

Joni Stigell

Sähkömoottoreiden testipöytä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

19.5.2016

Tekijä(t) Otsikko	Joni Stigell Sähkömoottoreiden testipöytä
Sivumäärä Aika	43 sivua + 6 liitettä 19.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Matti Sundgren Automaatioinsinööri Marko Räsänen
<p>Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ja rakentaa sähkömoottoreiden testipöytä Witron On Site Servicen käyttöön. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi testipöydän koko valmistusprojekti. Testipöydän lisäksi opinnäytetyössä käydään läpi epätahtimoottoreiden ja servo-moottoreiden teoriaa. Lisäksi työssä tutustutaan myös sähkömoottoreiden käynnistystapoihin ja niiden ominaisuuksiin.</p> <p>Opinnäytetyö aloitettiin testipöydän sähkösuunnitelmien valmistamisella. Sähkösuunnitelmat työhön tehtiin Cads planner - ohjelmalla. Suunnittelussa oli tärkeintä se, että laitteesta saadaan yksinkertainen ja turvallinen käyttää. Sähkösuunnitelmien lisäksi työ piti sisällään sähkökeskukseen tulevien komponenttien tilaamisen ja laitteen rakentamisen.</p> <p>Laitteiston rakentaminen sisälsi sekä mekaanisen että sähköisen rakentamisen. Mekaaniseen osuuteen kuului sähkökeskuksen painonappien sekä muiden komponenttien paikalleen laitto. Sähköiseen rakentamiseen puolestaan kuului sähkökeskuksen johdottaminen sekä laitteiston parametrisointi.</p> <p>Työn tavoitteena oli valmistaa toimiva testipöytä, jolla voidaan kokeilla erilaisia sähkömoottoreita ja niiden toimintaa. Moottorien toimivuuden kokeilulle on tarvetta, koska yritys suorittaa pieniä huolto- ja korjaustoimenpiteitä sähkömoottoreille muun toimintansa ohella. Tämän vuoksi on tärkeää, että moottorin toimivuus päästään kokeilemaan ennen kuin se viedään takaisin käyttöpaikallensa. Opinnäytetyön lopputuloksena on sähkömoottoreiden testipöytä ja sähköpiirustukset kyseiseen laitteeseen.</p>	
Avainsanat	testipöytä, sähkömoottori, sähkösuunnitelma, sähkökeskus

Author(s) Title	Joni Stigell Test table for electrical motors
Number of Pages Date	43 pages + 6 appendices 19 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Matti Sundgren, Senior Lectures Marko Räsänen, Automation Engineer
<p>The purpose of this thesis was to design and build a test table for electrical motors. The test table will be used by Witron On Site Services. This thesis goes through the whole manufacturing project of the test table. In addition of the test table, this thesis also goes through the theory of asynchronous motors and servo motors. Also the work will introduce the starting of electrical motors and the features of them.</p> <p>Thesis was started by the designing of the electrical pictures. Electrical pictures were made with Cads planner program. The most important thing in the electrical design was that the machine will be safe and easy to use. In addition of the electrical plans, the work included the ordering of the components and the construction of the device.</p> <p>The construction of the device included the mechanical construction and the electrical construction. Placing all the push buttons and other component to the electrical center belonged in the mechanical part. In turn, the electrical construction included all the wiring and also the parameterization of the electrical center.</p> <p>The target of the work was to produce a working test table, which can be used for testing different kind of electrical motors. There is need for the testing of the motors, because the company performs small maintenance and repair actions for the electrical motors among the other activities. Therefore it is important that the engine performance can be tested, before it is taken back to the place where it is used. The result of the thesis is a test table for electrical motors and electrical plans for the machine.</p>	
Keywords	test table, electrical motor, electrical plan, electrical center

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Inex Partners Oy ja Witron	2
2.1	Inex Partners Oy	2
2.2	Witron ja Wioss	3
3	Sähkömoottorit	3
3.1	Sähkömoottorin tärkeimmät osat	4
3.2	Sähkömoottorityypit	5
3.2.1	Epätahtimoottorit	6
3.2.2	Tahtikoneet	9
3.2.3	Servomoottorit	9
3.3	Käynnistystavat ja kytkennät	10
3.3.1	Tähtikolmiokäynnistin	13
3.3.2	Pehmokäynnistin	15
3.3.3	Taajuusmuuttajalla käynnistäminen	16
3.3.4	Käynnistysmuotojen kannattavuus	17
3.3.5	Tähti- ja kolmiokytkentä	18
4	Testipöydän suunnittelu	19
4.1	Testattavat moottorit	19
4.2	Standardit	20
4.3	Suunnittelu	21
4.3.1	Päävirtapiiri	21
4.3.2	Ohjausvirtapiiri	22
4.3.3	Taajuusmuuttaja 1 (Lenze 9300 servo inverter)	22
4.3.4	Taajuusmuuttaja 2 (Lenze 8400 inverter)	24
4.3.5	Taajuusmuuttaja 3	25
5	Testipöydän rakentaminen	26
5.1	Testipöydän valmistus	26
5.2	Testipöydän rakentaminen	28
5.3	Keskuksen johdotus	29
5.3.1	Päävirtapiirin johdotus	29

5.3.2	Ohjausvirtapiirin johdotus	30
5.4	Testipöydän toiminta	32
5.4.1	Testipöydän käyttö	33
5.4.2	Moottoreiden kiinnitys	35
5.5	Laitteiston parametointi	36
5.5.1	Parametrit	36
5.5.2	Parametrien kokeilu	38
6	Arviointia	39
7	Yhteenveto	40
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Testipöydän sähkökuvat osa 1	
	Liite 2. Testipöydän sähkökuvat osa 2	
	Liite 3. Testipöydän sähkökuvat osa 3	
	Liite 4. Testipöydän sähkökuvat osa 4	
	Liite 5. Testipöydän sähkökuvat osa 5	
	Liite 6. Testipöydän sähkökuvat osa 6	

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Witron On Site Servicelle (Wioss). Työn tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa sähkömoottoreiden testipöytä Wiossin käyttöön Sipooseen Inex Partnersin Oy:n logistiikkakeskukseen.

Sähkömoottoreita on ollut käytössä jo yli sadan vuoden ajan. Ensimmäiset sähkömoottorit kehiteltiin jo 1800-luvulla, ja niiden käyttö on lisääntynyt runsaasti niiltä ajoilta. (2, s. 3.) Nykyisin sähkömoottoreita on käytössä laajalti kaikkialla. Teollisuudessa sähkömoottoreita esiintyy paljon, mutta myös esimerkiksi liikennekäytössä, pumpuissa ja puhaltimissa sähkömoottoreita käytetään runsaasti.

Tässä työssä perehdytään epätahtimoottoreihin sekä niiden käynnistysvaihtoehtoihin. Työssä käydään läpi epätahtimoottorin rakennetta ja tarkastellaan erikäynnistysvaihtoehtojen ominaisuuksia esimerkiksi virrankäytön suhteen sekä myös sitä, minkälaisissa tilanteissa kannattaa mitäkin käynnistystapaa käyttää. Työssä käydään myös läpi servomoottoreiden toiminta ja perehdytään lyhyesti tahtimoottoreihin.

Opinnäytetyössä käydään läpi myös sähkömoottoreiden testipöydän koko tekovaihe. Työ käydään läpi siinä järjestyksessä, missä se myös oikeasti tehtiin. Se alkoi suunnittelulla, jossa pyrittiin tekemään kaikki laitteistoon tulevat sähkökuvat. Sähkösuunnittelun jälkeen oli vuorossa komponenttien tilaaminen ja viimeisenä itse laitteen rakentaminen. Lisäksi laitteisto oli myös parametrisoitava, ja sen toiminta oli testattava. Lopputuloksena opinnäytetyössä oli sähkömoottoreiden testipöytä sekä siihen kuuluvat sähköpiirustukset ja käyttöohjeet.

2 Inex Partners Oy ja Witron

Tämä opinnäytetyö on tehty Witron On Site Servicelle (Wioss), joka on saksalaisen perheyriksen Witronin tytäryhtiö. Witron toimittaa täysautomatoituja logistiikkakeskuksia yhtiöille ympäri maailman. Wioss puolestaan vastaa logistiikkakeskusten automaatiolaitteistojen toiminnasta ja huollosta. Yksi Suomessa olevista Witronin toimittamista logistiikkakeskuksista sijaitsee Sipoossa. Tämä logistiikkakeskus kuuluu Inex Partners Oy:lle.

2.1 Inex Partners Oy

Inex Partners Oy on Suomen osuuskauppojen keskuskunnan eli SOK:n tytäryhtiö. Yrityksen tehtävänä on suorittaa varastointi-, kuljetus- ja muut logistiikkapalvelut S-ryhmän päivittäis- ja käyttötavaraketjuille. Inexin päätoimipaikat ovat Espoon Kilossa ja Sipoon Bastukärrissä. (9.) Inex on kuitenkin siirtämässä toimintaansa suurilta osin Bastukärriin, koska sinne ollaan rakentamassa yksi maailman suurimmista täysautomaatiologistiikkakeskuksista (13). Tästä syystä myös Espoon toimipiste tullaan lakkauttamaan (16). Inexillä työskentelee keskimäärin noin 2200 henkilöä ja sillä on varasto- ja terminaalitiloja noin 300 000 m² (9).

Tällä hetkellä Inexin päivittäistavaralogistiikkakeskus sijaitsee Espoossa ja käyttötavaralogistiikkakeskus Sipoossa (9). Sipoon logistiikkakeskus on otettu käyttöön vuonna 2012 ja on varustettu modernilla automaatiotekniikalla (13). Tavarat logistiikkakeskuksessa kulkevat kuljetinlinjoja ja automaattihissejä pitkin, joita pyörittävät sähkömoottorit ja niitä ohjataan automaatiokoodilla. Kuvassa 1 voidaan nähdä Inexin logistiikkakeskus Sipoossa.



Kuva 1. Ilmakuva Inex Partners Oy:n logistiikkakeskuksesta Sipoossa (9)

Sipooseen rakennettavaan uuteen logistiikkakeskukseen tullaan siirtämään Espoon varaston päivittäistavarat (14). Uusi logistiikkakeskus on kooltaan mittava. Tuotantotiloja siellä on melkein 140 000 m² (14). Vertailun vuoksi esimerkiksi kauppakeskus Jumbo on liiketilapinta-alaltaan ”vain” 85 000 m² (12). Uusi logistiikkakeskus tulee myös olemaan täysautomatisoitu. Ensimmäisen osan logistiikkakeskuksesta on tarkoitus olla valmis kesäkuun 2016 alussa. Automatisoidut laitteet logistiikkakeskukseen toimittaa ja käyttöönottaa Witron.(13.)

2.2 Witron ja Wioss

Witron on perustettu vuonna 1971 ja sen omistaa Walter Winkler. Yrityksen päätoimipiste sijaitsee Saksan Parkensteinissa. Vuonna 2014 yritys työllisti yli 2300 henkilöä maailmanlaajuisesti ja liikevaihto sillä oli noin 350 miljoonaa euroa. Witron kasvaa tällä hetkellä kovaa vauhtia ja sillä alkaa uusia projekteja jatkuvasti. (10.)

Wioss eli Witron On Site Services vastaa täysautomatisoitujen logistiikkakeskuksien käynnissäpidosta sekä kunnossapidosta. Wiossin tehtäviin kuuluu esimerkiksi täysautomatisoitujen laitteiden huoltaminen, käyttäminen ja jatkuva kehittäminen. Lisäksi Wioss tukee asiakkaitaan esimerkiksi IT-järjestelmien käytössä. Wiossin tavoitteena on saada ja pitää täysautomatisoidut logistiikkakeskukset mahdollisimman hyvin toimivina. (15.)

3 Sähkömoottorit

Sähkömoottoreilla muutetaan sähköinen energia mekaaniseksi energiaksi. Sähkömoottorin käänteinen laite on generaattori, joka muuttaa mekaanisen energian sähköiseksi energiaksi. (1.)

Sähkömoottoreiden toiminta perustuu siihen, että sähkömoottoriin luodaan magneettikenttä sähköä avulla ja magneettikentän avulla puolestaan saadaan sähkömoottoriin aikaiseksi pyörivä liike. Moottorin magneettisuus saadaan aikaan siten, että moottorin sisällä olevassa sähköjohdossa kulkee virta, joka aiheuttaa magnetisoitumisen. Heikkoa magneettisuutta voidaan tehostaa siten, että kierretään johdinta useita kierroksia

rullalle ja tästä rullasta muodostuu siten kela. Tällöin samalla kelan sisällä on rautasydän, joka magnetisoituu. (1.)

3.1 Sähkömoottorin tärkeimmät osat

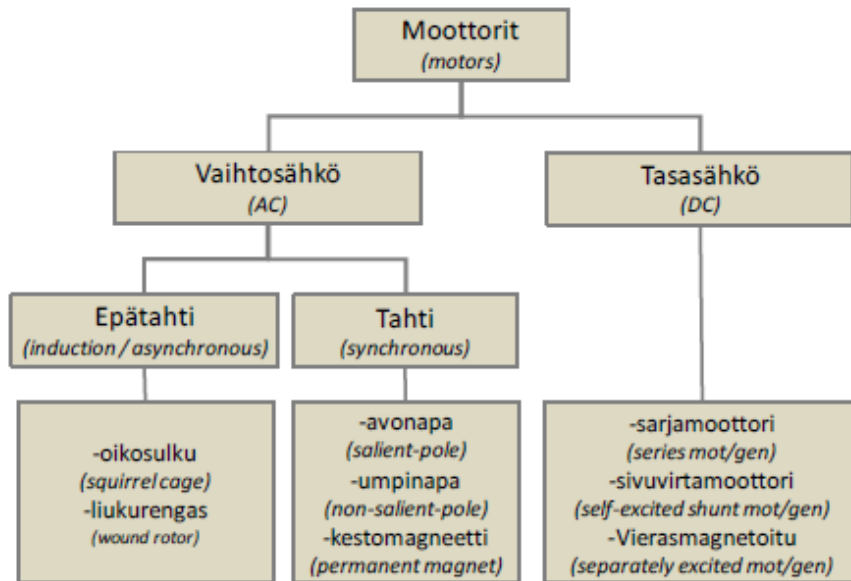
Toimiakseen sähkömoottorissa on oltava kaikki osat paikoillaan. Seuraavassa on lista pyörivän sähkömoottorin tärkeimmistä osista.

