



Amir Moradi

PLC-järjestelmän implementointi GreenLine-testauslinjalle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

29.11.2021

Tiivistelmä

Tekijä: Amir Moradi
Otsikko: PLC-järjestelmän implementointi GreenLine-testauslinjalle
Sivumäärä: 42 sivua + 3 liitettä
Aika: 29.11.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka
Ammatillinen pääaine: Koneautomaatio
Ohjaajat: Lehtori Antti Liljaniemi
Diplomi-insinööri Joni Jormanainen

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella, toteuttaa ja todentaa sopiva ohjausjärjestelmä taajuusmuuttajille tarkoitetulle testauslinjalle. Työ tehtiin ABB Oy:n tiloissa Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla. Opinnäytetyön käytännön toteutus suoritettiin Quality and Reliability -laboratorion sekä GreenLine-testauslinjan tiloissa.

Työn aikana tutustuttiin taajuusmuuttajien, kenttäväylien ja ohjelmoitavien logiikkojen rakenteisiin sekä manuaaliohjeisiin huomioiden niihin liittyvät standardit ja direktiivit. PLC-ohjelman suunnittelu suoritettiin ABB:n Automation Builder -ohjelmalla. Ohjelman toimivuutta testattiin kahdessa eri testausvaiheessa. Ensimmäiseksi ohjelma testattiin kahdella erillisellä pienitehoisella taajuusmuuttajalla, jonka jälkeen ohjausjärjestelmän turvallisuuden testaamista ja virheenkorjauksen helpottamista varten rakennettiin testauslinjaa vastaavaa testauslaitteisto. Testauslaitteistossa konfiguroitiin kenttäväylän ja ohjausjärjestelmän moduulit. Testauslaitteiston taajuusmuuttajien parametrit asetettiin Drive Composer Pro -ohjelmalla. Tämän lisäksi järjestelmän ohjaamista sekä tilatietojen lukemista varten laadittiin graafinen käyttöliittymä.

Opinnäytetyössä luotiin PLC-ohjelma taajuusmuuttajien kuormittamiseen sekä testauslinjaa vastaavat turvallisuusfunktiot saatiin turvallisesti ja onnistuneesti toteutettu testauslaitteistolla. Opinnäytetyön jatkokehityksen kannalta PLC-ohjelma saatiin valmiiksi testattavaksi testauslinjalla.

Avainsanat: PLC, Kenttäväylä, Taajuusmuuttaja, Automation Builder, Drive Composer Pro

Abstract

Author: Amir Moradi
Title: Implementation of the PLC- System for GreenLine Test Line
Number of Pages: 42 pages + 3 appendices
Date: 29 November 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Antti Liljaniemi, Senior Lecturer
Joni Jormanainen, Senior Reliability Engineer

The main objective of this Bachelor's thesis was to design and implement a suitable PLC-system for testing frequency converters at a frequency converter testing line. This thesis was carried out for ABB Oy in the Pitäjänmäki factory. The main purpose of the testing line is to expose the IGBT components of the drives to high stresses in order to evaluate the drives useful lifetime. Manual instructions and standards for ACS880 frequency converters, PLC-systems and fieldbuses were introduced at the beginning of this study.

The PLC-program was created using ABB's Automation Builder. The drives' parametrization was coordinated using ABB's Drive Composer Pro. The testing of the PLC-program was performed in two phases to facilitate debugging and safety testing.

The first testing phase of the PLC-program was performed with two separate low power drives. In the second testing phase, the program was tested in a test rack that was built with features corresponding to the real testing line. A graphical user interface was also created with the Visualization tool in Automation Builder to facilitate the control of the drives and their motors as well as reading status information, both from the testing line as well as from the drives.

As a result, a useful PLC-program was created for power cycling drives. One of the main benefits of the testing line is reduced energy consumption as well as reduction in NO_x emissions and CO₂ footprint compare to conventional system level power cycling. The created PLC-program's power cycling functionalities were successfully tested using test rack. Furthermore, the safety functionalities of the PLC-program, which corresponds to the safety functions required at the testing line, were also successfully tested. The test system can be further developed by automating the control of all switches in the test line. In that case, both drives can have the same overall loading cycles.

Keywords: ASC880 Frequency converter, IGBT, PLC, Fieldbus, Automation Builder, Drive Composer Pro, Visualization

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Testauslinja	3
2.1	Taajuusmuuttaja	5
2.1.1	Välipiirilliset taajuusmuuttajat	6
2.1.2	Common DC	8
2.2	Kenttäväylä	9
2.2.1	OSI-malli	10
2.2.2	ABB:n taajuusmuuttajat ja kenttäväylä	12
2.3	Ohjelmoitava logiikka	13
2.3.1	Ohjelmoitavan logiikan rakenne	14
2.3.2	IEC 61131-3 -standardi	16
2.3.3	Ohjelmoitavan logiikan ohjelmointi	18
2.3.4	Graafinen käyttöliittymä	18
3	PLC-ohjelman suunnittelu ja testausvaiheet	19
3.1	Taajuusmuuttajien parametointi	20
3.2	Automation Builder ja AC500-V3	22
3.2.1	PM5650-CPU-moduulin konfigurointi	23
3.2.2	DC532-moduulin konfigurointi	24
3.2.3	CM579-PNIO-moduulin konfigurointi	25
3.2.4	Taajuusmuuttajien FPNO-21-moduulien konfigurointi	25
3.3	Graafinen valvomoympäristö	26
3.4	PLC-ohjelma	28
3.4.1	Update_Drives_Parameters	29
3.4.2	Drives_Ajopaikka_1	30
3.4.3	Ajopaikka1	32
3.4.4	Visualization-functions	35
3.5	PLC-ohjelman testaaminen demolaitteissa	36
3.6	Testauslaitteiston rakentaminen ja PLC-ohjelman testaaminen	37
4	Lopputulos ja työn arviointi	39
5	Yhteenveto	40

Liitteet

Liite 1: FPNO-21-moduulien määrittely

Liite 2: Graafinen käyttöliittymä eri tiloissa

Liite 3: Testauslaitteisto

Lyhenteet

AC: *Alternating Current*. Vaihtosähkö

AI: *Analog Input*. Analogitulo.

AO: *Analog Output*. Analogilähtö.

CPU: *Central Processing Unit*. Suoritin tai prosessi myös synonyyminä ohjelmoitaville logiikoille.

CW: *Control Word*. Biteistä koostuva sana, joka ohjaa ABB:n taajuusmuuttajia.

Common DC:

Sähköpiiri, jonka avulla yhdistetään taajuusmuuttajien tasajännitevälipiirit toisiinsa.

DC: *Direct Current*. Tasasähkö.

DI: *Digital Input*. Digitaalitulo.

GSD: *General Station Description*. GSD-tiedosto on kirjoitettu XML-pohjaisella kielellä. Pääaseman konfiguroinnissa vaaditaan tyyppimäärittäytiedosto (GSD-file).

GUI: *Graphical User Interface*. Graafinen käyttöliittymä

IGBT: *Insulated-Gate Bipolar Transistor*. Bipolaaritransistori, joka on kehitetty suurtehosovelluksiin.

PLC: *Programmable Logic Controller*. Ohjelmoitava logiikka

1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on määritellä, toteuttaa ja todentaa sopiva PLC-ohjausjärjestelmä (*Programmable Logic Controller System*) taajuusmuuttajien kytkemisen testausjärjestelmään, jotta saadaan testausjärjestelmästä tehoa taajuusmuuttajalle. Testauslinjan idea on arvioida taajuusmuuttajan elinikää kuormittamalla taajuusmuuttajan IGBT-moduuleita (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*).

Työ suoritetaan ABB Oy:n tiloissa Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla. Insinööriyön pääaiheena on suunnitella yksinkertainen modulaarinen PLC-ohjausjärjestelmä käytöille. Se mahdollistaa perusturvaominaisuuksien käyttöönoton, taajuusmuuttajien perusparametrien arvojen lukemisen ja tallentamisen, moottorikoneiden pyörimisnopeuden ja vääntövastuksen asettamisen, testisykliä määrän laskemisen ja tallentamisen sekä lämpöparametrien perusarvojen lukemisen ja tallentamisen. Järjestelmällä myös ohjataan linjan pääkatkaisijat ja luetaan jokaisen testauspaikan tehosyöttökytkimien tilatiedot. Näiden lisäksi järjestelmän ohjaamiseen ja kuvaamiseen suunnitellaan graafinen käyttöliittymä (*GUI, Graphical User Interface*).

Työn alussa esitetään työssä käsiteltävä testauslinja ja siihen liittyvät teoriat. Tutustutaan taajuusmuuttajien, kenttäväylien ja ohjelmoitavien logiikkojen rakenteisiin, toimintoihin ja ominaisuuksiin. Luvussa esitetään myös oleelliset standardit ja direktiivit. Tämän jälkeen luvussa kolme selostetaan varsinainen projekti testausvaiheineen. Lopussa mainitaan saadut tulokset ja työn arvioinnit.

Työ aloitetaan ensin perehtymällä käytössä olevien laitteiden ja laitteistojen teorioihin sekä manuaaliohjeisiin, jonka jälkeen PLC-ohjausjärjestelmä suunnitellaan ABB:n Automation Builder -ohjelmalla. PLC-ohjausjärjestelmän toimivuuden varmistamiseksi järjestetään kaksi erillistä testausvaihetta.

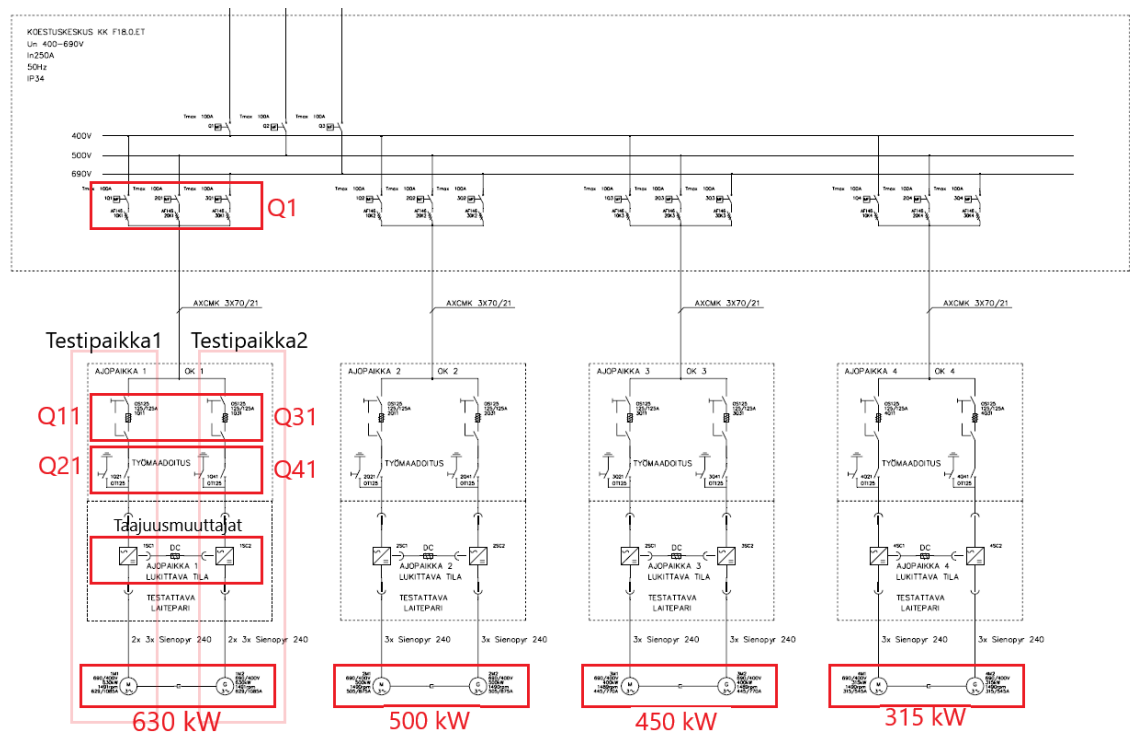
Ensimmäisessä vaiheessa PLC-ohjelman testausta toteutetaan kahdella erillisellä ACS880 pienitehoisilla taajuusmuuttajan demolaitteilla. Tässä testausvaiheessa laaditaan ohjelma sähkömoottoreiden ohjaamiseen sekä nopeus- ja vääntömomenttiarvojen säätämiseen. Testausvaiheessa myös yhdistetään Automation Builder -ohjelman kirjastossa valmiina olevat ohjauslohkot.

Toisessa testausvaiheessa rakennetaan testauslinjaa vastaava testauslaitteisto pienemmällä teholuokalla, jota voidaan käyttää PLC-ohjelman turvallisuusfunktioiden testaamiseen ja vianselvitykseen. PLC-ohjausjärjestelmän osalta testauslaitteistolla saadaan testattua suunniteltu graafinen käyttöliittymä, DC-jännitteiden (*DC, Direct Current*) arvojen lukeminen taajuusmuuttajista, kytkimien tilojen lukeminen ja -lukitseminen, pääkatkaisijoiden ohjaaminen ja tilojen lukeminen, testisykliin lukumäärä ja kestoajan määrittäminen sekä pyörimisnopeuden muuttaminen. Myös toisen moottorin jarrutuksesta syntyvä ylimääräisenergia saadaan hyödynnettyä Common DC-piirin avulla toisen taajuusmuuttajan tehosyötössä. Testauslaitteistossa turvallisuustoiminnot demonstroidaan digitaalisilla tulo- ja lähtösignaaleilla.

