

Moottoripöydän jatkokehitys

Teemu Piironen

OPINNÄYTETYÖ
Heinäkuu 2021

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

PIIROINEN, TEEMU:
Moottoripöydän jatkokehitys

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Heinäkuu 2021

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää opetuskäyttöön tuleva moottoripöytä valmiiksi. Taajuusmuuttajaa käytetään teollisuudessa moottorinohjaukseen, kun prosessissa vaaditaan moottoreiden hyvää säädettävyyttä tai tarkkuutta. Moottoripöytä mahdollistaa taajuusmuuttajakäytön opettamisen osana koneautomaatiolaboratoriotöitä Tampereen ammattikorkeakoulussa.

Moottoripöydässä oli asennettuna taajuusmuuttajat ja oikosulkumoottori ennen tämän työn aloitusta. Sähkökytkennät oli suunniteltu valmiiksi taajuusmuuttajille ja moottoreille sekä ohjausvirtapiirille. Pöytään lisättiin jarruvastus sekä oikosulkumoottorin kanssa yhteen kytketty kestromagneettimoottori. Taajuusmuuttajia ohjataan tietokoneen sekä ohjelmoitavan näyttöpaneelin avulla. Lisäksi moottoripöydälle tehtiin EU:n konedirektiivin mukainen riskin arviointi ja turvallistaminen.

Laitteella tapahtuvaa opetusta varten kehiteltiin harjoitustehtäviä, joissa käsiteltiin taajuusmuuttajien parametointia ja näyttöpaneelin ohjelmointia. Harjoitustehtäviä voi tulevaisuudessa kehittää pitemmälle ja opetukseen voi sisällyttää enemmän taajuusmuuttajien toimintoja. Jatkossa moottoripöytään voidaan tehdä suhteellisen helposti muutoksia kokemuksen ja tarpeiden mukaan.

Asiasanat: sähkökäyttö, taajuusmuuttaja, sähkömoottori

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

PIIROINEN, TEEMU:
Further Development of the Motor Table

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 2 pages
July 2021

The use of variable-frequency drives in industrial application is a standard method for controlling electric motors. This study aimed to develop a device for Tampere University of Applied Sciences to use in the teaching of electric motor control with variable-frequency drive. The motor table is intended to make education possible in the machine automation laboratory.

The study was continuation of earlier project that started the development of the motor table. Electrical connections and schematics were already designed for variable-frequency drives and electric motors. The Second motor was added along with braking resistor, and motors were mechanically coupled. EU's machinery directive was applied in making the device safe.

Some exercises were developed for use in teaching with the motor table. These exercises could be expanded to include more features from variable-frequency drives in the future. In addition, some modifications to the motor table are relatively easy to make if needed.

Key words: electric drive, variable-frequency drive, electric motor

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	LAITTEET	6
	2.1 Sähkömoottorit	6
	2.1.1 Oikosulkumoottori	6
	2.1.2 Kestomagneettimoottori	8
	2.2 Taajuusmuuttaja	9
3	MOOTTORIPÖYDÄN KEHITTÄMINEN	11
	3.1 Yleistä	11
	3.2 Unidrive M700 Taajuusmuuttaja	12
	3.3 Moottorit	13
	3.3.1 Oikosulkumoottori	13
	3.3.2 Unimotor fm	14
	3.3.3 Moottoreiden kiinnittäminen	15
	3.4 SKS BR 1800.050 jarruvastus	15
	3.5 Sähkökytkennät	16
4	TURVALLISTAMINEN	17
	4.1 Konedirektiivi 2006/42/EY ja standardit	17
	4.2 Moottoripöydän turvallistaminen	18
	4.3 Moottoripöydän kuvaus	19
	4.4 Koneen käyttö	20
	4.5 Tila- ja aikarajat	20
	4.6 Riskianalyysi ja riskin pienentäminen	21
5	HARJOITUSTEHTÄVÄT	22
	5.1 Aloitus	22
	5.1.1 Taajuusmuuttajan valikko	22
	5.1.2 Connect Projekti	25
	5.2 Moottoreiden asetukset	26
	5.3 Moottoreiden ohjaus	31
	5.4 Näyttöpaneelin ohjelmointi	33
6	POHDINTA	37
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	40
	Liite 1. Kytkenäkaavio	40
	Liite 2. Riskianalyysi ja riskin merkityksen arviointi	41

1 JOHDANTO

Taajuusmuuttajan käyttö on teollisuudessa yleinen tapa ohjata moottoreita sen säädettävyyden ja energian säästö mahdollisuuksien vuoksi. Tampereen ammattikorkeakoululla moottorikäytön opetus on aiemmin tapahtunut sähkötekniikan laboratoriossa. Moottoripöytä projektin päämääränä on mahdollistaa taajuusmuuttajakäytön opettaminen koneautomaatiolaboratoriossa. Tässä opinnäytetyössä jatketaan aiemmin aloitettua moottoripöydän kehittämistä ja tavoitteena on saada moottoripöydästä toimiva kokonaisuus opetuskäyttöä varten.

Tarkoituksena on lisätä moottoripöytään taajuusmuuttajalla ohjattava kuormitusmoottori sekä kehittää harjoitustehtäviä moottoripöydällä tapahtuvaa opetusta varten. Lisäksi moottoripöydälle tehdään riskienarviointi ja turvallistaminen kone-direktiivien mukaisesti.

Työssä käydään läpi taajuusmuuttajien sekä oikosulku- ja kestopagneettimoottoreiden yleiset toimintaperiaatteet. Moottoripöydän turvallistamista pohjustetaan kertomalla konedirektiivistä ja siihen liittyvistä standardeista. Harjoitustehtävillä on tarkoitus opettaa taajuusmuuttajien käyttöönotto ja parametointi sekä niiden ohjaaminen tietokoneella sekä ohjelmoitavalla näyttöpaneelilla.

2 LAITTEET

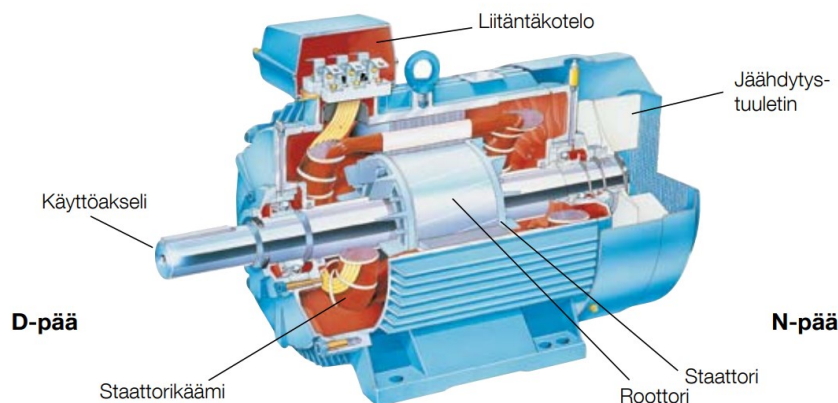
2.1 Sähkömoottorit

Sähkökoneilla muutetaan energiaa muodosta toiseen. Sähkömoottori muuttaa sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi, kun taas generaattori muuttaa mekaanista energiaa sähköenergiaksi. Teollisuuden lisäksi sähkömoottorit ovat isossa osassa myös jokapäiväistä elämää, mutta niiden toimintaa harvemmin tulee mietineeksi.

Sähkömoottorit voivat toimia joko vaihto- tai tasasähköllä. Tässä työssä käytetään oikosulku- ja kestopagneettimoottoreita, jotka molemmat ovat vaihtosähkömoottoreita. Niiden toiminnasta kerrotaan seuraavissa kappaleissa.

2.1.1 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottorilla on laajasti erilaisia käyttökohteita monilla eri teollisuudenaloilla. Se on koneautomaatiolaitteissa yleisimmin käytetty sähkömoottori. Oikosulkumoottori sopii parhaiten kohteisiin, joissa ei tarvitse kovin tarkkaa paikakasäättöä. Käyttökohteita ovat esimerkiksi kuljettimet, hissit, työstökoneet sekä puhaltimen ja pumput. (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 147–149, 159.) Moottorin rakenne nähdään kuvasta 1.



KUVA 1. Oikosulkumoottorin rakenne (ABB OY n.d., 4)

Oikosulkumoottorin yksinkertaisen rakenteen vuoksi ne ovat vähähuoltoisia ja kestäviä. Rakenne tekee oikosulkumoottorista yleensä tasavirtamoottoria halvemman. Oikosulkumoottorin tärkeimmät osat ovat rungossa oleva staattori ja sen sisällä pyörivä roottori. Staattorissa on kolmivaihekäämitys, johon syötetään verkosta tai ohjauslaitteelta, kuten taajuusmuuttajalta, saatava kolmivaihevirta. Roottorissa olevassa häkkikäämityksessä roottorin navat ovat oikosuljettu keskenään molemmista päistä. Oikosulkumoottoria kutsutaan myös induktiomoottoriksi, koska sen toiminta perustuu magneettikentän aiheuttamaan induktioon. (Hughes & Drury 2013, 141–142, 155.)

Staattorikäämitykseen syötetty vaihtojännite aiheuttaa pyörivän magneettivuon moottorin ilmapäliin. Magneettikentän pyörimisnopeus eli tahtinopeus N_s on suoraan verrannollinen syöttöjännitteen taajuuteen ja kääntäen verrannollinen staattorikäämityksen napojen lukumäärään seuraavasti:

$$N_s = \frac{120f}{p}, \quad (1)$$

jossa f on taajuus ja p on staattorin napojen lukumäärä. Kaavasta 1 saatu nopeuden yksikkö on kierrosta minuutissa. Magneettikentän pyörimissuunta riippuu kolmivaihesyötön vaiheiden järjestyksestä, jolloin pyörimissuunnan voi muuttaa vaihtamalla kaksi vaihetta keskenään. (Hughes & Drury 2013, 144, 150, 154.)

Magneettivuon leikatessa roottorin johtimia muodostuu roottoriin sähkömotorinen voima. Sähkömotorisen voiman suuruus on suurin piirtein sama kuin syöttöjännitteen suuruus ja se on verrannollinen taajuuteen ja magneettivuon tiheyteen. Tällöin magneettivuontiheys on

$$B = k \frac{V}{f}, \quad (2)$$

jossa V on syöttöjännite ja k on käämityksestä riippuva vakio. Tahtinopeuden ja roottorin pyörimisnopeuden N välinen suhteellinen nopeusero eli suhteellinen jättämä s on

$$s = \frac{N_s - N}{N_s}. \quad (3)$$

Roottorin on pyörittävä aina tahtinopeutta hitaammin, koska suhteellisen jättämän ollessa nolla myös sähkömotorinen voima on nolla, jolloin moottori ei tuota vääntömomenttia. Roottori menettää hieman nopeuttaan kuormituksen kasvaessa. (Hughes & Drury 2013, 152, 156–158.) Kaavasta 3 saadaan roottorin pyörimisnopeus, joka on

$$N = N_s - sN_s. \quad (4)$$

Oikosulkumoottorin tuottama vääntömomentti riippuu magneettivuontiheydestä ja roottorivirrasta. Magneettivuontiheyden ollessa vakio, eli syöttöjännitteen ja taajuuden ollessa vakioita, sähkömotorisen voiman aiheuttama roottorivirta on suoraan verrannollinen suhteelliseen jättämään. Tämä tarkoittaa, että myös vääntömomentti on suoraan verrannollinen suhteelliseen jättämään. Suurempi suhteellinen jättämä kuitenkin kasvattaa roottorivirran ja sähkömotorisen voiman välistä vaihe-eroa, jolloin vääntömomentin tuotto pienenee. Koska roottorivirta kasvaa hitaammin kuin vaihe-ero, on oikosulkumoottorilla maksimi vääntömomentti tietyllä suhteellisella jättämällä. Moottorin tuottama vääntömomentti T on

$$T = kBI_r \cos\phi, \quad (5)$$

jossa I_r on roottorivirta ja ϕ on roottorivirran ja sähkömotorisen voiman välinen vaihe-ero. (Hughes & Drury 2013, 159–162.)

