

Minna Ennari

Servomootoreiden hyödyntäminen opetuskäytössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

23.3.2018

Tekijä Otsikko	Minna Ennari Servomootoreiden hyödyntäminen opetuskäytössä
Sivumäärä Aika	23 sivua + 2 liitettä 23.3.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	Lehtori Kristian Junno
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli perehtyä servomootorien ja ohjelmoitavien logiikoiden toimintaan. Lisäksi tavoitteena oli laatia työohje, jonka kautta opiskelijat voivat tutustua servomoottorin käyttöön simulaation avulla.</p> <p>Työn toteutuksessa tutustuttiin ensin servomootoreihin ja niitä ohjaaviin logiikoihin kirjallisuuden avulla ja laadittiin tästä osuudesta selkeä kooste.</p> <p>Kokeellisessa osuudessa perehdyttiin käytännössä Sysmac Studio -ohjelmiston käyttöön erillisen fyysisen ohjelmoitavan logiikan kanssa. Kun tämän käyttö hallittiin, niin laboratoriossa perehdyttiin Omronin R88M-G10030H-S2-D-tyyppisiin vaihtovirtaservomootoreihin. Työssä tutustuttiin myös kyseisiä servomootoreita ohjaavaan Sysmac Studio -ohjelmistoon perusteellisesti.</p> <p>Lopuksi laadittiin opiskelijoille työohje, jonka aiheena on kolmion piirtäminen simuloidulla servomoottoriryhmällä. Työn perusteella opiskelijat pystyvät käyttämään simulointilaitteistoa ja tutustumaan servomoottorin sekä ohjelmoitavan logiikan käyttöön käytännössä.</p> <p>Työssä mietittiin myös mahdollisia parannusideoita, joiden avulla esimerkiksi opiskelijat voisivat oppia ymmärtämään vielä laajemmin tai syvällisemmin servomoottorin toimintaperiaatteita sekä niiden käyttöön liittyviä mahdollisia käytännön ongelmia, haasteita tai etuja.</p>	
Avainsanat	Servo, opetus, Sysmac Studio

Author Title	Minna Ennari Utilizing Servomotors in Teaching
Number of Pages Date	23 pages + 2 appendices 23 March 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Professional Major	
Instructors	Kristian Junno, Senior Lecturer
<p>The purpose of this graduate study was to get to know the operation of servomotors and programmable logics. In addition, the aim was to produce practical work instructions that allow students to familiarize themselves with the servomotor by using simulation.</p> <p>In the theoretical implementation of the work, first the servomotors and the programmable logics were studied theoretically, and a clear synthesis was written.</p> <p>In the experimental section, separate physical programmable logics were used to practice using the Sysmac Studio software. Later the Omron's R88M-G10030H-S2-D AC servomotors were studied in the laboratory. This graduate study also covers a detailed introduction to the use of the Sysmac Studio software that controls Omron's servomotors.</p> <p>Finally, practical work instructions were prepared for the students about drawing a triangle with a simulated servomotor group. Based on the work instructions the students will be able to use the simulation equipment and learn how to use the servomotors and programmable logics in practice.</p> <p>Possible improvement ideas were also considered in this graduate study. These would allow students, for example, to learn more comprehensively or more deeply about the operating principles of the servomotor and the potential practical problems, challenges or benefits associated with their use.</p>	
Keywords	Servo, teaching, Sysmac Studio

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ohjelmoitavat logiikat	1
2.1	Yleisesti	1
2.2	Historia	2
2.3	Komponentit	2
2.4	Ohjelmointikielet	2
3	Servotekniikka	3
3.1	Historia	3
3.2	Servomoottorin rakenne	4
3.3	Takaisinkytkentä	7
3.4	Säädin	8
3.5	Vahvistin	8
3.6	Käyttökohteet	9
4	Käytännön työ	9
4.1	Laitteisto	9
4.2	Laitteiston käyttöönotto	14
4.2.1	Kytkenät	14
4.2.2	Ohjelmiston asennus	15
4.2.3	Ohjelmiston käyttöönotto: Aloitusruutu	15
4.2.4	Ohjelmiston käyttö: Ohjelmaruutu	16
4.2.5	Käytettävän laitteiston konfigurointi	16
4.2.6	Projektin nimeäminen	16
4.2.7	EtherCAT asetukset	16
4.2.8	Ohjelmoitavan logiikan kokoonpano	17
4.2.9	I/O-kartan määrittely	17
4.2.10	Asetukset kohdassa ”Controller setup”	18
4.2.11	Servon asetukset	19
4.2.12	Servon liikeprofiiliasetukset	19
4.2.13	Hälytykset	19
4.2.14	Tehtäväasetukset	19
4.2.15	Servojen liikkeiden simulointi	20

5	Servojen ohjaus	20
5.1	Servolukkojen kytkeminen päälle	20
5.2	Servon kotiinajo	20
5.3	Servojen ohjaus asemasta toiseen	20
5.4	Servojen interpolaatio	21
5.5	Vianetsintä	21
6	Työohjeen tekeminen	21
7	Yhteenveto	22
7.1	Työn tulokset	22
7.2	Parannusehdotukset	22
	Lähteet	23
	Liitteet	
	Liite 1. Työohje: Kolmion piirtäminen simuloidulla servoryhmällä	
	Liite 2. Ratkaisu työohjeeseen: Kolmion piirtäminen simuloidulla servoryhmällä	

Lyhenteet

DNS Domain Name System. Internetin nimipalvelujärjestelmä.

PI-säädin Proportional-integral-säädin.

PID-säädin Proportional-integral-derivative-säädin.

PLC Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.

USB Universal Serial Bus. Sarjamuotoinen väylä, jonka kautta laitteet ovat yhteydessä toisiinsa.

1 Johdanto

Työn tarkoituksena oli perehtyä servomoottorien ja ohjelmoitavien logiikoiden toimintaan sekä laatia työohje, jonka avulla opiskelijat pystyvät tutustumaan servomoottorin käyttöön simulaation avulla.

Tämä toteutettiin tutustumalla ensin kirjallisuuden avulla servomoottoritekniikkaan ja ohjelmoitaviin logiikoihin ja laatimalla sitten kattava yhteenveto tästä aineistosta. Tämän jälkeen harjoiteltiin ohjattavien logiikoiden käyttöönottoa yksinkertaisen harjoitusjärjestelmän avulla. Seuraavaksi tutustuttiin Metropolian Ammattikorkeakoulun automaatiolaboratoriossa laitteistoon, jossa servomoottorilla ohjattiin kahta xy-tasossa liikkuvaa kiskoa. Työn viimeisenä vaiheena opiskelijoille laadittiin työohjeet, jossa harjoitellaan simuloitun servoryhmän käyttöä. Näin ollen opiskelijat oppisivat sekä servoryhmien käyttöä sekä servomoottorien simulointia.

Lopuksi pohdittiin vielä, miten tätä työtä voisi parantaa ja mitkä olivat työn rajoitukset.

2 Ohjelmoitavat logiikat

2.1 Yleisesti

Ohjelmoitava logiikka (Programmable logic controller, PLC) tarkoittaa pienikokoista digitaalista tietokonetta, jonka avulla voidaan ohjata reaaliajassa automaatioprosesseja. PLC soveltuu erityisesti joustavien ja mukautettujen valmistusprosessien, esimerkiksi kokoonpanolinjojen tai robottilaitteiden ohjaamiseen. Lisäksi sen avulla voidaan tehokkaasti suorittaa toimintoja, jotka edellyttävät luotettavaa valvontaa, ohjelmoinnin helpoutta tai joihin sisältyy vianmääritysprosesseja. (Salila 2015: 5.)

PLC:n avulla on pystytty luopumaan isoista ja monimutkaisista sähkömekaanisia kytkimiä eli releitä ja erilaisia ajastimia sisältäneistä järjestelmistä (Salila 2015: 6).

2.2 Historia

Ensimmäinen kaupallinen ohjelmitava logiikka (Programmable logic controller, PLC) MODICON 084 valmistettiin 1960-luvun lopulla. Modicon tulee sanoista MOdular DIgital CONtroller. Modicon-tuotteita on edelleen markkinoilla, vaikka rinnalle on tullut useita muita tuotteita. Alun perin ohjelmitavia logiikoita käytettiin autoteollisuudessa, mutta nyt käyttö on laajentunut lähes kaikille toimialoille, joissa automaatiota voidaan käyttää hyödyksi. (Hendricks 2002.)

2.3 Komponentit

Ohjelmitavassa logiikassa keskeisenä komponenttina on mikroprosessori. Laitteeseen voi mukautuvasti liittää erilaisia lisälaitteita, joko modulaarisia tai integroituja tulo- ja lähtöporttien kautta. Tulo- ja lähtöportteja kutsutaan yleisesti sanoilla ”tulo” ja ”lähtö”. Kyseisiin portteihin kytketään erilaisia laitteita, esimerkiksi mittalaitteita kuten antureita tai toimintalaitteita riippuen järjestelmän tarpeista ja rakenteista. (Salila 2015: 8.)