- Staattorirunko
 - Moottorin runko, joka yleensä valmistetaan valuraudasta (7, s. 6).
- Staattori
 - Staattori on yleensä sähkömoottorin paikallaan pysyvä osa. Staattori koostuu usein ohuista päällekkäin ladotuista rautalevyistä, jotka muodostavat moottorin sydämen, sekä kuparikäämeistä. (7, s. 6.)
- Roottori
 - Roottori on sähkömoottorin pyörivä osa, ja se on asetettu moottoriin laakereiden varaan staattoriaukkoon. Roottori koostuu rautasydämeistä ja käämityksestä. (7, s. 6.)
- ”Ilmaväli” staattorin ja roottorin välissä
 - Roottorin ja staattorin väliin jätetty ”ilmaväli” mahdollistaa roottorin vapaan pyörimisen (7, s. 6).
- Akseli
 - Roottorin akseli, joka on kytketty moottoriin (7, s. 6).
- Akselin laakerointi

- Laakerit voivat olla joko kuula-, rulla- tai liukulaakereita. Laakeroinnissa on otettava huomioon se, onko moottori pysty- vai vaakakäyttöinen. (7, s. 6.)
- Jäähdytys
 - Moottori voi olla ilma- tai nestejäähdytteinen. Jäähdytys voi olla suoraan akseliin kiinnitetty puhallin tai moottoriin erillisesti liitetty jäähdytysjärjestelmä. (7, s. 6.)
- Moottorin arvokilpi
 - Moottorin arvokilvessä on ilmoitettu moottorin tärkeimmät tekniset tiedot esimerkiksi tehon ja virran kesto sekä viittaukset standardeihin (7, s. 6).
- Liitäntäkotelo
 - Liitäntäkoteloon tehdään tyypillisesti moottorin kaikki liitännät (7, s. 6).

3.2 Sähkömoottorityypit

Sähkömoottorit voidaan periaatteessa jakaa kahteen ryhmään toimintaperiaatteensa mukaan eli vaihtosähkömoottoreihin ja tasasähkömoottoreihin. Vaihtosähkömoottori voi olla myös 1- tai 3-vaiheinen. Kuvassa 2 on esitetty yleisimmät moottorityypit.

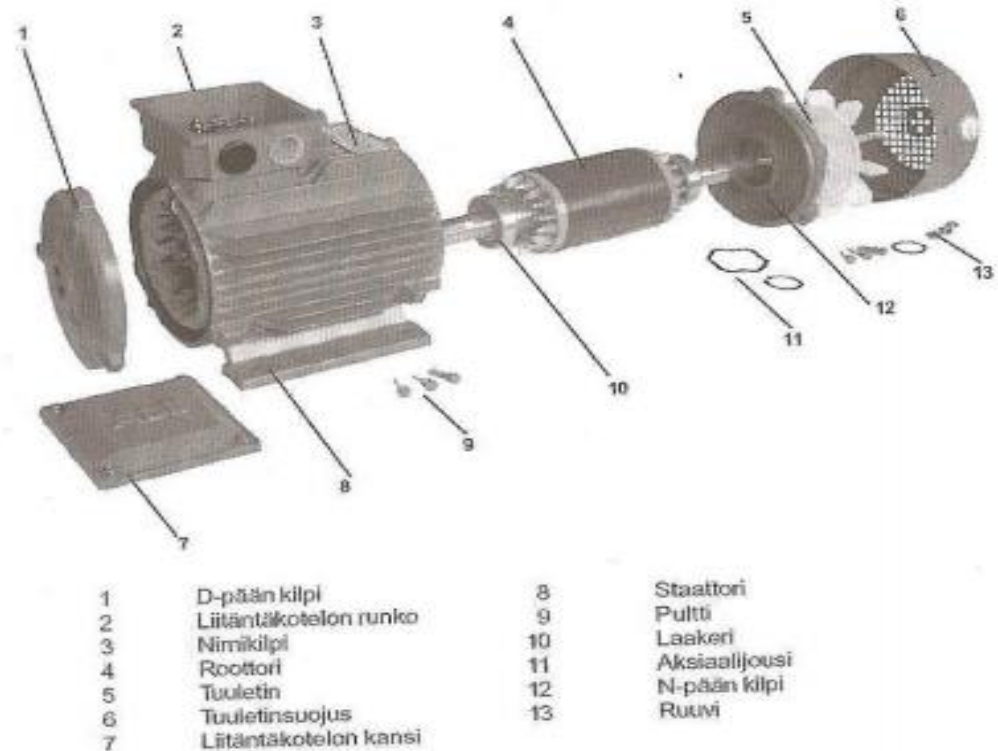


Kuva 2. Kaavio yleisimmistä moottorityypeistä (7, s. 6)

3.2.1 Epätahtimoottorit

Epätahtikone on yksinkertaisen rakenteensa ja kestäväytensä johdosta yleisin teollisuudessa käytetty sähkömoottorityyppi. Epätahtimoottoreita valmistetaan paljon eriteholuokille, ja sen yksinkertaisen rakenteensa vuoksi se on myös edullinen moottorityyppi. Epätahtimoottoreita kutsutaan myös induktiomoottoreiksi tai oikosulkumoottoreiksi. (2, s. 59.)

Epätahtimoottorit koostuvat kolmivaiheisella käämillä varustetusta staattorista ja staattorin sisäpuolella pyörivästä roottorista. Epätahtimoottoreissa sähköteho viedään tyypillisesti suoraan koneen pyörivään osaan eli roottoriin sähkömagneettisen induktion avulla. Epätahtimoottori on toiminnaltaan samantyyppinen kuin muuntaja. Sillä ei ole suoraa galvaanista yhteyttä sähköverkon ja roottorin kesken. Täten moottorissa energian siirto roottoriin tapahtuuakin magneettikentän välityksellä, mistä johtuen moottoria kutsutaan myös induktiomoottoriksi. Oikosulkumoottori nimitys tulee taas siitä, että roottorin navat ovat oikosuljettuja keskenään. (2, s. 59.) Seuraavassa kuvassa on esitetty oikosulkumoottorin räjäytyskuva ja nimetty sen keskeisimmät osat.



Kuva 3. Oikosulkumoottorin räjäytyskuva (2, s. 59)

Epätahtimoottoreilla roottori pyörii aina epätahdissa staattorikentän kanssa. Tämän vuoksi niitä kutsutaan epätahtimoottoreiksi. Jos roottori pyörisi samaa tahtia staattorikentän kanssa, roottoriin ei syntyisi ollenkaan lähdejännitettä eikä vääntömomenttia sen takia, että staattorikenttä pysyisi roottorin suhteen paikallaan. Roottorin ja staattorikentän pyörimisnopeuksien erosta muodostuu jättämä. (2, s. 60.)

Oikosulkumoottorin pyörimisnopeus voidaan laskea jättämän avulla. Jättämä tarkoittaa sitä, kuinka paljon roottorin nopeus on tahtinopeutta hitaampi prosentuaalisesti. Normaalisti jättämä on täydellä kuormalla noin 2-5 %, mutta se riippuu hyvin paljon moottorin tyypistä ja koosta. (2, s. 60.)

Oikosulkumoottorin pyörimisnopeuteen vaikuttaa kolme tekijää: staattorin käämin napojen lukumäärä, sähköverkontaajuus ja moottorin jättämä. Jos moottori on erimerkiksi nelinapainen, on moottorilla silloin kaksi napaparia. Oikosulkumoottorin nopeus voidaan laskea seuraavilla kaavoilla. (2, s. 61.)

Oikosulkumoottorin magneettikentän pyörimisnopeus voidaan laskea kaavalla:

$$n_s = \frac{60 * f}{p}$$

- n_s = magneettikentän pyörimisnopeus
- 60 = kerrannainen, jotta vastaus saadaan kierroksina minuutissa
- p = moottorin napaluku

Oikosulkumoottorin suhteellinen jättämä voidaan puolestaan laskea kaavalla:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} * 100\%$$

- s = suhteellinen jättämä
- n_s = magneettikentän pyörimisnopeus
- n_r = roottorin pyörimisnopeus

Oikosulkumoottorin todellinen pyörimisnopeus eli roottorin pyörimisnopeus voidaan laskea kaavalla:

$$n_r = n_s * (1 - s)$$

- s = suhteellinen jättämä
- n_s = magneettikentän pyörimisnopeus
- n_r = roottorin pyörimisnopeus

3.2.2 Tahtikoneet

Tahtikoneita käytetään pääasiassa generaattoreina. Niitä käytetään myös moottoreina, mutta yleensä vain suuria yli 1 MW:n tehoja tarvittaessa. Tahtikoneita on pääasiassa kahta tyyppiä roottorin rakenteeseen perustuen. Nämä tyypit ovat umpinapakoneita ja avonapakoneita. (2, s. 87.)

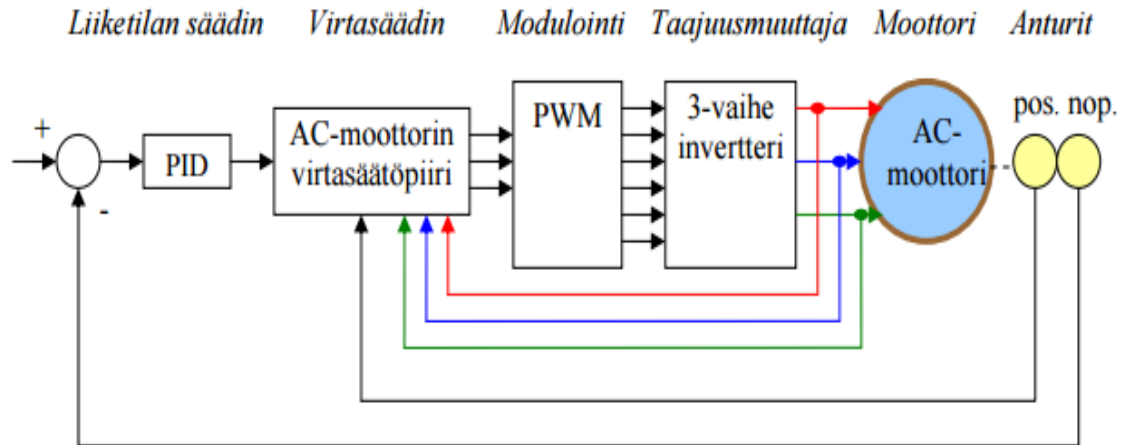
Tahtikoneen rakenne on suurin piirtein samanlainen kuin epätahtikoneiden. Se koostuu kolmivaiheisella käämillä varustetutusta staattorista ja staattorin sisäpuolella pyörivästä roottorista. Tahtikoneiden staattori on samanlainen kuin epätahtimoottoreissa, mutta roottori on epätahtimoottorin häkkikämmityksen sijasta ulkoisella tasasähkölähteellä magnetoitu naparakenne. (2, s. 87.)

3.2.3 Servomoottorit

Servomoottoreita on sekä AC- että DC-mallisina. AC-puolen servomoottori voi olla joko tahti- tai epätahtimoottori. Tahtimoottoreissa magneettikenttä synnytetään roottorille kestopagneettien avulla. Epätahtimoottoreissa puolestaan roottorin jättämän aiheuttama magneettivuo saa aikaan magneettikentän ja virran roottorin oikosuljettuihin tankoihin. (3, s. 6 – 7.)

Vaihtovirta servomoottori koostuu yleensä 3-vaihemoottorista, taajuusmuuttajasta, takaisinkytkentäanturista ja säätöyksiköstä. Moottori on rakenteeltaan samantyyppinen kuin oikosulkumoottorikin. Moottoreissa on kuitenkin joitain rakenteellisia eroja, jotka johtuvat yleensä servomoottorin käyttöominaisuuksista. Servomoottorit on suunniteltu siten, että ne toimivat ilman ylikuumentumista korkeillakin nopeuksilla ja pystyvät ylläpitämään riittävän suurta momenttia kuorman paikallaan pitämiseksi jopa nollanopeudella. Servomoottoreissa moottorin tuuletin on erillisesti sähköllä ohjattu, jonka avulla moottorin jäähdytys voidaan optimoida. (3, s. 6 – 7.)

Servomoottoreiden kytkentäkoteloon on yleensä yhdistetty takaisinkytkentäanturi, jota servokäyttö vaatii. Takaisinkytkentäanturi voi olla esimerkiksi resolveri, pulssianturi ja takometri. Moottorin akselin asema ja nopeus saadaan anturitiedon perusteella. (3, s. 6 – 7.) Kuvassa 4 on esitetty servomoottorin lohkokaavio.

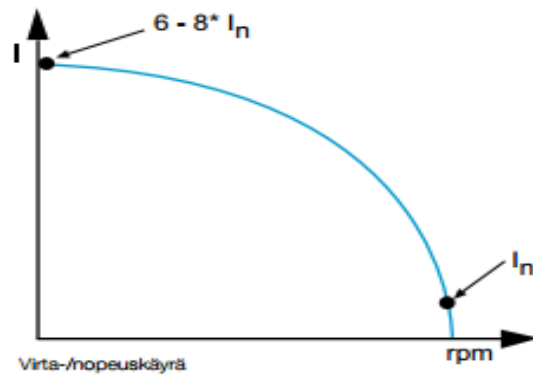


Kuva 4. Vaihtovirta servomoottorin lohkokkaavio (3, s. 7)

3.3 Käynnistystavat ja kytkennät

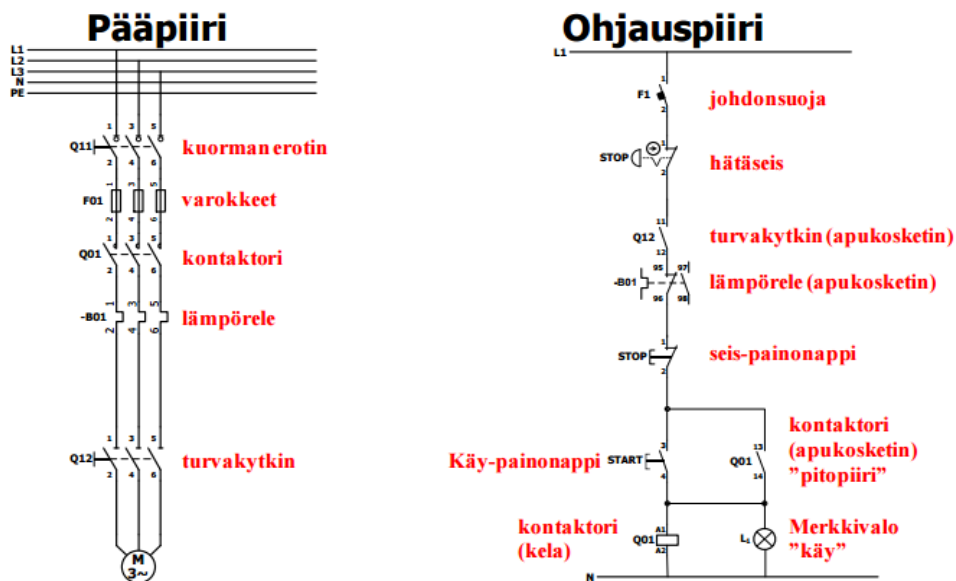
Epätahtimoottoreiden käynnistysvirta kohoaa suoralla sähkökäynnistyksellä normaalisti 5-10-kertaiseksi nimellisvirtaan verrattuna. Tämän takia moottoreille on olemassa erilaisia käynnistystapoja. Käynnistystapoina on suoran sähkökäynnistyksen lisäksi esimerkiksi tähti-kolmiokäynnistys, pehmokäynnistys ja taajuusmuuttajalla käynnistäminen. (5, s. 11–12.)