2.1.2 Kestomagneettimoottori

Kestomagneettimoottorilla on monia etuja verrattuna muihin moottoreihin, kuten korkea hyötysuhde, dynaaminen vaste sekä tehokerroin. Se on kuitenkin oikosulkumoottoriin verrattuna kalliimpi vaihtoehto. (Kim 2017, 143.)

Kestomagneettimoottori on tahtimoottori, tarkoittaen sitä, että roottori pyörii samaa nopeutta magneetikentän kanssa. Kestomagneettimoottorin staattori toimii

samalla periaatteella kuin oikosulkumoottorissa. Erona oikosulkumoottoriin on roottori, jossa magnetointi on toteutettu kestopagneeteilla. Tahtimoottori ei voi tuottaa vääntömomenttia roottorin pyöriessä eri nopeudella kuin pyörivä magneettikenttä. Tällöin se tuottaa sykkivää vääntömomenttia, jonka keskiarvo on nolla. (Hughes & Drury 2013, 291–292; Kim 2017, 6, 143–144.)

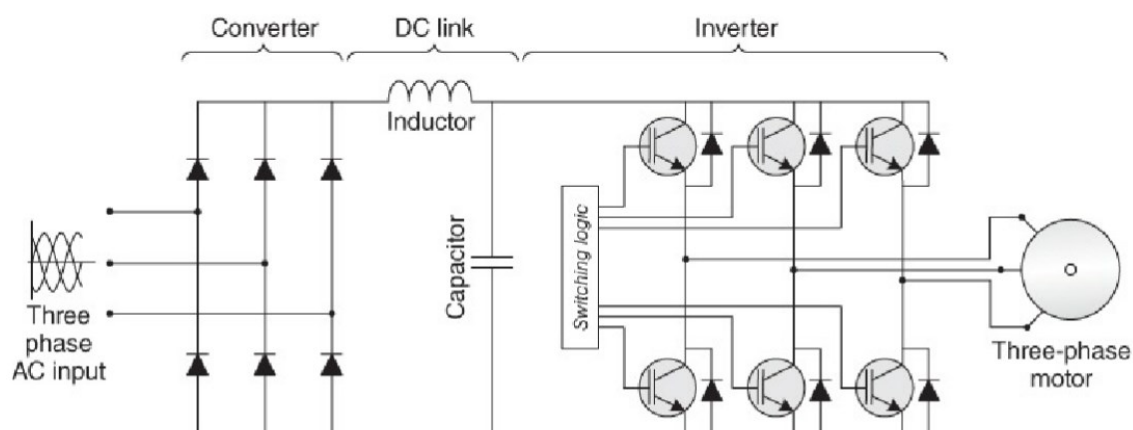
Tahtimoottori ei ole itsestään käynnistyvä eli se vaatii erillisen käynnistysmomentin käytettäessä suoraan verkkojännitteellä. Suurin osa kestopagneettimoottoreista onkin tehty ohjattavaksi taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajalla voidaan muuttaa moottorille syötettävän jännitteen suuruutta sekä taajuutta. (Hughes & Drury 2013, 291–293.)

2.2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajan käyttäminen mahdollistaa sähkömoottorin portaattoman pyörimisnopeuden ja vääntömomentin säädön. Taajuusmuuttajakäytöllä on useita etuja. Se mahdollistaa nopeuden ja vääntömomentin mitoittamisen prosessin tarpeiden mukaan. Tämä säästää energiaa sekä voi vähentää koneiden mekaanista rasitusta ja lisätä niiden käyttöikää. (Danfoss n.d.)

Yleisimmin käytössä olevat taajuusmuuttajat ovat välipiirillisiä. Tässä taajuusmuuttajatyypissä syöttöjännite muutetaan aluksi tasajännitteeksi tasasuuntaajalla diodien avulla. Välipiirissä aaltoileva tasajännite tasoitetaan. Se toimii myös pienenä energia varastona taajuusmuuttajassa, mikä vähentää verkkoon aiheutuvia epätasaisuuksia. Vaihtosuuntaajassa tasajännite muutetaan takaisin halutunlaiseksi vaihtojännitteeksi. (Eronen, Joensuu 2013, 2–4.)

Taajuusmuuttajan virtapiirin osat nähdään kuvassa 2. Kuvaan on merkattu tasasuuntaaja (converter), välipiiri (DC link) ja vaihtosuuntaaja (inverter).



KUVA 2. Taajuusmuuttajan virtapiiri (Gurocak 2015, 229)

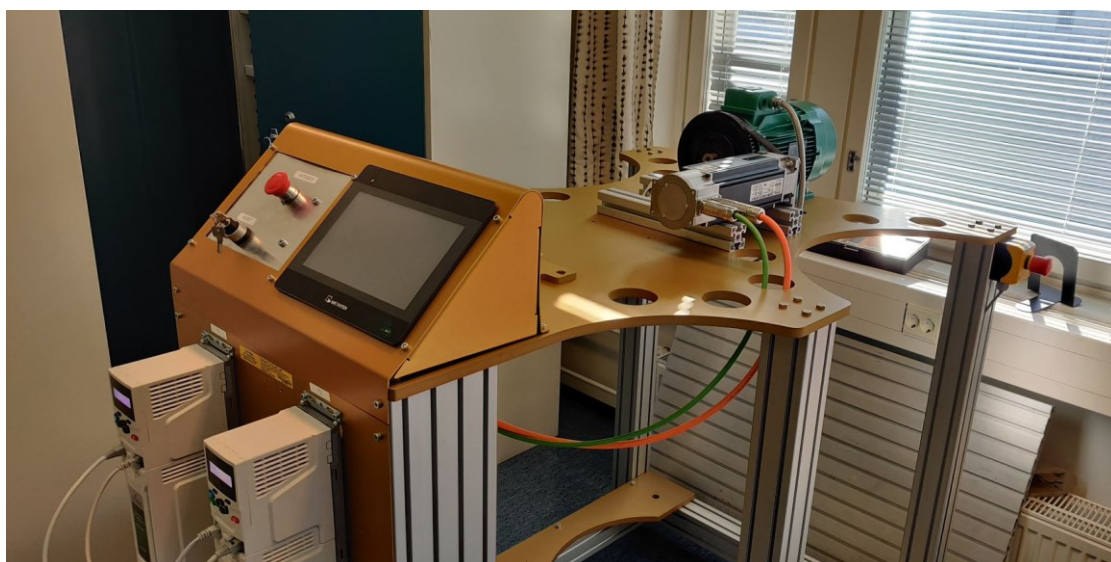
Taajuusmuuttajaan syötetty kolmivaihevirta muutetaan tasavirraksi kolmivaiheisella diodisilta tasasuuntaajalla. Diodi johtaa virtaa vain yhteen suuntaan. Tasasuuntaajassa jokainen diodi johtaa yhteensä 120 astetta vaihtovirran jaksosta ja johtava diodi vaihtuu 60 asteen välein. Tästä aiheutuu yhteen suuntaan kulkeva aaltoileva virta, joka toistuu 6 kertaa jaksonaikana. Tämä aaltoileva tasavirta ta-soitetaan välipiirissä. Taajuusmuuttajan tyypistä riippuen välipiiri koostuu kondensaattorista, kelasta tai niiden yhdistelmästä. (Gurocak 2015, 229–231.)

Vaihtosuuntaajassa tasavirta muunnetaan vaihtovirraksi kytkiminä toimivien transistorien tai tyristorien avulla. Nykyään tavallisimmin käytetään kuutta IGBT (Insulated-gate bipolar transistor) bipolaaritransistoria, jotka voivat kytkeytyä päälle ja kiinni noin 500 nanosekunnissa. Transistorin kanssa rinnankytketty diodi suojaa transistoria moottorin aiheuttamalta induktiiviselta kuormalta. Transistorien kytkentä järjestys määrää ulos syötettävän jännitteen suuruuden ja taajuuden. (Gurocak 2015, 232–233.)

3 MOOTTORIPÖYDÄN KEHITTÄMINEN

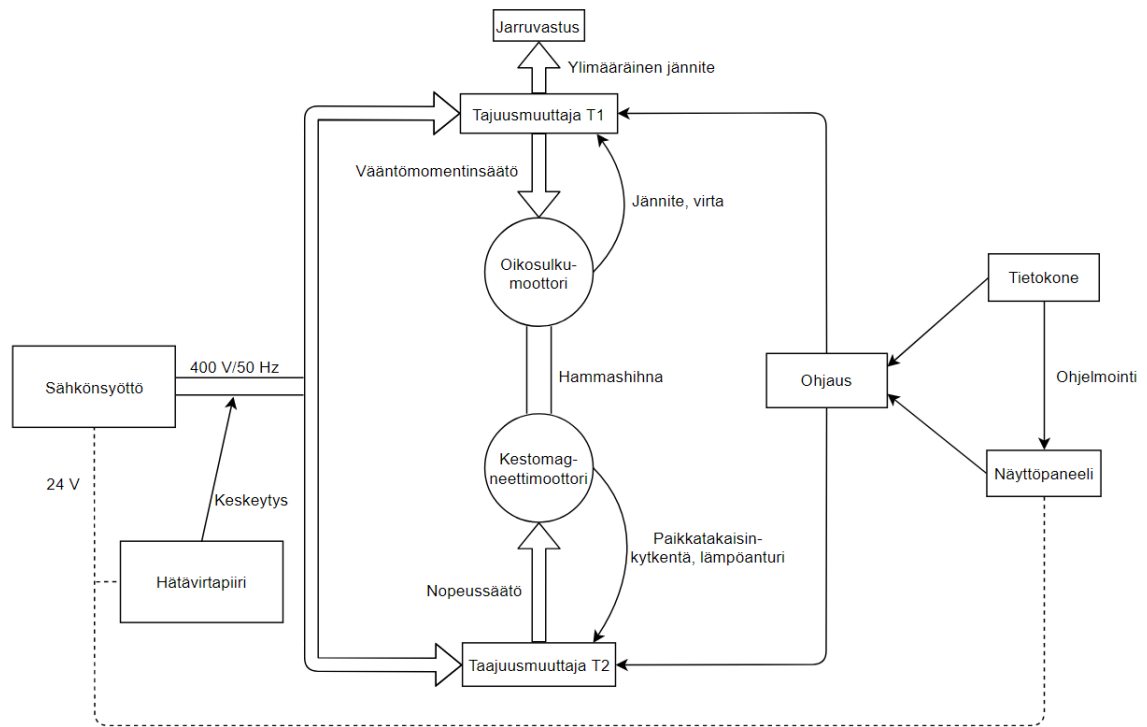
3.1 Yleistä

Projektin tarkoituksena on mahdollistaa taajuusmuuttajakäytön opettaminen koneautomaatiolaboratoriossa. Moottoripöytä on hankittu SKS Groupilta, jolla se on ollut aiemmin messukäytössä. Pöydän mukana oli kaksi taajuusmuuttajaa ja ohjelmoitava näyttöpaneeli sekä oikosulkumoottori. Sähkökytkennät oli suurimmaksi osaksi suunniteltu valmiiksi opiskelijoiden toimesta aiemmalla kurssilla. Moottoripöytä nähdään kuvassa 3.



KUVA 3. Moottoripöytä

Moottoripöydän käyttöliittymänä toimii taajuusmuuttajien näytön lisäksi tietokoneella käytettävä Connect ohjelma ja Weintek cMT3103 näyttöpaneeli. Taajuusmuuttajat ja näyttöpaneeli on kytketty toisiinsa verkkokaapeilla ja tietokoneen yhdistäminen tapahtuu liittämällä se toiseen taajuusmuuttajaan. Kuviossa 1 nähdään lohkokaaavioesitys moottoripöydän toiminnasta. Harjoitustehtävät ovat kappaleessa 5.