2.4 Ohjelmointikieliet

PLC sisältää muistissaan ohjelman, jolla se ohjaa toimintaansa. PLC:n ohjelmoinnissa on käytetty erilaisia ohjelmointikieliä, jotka on valinnut kulloinenkin laitteen valmistaja. Näistä kielistä nykyisin eniten käytettyjä ovat kansainvälisen standardin IEC 61131-3 toteuttavat viisi ohjelmointikieltä: FBD (Function Block Diagram), LD (Ladder Diagram), ST (Structure Text), IL (Instruction List) ja SFC (Sequential Function Chart). (Urpunen 2014: 9.)

Tässä työssä käytetään LD-ohjelmointikieltä. Kyseinen ohjelmointikieli on jo pitkään ollut käytössä PLC-järjestelmissä, sillä jo Modicon käytti sitä. Ladder-kielen historiaa ei täysin tunneta, mutta se on luultavimmin peräisin Saksasta, jossa se on aikoinaan kehitetty todennäköisimmin kuvaamaan relepiirejä. Ohjelman reunoilla sijaitsevat pystypalkit muistuttavat jännitekiskoja ja muodostavat tikapuiden pystypalkit. Tikapuun vaakapalkit taas muodostuvat ohjelmalohkoista, jotka sisältävät mm. käskyjä tai ehtoja. Ohjelmisto

käyttää niin kutsuttua tikapuulogiikkaa eli perustuu "if...then" ("jos...niin sitten") -rakenteisiin. Ladderia käytetään vieläkin paljon, sillä se on helppo ja tarkka kieli. (Hendricks 2002.)

3 Servotekniikka

Servotekniikka perustuu servomootoreiden käyttöön. Servo-nimitys tulee latinan sanasta "servus", joka tarkoittaa palvelijaa. Servomootoreilla tarkoitetaan moottorityyppejä, jotka ovat säädettyjä ja takaisinkytkettyjä. Kyseisellä järjestelmällä voidaan saavuttaa suuri toimintatarkkuus nopeasti. Tyypillisesti kytkennät ja säädöt koskevat virtaa, nopeutta, asentoa, vääntömomenttia, voimaa tai kiihtyvyyttä. Servomootorit voivat olla joko DC- tai AC-sähkömootoreita, joista AC-mootorit ovat nykyisin yleisempiä. Aikaisemmin DC-mootorit olivat kahdesta moottorityypistä yleisempiä. (Fonselius ym. 1998: 7.)

Servomootori asennetaan yleensä osaksi isomman prosessin ohjaus- tai säätöjärjestelmää, esimerkiksi teollisuusrobotin käytössä. Servomootorin virheetön toiminta on tärkeää koko prosessin toimivuuden kannalta. Yleensä servomootorit ovat luotettavia, sillä niissä säännöllistä huoltoa vaativat vain laakerit. Servomootorin fyysiseen suoritukseen vaikuttaakin eniten laakereiden kunto sekä laakerirasvan laatu ja määrä. Tavallisimmat servomootoreiden toimintaan liittyvät ongelmat johtuvat kuitenkin ohjauslogiikassa tehdyistä virheistä. (Fonselius ym. 1998: 7.)

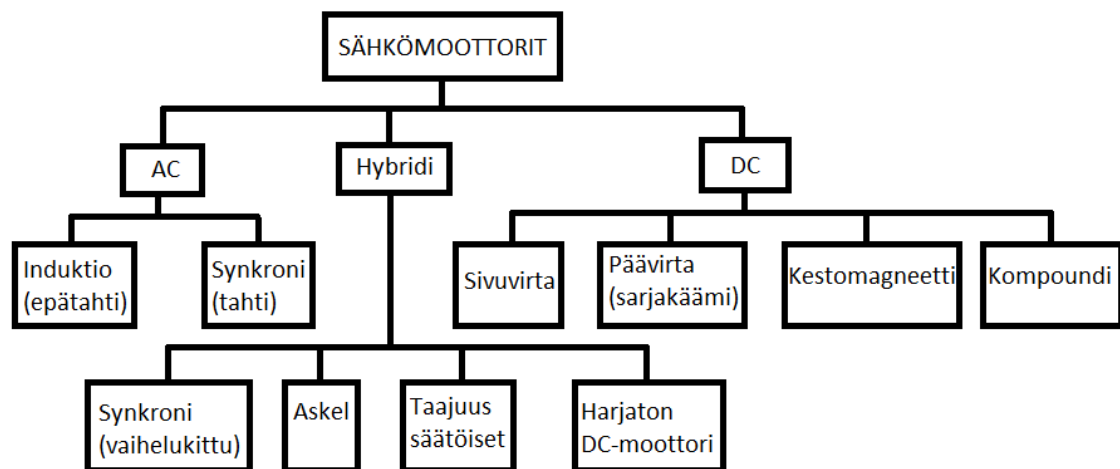
3.1 Historia

Toisen maailmansodan aikana vuosina 1939–1945 servotekniikkaa alettiin käyttämään sotateknikassa mm. lentokoneissa, tutkissa ja ohjuksissa, missä moottorilta tarvittiin tarkkaa paikoitusta ja nopeaa liikettä. Teollisuudessa prosessiteollisuuden venttiilit ja kopiotyöstökoneet olivat ensimmäisiä servotekniikan käyttökohteita. Myöhemmin servotekniikan sovelluksia tuli seuraaville käyttökohteille: teollisuusrobotit, sahaus- ja hitsausautomaatit ja CNC-koneet. Viimemainittujen nimi tulee sanoista Computer Numerical Control eli tietokoneistettu numeerinen ohjaus. Se merkitsee esimerkiksi työstökoneen ohjaamista yksiselitteisillä symboleilla, joista kyseisen työstökoneen ohjauselektroniikka osaa

antaa ohjeet, joiden avulla servomootorit suorittavat halutut liikkeet. Tämän kaltaista ohjausta käytetään monissa metalliteollisuuden koneissa, esimerkiksi sorveissa, jyrsimissä, porissa ja polttoleikkauskoneissa. Uusimpia servotekniikan sovellusaloja löytyy kappaleenkäsittely- ja kappaletavara-automaatiosta, esimerkiksi kappaleita siirretään servomootoreiden avulla. Aiemmin käytettiin hydraulisia ja pneumaattisia servojärjestelmiä, mutta sähköiset järjestelmät ovat lähes kokonaan syrjäyttäneet ne nykyisin. Mikro-tietokoneiden kehitys on tuonut mahdolliseksi rakentaa itsestään säätyviä eli älykkäitä servojärjestelmiä. (Fonselius ym. 1998: 7.)

3.2 Servomootorin rakenne

Servomoottori voi olla joko tasavirtaservomoottori (DC-servomoottori), vaihtovirtaservomoottori (AC-servomoottori) tai hybridi. Eri moottorityypit on esitetty Kuva 1 pääpiirteisään. Kuva 2 on esitetty tyypillisen DC-servomootorin rakenne. (Fonselius ym. 1998: 140.) Kuva 3 taas on harjattoman vaihtovirtaservomootorin rakenne. (SKS 2017.)

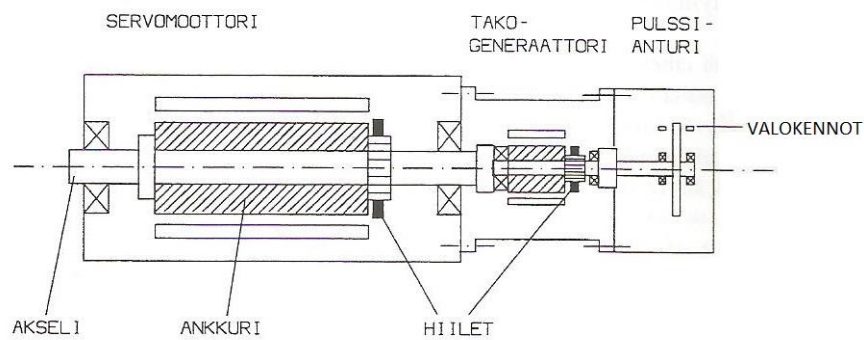


Kuva 1. Eri sähkömoottorityypit pääpiirteittäin.

