

Mika Peltonen

TEKNOLOGIAOBJEKTIN SOVELTAMINEN
LIIKKEENOAJAUKSESSA

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
2019

TEKNOLOGIAOBJEKTIEN SOVELTAMINEN LIIKKEENOHJAUKSESSA

Peltonen, Mika
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2019
Sivumäärä: 52
Liitteitä: 1

Asiasanat: taajuusmuuttaja, ohjelmoitava logiikka, teknologiaobjekti, liikkeenohjaus

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää kuinka TIA Portal ohjelmointiympäristössä olevia teknologiaobjekteja voidaan hyödyntää liikkeenohjauksessa. Työssä oli tavoitteena tutkia teknologiaobjektien hyötyjä ja kuinka teknologiaobjekteja käytetään erilaisissa käytännön tilanteissa.

Opinnäytetyön teoreettinen osuus käsitteli työssä käytettyjä laitteita, niiden rakenteita ja ominaisuuksia. Myös teknologiaobjektien teoria käytiin läpi lähinnä niiden ominaisuuksien ja käyttötarkoitusten osalta.

Käytännön osuudessa tutkittiin, kuinka teknologiaobjekteja pystytään hyödyntämään liikkeenohjauksessa. Tarkemmassa tarkastelussa oli positioning axis -teknologiaobjekti ja sen hyödyntäminen liikeakselin ohjauksessa ja paikoitusajossa.

Työssä perehdyttiin liikkeenohjaukseen teknologiaobjektien avulla käytännön esimerkin kautta. Käytännön toteutuksen kautta huomattiin, että motion control -käsyt on helppo käyttää yhdessä teknologiaobjektien kanssa. Teknologiaobjektit helpottavat toimitettavien laitteistojen käyttöönottoa. Saatuja tutkimustuloksia voidaan mahdollisesti soveltaa Raumaster Oy:n liikkeenohjausprojektien suunnittelussa.

APPLYING TECHNOLOGY OBJECTS FOR MOTION CONTROL

Peltonen, Mika

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in electrical and automation engineering

April 2019

Number of pages: 52

Appendices: 1

Keywords: variable frequency drive, programmable logic controller, technology object, motion control

The subject of this thesis was to find out how to utilize technology objects found in TIA Portal programming environment for motion control. The goal of the thesis was to find out what are the advantages of using technology objects and how they are used in different kinds of practical situations.

The theoretical part covers the devices used for the thesis, along with their structures and features. The theory of technology objects was covered mainly by their functioning features and applications.

The purpose of the practical section was to find out how technology objects could be utilized for motion control. In closer inspection was the technology object positioning axis and its uses for controlling and positioning the axis.

Technology objects were familiarized through practical example program. Throughout the practical example, it was discovered that motion control functionalities are easy to use together with technology objects. Commissioning of the equipment is easier with technology objects. Received results have potential to be used by Raumaster Oy for planning their motion control projects.

SISÄLLYS

LYHENTEET JA SUOMENNOKSET	5
1 JOHDANTO.....	6
2 OHJELMOITAVA LOGIIKKA	8
3 TAAJUUSMUUTTAJA.....	10
3.1 Taajuusmuuttajan rakenne	10
4 OIKOSULKUMOOTTORI.....	12
5 PROFINET.....	14
5.1 Ethernet rakenne	14
5.2 Reaaliaikainen Profinet.....	15
6 TIA PORTAL.....	17
6.1 Logiikkaohjelmointi.....	17
6.2 Ohjelmalohkot.....	20
7 KOMPONENTIT	21
7.1 1512SP F-1PN	21
7.2 Sinamics G120.....	22
7.3 Oikosulkumoottori 1AV3082B.....	24
7.4 Sovelluksen kaavio	25
8 TEKNOLOGIAOBJEKTIT	26
8.1 Motion control	28
8.2 Speed axis	30
8.3 Positioning axis.....	30
8.4 Synchronous axis	30
8.5 External encoder	31
8.6 Cam track ja output cam	31
9 PROJEKTIN LUOMINEN	33
10 POSITIONING AXIS LUONTI JA KÄYTTÖNOTTO	36
10.1 Positioning axis -teknologiaobjektin ohjaus motion control -ohjeilla.....	38
10.2 Todellisen sijainnin ja lasketun sijainnin monitorointi.....	45
11 POHDINTA.....	49
LÄHTEET.....	51
LIITE 1	

LYHENTEET JA SUOMENNOKSET

PLC	Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka
CPU	Central processing unit, suoritin
VSI	Voltage Source Inverter, jännitevälipiiri
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor, bipolaari-transistori
IP	Internet protocol, internet protokolla
MAC	Media access control
TCP/IP	Transmission control protocol / internet protocol
IRT	Isochronous real-time
TIA Portal	Totally Intergrated Automation Portal, Siemensin ohjelmointiympäristö
I/O	Input / output, sisään- ja ulostulotieto
PM	Power module, tehoyksikkö
CU	Control unit, ohjausyksikkö
IOP	Intelligent operator panel, älykäs operointipaneeli
MC	Motion control, liikkeenohjaus

1 JOHDANTO

Tehtaat tuottavat kulutustavaroita kaikille maailman ihmisille, mutta harvoin tulee ajateltua tuotteiden valmistusta sen enempää. Olennainen osa tätä tuotantoketjua on erilaiset linjastot, joiden liikuttamiseen tarvitaan liikkeenohjausta. Itseäni on aina kiinnostanut tehtaiden tuotantoketjut ja tämän takia Raumaster Oy:n tarjoama opinnäytetyöaihe oli itselleni sopiva. Työn tavoitteena on tutkia, kuinka Siemensin TIA Portal suunnitteluympäristössä olevia teknologiaobjekteja kyetään käyttämään liikkeenohjauksessa. Samalla tavoitteena on selvittää, millaisia hyötyjä niiden avulla saavutetaan.

Olin aikaisemmin ilmaissut Raumaster Oy:lle kiinnostukseni tehdä opinnäytetyöni heille ja kesällä 2018 sovimme tapaamisen, jolloin päätimme myös opinnäytetyön aiheen. Alkusyöksyllä pidimme aloituspalaverin, johon osallistui itseni lisäksi Raumaster Oy:n edustaja ja opinnäytetyöohjaajani. Aloituspalaverin jälkeen opinnäytetyöohjaaja järjesti alkukoulutuksen Siemensin oppilaitosyhteys henkilöiden kanssa. Aloitin työhön perehtymisen lukemalla aiheesta eri lähteistä. Samalla aloin myös toteuttamaan opinnäytetyön teoreettista osuutta. Teoriaosuuden tehtyäni perehdyin teknologiaobjekteihin käytännön tasolla.

Opinnäytetyö on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa käsitellään työn kannalta olennaisten komponenttien teoriaa. Näitä ovat ohjelmoitava logiikka, taajuusmuuttaja, oikosulkumoottori, Profinet ja TIA Portal. Ohjelmoitavasta logiikasta tarkastellaan logiikan ohjelmakiertoa ja muistialueita. Kolmannessa pääluvussa tutkitaan taajuusmuuttajan taustoja ja käyttökohteita. Työssä käytetyn taajuusmuuttajamallin toiminta on myös käyty läpi samassa luvussa. Oikosulkumoottorin käsittely sisältää lähinnä vain oikosulkumoottorin rakenteen. Tiedonsiirtoon käytetty Profinet-väylä on aluksi avattu ethernet-standardin avulla, jotta lukijalla on mahdollisuus ymmärtää Profinetin toimintaa. Pääluvussa viisi on tuotu esille tietoa Profinetin rakenteesta ja sen soveltuvuudesta teollisuusautomaation käyttöön. Ohjelmointiympäristö TIA Portal mahdollistaa logiikkaohjelmoinnin. Työssä esitellään TIA Portalissa käytettävissä olevat ohjelmointikieliset ja se, kuinka ohjelmaa suoritetaan ohjelmalohkojen avulla.

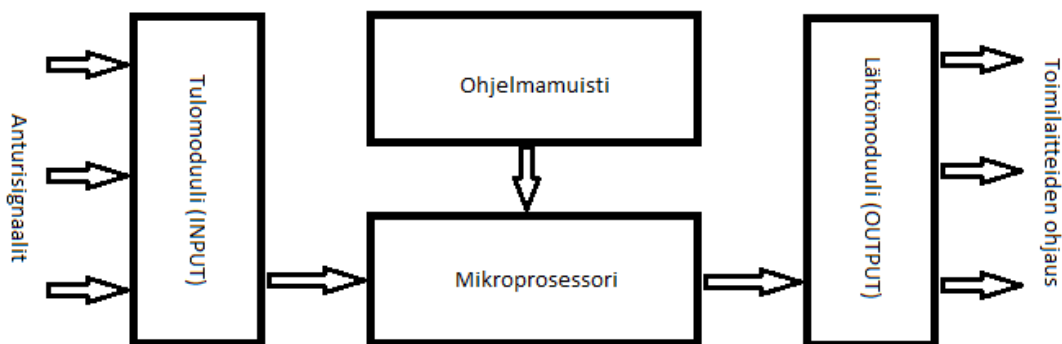
Toisessa osassa tutkitaan opinnäytetyöaiheen kannalta keskeisimpiä asioita, teknologiaobjekteja. Teknologiaobjektien ja niitä ohjaavien motion control -käskeyjen teoria käsitellään aluksi. Projektin luominen ja liikeakselin ohjaaminen käytännössä motion control -käskeyillä on kuvattu lopussa. Työssä perehdytään erityisesti positioning axis -teknologiaobjektin käyttöön moottorin ohjaamisessa käytännön toteutuksen kautta.

2 OHJELMOITAVA LOGIIKKA

Ohjelmoitava logiikka on pieni tietokone, jota käytetään reaaliaikaisten automaatio-prosessien ohjaukseen. Yksi logiikka voi helposti korvata satoja tai tuhansia aikaisemmin käytettyjä releitä ja ajastimia. Alun perin logiikat otettiin käyttöön autoteollisuuden. Ohjelmistopäivityksillä kyettiin korvaamaan uudelleen johdotukset ja tarvittavien muutosten tekeminen sovellukseen tuli paljon helpommaksi, nopeammaksi ja vattommaksi kuin muutosten tekeminen vanhoihin releohjauksiin. Logiikat osaavat myös itse tehdä vikadiagnostiikkaa, joka helpottaa vian paikantamista ja korjaamista sekä nopeuttaa tuotannon palauttamista normaaliksi. (Keinänen, Kärkkäinen, Lähtekangas & Sumujärvi 2009, 212.)

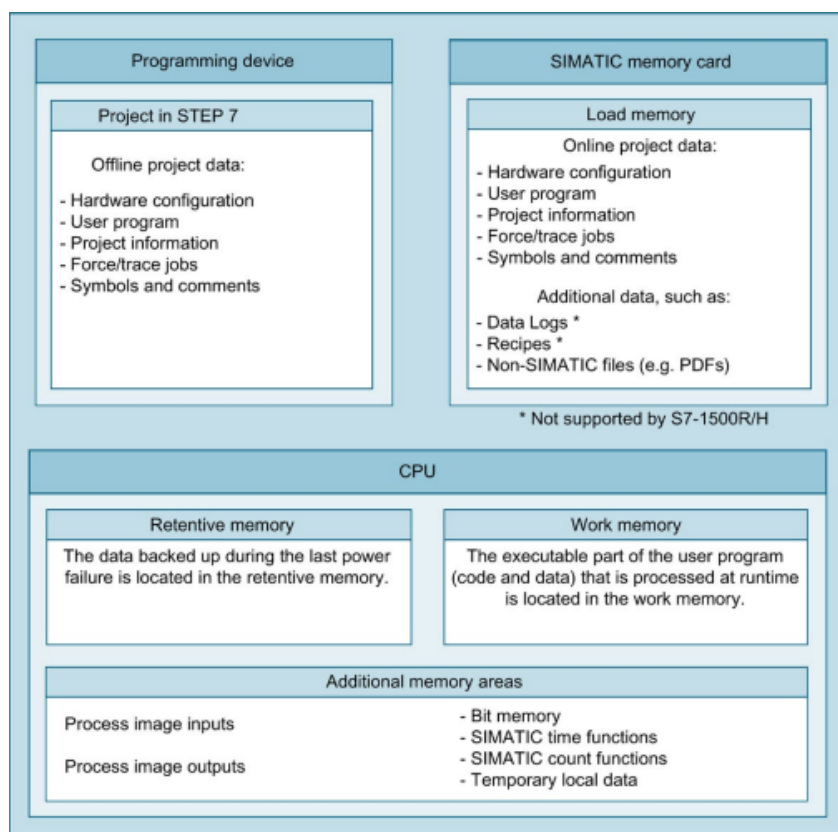
Ohjelmoitavassa logiikassa on tulo- ja lähtöportteja, joihin kaikki kenttälaitteet on kytketty. Toimilaitteita ohjataan logiikkaan tehdyn ohjelman ja anturien antamien signaalien mukaan. (Keinänen ym. 2009, 212.)

PLC käsittelee tehtyä ohjelmaa syklisesti. Ohjelman suoritus aloitetaan automaattisesti alusta edellisen syklin loputtua. Syklin alussa luetaan tulo- ja lähtötiedot, jonka jälkeen ohjelma käydään riveittäin läpi. Ohjelman suoritusväli riippuu tehdyn sovellusohjelman pituudesta sekä monimutkaisuudesta. Tyypillisesti kiertoaika on kymmeniä millisekunteja. On tärkeä huomioida, kuinka tarkkaa työtä logiikan on kyettävä ohjaamaan, sillä esimerkiksi tarkkaa paikoittavaa työtä tehdessä liian pitkä ohjelmakierto voi aiheuttaa ongelmia. Lähes kaikille logiikoille ohjelman voi kirjoittaa joko askeltavasti tai vapaasti kiertäväksi. (PETER 2015.)



Kuvio 1. Ohjelmakierto (Mukaillen Tang, Li, Chen & Tang 2014, 2084)

Sovellusta suunniteltaessa tulee huomioida logiikan muistialueet. PLC on laite, joka käyttää ohjelmoitavaa muistia tiettyjen toimintojen toteutukseen, kuten loogiset operaatiot, sekvenssit, ajastimet, laskurit ja aritmetiikka. Näiden avulla ohjataan analogisia tai digitaalisia sisään- ja ulostulotietoja. (plcTutor 2013.)



Kuvio 2. Muistialueet (Siemens 2018, 13)

Latausmuisti on haihtumaton muisti koodilohkoille, datalohkoille, teknologiaobjekteille sekä hardware konfiguroinnille. Tämä muisti on SIMATIC muistikortilla. Työmuisti on haihtuvaa muistia, joka sisältää koodin ja datalohkot. Työmuisti on integroitu CPU:lle eikä muistin kokoa voi kasvattaa. Tätä muistialuetta käytetään vain, kun CPU operoi ohjelmaa. Tämä muisti on jaettu kahteen osaan, code work memory ja data work memory. Code work memory sisältää ajon kannalta oleellisia osia ohjelma-koodista. Data work memory sisältää ajon kannalta oleellisia datalohkoja ja teknologiaobjekteja. Globaalien datalohkojen tagit, instanssidatalohkojen arvot ja teknologiaobjektien arvot alustetaan niiden oletusarvoilla. Retentive tagit saavat niiden tarkat arvot, jotka on tallennettu retentive muistiin. Retentive memory on haihtumaton tallennustila pienelle määrälle dataa sähkökatkojen varalle. (Siemens 2018, 13-15.)

3 TAAJUUSMUUTTAJA

Taajuusmuuttaja on laite, joka ohjaa sähkömoottorin nopeutta. Sillä saavutetaan seuraavanlaisia etuja: tehokkaampi prosessin ohjaus, pienempi energiankulutus ja tehostunut tuotanto, moottoriohjaussovellusten vähäisempi mekaaninen rasitus ja sähkömoottorisovellusten toiminnan optimointi. (Danfoss Drivers www-sivut 2018.)

Taajuusmuuttajalla moottorikäytössä moottori saadaan pyörimään prosessin vaatimalla nopeudella, jolloin moottorilla suoritettava prosessi tehostuu. Vaihtosähkömoottorin ollessa kytkettynä suoraan sähköverkkoon, pyörii se verkon määräämällä taajuudella. Ilman taajuusmuuttajaa prosessin säädössä olisi käytettävä muita keinoja, kuten vaihteistoja tai kuristimia. Taajuusmuuttaja mahdollistaa portaattoman säädön moottorille taajuutta muuntelemalla. (Taajuusmuuttaja 2019.)

Suurimpia etuja taajuusmuuttajan käytössä on energian säästö. Moottorin pyörimisnopeutta saadaan säädettyä helposti juuri prosessin edellyttämällä tavalla, jolloin hukkaan menevää energiaa ei pääse syntymään. Suurimpia säästöjä saadaan sovelluksissa, joissa esimerkiksi virtaavan nesteen tai kaasun kulkua täytyisi kuristaa. (Taajuusmuuttaja 2019.)

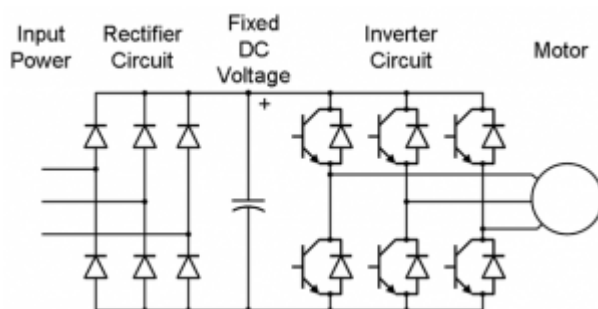
Säästöjen lisäksi moottoreiden mekaanista rasitusta kyetään vähentämään kiihdytys- ja jarrutustilanteissa, kun moottoria voidaan ajaa porrastetusti. Näin ollen yhtäkkiset liikkeet jäävät pois. (Taajuusmuuttaja 2019.)