KUVIO 1. Lohkokaavioesitys moottoripöydästä

3.2 Unidrive M700 Taajuusmuuttaja

Moottoripöydässä käytössä olevat kaksi taajuusmuuttajaa ovat Emersonin (nykyään Nidecin) Control Techniques Unidrive M700-034 00078 A. Tämä taajuusmuuttaja mahdollistaa moottoreiden monipuolisen käytön sekä hyvät säätö- ja ohjausominaisuudet. Unidrive M700:lla voi käyttää sekä oikosulku- että kestopagneettimoottoria joko pyörimisnopeuden takaisinkytkennällä tai ilman, mikä mahdollistaa myös valitun servomoottorin käytön enkooderin kanssa. Unidrive M700 toimii 400 V:n kolmivaihejännitteellä.

Unidrive taajuusmuuttajissa on neljä ohjaustilaa. Open loop -tilassa (avoimen silmukan säätö) taajuusmuuttaja ohjaa oikosulkumoottoria ilman takaisinkytkentää. RFC – A-tilassa (Rotor Flux Control Asynchronous) taajuusmuuttaja voi ohjata oikosulkumoottoria anturilta saatavan pyörimisnopeuden avulla tai ilman paikkatakkaisinkytkentää, jolloin taajuusmuuttaja arvioi moottorin nopeuden virran, jännitteen ja muiden moottorin parametrien avulla. RFC – S (Rotor Flux Control Synchronous) on kestopagneettimoottorin ohjaustila joko nopeusanturin kanssa

tai ilman. Lisäksi taajuusmuuttaja pystyy toimimaan regen-tilassa, mikä mahdollistaa tehon kulkemisen myös moottorilta takaisin jännitesyöttöön.

Taajuusmuuttajassa olevat ethernet-liitännät mahdollistavat sen parametroidin tietokoneella Nidecin Connect ohjelmaa käyttämällä sekä ohjauksen esimerkiksi ohjelmoitavan logiikan tai tässä työssä käytettävän ohjelmoitavan näyttöpaneelin avulla. Taajuusmuuttajassa on myös integroituna ohjelmoitava logiikka, mutta sitä ei käytetä harjoitustehtävissä.

3.3 Moottorit

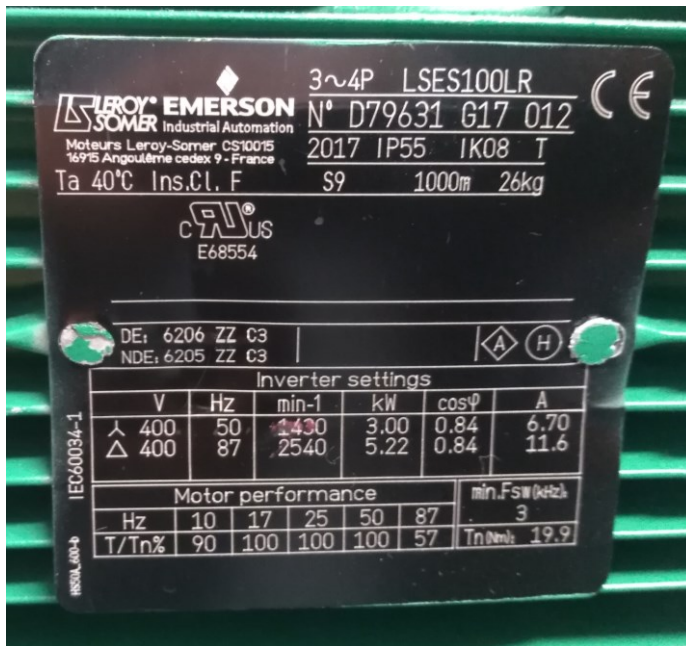
Toiseksi moottoriksi oli tarkoitus hankkia suunnilleen samalla nimellisvääntömomentilla ja nimellisyörimisnopeudella toimiva moottori. Moottorin mitoittaminen ei tässä tapauksessa kuitenkaan tarvinnut olla tarkka, kun toinen moottoreista toimii vain kuormana, jota voidaan säätää tarpeen mukaan.

Pöydässä oli valmiiksi Leroy-Somerin LSES100LR oikosulkumoottori. Toiseksi moottoriksi lisättiin Nidec Control Techniquesin Unimotor fm 095 U2 D 300 VARRAA 100190 kestomagneettimoottori.

3.3.1 Oikosulkumoottori

Leroy-Somerin LSES100LR moottori on 4-napainen kolmivaihemoottori. Kuvasta 4 nähdään moottorin taajuusmuuttajalle asetettavat tiedot. Moottorin pyörimisnopeus on 1430 rpm ja sen tuottama nimellisvääntömomentti on 19,9Nm. Taajuusmuuttajakäytössä on myös huomioitava moottorissa ilmoitettu minimi kytkentätaajuus, joka on 3 kHz.

Oikosulkumoottori on kytketty tähteen, jolloin moottorin ottama virta käynnistyksessä on pienempi kuin kolmiokytkennässä, mutta maksimi teho jää pienemmäksi. Moottoria ohjataan taajuusmuuttajalla suljetun silmukan säädöllä RFC-A-ohjaustilassa, mutta ilman paikkatakaisinkytkentää. Taajuusmuuttaja arvioi moottorin nopeuden käyttämällä jännitettä, virtaa ja muita moottorin parametrejä.

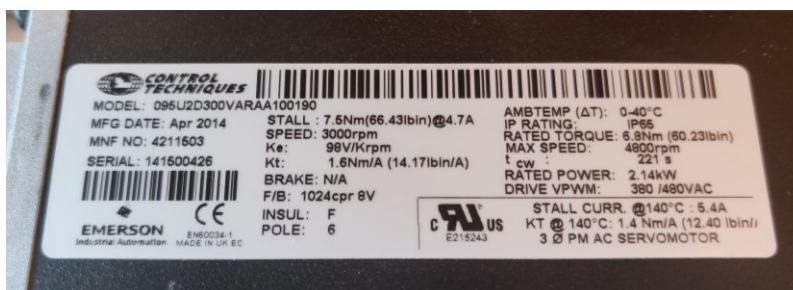


KUVA 4. Oikosulkumoottorin arvokilpi taajuusmuuttajan asetuksille

Laitetta käytettäessä on kuitenkin huomioitava, että oikosulkumoottorin tuuletin pyörii moottorin pyörimisnopeuden mukaan. Alhaisilla nopeuksilla suurta vääntömomenttia tuottaessa moottori voi ylikuumentua. Tätä varten on kuitenkin taajuusmuuttajassa suojausominaisuus, joka arvioi laskennallisesti moottorin lämpenemisen (Nidec 2017, 108).

3.3.2 Unimotor fm

Unimotor fm 095U2D300 on kolmivaihevirralla toimiva kestopagneetillinen servomoottori. Moottorin nimellisyörimisnopeus on 3000 rpm ja nimellisivääntömomentti 6,8 Nm. Unimotorin tiedot näkyvät kuvassa 5.



KUVA 5. Kestomagneettimoottorin arvokilpi

Unimotorissa on integroituna enkooderi, jolla saadaan tieto moottorin pyörimisnopeudesta. Enkooderin avulla voidaan toteuttaa taajuusmuuttajalle suljetun silmukan säätö, jolloin taajuusmuuttaja voi säätää moottorin pyörimisnopeutta tarkasti enkooderilla saatavan pyörimisnopeuden perusteella. Lisäksi moottorissa on lämpöanturi, jolta taajuusmuuttaja saa tiedon moottorin ylikuumentumisesta.

3.3.3 Moottoreiden kiinnittäminen

Moottorit on kytketty yhteen hammashihnalla. Hammaspyörien välityssuhteeksi valittiin 3:1, koska oikosulkumoottorin nimellismomentti on suurempi. Hammashihna kiinnityksessä moottoreiden sijoittaminen pöydälle on myös helpompaa, kun akseleita ei tarvitse saada tarkasti kohdakkain.

Välityssuhde kolminkertaistaa kestopagneettimoottorilta oikosulkumoottorille saatavan vääntömomentin, jos ei huomioida hammashihna kiinnityksen hyötysuhdetta. Hyötysuhteella ei ole tässä tapauksessa merkitystä. Moottoreiden pyörimisnopeuksien suhde on sama, jolloin Unimotor pyörii 3 kertaa nopeammin kuin oikosulkumoottori.

3.4 SKS BR 1800.050 jarruvastus

Jarruvastus on taajuusmuuttajan ulkopuolelle asennettava tehovastus, joka mahdollistaa moottorin tuottaman tehon muuttamisen lämmöksi ja suojaa siten taajuusmuuttajaa liian suurelta jännitteeltä. Moottori muuttuu jarruttaessa generaattoriksi ja syöttää jännitettä takaisin taajuusmuuttajan välipiiriin. Taajuusmuuttajan jarrukatkoja ohjaa ylimääräisen jännitteen välipiiristä jarruvastukselle. (Zener Oy, 2016.)

Jarruvastus lisättiin moottoripöytään oikosulkumoottorin taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttajassa on määritetyt liitännät jarruvastukselle. Lisäksi vastukselta liitetään suojamaadoitusjohto taajuusmuuttajaan. Jarruvastuksessa on lämpösuoja,

joka kytketään virtapiiriin siten, että se katkaisee tehon jarruvastukselta ylikuumetessaan. Moottoripöydässä jarruvastuksen lämpösuojan voi liittää sarjaan hätäseiskytkimien kanssa.

3.5 Sähkökytkennät

Moottoripöydässä on kytkennät päävirtapiirille sekä ohjausvirtapiirille. Päävirtapiiri toimii kolmivaihevirralla, jonka pääjännite on 400 V. Ohjausvirtapiiriin muunnetaan yhdestä vaiheesta 230 V:n vaihtojännite 24 V:n tasajännitteeksi. Jännitteelle alltiit osat ovat suojamaadoitettu. Kytcentäkaavio on liitteessä 1. Kytkenät on tehty moottoripöytään kiinnitettyyn kaappiin, joka näkyy kuvassa 6.



KUVA 6. Sähkökaappi

Kaapin kyljessä on pääkytkin, joka kytkee virrat koko moottoripöytään. Päävirtapiirissä on ylikuormasuojana 16 A:n sulake. Ohjausvirtapiiriin on kytketty näyttöpaneeli sekä hätävirtapiiri. Hätävirtapiiri kytkee kontaktorien avulla virran pois taajuusmuuttajilta, kun hätäseis-painiketta painetaan tai jarruvastuksen lämpösuoja laukeaa. Hätävirtapiiri palautetaan reset-painikkeella, kun avaimella toimiva kytkin on auki-asennossa.

4 TURVALLISTAMINEN

4.1 Konedirektiivi 2006/42/EY ja standardit

Konedirektiivi on EU:n antama lainsäädäntöohje, joka on Suomessa pantu toimeen valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008, ns. koneasetus. Direktiivin on tarkoitus mahdollistaa koneiden vapaa liikkuvuus sekä hyvä turvallisuuden taso yhdenmukaistamalla koneiden vaatimukset. Konedirektiivissä on määritelty mm. koneiden terveys- ja turvallisuusvaatimukset sekä merkinnät, jotka koneessa pitää olla. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto n.d.)

Laitteita, joihin koneasetusta sovelletaan ovat

- koneet
- vaihdettavat laitteet
- turvakomponentit
- nostoapuvälineet
- nostoketjut, -köydet ja -vyöt
- nivelakselit
- osittain valmiit koneet.

(Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2009.)

Koneasetuksessa on lisäksi rajattu kohteita, joihin asetusta ei sovelleta. Kone on määritelty osien tai komponenttien yhdistelmäksi, joka toimii muulla kuin ihmis- tai eläinvoimalla ja jossa on ainakin yksi liikkuva osa. Kone on kokoonpantu erityistä toimintoa varten. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2009.)

Standardien käyttäminen on lähtökohtaisesti vapaaehtoista. Standardeista voi saada lisähyötyä tai joissain tapauksissa niiden soveltaminen voi tulla pakolliseksi, jos niihin viitataan lainsäädännössä. Standardien käytön tarvetta voi arvioida tapauskohtaisesti. (Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. n.d.a.)