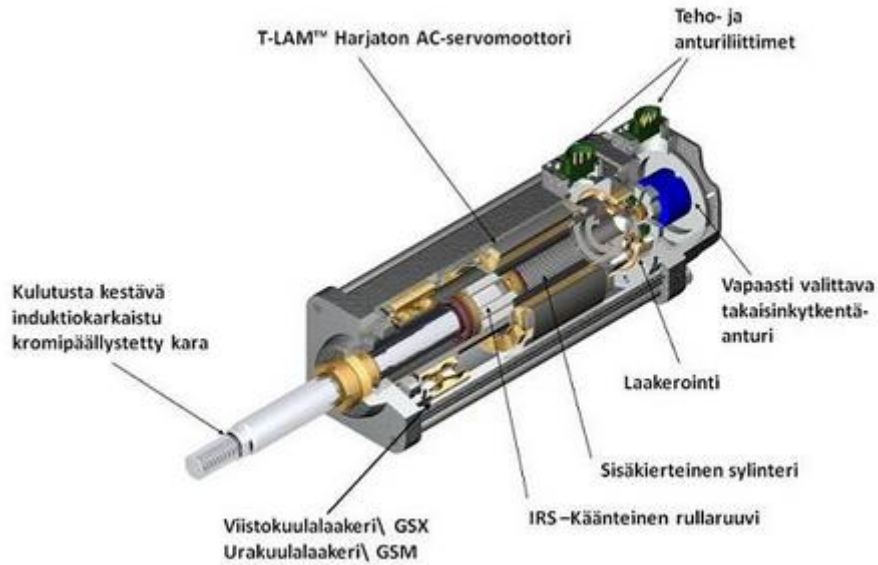
Servomoottori voi toimia hydraulisesti, pneumaattisesti tai sähköisesti. Tässä työssä tutustuttiin sähköisesti toimivaan servomoottoriin. Sähköisten servojen käyttö on yleistynyt sen käyttöhinnan laskemisen myötä viime vuosina. Sen hyötyjä pneumaattisen tai hydraulisen servon käyttöön verrattuna ovat edullisen hinnan lisäksi mm. parempi hyötysuhde ja soveltuvuus koviin nopeuksiin sekä suurta tarkkuutta vaativiin sovelluksiin. Lisäksi sähköservomootoreita varten ei tarvitse tuottaa paineilmaa eikä hydraulinesteen

tilavuusvirtaa, toisin kuin pneumaattisissa ja hydraulisissa moottoreissa. (Fonselius ym. 1998: 10.)

Koska tässä työssä tutustuttiin sinimuotoisella vaihtovirralla ohjattavaan AC-servomoottoriin, niin tarkastellaan sen rakennetta tarkemmin. AC-servomoottorin muodostavat tavallisesti seuraavat komponentit: kolmivaihemoottori, takaisinkytkentäanturi, taajuusmuuntaja ja ohjaus- sekä säätöyksikkö, joka sisältää käyttöliittymällä ohjattavan logiikan. Servomoottorilla ohjattavaa laitetta kutsutaan toimilaitteeksi, ja niitä voivat olla esimerkiksi erilaiset moottorit tai sylinterit. (Fonselius ym. 1998: 145.)



Kuva 2. Tavallisen tasavirtaservomoottorin rakenne. (Fonselius ym. 1998: 10.)



Kuva 3. Harjattoman vaihtovirtaservomoottorin rakenne. (SKS 2017).

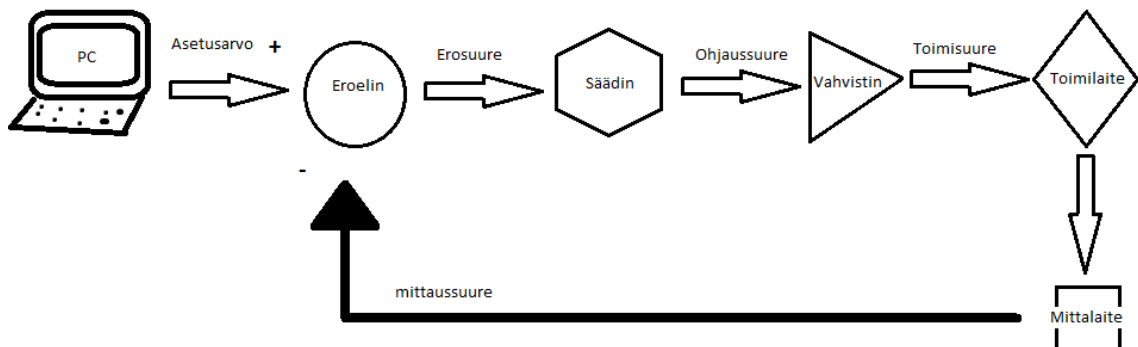
Markkinoilta löytyy hyvin erilaisia AC-servomootteja. On tärkeää valita oikean kokoinen ja tyyppinen servomoottori sen käyttökohteen perusteella. Tyypin valinnan joutuu yleensä tekemään itse, mutta koon valintaan on nykyään mahdollista saada apua erilaisista tietokoneohjelmista.

AC-servomoottori voi olla tahtimoottori eli synkronimoottori tai epätahtimoottori eli asynkronimoottori. Näistä ensin mainitussa kestopäällystetyn avulla synnytetään roottoriin magneettikenttä. Epätahtimootteissa vaihteleva magneettivuoto aikaansaa roottorin oikosulkuutangoissa virran ja toivotun suuruisen magneettikentän. Epätahtimoottorissa ei ole maksimitehorajoitusta, mutta roottorin kulma-asennon mittaus on tehtävä erityisen tarkasti. Lisäksi liikkeen ohjaus on monimutkaisempaa kuin tahtimoottoria käytettäessä. Moottori voi olla harjallinen tai harjaton. (Halme & Parikka 2005: 6; Fonselius ym. 1998: 145.)

3.3 Takaisinkytkentä

Takaisinkytkentä on oleellinen osa servotekniikkaa, ks. Kuva 4. Yleensä systeemiin voidaan syöttää tavoitearvoja, joiden pohjalta servo-ohjain laskee säätöarvot, jotka lisätään summauksella tai erotuksella ohjaussignaaliin. Takaisinkytkennässä toimilaitteen sijaintiedon signaali tulee takaisin servo-ohjaimelle. Mittauksissa voidaan käyttää erilaisia laitteistoja. Esimerkiksi nopeuden mittaamiseen käytetään tavanomaisesti takogeneraattoria ja aseman mittaamiseen käytetään yleensä potentiometriä tai pulssianturia. Signaaliprosessori vertaa tavoite- eli ohjearvoja takaisinkytkentäarvoihin ja laskee eroarvon eli kuinka moottoria tulee säätää, jotta arvojen erotus saadaan nolaksi mahdollisimman nopeasti. Servovahvistin vastaanottaa tiedon tarvittavasta säädöstä ja antaa virtaa sekä jännitettä moottorille säätöä varten eli muuntaa eroarvon ohjausarvoksi. Säättöjärjestelmä pyrkii pitämään tavoitearvon ja takaisinkytkentäarvon erotuksen eli niin sanotun erosignaalin arvon nollassa jolloin ohjesignaalilla ja takaisinkytkentäsignaalilla on sama arvo. (Halme & Parikka 2005: 6; Fonselius ym. 1998: 155.)

Servo voi olla asema-, nopeus-, voima- tai momenttiservo sen mukaan, mikä on säädettävänä suureena. Takaisinkytkentöjä voi olla useampia samassa systeemissä, mikä lisää servomoottorin tarkkuutta. (Fonselius ym. 1998: 7.)



Kuva 4. Kaaviokuva takaisinkytkennän toimiperiaatteesta. Ohjaussignaali on joko analoginen tai digitaalinen.

Takaisinkytkennän haittoina mainittakoon, että systeemille voi tulla taipumus värähtelyyn, mitä voidaan vähentää virittämällä säätöjärjestelmät oikealla tavalla, mistä johtuen esimerkiksi oikeiden säätöparametrien valinta on oleellista. Tässä säätötekniikan tuntemus on tärkeää. (Fonselius ym. 1998: 11.)

3.4 Säädin

Säätimen valinta on tärkeää tehdä tarpeen mukaisesti. Yleisesti PI- tai PID-säätimiä käytetään asemäsäätöjen toteuttamisessa. PI-säätimen nimi tulee sanoista proportional-integral-säädin ja PID-säätimen nimi tulee sanoista proportional-integral-derivative-säädin. Teollisissa sovelluksissa PID-säädin on suositumpi kuin PI-säädin. Tämä johtuu siitä, että PID-säätimellä on yksinkertainen rakenne, mikä johtaa hinnaltaan edulliseen ja helppokäyttöiseen toteutukseen sekä ylläpitoon. Jotta mekaaniset joustot eivät johda epästabiliin systeemiin, tulee asema-anturi sijoittaa niin lähelle moottoria kuin mahdollista.

Jos aseman lisäksi säädetään myös moottorin kulmanopeutta samanaikaisesti, niin se voidaan tehdä kaskadisäätöpiirillä. Kaskadisäädöksi kutsutaan säätöpiiriä, jonka säätöjärjestelmässä on sisäkkäisiä säätösilmukoita kaksi kappaletta. Moottorin kulmanopeuden säätö sijaitsee tavanomaisesti servomoottorin vahvistimessa. Nopeusdata saadaan derivoimalla asemasignaali tai mittaamalla se takogenaattorilla, joka pitää asetta hyvin jäykästi ja tiukasti servomoottorin akseliin kiinni. Käytettäessä kaskadisäätöä aseman ja moottorin kulmanopeuden säätöön, voidaan asema-anturi laittaa mittauskohteeseen, vaikka sillä olisi etäisyyttä moottoriin. Tällaisen järjestelmän absoluuttinen tarkkuus on erinomainen, vaikkakin säätäminen hidastuu.

Nopeuden säätöpiiri voi olla P-säätöpiiri, mutta jos halutaan liikutella painavia esineitä ja tavoitellaan erinomaista suorituskykyä, kannattaa säätöpiiriin lisätä D-termi. (Harju & Marttinen 2000.)