PLC-ohjausjärjestelmän tarkoitus on ohjata taajuusmuuttajia siten, että kukin käyttö ohjaa omaa moottoriaan. PLC-ohjausjärjestelmällä ohjataan myös testauspaikoissa olevia tehosyötön kontaktoreita, sekä mahdollistetaan mekaanisten maadoituskytkimien tilatietojen lukemista. Tässä spesifikaatiossa tehonkierto suoritetaan siten, että toinen käyttölaitteista ohjaa moottoria ”*moottori-puoli*”, kun taas toinen käyttölaitte ohjaa toista moottoria ”*generaattori-puoli*” vastakkaiseen suuntaan. Tätä konfiguraatiota pidetään yllä ennalta määritellyn ajan, jonka jälkeen molemmat käyttölaitteet siirretään lepotilaan. Tämä prosessi muodostaa yhden syklin, jonka toistomäärä määritellään etukäteen. PLC-ohjelman suunnittelun loppuvaiheessa päätettiin käyttää mekaanisia kytkimiä ohjattavien kontaktorien sijaan testauslinjan aikataulun nopeuttamista varten. Tämän seurauksena PLC-ohjelman rakennetta muutettiin ja tehosyötön ohjausta operoitiin ajopaikan pääkatkaisijolla.

2 Testauslinja

ABB Oy Drives rakentaa Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla uuden testauslinjan taajuusmuuttajien eliniän arvioimiseen. Testauslinja koostuu neljästä testauskaapista (ajopaikat 1–4), joissa kukin testauskaappi on kytketty järjestyksessä yhteen 315kW, 450kW, 500kW ja 630kW moottoriletkaan. Moottoriletkalla tarkoitetaan moottorien kytkentää vastakkaisesti samaan akseliin. Jokainen testauskaappi sisältää kaksi taajuusmuuttajaa, joiden DC-välipiirit ovat kytketty yhteen. Kukin taajuusmuuttaja on kytketty omaan sähkömoottoriinsa moottoriletkassa. Kuvassa 1 esitetään testauslinjan sähköpiirikaavio.



Kuva 1. Q1) Pääkatkaisijat 400V, 500V ja 690V. Q11-Q31) Mekaaniset tehosyötön katkaisijat. Q21-Q41) Mekaaniset maadoituskytkimet. ACS880-R11) ABB:n valmistamat taajuusmuuttajat.

Taajuusmuuttajien testauskaappien ulkopuolelle on asennettu mekaaniset kytkimet taajuusmuuttajien syöttöverkkoon liittämistä varten (Q11 ja Q31) sekä mekaaniset maadoituskytkimet (Q21 ja Q41). Q11- ja Q21-kytkimet ovat kytketty testauspaikkaan yksi, vastaavasti Q31- ja Q41-kytkimet ovat kytketty

testauspaikkaan kaksi. Ajopaikat liitetään syöttöverkkoon Q1-kytkimillä, joiden ohjaukset ja tilatietojen lukemiset suoritetaan ohjelmoitavan logiikkaan yhdistetyn graafisen käyttöliittymän avulla. Q1-kytkimien syöttöjännitevalinnat ovat seuraavasti:

- 1Q1: 400 V
- 2Q1: 500V
- 3Q1: 690V.

Turvallisuusseurantatoimenpiteet toteutetaan testauslinjalla seuraavilla:

- Hätäseispainikkeella, joka pysäyttää kaikki toiminnot ja aukaisee kaikki kiinni olevat syöttöjännitekatkaisijat.
- Savun haistelijalla, joka valvoo tulipalotapahtumia. Haistelijan aktivoituessa kaikki toiminnot pysäytetään ja kaikki syöttöjännitekatkaisijat aukeavat.
- PXI:llä, joka kerää tietoja käytöistä mm. erilaisia lämpötilatietoja. PXI tulaaan esittämään digitaalisella signaalilla PLC-ohjelmassa. PXI:n tunnistuksessa liian suuret lämpötilat, PLC-systeemi katkaisee syötöt kyseiselle ajopaikalle.
- Oven sulkuanturilla, joka tunnistaa testauskaapin oven kiinni tai auki tilat. Testauslaitteiden käynnistys edellyttää testauskaapin oven kiinni -tilan.
- Oven lukitusanturilla, joka tunnistaa testauskaapin lukittu tai ei-lukittu tilat. Testauslaitteiden käynnistys edellyttää testauskaapin oven lukittu tilan.

- PLC-ohjelmalla, joka lukitsee kytkimien tilat. Q1-kykimet ovat myös ristiin lukittuja, joten ei ole mahdollista kytkeä kahta syöttöjännitettä yhtäaikaista samaan ajopaikkaan.

2.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on sähkölaite, jolla säädetään tarkasti ja tehokkaasti moottorin pyörimisnopeutta muuttamalla moottorin tehosyötön taajuutta ja jännitettä. Taajuusmuuttaja koostuu suuntaajasta, tasajännitevälipiiristä ja vaihtosuuntaajasta. Tavallista 50Hz:n 3-vaiheista virtaa syötetään ensin tasasuuntaajaan, joka muuntaa virran tasavirraksi. Tasajännitevälipiiri suodattaa sykkivän jännitteen ja vaihtosuuntaaja kytkee sen jokaisen moottorivaiheeseen tietyssä järjestyksessä. Säättämällä moottorin pyörimisnopeutta voidaan säästää energiakuiluissa, parantaa järjestelmän tehokkuutta sekä vähentää koneiden mekaanista rasitusta. Lisäksi nopeussäädetyissä sähkökäytöissä on mahdollisuus portaattoman säätöön.

Taajuusmuuttajia on olemassa kahta päätyyppiä, välipiirilliset ja välipiirittömät eli suorat taajuusmuuttajat. Välipiirillisissä taajuusmuuttajissa muutetaan ensin vaihtosähköä tasasähköksi ja sen jälkeen taas vaihtosähköksi. Välipiirittömissä taajuusmuuttajissa puolijohdekytkimillä pilkotaan vaihtovirtasähköä suoraan halutun taajuiseksi ja jännitteiseksi vaihtosähköksi. Tavallisimmat taajuusmuuttajatyypit ovat jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja (*VSI, Voltage Source Inverter*) sekä tasavirtavälipiirillinen taajuusmuuttaja (*CSI, Current Source Inverter*), joilla määrätään vaihtosuuntaajan tyyppi. Kuvassa 2 nähdään ABB:n ACS880-taajuusmuuttajat eri runkokoissa. (1; 2. s. 48.)

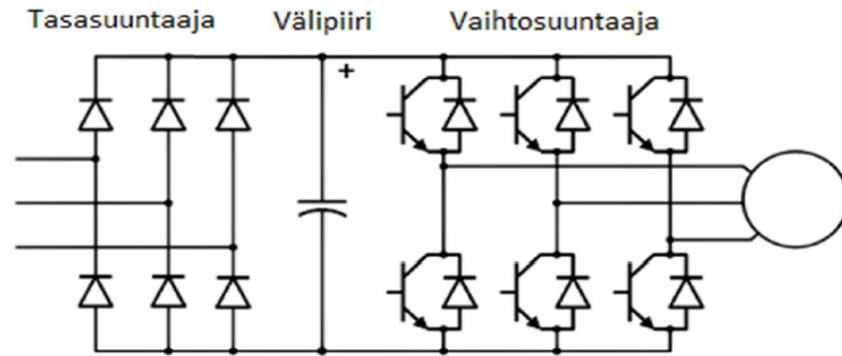


Kuva 2. ABB:n valmistamat ACS880-teollisuustaajuusmuuttajat runkokoilla R1-R9, IP-luokituksilla 20 ja 21 (3, s.11).

2.1.1 Välipiirilliset taajuusmuuttajat

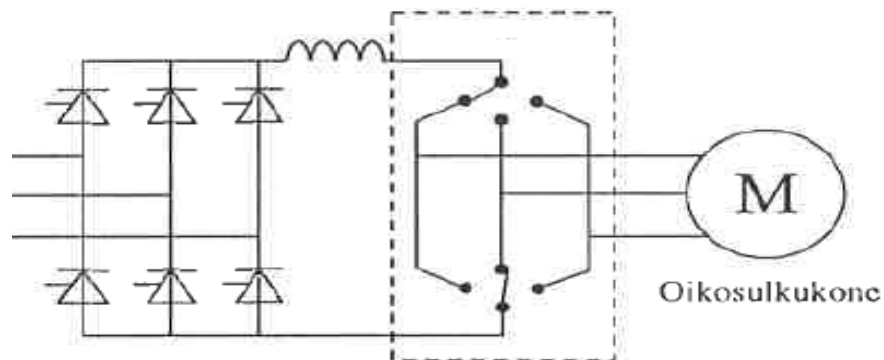
Tällä hetkellä jännitevälipiiri-taajuusmuuttaja (*Voltage Source Inverter*) on yksi yleisimmistä taajuusmuuttajatyypeistä. VSI-taajuusmuuttajat koostuvat yksinkertaisesti, tasasuuntaajasta, tasajännite- tai tasavirtavälipiiristä, vaihtosuuntaajasta ja ohjausyksiköstä. VSI-taajuusmuuttajassa välipiirin tasajännitteen tuottamiseen käytetään diodi- tai tyristorisilta. IGBT-moduulien ohjaamiseen käytetään pulssileveysmodulointitekniikkaa (*PWM, Pulse Width modulation*), jotta voidaan tasajännitettä muuntaa moottorille toimitettavaksi vaihtojännitteeksi. PWM:n etuna on säädön hyvä dynamiikka ja lähes sinimuotoinen vaihevirta.

Lisäksi diodisillan voi korvata verkkovaihtosuuntaajalla, joka toimii vastaavalla tavalla kuin moottorin puoleinen vaihtosuuntaaja, esimerkiksi IGB-transistori. Tällöin moottorin toimiessa generaattorina sitä syöttävä vaihtosuuntaaja siirtyy tasasuuntaajaksi ja verkkovaihtosuuntaaja vaihtosuuntaajaksi syöttäen jarrutus- tehon takaisin verkkoon. Jännitevälipiirillinen-taajuusmuuttaja on soveltuva sekä tahti- että oikosulkukoneisiin. Kuvassa 3 nähdään VSI-taajuusmuuttajan kytkentämalli, jossa tasasuuntaajana toimii diodisilta ja IGBT-komponenteilla on toteutettu vaihtosuuntaaja.



Kuva 3. VSI-taajuusmuuttaja. Diodisilta toimii tasasuuntajana ja vaihtosuuntaaja on toteutettu IGBT-komponentilla (4).

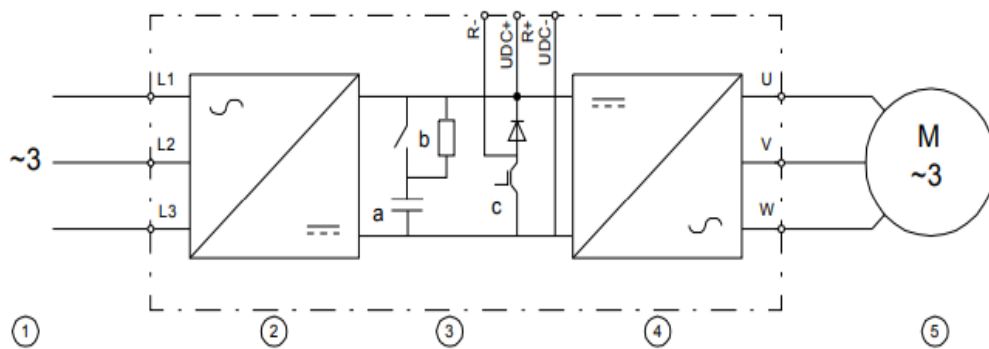
Virtavälipiiri-taajuusmuuttaja (*Current Source Inverter*) on yksinkertaistettuna kuormakommutoitu taajuusmuuttaja (*LCI, load commuted inverter*). Sen rakenne koostuu kahdesta tyristorisillasta, joista yksi on liitetty verkkoon ja toinen tahtikoneeseen. Verkonpuoleinen silta normaalitoiminnassa operoi tasasuuntajana ja koneen puoleinen vaihtosuuntajana. Moottorin toimiessa generaattorina osat kuitenkin vaihtuvat välipiirin jännitteen polariteetin muuttuessa. Moottorisekä generaattoritoiminnassa välipiirin virran suunta pysyy samana. LCI-kytkennässä syntyy kuitenkin tyristorien epäluotettava kommutointi pienillä nopeuksilla ja siitä johtuva nykivä momentti. LCI:n kuorman puoleista tyristorisiltaa oikosulkumoottorille soveltuvissa CSI-taajuusmuuttajissa saadaan korvattua pakko-ohjatuilla kytkimillä, esimerkiksi IGB-transistoreilla. Kuvassa 4 esitetään virtavälipiirillisen taajuusmuuttajan kytkentämalli. (2, s. 46–50; 4.)



Kuva 4. Esimerkki CSI-taajuusmuuttajasta (2, s.49).