Korkean käynnistysvirran vuoksi suoraa sähkökäynnistystä ei suositella käytettäväksi varsinkaan isoilla moottoreilla, jotta välttyttäisiin häiriöiltä sähköverkoissa. Suoran sähkökäynnistyksen heikkona puolena on myös se, että käynnistyessään moottorin käynnistysmomentti nousee suureksi, joka rasittaa esimerkiksi vetohihnoja. (5, s. 11 – 12.) Kuvassa 5 on esitetty kaavio virran kulutuksessa suoralla sähkökäynnistyksellä, kun käytössä on oikosulkumoottori.



Kuva 5. Virran kulutus moottorin pyörimisnopeuteen verrattuna (4, s. 8)

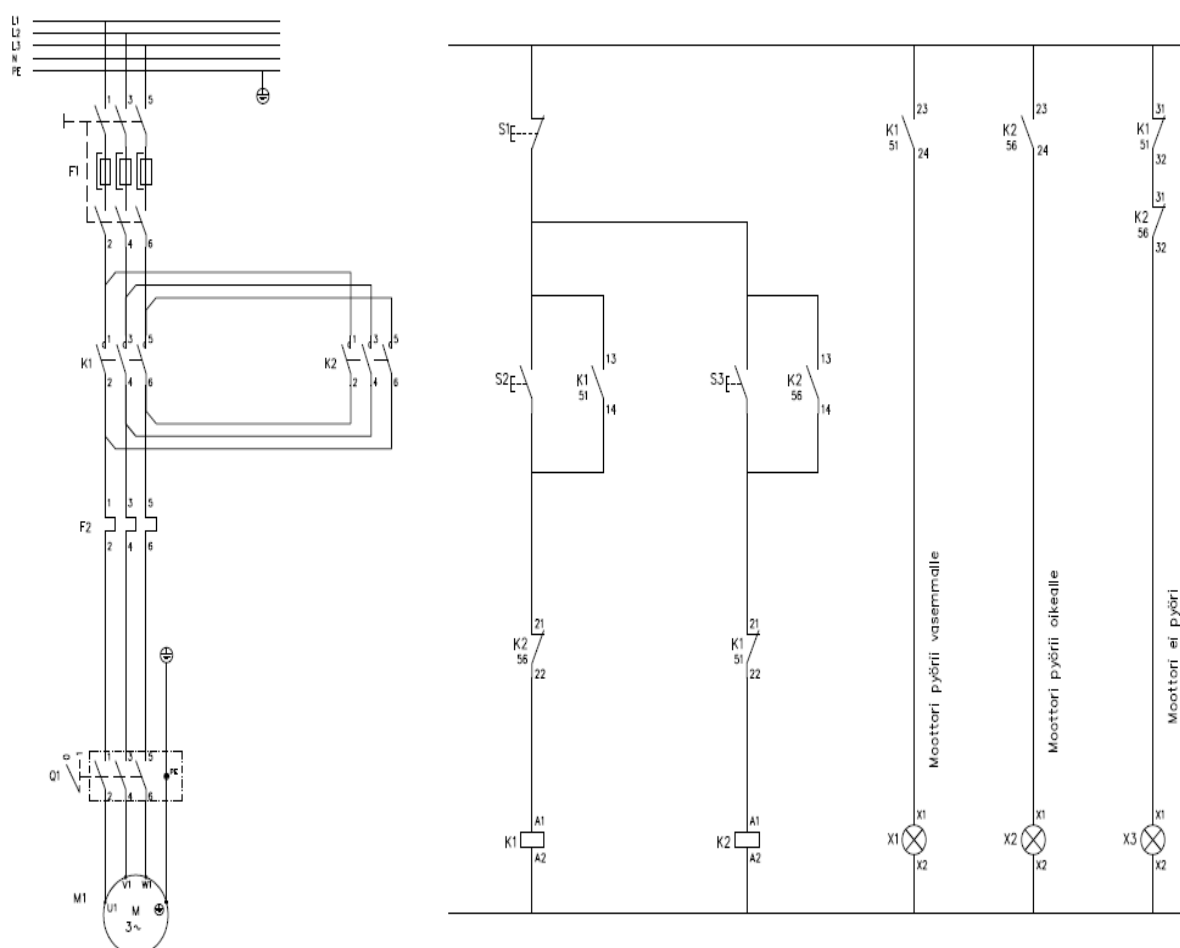
Kuvasta 5 voidaan nähdä, että moottorin käynnistyshetkellä moottorin ottama virta nousee monikertaiseksi sen nimellisvirtaan verrattuna. Moottorin pyörimisnopeuden kasvaessa lähtee moottorin ottama virta laskemaan kohti nimellisvirtaa. Moottorin nimellisvirralla tarkoitetaan virtaa, joka on merkitty moottorin arvokilpeen. Nimellisvirta on moottorin käyttämä virta, kun moottori pyörii täydellä kuormalla ja nopeudella. Mikäli moottoria ylikuormitetaan käyttää moottori myös enemmän virtaa, kuin mitä sen nimellisvirta on. Jos moottori on taas kuormittamaton, moottori käyttää virtaa vähemmän, kuin mitä sen nimellisvirta on. (4, s. 14.) Kuvassa 6 on esitetty sähkömoottorin suora-käynnistystyksen piirikaavio.



Kuva 6. Sähkömoottorin suora-käynnistystyksen päävirtapiiri ja ohjauspiiri (7, s. 26)

Kuvassa 6 on esitetty suoransähkökäynnistyksen päävirtapiiri ja ohjausvirtapiiri. Start -painonappia painamalla kontaktori Q01 vetää, jolloin kontaktorin apukosketin menee kiinni ja muodostaa pitopiirin. Moottori alkaa pyöriä ja myös merkkivalo syttyy. Jotta moottori alkaa pyöriä, tarvitsee päävirtapuolelta kääntää myös turvakytkin ja kuormanerotin päälle. Seis-painonappia painamalla moottori pysähtyy. Kuvaan on myös piirretty moottorin lämpörele B01, pääsulakkeet F01, johdonsuojakatkaisija F1 ja hätäseispainike.

Jos käytössä on 3-vaiheinen oikosulkumoottori ja moottorin ohjaamiseen ei ole käytetty taajuusmuuttajaa, moottorin pyörimissuuntaa voidaan kääntää vaihtamalla mitkä tahansa kaksi vaihetta (L1-L3) keskenään. Tällä vaihdoksella moottori alkaa pyörimään toiseen suuntaan. Tämä suunnanvaihtokytkentä on helposti toteutettavissa normaalilla kontaktoriohjauksella. Kuvassa 7 on esitetty sähkömoottorin suunnanvaihtokytkentä.

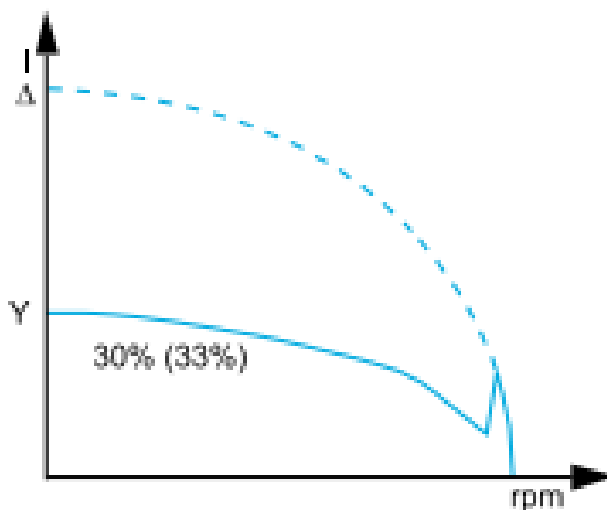


Kuva 7. Sähkömoottorin suunnanvaihtokytkentä

Kytöntä S2 painamalla kontaktori K1 vetää, jolloin kontaktorin K1 kaikki sulkeutuvat apukoskettimet menevät kiinni ja avautuva aukeaa. Tällöin kontaktori luo itselleen pito-piirin, estää kontaktoria K2 toimimasta, sytyttää merkkivalon X1 ja moottori alkaa pyöriä vasemmalle. Kytöntä S1 painamalla moottori pysähtyy ja virta katkeaa kontaktorilta K1. Tällöin kytöntä S3 painamalla kontaktori K2 vetää, jolloin kontaktorin K2 kaikki sulkeutuvat apukoskettimet menevät kiinni ja avautuva aukeaa. Tällöin kontaktori luo itselleen pito-piirin, estää kontaktoria K1 toimimasta, sytyttää merkkivalon X2 ja moottori alkaa pyöriä oikealle. Kun moottori ei pyöri kumpaankaan suuntaa, merkkilamppu X3:ssa palaa valo.

3.3.1 Tähtikolmiokäynnistin

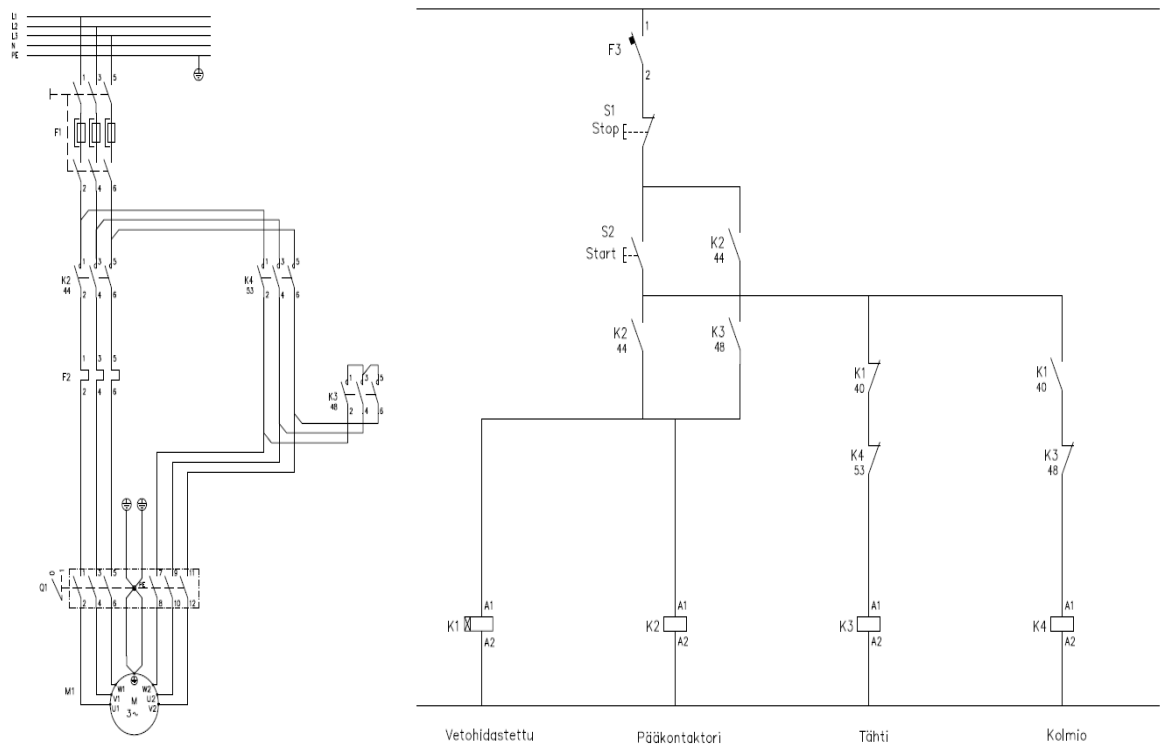
Tähtikolmio- eli Y/D-käynnistin toimii yhtenä moottorin käynnistysmuotona. Kun moottori on kytkettynä normaalisti kolmioon ja sen käynnistysvirtaa halutaan laskea, kytketään moottori käynnistysajaksi tähteen. Tällöin moottorin jännite käämityksessä laskee $1/\sqrt{3}$ nimellisjännitteeseen verrattuna, jolloin myös moottorin virta laskee samassa suhteessa. Tällöin siis moottorin virta tippuu kolmasosaan kolmiokytkennän käynnistysvirtaan nähden. Tähtikolmiokäynnistyksessä myös moottorin käynnistysmomentti putoaa samassa suhteessa kuin virta ja on vain kolmasosan nimellismomentista. (5, s. 12.) Kuvassa 8 on kaavio virrankulutuksessa tähtikolmiokäynnistyksellä.



Kuva 8. Virrankäytön vertailu tähti- ja kolmiokäynnistyksellä (4, s. 15)

Kuvasta 8 voidaan nähdä virran kulutus pyörimisnopeuden suhteen sekä tähti- että kolmiokäynnistyksellä. Kuvasta voidaan havaita se, että virta pysyy käynnistyksen ajan tähtikytkennällä huomattavasti matalampana kuin mitä se olisi kolmiokytkennällä. Pyörimisnopeuden noustessa virta alkaa lähestyä nimellisarvoaan.

Tämän käynnistysmuodon huonona puolena voidaan pitää sitä, että sen ainoa pysäytystapa on suora pysäytys, kuten suoralla sähkökäynnistykselläkin. Tähtikolmiokäynnistys on yleisesti käytössä pienissä ja keskisuurissa moottoreissa, koska se on suhteellisen edullinen ratkaisu. (4, s. 15.) Kuvassa 6 on kuvattu tähtikolmiokäynnistimen piirikaavio.



