

ACS600-vaihtosuuntaajien korvaaminen ACS880-vaihtosuuntaajilla

Juuso Höök

Opinnäytetyö

Toukokuu 2018

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Sähkövoimatekniikka

Tekijä(t) Höök, Juuso	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2018
	Sivumäärä 52	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi ACS600-vaihtosuuntaajien korvaaminen ACS880-vaihtosuuntaajilla		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hukari, Sirpa & Kuisma, Ari		
Toimeksiantaja(t) Metsä Board Oyj		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Metsä Board Oyj ja se tehtiin Metsä Boardin Äänekosken kartonkitehtaalle.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli saada aikaan toimiva konsepti kartonkikoneen johto- ja levitystelojen vanhojen vaihtosuuntaajien korvaamiseen uusilla vaihtosuuntaajilla. Jotta korvaustyö sujuisi moitteetta, tuli selvittää vanhojen linjakäyttöjen tilanteet, tutkia vanhojen kaappien jäähdytyskapasiteetin riittävyyttä, huomioida vanhan ja uuden vaihtosuuntaajan merkittävimmät erot, laatia kustannusarviot uusille vaihtosuuntaajille, suunnitella uuden vaihtosuuntaajan mekaaninen asennus sekä hankkia pientarvikkeet ensimmäistä korvaustyötä varten.</p> <p>Opinnäytetyön tietoperusta koostuu suurelta osin toimeksiantajan materiaaleista ja alan kirjallisuudesta. Opinnäytetyön teoriaosuudessa keskityttiin kartonkikoneella käytettävien sähkökäyttöjen osien toiminnan ja rakenteen lisäksi myös kartonkikoneen käyttöjen pyörimisnopeusohjeen rakentamiseen.</p> <p>Opinnäytetyön merkittävimpänä tuloksena saatiin suunniteltua uusien vaihtosuuntaajien mekaaninen asennus siten, että sen jäähdytystapa on samanlainen kuin vanhojen vaihtosuuntaajien. Myös kustannusarviot sekä kaikki tarvittavat valmistelut ensimmäistä korvaustyötä varten saatiin tehtyä. Muutostyön todelliset tulokset saadaan vasta ensimmäisen korvaustyön jälkeen, jolloin voidaan varmistua uusien vaihtosuuntaajien jäähdytyksen riittävyydestä ja mekaanisen asennuksen soveltuvuudesta. Toimeksiantaja voi hyödyntää opinnäytetyön tuloksia tulevaisuudessa kartongin johto- ja levitystelojen vaihtosuuntaajien korvaustyössä. Suurempien teholuokkien vaihtosuuntaajien muutostyöt on tarkasteltava tapauskohtaisesti.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Taajuusmuuttaja, vaihtosuuntaaja, ACS600, ACS880, linjakäyttö		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Höök, Juuso	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 52	Permission for web publication: X
Title of publication Replacing ACS600-inverters with ACS880-inverters		
Degree programme Electrical and Automation Engineering		
Supervisor(s) Hukari, Sirpa & Kuisma, Ari		
Assigned by Metsä Board Oyj		
Abstract <p>The thesis was assigned by Metsä Board Oyj, Metsä Board Äänekoski board mill.</p> <p>The aim of the thesis was to create a working concept for replacement of old inverters with new inverters situated in the board mill's leading- and spreading rolls. While planning replacement work, situations of old inverters needed to be clarified, old cabins ability to cool new inverters investigated, the main differences with old and new inverters observed, cost estimates for new inverters formulated, mechanical installation for new inverters designed and the accessories for first replacement work procured.</p> <p>The data base of thesis for most parts consists of company information and relevant literature. The theoretical part of the thesis includes the structure of the electric drives as well as information on how electric drives generates value of rotation speed.</p> <p>The most considerable result of the thesis was the design of mechanical installation of the inverters, because the design was made so that the cooling method remains the same with new inverter. In addition, the cost estimates for new inverters and all needed preparations was completed. Actual results of the thesis are to be obtained only after completing the first replacement work as the sufficiency of cooling capacity and suitability of mechanical installations will be then confirmed.</p> <p>The company can utilize the results of the thesis as such in the future when replacing the inverters in leading- and spreading rolls. The replacement work for higher rated inverters must be examined case-specifically.</p>		
Keywords/tags (subjects) Frequency converter, inverter, ACS600, ACS880, multidrive		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	4
1.2	Metsä Board Oyj.....	5
2	Kehittämistehtävän tausta ja toteutus	6
3	Toteutusympäristössä käytettävät moottorityypit	8
3.1	Oikosulkumoottori	8
3.1.1	Rakenne	8
3.1.2	Toimintaperiaate	10
3.2	Kestomagneettitahtimoottori	13
3.2.1	Rakenne	13
3.2.2	Toimintaperiaate	14
3.3	Tasavirtamoottori.....	15
3.3.1	Rakenne	15
3.3.2	Toimintaperiaate	16
4	Taajuusmuuttaja	17
4.1	Toimintaperiaate ja rakenne	17
4.2	Taajuusmuuttajan säätötavat	19
4.2.1	Skalaariohjaus.....	20
4.2.2	Vektorisäätö.....	20
4.2.3	Suora momenttisäätö.....	20
5	Kartonkikoneen johtotelaryhmien sähkökäytöt	22
5.1	Johtotelaryhmä	23
5.2	Linjakäyttöjärjestelmän rakenne.....	23
5.3	Nopeuden säädön teoriaa.....	25

	2
5.3.1 Säättöpiirit.....	25
5.3.2 Nopeusohjeketju	26
5.3.3 Moottorin pyörimisnopeuden määrittäminen.....	27
6 Linjakäyttöjen päivityksen suunnittelu.....	29
6.1 Uuden ja vanhan vaihtosuuntaajan vertailu	29
6.2 Ulkoiset moduulit	30
6.3 Työkaluverkko	32
6.4 Käyttöjen listaus sekä priorisointi	33
6.4.1 Käyttöjen listaus	34
6.4.2 Vika- ja vaikutusanalyysi.....	34
6.5 Uusien vaihtosuuntaajien kustannusarviot teholuokittain.....	36
6.6 Mekaaninen asennus	36
6.7 Jäähdytys	40
7 Tulokset	41
8 Pohdinta.....	42
Lähteet	44
Liitteet.....	46
Liite 1. FMEA-analyysi, esimerkki	46
Liite 2. Kolmen johtotelan muutostyön vaatimat pientarvikkeet.....	47
Liite 3. Vaihtosuuntaajien limittäinen asennustapa	48
Liite 4. Lämpökuvat vaihdettavien johtotelojen vaihtosuuntaajien kaapista	49
 Kuviot	
 Kuvio 1. ABB:n tuotteiden elinkaarenhallinta.....	4

Kuvio 2. Metsä Group.....	5
Kuvio 3. Oikosulkumoottorin räjäytyskuva	9
Kuvio 4. Häkkikäämityn roottorin periaatekuva	10
Kuvio 5. Oikosulkumoottorin normaali vaihejärjestys sekä pyörimissuunta.....	11
Kuvio 6. Kestomagneettitahtimoottorin ja oikosulkumoottorin roottorien eroavaisuus	14
Kuvio 7. Rumpukäämityn tasavirtakoneen periaatekuva	15
Kuvio 8. Taajuusmuuttajan periaatekuva	18
Kuvio 9. Vaihtosuuntaajan kytkinasennot.....	19
Kuvio 10. Suoran momentinsäädön lohkokaavio.....	21
Kuvio 11. Erään kartonkikoneen osan johtoteloja	23
Kuvio 12. Linjakäyttöjärjestelmän rakenne.....	24
Kuvio 13. Nopeusohjeketju	26
Kuvio 14. ACS-AP-I ohjauspaneelit oveen asennettuna DPMP-01 asennussarjan avulla.	31
Kuvio 15. Ethernet-verkon rakenne.	33
Kuvio 16. Vanhan vaihtosuuntaajan asennusmoduuli.....	38
Kuvio 17. Uusi asennuslevy paikallaan.....	39
Kuvio 18. Lämpökuva vanhoista vaihtosuuntaajista.....	41

Taulukot

Taulukko 1. Napapariluvun vaikutus staattorin magneettikentän pyörimisnopeuteen	12
Taulukko 2. Uusien vaihtosuuntaajien kustannusarviot	36

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Jokaisen taajuusmuuttajan elinkaari tulee joskus päätökseen. Näin on käynyt tämän opinnäytetyön toimeksiantajan, Metsä Boardin Äänekosken kartonkitehtaan, linjakäyttöjen taajuusmuuttajille. Linjakäyttöjen taajuusmuuttajat ovat ABB:n toimittama ACS600-sarjaa ja ne ovat palvelleet Äänekosken kartonkitehtaalla jo 17 vuoden ajan. ACS600-sarja on kuitenkin siirtymässä uudempien tieltä ja on tällä hetkellä elinkaarensa classic-vaiheessa. Valmistajan mukaan ACS600-sarjan linjakäytöt on tarkoitus pitää classic-vaiheessa vähintään vuoden 2021 loppuun asti, jonka jälkeen tuotesarja siirtyy limited-vaiheeseen (Product life cycle status statement ACS600 multidrive 2015). Kuviossa 1 on esitetty ACS600-sarjan elinkaaren vaiheet.



Kuvio 1. ABB:n tuotteiden elinkaarenhallinta (Product life cycle status statement ACS600 multidrive 2015)

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää toimiva konsepti linjakäyttöjen vaihtosuuntaajien korvaamiseen uusilla vaihtosuuntaajilla. Vaihtotyö toteutetaan muutama vaihtosuuntaaja kerrallaan. Muutostyötä hankaloittaa merkittävästi kartongin valmistusprosessin luonne, sillä kartonkikone on tuotannossa aina kun mahdollista. Toimeksiantajan kartonkikoneen huolto-ohjelmaan kuuluu lyhyt, noin vuorokauden kestävä siivousseisokki noin kuuden viikon välein. Pidempi, muutaman vuorokauden huoltoseisokki pidetään noin kaksi kertaa vuodessa. Muutostyötä on tarkoitus tehdä aina pidemmissä huoltoseisokeissa.

Jotta muutostyö onnistuisi moitteetta, oli tehtävä seuraavat asiat:

- Selvittää vanhat linjakäytöt ja niille tarvittavat toimenpiteet
- Priorisoida käyttöjen päivitysjärjestys

- Laatia uusille vaihtosuuntaajille karkeat kustannusarviot
- Tehdä ennakkovalmistelut ensimmäistä vaihtoseisokkia varten
- Todeta jäähdytyskapasiteetin riittävyys.

Opinnäytetyön tuloksia tarkastellaan työnantajan edustajien kanssa ennen varsinaista muutostyötä, sillä itse asennustyö sekä käyttöönotto toteutetaan opinnäytetyön jälkeen kartonkikoneen huoltoseisokin ajankohdasta johtuen.

1.2 Metsä Board Oyj

Metsä Board Oyj on osa Metsä Group konsernia, jonka emoyhtiö on Metsäliitto Osuuskunta (Metsä Group metsästä maailmalle n.d). Kuvio 2 selviää Metsä Group konsernin rakenne sekä tietoja konsernin tytäryhtiöistä.



Kuvio 2. Metsä Group (Metsä Group metsästä maailmalle n.d.)

Metsä Board Äänekoski on yksi Metsä Boardin kahdeksasta tuotantolaitoksesta. Äänekosken kartonkitehtaalla tuotetaan korkealaatuista taivekartonkia pakkaus- ja graafisen teollisuuden lopputuotteille. Äänekosken kartonkitehtaan tuotantokapasiteetti on 240 000 tonnia vuodessa ja se työllistää 170 työntekijää. (Äänekoski Board Mill n.d.)

2 Kehittämistehtävän tausta ja toteutus

Opinnäytetyö oli luonteeltaan kehittämistyö ja se eteni selkeästi kehittämistyön toimintamallin mukaisesti. Tässä osuudessa käydään lyhyesti läpi tämän kehittämistyön osat ja niihin sisältyneet toimenpiteet.

Nykytilan kartoitus ja tietoperusta

Nykytilan kartoituksen merkittävin osio oli linjakäyttöjen listaaminen sekä listan analysointi. Myös linjakäyttöjä ylläpitävien käynninvarmistajien kanssa käydyt keskustelut sekä havainnointi hahmottivat sen hetkistä nykytilaa.

Opinnäytetyön tietoperusta rakentui toimeksiantajan materiaaleista ja empiirisestä tiedosta, alan kirjallisuudesta ja verkkojulkaisuista sekä aihetta käsittelevistä opinnäytetöistä.

Tavoitetilan analyysi ja kuvaaminen sekä ongelmakohtien tunnistaminen ja kuvaaminen

Opinnäytetyön tärkeimmät tavoitteet olivat toimivan konseptin kehittäminen linjakäyttöjen vaihtosuuntaajien korvaamiseen uusilla vaihtosuuntaajilla sekä varmistua uusien vaihtosuuntaajien jäähdytyksen riittävydestä.

Ongelmakohdat tiellä tavoitetilaan muotoiltiin tutkimuskysymyksiksi. Tämän kehittämistyön tutkimuskysymyksiä olivat:

- Millaiset ovat linjakäyttöjen vaihtosuuntaajien tilanteet?
- Kuinka varmistutaan siitä, että vaihtotyö onnistuu aikataulussa?
- Millainen on uusien vaihtosuuntaajien mekaaninen asennus?
- Riittääkö vanhojen kaappien jäähdytyskapasiteetti uusille vaihtosuuntaajille?
- Mitä asioita on huomioitava, kun vanhoja vaihtosuuntaajia korvataan uusilla?

Työn alkuvaiheessa tuli myös selväksi, että työ oli rajattava kokonaan pelkästään kartongin johto- ja levitysteloihin niiden vaihtosuuntaajien pienen teholuokan ja fyysisen koon vuoksi. Suuremman teholuokan vaihtosuuntaajat vaativat esimerkiksi erilaisen mekaanisen asennuksen.