2.1.2 Common DC

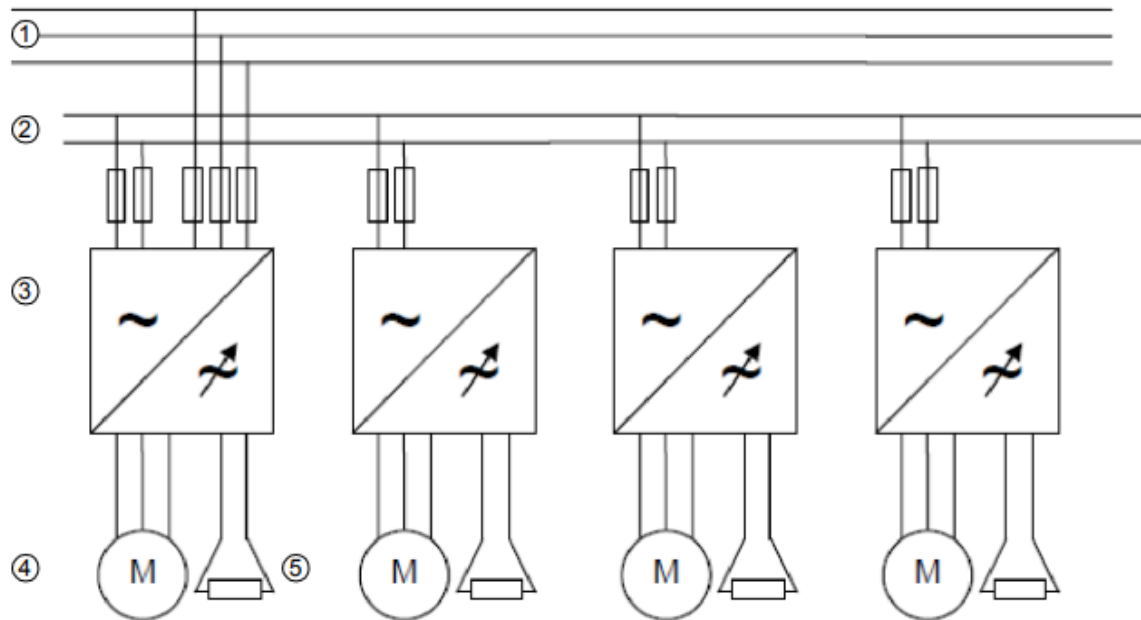
Kahdella tai useammalla taajuusmuuttajalla voidaan muodostaa Common DC-järjestelmä, jossa taajuusmuuttajien tasavirtavälipiirit (*DC-link*) on liitetty yhteen. Tämä mahdollistaa energian siirtymisen vapaasti taajuusmuuttajien välillä. Common DC-järjestelmä kuitenkin vaatii ainakin yhden taajuusmuuttajan kytkennän syöttävään verkkoon. Kuvassa 5 nähdään sähkömoottorikäytön rakennetta Common DC -ominaisuudella. Kytkenässä kuvataan syötöstä moottoriin kulkeva reitti eri komponenttien kautta.



Kuva 5. Sähkömoottorikäytön rakenne ja Common DC -ominaisuus, 1: AC-syöttävä linja, 2: Tasasuuntaaja tulopuoli, 3a: Tasavirtavälipiiri ja tasavirta kondensaattori, 3b: Kondensaattoreiden latauspiiri, 3c: Jarrukatkot, 4: Vaihtosuuntaaja, 5: Moottori. (5, s.12).

DC-järjestelmän kannalta moottorilla on kaksi pääasiallista toimintatilaa, moottoritila ja generaattoritila. Moottoritilassa tasasuuntaaja muuntaa vaihtovirran ja jännitteen tasavirraksi ja jännitteeksi tasavirtapiirille toimitettavaksi. DC-piirin DC-kondensaattori taas tasoittaa aaltoa ja muodostaa tasaisen virtalähteen vaihtosuuntaajalle. Vaihtosuuntaajan rooli on muuntaa moottorille toimitettava tasavirta vaihtovirraksi. Generaattoritilassa taas moottorin pyöriminen toteutuu ulkoisen voiman avulla ja vaihtosuuntaaja lataa tasavirtakondensaattoreita, jonka seurauksena tasavirtapiirissä jännite alkaa nousemaan. Liiallisen jännitteen estämiseksi taajuusmuuttajan tasavirtapiiristä on vietävä ylimääräinen energia pois. Common DC -linkin hyödyntämällä voidaan siirtää

ylimääräisenergia takaisin verkkoon, jarruvastukseen tai toiseen taajuusmuuttajaan. Kuva 6 näyttää esimerkin yleisestä Common DC -järjestelmästä. (5, s. 9; 6, s. 12–13.)



Kuva 6. Esimerkki Common DC -järjestelmästä, 1: AC-syöttölinja, 2: Common DC -piiri, 3: taajuusmuuttaja, 4: moottori, 5: jarruvastus. (5, s.13).

2.2 Kenttäväylä

Kenttäväylällä tarkoitetaan automaatiojärjestelmän osaa, jossa logiikan tulo- ja lähtöportit ovat sijoitettuna erillisiin väylämoduuleihin. Kenttäväylä siirtää tietoa koko automaatiojärjestelmän välillä ja sillä implementoidaan automaatiojärjestelmän hajautus. Lähes kaikki käytössä olevat kenttäväylät ovat ”Master-Slave” -järjestelmiä. Logiikan keskusyksikkö eli isäntäkone ”master” ohjaa kenttäväylän avulla kaikki alemman tason ”slave” -moduulit. Kenttäväylämoduulit ja logiikka kytketään yleensä toisiinsa yhdellä tiedonsiirtokaapelilla, jonka seurauksena säästetään kaapeloinnissa, järjestelmän laajentaminen helpottuu sekä tiedon siirtäminen on helppoa ja nopea.

Markkinoilla on tarjolla erilaiset kenttäväyläprotokollat. Protokolla tarkoittaa kieltä tai kielioppia, mitä laitteet käyttävät kenttäväylässä. Tämänhetkisessä

tilanteessa kaikki valmistajat haluavat esittää tuotteitaan standardin mukaisena, mistä maalimanlaajuisesti on johtanut osaltaan haastava kilpailu eri valmistajien välillä. Tämän seurauksena on tullut haasteita standardien kehittämisessä ja luomisessa. Eri valmistajien välillä kenttäväyläprotokollien standardointi on hyvin kilpailtu aihe ja valmistajat yrittävätkin luoda yleisesti hyväksytyjä malleja, jotka viittaavat kenttäväylän kerrosmalliin sekä OSI-malliin. (8, s. 214; 12, s.10–11.)

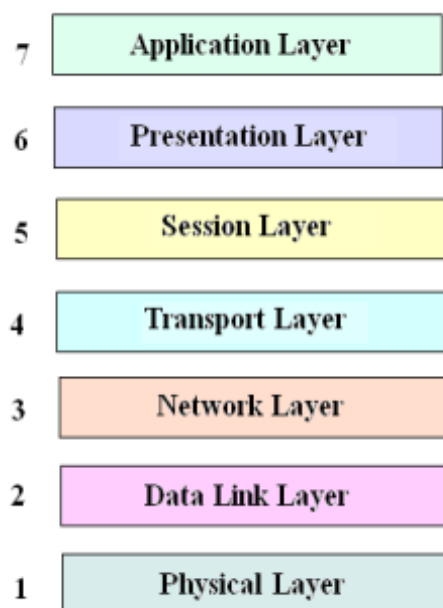
2.2.1 OSI-malli

OSI-malli (*Open System Interconnection*) on määritelmä tietoliikenteen kehyksestä standardoinnissa. OSI-mallissa määritellään laitteiden liittäminen toisiinsa hajautetuissa tai erillään olevissa automaatiojärjestelmissä. OSI-malli koostuu seitsemästä erillisprosessointikerroksesta. Jokainen kerros tukee ylemmässä olevaa kerrosta hyödyntäen alemmassa olevan kerroksen palveluita. Varsinaiset tietoliikennepalvelut muodostuvat neljästä alempana olevista kerroksista ja kolme ylempänä olevista kerroksista hyötyvät käyttäjät ja käyttöohjelmistot.

Fyysinen kerros on vastuussa yksittäisistä biteistä, yhdestä solmusta toiseen solmuun. Se koordinoi sääntöä bittien lähettämistä varten. Fyysisessä kerroksessa määritellään fyysiset verkkorakenteet, mekaaniset ja sähköiset eritelmät sekä bittilähetyksen koodaukset ja ajoitussäännöt. Siirtoyhteyskerros kuvaa menetelmät siirrettäville informaatioille samassa logiikassa useamman laitteen välillä, sekä perustaa fyysisiä laiteosoitteita. Siirtoyhteyskerroksessa järjestellään fyysisten kerrosten bitit loogisiin ryhmiin, tunnistetaan virheet, ohjataan datavirtaa sekä tunnistetaan tietokoneet verkkoon. Verkkokerros vastaa tietojen toimituksesta alkuperäisestä lähteestä lopulliseen kohteeseen. Verkkokerroksessa määritellään loogiset verkko-osoitteet ja -rakenteet, reitin löytäminen ja valinta, verkkokerroksen virtauksen ohjaus ja virheen hallinta, verkkoyhteyslaitteisto (liittyy verkkokerrokseen) sekä verkkokerroksen protokollat, kuten IP-osoitteet. Kuljetuskerros (*TPDU, Transport Protocol Data Unit*) on vastuussa viestin toimituksesta prosessista toiseen prosessiin. Kuljetuskerros varmistaa viestin

saapumista ehjänä ja järjestyksessä valvoen molempien virhesäätö ja virtaus-säätö. Istuntokerros sallii kahden osapuolen pitää viestinnän käynnissä.

Sovellukset voivat vaihtaa tietoja tai lähettää paketit toiselle niin kauan kuin istunto kestää. Se valvoo tunnistamista ja hallitsee tietoturvapalvelut. Istunnon avulla käyttäjä voi kirjautua etäjakojärjestelmään. Esityskerros on vastuussa verkkoviestinnän aikana siirrettyjen tietojen muodosta. Tämä kerros huolehtii lähetettyjen tietojen syntaksista ja semantiikasta. Lähtevien viestien osalta se muuntaa tiedot yleiseen muotoon lähetystä varten ja saapuvien viestien osalta se muuntaa tiedot vastaanottavalle sovellukselle ymmärrettäväksi muodoksi. Esityskerros tarjoaa yleisiä viestinpalveluja, kuten salausta, tekstin pakkaamista ja uudelleenmuotoilua. Sovelluskerroksen avulla käyttäjä, joko henkilö tai ohjelmisto pääsee verkkoon. Se tarjoaa käyttöliittymän ja tuen palveluille, kuten sähköposti, tiedostojen etäkäyttö ja siirto, jaettu tietokannan hallinta jne. Kuvassa 7 esitetään OSI-mallin kerrokset. (12, s. 12; 13, s. 1145–1155.)



Kuva 7. OSI-mallin kerrokset. (13, s.1147).

ABB:n taajuusmuuttajien ohjaamiseen käytetään kenttäväyläsovitinmoduuleita. Näitä sovittimia on saatavana eri protokolliin ja kenttäväyläjärjestelmiin:

- FCAN-01 (*CANopen*)
- FCNA-01 (*ControlNet*)
- FDNA-01 (*DeviceNet*)
- FENA-11 tai FENA-21 (*EtherNet/IP*)
- FSCA-01 (*Modbus/RTU*)
- FENA-11 tai FENA-21 (*Modbus/TCP*)
- FEPL-02 (*POWERLINK*)
- FPBA-1 (*PROFIBUS DP*)
- FPNO-21 tai FENA-21 (*PROFINET IO*). (14, s. 583–591.)

2.3 Ohjelmoitava logiikka

Ohjelmoitava logiikka (*PLC, Programmable Logic Controller*) on mikroprosessoripohjaisen ohjausjärjestelmä, joka käyttää ohjelmoitavaa muistia koneiden ja prosessien ohjauksessa käskyjen tallentamiseen ja reaaliaikaisten toimintojen, kuten logiikan, sekvensoinnin, ajoitusten, laskentojen sekä aritmeettisten implementointien. PLC valvoo tulo- ja lähtötietoja annetun ohjelman mukaisesti ja suorittaa ohjaussäädöt. PLC:llä korvataan releohjattuja järjestelmiä. Yhdellä PLC:llä voidaan ohjata satoja tai jopa tuhansia releitä ja ajastimia, mitä oli aiemmin käytetty. Markkinoilla on saatavilla eri valmistajilta hyvin erityyppisiä ja -ta-soisia logiikoita. Pienemmät logiikat on suunniteltu korvaamaan muutamia releitä ja ajastimia, mutta suuremmat logiikat suoriutuvat hyvin laajasti ohjausteknisistä vaatimuksista. (7, s. 3; 8, s. 212.)