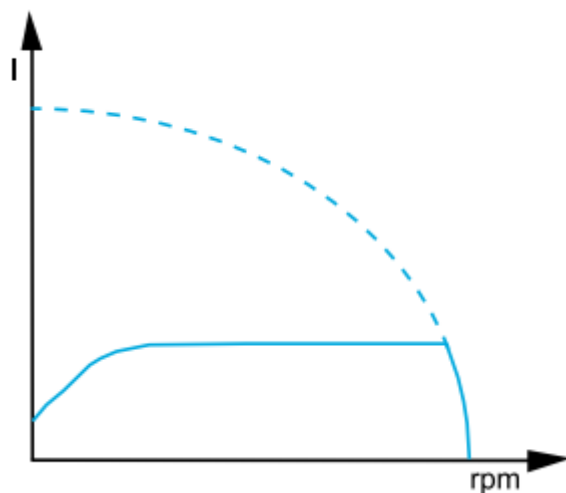
Kuva 9. Tähtikolmiokäynnistyspiirikaavio

Vasemman puoleisessa kuvassa on esitetty tähtikolmiokytkennän päävirtapiiri ja oikean puoleisessa kuvassa on kuvattu kytkennän ohjausvirtapiiri. Tähtikolmiokytkennän ohjauksen toiminta perustuu aikareleeseen K4 käyttöön. Aikareleellä saadaan määritettyä se aika, kuinka kauan moottori pyörii tähtikytkennällä. Aikareleeseen määritetyn ajan kuluessa loppuun, vaihtuu moottorin kytkentä kolmioon.

3.3.2 Pehmokäynnistin

Moottorin käynnistämässä voidaan käyttää apuna myös elektronista pehmokäynnistintä. Pehmokäynnistimissä moottorin joihinkin vaiheisiin on kytketty tyristoripari. Näitä tyristoreita ohjaamalla voidaan säätää moottorin verkosta ottamaa virtaa. (8.)

Pehmokäynnistin syöttää moottorille aluksi vain sen verran jännitettä, että vetohihnat pääsevät kiristymään. Tämän avulla käynnistyksessä ei tule erillisiä nykäyksiä. Hiljalleen jännite ja momentti alkavat kasvamaan ja laite alkaa kiihtyä. Pehmokäynnistimellä saadaan pidettyä käynnistysvirta alhaisena, jolloin myös pystytään välttämään sähköverkon jännitealenemat. Myös käynnistysmomentti pysyy alhaisempana, mikä taas vähentää laitteiston mekaanista rasitusta. Pehmokäynnistimellä voi tehdä pehmeän pysäytyksen, kuten myös taajuusmuuttajalla. Tämä säästää erityisesti laitteiston herkimpiä osia. Pehmokäynnistimien suurimmat käyttökohteet ovat pumpput. Niitä käytetään myös puhaltimissa ja kompressoreissa. (4, s. 18.) Kuvassa 10 on kaavio virrankulutuksesta pehmokäynnistimellä käynnistettäessä.



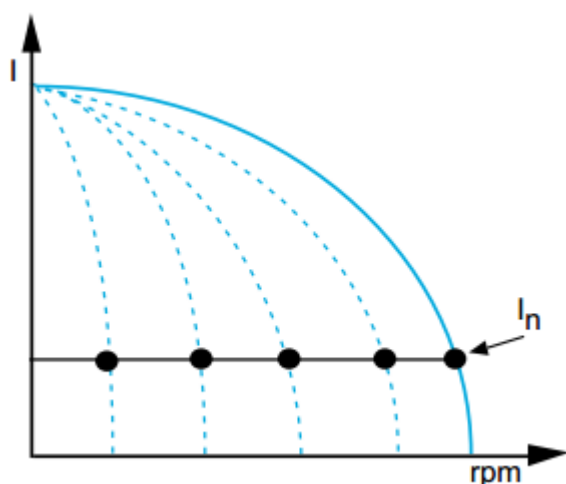
Kuva 10. Virrankulutus moottorissa pehmokäynnistimellä käynnistettäessä (4, s. 19)

Kuvasta 10 voidaan nähdä, että virta nousee vain hieman käynnistyshetkellä verrattuna siihen, mitä se olisi jos käynnistettäisiin suoralla sähkökäynnistyksellä. Moottorin pyörimisnopeuden noustessa laskee virta myös hiljalleen kohti nimellisvirtaa.

3.3.3 Taajuusmuuttajalla käynnistäminen

Moottori ei tarvitse erillistä käynnistintä avukseen, kun sitä ohjataan taajuusmuuttajalla, koska taajuusmuuttajan avulla voidaan moottorin käynnistysvirta pitää pienenä. Taajuusmuuttajaa ei ole siis tarkoitettu pelkästään avustamaan moottorin käynnistyksessä, vaan sillä voidaan ohjata moottoria sen koko käytön ajan. Taajuusmuuttajilla voidaan ohjata portaattomasti sähkömoottoreiden pyörimisnopeutta, säätää jarrutus- sekä kiihdytysaikoja, muuttaa moottoreiden pyörimissuuntaa ja säätää moottoreiden toimintaa parametrien avulla todella monipuolisesti. Taajuusmuuttajia käyttämällä saadaan aikaan myös selvää energian säästöä. Säästöä voidaan saada aikaiseksi jopa 30–50 % verrattuna siihen, että moottoria käytettäisiin vakionopeuskäytöllä. (6.) Liitteistä 1-6 olevista sähkökuvista voidaan nähdä taajuusmuuttajalla käynnistettävän moottorin piirikaavio.

Taajuusmuuttajan toiminta perustuu siihen, että verkosta tuleva jännite tasasuunnataan. Tasavirtapiirillä varastoidaan ja syötetään energiaa inverterille, joka muokkaa 3-vaihejännitteen moottorille sopivaksi. Taajuutta voidaan säätää prosessin vaatimusten mukaan 0-300 Hz välillä. (6.) Kuvassa 11 on esitetty taajuusmuuttajan ottama virta käynnistyshetkellä.



Kuva 11. Virrankulutus taajuusmuuttajalla käynnistettäessä (4, s. 16)

Kuvasta 11 voidaan nähdä, että taajuusmuuttaja toimii nimellisvirrallansa myös käynnistysaikaan.

3.3.4 Käynnistysmuotojen kannattavuus

Kaikilla edellä mainituilla käynnistysmuodoilla on omat positiiviset ja negatiiviset puolet. Jokaiselle käynnistystavalle löytyy oma käyttökohteensa, joko yksityiseltä käyttäjältä tai vaikka teollisuudesta. Kuvassa 12 on vertailtu eri käynnistysmuotoja ja niiden erilaisia ongelmia.

Ominaisuus/ongelma

Ongelman tyyppi	Käynnistysmenetelmän tyyppi			
	Suora käynnistys	Tähtikolmio-käynnistys	Taajuusmuuttaja	Pehmikäynnistin
Vetohihnojen luistaminen ja katkeaminen, laakerien nopea kuluminen	Kyllä	Keskitasoinen	Ei	Ei
Korkea käynnistysvirta	Kyllä	Ei	Ei	Ei
Vaihteiston voimakas kuluminen	Kyllä	Kyllä (käynnistys kuormalla)	Ei	Ei
Tavaroiden/tuotteiden särkyminen pysäytyksessä	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
Käytönaikainen nopeuden säätö	Ei	Ei	Kyllä	Ei
Paineiskut putkissa pysäytettäessä	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei (poistuu momentinsäädöllä, pienenee jänniterampilla)
Voimansiirtohuiput	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei
Arvioidut keskimääräiset asennuskustannukset	1	3	> 12	6

Kuva 12. Vertailu käynnistysmuotojen ominaisuuksista (4, s. 20)

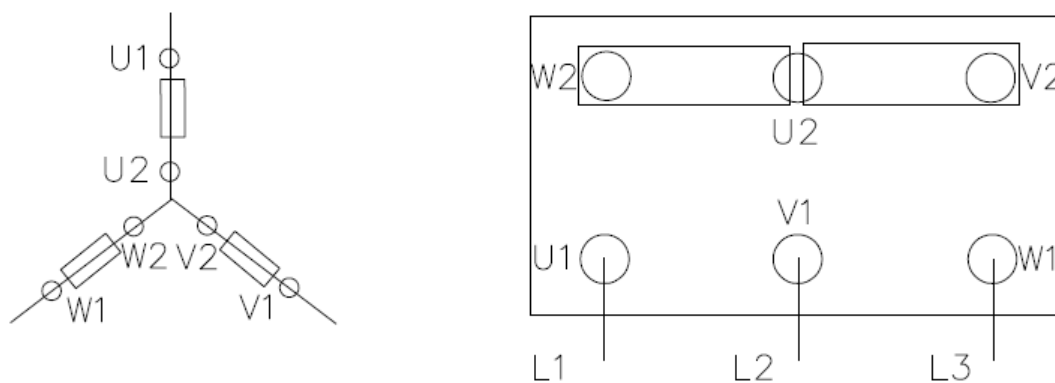
Taulukosta voidaan todeta, että pienille moottoreille, jotka eivät ole jatkuvassa käytössä ja jotka ovat melko pienitehoisia, suora käynnistys ja tähtikolmiokäynnistys ovat hyviä vaihtoehtoja. Suora sähkökäynnistys ja tähtikolmiokäynnistys ovat myös kaikkein edullisimmat vaihtoehdot.

Pehmokäynnistin on silloin hyvä vaihtoehto, kun moottori ei tarvitse ajonaikaista säätöä, mutta moottori on paljon käytössä. Pehmokäynnistin on laitteistolle yhtälailla hellävarainen, kuin taajuusmuuttajakin. Tämän lisäksi se on myös huomattavasti taajuusmuuttajaa edullisempi vaihtoehto.

Kun käytössä on ajonaikaista ohjaamista vaativa ja muutenkin paljon säätöä tarvitseva moottori, on taajuusmuuttaja silloin ainoa vaihtoehto. Taajuusmuuttajalla moottorin voi pysäyttää ja käynnistää rauhallisesti ilman, että repimistä tapahtuu. Kustannuksissa taajuusmuuttaja nousee kuitenkin ylivoimaisesti kalleimmaksi ja tämän takia, jos moottorin ohjaaminen ei ole ajonaikana välttämätöntä, on pehmokäynnistin edullisempi vaihtoehto.

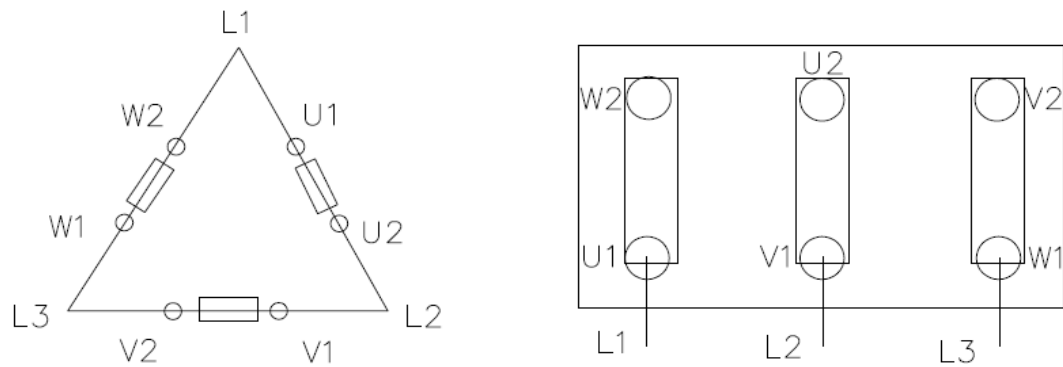
3.3.5 Tähti- ja kolmiokytkentä

Sähkömoottorit voidaan normaalisti kytkeä kahdelle eri jännitteelle. Eri jännitteille kytkeminen tapahtuu siten, että moottorin staattorin käämit voidaan kytkeä joko tähteen tai kolmioon. Tähtikytkennässä moottorin kahden käämin välillä vaikuttaa verkon jännite, kun taas kolmiossa moottorin yhteen käämiin vaikuttaa verkosta tuleva jännite. Moottorin arvokilpeen on aina merkitty, kumpaan näistä kytkennöistä moottori tulisi kytkeä. (7, s. 15.) Seuraavissa kuvissa 13 ja 14 on piirretty sekä tähti- että kolmiokytkentä.



Kuva 13. Tähtikytkentä

Vasemmanpuoleisessa kuvassa on havaintokuva tähtikytkennästä ja oikeanpuoleisessa kuvassa näkyy, kuinka tähtikytkentä tehdään oikosulkumoottorin liitäntäkoteloon.



Kuva 14. Kolmiokytkentä

Vasemmanpuoleisessa kuvassa on havaintokuva kolmiokytkennästä ja oikeanpuoleisessa kuvassa näkyy, kuinka kolmiokytkentä tehdään oikosulkumoottorin liitântäkoteloon.

4 Testipöydän suunnittelu

Työn tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa sähkömoottoreiden testipöytä Wiossin käyttöön Inexin logistiikkakeskukseen. Testipöytä päätettiin toteuttaa täysin sähköisenä versiona ja jättää logiikkaohjaukset pois siitä, vaikka logiikan käyttö olisi ollut mahdollista. Testipöydälle oli tarvetta, koska logistiikkakeskuksessa on paljon erilaisia moottoreita, joita tarvitsee välillä huoltaa tai korjata. Esimerkiksi laakerin vaihdon jälkeen moottori on hyvä saada kokeiltua, että se ei pidä ylimääräistä ääntä ja toimii oikein.

Työn vaatimuksina oli saada aikaiseksi toimiva sähkömoottoreiden testaamiseen tarkoitettu testipöytä. Pöydällä täytyy pystyä testaamaan erilaisia Inexin logistiikkakeskuksessa käytössä olevia moottoreita. Pöydän täytyy myös olla turvallinen ja mahdollisimman yksinkertainen käyttää. Lisäksi testipöydälle haluttiin käyttöohjeet ja sähkökuvat.

4.1 Testattavat moottorit

Testipöydällä voi pyörittää periaatteessa kolmen kategorian moottoreita. Kaikki moottorityypit ovat vaihtovirtamoottoreita. Isoimmat moottorit joita testipöydällä kokeillaan ovat teholuokaltaan noin 17 - 38 kW. Kyseisiä moottoreita käytetään laatikkohissien ajo- ja

nostoyksiköissä. Pöydällä testattavat keskikokoiset moottorit ovat puolestaan teholuokaltaan noin 250 W - 2 kW. Moottorit ovat käytössä lähinnä kuljetinlinjoilla, nostopöydissä ja kääntöpöydissä. Pienimmät testattavat moottorit ovat vain 90 W:n tehoisia. Niitä käytetään ainoastaan eräänlaisten rullakuljettimien moottoreina.

4.2 Standardit

Aluksi selvitettiin, minkälaisia suojavaatimuksia ja standardeja testipöydän rakentamiseen liittyy. Standardissa SFS 6000-8-803 määrittää, minkälaisia suojavaatimuksia sähkölaitteiden korjaamotilat vaativat (12). Seuraavassa on koottu lista standardin suojavaatimuksista testipöytään liittyen.