Parannusehdotus

Tavoitetaan pyrittiin vastaamalla tutkimuskysymyksiin erilaisten toimenpiteiden avulla. Toimenpiteitä olivat:

- linjakäyttöjen listaus sekä vika- ja vaikutusanalyysin teko
- uuteen vaihtosuuntaajaan ja sen lisämoduuleihin perehtyminen
- vanhan ja uuden vaihtosuuntaajan erojen tarkastelu
- uuden vaihtosuuntaajan mekaanisen asennuksen suunnittelu
- työkaluverkon rakentaminen
- lämpökuvien ottaminen sekä tarvittavien muuttujien dokumentointi vanhoista vaihtosuuntaajista
- vaihtotyössä tarvittavien pientarvikkeiden listaus sekä hankinta
- vaihtotyön läpi käyminen yksityiskohtaisesti vaihtotyön suorittavien henkilöiden kanssa.

Tekeminen

Linjakäyttöjen vaihtosuuntaajien tilanteisiin saatiin vastaus listaamalla linjakäytöt, ja tekemällä osalle niistä vika- ja vaikutusanalyysi. Nämä toimenpiteet selkeyttivät vaihtosuuntaajien vaihtojärjestystä sekä vaihtotyön määrää tulevaisuudessa.

Kolmen vaihtosuuntaajan vaihtotyön aikataulussa pysyminen varmistettiin listamalla ja hankkimalla tarvittavat pientarvikkeet ja käymällä yksityiskohtaisesti vaihtotyö läpi työn suorittavien henkilöiden kanssa.

Vaihtosuuntaajien mekaaninen asennus suunniteltiin useiden eri vaihtoehtojen pohjalta. Mekaanista asennusta varten tehtiin valmiit asennuslevyt, jotka takaavat muutostyössä vähäisen työmäärän ja uusien vaihtosuuntaajien jäähdytystavan säilymisen samanlaisena, kuin vanhojen vaihtosuuntaajien. Jäähdytyskapasiteetin riittävyyden lopullista varmistamista varten lämpökuvattiin vaihdettavien vaihtosuuntaajien kaappi ja samalta hetkeltä kirjattiin ylös tarvittavat muuttujat, jotta lämpökuvat ovat vertailukelpoisia eri olosuhteissa. Asennuslevyjä päästiin kokeilemaan paikalleen sattunnaisissa tuotannon katkotilanteissa.

Uusien vaihtosuuntaajien parametrien asettelua, signaalien mittausta sekä käytön vianhakua varten rakennettiin työkaluverkko ethernet-tekniikalla. Myös uusien vaihtosuuntaajien ohjauspaneelit asennettiin kaapin oveen.

Tulosten arviointi ja seuranta

Työn todelliset tulokset saadaan hyvin nopeasti ensimmäisen muutostyön jälkeen, sillä silloin pystytään arvioimaan tarkemmin, onko kaikki tarvittavat asiat huomioitu muutostyötä varten. Mekaanisen asennuksen toimivuus jäähdytyksen kannalta selviää ottamalla lämpökuvat uusista vaihtosuuntaajista muutostyön jälkeen. Tarvittaessa ensimmäisen muutostyön jälkeen toimintatapoihin voidaan tehdä muutoksia seuraavaa muutostyötä varten.

3 Toteutusympäristössä käytettävät moottorityypit

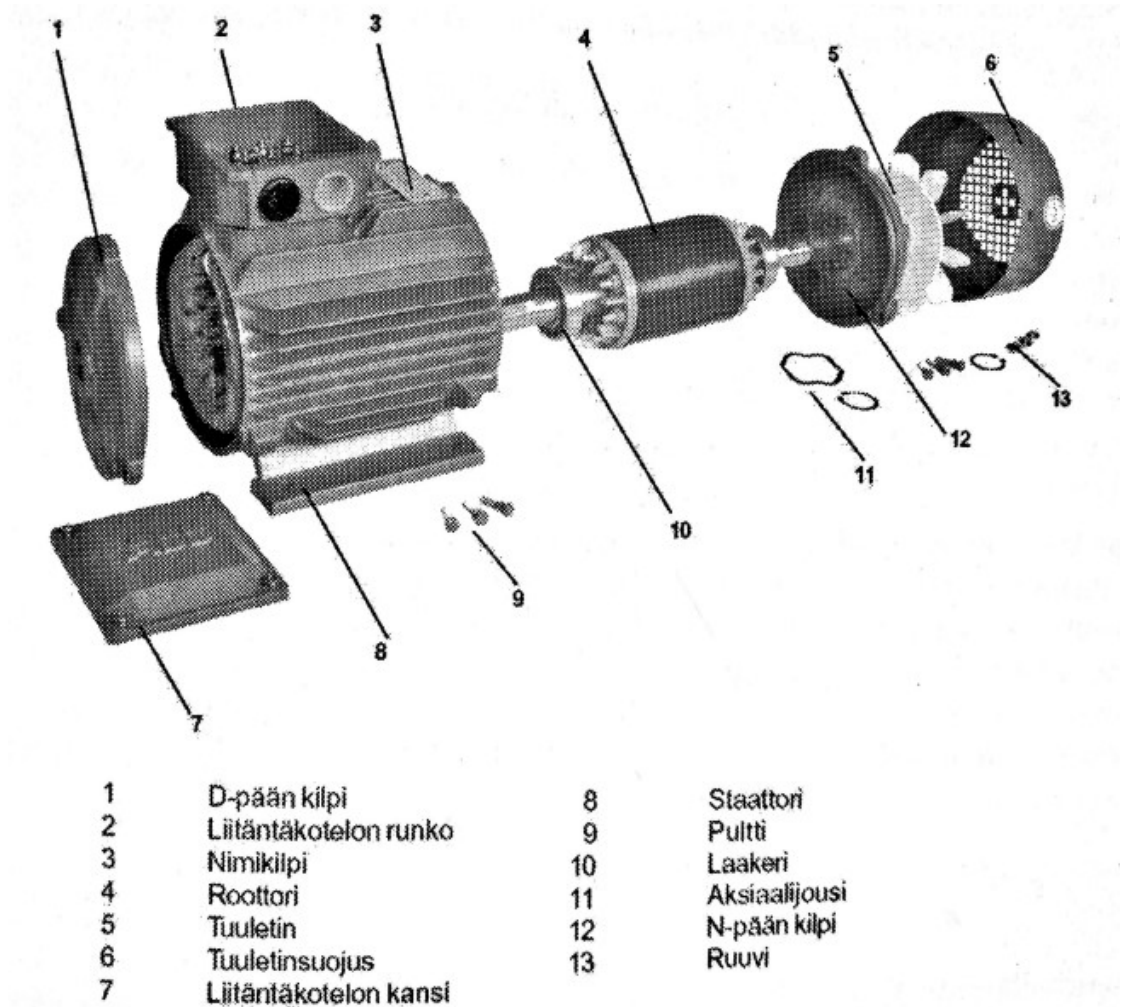
Seuraavassa luvussa keskitytään sellaisiin moottorityyppeihin, joita käytetään Äänekosken kartonkitehtaalla kartonkikoneen voimansiirtoon. Moottorit voidaan jakaa kahteen ryhmään, kiertokenttämoottoreihin sekä tasavirtamoottoreihin. Kartonkikoneen voimansiirrossa käytettäviä kiertokenttämoottoreita ovat oikosulkumoottori sekä kestromagneettitahtimoottori. Kartonkikoneella käytettävät tasavirtamoottorit ovat vierasmagnetoituja tasavirtamoottoreita.

3.1 Oikosulkumoottori

3.1.1 Rakenne

Oikosulkumoottori on yksinkertaisuutensa, kestävyytensä sekä hintansa johdosta teollisuuden yleisin sähkökonetyyppi. Tehoelektroniikan kehittyminen on myös mahdollistanut oikosulkumoottorille tarkan pyörimisnopeuden säädettävyyden, joka on lisännyt jo ennestään suosittua oikosulkumoottorin käyttöä erilaisissa sovelluksissa. Oikosulkumoottori on epätahtimoottori. (Aura & Tonteri 1996, 305.)

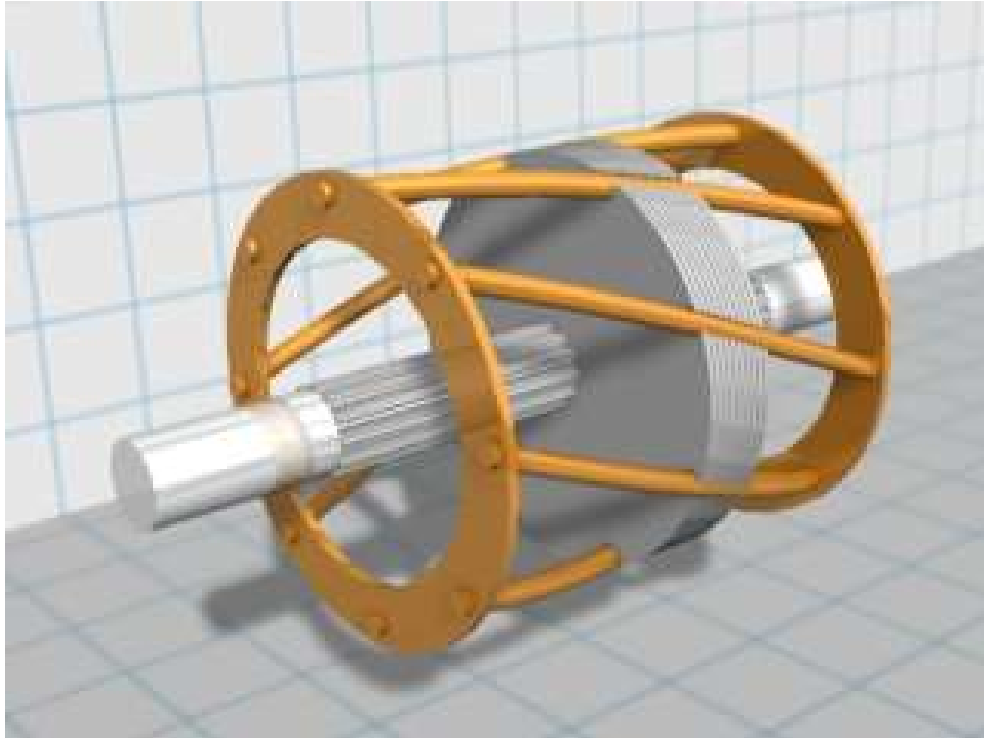
Oikosulkumoottori voidaan jakaa kahteen selkeään pääosaan, staattoriin ja roottoriin. Staattori on oikosulkumoottorin runko eikä siinä ole mekaanisesti aktiivisia eli liikkuvia osia. Kuviossa 3 on esitetty oikosulkumoottorin keskeisimmät osat.



Kuvio 3. Oikosulkumoottorin räjäytyskuva (Hietalahti 2011, 59)

Oikosulkumoottorin roottori koostuu akselinsuuntaan kulkevista johteista eli sauvoista, sauvojen päissä olevista oikosulkurenkaista sekä uritetuista rautalevyistä (ks. kuvio 4). Sauvat sekä oikosulkurenkaat muodostavat sylinterin muotoisen häkin, jota usein kutsutaan oravanpyöräksi. Uritetut rautalevyt sijaitsevat akseliin nähden poikittain häkin sisällä. Toisin kuin kuviossa 4, todellisessa roottorissa rautalevyjä on koko matkalla oikosulkurenkaiden välissä. Oikosulkumoottorin nimitys tulee häkkikämmitystä roottorista, sillä käämityksen navat ovat oikosuljettu. Roottori asennetaan staattorin sisälle siten, että se ja staattori eivät ole kosketuksissa toisiinsa, vaan niiden väliin jää ilmaväli. Roottorin akselilla olevat laakerit sopivat täydellisesti D- ja N-

pään kilpiin, jotta ilmaväli toteutuu ja roottorin lähes kitkaton pyöriminen onnistuu.
(Hietalahti 2011, 59-60.)



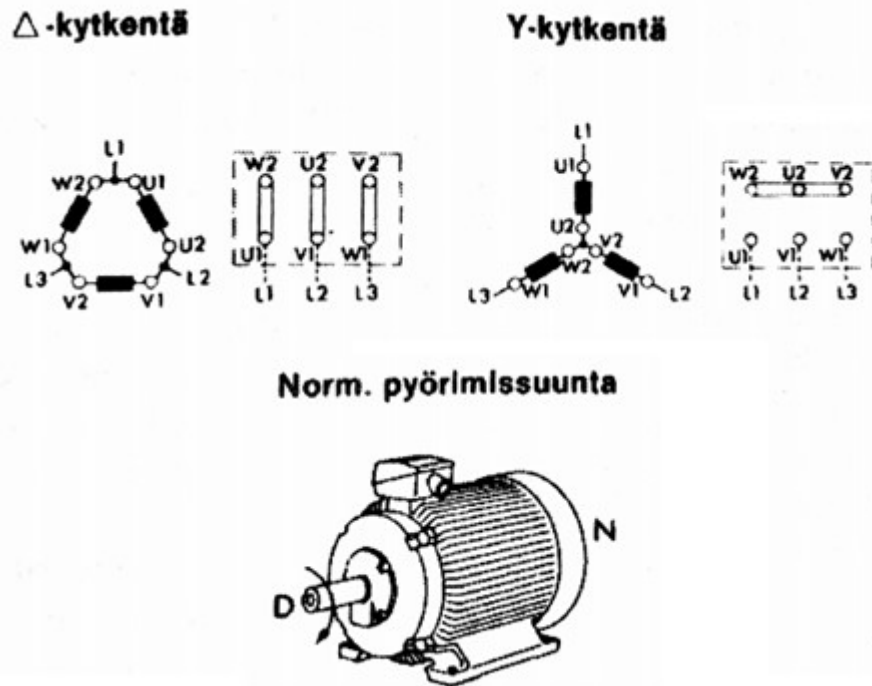
Kuvio 4. Häkkikäämityn roottorin periaatekuva (Häkkikäämitty roottori n.d.)

