions
Environmental, cabling and connections	Service is performed always in commissioning phase of product and continues according to the service schedule. The environmental conditions will be documented in commissioning, e.g. heat, dust, moisture, vibration etc.		
Conditions of installation environment	1 year	1 year	Check that installation and environment conditions are within specifications, e.g. heat, dust, moisture, vibration etc. Corrective actions based on findings.
Cleaning	1 year	1 year	If required, the product will be cleaned with an antistatic vacuum cleaner.
Cleanliness of cooling tunnel	2 years	2 years	The cleanliness of the cooling tunnel will be checked / evaluated. Cleaning if necessary.
Air filters (depends on drive IP class)	3 months	3 months in demanding environment, 1 year in typical environment	The inspection and replacement intervals of filters depend on the environment . Replace at least once a year.
Sealing	1 year	Based on inspection	Check cabinet and drive sealing. Check cable lead-in glands visually. Corrective actions based on findings.
Visual inspection of cabling	1 year	1 year	Visual inspection for possible damages, e.g. vibration. Actions based on inspection.
Tightness of connections	1 year	1 year	Cable and wire connections to be checked and tightened.
Drive	Service is performed based on the service schedule. The actions and recommendations will be documented.		
Main DC cooling fans, internal cooling fans for electronics and fan power supplies	1 year	6-10 years depending on environment	Replace parts according to service schedule or based on maintenance report recommendation.
Product upgrades	1 year	1 year	Manufacturer offers product upgrades.
Printed circuit boards	1 year	12 years in typical environment	The printed circuit boards to be checked for contamination and possible corrosion. In case of contamination or corrosion printed circuit boards to be changed.
Control unit	1 year	10 years	Replace the RTC battery.
Cabinet	Service is performed based on the service schedule. The actions and recommendations will be documented.		
Auxiliary devices (contactors, switches, relays, push buttons, indicators, heater, cooler, cabinet fans etc.)	1 year	According to manufacturer information.	Replace parts according to the service schedule or based on maintenance report recommendation.
Documentation of actions	In case Danfoss Drives authorized service is carrying proactive maintenance all actions and recommendations are documented and document is given to customer.		
Saving of system and applications software	System and application software will be documented and current parameter settings saved.		
Analysis of inspection reports	A maintenance report, including recommendations for future repair / maintenance actions, will be created.		

Taulukko 7. ABB ACS580 ja ACH580 huollot. Vuodesta 2017 eteenpäin valmistetut (ABB, 2019).

Maintenance Schedule

ACS580-01, -04 & ACH580-01, -04, -31, -34 & ACQ580-01, -04, -31, -34

ACS580-07, ACH580-07, ACQ580-07 Cabinet Drives

Valid for drives manufactured or maintained in 2017 onwards



ABB Oy, Drives Service

Recommended maintenance intervals and component replacements are based on specified operational and environmental conditions. ABB recommends annual drive inspections to ensure the highest reliability and optimum performance. More detailed maintenance information can be found in maintenance instructions, product manuals and on the Internet.

www.abb.com/drives

NOTE! Long term operation near the maximum specified ratings or environmental conditions may require shorter maintenance intervals for certain components. Check the device specific technical specifications in the relevant hardware manual and consult your local ABB Service for maintenance recommendations at:

www.abb.com/searchchannels

Legend

- I Inspection (inspection and maintenance action if needed)
- P Performance of on/off-site work (commissioning, tests, measurements or other work)
- R Replacement

Recommended actions by the user

Connections and environment	
Cabinet door filters IP54	R
Quality of supply voltage	P
Spare parts	
Spare parts	I
DC circuit capacitors reforming for spare modules and spare capacitors	P
Inspections by user	
IP22 and IP42 air inlet and outlet meshes	I
Tightness of terminals	I
Dustiness, corrosion and temperature	I
Heat sink cleaning	I

Cooling	Years from start-up						
	3	6	9	12	15	18	21
Fans, IP21 frames R0 to R9							
Main cooling fans R0-R5		R		R		R	
Main cooling fans R6-R9 LONGLIFE			R			R	
Auxiliary cooling fan for circuit boards, only R5 - R9 LONGLIFE			R			R	
Fans, IP55 frames R0 to R9							
Main cooling fans R0-R5		R		R		R	
Main cooling fans R6-R9 LONGLIFE			R			R	
Auxiliary cooling fan for circuit boards R0-R2	R	R	R	R	R	R	R
Auxiliary cooling fan for circuit boards R3-R9 LONGLIFE			R			R	
Second Auxiliary cooling fan, only R8 and R9 LONGLIFE			R			R	
Fans, ACH580-31, ACQ580-31 frames R3, R6, R8							
Main cooling fans LONGLIFE			R			R	
Auxiliary cooling fans LONGLIFE			R			R	
Fans, frames R10 and R11							
Main cooling fans*			R			R	
Circuit board compartment cooling fans LONGLIFE			R			R	
Cabinet cooling fan R6 to R9							
Cabinet cooling fan, door (IP21, IP42, IP54)			R			R	
Cabinet cooling fan R10 to R11							
Internal LONG-LIFE 50Hz			R			R	
Internal LONG-LIFE 60Hz		R		R		R	
Door LONG-LIFE 50 Hz			R			R	
Door LONG-LIFE 60Hz			R			R	
IP54 50Hz*			R			R	
IP54 60Hz *		R		R		R	
Cabinet cooling fan IP54			R			R	