Taajuusmuuttaja soveltuu hyvin teollisuusautomaatioon, koska se voidaan kytkeä osaksi automaatiojärjestelmää. Prosessien säätö ja ohjaus saadaan yksinkertaistettua kytkemällä taajuusmuuttaja järjestelmään. (SähköNet n.d.)

3.1 Taajuusmuuttajan rakenne

SAMK:lla käytetty taajuusmuuttaja on jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja, eli VSI. Jännitevälipiirillisellä taajuusmuuttajalla ohjataan usein suhteellisen pienitehoisia oi-

kosulkumoottoreita. Tällaiset taajuusmuuttajat koostuvat kolmivaiheisesta dioditasasuuntaussillasta, jonka välipiiriin syöttämän tasajännitteen keskiarvo on vakio, välipiiriin suodinkondensaattorista sekä pieni- ja keskitehoisissa laitteissa tavallisesti IGBT – komponenteilla toteutetusta kolmivaiheisesta vaihtosuuntaussillasta. Vaihtosuuntaussillan diodit mahdollistavat induktiivisen kuormavirran kulun kaikissa kytkentätilanteissa. (SähköNet n.d.)



Kuvio 3. Jännitevälipiirillinen PWM-taajuusmuuttaja, vaihtosuuntaus IGBT-transistoreilla (Taajuusmuuttaja 2019)

Kolmivaiheinen vaihtojännite muutetaan tasajännitteeksi esimerkiksi tyristorien avulla tasasuuntaajassa. Tyristorit liipaistetaan johtaviksi aina silloin, kun niihin tulevan vaiheen jännite on suurimmillaan. Tämä jännite johdetaan taajuusmuuttajan positiiviseen kiskoon. Negatiivinen jännite saadaan aikaan, kun kolmivaiheisen jännitteen suuruus on pienimmillään. (SähköNet n.d.)

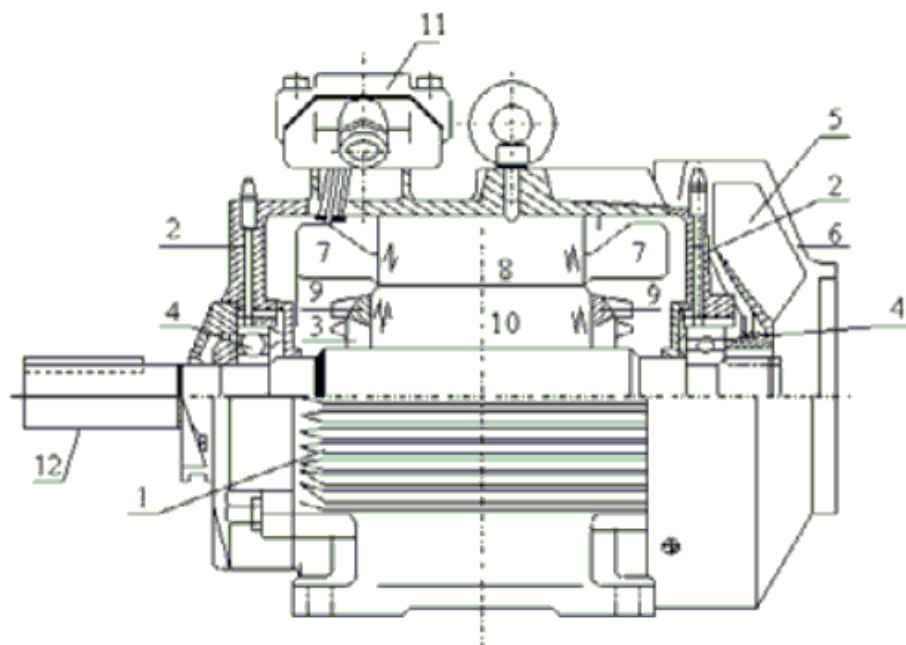
Jännitevälipiirissä on kela sekä kondensaattori. Näiden komponenttien tehtävänä on suodattaa tasajännitteestä pois mahdolliset tasajännitteen epäpuhtaudet. Välipiiri toimii myös energiavarastona. Taajuusmuuttajan ohjauselektronikan tarvitsema käyttöjännite voidaan ottaa jännitevälipiiristä. (SähköNet n.d.)

Vaihtosuuntaussillassa halutun taajuisten ja suurusten vaihejännitteiden muodostamiseen käytetään pulssileveysmodulointitekniikkaa. Siinä kukin vaihejännitelähtö kytketään vaiheen IGBT-transistorien avulla suurella kytkentätaajuudella vuorotellen tasajännitevälipiiriin positiiviseen ja negatiiviseen kiskoon. Moduloinnissa kytkimien keskinäisiä johtoaikoja muutetaan koko ajan siten, että tuloksena syntyy keskimääräisesti oikean suuruinen pienempitaajuinen sinimuotoinen vaihtojännite. (SähköNet n.d.)

4 OIKOSULKUMOOTTORI

Oikosulkumoottori kuuluu epätahtikoneisiin. Niiden toiminta perustuu moottorin sisällä pyörivään magneettikenttään. Nimensä mukaisesti epätahtikoneiden roottorin pyörimisnopeus poikkeaa kuormitettuna tahtinopeudesta. (Korpinen 1998, 7.)

Oikosulkumoottori on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen ja tästä syystä erittäin suosittu. Muista yleisistä moottorityypeistä poiketen oikosulkumoottorilla on vain staattori- ja roottorikämmitykset. (Korpinen 1998, 7.)

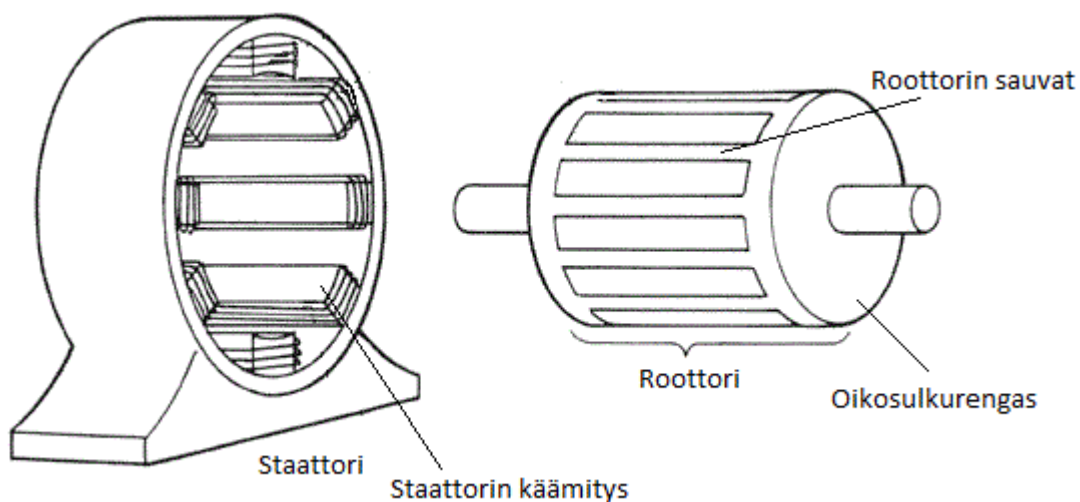


1. staattorin runko, 2. laakerikilvet, 3. roottori, 4. laakerit, 5. tuuletin, 6. tuultettimen suojus, 7. staattorikämmitys, 8. staattorin levypaketti, 9. roottorin kämmitys, 10. roottorin levypaketti, 11. liitäntäkotelo, 12. akseli

Kuvio 4. Oikosulkumoottorin rakenne (Korpinen 1998, 8)

Roottorin kämmitys koostuu sauvoista, jotka on sijoitettu roottorin uriin ja on kummatakin päästä yhdistettynä toisiinsa oikosulkurenkailla (Korpinen 1998, 8).

Pienillä moottoreilla roottorin häkkikämmitys oikosulkurenkaineen tehdään kerralla alumiinista valamalla (Niiranen 1999, 29). Roottorikämmiä ei erikseen eristetä roottoriraudasta (Korpinen 1998, 8).



Kuvio 5. Staattorin ja roottorin rakenne (Mukaiillen Galco Industrial Electronics 2018)

Staattorin kuparilangasta tehty käämitys on eristettynä staattorin urissa. Käämitys on symmetrinen ja se on kytketty joko tähteen tai kolmioon. Symmetrinen käämitys synnyttää koneen sisälle magneettikentän, kun sitä syötetään kolmivaihevirralla. (Korpinen 1998, 8.)



Kuvio 6. Staattorin urat kuparikäämitykselle (Staattori 2013)

Normaalisti oikosulkumoottorin jäähdytys on toteutettu akselin pyörittämällä puhaltimella. Tällöin moottorin jäähdytys riippuu akselin pyörimisnopeudesta. Pienillä nopeuksilla tulee huomioida, että moottoria ei voi käyttää suurella vääntömomentilla moottorin kuumenemisen vuoksi. Mikäli moottoria tarvitsee käyttää paljon isolla vääntömomentilla pienillä nopeuksilla kannattaa harkita moottorin ylimitoitusta tai läpituulettujen erikoismoottorin käyttöä. (Niiranen 1999, 31-32.)

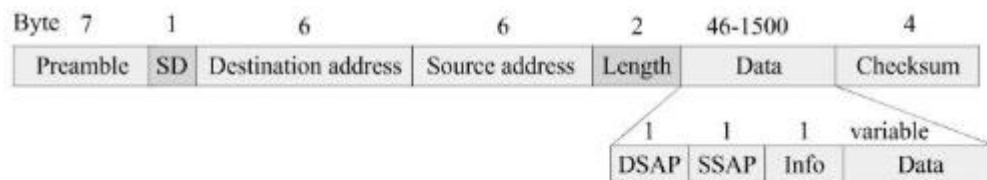
5 PROFINET

Profinet perustuu Ethernet teknologiaan ja se käyttää standardeja, kuten TCP/IP. Se on kattava teollisuus-standardi, joka täyttää kaikki vaatimukset, joita on asetettu ethernetin käytölle teollisuusautomaatiossa. (Metter & Pigan 2008, 19.)

Profinetillä on pyritty paikkaamaan Profibus-väylän vajaavaisuuksia. Profinetillä aikakriittiset toiminnot on tehty mahdollisiksi reaaliaikaisilla protokollalisäyksillä. Lisäksi se mahdollistaa langattoman tiedonsiirron. (Siemensin www-sivut 2019.)

5.1 Ethernet rakenne

Jotta Profinetia on mahdollista ymmärtää paremmin, on syytä tuntea perusteet Ethernetin toiminnasta. Klassisessa Ethernetissä kaikilla asemilla on tasavertaiset oikeudet. Kaikki asemat voivat vaihtaa dataa toistensa kanssa haluamanaan ajankohtana. Kaikki asemat kuuntelevat toisten asemien lähetyksiä, mutta suodattavat pois kaiken datan mitä ei ole itselle tarkoitettu. Kaikkien laitteiden ollessa jatkuvasti yhteydessä toisiinsa, voi aiheutua lähetettyjen pakettien törmäyksiä estäen datan pääsyn perille. Laitteiden lisääntyessä verkossa törmäyksiä tapahtuu enemmän ja näin ollen verkon nopeus hidastuu. Profinetissä ongelma on ratkaistu käyttämällä segmentointia, nostamalla datan siirtonopeutta ja kytkimillä. Profinet on käytännössä verkko, jossa asemat on kytketty toisiinsa verkkokomponenttien kautta. Verkkokomponentit, joita tiedonsiirtoon vaaditaan ovat hubit, kytkimet ja reitittimet. Yleisimmin asemien ja verkkokomponenttien välillä käytetty kaapeli on kierretty parikaapeli. Erillisten lähetys- ja vastaanottolinjojen ansiosta asemat voivat samanaikaisesti lähettää ja vastaanottaa dataa ilman törmäyksiä. (Metter & Pigan 2008, 23.)



Preamble	7 bytes for synchronizing the stations (101010...101010)
SD (Start Delimiter)	1 byte for completion of transient reaction (10101011)
Destination address	6 bytes for identification of destination station (MAC address)
Source address	6 bytes for identification of data source of destination station (MAC address)
Length	2 bytes length block
Data block	46-1500 bytes user data. This block contains the data and header which have been transmitted by the higher layers. It contains: DSAP: Destination service access point (1 byte) SSAP: Source service access point (1 byte) Info: Control block (1 byte) Data: User data (variable)
Checksum	4-byte checksum. This is generated and applied to check the correct transmission of data.

Kuvio 7. Paketin rakenne (Metter & Pigan 2008, 24)

Ethernet pilkkoo siirrettävää dataa pienemmiksi kokonaisuuksiksi, joita kutsutaan paketeiksi tai kehyksiksi. Kaikki paketit sisältävät tarvittavan tiedon, kuten vastaanottajan ja lähettäjän osoitteen, siirrettävän datan ja virheen tarkistuksen. Paketti lähetetään yksikkönä, jonka koko voi olla väliltä 64 ja 1526 tavua pitkä. (Metter & Pigan 2008, 24.)

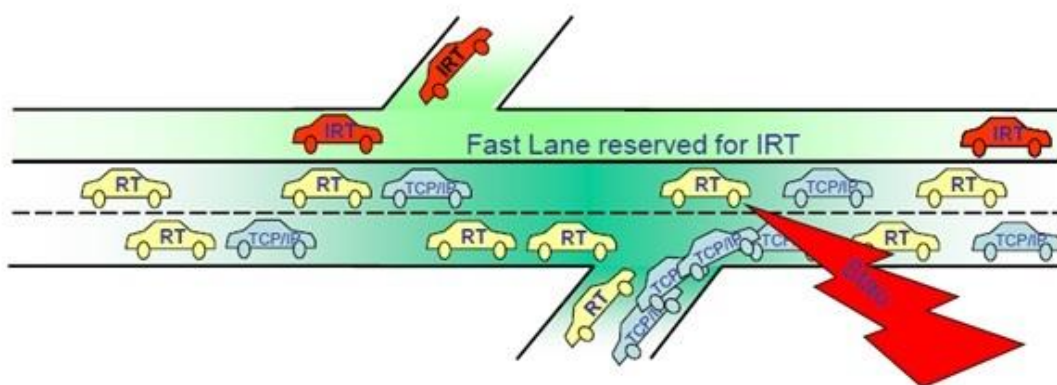
5.2 Reaaliaikainen Profinet

Reaaliaikaisuus tarkoittaa sitä, että järjestelmä käsittelee tapahtumat määritellyn ajan sisällä. Jos järjestelmän käytös on ennakoitavaa, voidaan puhua deterministisestä järjestelmästä. Pääsääntöiset vaatimukset reaaliaikaiselle kommunikoinnille on deterministisyys ja ennalta määritellyt vastausajat, useimmiten maksimissaan 5 millisekuntia. (Metter & Pigan 2008, 44.)

Profinet käyttää optimoitua kommunikaatiokanavaa reaaliaikaisille kommunikaatioille ja näin ollen takaa aikakriittisen datan perille pääsyn kahden aseman välillä. Reaaliaikainen kanava voidaan ottaa käyttöön tavallisella verkkosovittimella, ohjelmistomuutoksella tai päivittämällä laitteistoa. Tällä kanavalla paketit eivät käytä IP-

osoitteita, vaan vastaanottavien laitteiden MAC-osoitteita. Näin voidaan samanaikaisesti kommunikoida myös muiden protokollien avulla, kuten TCP/IP. (Metter & Pigan 2008, 45.)

IRT on erittäin nopea tiedonsiirtotapa esimerkiksi logiikkaohjaimen ja taajuusmuuttajan välillä. IRT-tiedonsiirrossa varataan tietty tiedonsiirtokapasiteetti kenttäväylästä. Tietoa siirretään synkronoidusti ja tiedonsiirron nopea toiminta voidaan taata myös erittäin kuormitetussa kenttäväylässä. (Siemens www-sivut 2019.)



Kuvio 8. Profinet IRT-periaate (Mauer 2015)

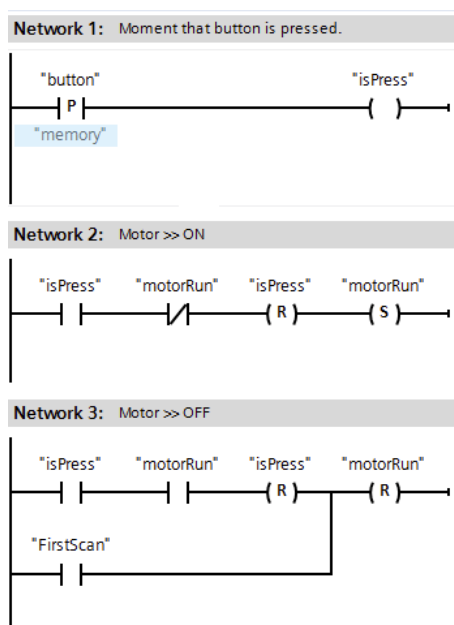
6 TIA PORTAL

TIA Portal on Siemensin valmistama ohjelmointityökalu. Se yhdistää logiikkaohjelmoinnin, käyttöliittymäsuunnittelun sekä myös taajuusmuuttajat. Nämä yhdistetyt ominaisuudet tekevät suunnittelutyöstä tehokasta ja luotettavaa. TIA Portalilla on mahdollista tehdä suunnittelu- ja tuotantoprosessit koko tuotantoketjulle. (Siemens www-sivut 2019.)