3.1.2 Toimintaperiaate

Oikosulkumoottorin toiminta perustuu staattorin aiheuttamaan pyörivään magneettikenttään eli staattorikenttään. Staattorin urissa on staattorikäänitys, jonka kaikki kolme käämiä on käännetty symmetrisesti, mikä mahdollistaa pyörivän magneettikentän syntymisen. (Tietämisen arvoista asiaa taajuudenmuuttajista 2000, 16-17.)

Jos kytketään kolmivaiheisen verkon vaihe L_1 liittimeen U_1 , vaihe L_2 liittimeen V_1 ja vaihe L_3 liittimeen W_1 , pyörii magneettikenttä matemaattisesti negatiiviseen suun-

taan eli myötapäivään moottorin D-päädystä katsottuna (ks. kuvio 5). Jos mitkä tahansa kaksi vaihejohtinta vaihtavat kytkennässä keskenään paikkaansa, magneettikentän pyörimissuunta vaihtuu. (Aura & Tonteri 1996, 305.)



Kuvio 5. Oikosulkumoottorin normaali vaihejärjestys sekä pyörimissuunta (Aura & Tonteri 1996, 341, muokattu)

Kun staattorilla on saatu aikaan pyörivä magneettikenttä, indusoituu roottorin sauvoihin lähdejännite. Häkkikäämitysssä roottorissa sauvat on oikosuljettu molemmista päistä oikosulkurenkailla, joten indusoitunut lähdejännite aiheuttaa sauvoihin roottorivirtoja, jotka synnyttävät ympärilleen oman magneettikenttensä. Induktion aiheuttama roottorin magneettikenttä pyörii staattorin magneettikentän tahdissa samalla vetäen roottoria perässään, joten roottorin magneettikenttä pyörii nopeampaa kuin itse roottori. (Hietalahti 2011, 60-62.)

Oikosulkumoottorin pyörimisnopeus voidaan laskea yhtälöstä 1.

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} - \Delta_n \quad (1)$$

missä n = moottorin pyörimisnopeus

f = syöttötaajuus

p = moottorin napapariluku

Δ_n = absoluuttinen jättämä

Kuten yhtälöstä 1 huomataan, oikosulkumoottorin pyörimisnopeuteen voidaan vaikuttaa joko syötettävää taajuutta tai moottorin napaparilukua muuttamalla. Syötettävää taajuutta muuttamalla staattorin aiheuttaman magneettikentän pyörimisnopeus muuttuu, jolloin myös roottorin pyörimisnopeus muuttuu. Eri napapariluvuilla saadaan staattorin pyörimisnopeus 50 Hz taajuudella muuttumaan taulukon 1 mukaan.

Taulukko 1. Napapariluvun vaikutus staattorin magneettikentän pyörimisnopeuteen

Napapariluku	Pyörimisnopeus 50 Hz taajuudella
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
5	600
6	500
7	428,6
8	375

Moottorin jättämä riippuu moottorin kuormasta, eli kun moottorin kuormitus kasvaa, sen pyörimisnopeus pienenee. Moottorin pyörimisnopeus pienenee sille suunnitellulla kuormitusalueella kuitenkin niin vähän, että sitä voidaan pitää käytännössä muuttumattomana. (Lehtinen & Paavola 1984, 225.)

Staattorin magneettikentän ja roottorin pyörimisnopeuden eroa kutsutaan absoluuttiseksi jättämäksi ja absoluuttisen jättämän suhdetta magneettikentän pyörimisnopeuteen kutsutaan suhteelliseksi jättämäksi (Lehtinen & Paavola 1984, 225). Suhteellinen jättämä voidaan laskea yhtälöstä 2.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2)$$

missä s = suhteellinen jättämä

$n_s - n$ = absoluuttinen jättämä

n_s = staattorin magneettikentän pyörimisnopeus

n = roottorin pyörimisnopeus

3.2 Kestomagneettitahtimoottori

3.2.1 Rakenne

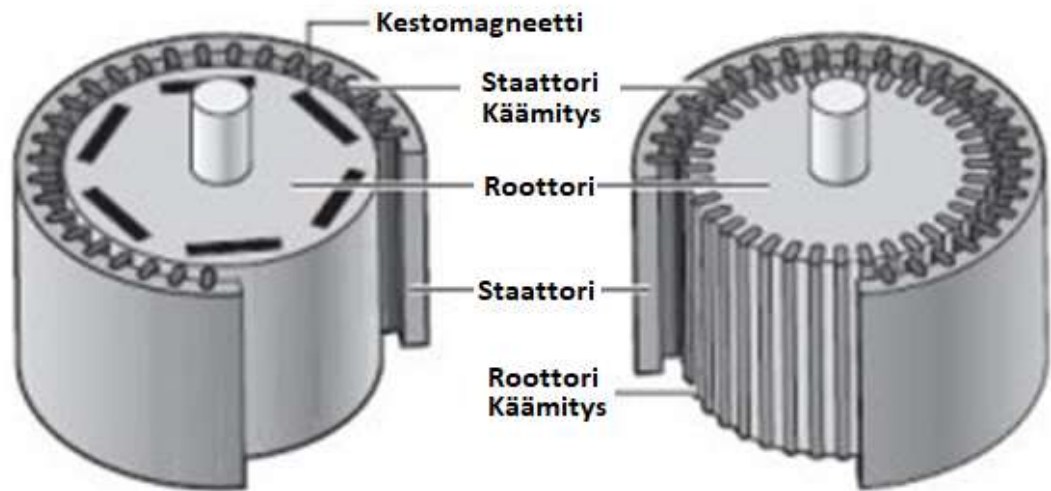
Kestomagneettitahtimoottorit ovat yleistyneet teollisuuskäytöissä voimakkaiden kestomagneettien kehityksen myötä. Kestomagneettitahtimoottorilla päästään alhaisiin pyörimisnopeuksiin hyvällä hyötysuhteella ja tarkalla pyörimisnopeuden säädöllä, mikä on mahdollistanut erilaisten mekaanisten vaihteiden poistamisen sähkökäytöistä ja näin säästyy kustannuksia sekä tilaa. (Heikkilä 2002, i.)

Kestomagneettitahtimoottorin staattori on rakenteeltaan hyvin lähellä oikosulkukoneen staattoria, sillä kummassakin on symmetrinen kolmivaihekäämitys, joka muodostaa pyörivän magneettikentän. Staattoreiden samankaltaisuudesta löytyy hyvä esimerkki Heikkilän (2002, 60) väitöskirjasta, jossa oikosulkumoottorin roottori on korvattu kestopagnetoidulla roottorilla.

Roottori sen sijaan on merkittävästi erilainen kestopagneettitahtimoottorissa. Kuten kuviosta 6 nähdään, kestopagneettitahtimoottorin roottorissa ei ole käämityksiä, vaan sen pinnalle tai pinnan alle on kiinnitetty kestopagneetit, jotka muodostavat roottorille muuttumattoman magneettikentän. (Hietalahti 2011, 114.)

Kestomagneettitahtimoottori

Oikosulkumoottori



Kuvio 6. Kestomagneettitahtimoottorin ja oikosulkumoottorin roottorien eroavaisuus (The Best Electric Vehicle Motor, 2010, muokattu)

3.2.2 Toimintaperiaate

Kestomagneettitahtimoottorin roottoria ei magnetoida sähköisesti, vaan sen pinnalla tai pinnan läheisyydessä on voimakkaat kestopagneetit. Koska roottoria ei tarvitse sähköisesti magnetoida, on kestopagneettitahtimoottorin hyötysuhde parempi kuin oikosulkumoottorin, sillä siinä ei ole roottorivirtoja. (Hietalahti 2011, 120.)

Kestomagneettitahtimoottorin pyörimisnopeus voidaan laskea yhtälöstä 3.

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (3)$$

missä n = pyörimisnopeus

f = syöttötaajuus

p = moottorin napapariluku

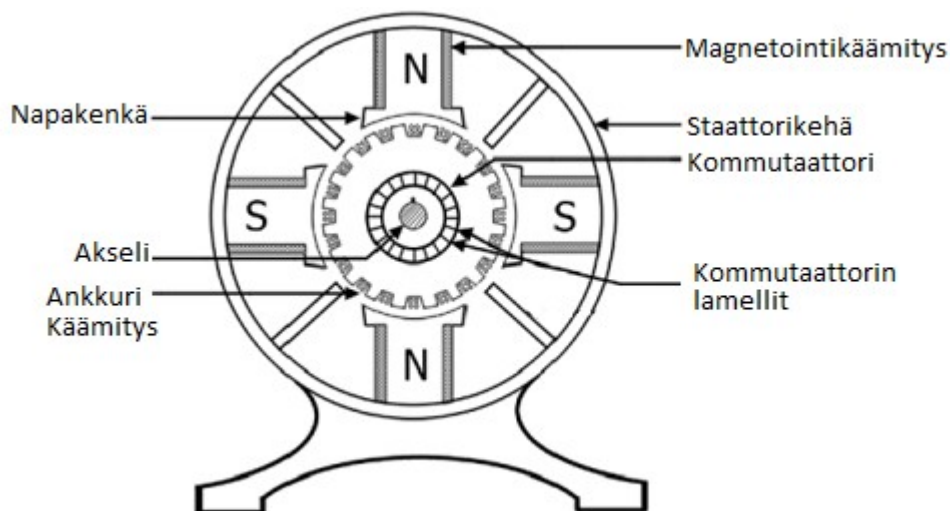
Huomataan, että kestopagneettitahtimoottorin pyörimisnopeus noudattaa muuten samaa yhtälöä kuin oikosulkumoottorin pyörimisnopeus, mutta koska kestopagneettitahtimoottori on tahtikone, ei siinä ole jättämää.

3.3 Tasavirtamoottori

3.3.1 Rakenne

Tasavirtamoottori on aiemmin ollut paperiteollisuudessa hyvin suosittu sähkömoottorityyppi. Suosio johtuu ennen kaikkea moottorin ohjaukseen tarvittavan tehoelektronikan yksinkertaisuudesta sekä sillä saavutettavasta tarkasta nopeudensäädöstä. Tasavirtamoottorin selkeä heikkous verrattuna muihin moottorityyppeihin on sen hiiliharjojen tarvitsema säännöllinen huoltoväli. Tasavirtamoottorin mekaaninen rakenne on myös melko kallis, eikä se kestä kovin korkeita pyörimisnopeuksia. Näiden syiden takia tasavirtamoottoreita korvataan nykypäivänä muilla sähkömoottorityypeillä. (Hietalahti 2011, 46.)

Tasavirtakoneen rakenne eroaa merkittävästi kiertokenttämoottorien rakenteesta. Tasavirtakoneen staattori koostuu staattorikehästä, napakengistä ja magnetointikämmityksestä (ks. kuvio 7). Tasavirtakoneen roottori koostuu akselista, kommutaattorista sekä ankkurikämmityksestä.



Kuvio 7. Rumpukäämityksen tasavirtakoneen periaatekuva (Barwad, 2014, muokattu)

3.3.2 Toimintaperiaate

Tasavirtakoneen staattorilla ei muodosteta kolmivaihekäämityksellä pyörivää magneettikenttää, kuten kiertokenttämoottoreilla, vaan napakenkien ympärillä olevaan magnetointikäämitykseen syötetään magnetointivirta, joka saa aikaan kiinteän magneettikentän. (Hietalahti 2011, 35.)

Tasavirtamoottorin roottoriin sen sijaan syötetään vaihtosähköä kommutaattorin kautta, sillä kommutaattori on mekaaninen vaihtosuuntaaja. Roottorin muuttuva magneettikenttä on vuorovaikutuksessa staattorin aiheuttamaan kiinteään magneettikentän kanssa, joka aiheuttaa sen, että roottori alkaa pyöriä.

Tasavirtamoottorin pyörimisnopeus voidaan laskea yhtälöstä 4.

$$n = \frac{U - I_a R_a}{k\phi} \quad (4)$$

missä n = pyörimisnopeus

U = ankkurijännite

$I_a R_a$ = käämin jännitehäviö

ϕ = magneettivuo

k = koneen rakenteesta riippuva vakio

Kun tarkastellaan yhtälöä 4, huomataan, että tasavirtamoottorin pyörimisnopeutta voidaan säätää ankkurijännitettä, jännitehäviötä tai magneettivuota muuttamalla.

Ankkurijännitettä muuttamalla saadaan aikaan hyvin laaja säätöalue ja säätö pystyy kuormankin muuttuessa seuraamaan hyvin pyörimisnopeuden asetusarvoa. Näiden syiden takia ankkurijännitteen säätö on laajassa käytössä tasavirtamoottorin pyörimisnopeuden säätämisessä varsinkin paperi- ja kartonkikoneilla.

Kuten pyörimisnopeuden yhtälöstä 4 huomataan, magneettivuo sijaitsee nimittäjässä, joten sen pieneneminen kasvattaa pyörimisnopeutta ja päinvastoin. Yhtälöstä 4 huomataan myös, että jos magnetointi katkeaa, moottorin pyörimisnopeus kasvaa

niin voimakkaasti, että moottorin rakenne saattaa hajota. Tämän takia tasavirtamoottorin magnetoinnin jatkuvan syötön seurantaan on syytä panostaa. (Hietalahti 2011, 44.)

Magneettivuon muuttaminen moottorin pyörimisnopeuden säätötapana on hyvä. Sitä käytetään yleensä silloin, kun toimitaan yli nimellisen pyörimisnopeuden. Tästä voidaankin päätellä, että ankkurijännitteen ja magneettivuon yhdistetyllä säädöllä saadaan aikaan erittäin laaja säätöalue. (Lehtinen & Paavola 1984, 317.)

Jännitehäviön muuttaminen toteutetaan kytkemällä säätövastus sarjaan ankkurin kanssa. Jännitehäviön säädöllä pyörimisnopeuden yhtälö 4 muuttuu yhtälön 5 mukaiseksi.