*Fan has been always "LONG-LIFE" type

Aging	Years from start-up						
	3	6	9	12	15	18	21
Common, control panel battery							
Control panel battery			R			R	
Frequency converter frames R0 to R5							
CCU control unit				R			
Frequency converter frames R6 to R9							
Flat ribbon cables				R			
DC circuit electrolytic capacitors and discharging resistors			R			R	
ZINT main interface board, ZPOW power supply board, ZINP input protection board				R			
CCU control unit				R			
Frequency converter frames R10 to R11							
Flat ribbon cables				R			
DC circuit electrolytic capacitors and discharging resistors			R			R	
BFPS, BGDR, ZBDR, ZINT, BINT, BPOW, ZPOW module circuit boards				R			
CCU control unit				R			

Taulukko 8. ABB ACS580 ja ACH580 huollot. Vuodesta 2017 eteenpäin valmistetut (ABB, 2019).

Maintenance Schedule
ACS580-01, -04 & ACH580-01 & ACQ580-01 Drives
ACS580-07 Cabinet Drives



Valid for drives manufactured 2016 or before

Recommended maintenance intervals and component replacements are based on specified operational and environmental conditions. ABB recommends annual drive inspections to ensure the highest reliability and optimum performance. More detailed maintenance information can be found in maintenance instructions, product manuals and on the Internet.

www.abb.com/drives

NOTE! Long term operation near the maximum specified ratings or environmental conditions may require shorter maintenance intervals for certain components. Check the device specific technical specifications in the relevant hardware manual and consult your local ABB www.abb.com/searchchannels

Legend

- I Inspection (inspection and maintenance action if needed)
- P Performance of on/off-site work (commissioning, tests, measurements or other work)
- R Replacement

Recommended annual actions by the user	
Connections and environment	
Quality of supply voltage	P
Spare parts	
Spare parts	I
DC circuit capacitors reforming for spare modules and spare capacitors	P
Inspections by user	
Tightness of terminals	I
Dustiness, corrosion and temperature	I
Heat sink cleaning	I

Cooling	Years from start-up						
	3	6	9	12	15	18	21
Fans, IP21 frames R0 to R9							
Main cooling fans		R		R		R	
Auxiliary cooling fan for circuit boards, only R5 to R9	R	R	R	R	R	R	R
Fans, IP55 frames R0 to R9							
Main cooling fans		R		R		R	
Auxiliary cooling fan for circuit boards	R	R	R	R	R	R	R
Second Auxiliary cooling fan, only R8 and R9	R	R	R	R	R	R	R
Fans, frames R10 and R11							
Main cooling fans			R			R	
Cooling fans for circuit board compartment		R		R		R	
Cabinet cooling fan							
Internal 50Hz		R		R		R	
Internal 60Hz	R	R	R	R	R	R	R
Door 50 Hz		R		R		R	
Door 60Hz		R		R		R	
IP54 50Hz			R			R	
IP54 60Hz		R		R		R	

Aging	Years from start-up						
	3	6	9	12	15	18	21
Common, control panel battery							
Control panel battery			R			R	
Frequency converter frames R0 to R5							
CCU control unit				R			
Frequency converter frames R6 to R9							
Flat ribbon cables				R			
DC circuit electrolytic capacitors and discharging resistors			R			R	
ZINT main interface board, ZPOW power supply board, ZINP input protection board				R			
CCU control unit				R			
Frequency converter frames R10 to R11							
Flat ribbon cables				R			
DC circuit electrolytic capacitors and discharging resistors			R			R	
BFPS, BGDR, ZBDR, ZINT module internal circuit boards				R			
BPOW / ZPOW power supply boards				R			
CCU control unit				R			

Taulukko 9. ABB ACS880 huollot. Vuodesta 2017 eteenpäin valmistetut (ABB, 2018).

Maintenance Schedule

ACS880-01,-01XT,-04,-04F,-04XT,-11,-14,-31,-34 Single drives and modules

ACS880-07,-17,-37 Cabinet-build single drives

Valid for drives manufactured or maintained in 2017 onwards.