3.5 Vahvistin

Vahvistimen valinnassa kannattaa kiinnittää eniten huomiota valittuun moottoriin. Esimerkiksi moottorin huippuvirran ei tule aiheuttaa vahvistimelle liiallista ylikuormitusta siitä huolimatta, että vahvistimen virranrajoitin pitää huolta siitä, ettei vahvistin yleensä rikkoudu ylikuormitustilanteessa. Näin olleen vahvistin kestää jatkuvan nimellisvirran lisäksi hetkellistä huippuvirtaa. (Fonselius ym. 1998: 172.)

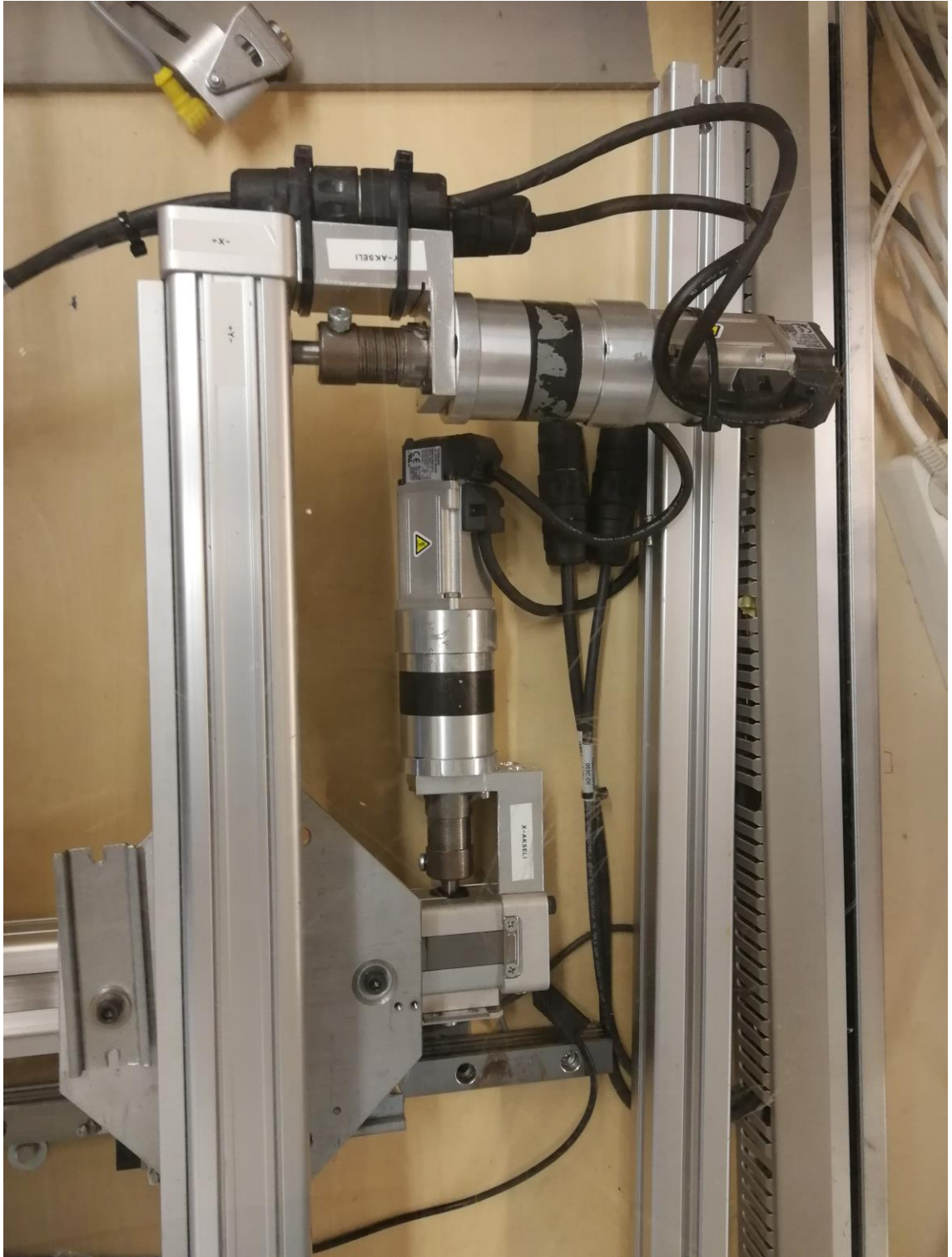
3.6 Käyttökohteet

Servotekniikkaa käytetään mm. autojen vakionopeudensäätimissä sekä ohjaustehostimissa, liikkeenohjaimissa esimerkiksi NC-työstökoneiden akseleissa, metalliteollisuuden koneissa. kappaleautomaatiossa, radio-ohjattavissa laitteissa sekä lentokoneiden fly-by-wire-ohjausjärjestelmissä. Mikrotietokoneet, ohjelmoitavat logiikat ja liikeohjaimet, servo-ohjaimet ja servomootoriajurit ja askelmoottorit ovat tehneet servotekniikan käytöstä aiempaa helpompaa. (Fonselius ym. 1998: 7.)

4 Käytännön työ

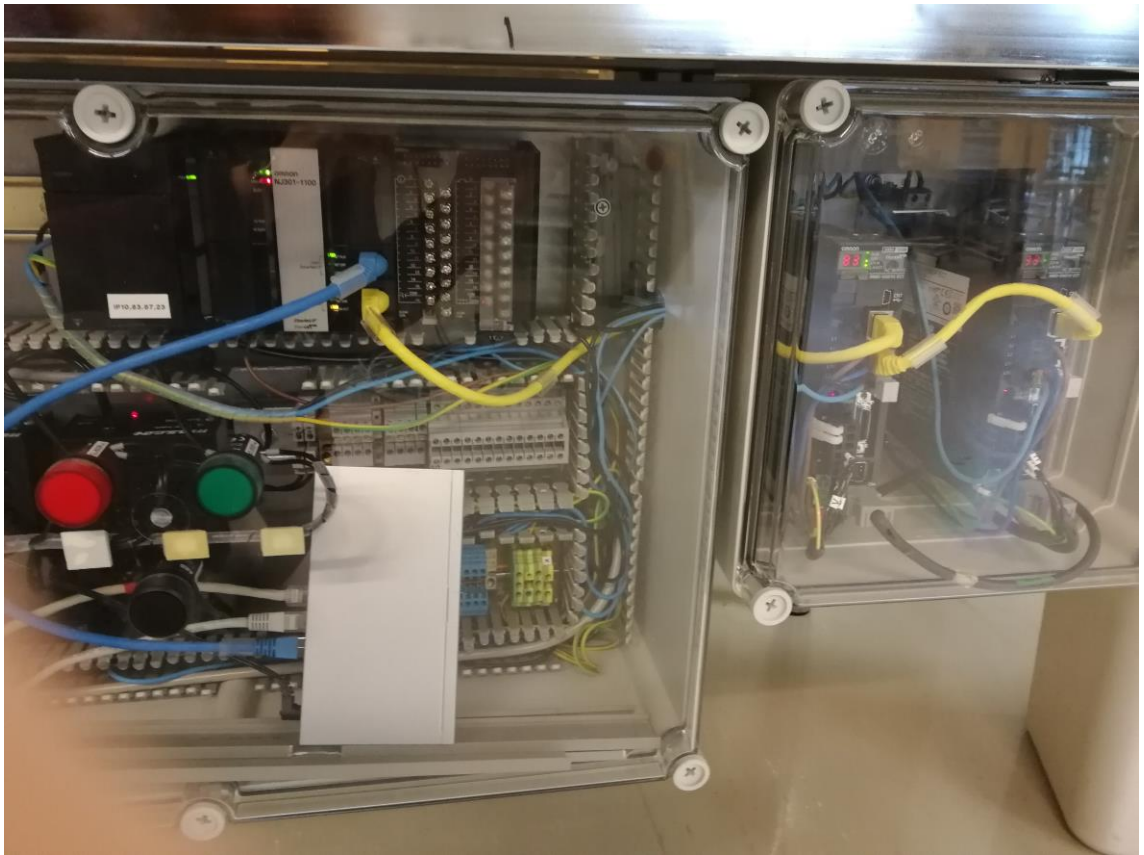
4.1 Laitteisto

Käytännön työ tehtiin Metropolian Leiritien toimipisteen automaatiolaboratoriossa. Työn tämän osuuden tarkoituksena oli tutustua servomoottorien toimintaan käytännössä. Tutustumisen kohteena olleet servomoottorit pystyivät liikuttamaan xy-tasossa sijainneita kiskoja. Servomoottorit ja kiskot näkyvät laitteistosta otetussa valokuvassa (Kuva 5). Servomoottorit olivat Omronin R88M-G10030H-S2-D-tyyppisiä vaihtovirtamoottoreita. Kyseiset servomoottorit olivat liitetty suoraan kiskoihin.