$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_v)}{k\phi} \quad (5)$$

missä n = pyörimisnopeus

U = ankkurijännite

$I_a R_a$ = käämin jännitehäviö

R_v = säätövastuksen resistanssi

ϕ = magneettivuo

k = koneen rakenteesta riippuva vakio

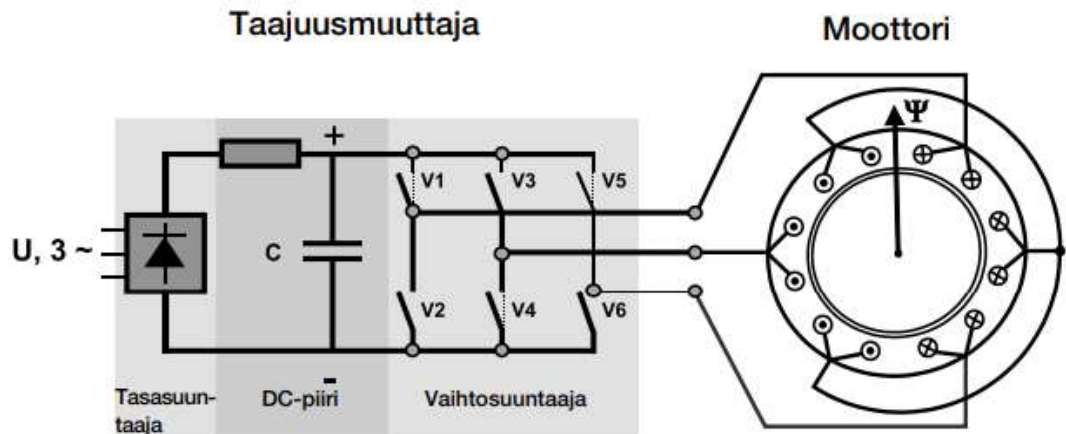
Yhtälön 5 mukainen jännitehäviön säätö ei kuitenkaan ole kovinkaan hyvä säätötapa, sillä siinä on paljon resistanssia, joka aiheuttaa häviöitä. Kyseinen säätötapa ei myöskään kykene kuorman muuttuessa seuraamaan asetusrvoa. (Lehtinen & Paavola 1984, 318.)

4 Taajuusmuuttaja

4.1 Toimintaperiaate ja rakenne

Taajuusmuuttajat ovat saaneet suuren jalansijan markkinoilta niiden monipuolisuuden, tarkan ohjaukskyvyn sekä elektroniikan ja tehoelektroniikan kehityksen myötä.

Taajuusmuuttaja voidaan jakaa kolmeen osaan kuvion 8 mukaan. Taajuusmuuttaja sisältää tasasuuntaajan, DC-piirin ja vaihtosuuntaajan. (Tietämisen arvoista asiaa taajuudenmuuttajista 2000, 52.)



Kuvio 8. Taajuusmuuttajan periaatekuva (Tekninen opas nro 4 – Nopeussäädettyjen käyttöjen opas n.d.)

Tasasuuntaaja

Tasasuuntaaja koostuu diodeista, transistoreista tai IGBT-transistoreista. ja sen tehtävä on nimensä mukaisesti tasasuunnata yksi- tai kolmivaiheinen vaihtojännite tasajännitteeksi (Tietämisen arvoista asiaa taajuudenmuuttajista 2000, 54).

Opinnäytetyön johtotelojen vaihtosuuntaajien syöttöyksikkö on transistori-syöttöyksikkö (TSU), mutta Äänekosken kartonkitehtaan linjakäyttöillä on käytössä myös diodisyöttöyksikkö (DSU) sekä IGBT-syöttöyksikkö (ISU).

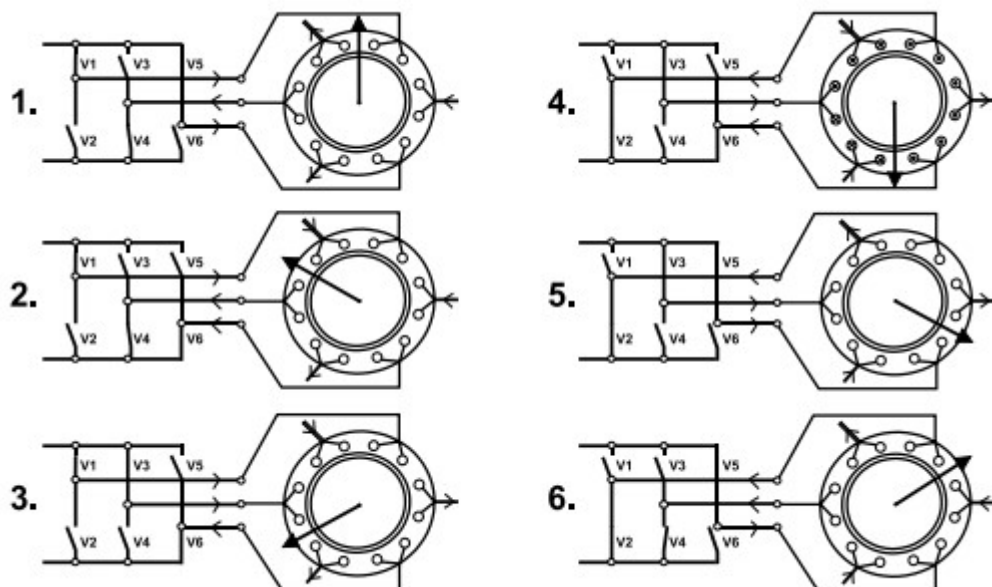
Välipiiri

Välipiiriä voidaan pitää eräänlaisena energiavarastona, jota käyttämällä vaihtosuuntaaja syöttää energiaa moottorille. Välipiirin, kuviossa 8 DC-piirin, jännite on tasajännitettä, joka suodatetaan välipiirissä kondensaattorin avulla tasaiseksi. (Tietämisen arvoista asiaa taajuudenmuuttajista 2000, 59.)

Linjakäytöissä usealla vaihtosuuntaajalla on yhteinen välipiiri, joka tarkoittaa sitä, että yhdellä tasasuuntaajalla syötetään useampaa vaihtosuuntaajaa. Linjakäytön periaate selviää kuviosta 12.

Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaajan tehtävä on tehopuolijohteiden V1 – V6 avulla muokata tasajännitteestä moottorin kuormituksen sillä hetkellä vaatiman vaihtojännitteen ja sen taajuuden. Kuviossa 9 on esitetty tehopuolijohteiden kytkinasentoja ja niiden aiheuttamat magneettivuon suunnat. Muuttamalla kytkinten asentoja oikeassa järjestyksessä, saadaan aikaan kiertokenttämoottorin vaatima pyörivä magneettikenttä. (Tekninen opas nro 4 – Nopeussäädettyjen käyttöjen opas n.d.)



Kuvio 9. Vaihtosuuntaajan kytkinasennot (Tekninen opas nro 4 – Nopeussäädettyjen käyttöjen opas n.d.)

4.2 Taajuusmuuttajan säätötavat

Kartonkikonelinjalla käytetään suurelta osin suoraa momentin säätöä, joten seuraavissa luvuissa syvennyttään eniten siihen. Opinnäytetyössä käydään kuitenkin lyhyesti lävitse myös skalaarisäädön sekä vektorisäädön perusteet.

4.2.1 Skalaariohjaus

Skalaariohjaus on näistä taajuusmuuttajan säätötavoista yksinkertaisin. Skalaariohjausta kutsutaan myös taajuusohjaukseksi, ja sen ohjattavat säätösuureet ovat jännite ja taajuus. Skalaariohjauksella ei saavuteta tarkkaa momenttia ja nopeutta, joten se ei sovellu tarkkaa nopeutta vaativiin käyttöihin. Skalaariohjauksella käynnistysmomentti jää myös heikoksi. Säätö on kuitenkin yksinkertainen sekä edullinen, sillä takaisinkytkentää ei tarvita. Siksi skalaariohjausta käytetäänkin esimerkiksi puhallin- ja pumppusovelluksissa. Skalaariohjausta käytetään usein myös silloin, kun moottorin nimellisteho on $1/8$ taajuusmuuttajan nimellistehosta, koska suoraa momentin säätöä ei tällöin voida käyttää. (Suora momentinsäätö – maailman kehittynein vaihtovirtakäyttötekniikka 2011.)

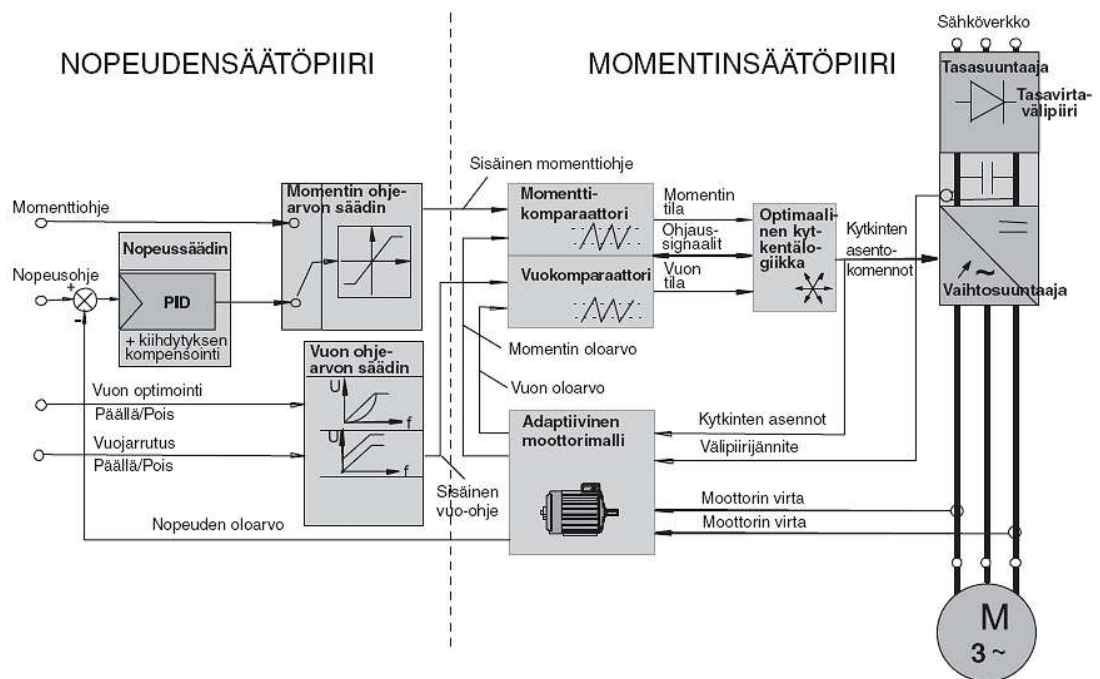
4.2.2 Vektorisäätö

Vektorisäädöllä pyritään simuloimaan tasavirtakäyttöä. Vektorisäädöllä on aina oltava takaisinkytkentä, jotta moottorin nopeus ja asentotieto tiedetään. Vektorisäätö käyttää moottorimallia laskentaan ja sen säätösuureita ovat jännite, virta ja taajuus, eli sillä ei suoraan ohjata moottorin todellisia säätösuureita, momenttia ja vuota. Vektorisäädöllä on hyviä ominaisuuksia, kuten hyvä momenttivaste ja tarkka nopeuden säätö. Selkeitä huonoja puolia ovat välttämätön takaisinkytkentä ja sen tuottama kallis hinta. (Suora momentinsäätö – maailman kehittynein vaihtovirtakäyttötekniikka 2011, 27.)

4.2.3 Suora momenttisäätö

Suora momenttisäätö, eli direct torque control (DTC), on ABB:n kehittämä säätötekniikka vaihtovirtakäyttöille. Suoran momenttisäädön säätösuureet ovat momentti ja staattorin magneettivuo. Suoralla momenttisäädöllä saadaan aikaan nopea ja tarkka moottorin tuottama momentti sekä nopeus. Vaihtosuuntaajan tehopuolijohteita ohjataan 25 ms välein sellaisiin asentoihin, että saadaan aikaan vaadittu staattorivuo ja moottorin momentti. Suora momentinsäätö ei tarvitse takaisinkytkentää, ellei kyseessä ole nopeuden suhteen erittäin tarkka sovellus, sillä se pystyy toteuttamaan vaaditun nopeuden 10 % tarkkuudella moottorin jättämästä.

DTC jakautuu kahteen säätöpiiriin, nopeudensäätö- ja momentinsäätöpiiriin (ks. kuvio 10). Momentinsäätöpiiriin kuuluu adaptiivinen moottorimalli. Kun taajuusmuuttaja otetaan käyttöön, ajetaan moottorille ID-ajo, minkä jälkeen adaptiivinen moottorimalli saa käyttöönsä mm. staattorin vastuksen, keskinäisinduktanssin, kyllästymisvakiot ja moottorin hitausmomentin. Taajuusmuuttajan käytön aikana moottorimallille mitataan välipiirin jännite ja moottorin virta vähintään kahdelta vaiheelta. Moottorimallille syötetään myös kytkimien asennot takaisinkytkentänä kytkentälogiikasta. Näiden tietojen avulla adaptiivinen moottorimalli laskee staattorin vuon, moottorin momentin ja nopeuden oloarvot, minkä jälkeen se syöttää vuon ja momentin oloarvot komparaattoreille sekä nopeuden oloarvon takaisinkytkentänä nopeussäätimelle. (Suora momentinsäätö – maailman kehittynein vaihtovirtakäyttötekniikka 2011, 27.)



Kuvio 10. Suoran momentinsäädön lohkokkaavio (DTC – edelleen ylivoimainen moottorisäätö, 2009)

Nopeussäätimeen syötetään nopeusohjeen ja nopeuden oloarvon erotus. Nopeussäätimen PID-säädin sekä kiihdytyskompensaattori ohjaavat parametriensa mukaisesti siltä lähtevää pyyntöä momentin ohje-arvosäätimelle, joka määrittää halutun

momentin ohjearvon. Momentin ohjearvoa rajoittavat välipiirin DC-jännite sekä momenttirajat. Momentin ohjearvosäätimelle voidaan myös tarvittaessa antaa ulkoinen momenttiohje, jota momentin ohjearvosäädin pyrkii toteuttamaan. (Mts. 29.)