6.1 Logiikkaohjelmointi

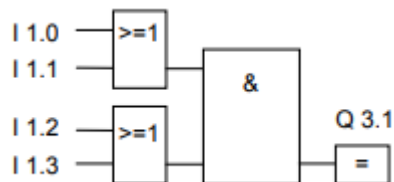
TIA Portaliin logiikkaohjelmointi on kehitelty SIMATIC STEP 7 ohjelmiston pohjalta (Siemens www-sivut 2019). Logiikkaohjelmaa tehdessä tulee valita kieli, jolla ohjelmointi tapahtuu. TIA Portalilla erilaisia ohjelmistokieliä on viisi. Ladder logic (LAD), function block diagram (FBD), statement list (STL), structured control language (SCL) ja sequential control (GRAPH). (Berger 2012, 24.)

Käyttämällä LAD ohjelmointikieltä, ohjelma ohjelmoidaan piirikaavion tapaisesti. Toiminnallisuudet muodostetaan peräkkäisillä tai rinnakkaisilla koskettimilla ja keiloilla. (Berger 2012, 24.)



Kuvio 9. LAD ohjelmointikielen esimerkkikuva (Siemens Industry Online Support www-sivut 2019)

Ohjelmointikieli FBD:llä ohjelmointi tapahtuu virtipiirimäisesti. Binääriset operaatiot toteutetaan yhdistelemällä funktioita, kuten AND ja OR ja jotka päättyvät muistilaatikkoihin. (Berger 2012, 24.)



Kuvio 10. FBD esimerkkikuva (Siemens 2010, 15)

Statement list kielellä ohjelmaa suoritetaan lausekkeilla, joita suoritetaan peräkkäin. Jokainen lauseke sisältää tiedon mitä on tehty ja mahdollisesti tiedon, millä muuttujalla muutos on tehty. (Berger 2012, 24.)

```

Network 1: .....
Comment
1 // A #inVar
2 AN #memVar3
3 S #startDrive
4 O #memVar1
5 // O #memVar2
6 O #stopVar
7 R #startDrive
8 A #startDrive
9 = #outVar
10

```

Kuvio 11. STL esimerkkikuva (Siemens Industry Online Support www-sivut 2019)

SCL on erityisesti sopiva kieli monimutkaisten algoritmien ohjelmointiin tai tehtäville, jotka tapahtuvat tiedonhallinnassa. Ohjelma rakentuu SCL lausekkeista, jotka voivat olla arvojen asetuksia, vertailuja tai ohjausarvoja. (Berger 2012, 25.)

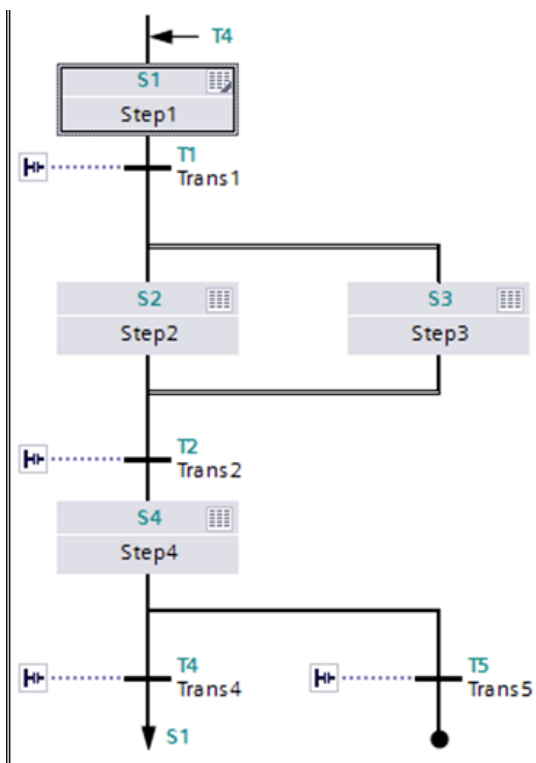
```

1
2 // IF #inVar = true
3 // THEN
4 //     #startDrive := true;
5 // ELSE
6 //     #startDrive := false;
7 //     #memVar1 := true;
8 // END_IF;
9
10 IF #stopVar = TRUE
11 THEN
12     #startDrive := false;
13 ELSE
14     #memVar2 := true;
15     #outVar := false;
16 END_IF;

```

Kuvio 12. SCL esimerkkikuva (Siemens Industry Online Support www-sivut 2019)

Käyttämällä GRAPH ohjelmointikieltä, ohjelma suorittaa tehtäviä peräkkäin hypäten aina seuraavaan tehtävään edellisen suoritettuaan. Ohjelman eteneminen tapahtuu vasta, kun kyseisen hetken toiminto on suoritettu. (Berger 2012, 25.)



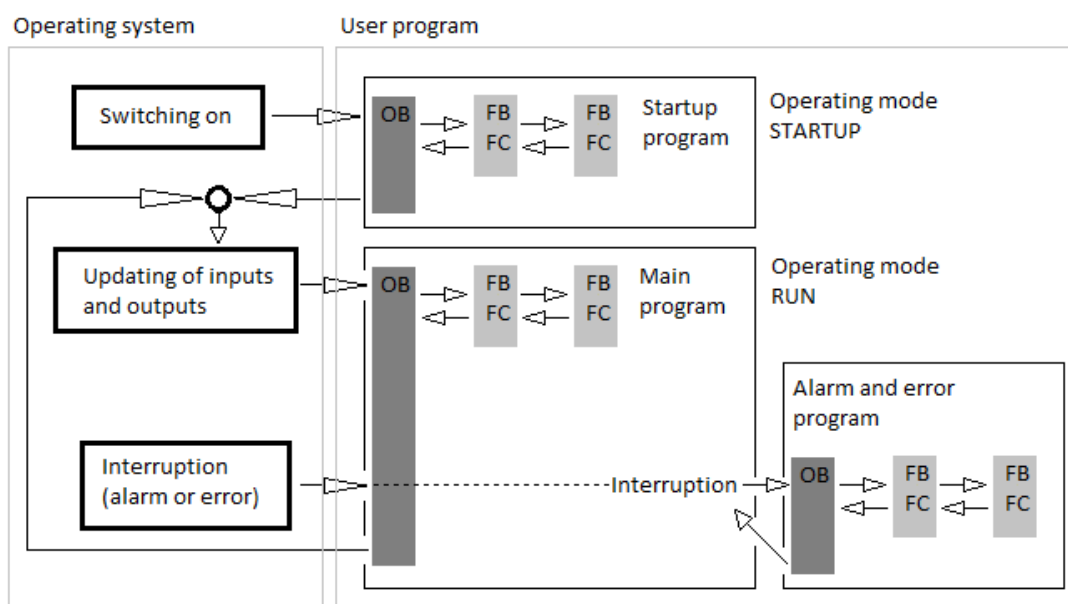
Kuvio 13. GRAPH esimerkkikuva (Siemens Industry Online Support www-sivut 2019)

6.2 Ohjelmalohkot

Käyttäjän tekemä ohjelma on yleensä jaettu erillisiin osioihin, lohkoihin. Organisaatiolohko (OB) toimii rajapintana käyttöjärjestelmän ja käyttäjän ohjelman välillä. Käyttöjärjestelmä kutsuu organisaatiolohkoa tiettyjä tapahtumia varten ja tällöin käyttäjän ohjelma prosessoidaan sen sisällä. (Berger 2012, 26.)

Funktiolohkot (FB) ja funktiot (FC) ovat ohjelman rakentamista varten. Nämä lohkot erottaa toisistaan se, että funktiolohkoilla on muisti, johon paikalliset tagit tallennetaan pysyvästi. Funktioilla ei ole tätä samaa muistia. (Berger 2012, 26.)

Käyttäjäohjelman data tallennetaan datalohkoihin (DB). Instanssidatalohkot ovat funktiolohkojen tagi muisti. Globaalit datalohkot sisältävät dataa, jota ei ole osoitettu yksistään millekään lohkolle. (Berger 2012, 26.)



Kuvio 14. Ohjelman suoritus (Mukaillen Berger 2012, 26)

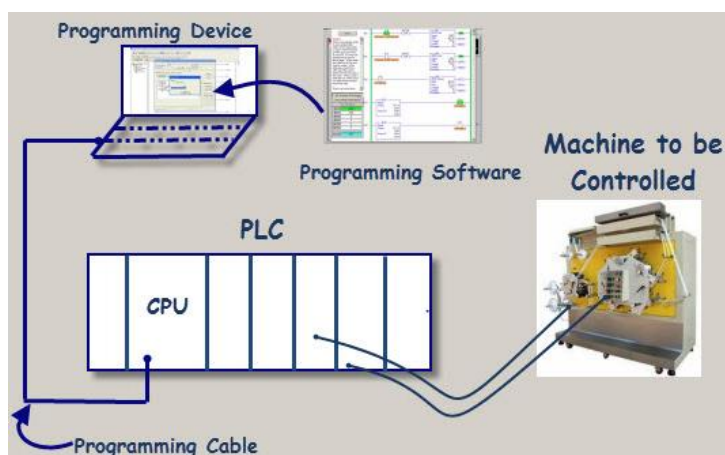
Syklinen ohjelman suoritus on ohjelmoitavan logiikan ominaisuus. Käyttäjäohjelmaa suoritetaan, vaikka mitään toimintoja ei tapahtuisi. Esimerkiksi silloin, kun ohjattava kone ei ole ajossa. Syklisyys tuo etuja ohjelmointiin. Karkeasti ajateltuna se muistuttaa hieman kontaktori- tai releohjausta. (Berger 2012, 27.)

7 KOMPONENTIT

Työtä aloittaessa tulee tietää laitteet, joita työssä on käytössä. Tässä projektissa käytettiin 1512SP F-1PN-mallin logiikkaa, G120 CU250S-2 PN-mallin taajuusmuuttajaa ja Siemensin 1AV3082B mallin 3-vaihe sähkömoottoria.

7.1 1512SP F-1PN

Ohjelmoitavan logiikan perusrakenteeseen kuuluu prosessorimoduuli, virtalähde ja I/O moduulit. Prosessorimoduuli koostuu keskusyksiköstä ja muistista. Mikroprosessorin lisäksi keskusyksikköön sisältyy rajapinta ohjelmointilaitetta varten, joka useimmiten on tietokone. Virtalähde on yleensä erillinen moduuli. I/O moduulit ovat myös erillisiä prosessorista. (Erickson 2010.)



Kuvio 15. PC:n ja PLC:n yhteys havainnollistettuna (Edgefx www-sivut 2019)

Teknologiaobjekteja käyttäessä tulee huomioida, millainen logiikka on projektiin sovellova. SAMK:n laitteista työhön sopivin oli Siemensin 1512SP F-1PN-mallin logiikka. Se tukee kaikkia työn kannalta oleellisimpia objekteja, kuten speed axis, positioning axis ja synchronous axis.

Jokaisella logiikalla on tietyn verran resursseja osoitettu teknologiaobjekteille.

Supported technology objects	
Motion Control <ul style="list-style-type: none"> • Number of available Motion Control resources for technology objects (except cam disks) 800 • Required Motion Control resources <ul style="list-style-type: none"> — per speed-controlled axis 40 — per positioning axis 80 — per synchronous axis 160 — per external encoder 80 — per output cam 20 — per cam track 160 — per probe 40 • Positioning axis <ul style="list-style-type: none"> — Number of positioning axes at motion control cycle of 4 ms (typical value) 5 — Number of positioning axes at motion control cycle of 8 ms (typical value) 10 	Yes; Note: The number of axes affects the cycle time of the PLC program; selection guide via the TIA Selection Tool or SIZER
Controller <ul style="list-style-type: none"> • PID_Compact • PID_3Step • PID-Temp 	Yes; Universal PID controller with integrated optimization Yes; PID controller with integrated optimization for valves Yes; PID controller with integrated optimization for temperature
Counting and measuring <ul style="list-style-type: none"> • High-speed counter 	Yes

Kuvio 16. Teknologia objektien resurssit ja niiden käyttö 1512SP F-1 PN logiikalle (Siemens 2016a, 41-42)

1512SP F-1PN-mallin logiikalla on yhteensä 800 yksikköä resursseja käytössä teknologiaobjekteja varten. Jokainen teknologiaobjekti kuluttaa näitä resursseja. Kunkin objektin käyttämä resurssien määrä selviää kuvioista 16. Logiikkaa valitessa tulee siis myös huomioida projektin laajuus ja käytettävissä olevien resurssien määrä. (Siemens Industry Mall www-sivut 2019.)

7.2 Sinamics G120

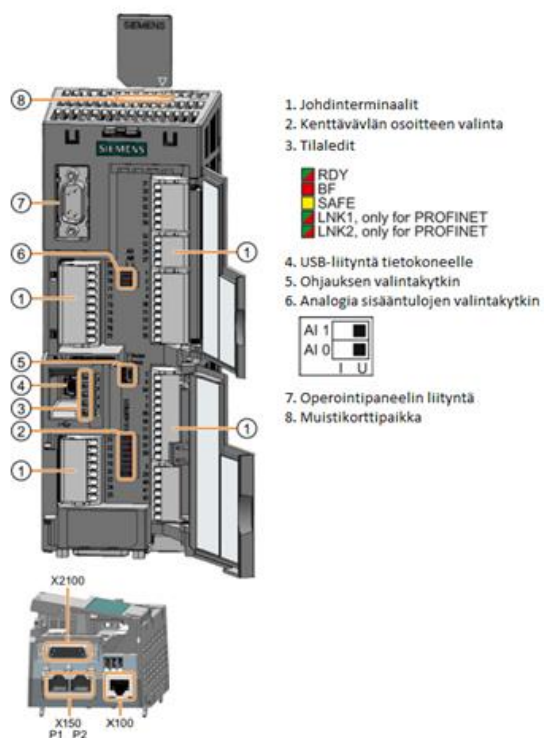
Sinamics G120 on rakenteeltaan modulaarinen ja koostuu vähintään ohjausyksiköstä ja teho-osasta. Ohjausyksikkö ohjaa ja valvoo teho-osaa sekä siihen kytkettyä moottoria. Valittavissa on useampia säätötapoja moottorille. Tiedonsiirto ja kommunikointi taajuusmuuttajalle on mahdollista toteuttaa joko paikallisesti tai väylän yli logiikalla. G120 taajuusmuuttajat tukevat yleisimpiä väylätekniikoita ja ovat täysin TIA-yhteensopivia. (Siemens www-sivut 2019.)

Taajuusmuuttajan tehoyksikkönä toimi PM240-2. Kyseinen tehoyksikkö kattaa tehoalueen 0,55kW-250kW 3-vaiheisena 380-480V jännitealueella. (Siemens www-sivut 2019.) PM240-2 on yhteensopiva CU230P-2, CU240B-2, CU240E-2 ja CU250S-2 kanssa. (Siemens 2015, 19). Ohjausyksikkö liitetään tehoyksikön päälle kuviossa 17 näkyviin liittimiin.



Kuvio 17. PM240-2 (Frost www-sivut 2019)

Työssä käytetyssä taajuusmuuttajassa ohjausyksikkönä oli CU250S-2pn. Kuviossa 18 on esitettyä kyseisen ohjausyksikön rakenne.



Kuvio 18. CU250S-2pn rakenne (Mukaillen Siemens 2014, 8)

Tehoyksikön ja ohjausyksikön lisäksi taajuusmuuttajaan voidaan liittää operointipaneeli. Tämä paneeli kiinnitetään ohjausyksikön päälle. Paneeli voidaan pitää myös erillisenä taajuusmuuttajasta kytkemällä niiden väliin kaapeli. (Siemens 2014, 14.)



Kuvio 19. Sinamics IOP (RS Components www-sivut 2019)



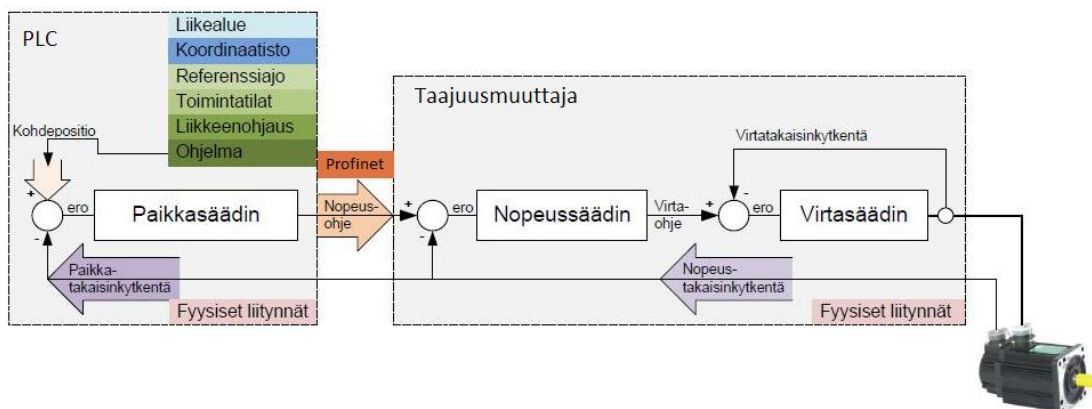
Kuvio 20. Taajuusmuuttajan modulaarisuus havainnollistettuna (Siemens www-sivut 2019)

7.3 Oikosulkumoottori 1AV3082B

Työssä käytetty moottori oli Siemensin 1AV3082B –mallin oikosulkumoottori. Moottorin perään on kytketty pulssianturi. Pulssianturi tuottaa tietoa sijainnista, kulmasta ja kierrosluvuista. Resoluutio määritellään pulssien lukumäärällä kierrosta kohden, jotka enkooderi lähettää ohjauslaitteelle liikkeen mukaan. Ohjauslaite voi määrittää sen hetkisen paikan laskemalla vastaanotetut pulssit. Koneen päällekytkemisen yhteydessä saattaa olla välttämätöntä suorittaa viiteajo. (SICK www-sivut 2019.) Pulssianturin käyttö mahdollistaa paikoittavan ajon käyttämisen liikkeenohjauksessa.