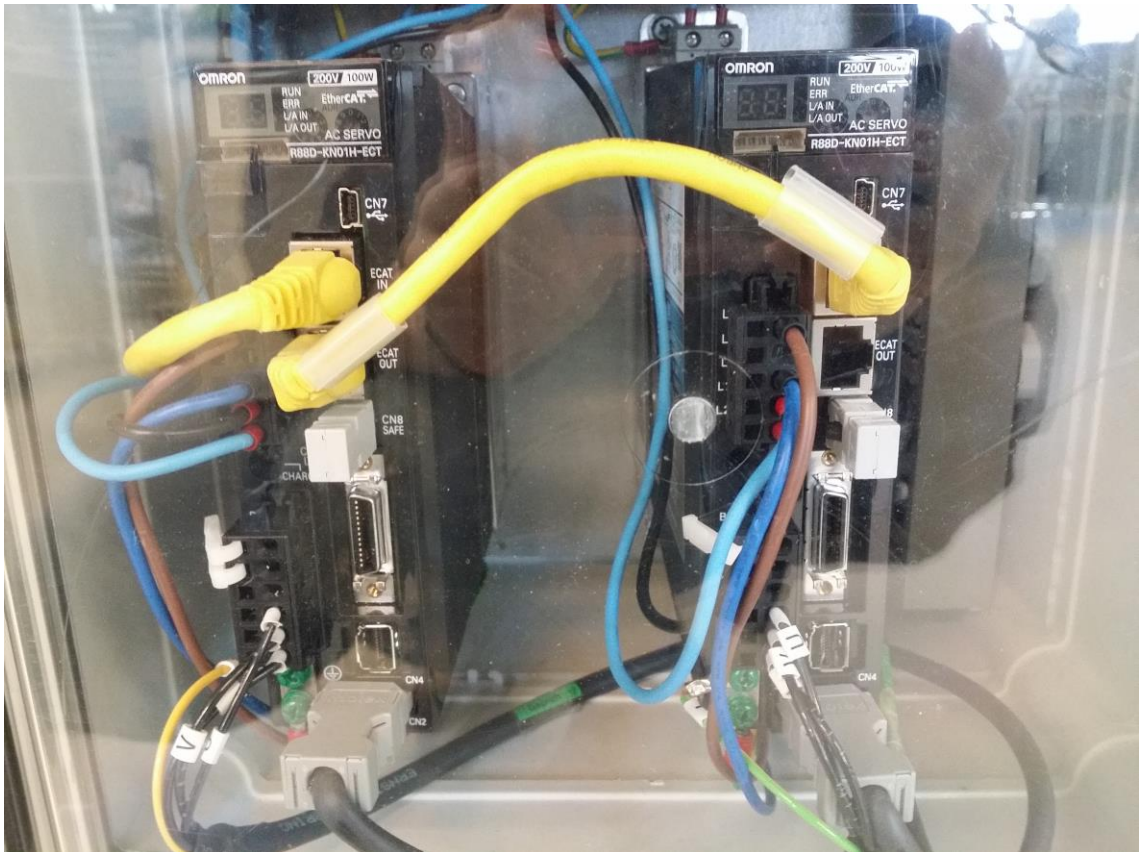
Kuva 5. Kuvassa on keskellä näkyvissä servomootorit x- ja y-tasossa. Ne liikuttavat reunoilla olevia kiskoja vastaavissa tasoissa.

Servomootoreita ohjattiin moottoriohjaimilla, jotka oli kytketty ohjelmoitaviin logiikoihin (Kuva 6). Moottoriohjaimet ovat suojattuna ohjauskaapeissa jotka sijaitsevat servomootoripöydän alla.



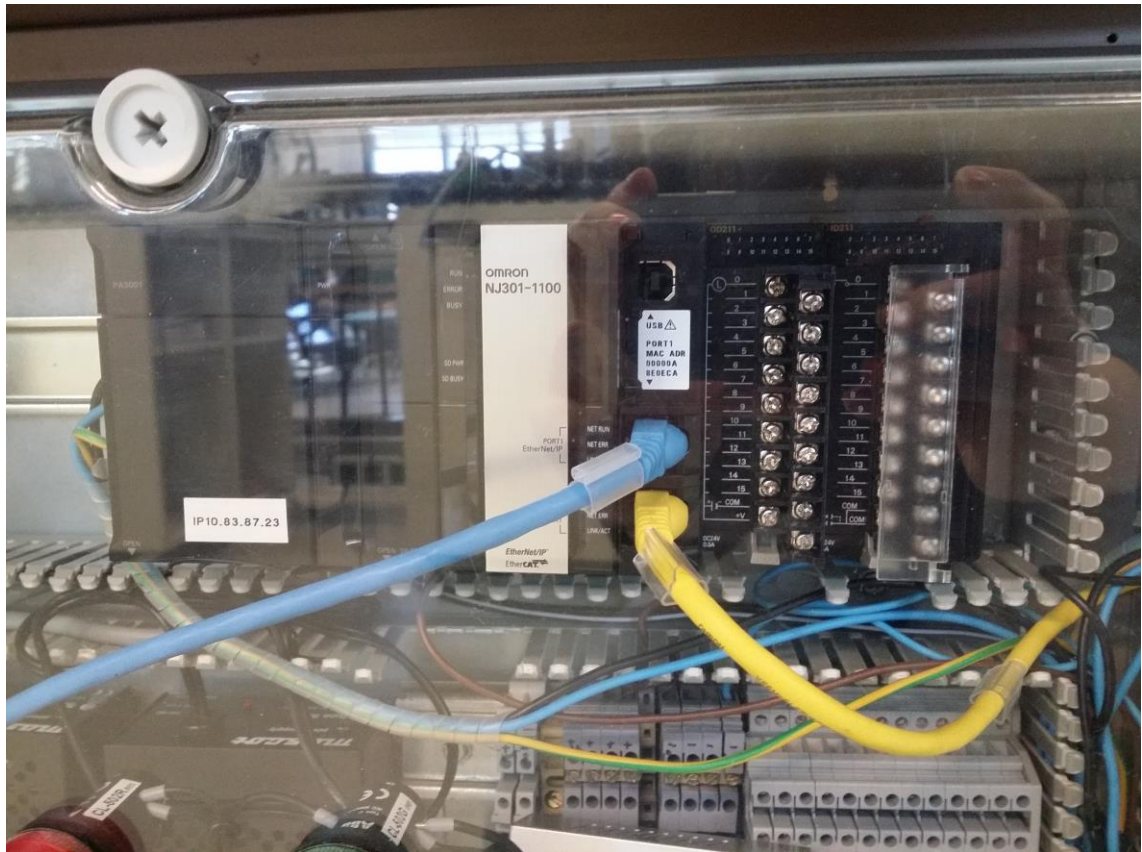
Kuva 6. Kuvassa näkyvät oikealla servomootorin ohjaimet ja vasemmalla ohjelmoitava logiikka. Laitteisto on muovilla suojatussa tilassa pöydän alle kiinnitettynä.

Kuva 7 nähdään servomootoreiden moottoriohjaimet ja niistä lähtevät kaapelit lähikuvassa. Servo-ohjaimet tarvitsevat kaapelit sähkövirtaa, servomootoreiden ohjaamista sekä ohjelmoitavalta logiikalta tulevaa signaalia varten.



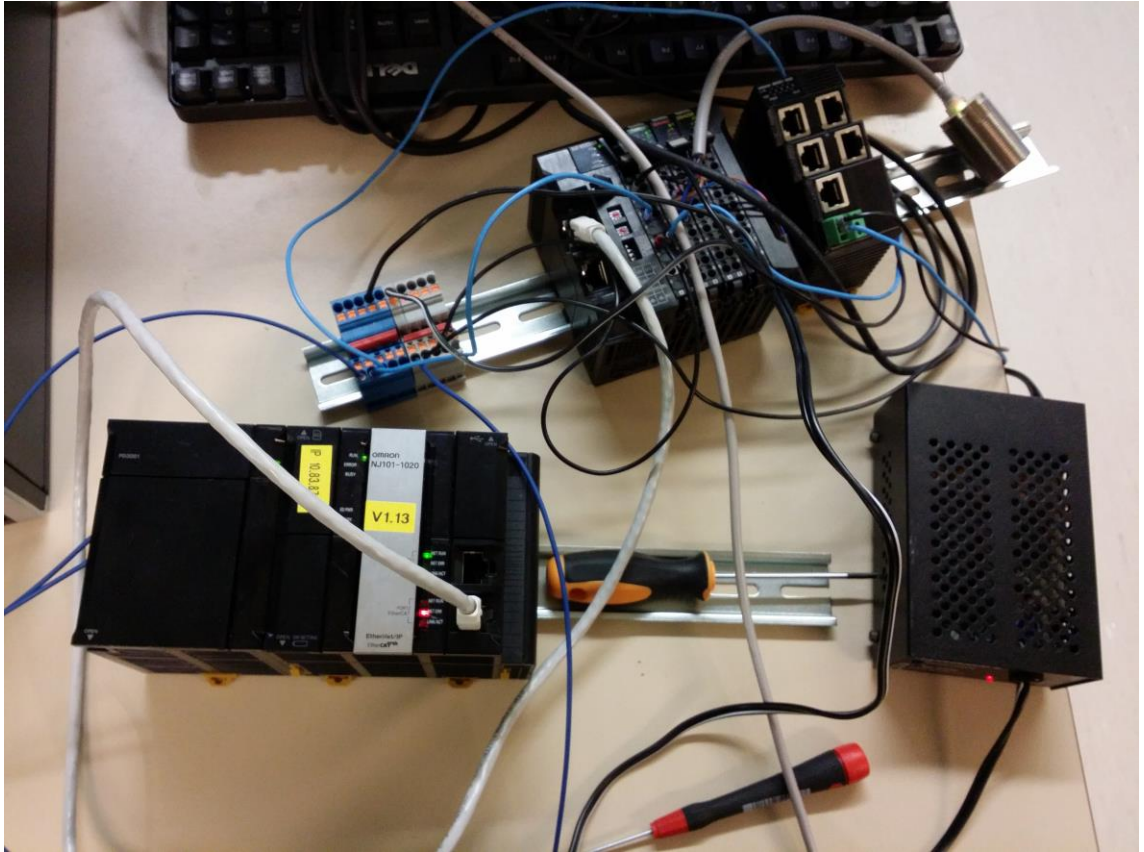
Kuva 7. Kuvassa näkyvät servomoottoreiden ohjaimet. Ne on yhdistetty toisiinsa keltaisella kaapelilla muodostaen EtherCAT-piirin ohjelmoitavan logiikan kanssa. Mustat kaapelit kuvan vasemmasta ja oikeasta alalaidasta johtavat servomoottoreille. EtherCAT-kaapeleiden lisäksi siniset kaapelit vievät tietoa ohjelmoitavalle logiikalle.