Vuon ohjearvon säätimen ulostuleva arvo on moottorimallin laskennan tulos, johon voi halutessaan vaikuttaa useilla vaihtosuuntaajan toiminnoilla, esimerkiksi vuon optimoinnilla ja vuojarutuksella. Vuon ohjearvon ulostuleva arvo, sisäinen vuo-ohje, ja adaptiivisen moottorimallin lähettämä vuon oloarvo syötetään vuokomparaattorille, joka vertaa näitä kahta keskenään. Jos sisäinen vuo-ohje on hystereesin ulkopuolella verrattuna vuon oloarvoon, syöttää vuokomparaattori kytkentälogiikalle tiedon, miten vuota täytyy ohjata, jotta sisäinen vuo-ohje saavutetaan. Momenttikomparaattori toimii kuten vuokomparaattori. Erona on se, että momenttikomparaattorille syötetään sisäinen momenttiohje sekä momentin oloarvo. (Mts. 28-29.)

Optimaalinen kytkentälogiikka saa tiedot momentti- ja vuokomparaattoreilta. Tietojen perusteella kytkentälogiikka ohjaa vaihtosuuntaajan puolijohteiden kytkentäjärjestyksen optimaaliseksi. Kytkentälogiikka ei käytä ennalta määritettyä kytkentäjärjestystä, vaan optimaalista kytkentäjärjestystä päivitetään koko ajan. Tämä mahdollistaa kytkimien ohjauksen 25 mikrosekunnin välein, jolla saavutetaan moottorin tarkka momentti. (Mts. 28.)

DTC:n selkeitä hyviä puolia ovat tarkka nopeudensäätö ja hyvä momenttivaste myös ilman takaisinkytkentää. Ilman takaisinkytkentää asennuksen kustannukset ovat merkittävästi alhaisemmat.

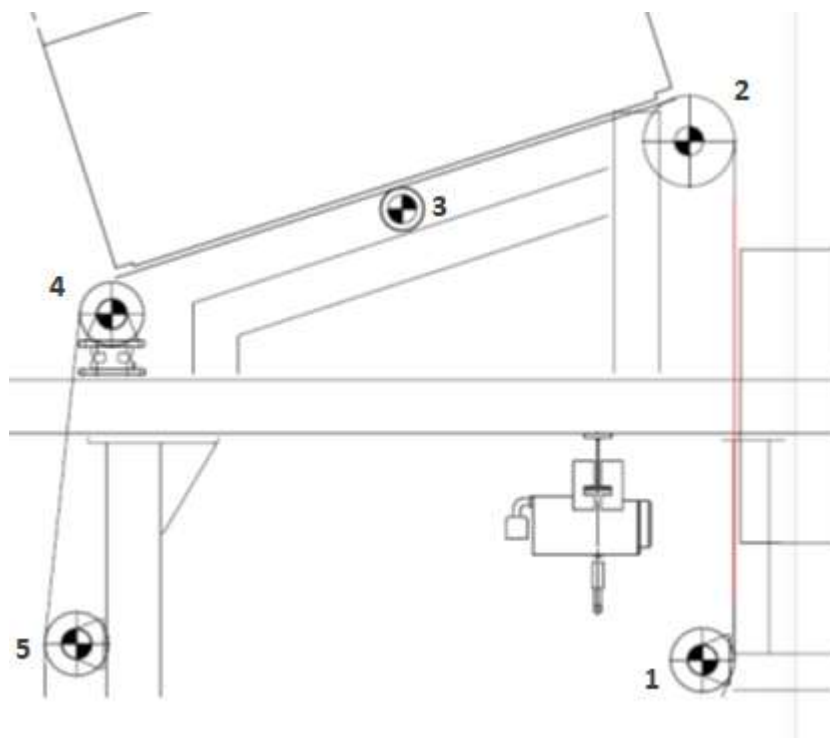
5 Kartonkikoneen johtotelaryhmien sähkökäytöt

Tässä opinnäytetyön osuudessa syvennyttään kartonkikoneen johtotelaryhmiin, niiden sähkökäyttöihin ja erityisesti nopeusohjeen muodostumiseen. Kartonkikoneen toimintaperiaatetta ja rakennetta ei kuitenkaan käydä lävitse sen enempää, kuin on opinnäytetyön kannalta tarpeellista.

5.1 Johtotelaryhmä

Opinnäytetyön tapauksessa johtotelaryhmä, jolle vaihtosuuntaajien päivitystyö tehdään, muodostuu kolmesta johtotelasta, joita ohjataan samaan aikaan. Tästä muodostuu nimitys johtotelaryhmä.

Johtotelan tehtävänä on kannatella kartonkirataa tai viiraa sekä nimensä mukaan johtaa kartonkirata kartonkikoneen osalta toiselle (Timperi 2015, 24). Kuviossa 11 esitetään erään kartonkikoneen osan johtoteloja koneen hoitopuolelta katsottuna. Johtotelat ovat numeroitu yhdestä viiteen.

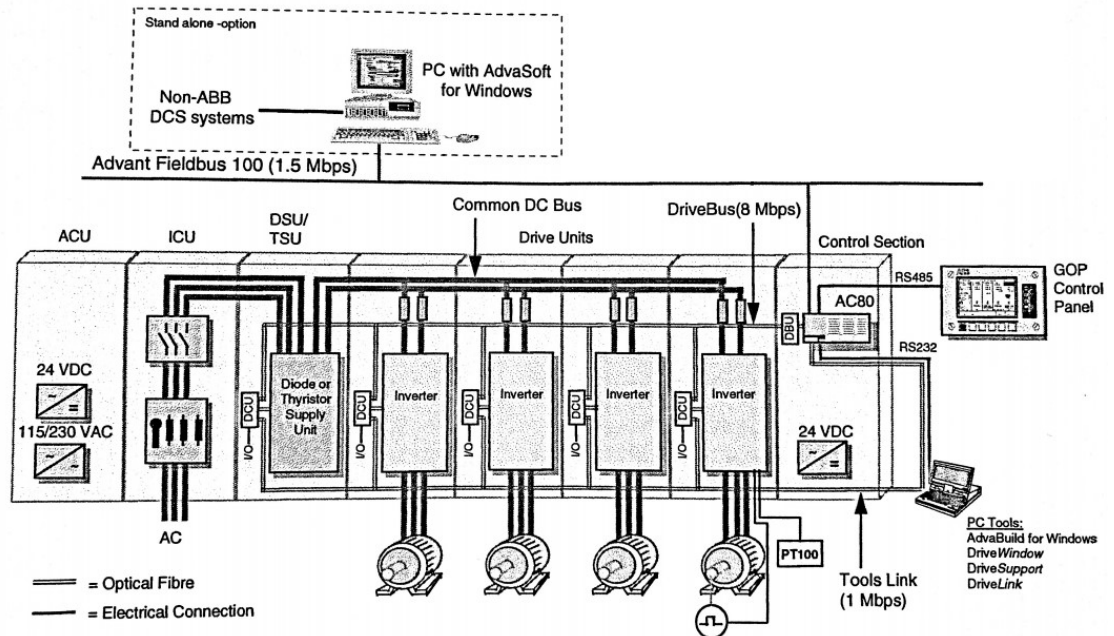


Kuvio 11. Erään kartonkikoneen osan johtoteloja

5.2 Linjakäyttöjärjestelmän rakenne

Linjakäyttöjärjestelmä on järjestelmä, jolla ohjataan, säädetään ja valvotaan kartonkikoneen osien toimintaa. Linjakäyttöjärjestelmä koostuu Multidrive-käytöstä, GOP-paneeli -ohjauslaitteista ja muista ohjauslaitteista, kuten painonapeista ja näytöistä (ks. kuvio 12). Multidrive-käyttö sisältää syöttöyksikön, joka on tyypiltään DSU, TSU

tai ISU. Myös DC-kiskosto, vaihtosuuntaajat, moottorit sekä käyttäjäliityntä kuuluvat Multidrive-linjakäyttöön. Tools Link eli käyttäjäliityntä tarvitaan käyttöönottoa, kunnossapitoa ja ohjelmointia varten.



Kuvio 12. Linjakäyttöjärjestelmän rakenne (PMC 200 operointikoulutus 2002, muokattu)

Multidrive-käyttö on yhteydessä ylempään automaatiojärjestelmään, Total Plant Alconttiin, kahta eri reittiä. Nämä reitit ovat suora Modbus-väylä, joka on välillä AC80 – TPA, sekä OPC-linkki, joka on kytkettynä AF100-väylään. Modbus-väylässä kulkee lähinnä lukitus-, ratakatko-, nippi kiinni- ja lupatietoja sekä vahinkokäynnistyksen esto. Toisin sanoen sellaista tietoa, jonka päivitysvälin on oltava nopea. OPC-linkin kautta kulkee esimerkiksi nopeusohje, nopeuden oloarvo ja kireyden oloarvo. Advant fieldbus 100-väylä on AC80-sovellusohjainten välistä kommunikointia varten.

Vaihtosuuntaaja saa nopeusohjeensa AC80-sovellusohjaimelta drivebus-väylästä. Drivebus-väylä on toteutettu optisella yhteydellä, jotta viive on mahdollisimman vähäinen. Drivebus-väylässä kulkee myös esimerkiksi takaisinkytkentätietona nopeuden oloarvo vaihtosuuntaajalta sovellusohjaimelle.

Jotta AC80-sovellusohjaimen sovellusta voidaan muokata ja monitoroida Function Chart Builder -ohjelmalla, on AC80-sovellusohjaimen ja huolto-PC:n välillä oltava RS232-liitännällä varustettu yhteys.

AC80-sovellusohjaimen ja GOP-paneelin välillä on RS485-liitännällä oleva yhteys, jotta paneelilta voidaan ohjata linjakäyttöjärjestelmää. Yhteyden välillä kulkee myös oloarvoja ja lukitustietoja GOP-paneelille.

Tools link-yhteys on huolto-PC:n ja NDCU-käytönohjausyksikön välillä ja se on toteutettu optisella tekniikalla. Tätä yhteyttä käytetään vaihtosuuntaajan parametrien asetteluun, signaalien mittaukseen sekä käytön vianhakuun. Tools link-yhteys korvataan uusissa vaihtosuuntaajissa ethernet-yhteydellä, jota varten on rakennettava oma ethernet-verkko.

5.3 Nopeuden säädön teoriaa

5.3.1 Säättöpiirit

Kartonkikoneella käyttömoottorien ohjaus koostuu sisäkkäisistä säättöpiireistä. Sisempiä säättöpiirejä ovat nopeussäätö ja momenttisäätö. Ulommalla tasolla toimii kiireyssäätö. Kaikki edellä mainitut säättöpiirit on toteutettu käyttäen joko PI tai PID säättimiä.

Nopeussäätäjä saa nopeuden oloarvon takaisinkytkentänä moottorin akselille kiinnitetystä takometristä tai DTC:n adaptiivisen moottorimallin laskennan tuloksena. Nopeussäädetty käyttö pyrkii pitämään moottorin nopeuden mahdollisimman tarkasti ohjausjärjestelmän sille antamassa ohjearvossa. (Sjögren 2012, 13.)

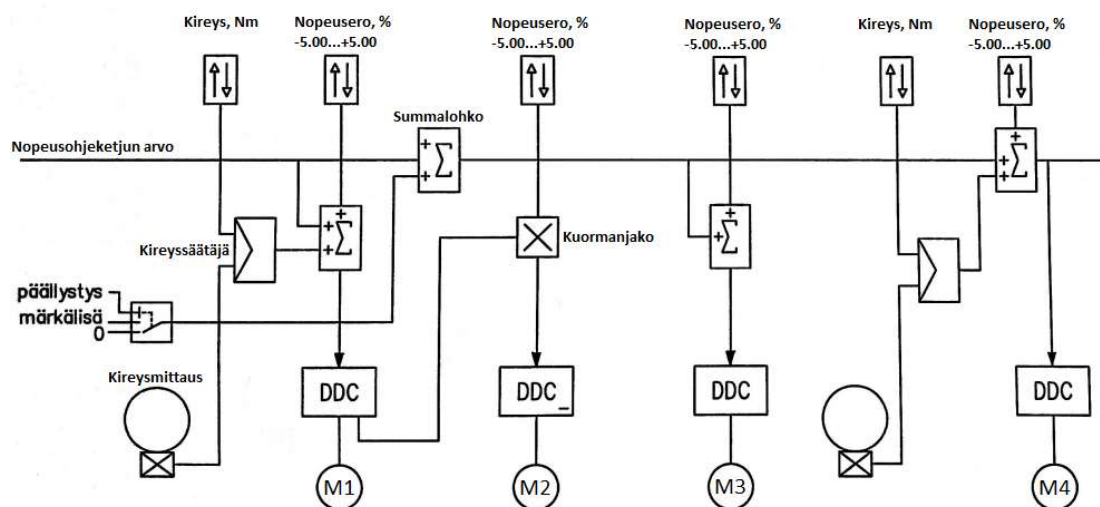
Momenttisäätö saa momentin oloarvon DTC:n adaptiivisen moottorimallin laskennan tuloksena. Momenttisäätö pyrkii pitämään moottorin akselimomentin mahdollisimman tarkasti ylemmän ohjausjärjestelmän tai toisen, nopeussäädetyn käyttöryhmän, määräämässä asetusarvossa. Kun käytetään puhdasta momenttisäätöä, on sen oltava mekaanisesti kytketty jonkun prosessin välielementin kautta nopeussäädettyyn käyttöön, jotta momenttisäädetty käyttö pyörisi tarvittavaa nopeutta. Näitä välielementtejä ovat esimerkiksi viira, huopa tai nippi. Kyseessä olevan kartonkikoneen kaikki

momenttisäädöt on varustettu myös nopeussäädöllä, jolloin säätöä kutsutaan ikkunasäädöksi. Ikkunasäätö toimii käytännössä siten, että nopeussäätö aktivoituu, jos nopeus ei pysy momenttisäädöllä tietyn ikkunan sisällä. Tämä voi johtua esimerkiksi radan katkeamisesta tai nipin avautumisesta, jolloin mekaaninen yhteys nopeussäädettyyn käyttöön katkeaa. Nopeusikkunan sisällä toimiessaan käyttö pysyy momenttisäädöllä. (Mts. 14.)