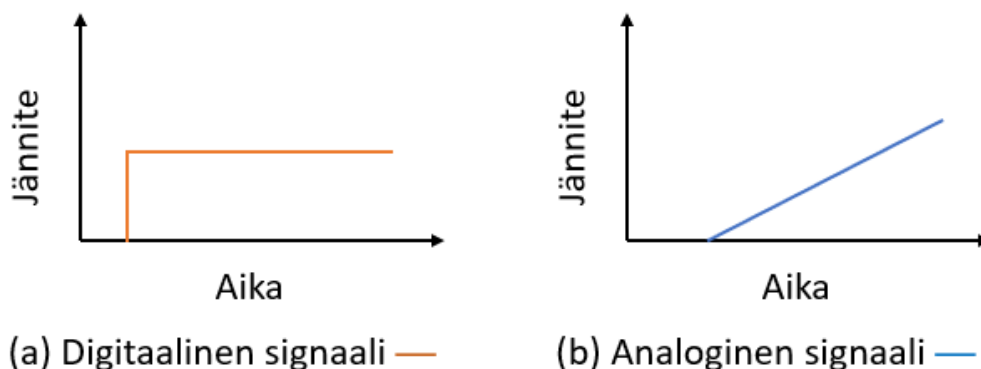
2.3.1 Ohjelmoitavan logiikan rakenne

Tyypillisesti PLC-laitteisto koostuu seuraavista:

- Prosessoriyksiköstä (*CPU, Central Processing Unit*), joka tulkitsee tulosignaalit ja suorittaa ohjaustoimet ja -säädöt muistissa tallennetun ohjelman mukaisesti. Tämän jälkeen prosessori toimittaa päätökset lähtöosille.
- Muistiyksiköstä, jossa tallennetaan ohjelma ja käsitellään tulosignaalit. Yksikkö sisältää mikroprosessorin, joka suorittaa ohjelman mukaisesti ohjaustoiminnot ja -säädöt.
- Virtalähteestä, jota tarvitaan muuntamaan vaihtovirtajännitettä (*AC-voltage*) matalaksi tasavirtajännitteeksi (*DC-voltage*) prosessorille, tulo- ja lähtömoduuleille toimitettavaksi.
- Ohjelmointilaitteesta, jota käytetään ohjelman tallentamiseen prosessorin muistiyksikköön.
- Tulomoduulista, jonka kautta prosessoriin toimitetaan informaatiot prosessin eriohjaustiloista.
- Lähtömoduulista, jonka kautta toimitetaan prosessorista annetut ohjaustoiminnot eri ohjauslaitteisiin.
- Tiedonsiirtoliitännästä. Tämä liitäntä käytetään informaation vastaanottamiseen ja lähettämiseen. Tiedonsiirtoliitännän avulla pidetään yhteyttä automaatiojärjestelmien välillä.

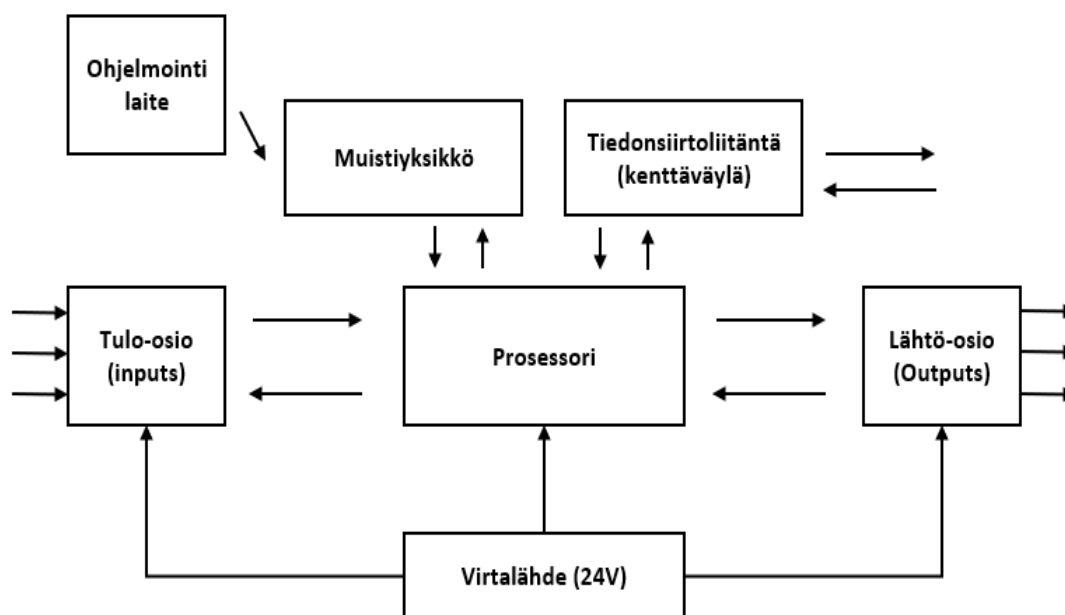
Tulo- ja lähtösignaalit jaetaan kahteen ryhmään, digitaalisiin ja analogisiin. Digitaalisella signaalilla on kaksi tilaa, päällä (*ON*) tai pois päältä (*OFF*). Esimerkiksi katkaisijoilla, nappuloilla ja merkkilampuilla on digitaalinen signaali eli On/Off-signaalit (kuva 9a). Sen sijaan analogiset signaalit kuvaavat signaalien kokoja

verrattuna valvotun muuttujan kokoon. Tällaisia suureita voivat olla esimerkiksi lämpötila, paine tai kuinka himmeästi lamppu tulisi palamaan (kuva 9b).



Kuva 9. Digitaalinen ja analoginen signaalien erot (7, s. 5).

Kuvassa 10 nähdään ohjelmoitavan logiikan rakenne, jossa prosessori vastaanottaa tilatiedot tulo-osion kautta ja lukee käsittelyohjeet ohjelmamuistista. Tällöin prosessori ohjaa toimilaitteita käyttäjältä annetun ohjelman mukaisesti ja välittää ohjaussäädöt lähtöosion kautta reagoitavaksi. (7, s. 4–5.)



Kuva 10. PLC-järjestelmän rakenne (7, s. 4).

2.3.2 IEC 61131-3 -standardi

Kansainvälinen sähkötekniikka komissio (*IEC, International Electrotechnical Commission*) julkaisi vuonna 2013 kolmannen version ohjelmoitavien logiikkojen ohjelmointikielten standardista. Standardissa kaikkien PLC-valmistajien on esitettävä vaatimustenmukaisuuslausunto standardin tuetuista ominaisuuksista ja laajennuksista tuotteissa. Standardi jaetaan kahteen pääosioon, yhteiset elementit (*Common Elements*) ja ohjelmointikielien (*Programming Languages*). Yhteiset elementit luetellaan seuraavasti:

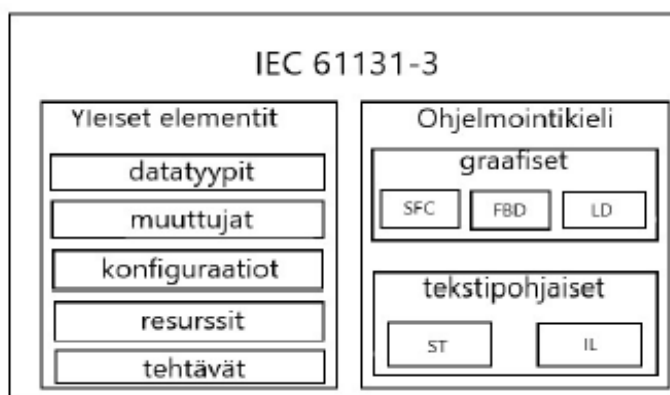
- tietotyyppi (*data typing*)
- muuttujat (*variables*)
- laitteen kokoonpano
- resurssit
- toimintayksiköt.

Standardissa yhteisissä elementeissä määritellään eri ohjelmointikielille yhteiset tietotyypit. Näitä ovat muun muassa:

- totuusarvo (*BOOL, Boolean*)
- kokonaisluku (*INT, Integer*)
- reaalityyppi (*Real*)
- sana (*Word*)
- merkkijono (*String*)
- aika (*Time*).

Standardin toisessa osiossa määritellään ohjelmointikielet. Ohjelmointikieliä standardissa on viisi ja näitä jaetaan kahteen osaan, graafisiin ja tekstimuotoisiin ohjelmakieliin. Kuvassa 11 nähdään IEC 61131-3 -standardin kokonaisrakennetta. Ohjelmoitavien logiikkojen ohjelmointikielet ovat:

- SFC (*Sequential Function Chart*) on graafinen ohjelmointikieli, joka soveltuu sekvenssitoimintoihin ja jaksollisiin käyttöihin. SFC ei kielenä tarjoa kovinkaan monipuolisia ominaisuuksia itse loogisten toimintojen ohjelmointiin, vaan se on vain runko varsinaiselle logiikkaohjelmalle.
- LD (*Ladder Diagram*) on graafinen ohjelmointikieli, joka esitetään ohjelman toiminta relelogiikan tavoin.
- FBD (*Function Block Diagram*) eli toimilohkokaavio. FBD on graafinen ohjelmointikieli, joka muistuttaa prosessin ja sähkötekniikan kaavioita. Tämä ohjelma soveltuu hyvin teollisuuden prosessien ohjaukseen.
- ST (*Structured Text*) eli rakenteellinen teksti. ST on tekstimuotoinen ohjelmointikieli, joka muodostuu lauseista.
- IL (*Instruction List*) eli käskylista. IL-ohjelmointikieli on tekstipohjainen ohjelmointikieli, joka toimii välittäjänä tekstiperusteisille ja graafisille ohjelmointikielille. (9, s. 3–10; 10, s. 2–5.)



Kuva 11. IEC 61131-3 (11, s. 7).

2.3.3 Ohjelmoitavan logiikan ohjelmointi

Ohjelmoitavien logiikkojen toiminnan ohjaaminen suoritetaan logiikkaohjelmalla, joka voidaan kirjoittaa aiemmin mainituilla ohjelmointikielillä. Markkinoilla on tarjolla monenlaisia ohjelmoitavia logiikoita ohjelmointiympäristöineen. Nykyisin useimmat logiikkavalmistajat, kuten ABB, Siemens ja Rockwell, valmistavat sekä kompakteja yksikkörakenteisia logiikoita, että modulaarisia järjestelmälogiikoita. ABB:n logiikkojen ohjelmoimiseen käytetään Automation Builder -ohjelma, kun taas Siemensin logiikoita ohjelmoidaan TIA portal -ohjelmalla. Rockwellin logiikoissa ohjelmana on käytössä Studio5000. (8, s. 226; 11, s.31.)

2.3.4 Graafinen käyttöliittymä

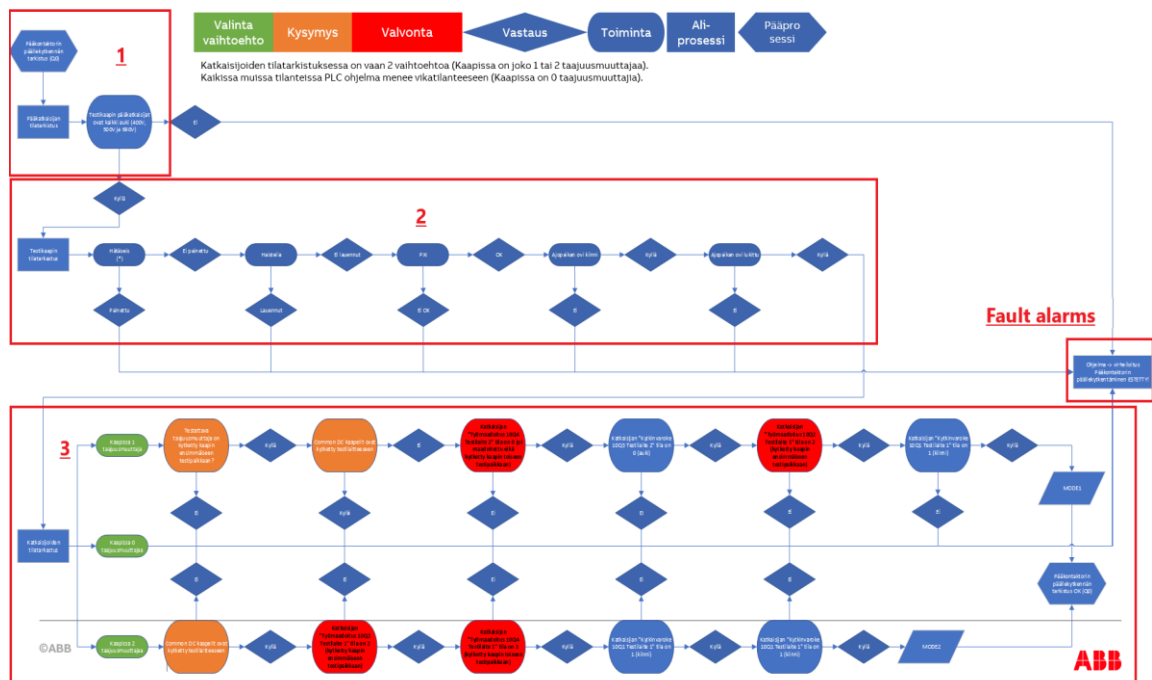
Koneenhallintakäyttöliittymä (*HMI, Human Machine Interface*) on teknologia, jossa ihmiset ja koneet ovat suoraan vuorovaikutuksessa. HMI-käyttöliittymä koneenohjauksessa koostuu laitteistosta, ohjelmistosta ja tiedonsiirtoliitännästä, joiden avulla tarjotaan käyttäjille käyttöliittymän käytön. Graafinen käyttöliittymä (*GUI, Graphical User Interface*) korvaa perinteiset mekaaniset painikkeet, kytkimet, merkkivalot ja muut käyttäjän ohjauslaitteet, joita langallisesti kytkettiin PLC-järjestelmään. Suosittu graafinen käyttöliittymä tarjoaa optimaalisen väripikseligrafiikan sekä korkean suorituskyvyn edut. Nämä ohjaukset voidaan suorittaa käyttöliittymän kautta kosketusnäytöllä valmistetun paneelin tai näppäimistön avulla, joka toteuttaa vaativimmatkin prosessiohjaussovellukset. Päätelaitteet voidaan yhdistää yhdellä kaapelilla tai langattomasti prosessiovellukseen useissa teollisuusverkoissa, kuten DeviceNet, ControlNet, EtherNet/IP ja Modbus/TCP.