- Kosketusjännite < 1000V AC ja 1500V DC (11, s. 585 - 588).
- Pienjännitelaitteita testatessa saa esiintyä enintään 10 kV:n jännite, missä koskettamisesta aiheutuva virta saa olla enintään 10 mA (11, s. 585 – 588).
- Henkilöllä, joka käyttää kyseistä testipöytää, pitää olla riittävä ammattitaito pöydän käyttämiseen (11, s. 585 - 588).
- Laitteiston on oltava jännitteetön moottorin kytkennän aikana (11, s. 585 - 588).
- Kokeilut pitää suorittaa mahdollisuuksien mukaan kosketussuojattuna (11, s. 585 - 588).
- Jos kosketussuojaus ei täysin onnistu, pitää käyttää mahdollisuuksien mukaan tilapäisiä suojuksia tai esteitä (11, s. 585 - 588).
- Käytössä olevat työkalut tai mittalaitteet pitää olla normaalisti eristettyjä (SFS-EN 61010-2-031) (11, s. 585 - 588).
- Johdotuksessa pitää käyttää johtoja, joka on suojattu tahattomalta koskettamiselta (11, s. 585 - 588).

- Työpöydän runko voi olla metallia, mikäli se on eristetty maasta. (11, s. 585 - 588).
- Testauspaikan lattiat ja työpöytien kosketeltavat pinnat $R > 50k$ ohmia ja jännite $U < 500V$ (nimellisjännite) (11, s. 585 - 588).
- Laitteistosta on tehtävä dokumentointi (11, s. 585 - 588).
- Korjaamolle pitää olla sähkötapaturmien ensiapuohjeet (11, s. 585 - 588).
- Hätäseisnappula on lisättävä laitteistoon (11, s. 585 - 588).
- Suojalaitteiden toimivuus on testattava määrävälein (11, s. 585 - 588).
- Piirin automaattisesti takaisin jännitteiseksi tuleminen on estettävä sähkökatkon jälkeen (11, s. 585 - 588).
- Jos on mahdollista, että jännite siirtyy piirin ulkopuolisiin osiin, on nämä osat maadoitettava tai suojattava kosketukselta (11, s. 585 - 588).
- Kosketussuojaluokka on oltava kaikilla laitteilla vähintään IP3X (11, s. 585 - 588).
- Suojakytkimen avaamisen on katkaistava jännite välittömästi (11, s. 585 - 588).

4.3 Suunnittelu

Sähkösuunnittelut työhön tehtiin Kymdatan Cads Planner-ohjelmalla. Kymdata on suomalainen vuonna 1979 perustettu yritys. Cads on markkinajohtaja Suomessa sähkö- ja LVI-suunnittelussa. (16.)

4.3.1 Päävirtapiiri

Pöydän sähkösuunnittelu aloitettiin päävirtakaavion tekemisellä. Päävirtakaaviossa esitetään päävirtapiiri (400V/230V). Se sisältää yleensä pääkytkimen, sulakkeet, moot-

torinsuojakytkimet, pääkontaktorit, syöttökaapelin ja moottorit. Tässä työssä siinä oli myös taajuusmuuttajat ja virtalähde. Laitteen syöttö oli tarkoitus ottaa seinässä olevasta 3-vaihepistorasiasta. Pistorasian edellä oli sitä suojaavat 32 A sulakkeet ja 5x6 mm²:n kaapeli. Laite oli siis saatava toimimaan näillä virta-arvoilla.

Päävirtapuolella on syöttö kolmelle eri taajuusmuuttajalle, joilla sitten ohjataan moottoreita. Päävirtapuolelle tuli myös virtalähde, josta otettiin ohjausvirtapuolelle pienempi 24 V jännite. Jokaiselle moottorilähdölle tuli omat pääkontaktorit sekä taajuusmuuttaja. Myös kahdelle pienempiä moottoreita syöttävällä lähdölle tuli omat pääsulakkeet, jotta johtimet oli mahdollista vaihtaa ohuemmiksi. Isoimpia moottoreita syöttävälle lähdölle ei laitettu erillistä pääsulaketta, koska koko kaappia syöttävä 32 A sulake oli sille oikean kokoinen.

4.3.2 Ohjausvirtapiiri

Ohjausvirtapiirin pääteemana oli, että laitteen tulisi olla turvallinen ja mahdollisimman yksinkertainen käyttää. Laitteeseen suunniteltiin käytettäväksi kolmea erilaista taajuusmuuttajaa, joista jokaisella voisi ohjata tiettytyyppisiä moottoreita. Piirikaavio suunniteltiin siten, että vain yhtä taajuusmuuttajaa pystyi käyttämään kerralla. Laitteeseen suunniteltiin myös jokaiselle taajuusmuuttajalle oma merkkivalo, jotta käyttäjä tietää varmasti, mitä on niistä käyttämässä.

Keskukseen suunniteltiin myös erillinen turvarele, joka pitää kuitata päälle jos laitetta haluaa käyttää. Turvareleeseen tuli kaksi hätäseis-painiketta, joista kumpaa tahansa painamalla keskuksesta katkeaa ohjausvirtapiiri ja samalla pääkontaktorit lakkaavat vetämästä. Turvareleeseen kuittausnappulan myötä, keskukseen ei myöskään palaa jännite takaisin, vaikka hätäseis-painikkeen vapauttaa. Vapautuksen jälkeen pitää vielä turvareleeseen "Reset"-kytkintä painaa, jolloin jännite palaa keskukseen.

4.3.3 Taajuusmuuttaja 1 (Lenze 9300 servo inverter)

Taajuusmuuttajalle 1 suunniteltiin käynnistystä varten omat "start" - ja "stop" - kytkimet. Start-kytkintä painamalla taajuusmuuttaja saa "controller enable" - tiedon, jolloin se voi alkaa pyörittämään moottoria. Stop-kytkin puolestaan katkaisee tämän tiedon ja py-

säyttää moottorin. Koska start - komento on toteutettu normaalilla takaisinpalautuvalla painonapilla, suunniteltiin sille myös oma pitopiiri.

Taajuusmuuttajalle 1 suunniteltiin myös erillinen nopeudensäätökytkin. Nopeudensäätö toteutettiin 10 Kohm:n potentiometreillä. Potentiometrin toiminta suunniteltiin niin, että "0"-asennossa moottori ei pyöri vielä ollenkaan. Kun potentiometriä alkaa pyörittää, moottori kiihdyttää vauhtiaan, kunnes se saavuttaa maksiminopeutensa.

Lisäksi taajuusmuuttajalle 1 suunniteltiin myös erillinen jarrunvapautuskytkin. Tätä kytkintä painamalla keskus syöttää moottorille ainoastaan 24 V jännitteen jarrun avaamista varten. Näin on mahdollista pyörittää moottoria myös käsin. Tärkeää oli kuitenkin, että kun jarrunvapautuskytkintä painaa, moottori ei saa alkaa pyöriä sähköllä, ettei kenelläkään ole kädet välissä. Tämä toteutettiin niin, että jarrunvapautuskytkintä painattaessa kytkin ohjaa myös kontaktoria, joka taas avaa koskettimen taajuusmuuttajan ohjauspiiristä. Näin varmistutaan siltä, että jännite ei pääse moottorille niin kauan, kun jarrunvapautuskytkin on pohjassa.

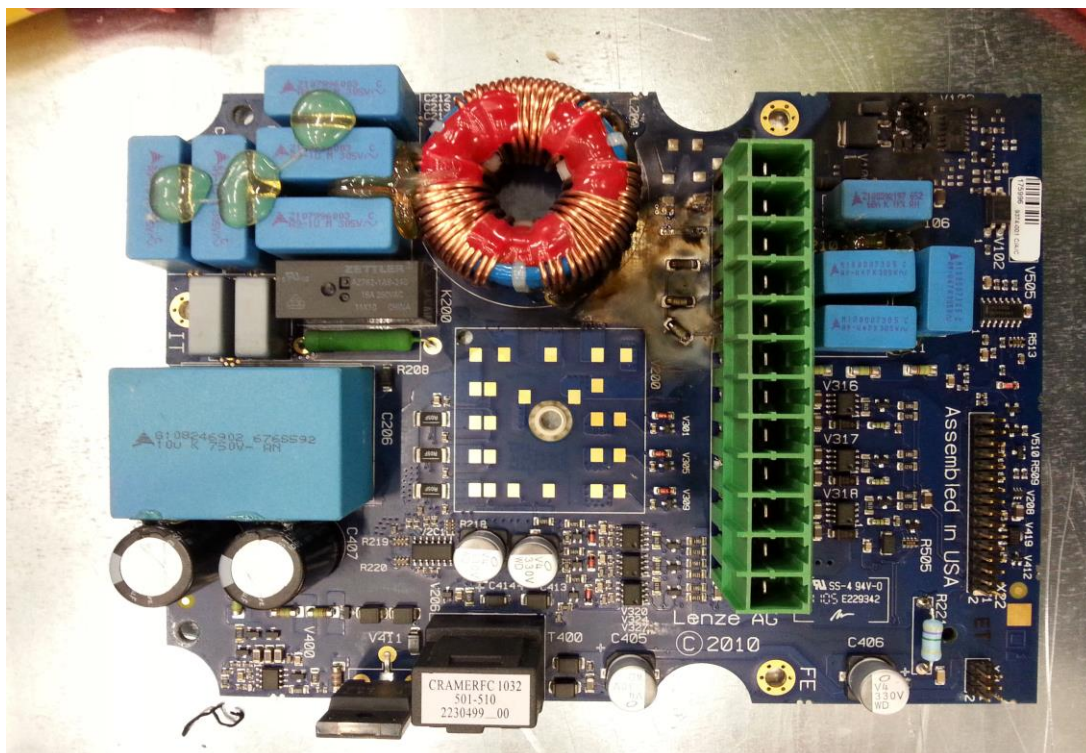
Koska iso taajuusmuuttaja ohjaa eritehoisia moottoreita (17 kW-38 kW), suunniteltiin sille erillinen parametrien valintakytkin. Suuri tehojen vaihtelu moottoreissa johtuu siitä, että taajuusmuuttajalla on tarkoitus ohjata laatikkohissien ajoyksikön (DU) ja nostoyksikön (LU) moottoreita. Parametrien vaihto sujuu helposti, koska käyttäjän ei tarvitse tehdä muuta kuin kääntää kytkintä ohjauspaneelistä, joko DU- tai LU-puolelle. Kuvassa 15 voidaan nähdä isoimpia moottoreita pyörittävä taajuusmuuttaja.



Kuva 15. Taajuusmuuttaja 1 (Lenze 9300 servo inverter)

4.3.4 Taajuusmuuttaja 2 (Lenze 8400 inverter)

Taajuusmuuttajalle 2 suunniteltiin samanlaiset "start" - ja "stop" - kytkimet kuin taajuusmuuttajalle 1. Nopeudensäätö toimii myös samalla periaatteella kuin taajuusmuuttajalla 1. Lisäksi taajuusmuuttajalle 2 suunniteltiin erillinen jarrun ohjauspiiri, koska kyseisellä taajuusmuuttajalla ohjataan moottoreita, joiden jarrut tarvitsevat aukeakseen 24VDC tai 205VDC. Taajuusmuuttajalla ei ollut mahdollista määrittää kuin toinen näistä käyttöön, joten toinen piti syöttää moottorille taajuusmuuttajan ulkopuolelta. Taajuusmuuttajalta päädyttiin ottamaan 205VDC ja 24VDC, jotka syötetään ohjausvirtapuolelta. Tämän vuoksi taajuusmuuttajan ja moottorin jarrun välille laitettiin erilliset sulakkeet, jotta taajuusmuuttaja ei pääse hajoamaan, jos joku syöttää vahingossa 205VDC moottorille, jonka jarru vaatii vain 24VDC. Jarrun jännitteen vaihtoon suunniteltiin kääntökytkin, josta pitää valita kumpaa jännitettä jarrulle syöttää. Tästä syystä laitteen käyttäjän on oltava myös erityisen tarkka siitä, mitä moottorin kilpiarvoissa jarrusta sanotaan. Kuvassa 16 on näyte siitä, mitä taajuusmuuttajalle tapahtuu, kun jarrulle on valittuna väärä jännite eikä sulaketta ole suojaamassa taajuusmuuttajaa.



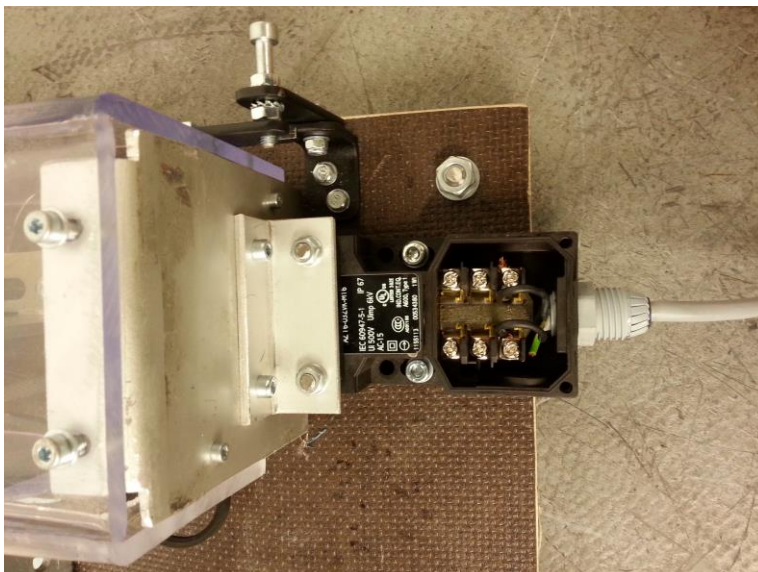
Kuva 16. Taajuusmuuttajan 2 (Lenze 8400 inverter) ylijännitettä saanut piirilevy

Kuvasta 16 voidaan havaita, että taajuusmuuttajan piirilevy on saanut pahasti ylivirtaa ja mennyt täysin käyttökelvottomaan kuntoon.

4.3.5 Taajuusmuuttaja 3

Myös taajuusmuuttajalle 3 suunniteltiin samanlaiset "start" - ja "stop" - kytkimet kuin taajuusmuuttajille 1 ja 2. Kyseiselle taajuusmuuttajalle ei laitettu erillistä nopeuden säätöpotentiometriä, kuten isoimmille taajuusmuuttajille, koska taajuusmuuttajassa itsessään on erilliset pienoiskytkimet, joilla sen pyörimisnopeutta voidaan muuttaa. Tämän vuoksi erillinen nopeudensäätö olisi ollut turha.