Kireyssäätö saa ratakireyden oloarvon mittaustuloksena prosessista. Säätäjä pyrkii pitämään ratakireyden ohjearvon mukaisena vertaamalla kireyden oloarvoa asetusarvon kanssa. Kireyssäätö vaikuttaa prosessiin nopeus- tai momenttiohjetta korjaavana terminä. Kireyssäätö on uloimmalla tasolla toimiva säätöpiiri, joten sen askelvaste on hidas verrattuna nopeus- tai momenttisäätöpiiriin. Säädön hitaudesta johtuen nopeat prosessin muutokset on korjattava käyttäen erillistä lisänopeutta tai lisämomenttia. Kuviossa 13 on esimerkki märkälisästä, joka vaikuttaa jokaisen sen pisteen jälkeisen käytön nopeusohjeeseen. Märkälisää käytetään päällystyasemien yhteydessä, sillä päällystys kostuttaa rataa samalla venyttäen sitä. Radan venyminen kompensoidaan märkälisällä. (Mts. 15.)

5.3.2 Nopeusohjeketju

Nopeusohjeketjua luetaan vasemmalta oikealle (ks. kuvio 13). Nopeusohjeketjun arvo tulee kartonkikoneen nopeusrampilta, joka seuraa nopeuden asetusarvoa.



Kuvio 13. Nopeusohjeketju (Sjögren 2012, muokattu)

Kuvion 13 moottorilla M1 on käytössä kireyssäätö, joka säätää radan kireyttä ennen moottoria M1. Kireyden oloarvon ja asetusarvon erosta saatava korjaava termi syötetään summalohkoon. Summalohkoon tulee myös nopeusohjeketjun arvo sekä operaattorin määrittämä nopeusero, jolla pystytään vaikuttamaan käytön nopeuteen -5.00...+5.00 %.

Kuvion 13 moottori M2 on moottorin M1 orjakäyttö. Moottori M2 saa ohjeensa operaattorin määrittämästä nopeuserosta sekä moottorilta M1 tulevasta kuormanjaosta. M2 säätöpiiri on momenttisäätö määrättyssä nopeusikkunassa.

Kuvion 13 moottori M3 on nopeussäädetty. Moottori M3 saa nopeusohjeensa nopeusohjeketjun arvon sekä operaattorin määrittämän nopeuseron summana. Huomataan, että merkälisä vaikuttaa moottorin M3 kohdalla nopeusohjeketjun arvoon.

Kuvion 13 moottori M4 on kireyssäädetty, ja se saa ohjearvonsa kireyssäätäjän korjaavan termin, nopeusohjeketjun arvon sekä operaattorin määrittämän nopeuseron summana. Kireyssäätäjän korjaava termi vaikuttaa nopeusohjeketjun arvoon myös moottorin M4 jälkeisiin käyttöihin.

5.3.3 Moottorin pyörimisnopeuden määrittäminen

Vaihtosuuntaajalle saadaan haluttu telan kehänopeuden nopeusohje syöttämällä tarvittavat muuttujat AC80-ohjelmaan nopeuden laskentalohkoon. Laskentalohko muodostaa muuttujien avulla yhtälön 6.

$$V = \left(((V_1 + V_2) * NE * 0.01) + (V_1 + V_2) + k_1 + V_3 \right) * k_2 \quad (6)$$

missä V = kehänopeus skaalattuna vaihtosuuntaajan ymmärtämään muotoon

V_1 = kartonkikoneen nopeusohje m/min

V_2 = nopeusohjeketjun arvo kyseisen käytön kohdalla

V_3 = löysän poisto

NE = nopeuseroasettelu

k_1 = kireyssäätäjältä tuleva korjaava termi

k_2 = nopeuden skaalaus taajuusmuuttajan ymmärtämään muotoon

Laskentalohko muodostaa muuttujien avulla yhtälön,

josta vastauksena tulee kehänopeus V skaalattuna vaihtosuuntaajan ymmärtämään muotoon, joka on alueella 0-20000.

Jos kyseessä on tela, joka joudutaan kulumisen tai muun syyn takia säännöllisesti vaihtamaan, ACS600-vaihtosuuntaajassa parametriin 50.01 asetetaan käyttöönotossa arvo, jonka laskennassa telan halkaisijana on käytetty oletettua telan halkaisijaa, joka on otettu myös AC80-sovellusohjaimen sisäiseen ohjelmaan. Joka kerta, kun tela vaihdetaan, asetetaan ylemmästä automaatiojärjestelmästä uuden telan tarkka halkaisija. Ohjelmassa jaetaan telan käyttöönotossa käytetty halkaisija uuden telan halkaisijalla, josta saadaan kerroin, jolla kerrotaan nopeuden skaalaus. Tästä seuraa, että skaalatun kehänopeuden yhtälö 6 muuttuu vaihdettavan telan tapauksessa yhtälön 7 mukaiseksi.

$$V = \left((V_1 + V_2) * NE * 0.01 \right) + (V_1 + V_2) + k_1 \bigg) * k_2 * \frac{d_1}{d_2} \quad (7)$$

missä V = kehänopeus skaalattuna vaihtosuuntaajan ymmärtämään muotoon

V_1 = kartonkikoneen nopeusohje m/min

V_2 = nopeusohjeketjun arvo kyseisen käytön kohdalla

V_3 = löysän poisto

NE = nopeuseroasettelu

k_1 = kireyssäätäjältä tuleva korjaava termi

k_2 = nopeuden skaalaus taajuusmuuttajan ymmärtämään muotoon

d_1 = käyttöönotossa käytetty halkaisija

d_2 = uuden telan halkaisija

Vaihtosuuntaajalla ohjataan moottorin pyörimisnopeutta, eikä telan kehänopeutta. Tämän vuoksi vaihtosuuntaajan parametriin 50.01 asetetaan nopeuden skaalaus, jotta moottorin pyörimisnopeus vastaa vaihtosuuntaajan vastaanottamaa skaalattua kehänopeutta. Parametrin 50.01 arvo määritetään yhtälön 8 avulla.

$$\text{parametri } 50.01 = \frac{V_4}{\pi * d} \quad (8)$$

missä V_4 = kartonkikoneen teoreettinen maksiminopeus

d = telan halkaisija

Parametrin 50.01 avulla vaihtosuuntaaja saa tuotettua moottorille pyörimisnopeuden ohjeen n kierroksina minuutissa ratkaisemalla yhtälön 9.

$$\frac{\text{parametri } 50.01}{20000} = \frac{n}{V} \rightarrow n = \frac{V * \text{parametri } 50.01}{20000} \quad (9)$$

missä n = moottorin pyörimisnopeuden ohje

V = skaalattu kehänopeus

6 Linjakäyttöjen päivityksen suunnittelu

6.1 Uuden ja vanhan vaihtosuuntaajan vertailu

Tässä osuudessa on tarkoitus selventää vaihtosuuntaajien merkittäviä eroja etenkin asennusta, käyttöönottoa, huoltoa sekä jäähdytystehoa silmällä pitäen. Vanha vaihtosuuntaaja on merkittävästi suurempi kuin uusi, joten uuden vaihtosuuntaajan mekaaninen asennus erilainen.

Vanhan vaihtosuuntaajan tiedonkäsittely tapahtuu NDCU-51-käytön ohjausyksikössä, joka sijaitsee kaapin vasemmalla puolella. Uudessa vaihtosuuntaajassa tiedonkäsittely tapahtuu ACS880-vaihtosuuntaajan etuosaan asennetussa ZCU-14-ohjausyksikössä. Tämä ero vaikuttaa merkittävästi kaapelointiin sekä uusiin kaapelireitteihin, sillä vaihtosuuntaajan ja ohjausyksikön välistä kaapelointia ei enää tarvita.

Tämä johtaa myös siihen, että kaikki NDCU-51-ohjausyksikölle menevät kaapelit joudutaan kääntämään vaihtosuuntaajan luokse.

Kun uusi vaihtosuuntaaja ACS880 on kerran parametroitu ja sillä on ajettu ID-ajo, jää kaikki data vaihtosuuntaajan alaosaan sijoitettuun muistitikkuun. Tämä tarkoittaa sitä, että vaihtosuuntaajan vioittuessa parametrit sekä ID-ajon tuloksien tuottama adaptiivinen moottorimalli siirtyvät muistitikun mukana korvaavaan vaihtosuuntaajaan, joten vaihtosuuntaajan vaihtotyö on nopea. Parametrit ladataan talteen myös ohjauspaneelille sekä huoltotietokoneelle. Tämä mahdollistaa sen, että yhden tallennuspaikan vikaantuminen ei estä vaihtosuuntaajan nopeaa vaihtamista.

6.2 Ulkoiset moduulit

Vaihtosuuntaajalle tarvitaan ulkoisia moduuleja ja sovittimia, jotta kaikki tarvittavat ominaisuudet saadaan käyttöön. Seuraavissa kappaleissa käsitellään uusiin vaihtosuuntaajiin tulevien moduulien ja sovittimien tarkoitus ja se, mistä löytyvät tiedot niiden mekaaniseen asennukseen, sähköiseen asennukseen sekä käyttöönottoon.

ACS-AP-I ohjauspaneeli

ACS-AP-I on ohjauspaneeli, jolla voidaan ajaa käyttöä paikallisajolla, monitoroida ja piirtää oloarvoja, parametroida vaihtosuuntaaja, katsoa vika- ja varoituslistaa sekä kuitata yksittäisen käytön viat. Paneeliin voidaan ladata käytön backup-tiedosto, jolloin käytön parametrit sekä ID-ajon tulokset ovat tallessa paneelissa siltä varalta, että vaihtosuuntaaja hajoaa. (ACS-AP-X Assistant control panel user's manual 2015, 23.)

Opinnäytetyön tapauksessa ohjauspaneelit haluttiin käyttöjen kaapin oveen, joten käytimme asennukseen DPMP-01-oviasennussarjaa (ks. kuvio 14). Asennussarjan mukana tulee kaapeli, joka on kytkettävä ohjauspaneelin ja vaihtosuuntaajan välille. Koska ohjauspaneeli on kaapin ovesa, voidaan käyttöä ohjata tai sen tilaa seurata avaamatta sähkökaappia. Myös vikaantuneen käytön löytäminen nopeutuu.



Kuvio 14. ACS-AP-I ohjauspaneelit oveen asennettuna DPMP-01 asennussarjan avulla.

FAIO-01 analoginen I/O-laajennusmoduuli

FAIO-01 on analoginen I/O-laajennusmoduuli, jossa on kaksi virta- tai jännitetuloa ja kaksi virtalähtöä. FAIO-01 moduuli on eristetty vaihtosuuntaajasta, joten esimerkiksi mitattaessa moottorin käämien lämpötilaa ilman kaksoiseristettyä mittauselementtiä, tulee mittauspiiristä kaksoiseristetty FAIO-01-moduulin eristyksen avulla. (FAIO-01 analog I/O extension module user's manual 2014, 15.)

FAIO-01-laajennusmoduulin mekaaninen asennus, sähköinen asennus sekä käyttöönotto parametointi ACS880 vaihtosuuntaajalle ovat selostettu manuaalissa. (FAIO-01 analog I/O extension module user's manual 2014, 19-32.)

FDCO-01 DDCS valokuitusovitin

FDCO-01 DDCS communication on valokuitusovitin, jota tarvitaan, koska vanhojen ACS600-vaihtosuuntaajien ja AC80-sovellusohjaimen välinen tietoliikenne kulkee valokuidulla eikä vaihtosuuntaajien ohjausta uusita.

FDCO-01 DDCS valokuitusovittimen mekaaninen asennus, sähköinen asennus sekä käyttöönotto parametointi ACS880 vaihtosuuntaajalle ovat selostettu manuaalissa. (FDCO-01/02 DDCS communication module user's manual 2014)

FENA-11-ethernet-sovitin

FENA-11-ethernet-sovitinta voidaan käyttää Modbus- tai Profinet-väylänä, mutta myös työkaluverkon rakentamiseen. Opinnäytetyön tapauksessa FENA-11 sovitinta käytetään työkaluverkon rakentamiseen, joka mahdollistaa uusien ACS880-vaihtosuuntaajien parametroidin ja monitoroinnin yhdestä paikasta.

Kun käytetään FENA-11-sovitinta työkaluverkon rakentamiseen, parametreihin 50.21 FBA A timelevel sel sekä FBA B timelevel sel suositellaan asetettavaksi Slow tai Monitoring. (FENA-01/-11/-21 Ethernet adapter module user's manual 2018.)