Koneturvallisuuden standardit jaotellaan A-, B- ja C-tyypin standardeihin. Standardien tyypit määritellään standardissa EN ISO 12100, joka on ainoa A-tyypin

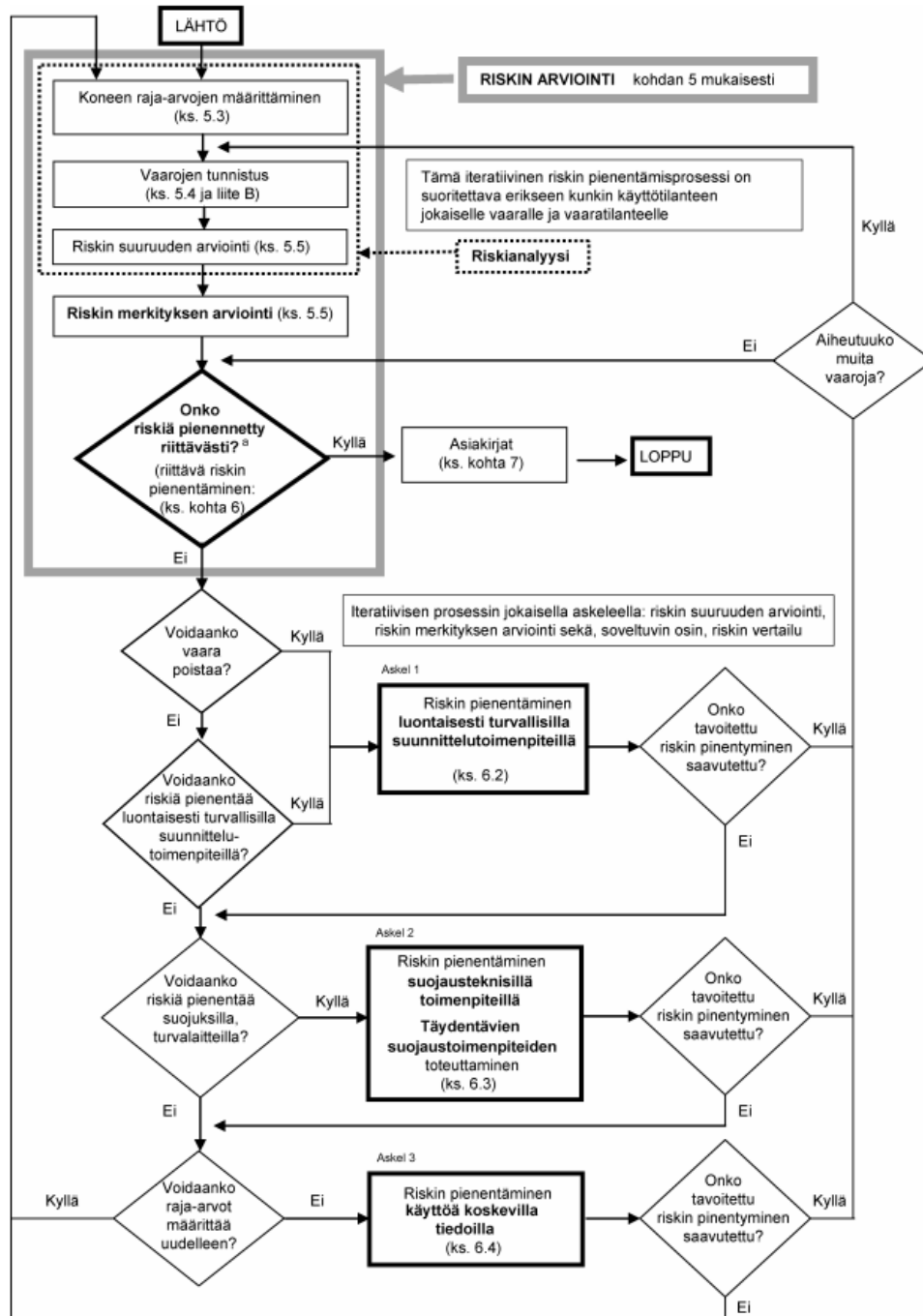
standardi. Siinä esitetään perusteet, suunnitteluperiaatteet ja yleiset näkökohdat, joita voidaan soveltaa kaikkiin koneisiin. Standardia EN ISO 12100 tukee ISON tekninen raportti ISO/TR 14121-2. (Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. n.d.b.)

Turvallisuuden ryhmästandardeissa eli B-tyyppin standardeissa käsitellään yhtä turvallisuusnäkökohtaa tai suojateknistä laitetta. C-tyyppin standardit ovat konekohtaisia standardeja, joissa käsitellään tietyn koneen tai koneryhmän turvallisuusvaatimuksia. (Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. n.d.b.)

4.2 Moottoripöydän turvallistaminen

Riskin arviontiin kuuluu riskianalyysi ja riskin merkityksen arviointi. Riskianalyysi sisältää koneen raja-arvojen määrittämisen, vaaran tunnistamisen ja riskien suuruuden arvioinnin. Standardin SFS-EN ISO 12100 mukainen riskin pienentämisprosessi on esitetty kuviossa 2.

Riskin pienentämisprosessissa käytetään apuna SFS-ISO/TR 14121-2 standardia. Standardi sisältää opastusta standardin SFS-EN ISO 12100 mukaiseen riskin arviointiin sekä esittelee menetelmiä prosessin eri vaiheisiin ja toimenpiteitä riskin pienentämiseen. Vaaran tunnistamiseen ja riskin analysointiin käytetään standardin SFS-ISO/TR 14121-2 esimerkin mukaisia taulukkoja. (SFS-ISO/TR 14121-2 2013, 8, 76, 78.)



^a Kun kysymys tulee vastaan ensimmäisen kerran, siihen vastataan alustavan riskin arvioinnin tulosten perusteella.

KUVIO 2. Riskin pienentämisprosessi (SFS-EN ISO 12100, 2010, 30)

4.3 Moottoripöydän kuvaus

Moottoripöytä on Tampereen ammattikorkeakoulun käyttöön tarkoitettu opetuslaite. Moottoripöydällä opetetaan taajuusmuuttajakäyttöä opiskelijoille opettajan ohjauksella.

Moottoripöytään syötettävä sähkö on 400 V/ 50 Hz kolmivaihevirtaa. Laitteessa on hammashihnalla yhteen kytketyt oikosulku- ja kestopagneettimoottorit, joita ohjataan taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttajat on kiinnitetty pöydän eteen ja moottorit ovat pöydän päällä. Pöydän sivussa on sähkökaappi, jonka kautta syöttöjännite kulkee ohjausvirtapiiriin sekä taajuusmuuttajille ja moottoreille. Moottoripöydän sähkökytkentäkaavio on liitteessä 1.

4.4 Koneen käyttö

Koneella on tarkoitus opettaa taajuusmuuttajien käyttöönottoa ja parametroitua. Tähän kuuluu moottoreiden ohjaus taajuusmuuttajilla sekä ohjelmoitavan näyttöpaneelin käyttö taajuusmuuttajan säädössä. Työtä on tarkoitus tehdä pöydän vieressä enimmäkseen tietokoneella ohjelmoiden ja samalla seuraten laitteen toimintaa.

Koneen käyttäjiä ovat opiskelijat. Moottoripöydän käyttö tehdään harjoitustehtävien avulla, joissa on määritelty laitteen tekniset ominaisuudet ja käyttörajat työtä varten. Huoltotoimenpiteet tehdään opettajan toimesta tai opettajan valvonnassa. Moottoripöydässä ei ole merkittävää huomioon otettavaa väärinkäyttöä.

4.5 Tila- ja aikarajat

Konetta on tarkoitus käyttää sisätiloissa Tampereen ammattikorkeakoulun koneautomaatiolaboratoriossa. Laboratoriotila on suhteellisen ahdas. Moottoripöytää voi tarvittaessa siirtää ja se liitetään pistokkeella kolmivaiheiseen sähkönsyöttöön.

Moottoripöydän käyttöajan päättää Tampereen ammattikorkeakoulu. Hammashihnan kunto ja kireys on tarkistettava säännöllisesti. Pitempään käytössä ollessa myös moottoreiden kunto on tarkastettava ja huollettava tarvittaessa.

4.6 Riskianalyysi ja riskin pienentäminen

Vaaran tunnistaminen koskee koneen käyttövaihetta sekä huoltoa ja ongelman selvitystä. Moottoripöydän käytön aikana ollaan pääasiassa pöydän välittömässä läheisyydessä, mutta laitteen liikkuviin osiin ei tarvitse koskea.

Huollon aikana voi joutua koskemaan moottoreihin ja hammashihnaan. Lisäksi erityisesti ongelman selvityksen aikana on huomioitava myös mahdollinen sähkökytkentöihin koskeminen. Vaaran tunnistaminen nähdään taulukosta 1. Menetelmänä on käytetty standardin SFS-EN ISO 12100 liitteen B listaa.

Riskin arvioinnissa on käytetty riskigraafimenetelmää. Melusta ja ergonomiasta aiheutuvien vaarojen arviointi ei ole tarpeellista, koska laitteella työskentely ei ole pitkäaikaista. Riskien pienentämisen jälkeen ei ole tarvetta enää muille toimenpiteille. Riskin suuruuden arviointi, riskin merkityksen arviointi ja riskin pienentäminen nähdään liitteestä 2. Riskigraafimenetelmässä käytettyjen lyhenteiden merkitys on kerrottu taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Lyhenteiden merkitys

S	Vakavuus	F	Altistuminen	O	Vaarallisen tapahtuman todennäköisyys	A	Välttämisen mahdollisuus
1	lievä	1	harvoin	1	hyvin pieni	1	mahdollinen
2	vaikea	2	toistuva	2	keskimääräinen	2	mahdoton
				3	suuri		
RI riskiluokka välillä 1-6							

5 HARJOITUSTEHTÄVÄT

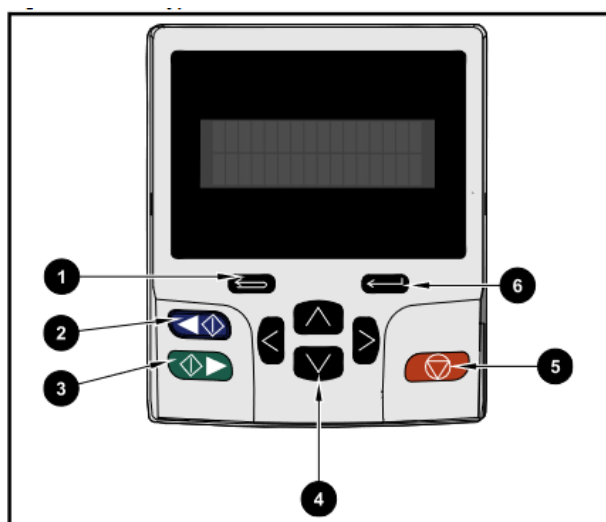
5.1 Aloitus

Harjoitustehtäviä varten tarvitsee tietokoneelle olla asennettuna Nidecin Connect sekä Weintekin Easy Builder ohjelmat. Tehtävissä on käytetty Connect versiota 2.15.1.5. Moottoripöydän laitteet on yhdistetty toisiinsa verkkokaapeleilla. Tietokoneen yhdistämiseen riittää koneen ja toisen taajuusmuuttajan kytkeminen toisiinsa verkkokaapelilla.

Pöydässä on oikosulkumoottori Leroy-Somer LSES100LR ja kestopagneettiservomoottori Unimotor fm 095U2D300VARAA100190. Taajuusmuuttajien malli on Control Techiques Unidrive M700-034 00078 A ja näyttöpaneeli on Weintek cMT3103.

5.1.1 Taajuusmuuttajan valikko

Kuvassa 7 on selitetty taajuusmuuttajan näppäimet. Nuolet vasemmalle ja oikealle muuttaa **Menua** ja nuolilla ylös ja alas valitaan **parametri**.