7.4 Sovelluksen kaavio

Työssä on haluttu, että kaikki liikeakselin ohjaukseen liittyvät asetukset tulevat ohjelmoitavalta logiikalta. Taajuusmuuttajan tehtävänä on vain toteuttaa fyysiset toiminnallisuudet ohjelmoitavan logiikan ohjeiden mukaisesti.



Kuvio 21. Paikoitussovelluksen kaaviokuva (Suvela n.d.)

Kuviosta 21. käy ilmi, että kaikki liikkeeseen ja parametointiin liittyvät asetukset tapahtuvat ohjelmoitavalla logiikalla. Taajuusmuuttaja saa nopeusohjeet ohjelmoitavalta logiikalta ja suorittaa nopeussäädöt näiden ohjeiden pohjalta. Työssä käytetty pulssianturi on kytketty taajuusmuuttajan liityntöihin.

8 TEKNOLOGIAOBJEKTIT

Teknologiaobjektit esittelevät todellisia kohteita logiikkaohjaimelle. Näitä objekteja käytetään yhdessä Motion Control -käskyjen kanssa käyttäjän omassa ohjelmassa. Teknologiaobjektit tarjoavat avoimen silmukan ja suljetun silmukan liikkeenohjausta todellisille kohteille ja antavat samalla tilatietoa, kuten esimerkiksi paikkatietoa. (Siemens 2016b, 23.)

Todellisten kohteiden ominaisuudet konfiguroidaan teknologiaobjektien kautta ja niiden tiedot tallennetaan teknologiaobjektin datalohkoon. Kyseessä olevan teknologiaobjektin konfigurointi, asetuspisteet ja tilatiedot tallennetaan omaan datalohkoon. TIA Portal luo automaattisesti datalohkon teknologiaobjektia varten, kun teknologiaobjektia luodaan. (Siemens 2016b, 24.)

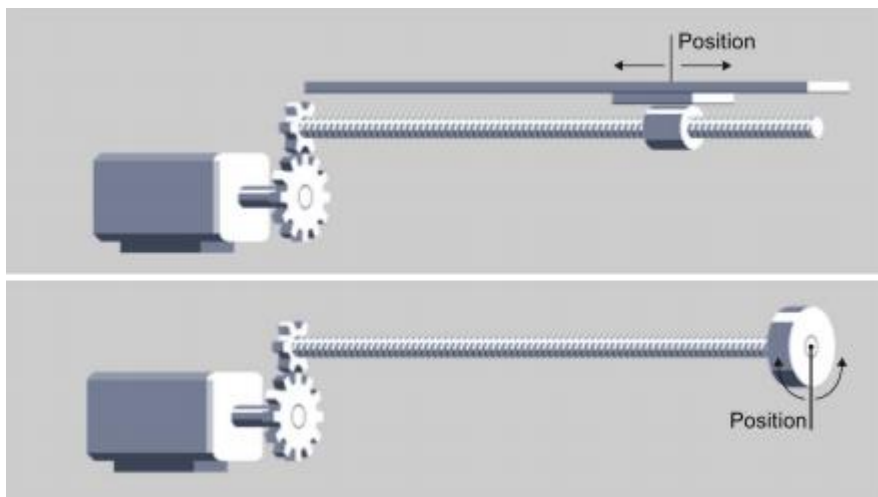
Motion Control -käskyillä käyttäjä toteuttaa halutut toiminnallisuudet teknologiaobjekteilla. Motion Control -käskyt ja teknologiadatalohkot tarjoavat ohjelmointirajapinnan teknologiaobjekteille. Suoritettavien tehtävien tilatietoja seurataan Motion Control -käskyjen ulostuloparametreista. Käytön aikana pääsee teknologiaobjektin tilatietoihin käsiksi sen oman datalohkon kautta. Datalohkossa pystyy muuttamaan haluttuja konfigurointiparametreja. (Siemens 2016b, 24.)

Speed axis, positioning axis ja synchronous axis teknologiaobjektien toiminnallisuudet voidaan suorittaa joko Motion Control -käskyillä tai teknologiaobjektien alla löytyvällä Commissioning-työkalulla (Siemens 2016b, 26). Commissioning-näkymällä liikeakselia pystytään testaamaan ja ajamaan. Näkymään tulee tietoja esimerkiksi liikeakselin nopeudesta, liikesuunnasta, sijainnista ja kotipisteestä.

Function	Technology object		
	Speed axis	Positioning axis	Synchronous axis
Motion Control Instructions (user program)			
"MC_Power " Enable, disable technology objects	X	X	X
"MC_Home " Home technology objects, set home position	-	X	X
"MC_MoveJog " Move axes in Jog mode	X	X	X
"MC_MoveVelocity " Move axes at predefined velocity	X	X	X
"MC_MoveRelative " Relative positioning of axes	-	X	X
"MC_MoveAbsolute " Absolute positioning of axes	-	X	X
"MC_MoveSuperimposed " Positioning axes overlapping	-	X	X
"MC_GearIn " Start gearing	-	-	X
"MC_Halt " Halt axes	X	X	X
"MC_TorqueLimiting " Limit torque using torque reduction	X	X	X
"MC_Reset " Acknowledge alarms, restart technology objects	X	X	X
"Axis control panel " Move and home axes using the TIA Portal	X	X	X
"Optimization " Optimization of closed loop position control	-	X	X

Kuvio 22. Speed axis, positioning axis ja synchronous axis -teknologiaobjektien käytettävissä olevat motion control -käskyt (Mukaillen Siemens 2016b, 26)

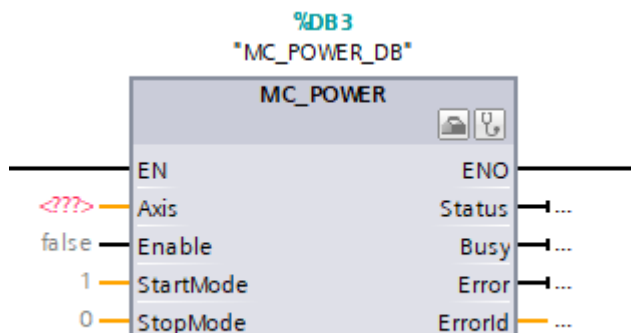
Liikeakselit voidaan konfiguroida kahdella eri akselityypillä. Positioning axis ja synchronous axis voidaan konfiguroida joko lineaari- tai ympyräakseliksi. Speed axis on aina ympyräakseli. Akselityyppi tulee valita tarvittavan työtehtävän mukaan. Lineaariakselilla ”kelkan” sijainti määritellään esimerkiksi millimetreinä. Ympyräakselilla akselin sijainti mitataan asteina. (Siemens 2016b, 29.)



Kuvio 23. Yläpuolella lineaariakseli ja alapuolella ympyräakseli (Siemens 2016b, 29)

8.1 Motion control

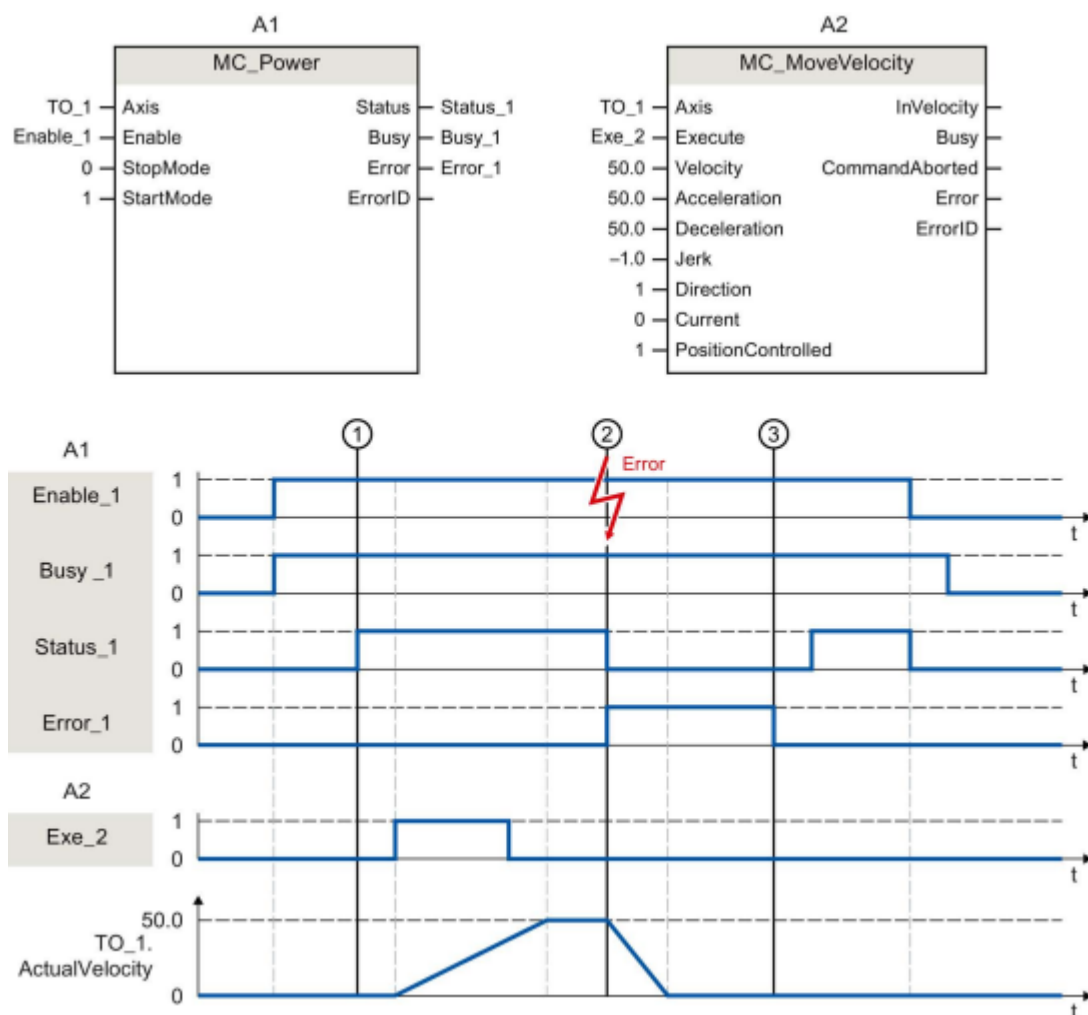
Teknologiaobjektien toimintaa ohjataan motion control -lohkoilla. Näitä lohkoja on useita ja niille kaikille on oma käyttötarkoituksensa. Yksi olennaisimmista lienee kuitenkin MC_Power, koska sillä sallitaan speed axis, positioning axis ja synchronous axis -teknologiaobjektien käyttö.



Kuvio 24. MC_Power lohkon sisään- ja ulostulot

Sisääntulotietojen Axis-kohtaan määritellään haluttu teknologiaobjekti, jonka käyttö halutaan sallia. Enable-parametrin ollessa tosi, liikeakselin käyttö on sallittu. Enable-parametrin ollessa epätosi, liikeakselin käyttö estetään ja liikeakselin ollessa käytössä se pysäytetään StopMode kohtaan määritellyn moodin mukaan. StartMode sallii positioning axis ja synchronous axis -teknologiaobjektien paikoitusajon, kun StartMode-parametrin arvo on 1. (Siemens 2016b, 372.)

Ulostulotiedoista näkee liikeakselin tilan. Status kertoo, onko liikeakselin käyttö sallittuna. Liikeakselin ollessa ajossa ulostulotieto Busy on tosi. MC_Powerin mennessä virhetilaan ulostulotieto Error on tosi. Virhe tulee lukemaan ErrorId-kohtaan. (Siemens 2016b, 373.)



Kuvio 25. MC_Power-lohko käytössä yhdessä MC_MoveVelocity-lohkon kanssa (Siemens 2016b, 375)

Teknologiaobjekti on aktivoitu, kun Enable_1=TRUE. Onnistunut aktivointi voidaan lukea kohdasta Status_1 ajanhetkellä 1. Tämän jälkeen akseli liikkuu MC_MoveVelocity-lohkon määräämällä tavalla. (Siemens 2016b, 375.)

Ajanhetkellä 2 teknologiaobjektin käytössä tapahtuu virhe, joka aiheuttaa teknologiaobjektin käytön estämisen. Akseli jarrutetaan pysähdyksiin taajuusmuuttajan konfigurointien perusteella. Kun teknologiaobjektin käyttö on estetty, Status_1 resetoitaa.

Koska akselia ei estetty käyttämällä Enable_1=FALSE, niin StopMode ei päde. Virheen aiheuttaja korjataan ja virhe kuitataan ajanhetkellä 3. Koska Enable_1 on yhä asetettu, niin teknologiaobjektin käyttö on jälleen sallittu. (Siemens 2016b, 375.)

8.2 Speed axis

Speed axis -teknologiaobjekti laskee nopeuden asetusravot, ottaa huomioon dynaamiset asetukset ja vie tiedot taajuusmuuttajalle. Kaikki liike mitä speed axis -teknologiaobjektin avulla saadaan, on liikeakselin nopeuden asettamista. Liikeakselilla oleva kuorma otetaan huomioon TIA Portalissa speed axis -teknologiaobjektia luodessa. Liikeakselin nopeus määritellään kierrosta per määriteltävä aika. (Siemens 2016b, 105.)

8.3 Positioning axis

Positioning axis -teknologiaobjekti laskee sijaintiin liittyvät asetuspisteet, ottaa huomioon pulssianturin asetukset ja vie oikeat nopeusohjeet taajuusmuuttajalle. Absoluuttista paikantamista varten tulee tietää missä kohtaa liikeakselilla liikkuva ”kelkka” on, jotta teknologiaobjekti osaa laskea sijainnin oikein. Anturin arvojen ja määrätyn paikan välinen yhteys määritellään teknologiaobjektin mekaanisista parametreista, anturin asetuksista ja kotiinajon asetuksista. Positioning axis -teknologiaobjektilla voidaan ohjata liikettä myös ilman paikkatietoa. Relatiivista paikoitusajoa voidaan myös suorittaa olematta kotipisteessä. (Siemens 2016b, 106.)

8.4 Synchronous axis

Synchronous axis -teknologiaobjekti sisältää kaikki positioning axis -teknologiaobjektin ominaisuudet. Tämän lisäksi teknologiaobjektin avulla synkronoitu akseli pystyy seuraamaan master-akselin liikettä. Synkronointioperaatiot etenevät tietyssä järjestyksessä. Alussa master-akselia seuraava akseli synkronoidaan master-akselin asetusravojen mukaan. Slave-akseli seuraa master-akselin sijaintia motion control -käskeyjen mukaan. Aktiivisena oleva synkroniajo keskeytetään, kun uusia liikkeeseen liittyviä tehtäviä tulee. Uudet tehtävät välitetään slave-akselille. Master-akseli voi viedä arvot

usealle eri slave-akselille, mutta synkronoidussa ajossa voi olla vain yksi master-akseli, jota slave-akselit seuraavat. (Siemens 2016b, 107-109.)

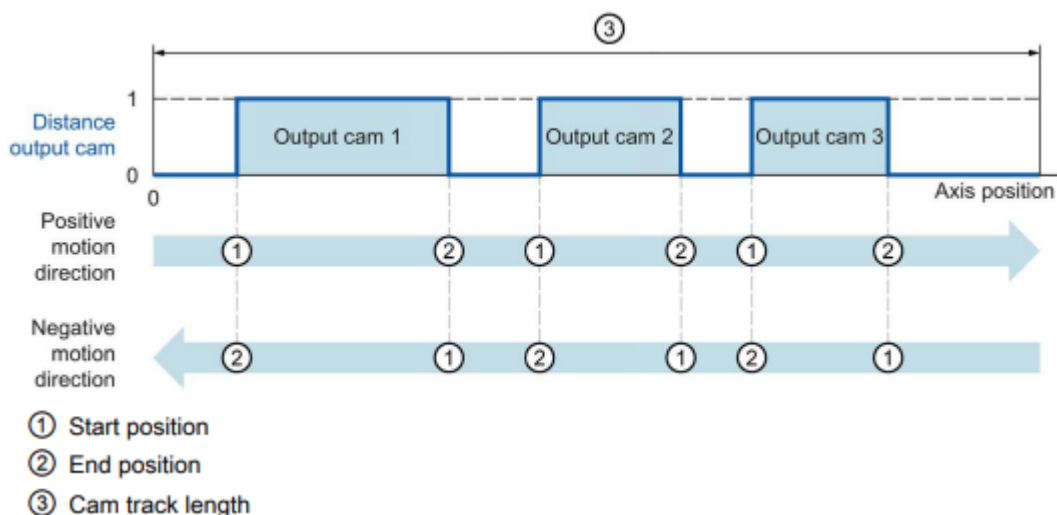
Käytettäessä kuviossa 23. esitettyjä kahta eri akselityyppiä synkronisoidussa ajossa, tulee huomioida akselien yksiköiden oikea muuntosuhde. Esimerkiksi lineaarisen master-akselin liikkuessa 10mm eteenpäin slave-ympyräakseli liikkuu 10° eteenpäin, jos akselien välinen muuntosuhde on 1:1. Kun slave-akseli on saavuttanut master-akselin nopeuden ja kiihtyvyyden, ottaen huomioon akseleiden välisen muuntosuhteen, on akselit synkronoitu. (Siemens 2016b, 108-110.)