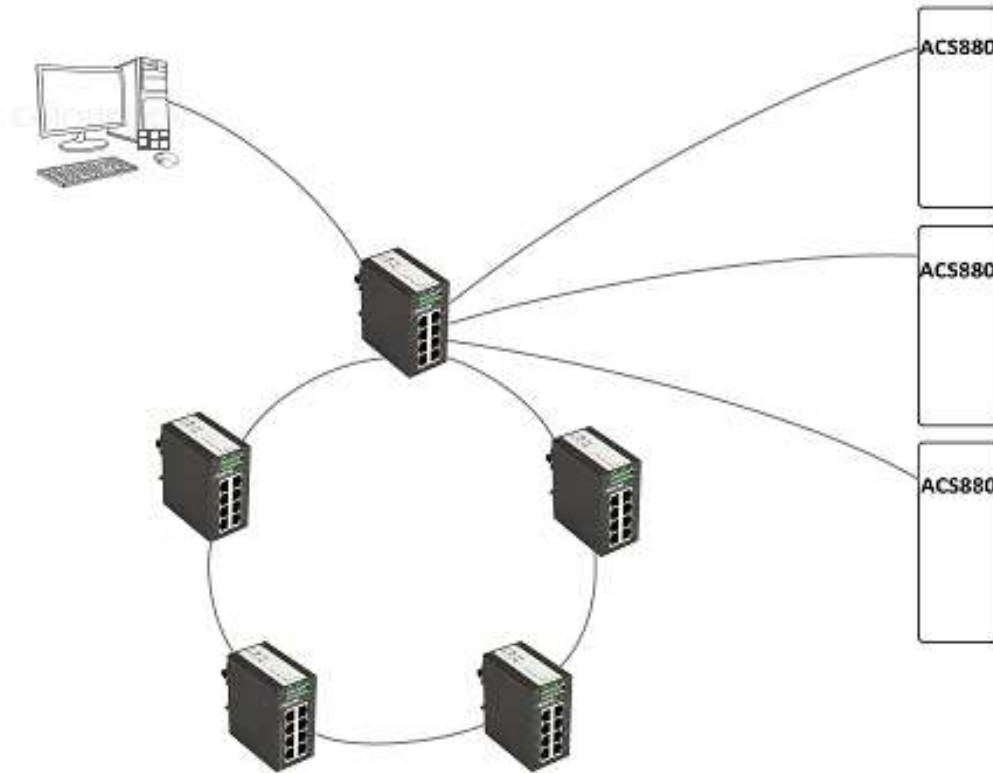
FENA-11-sovittimen mekaaninen asennus, sähköinen asennus sekä käyttöönotto parametointi esimerkkeineen ACS880 vaihtosuuntaajalle ovat selostettu manuaalissa. (FENA-01/-11/-21 Ethernet adapter module user's manual 2018.)

6.3 Työkaluverkko

Vanhoissa ACS600 sarjan vaihtosuuntaajissa työkaluverkko oli toteutettu valokuituyhteyttä pitkin. Uusissa vaihtosuuntaajissa työkaluverkko toteutettiin rakentamalla uusi ethernet-verkko. Black Box-verkkokytkimille rakennetaan muutostyön aikana jännitesyöttö samasta jännitesyötöstä, mistä syötetään vaihtosuuntaajien ohjausyksiköiden apujännite. Verkkokytkimä ja eritoten jännitettä syöttävää jännitelähdettä suojataan asentamalla lasiputkisulake niiden väliin. Tämä johtuu siitä, että verkkokytkimen ja työkaluverkon vioittuessa kartonkikone pystyy toimimaan normaalisti, mutta jos vioittumistilanteessa jännitelähde vioittuu, katoaa samalla kolmelta johtotelan vaihtosuuntaajalta apujännite, jolloin jännitteen syöttö moottoreille katkeaa ja se saattaa aiheuttaa ongelmia kartongin tuotannossa.

Kuviossa 15 on esimerkki, jota voidaan tulevaisuudessa hyödyntää ethernet-verkon rakennetta mietittäessä. Tämä verkko olisi rakennettu rengastopologian mukaisesti. Rengastopologian merkittävä hyvä puoli on se, että jos kahden verkkokytkimen välinen yhteys katkeaa, pysyy verkko kuitenkin toimintakuntoisena käyttämällä toisesta

suunnasta löytyvää reittiä. Kuviossa 15 oikealla ylhäällä työkalu-PC, keskellä ympyrän kehällä viisi Black box-verkkokytintä ja oikealla kolme ACS880-vaihtosuuntaajaa.



Kuvio 15. Ethernet-verkon rakenne.

6.4 Käyttöjen listaus sekä priorisointi

Vanhat käytöt listattiin, jotta niiden vaihtojärjestys voitiin priorisoida ja niille voitiin tehdä kustannusarviot. Käyttöjen vaihtojärjestyksen priorisoinnissa hyödynnettiin asentajien vuosikymmenten kokemusta kyseisistä käytöistä ja niiden vikaantumisherkkyydestä, tarkasteltiin varastotilanteita ja vaihtotyön haastavuutta sekä käytettiin vika- ja vaikutusanalyysia. Tässä työssä vika- ja vaikutusanalyysia käytettiin esimerkin mukaisesti muutamalle linjakäytölle siten, että toimeksiantajalle jää pohja, jonka avulla toimeksiantaja voi halutessaan ottaa vika- ja vaikutusanalyysin laajempaan käyttöön.

6.4.1 Käyttöjen listaus

Käyttöjen listauksessa käytettiin vuodelle 2012 päivättyjä dokumentteja. Valmista listaa, jossa olisi ollut kaikki tarvittavat tiedot, ei ollut. Tästä syystä listauksessa jouduttiin käyttämään useita eri dokumentteja sekä tarkastelemaan joitain asioita paikan päällä. Listattavat tiedot valittiin sillä perusteella, että niiden avulla voidaan tehdä tarjouspyyntö ja niistä on apua päivitystyötä tehdessä. Jokaiselle käytölle listattiin seuraavat tiedot:

- nimi
- toimintopaikkanumero
- telan numero
- sähkönumero
- piirustusnumero
- syöttöyksikkö
- vaihtosuuntaajan malli
- vaihtosuuntaajan teho kVA
- vaihtosuuntaajan varastotilanne
- vaihtosuuntaajan varastonimike
- moottorin tyyppi
- moottorin nimellinen pyörimisnopeus
- moottorin teho kW
- NRL – normal running load kW
- RDC - Recommended drive capacity kW
- kestopagneetti-/oikosulkukone
- takometri
- vaihdesuhde.

Käyttöjä listatessa huomio kiinnittyi kahteen johtotelaan, joilla on 11 kW:n moottori ja 16 kVA:n vaihtosuuntaaja. Huomio kiinnittyi näihin kahteen siksi, että uudessa vaihtosuuntaajamallissa on olemassa teholuokaltaan ($S_N =$) 12,5 kVA:n vaihtosuuntaaja. Jos 12,5 kVA:n vaihtosuuntaajaa voitaisiin käyttää molemmille käytöille, ei tarvitsisi ottaa varastoon seuraavaa 17 kVA:n vaihtosuuntaajaa vain kahden käytön varalle, sillä seuraavaksi suurin moottoriteho kartonkikoneen linjakäytöissä on 35 kW.

6.4.2 Vika- ja vaikutusanalyysi

Vika- ja vaikutusanalyysia kutsutaan kansainvälisesti nimellä FMEA, Failure Mode and Effects Analysis. FMEA on systemaattinen analyysi, jolla voidaan tunnistaa prosessia

häiritsevät viat ja niiden aiheuttamat vaikutukset. Niiden pohjalta voidaan suunnitella ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä. (ELMAS 4 Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi 2011, 3.)

Linjakäyttöjen vaihdon priorisointia varten tehty FMEA-taulukko pitää sisällään seuraavat osiot:

- mahdollinen virhe tai vikaantuminen
- mahdollisen virheen tai vian vaikutukset
- mahdolliset syyt
- suositellut toimenpiteet
- vakavuus
- todennäköisyys
- havaittavuus.

Mahdollinen virhe tai vikaantuminen kertoo sen, miten vika näkyy prosessissa, esimerkiksi johtotela ei pyöri. Virheen tai vian vaikutukset kertovat, kuinka vika vaikuttaa prosessiin ja lopputuotteeseen. Se voi näkyä esimerkiksi kartongin laadun heikkenemisenä. Mahdolliset syyt avaavat erilaisia syitä, joista vika voi johtua, esimerkiksi palanut sulake. Vakavuus, todennäköisyys sekä havaittavuus annetaan jokaiselle erilaiselle virheelle tai vialle numeroina 1-10. Vakavuus, todennäköisyys ja havaittavuus määriteltiin tässä opinnäytetyössä yhteistyössä linjakäyttöjärjestelmää ylläpitävien käynninvarmistajien kanssa, jotta määrittelyistä tulisi mahdollisimman todenmukaisia. Havaittavuuden määrittelyyn käytettiin asteikkoa, jonka pohjana on vian kohdentamiseen kulunut aika. Riskiluku muodostuu vakavuuden, todennäköisyyden ja havaittavuuden tulosta.

Liitteessä 1 on esimerkki yhden linjakäytön FMEA-analyysistä. Riskiluvun ollessa yli 60 on solu värjätty punaiseksi, jotta suurimmat riskiluvut erottuvat selvästi. Analyysistä näkyy, että punaiseksi värjättyillä alueilla laitteina on ainoastaan vaihtosuuntaaja sekä käytön ohjausyksikkö. Linjakäyttöjen päivityksessä molemmat näistä laitteista poistuvat ja tilalle tulee uusi ACS880, johon käytön ohjausyksikkö on integroitu. Tästä seuraa se, että punaisella olevat riskiluvut pienenevät päivityksen myötä riittävän pienelle tasolle. Linjakäyttöjen päivityksen jälkeen olisi hyvä päivittää FMEA-taulukko uusien laitteiden mukaiseksi, jolloin se pysyy ajan tasalla ja luotettavana.

6.5 Uusien vaihtosuuntaajien kustannusarviot teholuokittain

Yhtenä opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa kustannusarviot laitekokonaisuuksittain, jotta tulevaisuudessa päivitystyön kustannukset voidaan tarvittaessa lisätä vuositaiseen kunnossapitobudjettiin. Opinnäytetyö on rajattu johto- ja levitysteloihin, joiden teholuokat ovat 6 - 16 kVA. Tarjouspyyntö tehtiin näille teholuokille.

Uusien vaihtosuuntaajien kustannusarviot muotoiltiin tarjouksen perusteella taulukon 2 mukaan. Uuden vaihtosuuntaajan kustannukset sisältävät jokaisen vaihtosuuntaajan osalta kaikki tarvittavat lisälaitteet ja -moduulit. On huomioitava, että tarjous on budjettitarjous ja hinnat on tarkastettava ennen jokaista muutostyötä. Muut muutostyön vaatimat pientarvikkeet ovat listattuna liitteessä 2.

Taulukko 2. Uusien vaihtosuuntaajien kustannusarviot

Korvattavan vaihtosuuntaajan teho	Uusi vaihtosuuntaaja	Uuden vaihtosuuntaajan kustannukset
6 kVA	ACS880-104-0012A6-3	x €
9 kVA	ACS880-104-0018A-3	x €
16 kVA	ACS880-104-0025A-3	x €

6.6 Mekaaninen asennus

Uuden vaihtosuuntaajan mekaaninen asennus on suunniteltava huolella, jotta asennustyö on mahdollisimman helppo ja uuden vaihtosuuntaajan tarvitsema jäähdytys on riittävä. Uudet vaihtosuuntaajat eivät sovi suoraan vanhojen vaihtosuuntaajien asennusmoduuleihin, joten erilaisia asennustapoja on syytä pohtia.

Yksi asennustapa olisi poistaa vanhojen vaihtosuuntaajien asennusmoduulit ja kiinnittää uudet vaihtosuuntaajat rinnakkain C-kiskoon, joka kiinnitettäisiin kaapin takaosassa oleviin reunatukiin. Vaihtosuuntaajat voitaisiin myös tarvittaessa asentaa liittämällä. Tämä asennustapa on suhteellisen työläs, sillä johtoreitit jouduttaisiin rakentamaan uudelleen ja purkamiseen kuluisi aikaa. Tämä asennustapa kuitenkin antaisi

jokaiselle vaihtosuuntaajalle paljon tilaa ympärilleen, joten jäähdytyksen riittävyys melko varmasti toteutuisi.

Toinen mahdollinen tapa on teettää alumiininen asennuslevy, joka kiinnitetään vanhaan asennusmoduuliin siten, että uusi vaihtosuuntaaja saa jäähdytysilmansa samoin kuin vanha vaihtosuuntaaja. Vanha asennusmoduuli on kuviossa 16. Tämän asennustavan selkeitä hyviä puolia on jäähdytyksen pysyminen hyvin samanlaisena, purkutyön vähäinen määrä ja johtoreittien ennallaan säilyminen. Myös kaapin looginen järjestys säilyisi.



Kuvio 16. Vanhan vaihtosuuntaajan asennusmoduuli

Pohdinnan jälkeen päädyttiin kuvion 17 mukaiseen alumiiniseen asennuslevyyn, joka asennetaan vanhaan asennusmoduuliin sovitinkappaleeksi. Jäähdytysilman uusi vaihtosuuntaaja ottaa alapuoleltaan ja jäähdytysilman riittävän matalan lämpötilan varmistaa asennuslevyn alapuolella oleva ilmanohjauslevy, joka ohjaa alemman vaihtosuuntaajan poistoilman vaihtosuuntaajien takana sijaitsevaan poistoilmakanavaan. Poistoilmakanava syntyy, kun asennuslevy mitoitetaan siten, että sen syvyys vastaa

ilmanohjauslevyn yläosaa. Tällä asennustavalla jäähdytysilman ottaminen sekä poistaminen tapahtuvat uudella ja vanhalla vaihtosuuntaajalla samoja reittejä pitkin, joten kaapille suunniteltu jäähdytystapa säilyy ennallaan. Vaihtosuuntaajat asennetaan toisiinsa nähden limittäin, jotta alempana olevan vaihtosuuntaajan poistoilmaa pääsee mahdollisimman vähän ylempänä olevan vaihtosuuntaajan jäähdytysilman sekaan. Limittäinen asennustapa havainnollistetaan liitteessä 3, jossa vaihtosuuntaajat ovat kiinni asennuslevyissään.