HMI antaa mahdollisuuden tarkastella prosessia reaaliajassa. Koneen käyttäjä voi vain koskettaa näyttöpaneelia painikkeiden (I/O arvojen muuttaminen) aktivoimiseksi. Käyttäjä voi käyttöliittymän avulla määrittää ajastimien ja laskureiden esiasetukset sekä nähdä hälytysten tapahtuma-aika ja sijainti. Graafisten käyttöliittymien suunnittelu vaatii oman ohjelmaympäristönsä, joita logiikan

valmistajat tarjoavat yleensä lisäpakettina PLC-ohjelmaympäristön kanssa. (15, s. 520; 16, s. 38–39.)

3 PLC-ohjelman suunnittelu ja testausvaiheet

Spesifikaation helpottamiseksi luotiin vuokaavio, jossa kuvattiin ohjelman rakennetta prioriteettijärjestyksessä. Kuvassa 12 esitetään vuokaavio ohjelman rakenteesta. PLC-ohjausjärjestelmän turvallisuuden testaamisen ja virheenkorjauksen helpottamiseksi testausvaiheet jaettiin kahteen testausvaiheeseen. Ensimmäisenä ohjelma testattiin kahdella erillisillä pienitehoisilla taajuusmuuttajan demolaitteilla, joita kytkettiin sarjaan tietoliikenneväylässä. Tämän jälkeen ohjelmaa testattiin testauslaitteistossa, johon asennettiin sähkömoottorikäytöt pienemmällä teholuokalla. Taajuusmuuttajien Common DC -piiri kytkettiin myös käyttöihin.



Kuva 12. Spesifikaatiopohja PLC-ohjausjärjestelmän suunnitelmarakenteesta. 1) Pääkatkaisijoiden tilatarkastus. 2) Turvallisuustoimintojen jatkuva tilatarkastus. 3) Testauspaikkojen kytkimien tilatarkastus ja testaustavan valinta. (Fault alarms) Vikatilanteiden syntyessä tulostetaan ilmoitus graafisessa valvomoympäristössä.

Testauksen alussa ohjelma tarkastaa ensimmäisenä pääkatkaisijoiden tilat, jonka jälkeen ohjelma suorittaa turvallisuusfunktioiden tilatarkastukset. Turvallisuustoiminnot suoritettiin erillisellä ohjelmalla, joka seuraa aktiivisesti antureiden ja sensoreiden tilat. Tämän jälkeen ohjelma antaa käyttäjälle mahdollisuuden valita testaustapansa (Single Drive, Mode1 tai Dual Drives, Mode2). Valinnan jälkeen ohjelma tarkastaa valitun testaustavan mukaisesti testauspaikkojen kytkimien tilat ja antaa luvan kytkeä yhden pääkatkaisijoista linjan tehosyöttöön liittämistä varten.

Vikatilanteessa PLC-järjestelmä keskeyttää testauksen ja ilmoittaa viat graafisessa valvomoympäristössä. PLC-ohjelman suunnittelussa otettiin huomioon ohjelman laajentamismahdollisuutta. Tämän takia rakennettiin dynaamiset toimintolohkot, jotta laajentaminen muihin ajopaikkoihin olisi helpompaa ja selkeämpää.

Ajopaikoissa PLC-ohjelmassa on mahdollistettu ajopaikoille kaksi erilaista testaustapaa. Testaustapa yksi (*Single Drive, Mode-1*) mahdollistaa yhden testauspaikan käytön, jolloin graafisen käyttöliittymän avulla voidaan ohjata vain moottorin pyörimisnopeutta. Moottorin ohjaus tapahtuu nopeussäädöllä, jonka mittaussuure kierrosten lukumäärä minuutissa (rpm). Testautapa kaksi (*Dual Drives, Mode-2*) mahdollistaa molempien taajuusmuuttajien yhtäaikaisen käytön ja hyödyntää Common DC -ominaisuutta. Common DC -järjestelmän avulla voidaan hyödyntää kuormasta aiheutuneen ylimääräisenergian syöttö takaisin toisen moottorin taajuusmuuttajalle. *Dual Drives* testauksessa ensimmäisen testauspaikan moottoria ohjataan momenttisäädöllä, jonka mittaussuure on [%] tai [Nm]. Toisen testauspaikan moottoria ohjataan nopeussäädöllä [rpm], jonka nopeus on asetettu nolla kierrosta minuutissa ja momenttirajoitus eri arvo kuin nolla, jotta taajuusmuuttajan jarrutusominaisuus aktivoituisi.

3.1 Taajuusmuuttajien parametointi

Drive loader -ohjelmalla päivitettiin ensimmäisenä testattavien taajuusmuuttajien ohjelmisto versioon 3.13. Drive Composer Pro -ohjelman avulla syötettiin

taajuusmuuttajien moottorien arvot ja suoritettiin moottorien tunnistusajot (*Identification run, ID-run*). Taajuusmuuttaja tunnistaa ID-ajon aikana moottorin ominaisuudet optimaalista moottorinohjausta varten. Tämän jälkeen asennettiin FPNO-21-moduulit taajuusmuuttajien ensimmäiseen liitäntäpaikkaan (*Slot 1*).

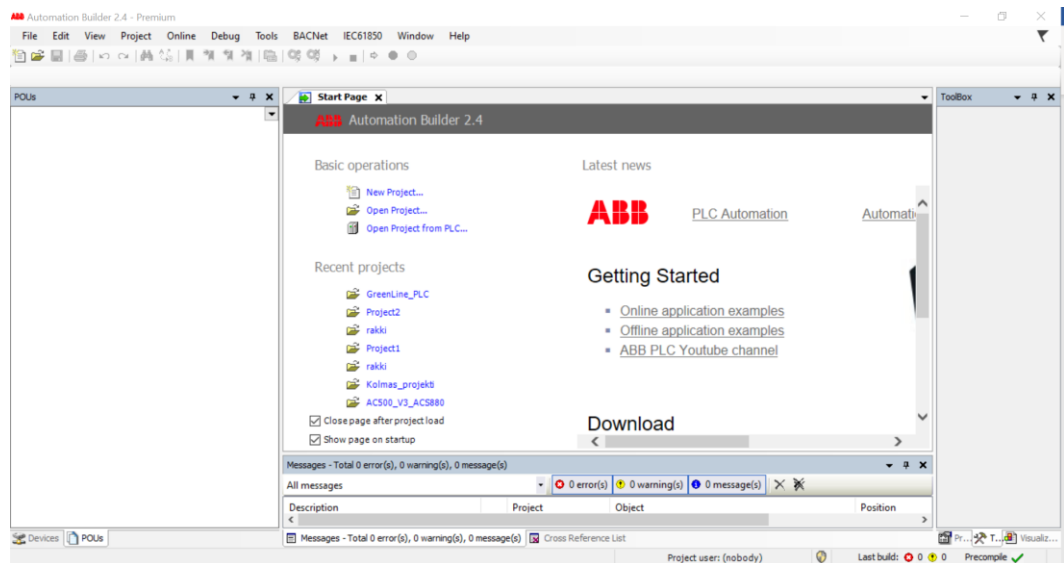
Taajuusmuuttajien parametroinnissa molempien taajuusmuuttajien ohjaustavaksi määriteltiin kenttäväylä. Myös kenttäväylätyyppi ja käytettävä profiili asetettiin taajuusmuuttajissa. FPNO-21-moduulilla on *ABB Drives* -profiili käytössä. Nopeussäädön ohjearvoksi asetettiin kenttäväylän ref1-tyyppi ja oloarvoksi asetettiin act1-tyyppi. Momenttisäädön ohjearvoksi valittiin ref2-tyyppi ja oloarvoksi valittiin act2-tyyppi.

Taajuusmuuttajien parametriryhmästä 52 ja 53 konfiguroitiin moottorin osalta katsottuna tulo- ja lähtötiedot. Parametrissa 52 luettiin tilasana, nopeus- ja momenttisäädön oloarvot sekä seuraavat taajuusmuuttajan parametrit:

- lähtövirta, parametri 1.07
- ympäristön lämpötila, parametri 1.31
- DC-jännite, parametri 1.11
- käyttöaikalaskuri, parametri 5.02
- vaihtosuuntaajan lämpötila, parametri 5.11
- lähtötaajuus, parametri 1.06
- IGBT-liitoksen lämpötila (salassa pidettävä tieto)
- IGBT-kotelon lämpötila (salassa pidettävä tieto).

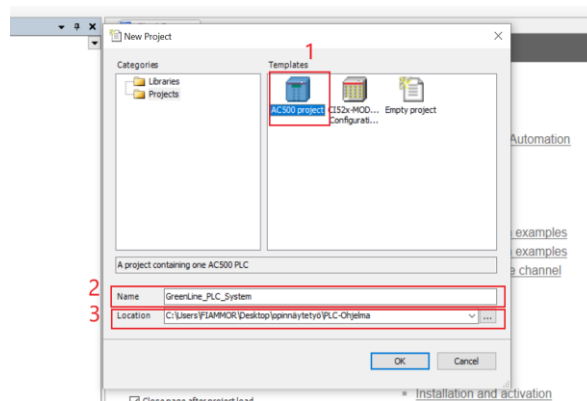
3.2 Automation Builder ja AC500-V3

Automation Builder -ohjelma kattaa AC500 ohjelmoitavien logiikkojen ja taajuusmuuttajien ohjaussysteemin suunnittelun. Tässä insinööriyössä PLC-ohjelman suunnittelussa käytettiin Automation Builder-ohjelman 2.4 versiota, joka on yhteensopiva AC500-V3-logiikan kanssa. Kuvassa 13 nähdään Automation Builder 2.4 version aloitusnäkyä.



Kuva 13. Automation Builder -versio 2.4

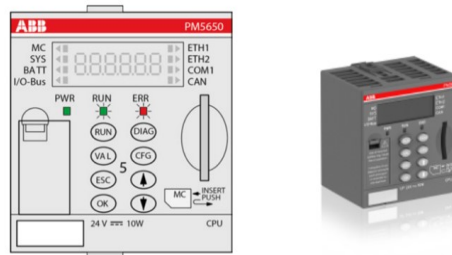
Varsinainen projekti aloitettiin painamalla *New Project*, jonka jälkeen valittiin PLC-logiikan malli (AC500), nimi sekä tallennuspaikka. (Kuva 14.)



Kuva 14. PLC-logiikan mallivalinta ja sen nimeäminen.

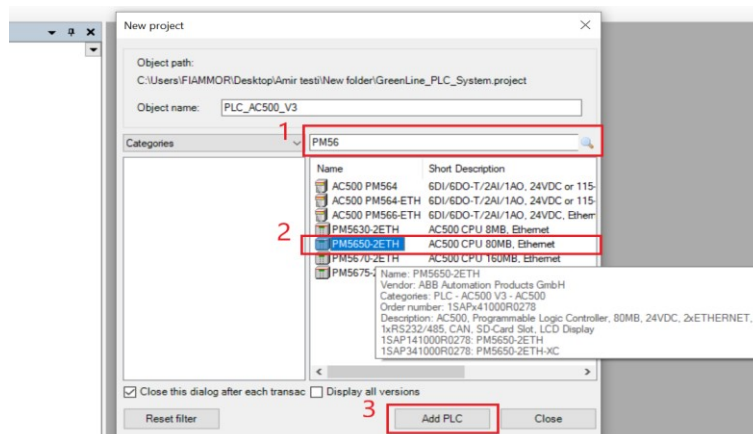
3.2.1 PM5650-CPU-moduulin konfigurointi

PLC-ohjausjärjestelmässä käytettiin prosessorimoduuli PM5650-2ETH (Kuva 15), joka on yksi ABB:n AC500-logiikan keskusyksiköistä. Kaikki PLC-järjestelmän moduulit asennettiin omiin alustoihinsa. Prosessorimoduulin alustana käytettiin AC500-V2 prosessorimoduulin alustaa. AC500-V3 ja AC500-V2-moduulien alustat ovat yhteensopivia.



Kuva 15. PM5650 CPU.

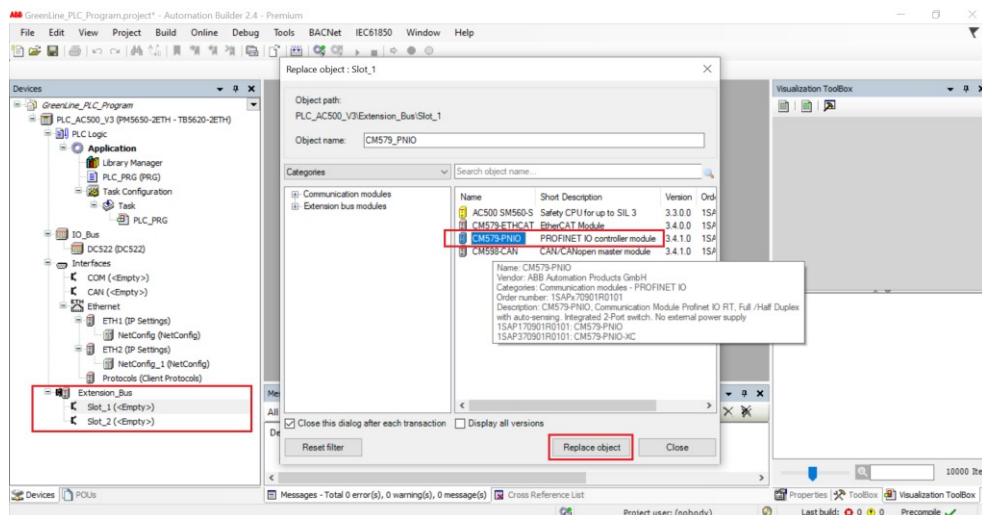
Projektin mallivalinnan ja nimeämisen jälkeen Automation Builder -ohjelmassa avautuu ikkuna, jossa valitaan prosessorimoduulin malli. (Kuva 16). Prosessorimoduulin konfigurointi voidaan suorittaa eri tavoilla. Automation Builder-ohjelmassa on myös mahdollisuus päivittää prosessori, ohjelman vasemmalla olevasta puurungosta.