Ohjelmoitavasta logiikasta on lähikuva (Kuva 8). Ohjelmoitavalla logiikalla oli yhteys pc-tietokoneeseen, jossa sijaitsi sitä ohjaava ohjelmisto. Tietokone voidaan yhdistää ohjelmoitavaan logiikkaan suoraan USB-liittimellä tai automaatioverkon avulla, johon on kytketty sekä tietokone että logiikka tai kuten tässä tilanteessa, Ethernet-kaapelin avulla.



Kuva 8. Lähikuva ohjelmoitavasta logiikasta, joka näkyy kuvassa vasemmalla. Harmaan suoja-
muovin sisällä menevä kaapeli sekä keltainen EtherCAT-kaapeli yhdistää ohjelmoita-
van logiikan ja servomootorin ohjaimen.

Ennen servomootoreihin tutustumista Metropoliaassa perehdyttiin ohjelmoitavan logiikan toimintaan ja ohjelmistoon pienemmällä laitteistolla (Kuva 9). Laitteistossa saatiin ohjauksen avulla digitaalisia input- ja output-tuloja kytkettyä päälle ja pois päältä. Niitä indikoi syttyvä ja sammuva valo.



Kuva 9. Kuva ohjelmoitaviin logiikoihin tutustumisesta. Systeemiin syttyi valo ohjauksen avulla.

4.2 Laitteiston käyttöönotto

Seuraavaksi käydään läpi toiminnot, jotka tarvitaan servomootorilla toimivan systeemin käyttöönottamista varten.

4.2.1 Kytkennät

Laitteiston käyttöönotossa ensimmäinen vaihe on suorittaa kytkennät. Omronin kaikissa NJ-sarjan ohjelmoitavista logiikoissa on Ethernet-, USB-, EtherCAT-liitin sekä SD-muistikortinlukija. Laitteistossa, johon tutustuttiin, käytettiin Ethernet-väylää PC:n ja ohjelmoitavan logiikan välillä ja EtherCAT-kaapelia logiikan ja moottorinohjaimen välillä.

4.2.2 Ohjelmiston asennus

Seuraavaksi tietokoneeseen tulee asentaa Sysmac Studio -ohjelmisto, joka on Omronin valmistama automaatio-ohjelmisto, jolla voidaan ohjata automaatiojärjestelmiä halutulla tavalla. Sysmac Studio on kehitetty NJ-sarjan ohjelmitaville logiikoille. Tässä työssä tutustuttiin juuri NJ-sarjan ohjelmitavaan logiikkaan. Sysmac Studio asennetaan kuten mikä tahansa muukin ohjelmisto Windows-käyttöjärjestelmällä. Ohjelmiston mukana tulevat asennusmedia ja lisenssiavain. Ohjelmitava logiikka löytää Omronin USB-ajurit automaattisesti. Tarvittaessa voidaan ajureiden oikein asentuminen varmistaa laitehallinnan (Device Manager) kohdasta Modems/ OMRON USB DirectLine. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.3 Ohjelmiston käyttöönotto: Aloitusruutu

Ohjelmistoa voidaan käyttää Online-tilassa yhdistettynä ohjelmitavaan logiikkaan tai Offline-tilassa virtuaalisen ohjaimen avulla, jolloin voidaan simuloida logiikan toimintaa.

Ohjelmiston käyttö aloitetaan sen aloitusruudulta, josta voi valita joko "Luo uusi projekti" tai "Avaa vanha projekti". Aloitettaessa uusi työ avataan uusi projekti. Uuden projektin luomisessa syötetään ohjelmistolle projektin ominaisuuksia kuten sen nimi, tyyppi, kategoria, laite, jolla projekti tehdään sekä käytössä olevan version numero. Projektityypeistä esitellään kolme: Standard Project, Library ja IAG-projekti. Näistä ensimmäinen on tavallinen projekti, johon ei voi liittää lisäominaisuuksia. Libraryssa on yksi lisäominaisuus: siinä tehtyjä function blockeja on mahdollista siirtää muihin projekteihin. IAG-projekti eroaa Standard Projectista siinä, että siinä luotuja function blockeja on mahdollista siirtää näyttöprojekteihin.

Projektin avauksen jälkeen yhdistetään tietokone ohjelmitavaan logiikkaan valitsemalla Connect to Controller -valikosta yhteyttä vastaava kohta ja seuraavasta valikosta kohta "Connect". (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.4 Ohjelmiston käyttö: Ohjelmaruutu

Sysmac Studion käyttöliittymässä on seuraavat osat: Työkalurivi, Pääikkuna, Ulostuloikkuna, Toimintaikkuna ja Navigointi-ikkuna. Käyttäjä voi muuttaa ikkunoiden sijaintia ruudulla osoittamalla kursorilla ikkunan otsikkoa ja viemällä sen uuteen kohtaan. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.5 Käytettävän laitteiston konfigurointi

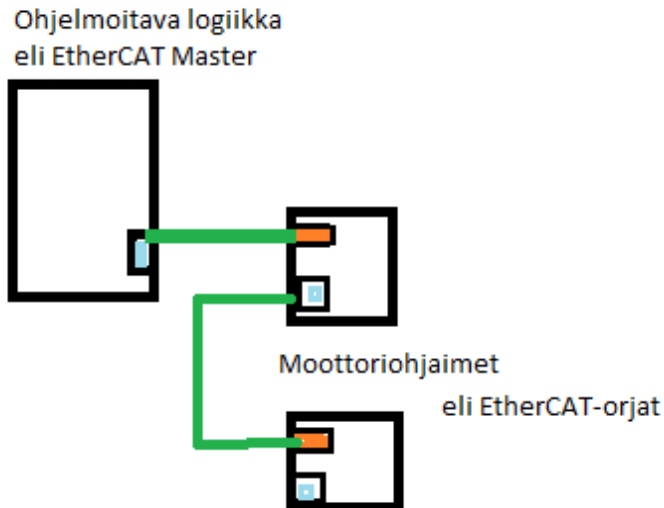
Aluksi määritellään ohjelmistolle käytettävä laitteisto ja verkko. Läpi käydään mm. Ether-Cat-verkon rakenne, ohjelmoitavan logiikan malli, osat sekä toiminta-asetukset, I/O-kartta, akselit ja akseliryhmät, servojen liikeprofiilit, käyttäjän mahdolliset omat virheilmoitukset, ohjelmien tehtäväkategoriat sekä tiedon tallettamiseen liittyvät asiat. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.6 Projektin nimeäminen

Avatessa uusi projekti Sysmac Studio -ohjelmistolla, tulee siihen lisättävät laitteet nimetä "Device Name" -kohdassa. Nimet voi valita vapaasti, mutta ohjelmisto ei hyväksy erikoismerkkejä eikä välilyöntejä. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.7 EtherCAT asetukset

NJ-sarjan ohjelmoitavan logiikan ja moottoriohjainten kommunikointiprotokollasta huolehtii nopea ja tarkasti ajoitettu viestejä lähettävä EtherCAT. Sen asetukset ovat ohjelmistossa "Configuration and Setup" -asetuksien alla, missä on myös nähtävissä kaikki EtherCAT-orjat kuten molemmat moottoriohjaimet. Laitteistossa, johon tässä työssä tutustuttiin, oli moottoriohjaimien verkkotopologiana perinteinen loikkiva ratkaisu eli ketjutettu ratkaisu (Kuva 10). Siinä verkkoa johdetaan aina yhdestä laitteesta seuraavaan. Toinen vaihtoehto olisi ollut ns. tähtiratkaisu, jossa verkko haarautuu useaan eri orjaan. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)



Kuva 10. Kuvassa on perinteinen loikkiva eli ketjutettu verkkotopologia, jota käytettiin tässä työssä. Sisääntuloportti on merkitty punaisella ja tulostuloportti sinisellä. EtherCAT-kaapeli on merkitty vihreällä.