8.5 External encoder

External encoder tunnistaa liikeakselin ”kelkan” paikan ja mahdollistaa sen tiedon hyödyntämisen logiikalla. External encoder -teknologiaobjektilla hankittua paikkatietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi synchronous axis -teknologiaobjektin master-akselille. External encoder -teknologiaobjektin ja todellisen sijainnin väliset suhteet määritellään external encoder -teknologiaobjektin commissioning-lehdellä olevista parametreista. Paikkatieto voidaan antaa pituusmittana tai asteina riippuen liikeakselin tyyppistä. (Siemens 2016b, 113.)

8.6 Cam track ja output cam

Cam track -teknologiaobjekti luo vaihtuvan signaalisekvenssin riippuen akselin sijainnista tai external encoder -teknologiaobjektin arvoista. Cam track -teknologiaobjekti yhdistää 32 erillistä output cam -teknologiaobjektia yhdeksi cam track -teknologiaobjektin avulla. Signaalien vaihtoväli voidaan määritellä käyttäjäohjelmassa. Cam track voi käyttää joko aikaperusteisia arvoja tai etäisyysperusteisia arvoja. (Siemens 2016b, 145.)



Kuvio 26. Kolme output cam -teknologiaobjektia etäisyysperusteisella cam track -teknologiaobjektin alueella (Siemens 2016b, 146)

Cam track -teknologiaobjektin pituus on säädeltävissä. Sen arvo alkaa aina nolasta. Näin ollen output cam -teknologiaobjektin arvo on aina positiivinen. Output cam huomioidaan vain silloin, kun sen aloitusarvo on cam track -teknologiaobjektin alueella. Jos output cam -teknologiaobjektin arvo ei ole cam track -teknologiaobjektin alueella, niin se käyttäytyy aikaperusteisten ja etäisyysperusteisten output cam -teknologiaobjektien kanssa tietyllä tavalla. Aikaperusteinen output cam liipaistetaan päälle liikeakselin käydessä määrättyssä pisteessä ja se pysyy liipaistuna parametreissa määritellyn ajan. Etäisyysperusteisen output cam -teknologiaobjektin, jonka lopetuspiste on cam track -teknologiaobjektin ulkopuolella, signaali pysyy päällä niin kauan, kunnes liikeakseli jättää kyseisen output cam -teknologiaobjektin alueen. (Siemens 2016b, 146.)

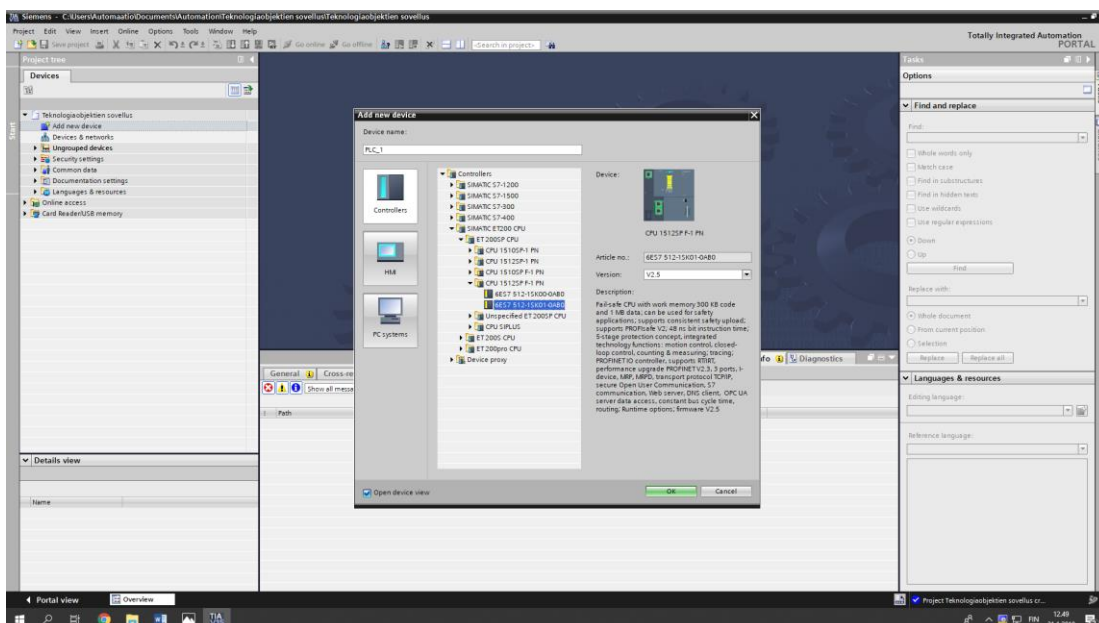
Cam track -teknologiaobjekti on aina määrättävä toiselle teknologiaobjektille, joka käyttää paikkatietoja. Näitä teknologiaobjekteja ovat synchronous axis, positioning axis ja external encoder. Cam track -teknologiaobjektia kohden voi määrittää vain yhden akselin tai external encoder -teknologiaobjektin, mutta useita cam track -teknologiaobjekteja voidaan kohdistaa yhdelle akselille tai external encoder -teknologiaobjektille. (Siemens 2016b, 150.)

9 PROJEKTIN LUOMINEN

Käynnistäessä TIA Portalin on luotava ensimmäiseksi projekti. Portaalinäkyvässä projekti nimetään ja sille luodaan polku, johon projekti tallennetaan. Tämän jälkeen voi painaa Create-nappia ja projekti luodaan. Vasemmasta alanurkasta pääsee projektinäkömään, jossa työtä varsinaisesti tehdään.

Aluksi projektille lisätään laitteet, joita työssä on käytetty. Laitteiden lisäys tapahtuu painamalla vasemmalla olevasta projektipuusta Add new device. Aukeavasta ikkunasta etsitään logiikka, jota työssä käytetään. Tässä tapauksessa logiikka on 1512SP F-1 PN ET200SP. Pudotusvalikoista valitaan malli tarkasti. Artikkelinumero selviää fyysisestä logiikasta. Myös oikea versio valitaan laitteen lisäyksen yhteydessä. Laitteiden tiedot voi etsiä myös TIA Portalin avulla projektipuussa olevan Online access-valikon avulla, jos laitteet ovat kiinni tietokoneessa. Laite voidaan myös nimetä, jotta oikean laitteen löytyminen projektissa helpottuu, jos työssä on esimerkiksi useita eri logiikoita.

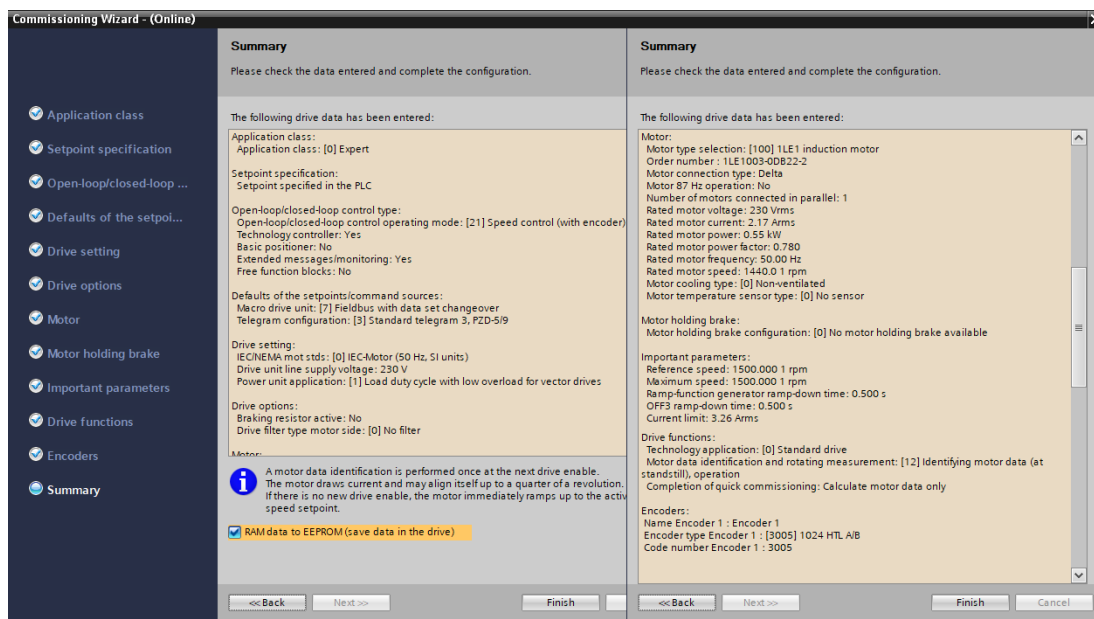
Taajuusmuuttajan lisäys projektille tapahtuu samalla tavalla kuin logiikan lisäys. Taajuusmuuttajan tarkka malli löytyy fyysisestä laitteesta, mutta mallin ja version voi tarkistaa myös Online access-valikon avulla. Lisäyksen jälkeen avautuu laitenäkömää, jossa taajuusmuuttajalle voidaan lisätä myös tehoyksikkö oikealla olevasta katalogista. Oikean mallin löydyttyä tehoyksikkö voidaan raahata ja pudottaa laitenäkömällä olevan taajuusmuuttajan viereen.



Kuvio 27. Laitteiden lisäys projektiin

Logiikan ja taajuusmuuttajan lisäyksen jälkeen laitteet voidaan yhdistää toisiinsa Profinet IO:lla Devices & networks -näkylässä yhdistämällä ne toisiinsa Ethernetporteistaan.

Taajuusmuuttajan käyttöönotto tehdään projektipuusta löytyvän taajuusmuuttajan alavalikoista löytyvällä Commissioning-lehdellä. Commissioning Wizard -työkalulla päästään syöttämään asetukset taajuusmuuttajalle. Moottorin tiedot syötetään Commissioning Wizard -työkalun Motor-lehdellä ja pulssianturin tiedot voidaan syöttää Encoders-lehdellä. Moottorin tiedot löytyvät moottorin kyljessä olevasta tyyppikilvestä tai tiedot voi hakea käyttöönotossa moottorin mallin tiedoilla. Pulssianturin tiedot löytyvät valmistajan dokumenteista. Commissioning Wizard -työkalun asetusten asettamisesta on liitteissä ohjevideo.



Kuvio 28. Commissioning Wizard -työkalun yhteenveto asetuksista

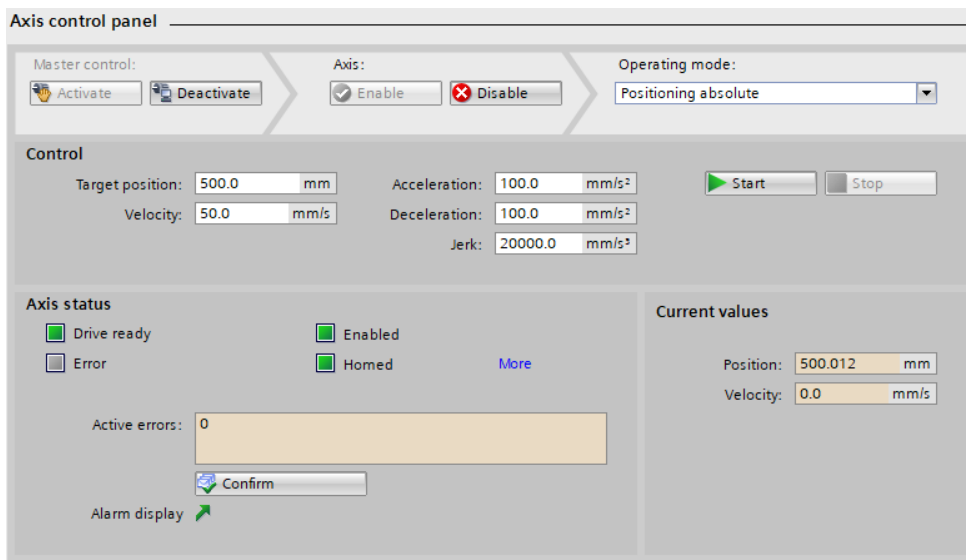
Kun laitteet on lisätty projektiin, ne on yhdistetty toisiinsa väylällä. Kun tarvittavat asetukset on tehty, voidaan ne ladata logiikkaan ja mennä onlineen. Moottoria voidaan ajaa Commissioning-välilehdeltä aukeavasta Control panel -näköymästä. Yrittäessä ajaa moottoria sen jälkeen, kun master control on aktivoitu, tekee se aluksi viiteajon. Viiteajon jälkeen voidaan asettaa taajuusmuuttajan ajo päälle, valita ajettava nopeus ja ajettava suunta. Ajon aikana moottorin toimintaa voi tarkkailla diagnostiikka-välilehdeltä.

10 POSITIONING AXIS LUONTI JA KÄYTTÖNOTTO

Projektin luomisen jälkeen on teknologiaobjektin luomisen aika. Teknologiaobjektin lisäys tapahtuu TIA Portalin projektipuusta aikaisemmin lisätyn logiikan pudotusvalikoista. Valikosta löytyvästä technology objects -kohdasta pääsee lisäämään halutun teknologiaobjektin. Tässä työssä on perehdytty positioning axis -teknologiaobjektiin, jonka ominaisuuksia on käsitelty luvussa 8.3.

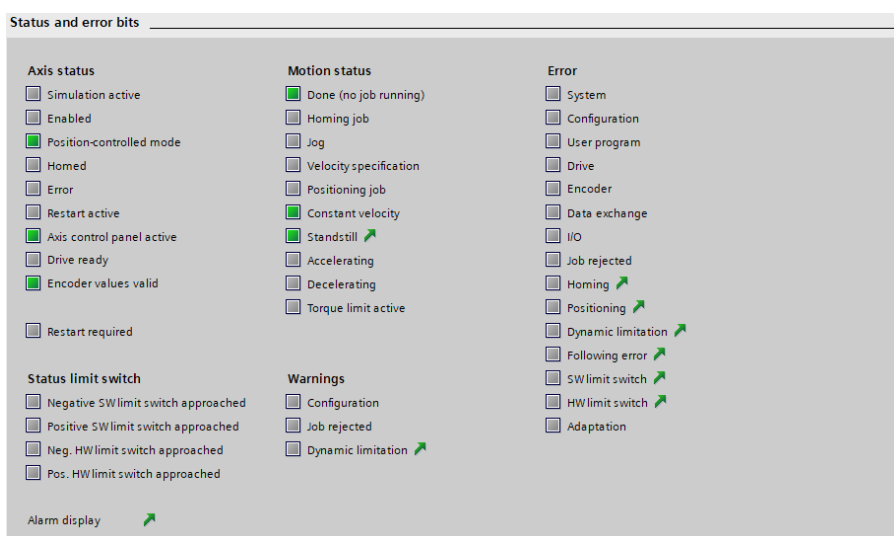
Teknologiaobjektin lisäyksen jälkeen objekti tulee konfiguroida oikein. Basic parameters -valikossa valitaan aluksi akselin tyyppi, lineaariakseli tai ympyräakseli. Akselityypin valinnan lisäksi oleellista on valita missä mittayksiköissä akselia käytetään. Hardware interface -lehdellä määritetään mitä taajuusmuuttajaa ja pulssianturia käytetään kyseisen teknologiaobjektin ajamiseen. Myös telegramin valinta tehdään hardware interface -lehdellä. Extended parameters -valikossa ensimmäisenä tulee määrittää mihin pulssianturi on kiinnitetty. Tässä työssä pulssianturi oli kiinnitetty akselin etupäähän. Kyseisessä tilanteessa tulee huomioida, että pulssianturi mittaa moottorin pyörimisen väärinpäin, joten konfiguroinnissa tulee valita, että pulssianturin mittausuunta käännetään. Samassa valikossa pääsee myös asettamaan moottorin ja akselin muuntosuhteen. Valikosta löytyy myös asetuksia liittyen dynaamisiin rajoihin ja kottinajon asetuksiin sekä virheiden monitorointiin. Parametrien asettelusta on liitteissä ohjevideo.

Akselin konfiguroinnin jälkeen sitä voidaan ajaa käsin positioning axis -teknologiaobjektin alta löytyvältä commissioning-lehdeltä. Kun master control on aktivoitu, akselin käyttö voidaan sallia.



Kuvio 29. Positioning axis commissioning-näkymä

Akselin kontrollipaneelissa voidaan valita erilaisia tapoja ajaa akselia operating mode -valikosta. Valittavina on kotipisteen asetus, kotiinajo, käsinajo, nopeuden asetus, relatiivinen paikoitus ja kuviossa 29. näkyvä absoluuttinen paikoitus. Axis status -kohdassa näkyvä homed-valo kertoo akselin olevan tietoinen omasta sijainnistaan. Tällöin akselia voidaan muun muassa ajaa absoluuttisesti kuviossa 29. esitetyllä tavalla. Akselille on valittu, että se ajaa paikkaan 500mm nopeudella 50mm/s. Current values -kohdasta huomataan, että akseli on ajettu paikkaan 500mm ja liike on jo pysähtynyt, koska nopeus on 0. Tässä näkymässä akselia ajettaessa tulee huomata, että ikkunan pitää olla aktiivinen koko ajon ajan. Liitteissä on linkki videoon, jossa moottoria ajetaan taajuusmuuttajan Control panel -näkymästä.