Kuva 16. 1) Haku kenttä. 2) Prosessorimoduulin valinta. 3) Konfiguroinnin vahvistus.

3.2.3 CM579-PNIO-moduulin konfigurointi

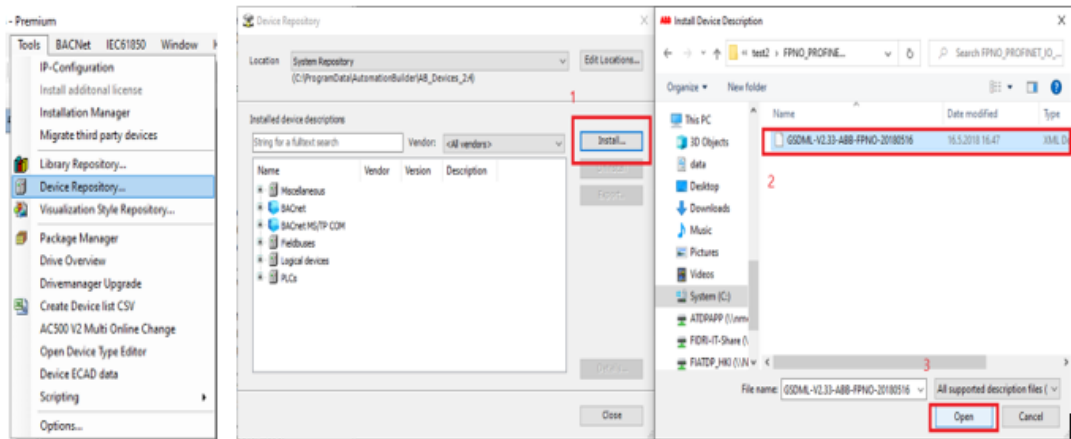
CM579-PNIO-viestintämoduuli toimii IO-ohjaimena Profinet-verkossa. Viestintämoduuli kytketään prosessorimoduuliin sisäisen tietoliikenneväylän kautta. Viestintämoduuli konfiguroitiin kaksiporttisen muistin kautta järjestelmäkonfiguraattorin avulla. Kuvassa 19 esitetään viestintämoduulin määrittelemistä. Viestintämoduuli asennettiin ensimmäiseen liitäntäpaikkaan, ja vastaavasti myös konfiguroinnissa käytettiin liitäntäpaikkaa 1 (*slot_1*). Viestintämoduuli toimii isäntälaitteena ja sen IP-osoite, joka on vaihdettavissa, määräytyy automaattisesti osoitteeseen 192.168.0.1.



Kuva 19. CM579-PNIO-moduulin määrittely.

3.2.4 Taajuusmuuttajien FPNO-21-moduulien konfigurointi

FPNO-21 konfigurointi vaatii tyyppimäärittelytiedoston (*GSD*) Profinet-verkossa. Tämä tiedosto on kirjoitettu XML-pohjaisella kielellä. *GSDML*-tiedosto ladattiin ABB:n sivuilta ja asennettiin PLC-järjestelmään kuvan 20 mukaisesti. *Tools > Device Repository > Install > GSDML-file > Open*.



Kuva 20. GSDML-tiedoston asentaminen.

FPNO-21-sovitinmoduuli on ABB:n taajuusmuuttajille tarkoitettu kytkentämoduuli, joka mahdollistaa aseman liittämisen Profinet-verkkoon. Sovitinmoduulin kautta annetaan ohjauskomennot ABB:n taajuusmuuttajille. FPNO-moduuli toimii orjana ja IP-osoitteet, jotka ovat vaihdettavissa, määräytyvät väliltä 192.168.0.2–192.168.0.254. Moduulien keskenään kommunikointia varten molemmille laitteille määritettiin samat IP-osoitteet. Liitteessä 1 esitetään FPNO-21-moduulin määrittely.

3.3 Graafinen valvomoympäristö

Tässä opinnäytetyössä ohjelman lisäksi suunniteltiin graafinen käyttöliittymä järjestelmän ohjaamista ja tilatietojen lukemista varten. Graafinen valvomoympäristö toteutettiin Automation Builder -ohjelman *Visualization*-työkalulla. Liitteessä 2 nähdään valvomoympäristö eri tiloissa. Graafisen käyttöliittymän vasen puoli kuvaa järjestyksessä ylhäältä katsottuna seuraavat tiedot ja asetukset:

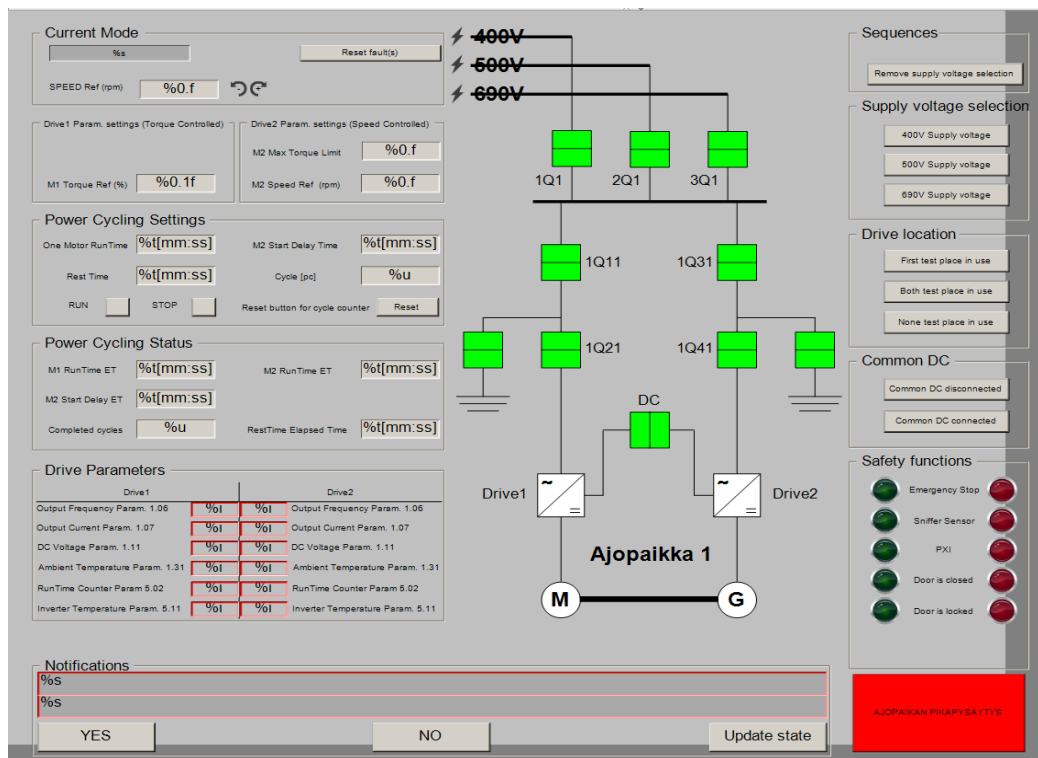
- Current Mode: ilmoittaa käynnissä olevaa testaustapaa. Laatikossa voidaan nollata taajuusmuuttajien häiriöt sekä ohjata moottorin nopeutta testaustavassa yksi.

- Drive 1 Param. Settings (Torque Controlled): Laatikossa voidaan säätää momenttisäädön ohjearvo moottorinpuolella olevassa moottorissa.
- Drive 2 Param. Settings (Speed Controlled): Laatikossa voidaan säätää nopeussäädön ohjearvo ja rajoittaa maksimi vääntömomentin arvo.
- Power Cycling Settings: Tässä laatikossa voidaan määrittää syklien määrä, moottorien ajon kokonaisaika, toisen moottorin ajon viive suhteeseen ensimmäinen moottori sekä lepoaika. Laatikossa suoritetaan myös käynnistys- ja pysäytyssignaalit sekä syklilaskurin nollaaminen.
- Power Cycling Status: Tässä laatikossa nähdään molempien moottorien reaaliajat ajon aikana, toisen moottorin viiveen reaaliaika, levossa kulunut aika sekä suoritettujen syklien määrä.
- Drives Parameters: Tässä laatikossa nähdään Update_Drives_Parameters-ohjelmassa määritetyt taajuusmuuttajien parametrit.

Kuvasta 21 voidaan nähdä erilaisia käyttöliittymän mahdollistamia toimintoja. Käyttöliittymän keskelle sijoitettiin ajopaikan sähköpiirikaaviomuotoinen kuvio, jossa valvotaan pääkatkaisijoiden, molempien testauspaikkojen syöttö- ja maadoituskytkimien sekä Common DC -piirin tilat. Valvomossa auki-tilat kuvataan vihreällä värillä ja sulkutilat kuvataan punaisella värillä. Käyttöliittymän alapuolella olevassa *Notifications*-laatikossa tulostetaan testaustavassa tarvittavat ohjeet ja vikailmoitukset. Käyttöliittymän oikea puoli koostuu seuraavista laati-koista:

- Sequences: Laatikossa voidaan avata kaikki pääkatkaisijat ja kumota Supply voltage selection -laatikon valinnat.
- Supply voltage selection: Tässä laatikossa voidaan kytkeä yksi pääkatkaisijoista testaustarpeen mukaan.

- Drive location: Tässä laatikossa määritetään käytössä olevat taajuusmuuttajat.
- Common DC: Tässä laatikossa määritetään Common DC-piirin tila.
- Safety functions: Kuvaa turvallisuusfunktioiden tilat.
- Ajopaikan pikapysäytys: Tämä toiminto ei ole tässä työssä käytössä.



Kuva 21. Suunniteltu graafinen käyttöliittymä.

3.4 PLC-ohjelma

PLC-ohjausjärjestelmä suunniteltiin Automation Builder -ohjelmalla. PLC-ohjelma koostuu pääohjelmasta (*Main Program*) ja aliohjelmista, joita pääohjelma hallitsee. Pääohjelma kirjoitettiin ST-ohjelmointikielellä ja sen rakenne pyrittiin pitämään yksinkertaisena ja helposti luettavana. Pääohjelma koostuu seuraavista aliohjelmista:

- Update_Drives_Parameters
- Drives_Ajopaikka_1
- Ajopaikka1
- Visualization-functions.

3.4.1 Update_Drives_Parameters

Tässä ohjelmassa luetaan Drive Composer Pro -ohjelmasta taajuusmuuttajien ryhmän 52 parametrit. Ohjelma kirjoitettiin ST-ohjelmointikielellä, koska se mahdollistaa esimerkiksi laskutoimitusten toteuttamisen helpommin ja selkeämmin verrattuna muihin standardin ohjelmointikieliin. Ensimmäisenä parametrit kartoitettiin FPNO-moduulin IO-kartoituslistassa (*IO mapping list*), jonka jälkeen jokaiselle parametrille määritettiin uudet muuttujat *Update_Drives_Parameters* -ohjelmassa. Alla olevassa koodissa nähdään ohjelman muuttujat ja rakenne.