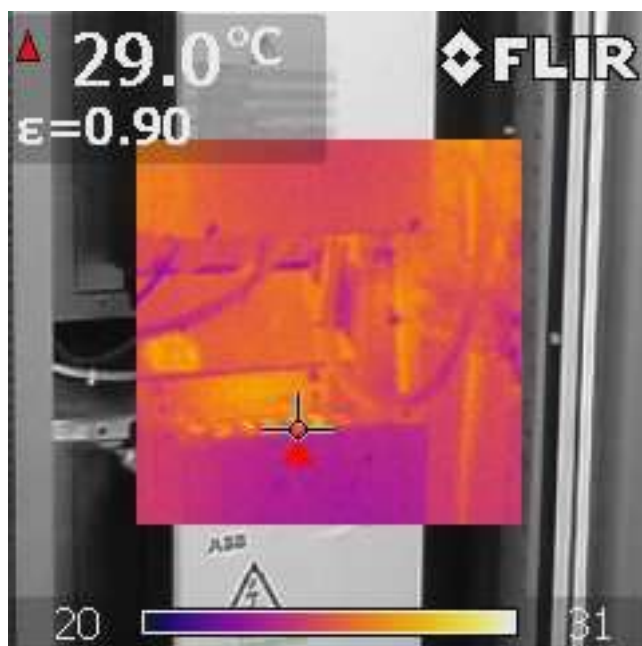
Kuvio 17. Uusi asennuslevy paikallaan

6.7 Jäähdytys

Sähkölaitteiston jäähdyttäminen on välttämätöntä laitteiden toiminnan kannalta. Siksi jäähdytystehon riittävyys olikin yksi päivitystyön avainkysymyksiä. Uusi vaihtosuuntaaja on fyysisiltä mitoiltaan hyvin erilainen kuin vanha, joten se on asennettava mekaanisesti eri tavalla. Jäähdytyksen riittävyttä tarkastellaan ensimmäisen päivityksen myötä. Ennen päivitystä vanhoista vaihtosuuntaajista otettiin lämpökuvat. Lämpökuvauksen aikana otettiin ylös myös niiden kuorma, sisäinen lämpötila sekä jäähdytysilman lämpötila. Nämä muuttujat kirjattiin, jotta tuloksista saadaan vertailukelpoisia eri olosuhteisiin nähden. Kun uudet vaihtosuuntaajat on asennettu ja kartonkikone on normaalissa käyntitilassa, otetaan uusista vaihtosuuntaajista lämpökuvat sekä muuttujat, joita verrataan vanhoista vaihtosuuntaajista otettuihin kuviin ja muuttujiin. Jos jäähdytys ei ole riittävä, on esimerkiksi mahdollista asentaa johtotelojen kaappiin oma ilmanpoistokanava, jolloin jäähdytysteho lisääntyy.

Kuviossa 18 on yksi ennen päivitystyötä otetuista lämpökuvista. Lämpökuvat on otettu kuva kuvaan -menetelmällä, eli lämpökuva näkyy keskellä ja sitä kehystää normaali kuva. Tämän menetelmän käyttäminen helpottaa kuvan tulkitsemista merkittävästi, sillä jos kuva olisi pelkästään lämpökuva, voisi siitä olla haastavaa tulkita mitä kuvassa on. Loput ennen päivitystyötä otetuista kuvista löytyvät liitteestä 4.

Lämpökuvauksen aikana jäähdytysilman lämpötila oli 23 °C.



Kuvio 18. Lämpökuva vanhoista vaihtosuuntaajista

7 Tulokset

Vanhojen vaihtosuuntaajien tilanteet saatiin selvitettyä tekemällä lista, jossa on kaikki tarvittavat tiedot jokaisesta käytöstä. Tarkempaa tietoa käyttöjen toimintavarmuudesta saatiin vika- ja vaikutusanalyysin avulla. Vika- ja vaikutusanalyysistä jäi valmis pohja toimeksiantajalle.

Vaihtotyön onnistuminen aikataulussa varmistettiin käymällä vaihtotyön vaiheet läpi yksityiskohtaisesti sen toteuttavien henkilöiden kanssa sekä tekemällä listaus vaihtotyöhön tarvittavista pientarvikkeista.

Vaihtosuuntaajien mekaaninen asennus onnistuttiin suunnittelemaan ja toteuttamaan tavoitteen mukaan. Mekaanisen asennuksen todellinen toimivuus, varsinkin vaihtosuuntaajan jäähdytystä silmällä pitäen, selviää vasta ensimmäisen vaihtotyön jälkeen. Uusien vaihtosuuntaajien jäähdytyksen toimivuuden varmistamiseksi saimme vertailukelpoiset tulokset lämpökuvien ja muuttujien kirjauksen muodossa.

Työkaluverkko saatiin rakennettua vaihtosuuntaajien parametointia, signaalien mitausta ja käytön vianhakua varten.

Tarjouspyynnön avulla saatiin kartongin johto- ja levitystelojen vaihtosuuntaajille kustannusarviot, joiden avulla toimeksiantaja voi lisätä muutostyön vaatimat kustannukset vuosittaiseen kunnossapitobudjettiin.

Opinnäytetyön raportista muodostui toimeksiantajalle hyvä tietopaketti linjakäyttöjärjestelmästä ja sen osista, pyörimisnopeuden rakentumisesta sekä uusista vaihtosuuntaajista ja niiden lisäosista ja -moduuleista. Raportista on hyötyä toimeksiantajalle tulevaisuudessa muutostöiden yhteydessä.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää toimiva konsepti vanhojen vaihtosuuntaajien korvaamiseen uusilla vaihtosuuntaajilla. Opinnäytetyön alkuvaiheessa huomattiin, että tämän työn tuloksia voidaan hyödyntää vain kartongin johto- ja levitystelojen vaihtosuuntaajien muutostyössä, sillä suurempien teholuokkien vaihtosuuntaajat vaativat täysin erilaisen mekaanisen asennuksen. Opinnäytetyön aikana saatiin valmiudet tuottaa toimiva konsepti johto- ja levitystelojen vanhojen vaihtosuuntaajien korvaamiseen uusilla vaihtosuuntaajilla. Syyinä siihen, että täysin valmista konseptia muutostyöhön ei saatu, on ensimmäisen korvaustyön aikataulu, sillä se toteutetaan vasta opinnäytetyön jälkeen. Jotta varmasti toimiva toimintatapa korvaustyöhön saadaan tehtyä, on tarkasteltava uudelleen opinnäytetyön tuloksia ensimmäisen muutostyön jälkeen. Tätä tarkastelua varten toimeksiantaja onkin varannut resursseja.

Ennestään on tehty useita opinnäytetöitä taajuusmuuttajien uusinnasta ja kustannusarvioista, mutta harvemmat niistä koskevat linjakäyttöjä. Jokainen näistä opinnäytetöistä keskittyi juuri taajuusmuuttajan, eikä taajuusmuuttajan osan, vaihtosuuntaajan uusintaan. Kartonkikoneen sähkökäyttöihin liittyviä päivitystöitä löytyi yksi, joka keskittyi täysin uusien linjakäyttöjen hankintaan. Näistä asioista voidaan päätellä, että opinnäytetyön aihealue oli suurelta osin sellainen, jota ei ole ennen toteutettu.

Opinnäytetyön tulokset säästävät toimeksiantajan kustannuksia merkittävästi tulevaisuudessa, sillä vaihtoehtoinen muutostyön toteutustapa olisi ollut työn ulkoistaminen. Opinnäytetyön tuloksien avulla vaihtotyötä pyritään tulevaisuudessa toteut-

tamaan toimeksiantajan omalla työvoimalla. Muutostyön toteuttaminen toimeksiantajan omien asentajien työllä varmistaa sen, että uudet laitteet tulevat heti käyttöönottovaiheessa tutuksi.

Ensimmäisen muutostyön jälkeen on syytä tarkastella opinnäytetyön tuloksia ja niiden toimivuutta uudelleen. Etenkin jäähdytystehon riittävyyden todentaminen on tehtävä.

Lähteet

- ACS-AP-X Assistant control panel user's manual. 2015. ABB:n manuaali. Viitattu 16.4.2018. <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000085685&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>.
- Aura, L. & Tonteri, A.J. 1996. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. 3.-4. p. Porvoo: WSOY.
- Barwad, R. 2014. Construction of DC Machine. Artikkelin polytechnichub www-sivuilla 14.7.2014. Viitattu 25.4.2018. <http://www.polytechnichub.com/construction-dc-machine/>.
- DTC – edelleen ylivoimainen moottorisäätö. 2009. Artikkelin ABB:n sivustolla. Viitattu 22.2.2018. <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/a91a1d1c807562bdc12575b0002e67d6.aspx>.
- ELMAS 4 Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi. 2011. Ramentor Oy:n verkkodokumentti. Viitattu 11.4.2018. <http://ramentor-com-bin.aldone.fi/@Bin/a0b007e1d71615d7b520b61c4c501d10/1520922446/application/pdf/1583477/ELMAS%204%20-%20FMEA.pdf>.
- FAIO-01 analog I/O extension module user's manual. 2014. ABB:n manuaali. Viitattu 13.4.2018. <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000124968&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>.
- FDCO-01/02 DDCS communication module user's manual. 2014. ABB:n manuaali. Viitattu 16.4.2018. <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000114058&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>.
- FENA-01/-11/-21 Ethernet adapter module user's manual. 2018. ABB:n manuaali. Viitattu 16.4.2018. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000093568&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>.
- Heikkilä, T. 2002. Permanent magnet synchronous motor for industrial inverter applications – analysis and design. Väitöskirja, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 26.4.2018. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/31173/TMP.objres.359.pdf>.
- Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk-kustannus Tammertekniikka.
- Häkkikämmetty roottori. N.d. Wikipedia. Viitattu 15.2.2018. https://fi.wikipedia.org/wiki/H%C3%A4kkik%C3%A4%C3%A4mitty_roottori.
- Lehtinen, P. & Paavola, M. 1984. Sähkötekniikan oppikirja. 14. p Porvoo: WSOY.
- Metsä Group metsästä maailmalle. N.d. Metsä Groupin www-sivusto. Viitattu 15.5.2018. <https://www.metsagroup.com/fi/yhtio/Pages/default.aspx#>.
- PMC 200 operointikoulutus. 2002. PMC 200 operointikoulutuksen kurssimateriaali. ABB.

Product life cycle status statement ACS600 multidrive. 2015. ABB:n raportti tuotteen elinkaaresta. Viitattu 15.5.2018. <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4FPS10000044258&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.

Puranen, J. 2006. Induction motor versus permanent magnet synchronous motor in motion control applications: a comparative study. Väitöskirja, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 26.4.2018. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/31238/TMP.objres.448.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Sjögren, J. 2012. PM Concept 200. ABB.

Suora momentinsäätö – maailman kehittynein vaihtovirtakäyttötekniikka. 2011. ABB:n Tekninen opas. Viitattu 2.3.2018. <https://library.e.abb.com/public/fdba0b31a34b89d1c1256d280040b4ae/Tekninenopasnro1.pdf>.

Tekninen opas nro 4 – Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. N.d. ABB:n tekninen opas. Viitattu 10.5.2018. https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf.

The Best Electric Vehicle Motor. 2010. ABB:n manuaali. Viitattu 26.4.2018 <https://newenergyandfuel.com/http://newenergyandfuel.com/2010/02/09/the-best-electric-vehicle-motor/>.

Tietämisen arvoista asiaa taajuudenmuuttajista. 2000. Danfoss Drives A/S.

Timperi, R. 2015. Paperikoneen kuivatusosan olosuhteiden vaikutus viiranjohtotelojen vaipan materiaalin ja pinnoitteen valintaan korroosiovaurioiden estämiseksi. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, konetekniikan koulutusohjelma. Viitattu 7.5.2018. http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/117826/Diplomity%C3%B6_RaunoTimperi.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Äänekoski Board Mill. N.d. Metsä Boardin www-sivusto. Viitattu 15.5.2018. <https://www.metsaboard.com/About-Us/Aanekoski-board-mill/Pages/default.aspx>

Liite 2. Kolmen johtotelan muutostyön vaatimat pientarvikkeet

Kolmen johtotelan päivityksen tarvikkeet				
Osio	Määrä	Yksikkö	Tarvike	Huomautukset
Vaihtosuuntaaja	3	kpl	ACS880-104-0018A-3 vaihtosuuntaaja	sisältää ZCU-14 ohjausyksikön
	3	kpl	ACS-AP-I ohjauspaneeli	
	3	kpl	DPMP-01 ohjauspaneelin ovi kiinnityssarja	
	3	kpl	FAIO-01 analogia I/O laajennusmoduuli	
	3	kpl	FENA-11 ethernet sovitin	
Ethernet-verkko	1	kpl	LGH008A Black Box	8-porttinen verkkokytkin
	2	kpl	1 m cat 6 RJ45 suojattu kaapeli	välillä Black box - ACS880
	1	kpl	2 m cat 6 RJ45 suojattu kaapeli	välillä Black box - ACS880
	1	kpl	15 m cat 6 RJ45 suojattu kaapeli	välillä PC - Black box
Kaapelireitit ja kaapelointi tarvikkeet	4	m	kannetonta kaapelikourua	
	1	kpl	32 mm läpivientikumi	
	x	kpl	Weidmüller WDU 2,5 riviliittimiä	
	x	kpl	Weidmüller WQV 2,5 riviliitin yhdyskiskoa	
	x	kpl	Weidmüller riviliittimen päätykala	
	1	kpl	Riviliitinulake Black box syötölle	
	1	kpl	Lasiputkisolake, 0.5 A	
	1	kpl	260mm DIN-kisko	
	x	m	MKEM 1,5 mm ² punainen	
	x	m	MKEM 1,5 mm ² musta	
	x	m	MKEM 1,5 mm ² sininen	
x	kpl	Pääteholkki 1,5 mm ²		
Asennuslevyt	3	kpl	Asennuslevy	
	12	kpl	5x20 ristikantainen ruuvi	
	12	kpl	M5 niittimutteri	
	18	kpl	4,2x13 Wronic porakärkiruuvi	
Muut tarvikkeet	1	kpl	E. Dold & Söhne KG BN3081.63/61 Expansion module	

Liite 3. Vaihtosuuntaajien limittäinen asennustapa



Liite 4. Lämpökuvat vaihdettavien johtotelojen vaihtosuuntaajien kaapista