1. Escape button
2. Start reverse (Auxiliary button)
3. Start forward
4. Navigation keys (x4)
5. Stop / Reset (red) button
6. Enter button

KUVA 7. Taajuusmuuttajan näppäimet (Nidec 2017, 40)

Parametrien sijainnit ovat muodossa s.mm.ppp eli **slot**, **menu** ja **parameter**. Slot on moduulin paikan numero. Taajuusmuuttaja eli drive on paikassa 0, joka ei näy taajuusmuuttajan näytöllä. Paikassa 4 on ethernet moduuli. Driven menussa 0 on yleisimmin käytettyjä parametrejä, jotka löytyvät myös muista menuista.

Aloita palauttamalla taajuusmuuttajille vakio asetukset. Aseta parametriin 00.000 luku 1234 ja paina reset nappia. Laita tämän jälkeen samaan parametriin luku 1070 ja paina reset nappia.

Parametrissa User security status (00.049 tai 11.044) pitää olla valittuna *All Menus*, jotta kaikki valikot näkyvät taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttaja kysyy User security codea, jos asetukset ovat lukittu. Aseta tunnusluvuksi 1. Tunnusluvun voi nähdä ja muuttaa Connect ohjelmalla parametrissa 11.030. Sitä ei tarvitse muuttaa.

Asettaessa parametrejä taajuusmuuttajan näytöltä menun 0 parametrit tallentuvat suoraan niitä muuttaessa. Muiden menujen parametrit tallennetaan muuttamalla ensin parametri ja valitsemalla sen jälkeen parametrissa mm.000 *Save parameters* ja painamalla reset nappia.

Jotta tietokoneen voi yhdistää taajuusmuuttajiin, on niiden oltava samassa aliverkossa. Aseta tietokoneen IP-osoitteeksi esimerkiksi 192.168.100.10.

Taajuusmuuttajien IP-osoitte muutetaan ottamalla DHCP pois käytöstä parametrissa 4.02.005 ja asettamalla IP-osoite parametrissa 4.02.006 (192.168.100.X) sekä aliverkonpeite (Subnet Mask) parametrissa 4.02.007 (255.255.255.0).

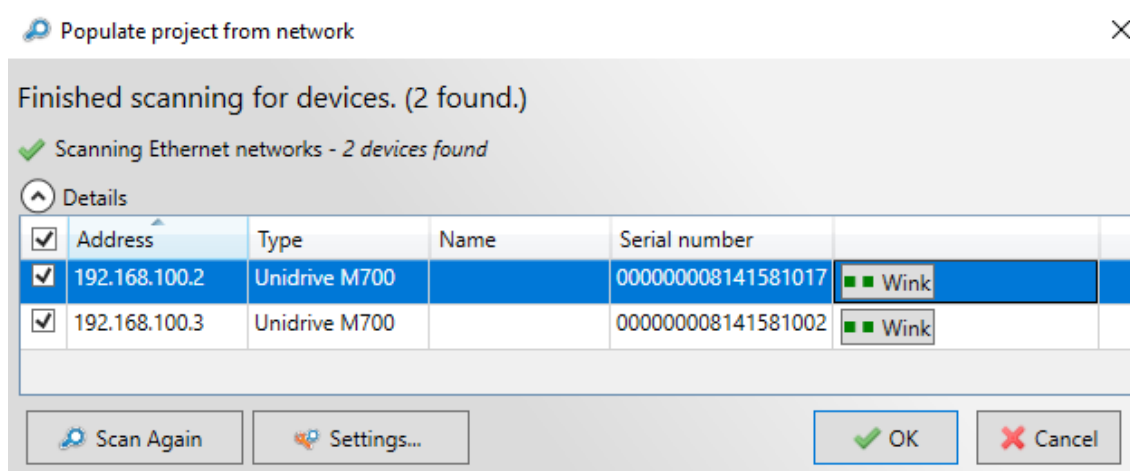
Resetoi ethernet moduuli parametrilla 4.00.007, jotta muutettu IP-osoite tulee käyttöön. Tallenna asetukset valitsemalla *save parameters* parametrissa 4.02.000 ja painamalla reset nappia. IP-osoitteen muuttamisen jälkeen voi joutua odottamaan hetken, jotta taajuusmuuttajaan voi yhdistää. Tietokone voi yhdistää taajuusmuuttajiin, jos molemmat hakevat IP-osoitteen automaattisesti DHCP-

protokollalla, mutta taajuusmuuttajan IP-osoite saattaa muuttua uudelleen käynnistyessä.

5.1.2 Connect Projekti

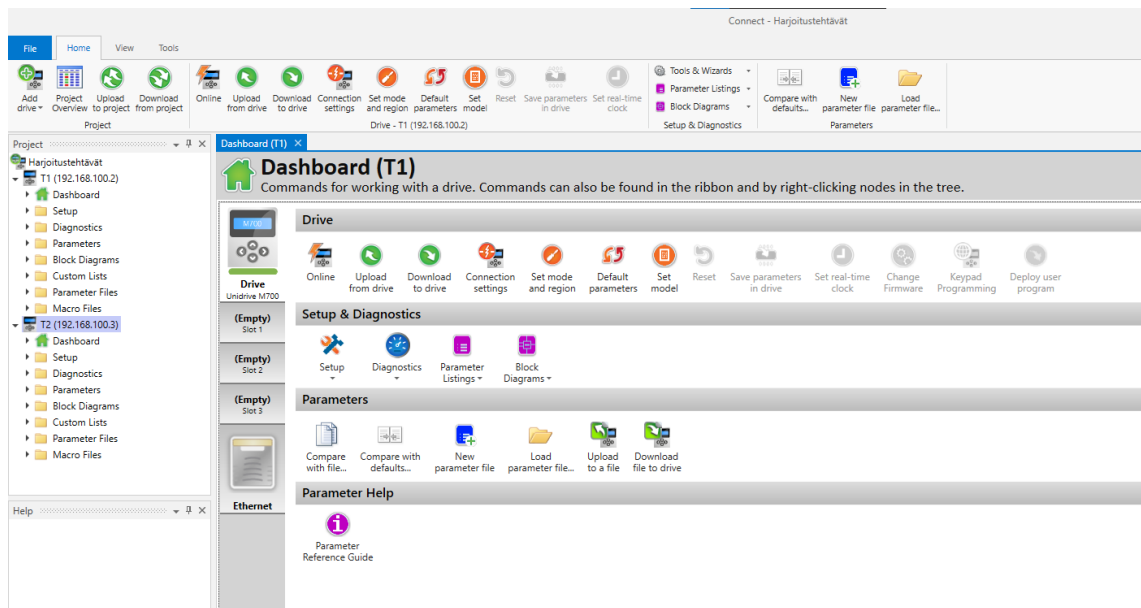
Luo Connect projekti valitsemalla *New Project*. Valitse *Scan Ethernet network* ja anna projektille nimi. Halutessasi voit muuttaa sijainnin, johon projekti tallennetaan. Paina *OK*. Ohjelma hakee automaattisesti kytketyt laitteet.

Laitteet pitäisi näkyä kuten kuvassa 8. Wink-painikkeella taajuusmuuttaja välkyttää näyttöä, jotta voi tunnistaa mikä laite on kyseessä. Kun molemmat taajuusmuuttajat ovat valittuna paina *OK*.



KUVA 8. Connectin löytämät laitteet

Lataa parametrien arvot taajuusmuuttajalta projektiin painamalla *Upload to project*. Valitse "Overwrite parameters..." ja paina *Upload*. Seuraavaksi voit nimetä taajuusmuuttajat helpompaa tunnistusta varten projektinäkyessä klikkaamalla oikealla näppäimellä taajuusmuuttajaa ja valitsemalla *rename*. Projektinäkymä nähdään kuvassa 9.



KUVA 9. Connectin projektinäkömä

Connectissa muutetut parametrit voi viedä taajuusmuuttajille joko valittuun taajuusmuuttajaan painamalla *Download to drive* tai molempiin taajuusmuuttajiin yhtä aikaa valitsemalla *Download from project*.

Online-tilassa parametrit muuttuvat taajuusmuuttajille suoraan muuttaessa niitä projektista. Tällöin parametrit ovat väliaikaisessa muistissa ja häviävät, jos taajuusmuuttaja sammuu. Muutetut parametrit voi tallentaa pysyvään muistiin online-tilassa painamalla *Save parameters in drive*. Online-tilaan pääsee painamalla *Online* molemmilla taajuusmuuttajilla erikseen.

Projektinäkömän vasemmasta reunasta olevasta listasta löytyy parametrien menu taajuusmuuttajien alta Parameters-kansiosta. Menut avautuvat eri välilehtiin projektinäkömässä. Help ikkunasta löytää tietoa valituista parametreistä.

5.2 Moottoreiden asetukset

Seuraavaksi säädetään moottoreiden asetukset taajuusmuuttajille. Taajuusmuuttaja T1 on kytketty oikosulkumoottoriin ja T2 kestromagneettimoottoriin.

Mene taajuusmuuttajilla online-tilaan. Säädetään ensin oikosulkumoottori T1:lle. Valitse T1:n dashboardista *Set mode and region*. Valitse *RFC-A* (Rotor Flux Control Asynchronous) ja taajuudeksi 50 Hz. Mikäli Apply-painiketta ei voi painaa, on taajuusmuuttaja jo oikeassa tilassa ja voit sulkea ikkunan.

Valitse *Setup* ja *Motor & Position Feedback Setup*. Moottoria voi hakea myös moottorin mallin mukaan, mutta listasta ei todennäköisesti löydy täysin oikeita asetuksia. Valitse *Display manual configuration*. Valitse moottorin tyyppi epätahtimoottori ja aseta moottorin asetukset. Taajuusmuuttajalle laitettavat asetukset löytyvät moottorin toisesta arvokilvestä (Inverter settings). Moottori on **tähtikytkennässä**. Asetetut arvot näkyvät kuvassa 10. Paina yläkulmasta *Send to drive*.

Motor & Position Feedback Setup
Configure the connected motor and its feedback device

Motor Setup

Configure your motor
Choose a preset from the database or manually configure the motor parameters

Custom Asynchronous 4P 400V 50Hz Display manual configuration

Motor type: Asynchronous Motors

Manufacturer: Custom

Model: Asynchronous 4P 400V 50Hz 6.7A

Associate with the selected feedback device

Rated Frequency	50.0	Hz
Rated Current	6.700	A
Rated Speed	1430.00	rpm
Rated Voltage	400	V
Rated Power Factor	0.000	
Number Of Motor Poles	4	Poles

Configure your thermistor
Choose the fault detection mode and thermistor type

Thermistor connection: Drive P1

P1 Thermistor Fault Detection: None No thermistor/disable thermistor trips

Position Feedback Setup

Configure your feedback
Select which feedback device is connected

None (Sensorless)

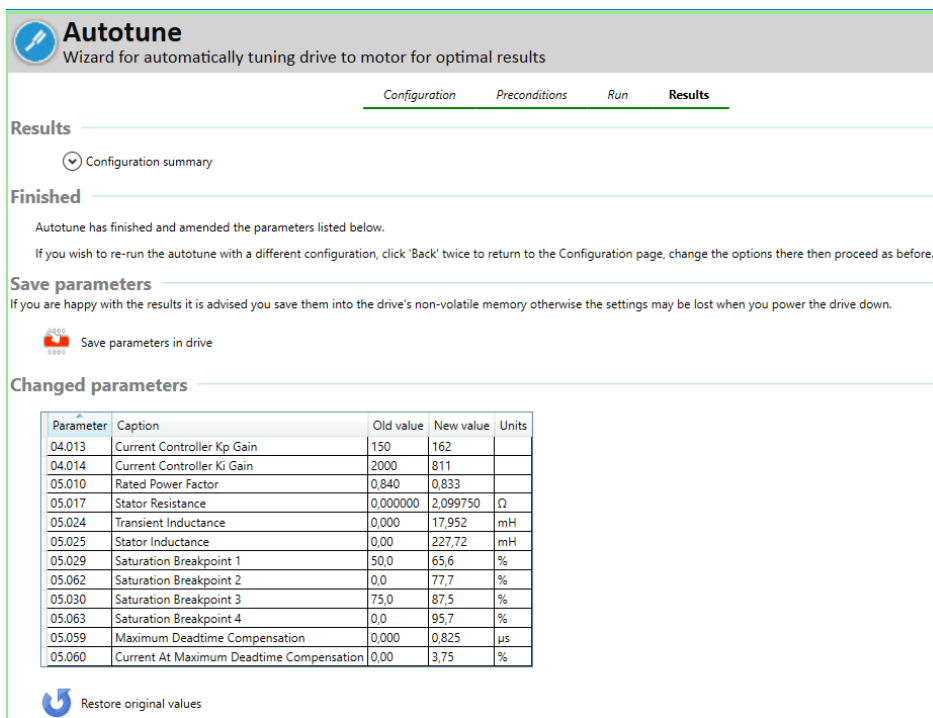
Kuva 10. Oikosulkumoottorille asetetut arvot

Käy muuttamassa parametri RC Feedback Mode (03.024) *sensorless* moodiin ja P1 Termination Select (03.039) arvoon 0. Tallenna parametrit painamalla *Save parameters in drive*, ettei taajuusmuuttaja laukaise suojausta (trip), kun anturia ei ole.