Muuttujien määrittely:

```
PROGRAM Update_Drives_Parameters
VAR
  //Drive 1 Parameters
  d1Ambient_temperature      :UINT;           // Param. 1.31
  d1Inverter_temperature    :UINT;           // Param. 5.11
  d1Output_frequency        :UINT;           // Param. 1.06
  d1Runtime_counter         :UINT;           // Param. 5.02
  d1DCvoltage                :UINT;           // Param. 1.11
  d1Output_current          :UINT;           // Param. 1.07
  //Drive 2 Parameters
  d2Ambient_temperature     :UINT;           // Param. 1.31
  d2Inverter_temperature    :UINT;           // Param. 5.11
  d2Output_frequency        :UINT;           // Param. 1.06
  d2Runtime_counter         :UINT;           // Param. 5.02
  d2DCvoltage                :UINT;           // Param. 1.11
  d2Output_current          :UINT;           // Param. 1.07
  d2MinTorqueLimit          :REAL;           // Param. 30.19
  d2MaxTorqueLimit          :REAL;           // Param. 30.20
END_VAR
```

Muuttujien kutsuminen:

```

(***** Drive 1 Parameters *****)
//Read Drives parameters

d1Ambient_temperature:=d1_Ambient_temperature;
d1Inverter_temperature:=d1_Inverter_temperature;
d1Output_frequency:=d1_Output_frequency;
d1Runtime_counter:= d1_Runtime_counter;
d1DCvoltage := d1_DCvoltage;
d1Output_current := d1_Output_current;
//Write Drives parameters

d2_MaxTorqueLimit:=REAL_TO_UINT(d2MaxTorqueLimit*100);
d2_MinTorqueLimit:=INT_TO_UINT(REAL_TO_INT(d2MinTorqueLimit*100));

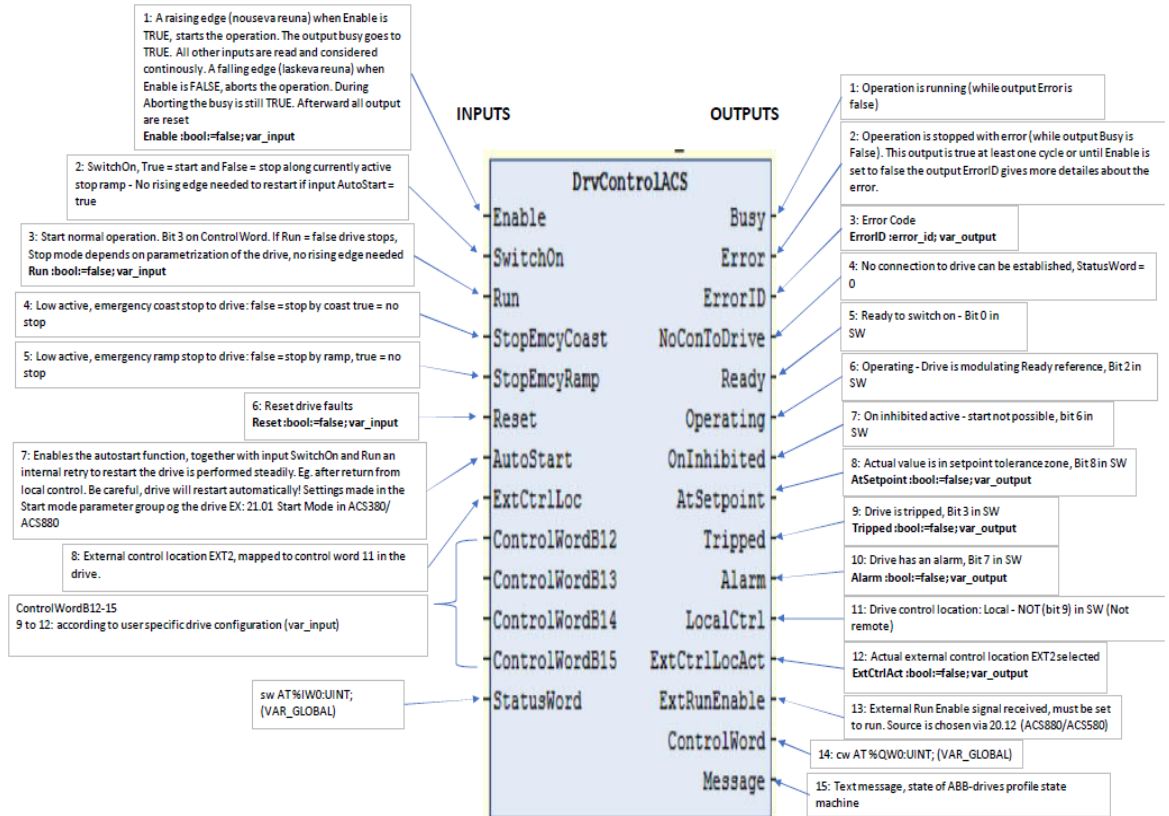
(***** Drive 2 Parameters *****)

d2Ambient_temperature:=d2_Ambient_temperature;
d2Inverter_temperature:=d2_Inverter_temperature;
d2Output_frequency:=d2_Output_frequency;
d2Runtime_counter:= d2_Runtime_counter;
d2DCvoltage := d2_DCvoltage;
d2Output_current := d2_Output_current;

```

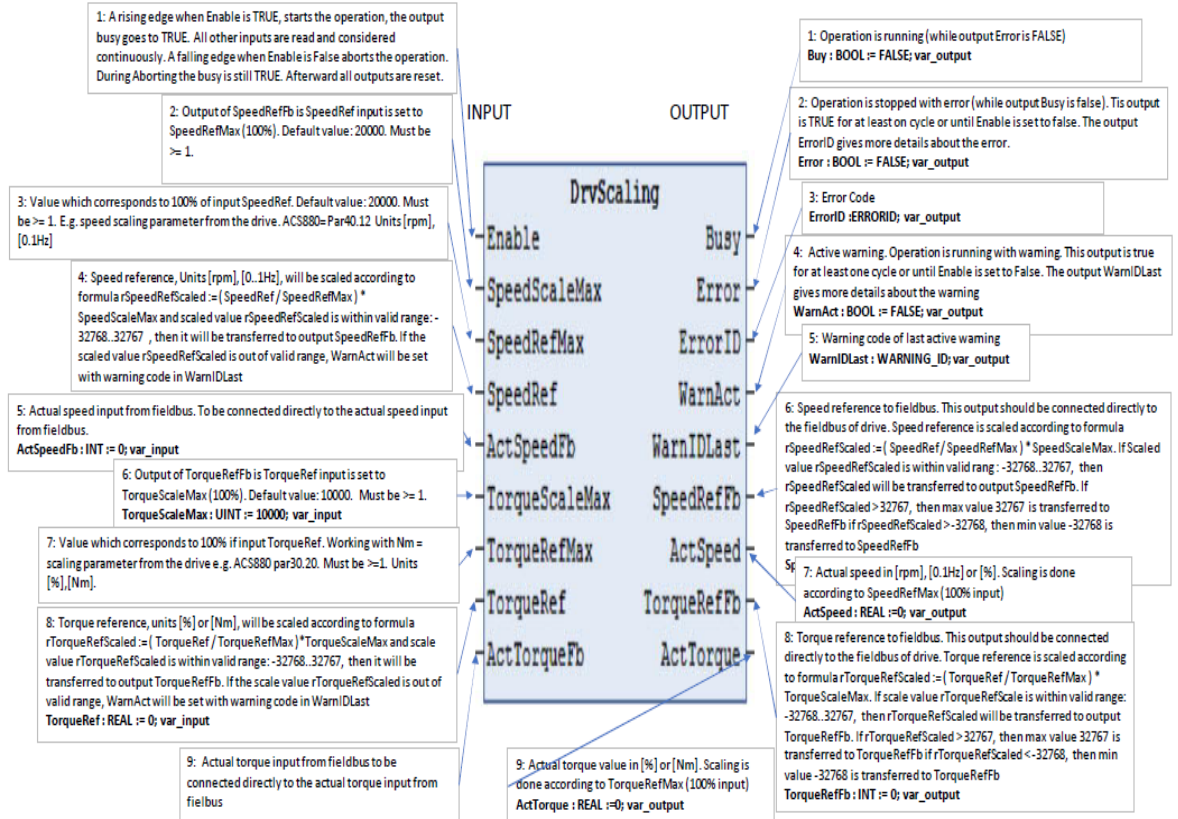
3.4.2 Drives_Ajopaikka_1

PLC-ohjelmassa hyödynnettiin ABB:n *Drives*-kirjastosta löytyviä valmiita toimintolohkoja (*Function Block, FB*). Toimintolohko *DrvControlACS* on suunniteltu ohjaamaan ABB *Drives* -profiililla varustettuja ACS-taajuusmuuttajia. Toimintolohko käyttää tulotietona taajuusmuuttajan tilasanaa (*Status Word, SW*) ja muodostaa tilakoneen mukaisesti ohjaussanaa (*Control Word, CW*), taajuusmuuttajien ohjaamiseen. Ohjaussana lähetetään kenttäväylän kautta takaisin taajuusmuuttajaan. Toimintolohko mahdollistaa taajuusmuuttajan ohjaamiseen tarvittavien vakiosignaalien, kuten vakiokäynnistys- ja pysäytyssignaalien käytön, sekä tarjoaa mahdollisuuden lukea standardidiagnoosisignaalit taajuusmuuttajasta. Kuvassa 22 esitetään *DrvControlACS*-toimintolohko.



Kuva 22. DrvControlACS-toimintolohko.

Nopeuden ja vääntömomentin ohjetulojen skaalaamiseen määrittelyn ensimmäisarvon perusteella käytettiin DrvScaling-toimintolohko. Lohkolla voidaan skaalata muuttujat kenttäväylän vastaavista arvoista ohjelmassa käytettyihin arvoihin. Skaalauksella suoritetaan myös muuttujan tyyppin muunnos kokonaisluvusta (INT) reaalityyppi (REAL) muuttujaksi. Kenttäväylämuuttujat valitaan useimmiten kenttäväylävastineina INT-arvoina. Nopeuden ohjearvo (Reference 1) ja oloarvo (Actual Value 1) annettiin väliltä +20000...-20000. Vääntömomentin ohjearvo ja oloarvo valittiin väliltä +10000...-10000. Kuvassa 23 nähdään DrvScaling-toimintolohko.



Kuva 23. DrvScaling-toimintolohko.

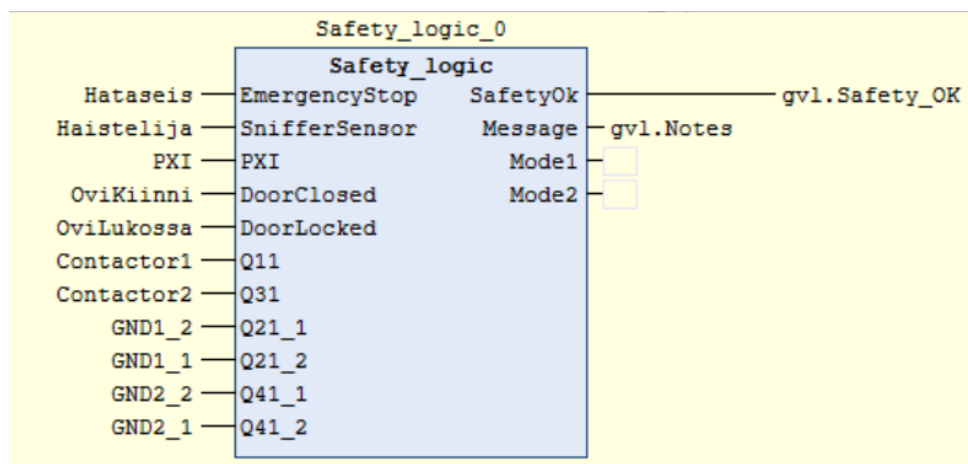
3.4.3 Ajopaikka 1

Tämä aliohjelma muodostettiin *Safety_logic*, *State_Inspection* ja *ction* ja *Cycle_Code* toimintolohkoista. Ajopaikan turvallisuusfunktiot tarkastetaan ennen testauksen aloittamista toimintolohkolla *Safety_logic*. Tavoitteena oli luoda rakenteeltaan tehokas, joustava ja helposti muutettava funktio. Ohjelmassa tulostetaan ilmoituksia aktivoituneista signaaleista ja ilmoitetaan käyttäjälle vian sijaintia. ST-ohjelmointikieli helpottaa datan analysoinnin toteuttamista sekä ilmoitusten tulostaminen ST-kielessä soveltuu paremmin käyttämällä *String*-muuttuja. Tämän takia toimintolohko suunniteltiin ST-ohjelmointikielillä ja ohjelmassa hyödynnettiin IF-ELSE-lausekkeita. Ohjelma valvoo 20 ms:n sykliajalla seuraavien toimintojen tiloja:

- hätäseis

- haistelija
- PXI
- ajopaikan oven kiinni ja auki-tilat
- ajopaikan oven lukitustila
- mekaanisten Q11, Q21, Q31 ja Q41-kytkimien tilat
- Q1-kontaktorien tilat.

Vaiheoikosulun estämistä varten Q1-kytkimiä ei ole sallittu kytkeä yhtäaikaisesti päälle, eikä kytkimiä onnistuta kytkemään päälle ennen muiden kontaktorien tilatietojen tarkastamista. Kuvassa 24 nähdään *Safety_logic* -toimintolohko. Koodiohjelma on vain ABB:n käytössä.



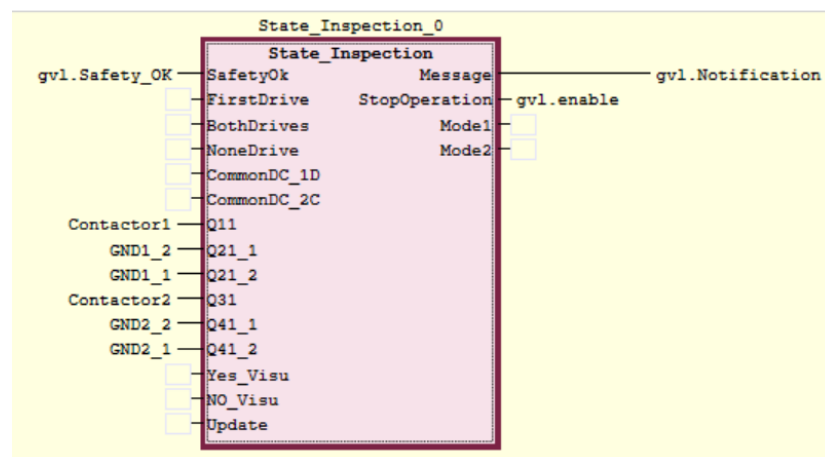
Kuva 24. *Safety_logic* -toimintolohko.