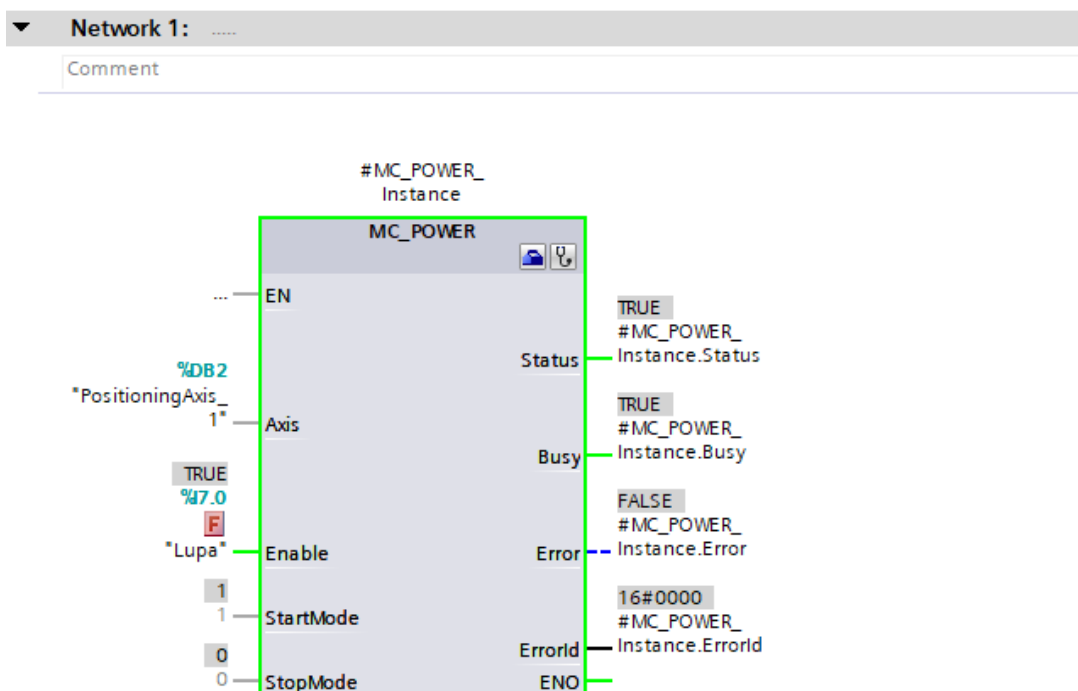


Kuvio 30. Diagnostiikkalehden tila-, varoitus- ja virhetietoja

Diagnostiikkalehdellä pystyy seuraamaan akselin tilatietoa, liikkeen tilatietoa, varoituksia ja virheitä ajon aikana.

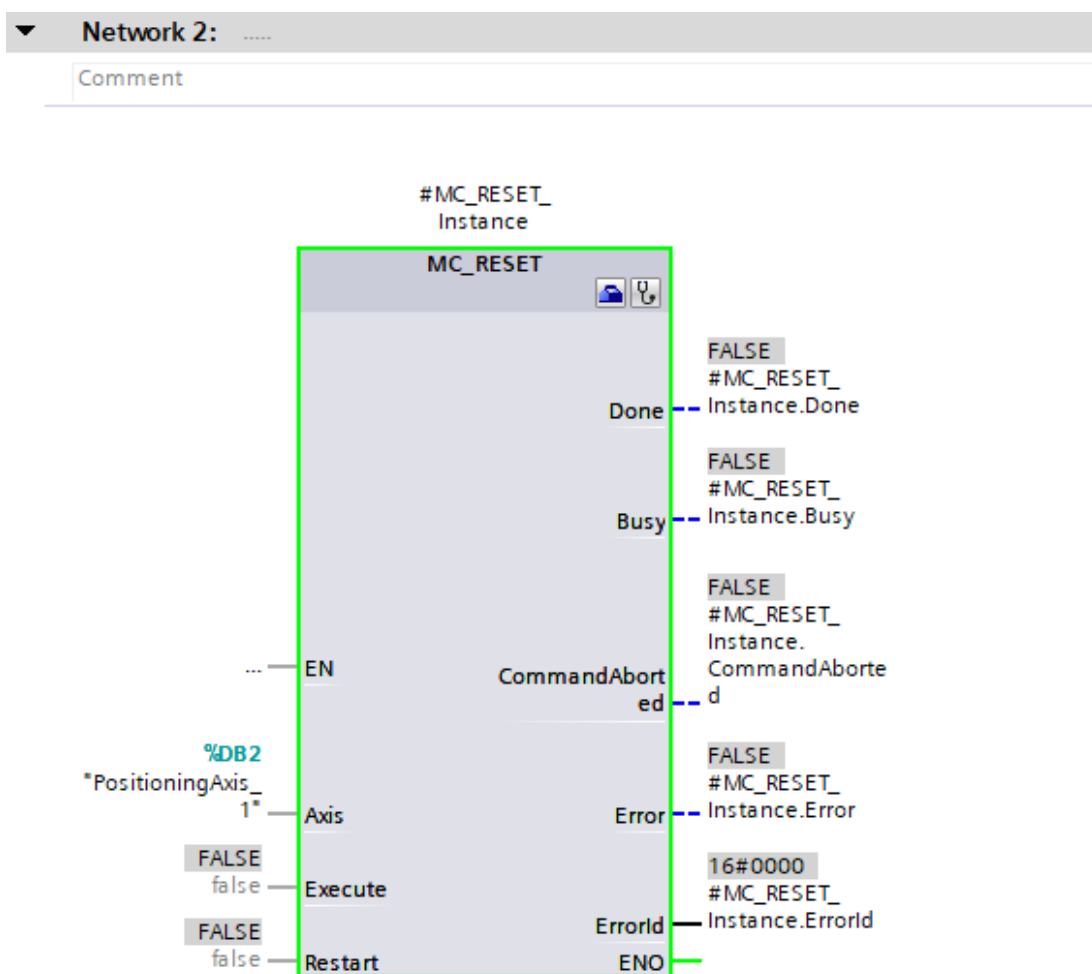
10.1 Positioning axis -teknologiaobjektin ohjaus motion control -ohjeilla

Kun liikeakseli on konfiguroitu teknologiaobjektin kautta, niin voidaan aloittaa käyttäjäohjelman teko. Program blocks -valikon alta löytyvästä valikosta valitaan Add new block. Työhön valittiin function block ja kieleksi FBD. Ohjelman rakentaminen tapahtuu function block -lohkon sisällä. Motion control -lohkot löytyvät function block -lohkon oikeassa laidassa olevasta technology-kirjastosta. Motion control -lohkoja lisätessä TIA Portal luo automaattisesti lohkoja varten datalohkot. Tässä työssä motion control -lohkoille valittiin multi instance -datalohkot. Valitsemalla multi instance -datalohkot TIA Portal luo automaattisesti Static-muuttujat motion control -lohkon sisään- ja ulostuloista.



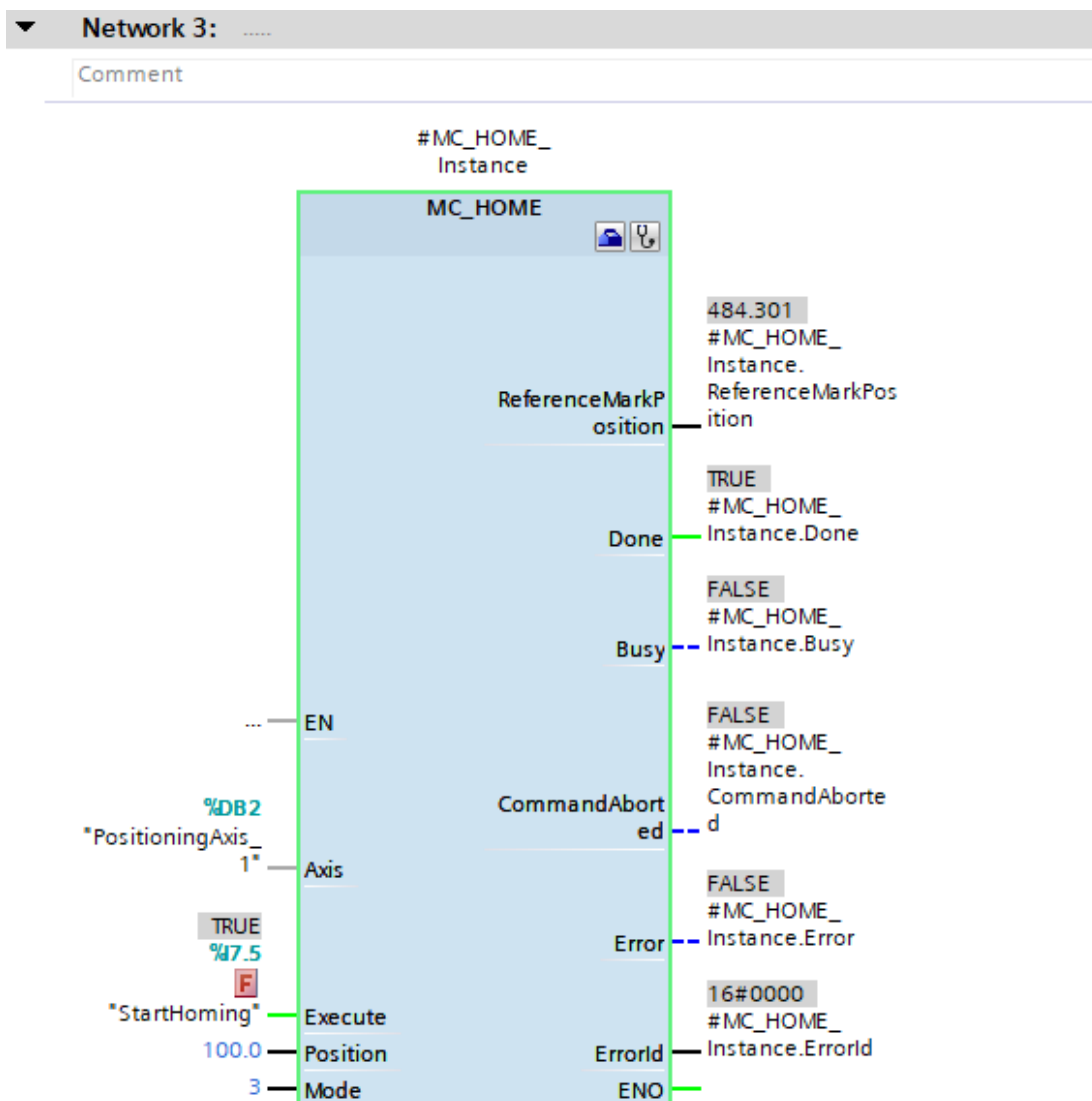
Kuvio 31. MC_POWER lohkon sisään- ja ulostulotiedot

Motion control -lohkon Axis-kohtaan valitaan aina akseli, jota halutaan ohjata. Tässä esimerkissä ohjataan positioning axis -teknologiaobjektia. MC_POWER sallii moottorin käytön, kun Enable aktivoituu. Kuviossa 31. lohko on aktivoitu, kun sisääntulo I7.0 on tosi. Lohkon ollessa aktiivinen myös ulostulotiedot Status ja Busy ovat tosia.



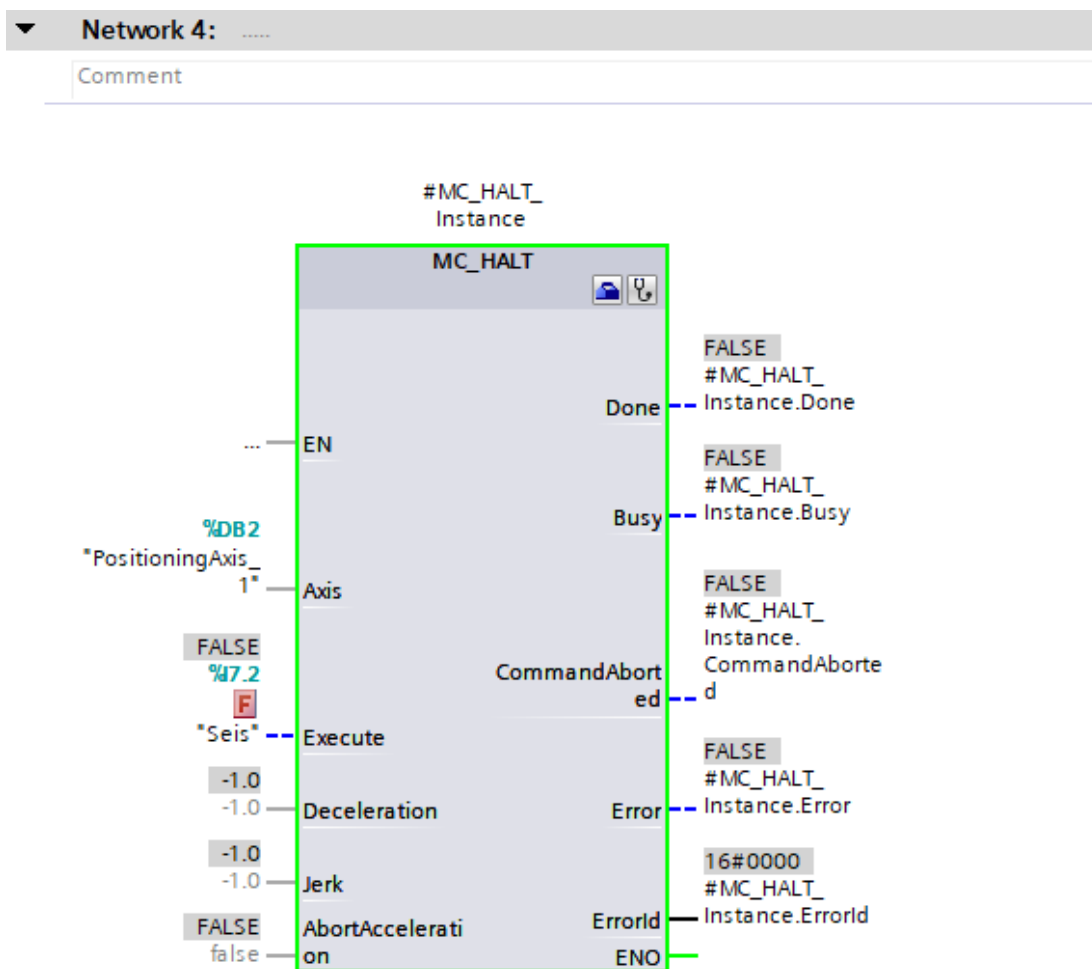
Kuvio 32. MC_RESET lohkon sisään- ja ulostulotiedot

MC_RESET nollaa kaikki teknologiaobjektin hälytykset, jotka voidaan käyttäjäohjelmalla nollata. Resetointi myös nollaa virhe- ja hälytysbitit teknologiadatalohkosta. Hälytysten resetointi tapahtuu positiivisesta reunasta Execute-sisääntulossa. Resetointia varten tulee huomata, että MC_POWER ulostulostiedot Status ja Busy tulee olla epätosia. Restart-kohdasta teknologiaobjektille voidaan palauttaa sen oletusarvot, kun restart on tosi ja Execute-sisääntulo saa positiivisen reunan.



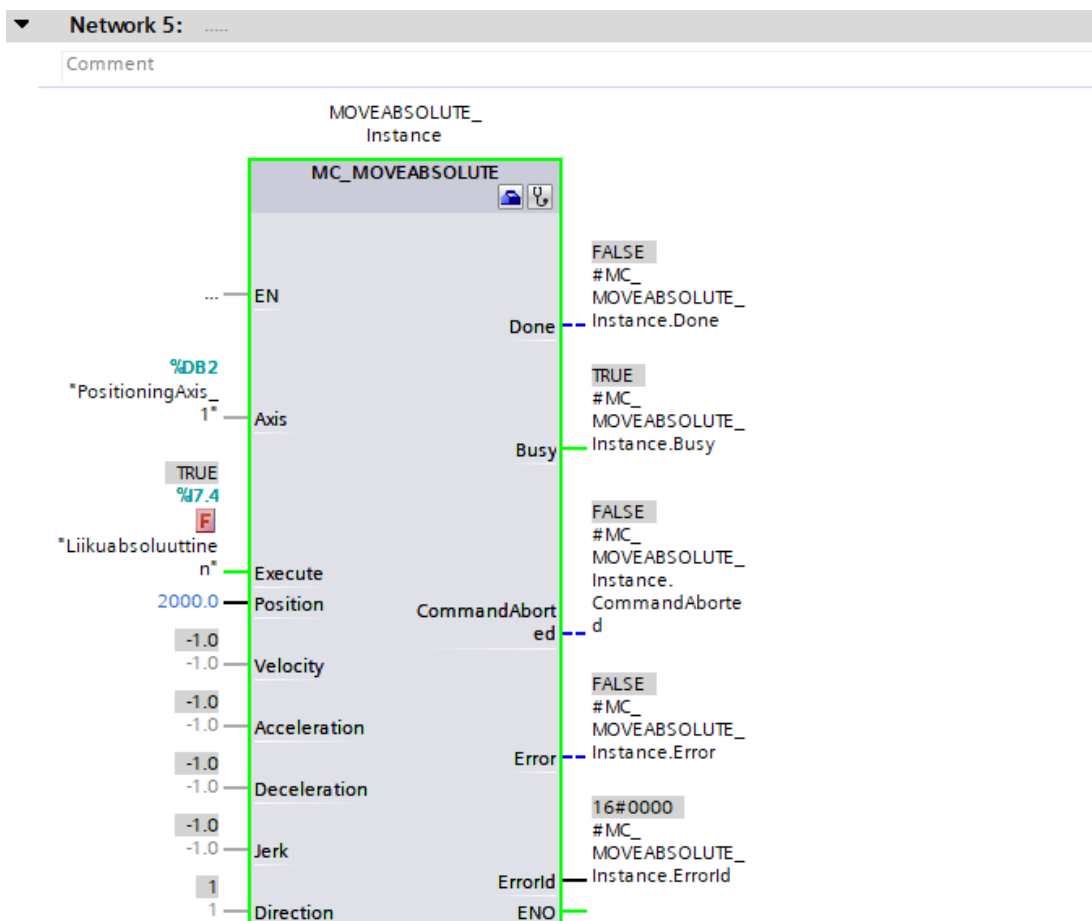
Kuvio 33. MC_HOME lohkon sisään- ja ulostulotiedot

MC_HOME-lohkokolla luodaan yhteys teknologiaobjektin ja todellisen akselin sijainnin välille. Kotinajo riippuu moodista, joka on valittu Mode-sisääntuloon. Moodi 3 tarkoittaa sitä, että Execute-sisääntulon saadessa signaalin, aloitetaan kotinajo teknologiaobjektin parametrien mukaisesti. Teknologiaobjektin parametreihin on myös asetettu kotipiste. Kotipisteen signaalin ollessa 1, lopetetaan kotinajo ja voidaan todeta liikeakselin olevan kotipisteessään. Tällöin teknologiaobjekti tietää oman sijaintinsa ja pystyy näinollen suorittamaan esimerkiksi absoluuttista paikoitusajoa. Moodeista saa lisätietoa valitsemalla MC_HOME-lohkon aktiiviseksi ja painamalla F1-näppäintä.