Pienimmän taajuusmuuttajan ohjaus oli myös helpoin suunniteltava, koska sen ohjaustoimenpiteet olivat kaikkein yksinkertaisimmat. Käynnistyksen lisäksi siihen ei lisätty mitään muuta kuin erillinen turvarajakytkin keskuksen ulkopuolelle. Kuvassa 17 on esitetty moottorin turvarajakytkin.



Kuva 17. Moottorin turvarajakytkin

Turvarajakytkin lisättiin sen vuoksi, että toimiakseen kunnolla moottori tarvitsee jonkinlaisen kuorman, mitä pyörittää. Moottorin viereen lisättiin pieni rulla, joka yhdistettiin hihnalla moottorin akseliin päähän. Akselinpää ja rulla piti suojata pienellä polymetyyli-metakrylaattilasilla eli plexilasilla. Turvarajakytkin suunniteltiin suojaamaan sitä, että jos suojakotelon nostaa pois paikoiltaan, moottorin ohjavirtapuoli katkeaa ja näin pääkontaktorit lakkaavat vetämästä ja moottori pysähtyy. Suojakotelosta ei voitu tehdä kokonaan suljettua pakettia sen vuoksi, että moottorin akseli on paketin sisällä ja moottorin vaihdon aikana suojakotelo täytyy saada auki.

5 Testipöydän rakentaminen

Suunnitelmien valmistuttua aloitettiin testipöydän osien tilaaminen ja kaapin rakentaminen. Testipöydän runko rakennettiin itse, jotta siitä saatiin sellainen kuin haluttiin. Runko tehtiin metallista ja sen rakensi eräs Witronin asentaja. Rungon valmistuttua aloitettiin osien tilaaminen.

5.1 Testipöydän valmistus

Testipöydän sähkökuvista pystyttiin hyvin katsomaan, mitä kaikkia osia testipöytä vaati. Kaikkia osia keskukseen ei kuitenkaan tarvinnut tilata uusina, koska osa tavaroista

löytyi suoraan Witronin omasta varaosa varastosta. Keskukseen tuli kuitenkin myös sellaisia osia, joita ei löytynyt valmiiksi varastosta.

Aluksi hahmoteltiin valmiiksi löytyvien osien perusteella, minkä kokoisen sähkökeskukseen pöytä tarvitsee. Tämä oli mahdollista sen takia, että isoimmat keskukseen menevät osat, kuten esimerkiksi taajuusmuuttajat, löytyivät varaosa varastosta valmiiksi. Lisäksi varastosta oli saatavilla kontaktoreita ja riviliittimiä, joten hahmotelma oli mahdollista tehdä. Kuvassa 18 on esitetty hahmotelma testipöydän sähkökeskuksesta.



Kuva 18. Testipöydän sähkökaapin alustava hahmotelma.

Testipöydän sähkökeskus tilattiin Rittal Oy:stä. Keskuksesta tuli 1 m korkea, 80 cm leveä ja 40 cm syvä. Keskus on tehty maalatusta teräslevystä, siinä on erillinen asennuspohja ja myös lukollinen ovi. Keskukseen koteloitui luokka on IP55.

Keskukseen lisäksi pöytään tilattiin erilaisia kontaktoreita, joissa on sekä sulkeutuvia että avautuvia koskettimia. Kontaktorien piti olla myös 24 V ohjattavia. Lisäksi tarvittiin painonappeja sekä kääntökytkimiä. Kääntökytkimien täytyi olla kaksi-, kolme- ja neliasentoisia. Näiden lisäksi tilattiin myös pääkytkin, kaksi potentiometriä, merkkivaloja ja harting-liittimiä. Kuvassa 19 on esitetty moottorin harting-liittimet.



Kuva 19. Moottorin harting-liittimet

5.2 Testipöydän rakentaminen

Aluksi hahmoteltiin keskuksen lopullinen pohjaratkaisu, kun kaikki komponentit oli saatettu. Samalla hahmoteltiin myös käyttöpaneelin painonappien paikat. Rakentaminen alkoi sillä, että keskus kiinnitettiin testipöydän runkoon. Runko oli mitoitettu niin, että keskus sopii siihen. Keskuksen sisälle pohjalevyyn kiinnitettiin din-kiskot. Din-kiskoihin kiinnitettiin kaikki keskukseen menevät komponentit, lukuun ottamatta taajuusmuuttajia.

Din-kiskojen lisäksi pohjalevyyn kiinnitettiin vielä taajuusmuuttajien kiinnitykset. Taajuusmuuttajille laitettiin yksinkertaiset ruuvikiinnittimet, jotta taajuusmuuttajan voi vaihtaa tarpeen vaatiessa helposti. Kun kiinnikkeet on saatu pohjalevyyn kiinni, on komponentit mahdollista kiinnittää niihin. Komponenttien kiinnitys on helppo ja nopea tehdä din-kiskoon. Riittää, että komponentin painaa din-kiskoon kiinni. Komponenttien pohjassa on yleensä jousiviritteinen hahlo, joka uppoaa hyvin din-kiskon reunuksiin. Samalla kun muut komponentit kiinnitettiin pohjalevyyn kiinni, laitettiin myös taajuusmuuttajat kiinni omiin kiinnikkeisiinsä.

Keskuksen käyttöpaneeli rakennettiin keskuksen oveen. Jokaiselle kytkimelle ja painonapille porattiin oveen oma reikä, jotta painonapit saadaan paikoilleen. Reiät tehtiin reikäseahanterällä. Poratessa reikiä oveen, on tärkeää suojata komponentit keskuksen sisältä, jotta niiden sisälle ei pääse metallipölyä.

5.3 Keskuksen johdotus

Keskuksen johdottamisessa on tärkeä edetä järjestelmällisesti, jotta kytkentävirheet saadaan pidettyä mahdollisimman vähäisinä. Johdotusta tehdessä on tärkeää, että johdoista tekee tarpeeksi pitkiä, jotta johdot eivät jäisi liian kireiksi kaapin sisälle. Liian kireät johdot voivat irrota helposti liittimistä, varsinkin jos käytössä olevissa komponenteissa on pikaliittimiä ruuviliittimien sijaan. Kireitä johtoja on myös hankala asettaa kaapelikourujen sisälle. On enemmänkin suositeltavaa käyttää jopa liian pitkiä johtoja kuin liian lyhyitä, koska ylimääräisen johdon voi taitella kaapelikourujen sisälle. Myöskään muutamia senttejä liian pitkät kaapelit eivät nosta kustannuksia juuri ollenkaan.

5.3.1 Päävirtapiirin johdotus

Koska 3-vaihepistorasialle, joka syöttää keskusta, oli tuotu 6 mm² kaapelia, tuotiin myös pääkytkimelle syöttö 5*6 mm² kumikaapelilla. 3-vaihekytkennöissä on hyvä muistaa oikea vaihejärjestys. Nykyisin käytössä oleva vaihejärjestys on seuraava:

- L1 = Ruskea
- L2 = Musta
- L3 = Harmaa

Pääkytkimeltä eteenpäin johdotus tehtiin monisäikeisellä 6 mm² MKEM-johtimella. Kyseistä johdinta käytettiin myös koko isoimman taajuusmuuttajan päävirtapiirin johdotuksessa. Kahdelle pienemmälle taajuusmuuttajalle johtimen koko pienennettiin sulakkeiden jälkeen 1,5 mm² johtoon, koska ohuempi kaapeli on riittävä sulakkeen kokoon nähden.

Keskuksen ulkopuolelle meneville kaapeleille porattiin keskuksen pohjaan läpivientireikiä. Reikien koko mitoitettiin kaapelikoon perusteella. Mitä isompi kaapeli on kyseessä, sitä isompi vedonpoistaja tarvitaan läpivienttiin. Vedonpoistaja suojaa samalla kaapelia läpiviennin kohdalla keskuksen pohjalevyn teräviltä reunoilta. Vedonpoistajat täytyy myös olla pohjassa sen takia, että jos kaapelia vedetään liian kovalla voimalla

keskuksen ulkopuolelta, kaapeli ei pääse irtoamaan keskuksen sisältä komponenteista, vaan veto kohdistuu vedonpoistajaan.

Isoimpien moottoreiden, joita syöttää Lenze 9300. taajuusmuuttaja, syöttökaapeliksi laitettiin häiriösuojattua 5*6 mm² kaapelia. Laitteiston turvallisen käytön vuoksi keskuksen kylkeen laitettiin vielä erillinen hartingliitäntä, jotta moottori on turvallista kytkeä laitteistoon. Keskuksen puolelle liittimeen laitettiin naaraspuoli, jotta liittimestä ei ole mahdollista saada sähköiskua vahingossa. Tarkoituksena on että, moottorin kaapeli kytketään ensimmäisenä moottorin kytkentärasiaan ja vasta tämän jälkeen laitetaan hartingliitin kiinni. Viimeisenä laitetaan keskusta syöttävä kumikaapeli seinään. Tällä järjestyksellä saadaan täysi varmuus siihen, että moottoria syöttävässä johdossa ei voi olla jännitettä, kun se kytketään moottoriin kiinni.

Pienempien moottoreiden syöttökaapeleiksi, joita syöttävät taajuusmuuttaja1 ja 2 laitettiin ohuempaa 4*1,5 mm² kaapelia. Kyseisille moottoreille ei tarvinnut erillistä hartingliitäntää keskukseseen, koska moottoreissa itsessään on valmiiksi paikka pikaliitännälle. Tämän vuoksi riitti, että syöttökaapelin päähän laitettiin naaraspuolen liitin. Tällöin moottoreiden liittäminen on turvallista, vaikka keskuksessa olisi jännitteet päällä. Tätä ei kuitenkaan suositella, vaan tarkoituksena on se, että moottorit kytketään aina jännitteettöminä.

Päävirtapuolen kaapelimerkintöjen toteutus tehtiin mahdollisimman yksinkertaisesti. Vaiheet merkittiin siten L1, L2 ja L3. Nollajohtimet merkattiin N-kirjaimilla ja maadoitusjohtimet PE-merkeillä. Riviliitinmerkinnät puolestaan toteutettiin numeroilla. Numerointi tehtiin numerosta 20 ylöspäin. Päävirtapuolen komponentit merkittiin keskuksen sisälle samoilla merkinnöillä kuin sähkökuviin. Jokaiseen komponenttiin laitettiin tarralappu kiinni johon oli merkitty, mikä komponentti on kyseessä. Erimerkiksi kontaktori numero 1 on merkitty sekä sähkökuviin että keskuksen sisälle tarralapulla K1. Tällä tavalla keskuksen sähkökuvia luettaessa on kenen tahansa helpompi seurata kuvia.

5.3.2 Ohjausvirtapiirin johdotus

Ohjausvirtapuolen johdotuksessa käytettiin 0,75 mm² johdinta. Positiivisen (+24V) puolen johtona käytettiin sinistä johdinta ja negatiivisen johtona sen sijaan sinivalkoista johdinta.

Ohjauspuolen johdinmerkinnät toteutettiin numeroinnilla numerosta yksi alkaen. Merkinnoissa pyrittiin etenemään systemaattisesti ohjauspuolentoiminnan mukaan, mutta jossain tilanteissa se ei ollut mahdollista monien sivuhaarojen takia. Kuten myös päävirtapuolella ohjauspuolella riviliitinmerkinnät tehtiin numerosta 20 ylöspäin.

Ohjauspuolen komponentit merkittiin myös samalla tavalla kuin päävirtapuolella. Sekä kuviin että keskukseen laitettiin tarralapulla kiinni kertomaan, mikä komponentti on kyseessä. Ohjauspuolella esimerkiksi ohjausvirtakytkin on merkitty sekä kuviin että keskukseen tarralapulla S1.

Ohjausvirtapiirin johdotukseen kuuluu kaikki 24 V toimivat komponentit. Näin ollen kaikki kytkimet pääkytkintä lukuun ottamatta kuuluvat ohjausvirtapiiriin. Ohjausvirtapiirin johdotus aloitettiin turvapiiristä, jonka jälkeen johdotuksessa edettiin mahdollisimman systemaattisesti isommasta taajuusmuuttajasta pienimpään taajuusmuuttajaan. Ohjausvirtakaavion johdotus löytyy kokonaisuudessaan liitteistä 1 - 6 löytyvistä sähkökuvisista. Kuvassa 20 voidaan havaita keskuksen sisällä olevat komponentit ja johdotus



Kuva 20. Valokuva keskuksen sisällöstä

5.4 Testipöydän toiminta

Kuvassa 21 on esitetty testipöydän etupaneeli, josta voidaan nähdä testipöydän kaikki käyttöpainikkeet. Lisäksi kuvasta voidaan nähdä testipöydän rungon etuosa.



Kuva 21. Testipöydän etupaneeli.

Testipöydän paneelissa on 21 erilaista kytkintä ja 3 merkkivaloa. 19 näistä kytkimistä sijaitsee keskuksen etupaneelissa ja toinen keskuksen hätäseis-kytkimistä sijaitsee keskuksen takaseinässä.

5.4.1 Testipöydän käyttö

Seuraavassa on käyty läpi testipöydän toimintaperiaate ja se, missä järjestyksessä painikkeita on painettava.

1. Syöttö pöytään saadaan laittamalla syöttökaapeli seinään kiinni, minkä jälkeen käännetään pääkytkin päälle. Tässä kohtaa syttyy myös punainen varoitusvalo, joka ilmoittaa että laitteistossa on jännitteet päällä.
2. Ohjausvirrat laitteistoon saadaan kääntämällä ohjausvirtakytkin päälle.
3. Kolmantena täytyy kuitata hätäseispiiri päälle "h-seis reset"-painikkeella.
4. Tämän jälkeen ollaan siinä pisteessä, että täytyy valita mitä taajuusmuuttajaa halutaan käyttää. Tämä valitaan "tamun valinta kytkin"-painikkeella. Taajuusmuuttajat menevät koko järjestyksessä isoimmasta pienimpään numeroilla 1-3.
5. Kun haluttu taajuusmuuttaja on valittu, syttyy "tamu valinnan kuittaus"-painonappiin vihreä valo palamaan. Kyseisellä painikkeella varmistetaan se, että oikea taajuusmuuttaja on valittuna. Nappia painamalla taajuusmuuttaja on otettu käyttöön.
6. Tämän jälkeen painamalla "Start"-painiketta, moottori saa controller enable - tiedon ja on valmis käytettäväksi. Mikäli taas painaa "Stop"-painiketta, controller enable - tieto katkeaa ja moottori pysähtyy, mikäli se oli alkanut jo pyörimään.
7. Seuraavaksi säädetään moottori pyörimään halutulla nopeudella. Moottoreiden pyörimisnopeutta voidaan säätää kääntämällä "nopeudensäätö" potentiometriä.
8. Taajuusmuuttajaa 2 (Motec 8400) käytettäessä, täytyy moottorin jarru avata manuaalisesti ennen kuin moottoria alkaa pyörittää. Tämä tapahtuu jarrun vapautuskääntökytkimellä. Valittavana on 230V tai 24V jarrun vapautus. Mikäli moottorissa ei ole jarrua, ei kytkintä myöskään käännetä lainkaan.
9. Taajuusmuuttajalle 1 täytyy myös valita, mitä parametreja käyttää ennen kuin moottorin laitaa pyörimään. Valinta tapahtuu parametrien valinta kääntökytkimellä.
10. Tarpeen vaatiessa taajuusmuuttajan 1 jarrun voi vapauttaa manuaalisesti jarrun vapautus-painikkeella. Kyseistä painiketta painettaessa moottoria voi pyörittää käsin.