Valitse dashboardista *setup* ja *Autotune*. Autotune testaa ja säätää moottorin muut asetukset automaattisesti. Valitse autotunesta asetukset *Rotating*, *Forward* ja *Motor 1*. Paina *Next*.

Autotune käskee avaamaan Safe Torque Off -tulon, jos se on päällä. Irroita taajuusmuuttajan edestä muovisuoja ja irroita johto pinnistä 31 (pinni 22 antaa 24 V:n jännitteen). Safe Torque Off on turvaominaisuus, joka estää taajuusmuuttajaa tuottamasta vääntömomenttia moottorilla. Avaa Safe Torque Off -tulo myös toiselta taajuusmuuttajalta autotunea tehdessä, varmistaaksesi ettei toinen moottori tuota vääntömomenttia.

Paina Autotunesta *Save parameters in drive* ja *Next*. Moottori pyörii autotunen aikana. Kytke Safe Torque Off -tulo kiinni ja odota autotunen valmistumista. Avaa tulo, kun autotune on valmis. Paina *Next* ja seuraavalla sivulla tallenna asetukset painamalla *Save parameter in drive*. Autotune muuttaa moottorin parametrejä menusta 5. Kuvassa 11 nähdään autotunen tulokset.



Autotune
Wizard for automatically tuning drive to motor for optimal results

Configuration Preconditions Run **Results**

Results

Configuration summary

Finished

Autotune has finished and amended the parameters listed below.

If you wish to re-run the autotune with a different configuration, click 'Back' twice to return to the Configuration page, change the options there then proceed as before.

Save parameters

If you are happy with the results it is advised you save them into the drive's non-volatile memory otherwise the settings may be lost when you power the drive down.

Save parameters in drive

Changed parameters

Parameter	Caption	Old value	New value	Units
04.013	Current Controller Kp Gain	150	162	
04.014	Current Controller Ki Gain	2000	811	
05.010	Rated Power Factor	0,840	0,833	
05.017	Stator Resistance	0,000000	2,099750	Ω
05.024	Transient Inductance	0,000	17,952	mH
05.025	Stator Inductance	0,00	227,72	mH
05.029	Saturation Breakpoint 1	50,0	65,6	%
05.062	Saturation Breakpoint 2	0,0	77,7	%
05.030	Saturation Breakpoint 3	75,0	87,5	%
05.063	Saturation Breakpoint 4	0,0	95,7	%
05.059	Maximum Deadtime Compensation	0,000	0,825	μs
05.060	Current At Maximum Deadtime Compensation	0,00	3,75	%

Restore original values

KUVA 11. Oikosulkumoottorin autotunen tulokset

Oikosulkumoottorin arvokilvessä on mainittu minimi kytkentätaajuudeksi 3 kHz. Asetus löytyy parametrystä 05.038. Tarkista, että maksimi kytkentätaajuus (05.018) on myös vähintään 3 kHz.

Lisäksi oikosulkumoottorin integroitu tuuletin pyörii moottorin pyörimisnopeuden mukaan. Tämä tarkoittaa, että moottorin jäähtyminen ei toimi yhtä hyvin pienemmillä pyörimisnopeuksilla. Taajuusmuuttaja käyttää laskennallista mallia moottorin lämpötilan arvioimiseen ja laukaisee suojauksen (trip), jos moottori lämpenee liikaa.

Aseta T1:n parametrin 04.025 arvoksi 1, jotta taajuusmuuttaja huomioi heikentyneen jäähtymisen, kun moottorin nopeus on alle 50 % nimellisa nopeudesta.

T1:een kytketyn jarruvastuksen arvot laitetaan menussa 10. Aseta jarruvastuksen tehoksi (10.030) 1,8 kW, lämpöaikaavakioksi (10.031) 1000 s ja vastukseksi (10.061) 50 Ω. Tallenna parametrit.

Seuraavaksi säädetään T2:lle servomoottorin asetukset. Valitse T2:lle moodi RFC-S (Rotor Flux Control Synchronous) ja taajuudeksi 50 Hz. Aseta moottorin ja enkooderin asetukset *Motor & Position Feedback Setupista* ja paina *Send to drive*. Moottorin tarkemmat tiedot löytyvät Emersonin Unimotor fm and hd Technical Data PDF-tiedostosta. Asetetut arvot näkyvät kuvassa 12.

Motor & Position Feedback Setup
Configure the connected motor and its feedback device

Configure your motor
Choose a preset from the database or manually configure the motor parameters

Custom Servo Display manual configuration

Motor type: Servo
Manufacturer: Custom
Model: Servo

Associate with the selected feedback device

Maximum Reference Clamp	4800,0	rpm
Rated Current	4,250	A
Rated Speed	3000,00	rpm
Rated Voltage	400	V
Torque Per Amp	1,60	Nm/A
Volts Per 1000rpm	98	V
Ld	13,620	mH
Motor Thermal Time Constant 1	221,0	s
Stator Resistance	2,740000	Ω
Number Of Motor Poles	6	Poles
Position Feedback Phase Angle	0,0	°
Current Controller Ki Gain	1058	
Current Controller Kp Gain	123	

Configure your feedback
Select which feedback device is connected

SICK SRM50

Feedback location
Select where the feedback device is connected

Drive P1 Display manual configuration

Feedback type: SC Hiperface
P1 Supply Voltage: 8V
P1 Auto-configuration Select: Enabled
P1 Comms Baud Rate: 300k Baud

Configure your thermistor
Choose the fault detection mode and thermistor type

Thermistor connection: Drive P1
P1 Thermistor Fault Detection: Temp or Short (Trip when the trip threshold is exceeded or a short circuit is detected)

P1 Thermistor Type: DIN4082

Thermistor reset: 550 Ω
Thermistor trip: 1000 Ω

0 Ω
●
●
 5000 Ω

KUVA 12. Servomoottorin asetukset

Autotune säätää osan parametreista vielä automaattisesti. Suorita autotune samalla tavalla kuin aiemmin. Kuvassa 13 näkyvät servomoottorin autotunen tulokset.

Autotune
Wizard for automatically tuning drive to motor for optimal results

Configuration Preconditions Run **Results**

Results

Configuration summary

Finished

Autotune has finished and amended the parameters listed below.

If you wish to re-run the autotune with a different configuration, click 'Back' twice to return to the Configuration page, change the options there then proceed as before.

Save parameters

If you are happy with the results it is advised you save them into the drive's non-volatile memory otherwise the settings may be lost when you power the drive down.

Save parameters in drive

Changed parameters

Parameter	Caption	Old value	New value	Units
04.013	Current Controller Kp Gain	123	70	
04.014	Current Controller Ki Gain	1058	702	
05.017	Stator Resistance	2,740000	1,819370	Ω
05.024	Ld	13,620	7,754	mH
05.059	Maximum Deadtime Compensation	0,000	0,750	μs
05.060	Current At Maximum Deadtime Compensation	0,00	3,85	%
05.072	No-load Lq	0,000	9,271	mH

Restore original values

KUVA 13. Servomoottorin autotunen tulokset

Servomoottorin suositeltu kytkentätaajuus on 12 kHz. Muuta T2:lle maksimi kytkentätaajuudeksi (05.018) 12kHz ja minimiksi (05.038) 6 kHz. Katso, että automaattinen kytkentätaajuuden muuttaminen (05.035) on päällä ja aseta parametriin 05.036 arvoksi 1 ja tallenna parametrit. Tällöin taajuusmuuttaja pienentää kytkentätaajuutta yhden pykälän kerrallaan, jos taajuusmuuttaja kuumenee yli parametrissa 05.039 ilmoitetun lämpötilan (vakio 60 °C).

Suurempi kytkentätaajuus tuottaa moottorille paremman laatuista jännitettä, jolloin moottori kuumenee vähemmän, mutta samalla tuottaen enemmän lämpöä taajuusmuuttajassa.

5.3 Moottoreiden ohjaus

Tehtävissä on nyt asetettu molempien moottoreiden asetukset. Taajuusmuuttaja T2 säättää servomoottorin nopeutta automaattisesti enkooderin avulla. Huomioi, että moottoreiden välillä on hammashihna välityssuhteella 1:3.

Taajuusmuuttajissa on useita eri parametrejä, joilla moottoreita voi ohjata. Näissä tehtävissä käydään läpi joitakin esimerkkejä moottorin ohjauksesta. Muista parametreistä voi lukea Connectin helpistä sekä Control user guidesta.

Connectissa lihavoidulla tekstillä näkyvät parametrit ovat muutettavia ja tavallishella tekstillä olevat näyttävät tietoa tai esimerkiksi viittaavat muihin parametreihin. Help ikkunasta voi lukea mistä näytetty arvo muodostuu.

Muista, että moottorit toimivat vain, jos Safe Torque Off (06.029) tulossa on jännite. Parametri Drive Enable (06.015) toimii vastaavalla tavalla, mutta ohjelmallisesti. Molemmat täytyy olla päällä, jotta moottorit toimivat. Parametri Enable Conditions (06.010) näyttää bitteinä (0 tai 1) eri ehdot, jotka täytyy toteutua.

Muuta T2:n parametri 06.008 pois päältä, jottei taajuusmuuttaja pyri pitämään moottoria paikallaan, kun moottori ei ole käynnissä. Sama parametri pitäisi olla vakiona kiinni T1:llä.

Käytetään oikosulkumoottoria kuormittavana moottorina. Asetetaan T1:lle ohjaustavaksi vääntömomentin säätö muuttamalla parametrin 04.011 arvoksi 1 ja asetetaan nimellisvääntömomentiksi (04.041) 19,9 Nm. Asetetaan moottorin maksimi virraksi kiihdytyksessä sekä hidastuksessa 100 % parametrilla (04.007). Muuta Ramp Mode Selectiin (02.004) *Fast ramp* ja Stop Modeksi (06.001) *Coast*. Tallenna parametrit.

Tuotettua vääntömomenttia voi säätää Torque reference (04.008) parametrilla prosenttiosuutena nimellisvääntömomentista. Voit koittaa jättämällä Torque Referencen 0 %:iin ja asettamalla Run (06.034) päälle. Moottori saattaa lähteä pyörimään, koska taajuusmuuttajan tuottama vääntömomentti on arvio. Jos nostat Torque Referencen esimerkiksi 5 %:iin huomaat, että moottori kiihtyy, koska se

pyrkii tuottamaan vakiovääntömomentin ilman kuormaa. Moottorin nopeuden voi rajoittaa Maximum Refence Clamp (01.006) parametrilla. Pysäytä moottori laittamalla Run parametri pois päältä.

Kaikkia parametrejä ei tarvitse tallentaa, jos niiden ei haluta jäävän taajuusmuuttajan pysyvään muistiin.

Ohjataan servomoottoria käyttämällä asetettuja referenssinopeuksia. Parametrit löytyvät menusta 1 (Speed References).

Valitaan T2:n parametrissa 01.014 käytettäväksi esiasetettuja arvoja valitsemalla siihen *Preset*. Tällöin nopeutena käytetään Preset Selectorin (01.015) osoittaman Preset Referencen (01.021–01.028) arvoa.