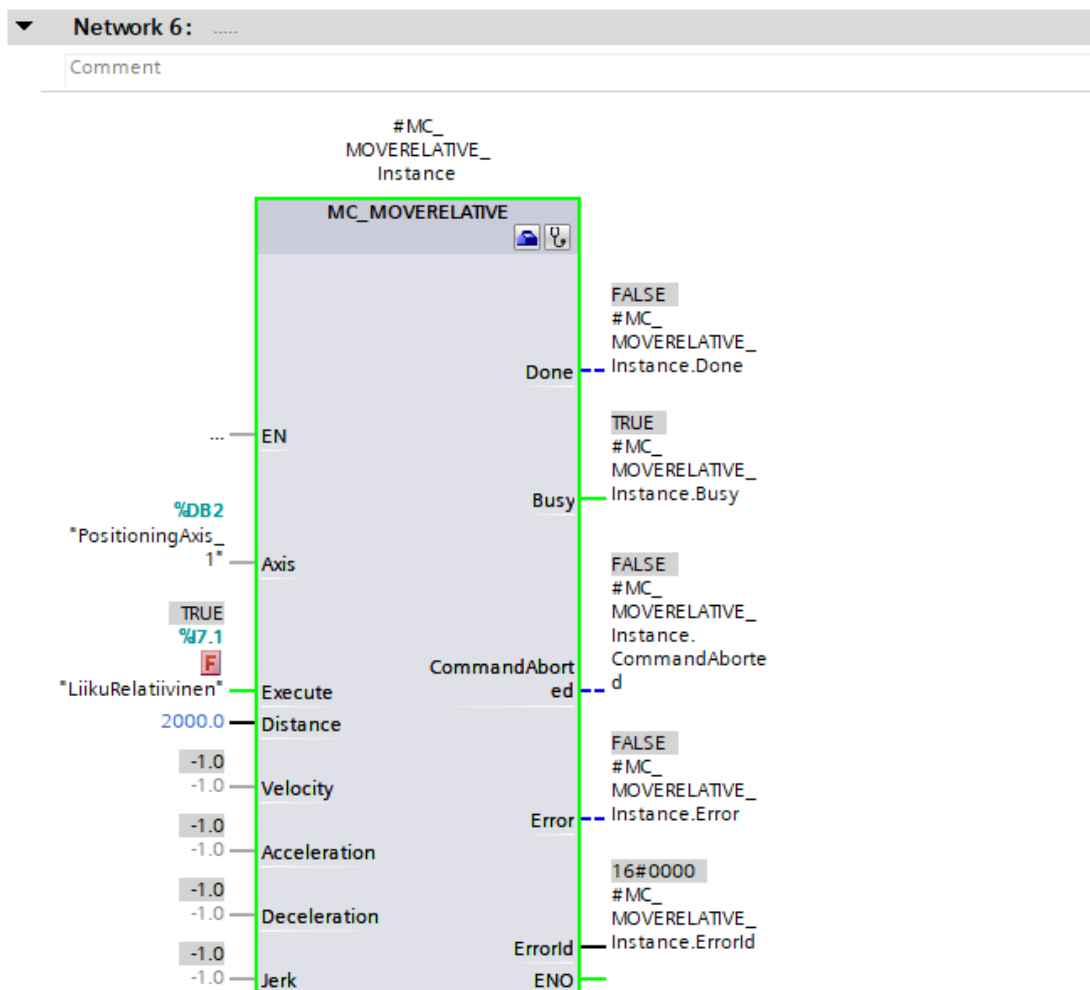
Kuvio 34. MC_HALT lohkon sisään- ja ulostulotiedot

MC_HALT jarruttaa liikeakselin liikkeen nolnaan, kun Execute saa positiivisen reunan. Deceleration ja Jerk -sisääntuloihin voidaan antaa omat halutut arvot. Kuviossa 34. Deceleration ja Jerk -sisääntuloarvot ovat kuitenkin < 0 , mikä tarkoittaa, että Execute -sisääntulon aktivoituessa jarrutukseen käytetään teknologiaobjektiin konfiguroituja dynaamisia oletusarvoja.



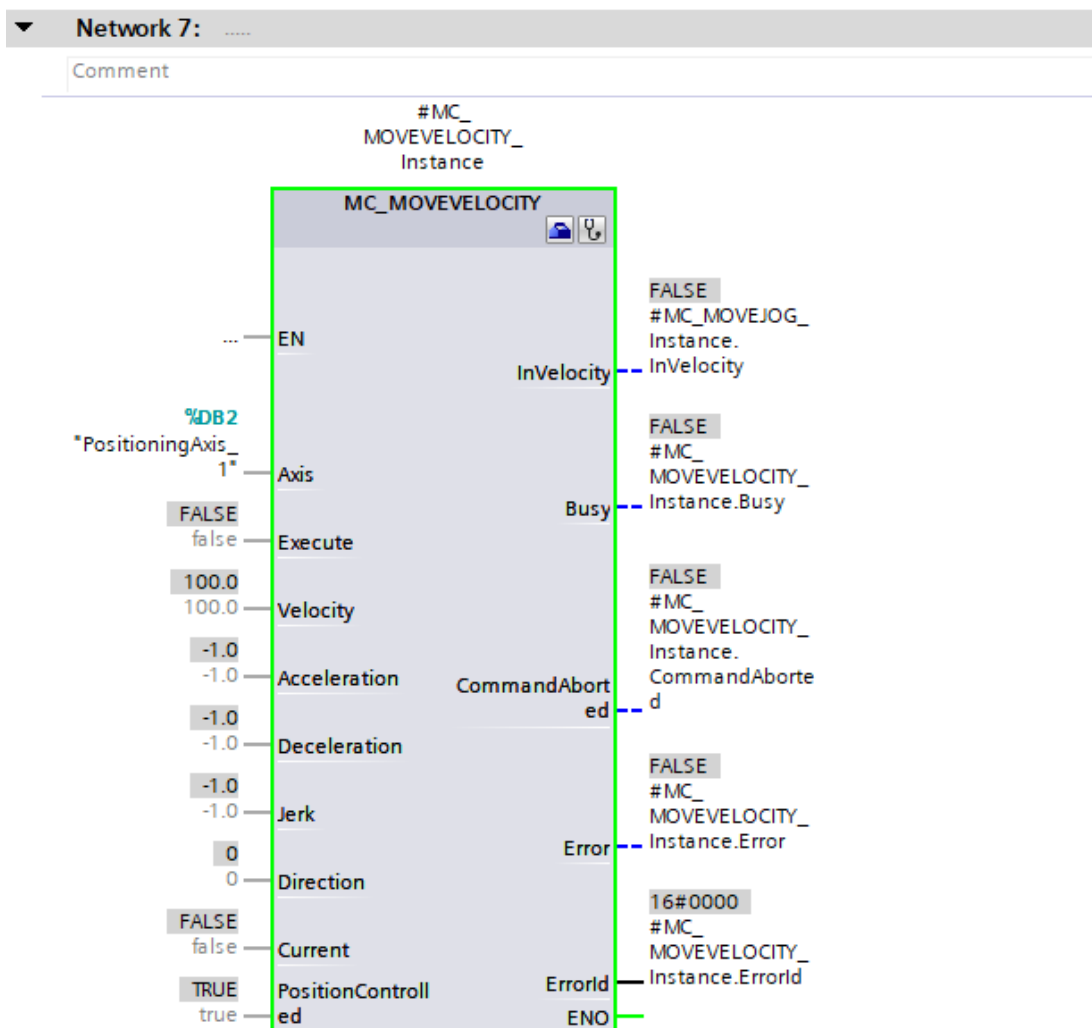
Kuvio 35. MC_MOVEABSOLUTE lohkon sisään- ja ulostulotiedot

MC_MOVEABSOLUTE-lohkolla voidaan liikeaksi ajaa haluttuun pisteeseen. Toimintoa voidaan käyttää, kun akseli on sallittu MC_POWER-lohkolla ja akseli on homed. Kuviossa 35. esitetystä esimerkistä liikeakselia ajetaan parhaillaan pisteeseen 2000, koska ulostulotieto Busy on tosi. Ajo aloitetaan, kun Execute saa positiivisen reunan. Akselia ajetaan teknologiaobjektin dynaamisten oletusarvojen mukaan Velocity, Acceleration, Deceleration ja Jerk -sisäntulojen ollessa < 0 .



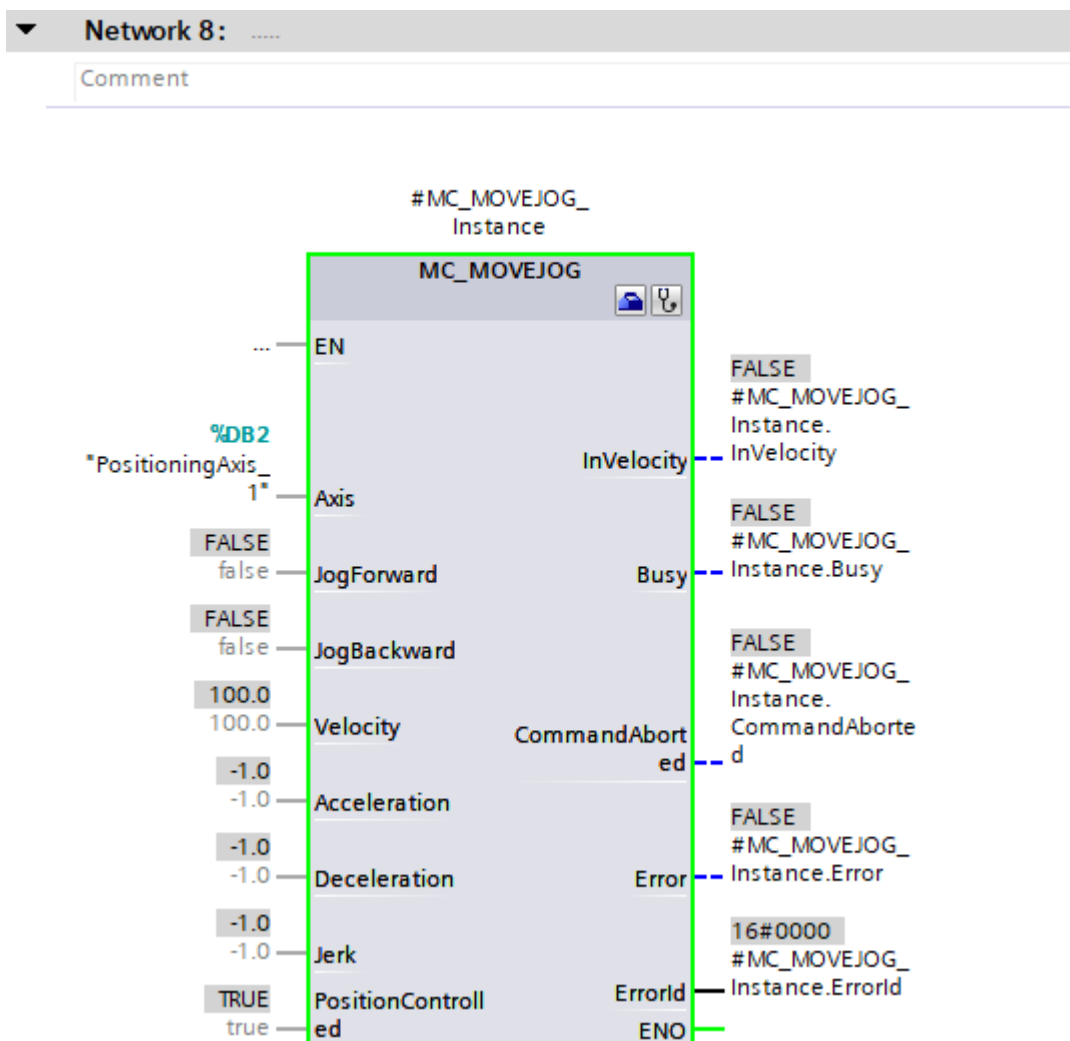
Kuvio 36. MC_MOVERELATIVE lohkon sisään- ja ulostulotiedot

MC_MOVERELATIVE-lohkokolla liikeakselia ajetaan nykyisestä sijainnista haluttu matka. Toimintoa voidaan käyttää, kun liikeakseli on sallittu ja Execute saa positiivisen reunan. Kuviossa 36. liikeakseli on ajamassa akselia eteenpäin 2000 yksikköä, kun Busy-ulostulotieto on tosi. Liikeakselin ajamiseen käytetään teknologiaobjektin dynaamisia oletusarvoja.



Kuvio 37. MC_MOVEVELOCITY lohkon sisään- ja ulostulotiedot

MC_MOVEVELOCITY-lohkolla voidaan liikeakselia ajaa ilman sijaintiin liittyviä tietoja. Velocity, Acceleration, Deceleration ja Jerk -sisääntulotietoihin voidaan asettaa halutut arvot, mutta arvojen ollessa < 0 liikeakseli käyttää teknologiaobjektiin konfiguroituja dynaamisia arvoja. Direction-sisääntulo määrittää pyörimissuunnan. Arvon ollessa 0, Velocity-sisääntulotiedon etumerkki määrittää pyörimissuunnan. Arvon ollessa 1 pyörimissuunta on positiivinen ja arvon ollessa 2 pyörimissuunta on negatiivinen. Current-sisääntulotiedon ollessa epätosi, otetaan nopeusohje ja pyörimissuunta huomioon. Sen ollessa tosi, säilytetään pyörimisnopeus ja -suunta samana kuin se on sillä hetkellä ollut, kun lohkon Execute saa positiivisen reunan. PositionControlled-sisääntulon ollessa tosi, on lohko position-controlled-moodissa. InVelocity-ulostulotiedon ollessa tosi, on akseli saavuttanut nopeusohjeensa.



Kuvio 38. MC_MOVEJOG lohkon sisään- ja ulostulotiedot

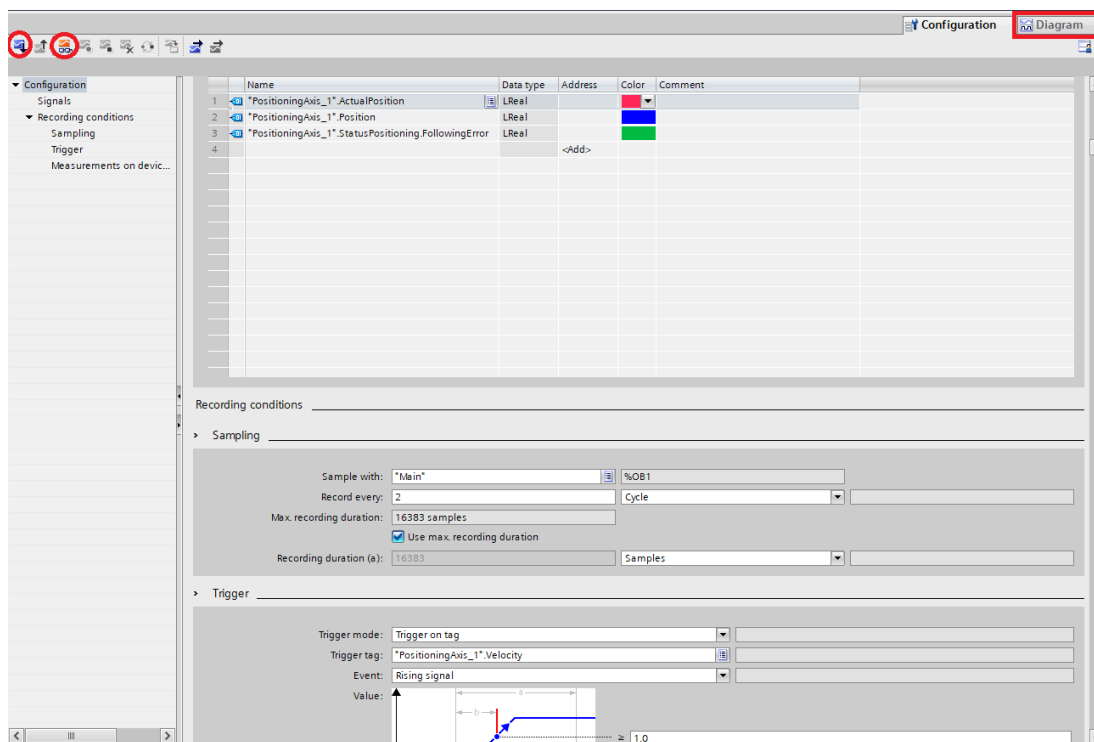
MC_MOVEJOG-lohko on lähes identtinen MC_MOVEVELOCITY-lohkon kanssa. Ainoa ero on, että suunnan valinta ja ajon aloittaminen tehdään samasta sisääntulosta. JogForward-sisääntulon ollessa tosi, ajetaan liikeakselia positiiviseen suuntaan. JogBackward-sisääntulon ollessa tosi, ajetaan liikeakselia negatiiviseen suuntaan. JogForward ja JogBackward -sisääntulojen ollessa tosia samanaikaisesti, antaa lohko virheen. Tämä virhe voidaan selvittää käyttämällä kummatkin sisääntulotiedot epätotena.