4.2.8 Ohjelmoitavan logiikan kokoonpano

Ohjelmoitavaan logiikkaan on yhdistetty myös virtalähde ja CPU. Sysmac Studioon liitettävät fyysiset ja virtuaaliset I/O-modulit määritetään asetuksien kohdassa "CPU/Expansion rack".

Käytettäessä laitteistoa Online-tilassa saadaan järjestelmä tunnistamaan siihen liitetyt komponentit ja synkronoimaan ne valitsemalla "Compare and Merge with Actual Unit Configuration". Uusi kokoonpano tulee aina synkronoida, jonka jälkeen tulee ohjelmoitava logiikka käynnistää uudestaan. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.9 I/O-kartan määrittely

I/O-modulit määriteltiin jo edellisessä kohdassa "Ohjelmoitavan logiikan kokoonpano". I/O-kartassa kuvataan niitä tarkemmin, mm. tulon/lähdön fyysinen portti, kuvaus, datatyyppi, muuttujan nimi ja sen tyyppi. Lisäksi systeemiin voidaan lisätä tarvittaessa omia muistiinpanoja tai kommentteja.

Muuttujille voidaan asettaa automaattisesti kyseisten laitteiden mukaan nimet ja määritellä ne globaaleiksi muuttujiksi käyttämällä "Create Device Variable"- valintaa. Nimiä voi vaihtaa myöhemmin myös manuaalisesti. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.10 Asetukset kohdassa "Controller setup"

Kohdassa "Controller setup" voi lisätä IP-asetukset ja operaatioasetukset. Viimemainitussa on ohjelmoitavan logiikan käynnistämistä koskevia asetuksia.

TCP/IP-asetuksissa voidaan valita ohjelmoitavalle logiikalle kiinteä IP-osoite, kiinteä IP-osoite BOOTP-serverin osoittamaan osoitteeseen tai IP-osoitteen hakeminen BOOTP-serveriltä. Muille laitteille kannattaa käyttää kiinteitä IP-osoitteita selvyden vuoksi. IP-osoite tarkoittaa numeerista osoitetta, jonka avulla laitteet tunnistavat toisensa.

DNS eli Domain Name System on Internetin palvelujärjestelmä. Se vaihtaa itse nimetyt verkkotunnukset IP-osoitteiksi. Sysmac Studion DNS-asetuksilla voidaan valita jokin DNS-palvelin käyttöön tai pois käytöstä. Jos DNS-palvelin on käytössä, niin sen sekä mahdollisten lisäpalvelimien IP-osoitteet tulee lisätä ohjelmistoon.

"Controller Setup"-asetuksen alta löytyvät

1. TCP/IP-asetukset (Ethernet-verkon asetusten säätö)
2. LINK-asetukset (Ethernet-yhteyden nopeuden säätö)
3. FTP-asetuksista (koneenohjaimen FTP-asetukset)
4. NTP-asetukset (kellojen synkronointiasetukset)
5. SNMP-asetukset (toiminta kuvattu ohjekirjassa W506 13-1)
6. FINS-asetukset (asetukset vanhan Omron-protokollan yhteensopivuuteen)

(NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0).

4.2.11 Servon asetukset

Servojen asetukset syötetään ohjelmaan Motion control -asetuksissa. Eri servovaihtoehdot ohjelmassa ovat servo axis, virtual servo axis, encoder axis sekä virtual encoder axis. Näistä virtual encoder axis ja virtual servo axis tulevat kyseeseen, kun halutaan simuloida servomoottorien toimintaa, vaikka käytössä ei ole fyysisiä laitteistoja. Kaksi muuta vaihtoehtoa eli encoder axis ja servo axis taas edellyttävät, että laitteistossa on fyysiset servot.

Motion Control Setup -valikossa määrittäykset tehdään valitsemalla ensin Axis Setting / Axis Group Setting ja sitten avautuvasta Add-valikosta oikea vaihtoehto. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.12 Servon liikeprofiiliasetukset

Servon liikeprofiilia (esimerkiksi kiihtyvyyttä) koskevat asetukset määritetään Cam Data -valikosta. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.13 Hälytykset

Event Settings -valikossa asetetaan virhekoodit ja tilanteet, joissa halutaan ohjelmiston antavan virrehälytyksiä. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.14 Tehtäväasetukset

EtherCAT-syklissä suoritettavat tehtävät, niiden nopeus ja prioriteetti syötetään ohjelmaan kohdassa Task Settings (tehtäväasetukset). (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

4.2.15 Servojen liikkeiden simulointi

Simulointitilanteissa käytetään Data trace -valikkoa. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

5 Servojen ohjaus

Servot tulee ensin määrittää HW-konfiguroinnissa, jonka jälkeen niitä voidaan ohjata samoin kuin muitakin laitteita. Esimerkiksi Ladder-ohjelmistossa servoja ohjataan Motion Control -valikosta.

5.1 Servolukkojen kytkeminen päälle

Servolukot laitetaan päälle Motion Control -valikon MC_Power-valinnasta. Niiden tulee olla päällä, ennen kuin ohjelma siirtyy muihin toimintoihin. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

5.2 Servon kotiinajo

Servolle määritetään kotiin ohjauksessa kotipiste funktioblokin MC_Home avulla. Konfiguroinnissa voidaan valita menetelmä, jolla akseliksi valittu servo ajetaan kotipisteeseen. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

5.3 Servojen ohjaus asemasta toiseen

Servoja voidaan ohjata asemasta seuraavaan erilaisten funktioiden avulla, joita ovat mm. MC_Move, MC_MoveAbsolute sekä MC_MoveLinear. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

5.4 Servojen interpolaatio

Interpolaatiossa vähintään kahdella servolla saadaan aikaan yhteisliike toivottuun asemaan. Toiminto aloitetaan määrittämällä servoryhmä MC_GroupEnable-funktioblokilla. Näin ohjelmisto saa tietää, mitä akseliryhmää tulee käyttää toiminnossa. Itse interpolaatio tehdään käyttämällä avuksi interpoloivaa funktiota (esimerkiksi MC_MoveLinear -funktiota). Kun interpolaatio lopetetaan, niin akseliryhmä poistetaan käytöstä valinnalla MC_GroupDisable. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

5.5 Vianetsintä

Erilaisten virhekoodien ja ongelmatilanteiden ratkaisut ovat löydettävissä W503 Troubleshooting Manual -ohjekirjasta, joka on osa Sysmac Studioissa automaattisesti mukana olevia manuaaleja.

Ohjelmaa käytettäessä Controller Status -ikkunaan tulee syttyä vihreä valo kohtiin "ON-LINE" (ohjelma on ajossa) ja "ERR/ALM" (ohjelma toimii virheettää). Jos "ERR/ALM"-valo on punainen, niin ohjelma ei pysty etenemään virheen takia. Virheen korjaamisessa voi käyttää Sysmac Studion työkalurivin Troubleshooting-valikkoa, jossa näkyvät virheilmoitukset ja niiden vakavuus. Kohdasta ilmenee myös aiemmat virheilmoitukset ja virhekoodit. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

6 Työohjeen tekeminen

Työohje kirjoitettiin ohjekirja NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual työohjeen "Kolmion piirto simulaattorilla" perusteella. Työohjeen perusteella opiskelijan on tarkoitus käyttää Sysmac Studio -ohjelmistoa simuloidun servoryhmän ohjaukseen. Työohje ja sen ratkaisu ovat liitteenä 1. (NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. Versio 1.0.)

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä perehdyttiin servomoottorien toimintaan ja luotiin työohje, jossa niitä hyödynnetään.

Työn aluksi tutustuttiin ohjelmoitavista logiikoista sekä servomoottoreista kirjallisuudesta löytyvään tietoon. Tämän jälkeen perehdyttiin käytännössä Sysmac Studio -ohjelmiston käyttöön erillisen fyysisen ohjelmoitavan logiikan avulla. Kun tämän käyttö hallittiin, niin laboratoriossa perehdyttiin laitteistoon, jonka servomoottorit olivat Omronin R88M-G10030H-S2-D-tyyppisiä vaihtovirtamoottoreita. Työssä tutustuttiin myös näiden servomoottoreiden ohjauksessa käytettävän ohjelmiston käyttöohjeeseen perusteellisesti.

Lopuksi laadittiin opiskelijoille työohje, jonka aiheena on kolmion piirtäminen simuloitulla servomoottoriryhmällä.

7.1 Työn tulokset

Työn lopputuloksena on selkeä ja kattava teoriaosuus, jossa kuvataan servomoottoreiden ja ohjelmoitavien logiikoiden peruseräatteen. Työstä löytyy myös Omronin Sysmac Studio -ohjelmiston tärkeimmät käyttöohjeet. Lopuksi on laadittu toimiva työohje, jonka avulla opiskelijat pystyvät tutustumaan simuloitun servomoottoriryhmän toimintaan, ohjelmoitavaan logiikkaan sekä Omronin Sysmac Studio -ohjelmiston toimintaan.