Aseta Preset Referenceihin esimerkiksi seuraavat arvot

- Preset Reference 1, 0 rpm
- Preset Reference 2, 100 rpm
- Preset Reference 3, 500 rpm
- Preset Reference 4, 1500 rpm
- Preset Reference 5, 2000 rpm
- Preset Reference 6, 2500 rpm
- Preset Reference 7, 3000 rpm

Preset Selectorin (01.015) arvot 1-7 valitsee näiden välillä. Käynnistä moottori Run (06.034) parametrilla ja voit koittaa eri nopeuksia. Moottorin suunnan voi muuttaa parametrilla Forward/Reverse (06.033).

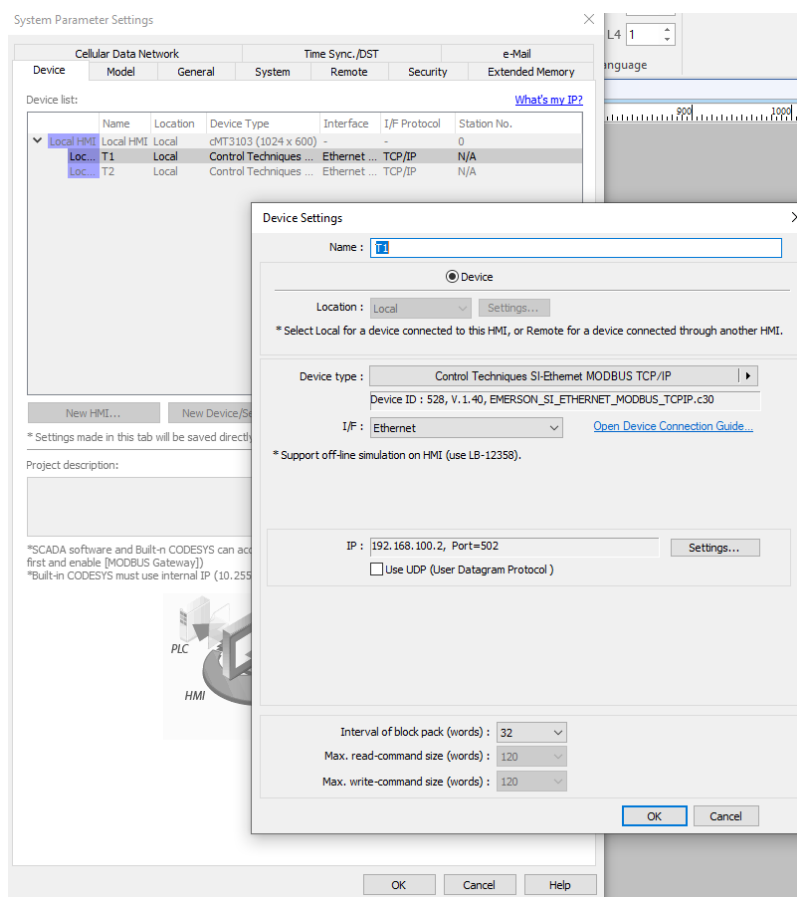
Koita käynnistää oikosulkumoottori servomoottorin ollessa käynnissä. Voit seurata esimerkiksi mitä moottoreiden virroille tapahtuu, kun muutat oikosulkumoottorin tuottamaa vääntömomenttia ja servomoottorin nopeutta. Moottorin käyttämä virta löytyy menusta 4 ja pyörimisnopeus menusta 3.

5.4 Näyttöpaneelin ohjelmointi

Seuraavaksi ohjelmoidaan näyttöpaneelia näyttämään ja muuttamaan taajuusmuuttajan parametrejä. Voit tyhjentää näyttöpaneelin ohjelman näytön yläkulmasta avautuvasta valikosta.

Tämän jälkeen aina lukon kuvaketta ja syötä salasana 111111. Muuta IP-osoite Network kohdasta (esim. 192.168.100.4) ja paina ok.

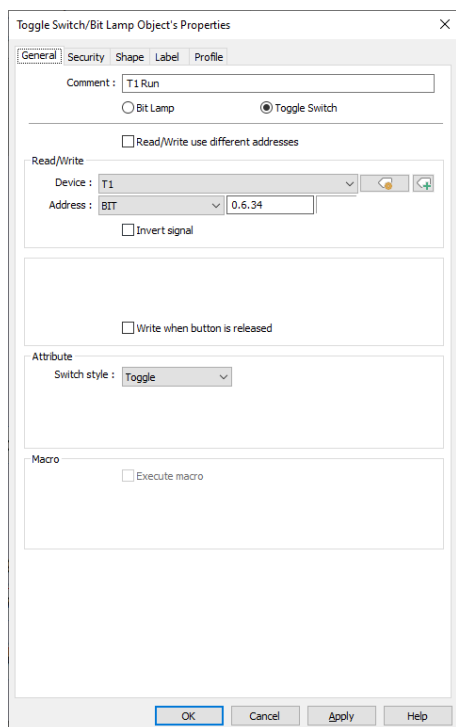
Luo Weintekin EasyBuilder ohjelmalla uusi projekti ja valitse laitteeksi cMT3103. Valitse System Parameter Settings ikkunan Device välilehdestä New Device/Server. Valitse Device Type kohtaan Control Techniques > SI-Ethernet MODBUS TCP/IP. Valitse IP-osoitteen kohdalta *Settings* ja laita taajuusmuuttajan IP-osoite. Nimeä laite siten että tunnistat sen, esimerkiksi T1 ja T2. IP-osoitteen ja nimen laitettuasi paina *ok*. Lisää samalla tavalla toinen taajuusmuuttaja. Asetukset näkyvät kuvassa 14.



KUVA 14. EasyBuilder ohjelman taajuusmuuttajan asetukset

Tehtävänä on rakentaa ohjelma, jolla voi ohjata moottoreita ja nähdä niiden tietoja. Aluksi näytetään muutama esimerkki objektien lisääksestä ohjelmaan, minkä jälkeen annetaan ohjeet mitä ohjelmaan tulisi lisätä.

Aloitetaan lisäämällä yksinkertainen nappi, jolla muutetaan Run (06.034) parametriä. Valitse yläreunasta *Set Bit* -painike. Tämä muuttaa yhden bitin arvoksi joko 1 tai 0. Kommenttiin voit kirjoittaa esimerkiksi T1 Run. Valitse laitteeksi taa-juusmuuttaja T1. Osoitekenttään kirjoitetaan parametrin osoite muodossa sss.mm.ppp eli Run parametrille 000.06.034. Muodot 00006034 ja 0.6.34 toimivat myös. Valitse Attributen Set Style kohtaan *toggle*, jotta nappi muuttaa bitin arvon joka painalluksella (Set ON ja Set OFF vaihtoehdot muuttavat bitin arvoksi aina 1 ja 0). Paina *ok* ja aseta nappi haluamaasi kohtaan. *Set Bit* -objektin asetukset näkyvät kuvassa 15.



KUVA 15. Set Bit -objektin asetukset

Shape välilehdestä voi valita napin muodon ja label välilehdestä saa napin päällä näytettävän tekstin. *Set Bit* -objekti näyttää aina vain 0 bitin kuvakkeen. Vaihtoehtoisesti *Set Bitin* sijasta voi käyttää *Toggle Switch* -objektia, joka muuttaa kuvakkeen bitin arvon mukaan.

Numeric objektilla voidaan antaa parametrille lukuarvo sekä nähdä parametrin nykyinen arvo. Lisätään esimerkiksi T2:n Preset selector (01.015) parametri. Lisää *Numeric* objekti. *Allow input* mahdollistaa arvon muuttamisen, jos arvoa ei haluta muuttaa, laita *Allow input* pois päältä. Read/Write kohdasta valitse taas laite (T2) ja laita parametrin osoite 0.1.15. Format välilehdestä muuta näytettävien desimaalien määräksi vasemmalle 1 ja oikealle 0. Tällöin arvoksi voi antaa luvut 0-9. Device low ja Device high kohtaan voi vielä antaa minimi ja maksimi arvot. Laitetaan minimiksi 1 ja maksimiksi 7. Paina OK.

Data Entry välilehdestä voit halutessasi vielä valita *Custom Keypadin* ja valita sille sijainnin suhteessa näyttöön tai itse objektiin. *System Keypad* avaa näytölle tavallisen näppäimistön.

Lisätään vielä *Slider* objekti, jolla voidaan muuttaa T2:n Preset Reference 1 parametria. Aseta resoluutioksi 10 ja Low/High rajoiksi 0 ja 3000. Valitse laite T2 ja laita osoitteeksi 0.1.21. Dynamic Scalesta voit muokata sliderin merkkien määrää.

Tekstiä voi lisätä ohjelmaan Text/Comment -objektilla.

Ohjelma ladataan näyttöpaneeliin valitsemalla yläreunasta Project välilehdestä *Download (PC -> HMI)*. Ohjelma kysyy ensin tallennus sijainnin tietokoneelta. Sen jälkeen avautuvasta ikkunasta voit valita *HMI Name* kohdasta paneelin, jonka ohjelman pitäisi tunnistaa automaattisesti, jos IP-osoite paneelilla on oikein. Vaihtoehtoisesti voit kirjoittaa paneelin IP-osoitteen itse. Paina *Download* ja ohjelma latautuu paneelille.

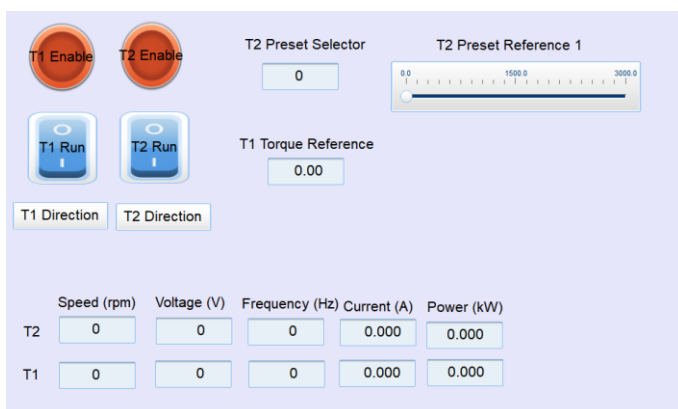
Tee ohjelma, josta nähdään:

- Kestomagneettimoottorin enkoodin antama nopeuden (Speed feedback)
- Oikosulkumoottorin nopeuden
- Moottoreiden ottamat virrat
- Taajuusmuuttajan syöttämät jännitteet, tehot ja taajuudet (menu 5)

Lisäksi ohjelmalla pitäisi voida muuttaa:

- Drive Enable
- Run ja Forward/Reverse
- Kestomagneettimoottorin Preset valinta
- Preset Reference 1
- Oikosulkumoottorin Torque Reference

Kuvassa 16 nähdään esimerkki ohjelma.



KUVA 16. Näyttöpaneelin ohjelman esimerkki

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää moottoripöytä valmiiksi opetuskäyttöön. Lopputuloksena moottoripöytä vastaa odotuksia paria huomiota lukuun ottamatta. Jarruvastuksen lisäys moottoripöytään tapahtui myöhäisessä vaiheessa, minkä seurauksena kunnollisia kytkentöjä sille ei kerennyt tekemään. Lisäksi hammashihnan suojaaminen vahinkokoketuksilta jäi tekemättä. Näiden korjaaminen ei pitäisi olla iso työ, mutta se täytyy tehdä ennen moottoripöydän käyttöönottoa opetuksessa.

Opinnäytetyön teosta isoin osa oli pöydässä käytettyjen Unidrive taajuusmuuttajien toiminnan ja ohjauksen selvittämistä. Harjoitustehtävien kehityksen tavoitteeksi muodoutui yleisen kuvan antaminen taajuusmuuttajien parametroidista sekä ulkoisten ohjauslaitteiden käytöstä taajuusmuuttajien kanssa. Kyseisissä taajuusmuuttajissa on paljon eri ominaisuuksia ja säätömahdollisuuksia, joista harjoitustehtävissä käytiin läpi vain osa.