10.2 Todellisen sijainnin ja lasketun sijainnin monitorointi

Moottoria ajaessa oli aluksi ongelmia, koska se antoi following error -virhettä. Following error tarkoittaa, että lasketun sijainnin ja todellisen sijainnin ero on liian suuri.

Sallittua seurausvirhettä voidaan säätää teknologiaobjektin konfiguroinnissa Position monitoring -lehdellä.

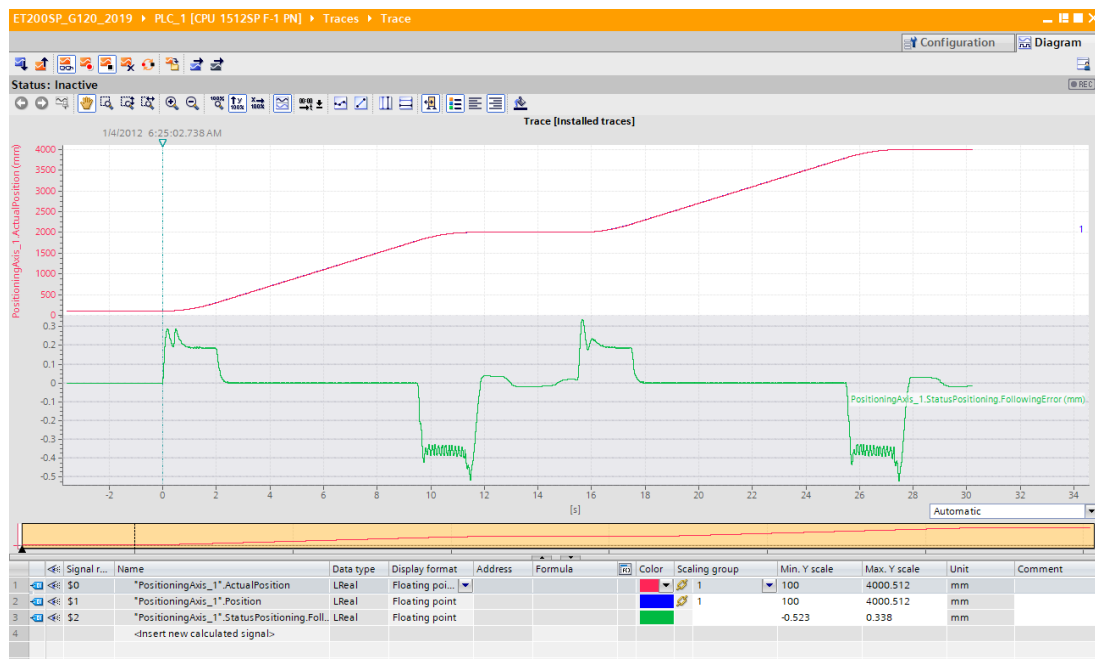
Todellisesta sijainnista, laskennallisesta sijainnista ja seurausvirheestä voidaan piirtää TIA Portalin avulla trendi, jota seuraamalla voidaan selvittää syytä virheen syntymiseen. Teknologiaobjektia luodessa TIA Portal luo automaattisesti teknologiaobjektille oman datalohkon, josta löytyy halutut muuttujat. Datalohkon saa auki klikkaamalla teknologiaobjektia oikealla hiiren painikkeella ja valitsemalla Open DB editor. Trendin piirtoa varten on oma työkalu, joka löytyy TIA Portalin projektipuusta Traces-kohdasta.



Kuvio 39. Trace-työkalun konfigurointi

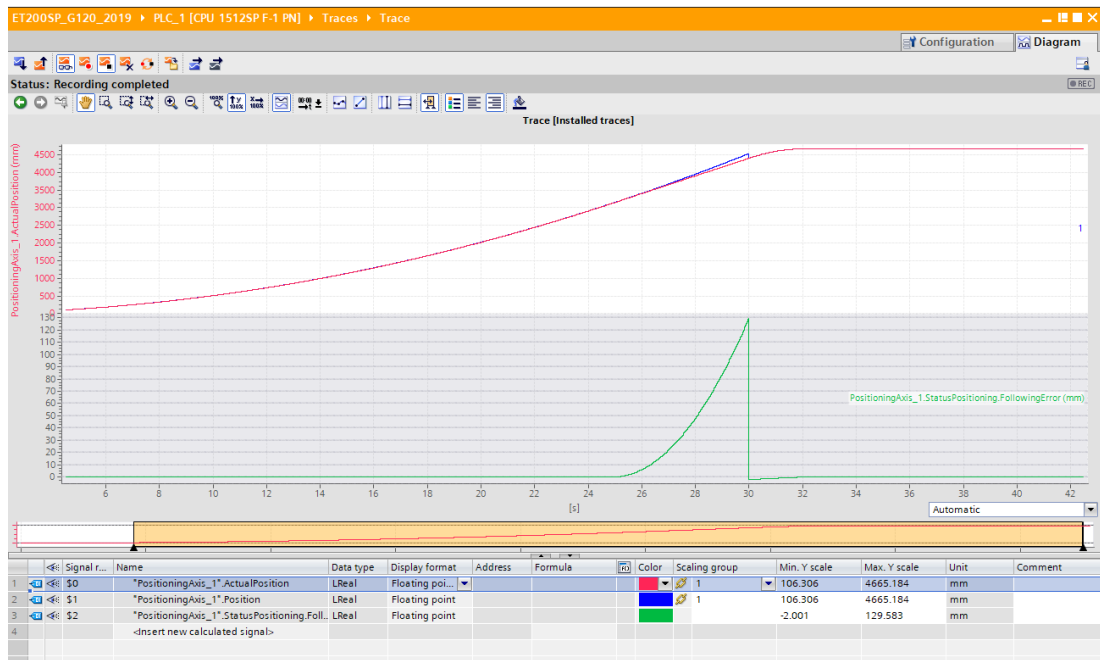
Kun uusi trace luodaan, tulee signals-lehdellä määrittää halutut muuttujat, joista trendi halutaan luoda. Kuvioista 39. selviää, että halutut muuttujat, joista trendi halutaan tehdä ovat ActualPosition, Position ja FollowingError. Sampling-kohdassa tulee määrittää trendin tallennukseen liittyvät asetukset. Trigger-kohdassa määritetään, millä ehdolla trendin tallennus aloitetaan. Konfiguroinnin jälkeen trace tulee siirtää plc:lle kuviossa

39. vasemmanpuoleisimmasta ympyröidystä napista. Siirron jälkeen monitorointi voidaan aktivoida napista, jossa on silmälasien kuva. Trendin seurantaikkunaan pääsee valitsemalla oikealla ylhäällä olevan Diagram-lehden auki.



Kuvio 40. Trendin seuranta

Diagram-sivulla tulee vielä määrittää muuttujille haluttu skaalaus. Kuviossa 40. esitettyssä trendissä olen valinnut todellisen sijainnin ja laskennallisen sijainnin piirtämisen samaan ikkunaan. Seurantavirhe on piirretty vihreällä omaan ikkunaansa. Trendistä huomataan, että maltillisesti moottoria kiihdyttäessä ja jarruttaessa syntyy pientä seurantavirhettä todellisen sijainnin ja lasketun sijainnin välille.



Kuvio 41. Trendin seurannassa huomattu following error

Kuviossa 41. havaitaan, että moottoria kiihdyttäessä rajummin ja kovempaan nopeuteen, pääsee syntymään seurantavirhettä. Virheen kasvaessa yli sallittujen rajojen, antaa ohjelma following error -virheen ja pysäyttää moottorin pyörimisen. Virhe tulee kuitata ennenkuin moottorin ajo voidaan jälleen sallia.

Trace-työkalun käyttö on erittäin hyödyllinen selvittäessä, mikä following error -virheen aiheuttaa. Työkalulla pystyi selvittämään työn alussa alkaneen ongelman, kun moottori meni heti vikatilaan following error -virheen takia. Trendi paljasti, että laskennallinen sijainti oli menossa positiiviseen suuntaan, kun todellinen sijainti meni negatiiviseen suuntaan. Tämä johtui siitä, että pulssianturi oli moottorin akselin etupäässä, jolloin anturin toiminta tuli invertoida. Invertoinnin sai tehtyä teknologiaobjektin konfigurointivalikossa Mechanics-kohdasta.

11 POHDINTA

Saatuani aiheen opinnäytetyöhön, olin alkuun hieman huolissani siitä, kuinka omat tietoni ja taitoni riittävät opinnäytetyöaiheen suorittamiseen. Siemensin aloituskoulutus oli itselleni todella hyödyllinen, sillä siitä sai hyvät lähtötiedot työn kannalta olennaisimpiin työkaluihin.

Tavoitteena oli tutkia teknologiaobjektien käyttämistä liikkeenohjauksessa. Käytännön toteutuksessa tuli huomattua, kuinka liikeakselia voidaan ajaa käyttäen teknologiaobjektia yhdessä motion control -lohkojen kanssa. Käyttöönoton jälkeen tein käyttäjäohjelmani FB-lohkoon käyttäen motion control -käskyjä. Tässä osuudessa pääsin tarkastelemaan, kuinka liikeakselia voidaan käytännössä ohjata motion control -käskyillä. Teoriaosuutta tehdessäni tuli huomattua, kuinka tärkeä on tietää ohjelmoitavalta logiikalta vaaditut ominaisuudet ennen projektin aloittamista. Esimerkiksi 1200-sarjan Siemensin logiikan teknologiakirjasto on erittäin suppea verrattuna 1500-sarjan ohjelmoitaviin logiikoihin.

Toisena tavoitteena oli selvittää, mitä hyötyjä saavutetaan käyttämällä teknologiaobjekteja. Laitteiston käyttöönotto on tehty suhteellisen yksinkertaiseksi TIA Portalissa. Esimerkiksi teknologiaobjektia konfiguroidessa jokaisessa asetuskohtassa on selitetty, mitä ja mihin kukin asetusarvo vaikuttaa. Moottoria pääsi nopeasti käyttöönottestaamaan commissioning wizard -työkalun ja teknologiaobjektin konfiguroinnin jälkeen teknologiaobjektin käyttöönottolehdeltä. Käyttöönoton yhteydessä myöskään taajuusmuuttajalle ei fyysisesti tarvinnut asettaa arvoja, vaan kaikki arvot tulivat TIA Portalin kautta. Nykypäivänä työn laadun lisäksi projektit tulisi suorittaa nopeasti valmiiksi. Kun toimitettavat laitteet ovat tiedossa, voidaan teknologiaobjektit konfiguroida oikein jo suunnitteluvaiheessa. Tämä mahdollistaa nopeamman laitteiston käyttöönoton kohteessa ja projektien uudelleen käyttäminenkin on helpompaa.

Työssä on perehdytty käytännön tasolla vain positioning axis -teknologiaobjektiin. Motion control -lohkojen käyttö muille teknologiaobjekteille toimii samalla tavalla, mutta esimerkiksi synchronous axis -teknologiaobjektilla on erilaisia motion control -

lohkoja käytettävissä. Motion control -lohkojen ja teknologiaobjektien toimintaan tulee perehtyä aina erikseen, sillä niiden käytettävyys eroaa toisistaan hieman.

Ilman Siemensin oppilaitosyhteistyöhenkilöiden koulutusta ja opinnäytetyöohjaajani tukea työn toteuttaminen olisi ollut hankalampaa johtuen TIA Portal ohjelmointiympäristön vähäisestä tuntemuksesta. Aiheesta löytyi kuitenkin netistä ja kirjallisuudesta melko paljon materiaalia, joten aiheeseen perehtyminen oli helppoa. Koulutuksen ja opinnäytetyön suorittamisen kautta kuitenkin koen oppineeni paljon TIA Portalista ja ylipäänsä liikkeenohjauksesta. Uskon tästä työstä olleen itselleni paljon hyötyä jatkoa ajatellen, mikäli päädyn tulevaisuudessa työskentelemään vastaavanlaisissa työtehtävissä.

LÄHTEET

Berger, H. 2012. Automating with SIMATIC S7-300 inside TIA Portal. Erlangen: Publicis Publishing.

Danfoss Drivers www-sivut. 2018. Viitattu 2.11.2018. <http://drives.danfoss.fi/danfoss-drives/what-is-an-ac-drive/#/>.

Edgefx www-sivut. 2019. Viitattu 18.12.2018. <https://www.edgefx.in/how-to-program-the-programmable-logic-controllers/>.

Erickson, K. 2010. Programmable logic controllers: Hardware, software architecture. InTech Magazine. Viitattu 18.12.2018. <https://www.isa.org/standards-publications/isa-publications/intech-magazine/2010/december/automation-basics-programmable-logic-controllers-hardware-software-architecture/>.

Frost www-sivut. 2019. Viitattu 18.12.2018. <https://www.frostelectric.com/buy/product/siemens-6sl32101pb138ul0/3366538>.

Galco Industrial Electronics www-sivut. 2018. Viitattu 19.11.2018. <https://www.galco.com/comp/prod/moto-ac.htm>.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2009. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. 1.-2. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.

Korpinen, L. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus. Viitattu 19.11.2018. http://leenakorpinen.com/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf.

Mauer, T. 'How to select the right industrial Ethernet standard: PROFINET'. Industrial Strength. 6.11.2015. Viitattu 21.11.2018. https://e2e.ti.com/blogs_/b/industrial_strength/archive/2015/11/06/how-to-select-the-right-industrial-ethernet-standard-profinet#.

Metter, M. & Pigan, R. 2008. Automating with PROFINET. 2. painos. Erlangen: Publicis Publishing.

Niiranen, J. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Yliopistokustannus/Otatieto.

PETER. 'Scan time of the PLC program'. PLC Basics. 10.5.2015. Viitattu 7.12.2018. <https://www.plcademy.com/scan-time-of-the-plc-program/>.

plcTutor. 'What is a PLC?'. PLCTutor.com. 29.8.2013. Viitattu 6.11.2018. <http://www.plctutor.com/>.

RS Components www-sivut. 2019. Viitattu 18.12.2018. <https://uk.rs-online.com/web/p/inverter-drives/7449629/>.

SähköNet. n.d. Taajuusmuuttajat. Viitattu 25.11.2018. <http://blogit.jao.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>.

- SICK www-sivut. 2019. Viitattu 19.12.2018. <https://www.sick.com/fi/fi/enkoode-rit/pulssianturi/c/g244396>.
- Siemens Industry Mall www-sivut. 2019. Viitattu 18.12.2018. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7512-1SK01-0AB0>.
- Siemens Industry Online Support www-sivut. 2019. Viitattu 27.11.2018. <https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=en-WW>.
- Siemens. 2010. Function Block Diagram (FBD) for S7-300 and S7-400 Programming. Reference Manual. Viitattu 27.11.2018. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/487/45522487/att_61497/v1/s7fup_b.pdf.
- Siemens. 2014. Sinamics G120 CU250S-2 Control Units. Compact Operating Instructions. Viitattu 19.12.2018. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/303/99730303/att_58802/v1/G120_CU250S2_KBA1_0414_eng_en-US.pdf.
- Siemens. 2015. SINAMICS G120 Power Module PM240-2. Hardware Installation Manual.
- Siemens. 2016a. ET 200SP CPU 1512SP-1 PN (6ES7512-1DK01-0AB0). Manual. Viitattu 5.12.2018. http://www.gisa.se/uploaded_files/et200sp_cpu1512sp_1_pn_manual_en-US_en-US.pdf?v20180228125420.
- Siemens. 2016b. S7-1500 Motion Control V3.0 in the TIA Portal V14. Function Manual. Viitattu 28.1.2019. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/589/109739589/att_897264/v1/s71500_motion_control_function_manual_en-US_en-US.pdf.
- Siemens. 2018. Structure and Use of the CPU Memory. Function manual.
- Siemensin www-sivut. 2019. Viitattu 17.12.2018. <https://new.siemens.com/fi/fi.html>.
- Staattori (konetekniikka). 2013. Teoksessa Wikipedia. Viitattu 19.11.2018. [https://fi.wikipedia.org/wiki/Staattori_\(konetekniikka\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Staattori_(konetekniikka)).
- Suvela, T. n.d. Kaaviokuva Liikkeenohjaus-opintojakson Moodle-pohjassa.
- Taajuusmuuttaja. 2019. Teoksessa Wikipedia. Viitattu 17.1.2019. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Taajuusmuuttaja>.
- Tang, X., Li, H-J., Chen, Y-T. & Tang, W-H. 2014. Research on Industry Parallel-Control System Based on Siemens PLC. Journal of Applied Sciences 14, 2084-2086. Viitattu 4.3.2019. [10.3923/jas.2014.2084.2086](https://doi.org/10.3923/jas.2014.2084.2086)

<https://www.youtube.com/watch?v=WOK8BLz-VXo&feature=youtu.be>

Commissioning Wizard -parametointi

<https://www.youtube.com/watch?v=HCszaHc8Ci4&feature=youtu.be>

Control panel -näkömäästä moottorin ohjaus

<https://www.youtube.com/watch?v=rByx5X1e1xQ&feature=youtu.be>

Positioning axis -teknologiaobjektin parametointi