7.2 Parannusehdotukset

Työn rajoituksena on, että sen kokeellisessa osuudessa on keskitytty vain Omronin servomoottoreiden sekä niitä ohjaavan Sysmac Studio -ohjelmiston käyttöön. Tämä rajoitus jouduttiin tekemään, jotta työstä ei tulisi liian laaja.

Harjoitusohjeessa annettiin opiskelijoille yksinkertainen tehtävä eikä tutustuttu ohjelmiston poikkeustilanteisiin (kuten vianetsintään) lainkaan. Tämä valinta tehtiin siksi, että haluttiin antaa opiskelijalle ensivaikutelma, että servomoottoreiden käyttäminen on helppoa ja yksinkertaista.

Lähteet

Fonselius, Jaakko. Rinkinen, Jari. Vilenius, Matti. 1998. Koneautomaatio. Servotekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

Halme, Jari. Parikka, Risto. 2005. AC-servomoottori – rakenne, vikaantuminen ja havainnointimenetelmät. VTT. Verkkodokumentti. <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf> Luettu 20.11.2017.

Harju, Timo. Marttinen, Arto. 2000. Sääätötekniikan koulutusmateriaali. Verkkodokumentti. <https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1367/pid_kirja_1-1.pdf> Luettu 2.3.2018.

Morley, Dick. 2002. The History of the PLC. Verkkodokumentti. <<http://www.barn.org/FILES/historyofplc.html>>. Luettu 28.09.2017.

NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual. W500 ohjekirja. Versio 1.0. Omron Corporation.

Salila, Eetu. 2015. PLC-järjestelmien elinkaarianalyysi. Lahden Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

SKS Group Oy:n kotisivut. 2017. Verkkodokumentti. <[http://www.sks.fi/www/images/Exlar%20GSM%20GSX%20rakenne.jpg/\\$FILE/Exlar%20GSM%20GSX%20rakenne.jpg](http://www.sks.fi/www/images/Exlar%20GSM%20GSX%20rakenne.jpg/$FILE/Exlar%20GSM%20GSX%20rakenne.jpg)> Luettu 17.11.2017.

Urpunen, Janne. 2014. Beckhoff logiikan- ja servomoottorihjauksen oppimisympäristön suunnittelu, toteutus ja käyttöönotto. Lapin AMK. Opinnäytetyö.

Työohje: Kolmion piirtäminen simuloitulla servoryhmällä

Tämä työ suoritetaan NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User's Manual -käyttöoppaasta löytyvän harjoituksen 9.3.2 mukaisesti.

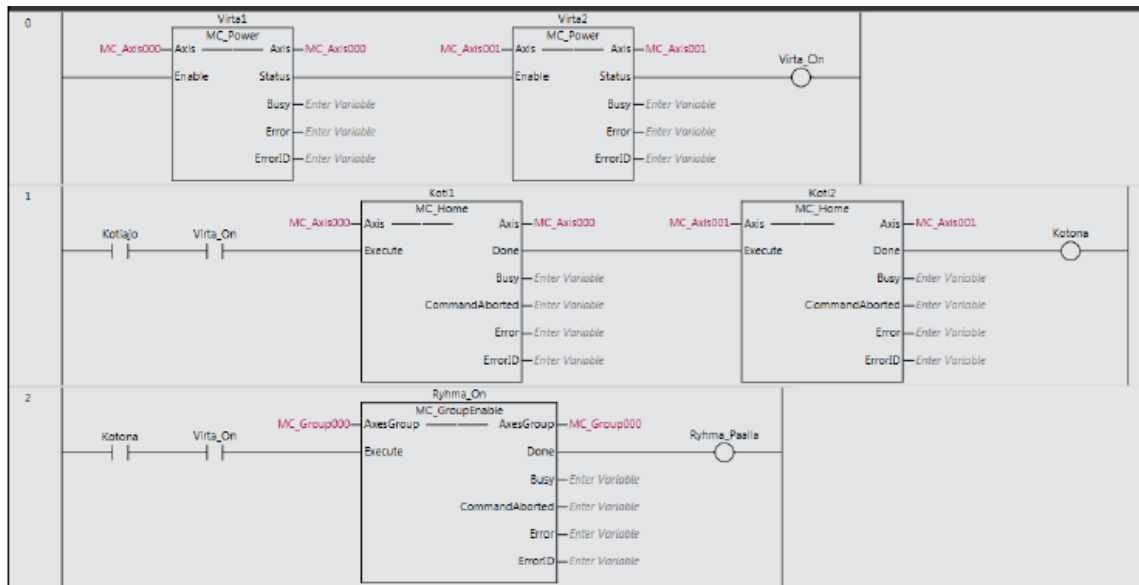
Työssä tulee piirtää kolmion muotoinen geometria simuloitujen servomoottoreiden avulla. Tehtävässä on tarkoitus toteuttaa servomoottoreiden liikkeitä 3D-mallinnusta hyödyntäen. Työssä täytyy määrittää servoryhmä, koska tehtävän onnistumiseen vaaditaan kahta eri koordinaattia jotta kolmion jokainen piste voidaan määrittää ja piirtää.

Kolmion piirtämisessä tarvitaan seuraavat neljä funktioblokkia: MC_Power, MC_Home, MC_GroupEnable ja MC_MoveLinear. Kolmion kärkien koordinaattien tallennuksessa tulee käyttää avuksi blokkia InlineST ja kolmea ARRAY [0...3] OF LREAL -tyyppistä muuttujaa.

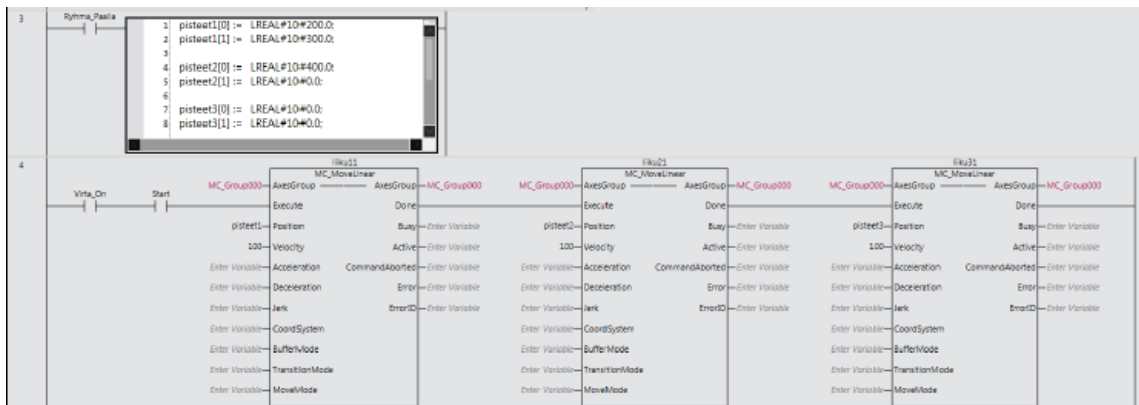
Työselostuksessa tulee kertoa miksi työssä käytettiin servoryhmää yksittäisten servojen sijaan sekä käsitellä ohjelmoitavien logiikoiden ja servomoottorin toimintaperiaatteita.

Ratkaisu työhjeeseen: Kolmion piirtäminen simuloidulla servoryhmällä

Seuraavissa kuvissa 1 - 3 on esitetty ratkaisu liitteen 1 työhjeeseen ”Kolmion piirtäminen simuloidulla servoryhmällä”. Kuvat löytyvät ohjekirjasta NJ-series CPU Unit Built-in EtherCAT Port User’s Manual.



Kuva 1. Kuvassa ovat ohjelman osat, joiden avulla servot saadaan kotipisteeseen ja voidaan käynnistää servoryhmä.



Kuva 2. Kuvassa on InlineST:n avulla määritetty arvot koordinaattitaulukkoon ja MC_MoveLinear-funktio, jonka avulla servomootorit voidaan ajaa haluttujen koordinaattien kautta toivotussa järjestyksessä.

Variables							
Namespace - Using							
Internals	Name	Data Type	Initial Value	AT	Retain	Constant	Comment
Externals	Virta	BOOL			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Virta1	MC_Power			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Virta2	MC_Power			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Virta_On	BOOL			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Kotiajo	BOOL			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Koti1	MC_Home			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Koti2	MC_Home			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Kotona	BOOL			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Ryhma_On	MC_GroupEnable			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Ryhma_Paalla	BOOL			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Start	BOOL			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	liiku11	MC_MoveLinear			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	liiku21	MC_MoveLinear			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	liiku31	MC_MoveLinear			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	pisteet1	ARRAY[0..3] OF LREAL			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	pisteet2	ARRAY[0..3] OF LREAL			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	pisteet3	ARRAY[0..3] OF LREAL			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Kuva 3. Kuvasta ilmenevat työssä käytetyt muuttujat.