Jatkossa tehtäviä voi kehittää lisäämällä muita taajuusmuuttajan parametrejä ja säätömahdollisuuksia. Esimerkiksi moottoreiden kiihdytyksen ja hidastuksen säädön lisäämistä tehtäviin ja taajuusmuuttajassa olevan ohjelmoitavan logiikan hyödyntämistä voi pohtia. Lisäksi moottoripöytää voisi hyödyntää enemmän moottoreiden toimintaperiaatteen ja ominaisuuksien havainnollistamisessa, mihin ei näissä harjoitustehtävissä keskitytty.

LÄHTEET

ABB Oy. n.d. Pehmokäynnistinopas. Luettu 10.6.2021. https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf

Danfoss. n.d. Mikä on taajuusmuuttaja?. Luettu 25.5.2021. <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>

Eronen, T. & Joensuu, T. 2013. Taajuusmuuttajan ohjauksen suunnittelu. Sähkötekniikka. Metropolia ammattikorkeakoulu. Insinööriyö.

Gurocak, H. 2015. Industrial Motion Control. Motor Selection, Drives, Controller Tuning, Applications. 1. painos. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

Hughes, A. & Drury, B. 2013. Electric Motors and Drives. Fundamentals, Types and Applications. 4. painos. Amsterdam: Elsevier.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. 1. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Kim, S. 2017. Electric Motor Control. DC, AC, And BLDC Motors. 1. painos. Amsterdam: Elsevier.

Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. n.d.a Koneiturvallisuuden standardien suhde lainsäädäntöön. Luettu 2.6.2021. <https://metsta.fi/koneiturvallisuuden-standardit-metsta/standardisointi/koneiturvallisuuden-standardien-suhde-lainsaadantoon/>

Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. n.d.b Koneiturvallisuusstandardien hierarkia. Luettu 2.6.2021. <https://metsta.fi/koneiturvallisuuden-standardit-metsta/standardisointi/standardien-hierarkia/>

Nidec. 2017. Control User Guide. Unidrive M700, Unidrive M701, Unidrive M702. Luettu 10.6.2021. <https://www.nidec-netherlands.nl/media/2089-frequentieregeelaars-unidrive-m700-m702-control-user-guide-en-iss2-0478-0353-02.pdf>

SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneiturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 2.6.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-ISO/TR 14121-2. 2013. Koneiturvallisuus, Riskinarviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 2.6.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

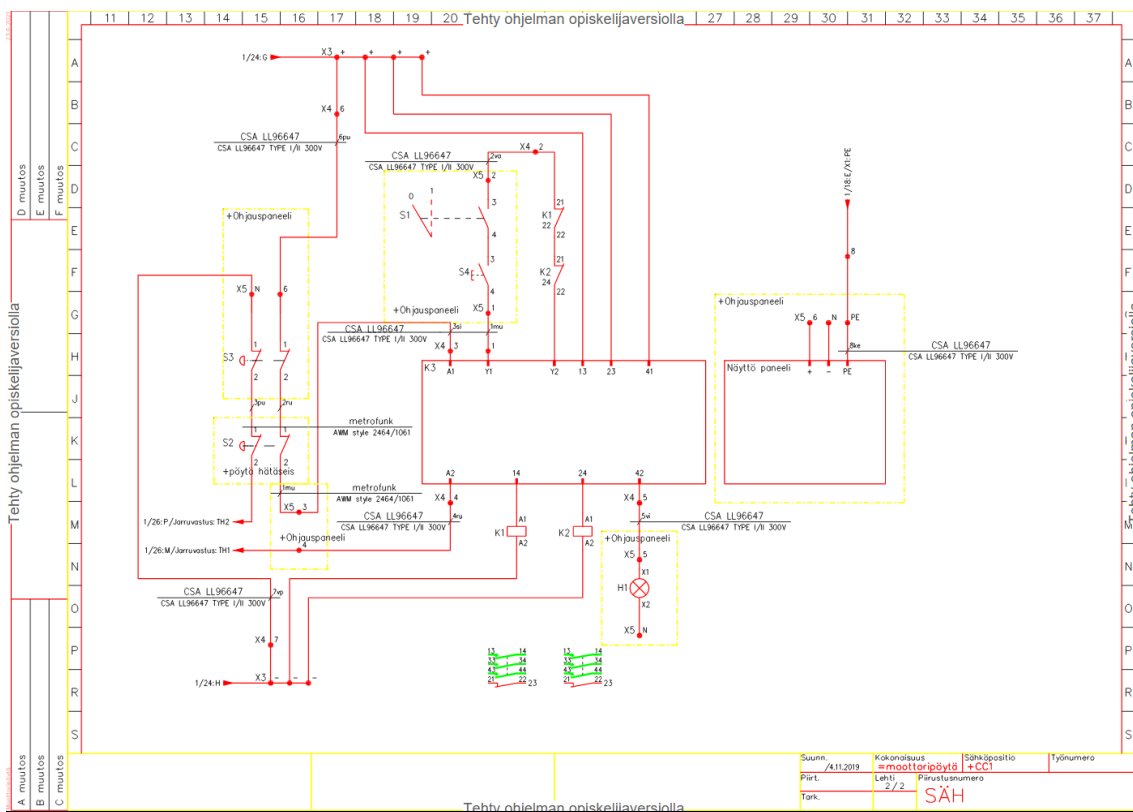
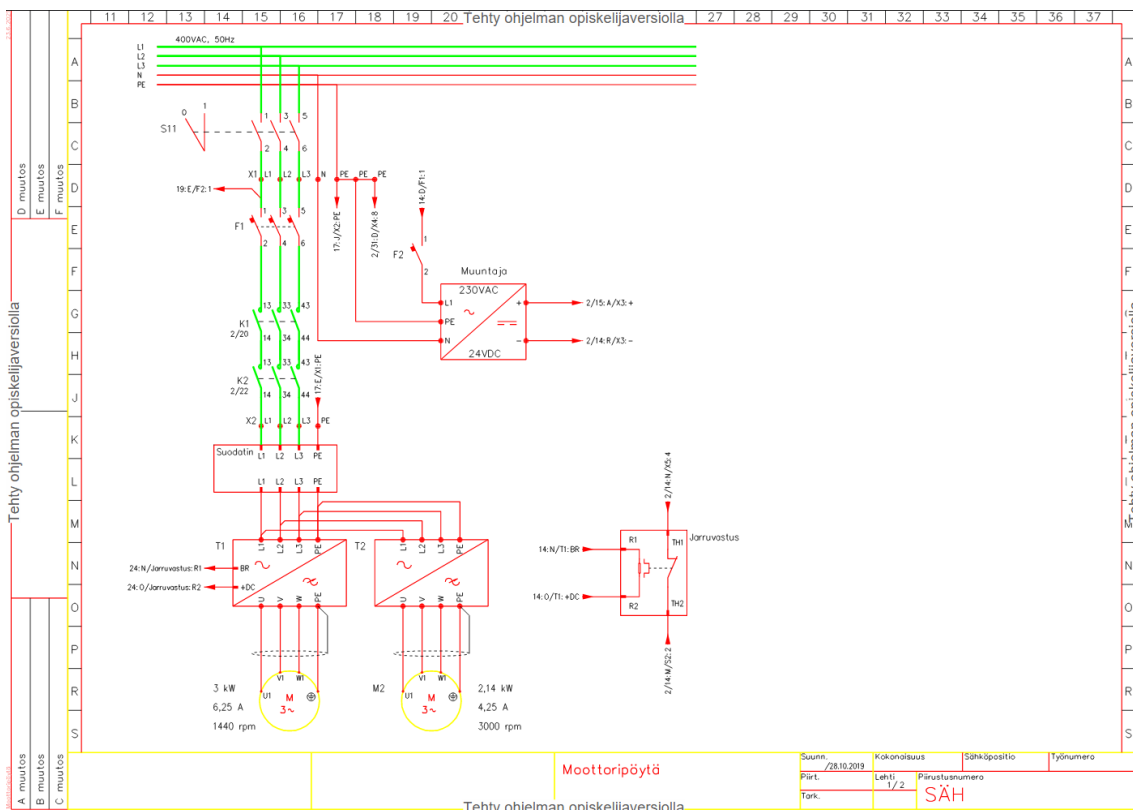
Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. n.d. Koneita koskevat vaatimukset. Luettu 2.2.2021. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#07a0c145>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400.

Zener Oy. 2016. Jarruvastus. Luettu 20.6.2021. <https://www.zener.fi/taajuusmuuttajat/jarruvastus/>

LIITTEET

Liite 1. Kytkentäkaavio



Liite 2. Riskianalyysi ja riskin merkityksen arviointi

Vaaran tunnistaminen							
Kone		Moottoripöytä			Analyysin tekijä		Teemu Piironen
Laajuus		käyttötoiminta, kunnossapito ja vianetsintä/ongelman selvitys			Päivämäärä		20.6.2021
Menetelmä		Tarkistuslista: ISO 12100:2010, liite B					
Viite nro	Elinkaari	Tehtävä	Vaaravyöhyke	Vaara	Vaaratilanne	Vaarallinen tapahtuma	Viite Nro
1	Käyttötoiminta	Toiminnan valvominen	Moottorit	Liikkuvien osien aiheuttama hankautuminen, takertuminen tai puristuminen	Työskentely lähellä liikkuvia osia	Koskettaminen liikkuviin osiin	1
2			Koneen läheisyys	Vian seurauksena jännitteiksi tulleet osat	Työskentely koneella	Epäsuorakosketus	2
3	Kunnossapito	Kuluneiden osien vaihtaminen	Moottorit	Liikkuvien osien aiheuttama hankautuminen, takertuminen tai puristuminen	Työskentely lähellä liikkuvia osia	Koskettaminen liikkuviin osiin	3
4			Koneen läheisyys	Jännitteiset osat	Työskentely koneella	Suorakosketus	4
5	Vianetsintä/Ongelman selvitys	Vianetsiminen, korjaaminen tai koneen osien, komponenttien ja laitteiden vaihtaminen	Moottorit	Liikkuvien osien aiheuttama hankautuminen, takertuminen tai puristuminen	Työskentely lähellä liikkuvia osia	Koskettaminen liikkuviin osiin	5
6			Koneen läheisyys	Jännitteiset osat	Vianetsintä jännitteisenä	Suora tai epäsuorakosketus	6

Riskin suuruuden arviointi, riskin merkityksen arviointi ja riskin pienentäminen													
Kone		Moottoripöytä				Analyysin tekijä				Teemu Piironen			
Laajuus		Käyttötoiminta, huolto ja vianetsintä/ongelman selvitys				Päivämäärä				20.6.2021			
Menetelmä		Riskigraafi											
Viite nro	Riskin suuruuden arviointi (alkuperäinen riski)					Riskin pienentäminen					Tarvitaanko lisää riskin pienentämistä	Viite nro	
	S	F	O	A	R	S	F	O	A	R			
1	2	2	2	2	5	Moottorin akselien ja hammashihnan suojaaminen vahinkokosketuksen estämiseksi	2	1	1	2	2	Ei	1
2	2	1	1	2	2	Jännitteelle alttiiden johtavien osien suojamaadoitus ja vikavirtasuojaus	1	1	1	2	1	Ei	2
3	2	1	2	2	3	Ohjeistus taajuusmuuttajan suojausominaisuuden käytöstä tai huoltotoimenpiteen tekeminen koneen ollessa kiinni	2	1	1	1	2	Ei	3
4	2	1	2	2	3	Ohjeistus laitteen tekemisestä jännitteettömäksi, mikäli huoltotoimenpide vaatii jännitteisten osien koskettamisen	1	1	1	1	1	Ei	4
5	2	1	1	2	2	Moottorin akselien ja hammashihnan suojaaminen, ohjeistus vianetsinnästä vain opettajan tai osaavan henkilön valvonnassa	2	1	1	1	2	Ei	5
6	2	1	2	2	3	Ohjeistus ongelman selvittämisestä vain osaavan henkilön toimesta	1	1	1	1	1	Ei	6