11. Hätäseis-painikkeesta laitteisto pysähtyy heti. Painikkeen käyttö on kuitenkin sallittua vain hätätilanteessa, koska tällä tavalla laitteistoa ei voi pysäyttää hallitusti ja se voi luoda taajuusmuuttajaan vikatilan, mitä ei voi poistaa kuin tietokoneen avulla.

5.4.2 Moottoreiden kiinnitys

Jotta moottoreiden testaaminen olisi mahdollisimman turvallista, on moottorit kiinnitettävä pöytään kiinni ennen kuin niitä alkaa pyörittämään. Jokaiselle moottorille on rakennettu oma paikkansa testipöydässä.

Taajuusmuuttajalla 1 testattavia moottoreita varten on testipöydän alatasolle jätetty mittava tila. Kyseiset moottorit testataan pöydän alatasolla, koska ne ovat todella painavia ja niiden siirtäminen korkeammalle tasolle on haastavaa. Kyseiset moottorit on kiinnitetty pöytään kuormaliinoilla sen rakennuksen ja testaamisen aikana. Tämä ei kuitenkaan tule olemaan lopullinen kiinnitysratkaisu, vaan moottoreille tullaan rakentamaan myöhemmin oikeanlainen ja kunnollinen kiinnitys.

Taajuusmuuttajalla 2 testattavat moottorit kiinnitetään puolestaan testipöydän ylätasoon kiinni. Ylätaso on pöytään erikseen myöhemmin rakennettu lisäosa. Myös nämä moottorit on testien ja rakennuksen aikana kiinnitetty pöytään kuormaliinoilla ja lopullinen kiinnitys tullaan rakentamaan myöhemmin.

Taajuusmuuttajalla 3 pystyy testaamaan vain yhdenlaisia moottoreita. Tämä johtuu siitä, että taajuusmuuttaja kiinnitetään suoraan moottoriin. Näitä moottoreita kutsutaan arc-moottoreiksi. Arc tulee sanoista accumulation roller conveyor, joka on eräänlainen kuljetintyyppi. Näitä kuljettimia pyöritetään ainoastaan arc-moottoreilla. Arc-moottoreille on rakennettu jo valmiiksi oma kiinnityspaikka testipöytään. Kuten jo aiemmin on mainittu, näille moottoreille on rakennettu erillinen turvarajakytkin. Sekä turvarajakytkin että moottorin kiinnitysrauta on rakennettu erilliselle vaneripohjalle ja ne on porattu testipöydän ylätasoon kiinni. Moottorin kiinnitys onnistuu helposti neljän ruuvin avulla, mitkä laitetaan moottorin jaloista läpi ja kiinnitetään kiinnitysrautaan.

5.5 Laitteiston parametointi

Viimeisenä työssä oli jäljellä laitteen parametrisointi, jossa taajuusmuuttajiin ladataan moottoreiden virta- ja tehollisarvot. Parametrien avulla määritellään myös se, kuinka laitteiston tulee toimia ja ohjata moottoria. Koska työssä on käytetty Lenze-taajuusmuuttajia, parametrisointi tehtiin Lenzen omilla Global drive- ja L-force engineer-ohjelmilla.

Parametrisointiin käytettiin kahta eri ohjelmaa, koska työssä käytetyt taajuusmuuttajat ovat erimallisia. Pienin taajuusmuuttaja ei tarvinnut erillistä parametrisointia, koska sen ohjaaminen tapahtui laitteen omilla dippikytkimillä. Parametrisointiin käytetyt ohjelmat toimivat samalla periaatteella ja laitteisiin ladattiin samantapaiset tiedot, joten kahden eri ohjelman käyttö ei vaikeuttanut työtä merkittävästi. Haasteena parametrisoinnissa oli kuitenkin se, että parametrivalintoja oli huomattava määrä ja ohjekirjat niiden asentamiseen ovat noin 500 sivua pitkiä.

5.5.1 Parametrit

Parametrisointi aloitettiin sillä, että aluksi tutustuttiin ohjelmiin ja niiden toimintamekanismeihin. Kun ohjelmat olivat tulleet tutuksi ja oikeat asetukset löytyneet oli parametrisointi mahdollista aloittaa.

Ohjelmista pystyi suoraan hakemaan moottorit, jotka olivat käytössä testivaiheessa, joten se helpotti asetusten laittoa, kun ei tarvinnut itse määrittää virta- ja muita tehollisarvoja. Tämän jälkeen ohjelmista määritettiin, mitkä in- ja output-lähdöt ovat käytössä. Myöhemmin kuitenkin vaihdettiin virta- ja muut tehollisarvot hieman keskeyttämiin lukuihin, koska laitteistoilla testataan erikokoisia moottoreita ja samojen arvojen on toimittava näissä kaikissa.

Molemmille taajuusmuuttajille määritettiin input tieto siitä, milloin se saa aloittaa moottorin pyörittämisen. Tämä määritettiin siten, että kun input-kohtaan tulee 24VDC jännite, taajuusmuuttaja laskee päävirran läpi moottorille. Tämä tieto toimi ”controller enable” tietona. Tämän lisäksi määritettiin tieto myös jarrun avaamisesta. Kun moottori on valmiina pyörimään, taajuusmuuttajan outputista lähtee jännite moottorin jarrulle, jolloin jarru avautuu. Koska molempien taajuusmuuttajien moottoreiden jarruja pystyy käyttämään myös painonapeilla, toimii taajuusmuuttajista lähtevä jännite vain osana jarrun

avaamista. Kuvassa 22 on Lenzen global drive -ohjelmasta kuvankaappaus. Kyseisestä kohdasta voidaan määrittellä laitteiston digitaaliset in- ja outputit.

Terminal I/O (digital)

Digital input

X5/28		0	→	Controller enable
X5/E1	Low-active	1	→	R/L/Q-R
X5/E2	High-active	0	→	R/L/Q-L
X5/E3	High-active	0	→	DCTRL-PAR*2
X5/E4	High-active	1	→	DCTRL-PAR*1
X5/E5	High-active	0	→	DCTRL-TRIP-RES

Digital output

X5/A1	Low-active	0	←	DCTRL-TRIP
X5/A2	Low-active	1	←	CMP1-OUT
X5/A3	High-active	1	←	DCTRL-RDY
X5/A4	Low-active	1	←	BRK1-OUT

State bus

X5/ST	←	0	FIXED 0
X5/ST	→	1	

X 5

RFR		A1
E1		A2
E2		A3
E3		A4
E4		ST
E5		ST
39		59

X 6

1		3
2		4
7		7
62		63

Help Back

Kuva 22. Taajuusmuuttajan 1 in- ja output-säätöpaneeli

Isoimmassa taajuusmuuttajassa (Lenze 9300) jarrun output-tiedolla ohjataan kontaktoria, joka taas vetäenään avaa jarrun. Kun kontaktori vetää, menee jännite 24VDC rivi-liittimen kautta jarrulle. Taajuusmuuttajalla 2 (motec 8400) jarrun jännite on 205VDC. Koska kontaktorit ovat 24VDC ohjattavia, oli jarrun jännite laitettava kontaktorin kosket-timen taakse ja erillisellä kytkimellä taas ohjattiin kontaktori vetäneeksi.

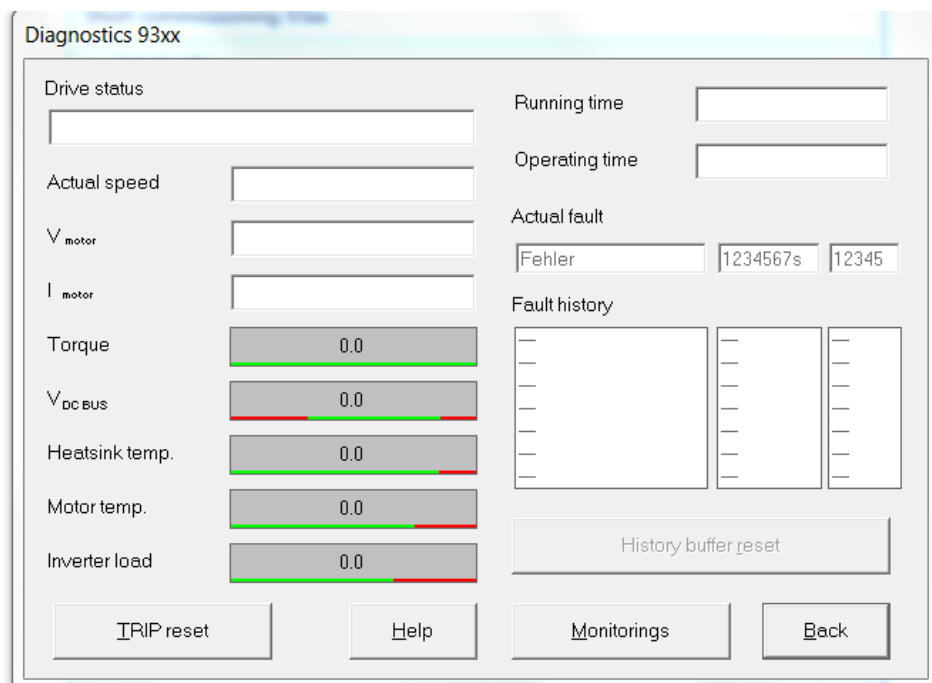
Jarrujen lisäksi molemmille taajuusmuuttajille määritettiin potentiometrien parametrit. Potentiometreille määritettiin omat in- ja output-paikat ja niiden lisäksi se, millä tavalla potentiometrit toimivat. Koska laitteistolle haluttiin rauhalliset ja turvalliset käynnistyk-set, asetettiin potentiometreihin 10 %:n toimimaton alue eli niin sanottu tyhjäalue. Tämä tarkoittaa sitä, että kun "start"-painonappia painetaan, niin moottori ei lähde pyörimään ennen kuin potentiometriä on kääntänyt asteikossa yli 10 % myötäpäivään. Tämän jälkeen potentiometriä kääntämällä moottori kiihdyttää tasaisesti kohti maksiminopeut-tansa.

Isoimmalle taajuusmuuttajalle (Lenze 9300) parametrisoitiin parametrien valintakytkin. Kyseisellä valintakytkimellä voi vaihtaa parametrejä Du- ja LU- moottorien välillä. Kytkimeltä vietiin johtimet taajuusmuuttajan kahteen eri inputtiin ja kytkintä kääntämällä 24 V:n DC jännite pääsee läpi. Kun kytkimen kääntää joko DU- tai LU- puolelle, taajuusmuuttaja vaihtaa parametrit oikeisiin.

5.5.2 Parametrien kokeilu

Kun parametrit oli saatu valmiiksi, ladattiin ne tietokoneelta taajuusmuuttajiin. Kokeiluvaiheessa oli parametrien toiminnan kanssa ongelmia. Esimerkiksi potentiometrit eivät aluksi toimineet oikein. Potentiometrien toiminta-alue muuttui itsestään negatiiviselle puolelle, vaikka asetuksia yritti vaihtaa oikeaksi. Lopulta kuitenkin oikeat parametrit löydettiin potentiometreille ja ne saatiin toimimaan asianmukaisella tavalla.

Kokeiluvaiheessa pyrittiin kokeilemaan jokainen erimallinen moottori läpi, jotta parametrit toimisivat varmasti kaikilla malleilla. Moottoreita kokeiltaessa saatiin tietokoneen ruudulle parametrisointiohjelmista moottorin dataa tarkkailevia tietoja. Kuvassa 23 on kuvakaappaus ohjelman yhdestä datatilamallista.



Kuva 23. Moottorin tilatietojen tarkkailuun tarkoitettu näyttö

Kuvan otantavaiheessa moottoria ei ollut kiinnitetty testipöytään, minkä vuoksi arvot ovat kuvassa nolliä. Tilatiedoista voidaan nähdä esimerkiksi moottorin jännite, momentti ja lämpötila.

6 Arviointia

Kun sähkökuvat olivat ensimmäisen kerran valmiina, olivat ne täysin erinäköiset kuin mitä nyt liitteistä löytyvät lopulliset sähkökuvat ovat. Toimintaperiaate pysyi suunnilleen samana, mutta kuviin tuli huomattavan paljon lisäyksiä. Myös kuvien ulkoasu muuttui. Vaikka kuvia paranneltiin ennen rakentamisen alkamista, olivat ne silti edelleen todella vajavaiset rakentamisen alkuvaiheessa. Tämän vuoksi pöydän rakentamisen kanssa tuli hankaluuksia.

Myös rakennusvaiheessa tuli virheitä, jotka hidastivat työntekoa. Koska alkuperäisissä sähkösuunnitelmissa ei ollut mukana kaikkea, mitä olisi tarvinnut, joutui tämän vuoksi kesken rakentamisen välillä jo tehtyjä asioita purkamaan tai muuttamaan toisenlaisiksi. Suurimpana muutoksena oli kaapelikourujen jälkiasennus sähkökaappiin. Rakennusvaiheen alkuvaiheessa kaapelikouruja ei ollut tarjolla, koska niitä ei ollut tilattu. Tämän vuoksi kaapelit päädyttiin asentamaan keskukseen din-kiskojen päälle ja kiinnittämään nippusiteillä. Myöhemmin kuitenkin päätettiin, että kaapelikourut on hyvä laittaa keskukseen, jotta keskuksesta saadaan siistimmän näköinen. Jälkikäteen tällaisen vaihdoksen tekeminen on suuritöistä, koska keskukseen oli jo laitettu kaikki komponentit ja johdotukset paikalleen. Myöskään kaapelikouruille ei ollut suunniteltu valmiita paikkoja keskuksen sisälle, joten niiden laittaminen muodostui melko hankalaksi työksi.

Työ oli mielestäni hyvin opettavainen kokemus moneltakin kannalta. Koska opinnoisani olen suuntautunut sähkösuunnitteluun, joka koostuu suurimmaksi osaksi rakennuspuolen sähkösuunnittelusta, oli sähkökäyttöjen suunnittelu hyvää harjoitusta. Työ oli muutenkin hyvin monipuolinen, koska suunnittelun lisäksi, tehtävänä oli osien tilaaminen ja kartoittaminen sekä itse testipöydän rakentaminen.