ABB Oy, Drives Service

Recommended maintenance intervals and component replacements are based on specified operational and environmental conditions. ABB recommends annual drive inspections to ensure the highest reliability and optimum performance. More detailed maintenance information can be found in maintenance instructions, product manuals and on the Internet.

www.abb.com/drives

NOTE! Long term operation near the maximum specified ratings or environmental conditions may require shorter maintenance intervals for certain components. Check the device specific technical specifications in the relevant hardware manual and consult your local ABB Service for maintenance recommendations at:

www.abb.com/searchchannels

Legend

- I Inspection (visual inspection and maintenance action if needed)
- P Performance of on/off-site work (commissioning, tests, measurements or other work)
- R Replacement

Recommended annual actions by the user	Annually
Connections and environment	
Cabinet door filters IP54	R
Quality of supply voltage	P
Spare parts	
Spare parts	I
DC circuit capacitors reforming, spare modules and spare capacitors	P
Inspections by user	
IP22 and IP42 air inlet and outlet meshes	I
Tightness of terminals	I
Dustiness, corrosion and temperature	I
Heat sink cleaning	I
Other	
ABB-SACE Air circuit breaker maintenance	I

Cooling	Years from start-up						
	3	6	9	12	15	18	21
Main cooling fan							
Main cooling fan (R1 to R9) speed controlled LONG-LIFE			R			R	
Main cooling fan (R10 and R11) speed controlled*			R			R	
Main cooling fan (R8i and D8T) speed controlled*			R			R	
Main cooling fan (D7T) speed controlled LONG-LIFE			R			R	
Main cooling fan (BLCL) direct online 50 Hz LONG-LIFE			R			R	
Main cooling fan (BLCL) direct online 60 Hz LONG-LIFE		R		R		R	
Aux cooling fan							
Auxiliary cooling fan for circuit boards (R1 to R9) LONG-LIFE			R			R	
Auxiliary cooling fan IP55 (R8 and R9) LONG-LIFE			R			R	
Circuit board compartment cooling fans (R10, R11) LONG-LIFE			R			R	
Internal cooling fan for circuit boards (R8i and D8T) LONG-LIFE			R			R	
Cabinet cooling fan							
Internal LONG-LIFE 50Hz			R			R	
Internal LONG-LIFE 60Hz		R		R		R	
Door LONG-LIFE 50 Hz			R			R	
Door LONG-LIFE 60Hz			R			R	
IP54 50Hz*			R			R	
IP54 60Hz *		R		R		R	
xSIN filter cooling fan							
Filter cooling fan LONG-LIFE			R			R	

*Fan has been always "LONG-LIFE" type

Aging	Years from start-up						
	3	6	9	12	15	18	21
Common, control panel and control unit batteries							
ZCU/BCU control unit battery (Real-time clock)		R		R		R	
Control panel battery (Real-time clock)			R			R	
Frequency converter R1 to R9							
Flat ribbon cables (R8 to R9)				R			
DC circuit electrolytic capacitors (R8 to R9) and discharging resistors			R			R	
ZINT, ZPOW, ZINP, QINT (R8 to R9) module internal circuit boards				R			
ZCU control unit				R			

Taulukko 10. ABB ACS880 huollot. Vuodesta 2017 eteenpäin valmistetut (ABB, 2018).

Maintenance Schedule

ACS880-01,-01XT,-04,-04F,-04XT,-11,-14,-31,-34 Single drives and modules

ACS880-07,-17,-37 Cabinet-build single drives

Valid for drives manufactured or maintained in 2017 onwards.



ABB Oy, Drives Service

Aging	Years from start-up						
	3	6	9	12	15	18	21
Drive frame sizes R10 and R11							
Flat ribbon cables				R			
DC circuit electrolytic capacitors and discharging resistors			R			R	
BPOW / ZPOW module internal circuit board				R			
BFPS, BGDR, ZBDR, ZINT, BINT module internal circuit boards				R			
ZCU control unit				R			
Inverter module, IGBT Supply module R8i							
DC circuit electrolytic capacitors (R8i) and discharging resistors			R			R	
BDPS, BFPS module internal power supply boards				R			
BINT, BGDR, BDFC module internal circuit boards				R			
Flat ribbon cables (when boards replaced)				R			
BCU control unit				R			
Supply modules D7T and D8T							
BDPS, BFPS module internal power supply boards				R			
BINT, BTDR, BPCB, BDFC module internal circuit boards				R			
Flat ribbon cables (when boards replaced)				R			
BCU control unit				R			
Filter unit capacitors							
BLCL capacitor			R			R	
NSIN capacitor			R			R	
Drive frame size R11 (-14, -34)							
Charging circuit contactor			R			R	