Työstä sai hyvää käytännön kokemusta sekä tietotaitoa sähkökäyttöistä. Työn aikana pääsi tutustumaan sähkömoottoreiden teoriaan ja käytännön toimintaan laaja-alaisesti, mikä on varmasti hyödyksi tulevaisuudessa. Myös taajuusmuuttajien parametrisointi oli

täysin uusi kokemus itselleni. Kaikki edellä mainitut asiat varmasti helpottavat työnte-
koa jatkossa, koska nykyisin työskentelen sähkökäyttöjen parissa.

Mielestäni työssä onnistunein asia oli lopulliset sähkökuvat. Sähkökuvat ovat mielestä-
ni siististi tehty ja helposti luettavia. Myös se että kaapista tuli lopuksi suhteellisen siisti
on laskettava onnistumisen puolelle, koska muutos töiden kohdalla vaikutti siltä, että
kaapista on haastava saada siistiä lopuksi. Vähiten työssä onnistui mielestäni aikatau-
lutus. Koska työn aikana tapahtui monia virheitä, venyi myös työn aikataulu merkittä-
västi.

Työ oli opettavainen kokemus myös siitä syystä, että työn aikana tekemiäni virheiden
johdosta, uuden samantapaisen projektin tekeminen sujui varmasti helpommin. Ym-
märsin, että kaikki lähtee hyvästä suunnittelusta, ja jos suunnitelmissa on aukkoja, voi
työn tekeminen mennä todella hankalaksi.

7 Yhteenveto

Insinööriyön aikana tehdyistä eri vaiheista muodostui lopulta kokonaisuus, johon kuu-
luivat sähkömoottoreiden testipöytä ja sähkösuunnitelmat. Työn alussa käytiin läpi säh-
kömoottoreiden teoriaa ja sen lisäksi niiden käynnistystapoja. Loppuosassa työtä keski-
tyttiin täysin sähkömoottoreille tarkoitetun testipöydän valmistukseen.

Työssä käytiin läpi testipöydän suunnittelusta alkaen koko työn valmistus. Suunnitte-
lussa tärkeintä oli se, että laitteesta saataisiin mahdollisimman turvallinen. Erillinen
turvarele, hätäseis-painikkeet ja keskuksen maadoitukset olivat sähköisen puolen tur-
vatoimina. Kuitenkin myös mekaanisella puolella otettiin turvallisuus huomioon esimer-
kiksi taajuusmuuttajan 3 kanssa, jolle asennettiin erillinen pleksilasi suojaamaan mootto-
rin akselin pyörimistä.

Rakennusvaiheen tärkeimpänä asiana oli saada keskuksen komponenttien järjestys
järkeväksi. Tässä oli tärkeää miettiä, millä tavalla komponentit kannattaa keskukseen
sijoittaa, jotta kaapelia tarvitsisi käyttää mahdollisimman vähän ja myös sitä, että kom-
ponentit ovat järkeillä paikoilla.

Parametroinnissa pyrittiin optimoimaan keskuksen toiminta mahdollisimman hyväksi. Tälläkin osa-alueella turvallisuus nousi suureksi tekijäksi ja esimerkiksi potentiometreihin asetetut ”tyhjät” alueet olivat tästä hyvä esimerkki. Lisäksi parametrisoidessa oli tärkeää pitää teholuokkien asetteluarvot sopivina laitteistolle.

Viimeisenä työssä käytiin läpi hieman sitä, mikä työssä onnistui ja, mitkä asiat olisivat voineet mennä paremmin. Kaikki asiat eivät projektissa menneet suunnitelmien mukaisesti, mutta korjausten jälkeen niistä saatiin toimivia. Siten lopputulosta voidaan mielestäni pitää onnistuneena.

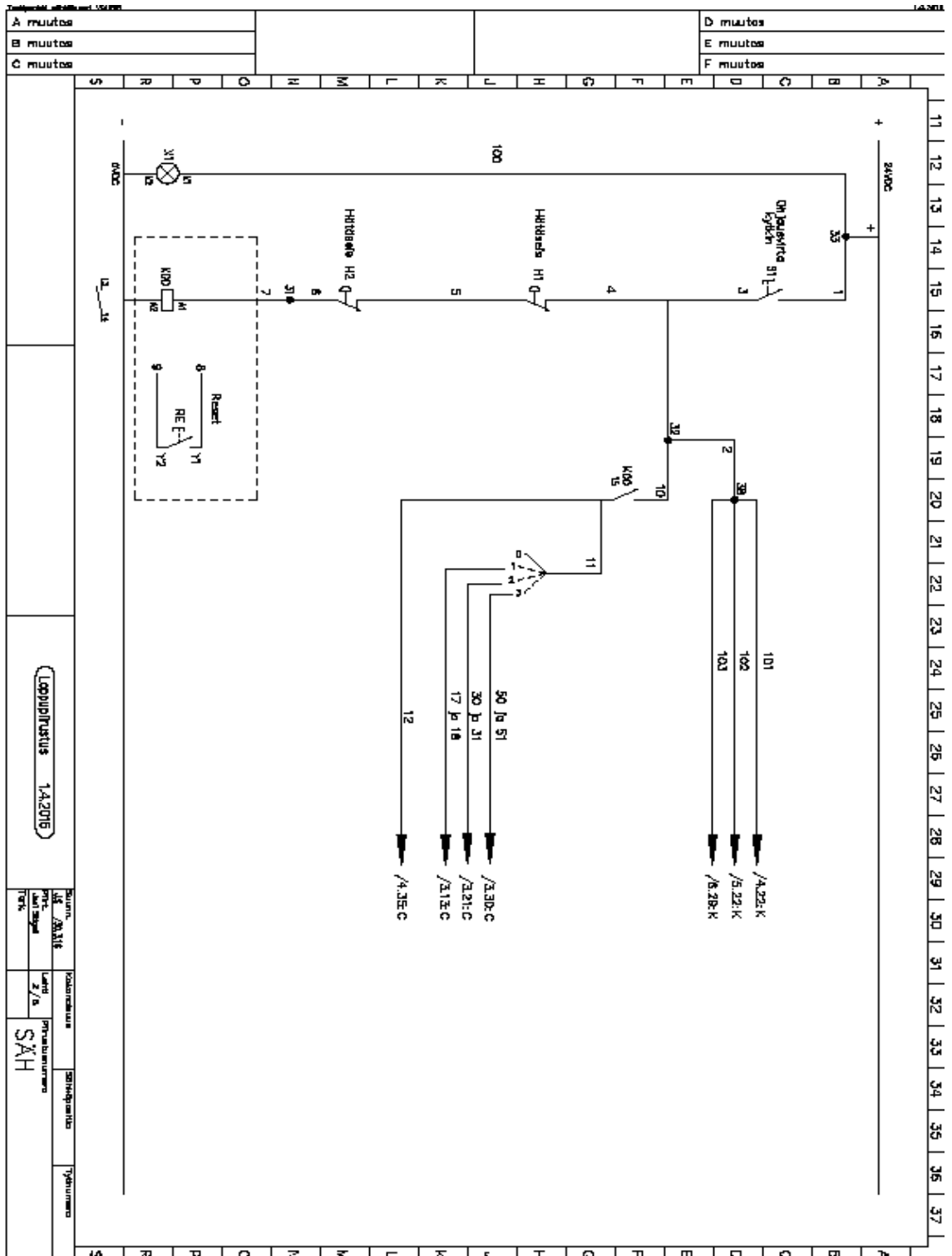
Lähteet

- 1 STM Finland Oy. Verkkodokumentti. <http://www.stmfinland.fi/sahkomoottorit>.
- 2 Hietalahti, Lauri. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Amk-kustannus Oy Tammer-tekniikka.
- 3 Halme, Jari ja Parikka, Risto. 2005. AC-servomoottori, -rakenne, vikaantuminen ja havainnointimenetelmät. Verkkodokumentti. http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf.
- 4 ABB. 2011. Pehmokäynnistin opas. Verkkodokumentti. https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf.
- 5 Korppinen, Leena. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus. Verkkodokumentti. http://www.leenakorppinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf.
- 6 Gottberg, Kalle. 2011. Taajuusmuuttaja säästää sähköä. Verkkodokumentti. <http://www.nylund.fi/fi/yritys/ajankohtaista/asiantuntija-artikkeleita/taajuusmuuttaja-saastaa-sahkoa.html#.VwlaSfmLSUI>.
- 7 Kupila, Eero. 2012. Sähkökäytönperusteet. Luentomoniste.
- 8 Lagus, Antti. 2008. ABB, Pehmeästi käyntiin. Verkkodokumentti <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/b8e98be882d3637ec12573d100478d5c.aspx>.
- 9 Inex Partners Oy. 2016. Mitä Inex tekee? Verkkodokumentti. <http://www.inex.fi/inex-yrityksenae/mitae-inex-tekee>.
- 10 Witron. 2016. Verkkodokumentti. <http://www.witron.de/en/company/>.
- 11 Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi SFS 6000-8-803. SFS käsikirja 600-1. Sähkölaitekorjaamot ja laboratoriot.
- 12 Helsingin sanomat. 2014. Uutinen. <http://www.hs.fi/kaupunki/a1413687847373>.
- 13 Witron. 2013. verkkodokumentti. <http://www.witron.de/en/press-videos/press-details/article/witron-realisiert-in-finnland-eines-der-groessten-food-retail-logistikzentren-weltweit/>.
- 14 Helsingin uutiset. 2014. Uutinen. <http://www.helsinginuutiset.fi/artikkeli/268782-sokn-keskus-espoosta-sipooseen-kenkaa-saa-jopa-800>.

- 15 Witron. 2016. Verkkodokumentti. <https://www.witron-service.com/service-module/on-site-services/>.
- 16 Kymdata. 2016. Verkkodokumentti.
<http://www.cads.fi/fi/Yhteys/Tietoa%20yrityksest%C3%A4/>

[illegible]

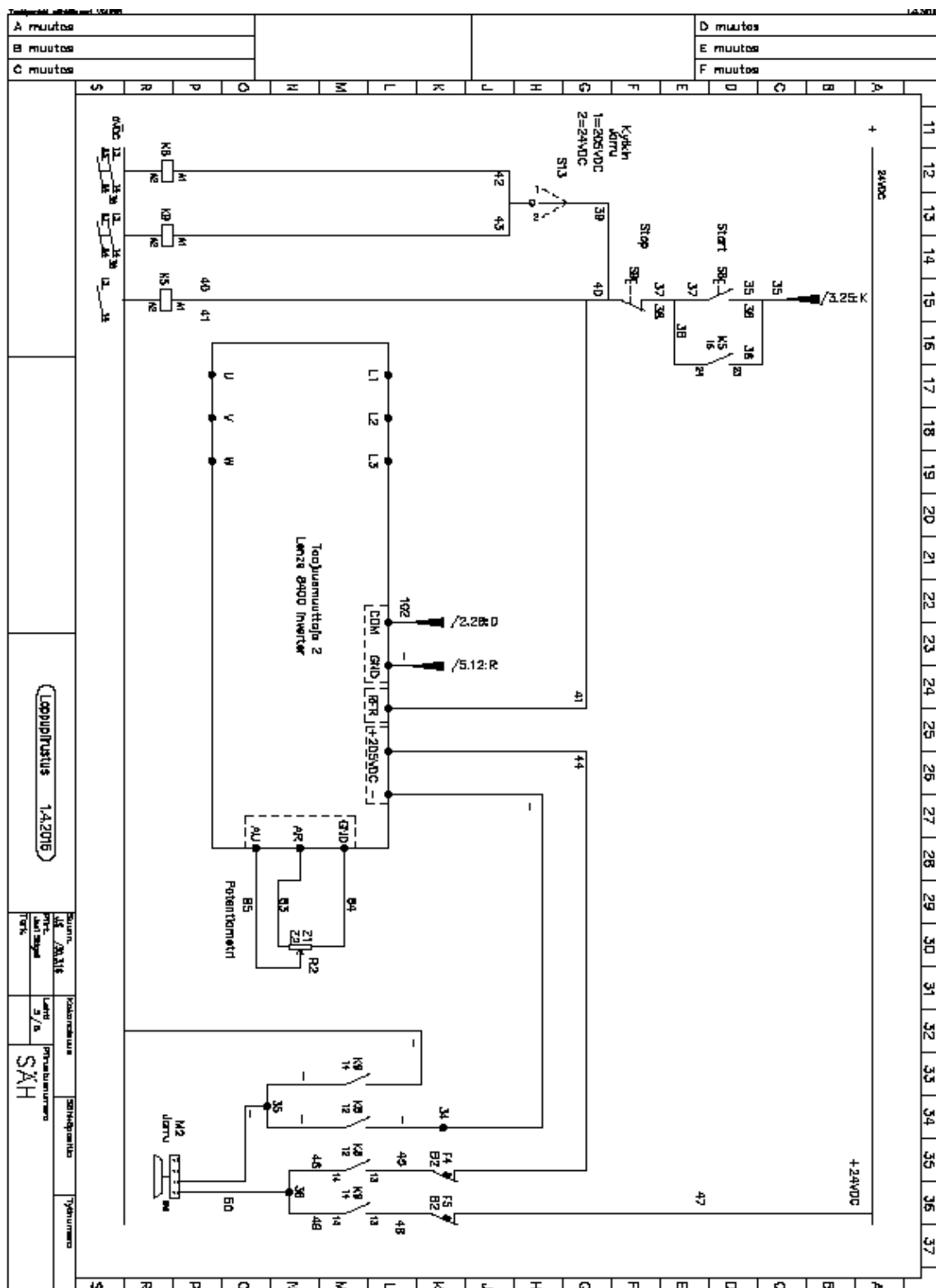
Testipöydän sähkökuvat osa 2



[illegible]

The diagram illustrates the electrical wiring for a motor control system. It features a three-phase supply (L1, L2, L3) connected to a Lenza 6300 servo inverter. The inverter's control is managed by a Siemens S7-300 PLC, which includes a digital output module (S7-300 DO16xDC24V/0.5A/30W) and a digital input module (S7-300 DI16xDC24V/0.5A/30W). The PLC is also connected to a digital input module (S7-300 DI16xDC24V/0.5A/30W). The motor is a Herring 11111. The diagram includes various safety components like fuses, switches, and relays. The PLC is labeled 'Siemens S7-300' and the motor is labeled 'Herring 11111'.

Testipöydän sähkökuvat osa 5



Testipöydän sähkökuvat osa 6