Virheilmoituksen tulostamiseen ja testaustavan määrittämiseen suunniteltiin *State_Inspection* -toimintolohko. Toimintolohko toimii tilakoneena ja ohjaa käyttäjää valitsemaan testaustapansa. Se tarkastaa myös testauspaikkojen kytkimien tilat ja hallitsee konetilan suoritusjärjestystä. Ohjelma rakenteeltaan oli monimutkainen ja laaja. Tämän takia toimintolohko rakennettiin SFC-

ohjelmointikielellä, jotta ohjelmointitehtävät saataisiin hallittua helpommin pienempänä ohjelmointitehtävänä. Koodiohjelma sisältää seuraavan tyyppisiä muuttujia:

- String
- Bool
- INT.

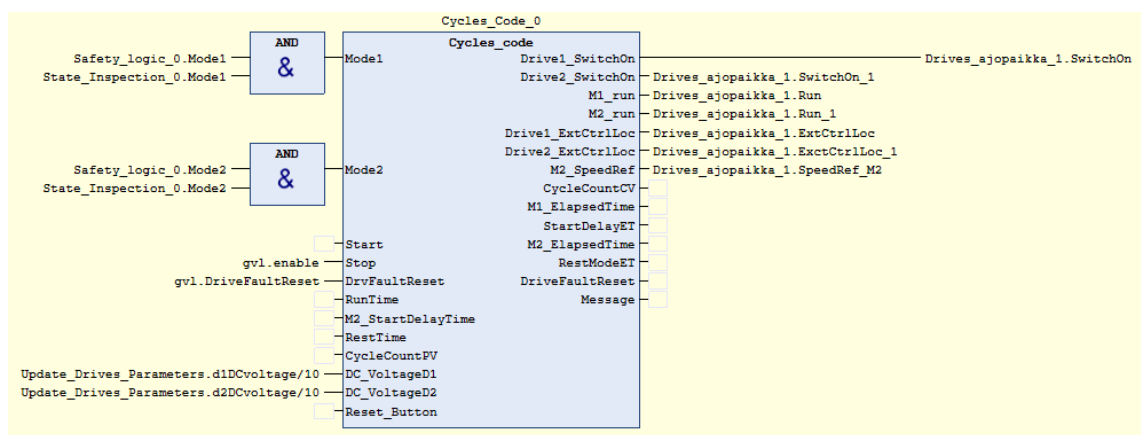
State_Inspection -toimintolohko on riippuvainen *Safety_logic* -lohkon tilatarkastuksesta. *State_Inspection* -toimintolohko näytetään kuvassa 25. Koodirakenne on vain ABB:n käytössä.



Kuva 25. *State_Inspection*-toimintolohko.

Varsinainen testaus suoritetaan *Cycles_Code* -toimintolohkolla. ST-ohjelmointikielen avulla pystytään rakentamaan monimutkaisia ohjelmia. Tässä ohjelmassa moottorit ajetaan eri ajoissa ja samalla muutetaan niiden nopeusohjeita. *Cycles_Code* -toimintolohko kirjoitettiin ST-ohjelmointikielellä. Ohjelmassa hydynnettiin IF-ELSE ja CASE OF -lausekkeita. Syklin kestoa varten käytettiin TP-ajastinta (*Time Pulse*) ja käyttöjen lepoajassa käytettiin TON-ajastinta. *Cycles_Code* -toimintolohko näytetään kuvassa 26 ja ohjelmakoodin rakenne on vain ABB:n käytössä. Koodiohjelma sisältää seuraavan tyyppisiä muuttujia:

- Bool
- Time
- String
- Word
- Real.



Kuva 26. Cycles_Code -toimintolohko.

3.4.4 Visualization-functions

Tämä ohjelma suunniteltiin graafista käyttöliittymää varten. Visualization-functions -ohjelmassa suoritetaan kaikki simulointiin liittyvät funktiot, kuten pääkatkaisijoiden kytkennän ristiin lukitus. Ohjelman avulla muutetaan lukujen arvot todelliseksi arvoksi, esimerkiksi DC-jännite tietoliikenneväylässä on kymmenen kertaa suurempi kuin sen todellinen arvo (5000V = 500V). Tämän vuoksi ohjelmassa kenttäväylän arvot muutetaan todelliseksi arvoksi. Ohjelmassa myös käännetään graafisessa valvomoympäristössä olevat kytkimien viivat pystysuoraksi osoittaakseen kytkimien tilojen olevan sulkutilassa. Ajopaikan pääkatkaisijoiden ja testauspaikkojen syöttö- ja maadoituskytkinten ollessa auki tilassa, visualisaatiossa viivat saavat arvon nolla, ja vastaavasti sulkutilassa arvon 90.

Tätä demonstroidaan kuvassa 27, jossa näkyy myös testauspaikan maadoituskytkimien konfigurointi käyttöliittymässä koodiohjelmineen.

```

// Second test place in the cabinet (Q3 and Q4)
IF NOT Contactor2 THEN
  Rotation_IQ31 := 0;
ELSE
  Rotation_IQ31 := 90;
END_IF

IF NOT GND2_1 THEN
  Rotation_IQ41_1 := 0;
ELSE
  Rotation_IQ41_1 := 90;
END_IF

IF NOT GND2_2 THEN
  Rotation_IQ41_2 := 0;
ELSE
  Rotation_IQ41_2 := 90;
END_IF

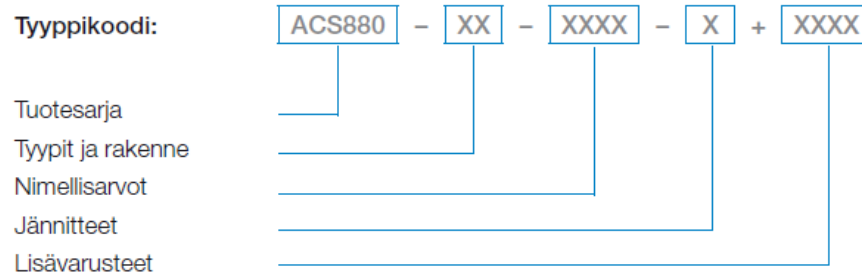
```

Absolute movem...	
Movement	
X	
Y	
Rotation	
Scaling	
Interior rot...	Vizualization.Rotation_IQ41_2
Use REAL v...	<input type="checkbox"/>
Relative movem...	
Movement p...	
X	
Y	

Kuva 27. Kytkimien tilan ohjelmointi.

3.5 PLC-ohjelman testaaminen demolaitteissa

PLC-ohjelman ensimmäinen testaus suoritettiin kahdessa erillisessä demolaitteessa. Tällöin saatiin testattua Drives_Ajopaikka_1, Update_Drives_Parameters sekä Cycle_Code-ohjelmat. Drives_Ajopaikka_1-ohjelman avulla pystyttiin operoimaan moottorien käynnistys- ja pysäytyssignaaleita, pyörimisnopeuden ja vääntömomentin ohjearvon muutosta, sekä poistamaan taajuusmuuttajien häiriöitä. Testauksen lopputulos oli positiivinen ja tämän takia siirryttiin rakentamaan testauslaitteistoa toista testausvaihetta varten. Ensimmäisessä testauksessa Demolaitteena oli käytössä kaksi ABB:n taajuusmuuttajaa tyyppikoodilla ACS880-01-02A4-5. Tyyppikoodin eri osuuksien merkitystä selvennetään kuvassa 28 ja kuva 29 esittää demolaitteet.



Kuva 28. ABB:n Taajuusmuuttajan tyypikoodi.



Kuva 29. Ensimmäisessä testausvaiheessa käytetyt demolaitteet.

3.6 Testauslaitteiston rakentaminen ja PLC-ohjelman testaaminen

PLC-ohjelman turvallisuusfunktioiden testaamista ja vianselvityksen helpottamiseksi varten rakennettiin testauslaitteisto. Testilaitteiston idea on testata PLC-ohjelma ja turvallisuustoiminnot pienemmällä sähkömoottorikäytöllä. Testauslaitteistoon asennettiin kaksi ACS880-taajuusmuuttajaa, joista kumpikin on kytketty omaan moottoriinsa moottoriletkassa, sekä taajuusmuuttajien DC-piiri on

yhdistetty käyttöihin. Taajuusmuuttajien syöttöverkoja hallitaan PLC:n ohjaimilla kontaktoreilla. Taulukossa 1 esitetään sovellukseen käytettyjen laitteiden tekniset tiedot.

Taulukko 1. Testauslaitteistossa käytetyt laitteet ja komponentit.

Määrä	Tuotteen nimi	Tuotetunnus/Tekniset tiedot
2 kpl	ACS880	ACS880-01-021A-5
2 kpl	ABB-Kontaktori AF16Z	AF16Z-30-10-21
2 kpl	ProfinetIO kenttäväyläsovitinmoduuli	FPNO-21
1 kpl	AC500-CPU	PM5650-2ETH 80MB, Ethernet
1 kpl	Digitaalinen I/O moduuli	ABB DC532
1 kpl	Tiedonsiirto liitin	CM579-PNIO B5
2 kpl	Ethernet kaapeli 2 m	CAT6
1 kpl	Ethernet kaapeli 3 m	CAT6
1 kpl	MURR virtalähde	Input 100-240V, output 24V
1 kpl	Tahtireluktanssimoottori	Power: 3KW, Type: M2AA, Size: 100LB
1 kpl	Tahtireluktanssimoottori	Power: 4KW, Type: M2AA, Size: 112M

Testilaitteistossa turvatoiminnot, syklien ajotapa (mode-1 tai mode-2), pääkatkaisijat (Q1) sekä taajuusmuuttajalinjojen mekaaniset syöttö- (Q11 ja Q31) ja maadoituskytkimet (Q21 ja Q41) toteutetaan digitaalisilla tiedoilla, joilla on On/Off -tilat. Liitteessä 3 esitetään testauslaitteisto.

4 Lopputulos ja työn arviointi

PLC-ohjelman toimivuus saatiin varmistettua testauslaitteistolla. Testauslaitteiston avulla saatiin luotua toimiva PLC-ohjausjärjestelmä taajuusmuuttajien kuorittamista varten. Ohjelmaan jouduttiin kuitenkin tekemään pieniä muutoksia graafisessa käyttöliittymässä. Ohjelman PXI-järjestelmän toteutus ei ulotu tähän insinööriyöhön, jonka takia PXI-järjestelmä toteutettiin vain digitaalisella signaalilla.

Tämä insinööriyö rajoitettiin testauslaitteistoon sekä PLC-ohjelman ja turvallisuus funktioiden toteuttamiseen, jotta työ ei olisi riippuvainen oikeasta testauslinjan rakentamisaikataulusta. Testauslaitteistossa testauslinjan pääkytkimet ei ole toteutettu samalla tavalla. Tässä työssä testauslinjan pääkytkimet simuloidaan vain graafisen käyttöliittymän avulla. Testauslaitteistossa kuitenkin oli ohjattavat kontaktorit jännitesyöttöä varten, joita ohjattiin PLC:n avulla. Testauslaitteistossa varmistettiin PLC-ohjelman toimivuutta ja saatiin onnistuneesti testattua molemmat testaustavat (Mode1 ja Mode2).

PLC-ohjausjärjestelmä saatiin lopussa onnistuneesti testattua. Onnistuneen lopputuloksen perusteella PLC-ohjausjärjestelmä on valmis testattavaksi testauslinjalla. Suunniteltu PLC-ohjausjärjestelmä on rakenteeltaan selkeä ja helposti laajennettavissa seuraavia testauslinjan ajopaikkoja varten. Testauslinjalla testaaminen kuitenkin vaatii sisään- ja ulostulojen kytkentä. Kytkennät on tehtävä yksi kerrallaan ja niiden toimivuutta tulee testata PLC:n avulla.

Insinööriyö oli aiheeltaan hyvin laaja ja kattava. Työn sisältö saatiin hyvin jaetua eri osioihin ja testaukset toteutettiin turvallisesti. Työssä perehdyttiin tarkemmin PLC-ohjausjärjestelmien toimintoihin ja ominaisuuksiin. Työ antoi laajan näkemyksen koneiden ohjauksesta, systeemien automatisoinnista ja vahvisti osaamista PLC-järjestelmien suunnittelussa.

5 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa käyttökelpoinen PLC-ohjausjärjestelmä taajuusmuuttajille tarkoitettulle testauslinjalle. Tässä insinööriyössä tutustuttiin ABB:n ACS880-taajuusmuuttajien, kenttäväylien ja ohjelmoitavien logiikkojen rakenteisiin ja manuaaliohjeisiin. Työssä myös huomioitiin laitteisiin liittyvät standardit ja direktiivit. Tavoitteena oli rakentaa ohjelma, jota pystyttäisiin laajentamaan myöhemmin seuraavillekin ajopaikoille.

Työn alussa tutustuttiin ABB:n PLC-kirjastossa oleviin toimintolohkoihin, joiden avulla taajuusmuuttajien käynnistys- ja pysäytyssignaalit saatiin toteutettua. Tässä työssä toteutettiin PLC-ohjausjärjestelmä, joka on valmis implementoitavaksi testauslinjalla. Ohjausohjelmista rakennettiin dynaamiset toimintolohkot, joita saadaan monistettua moneen ajopaikkaan. Sykliohjelman suunnittelussa tutustuttiin paremmin ST-ohjelmointikieleen ja sykliohjelma suunniteltiin spesifikaatiossa annettujen vaatimusten perusteella Case-lauseella. Case-lauseessa kehitettiin molempien taajuusmuuttajien yhtäaikaisen käyttöön. Järjestelmän turvallisuustoimintoja varten suunniteltiin ST- ja SFC-ohjelmointikielellä toimintolohkoja, jotka ovat myös laajennettavissa muille testauslinjan ajopaikoille.

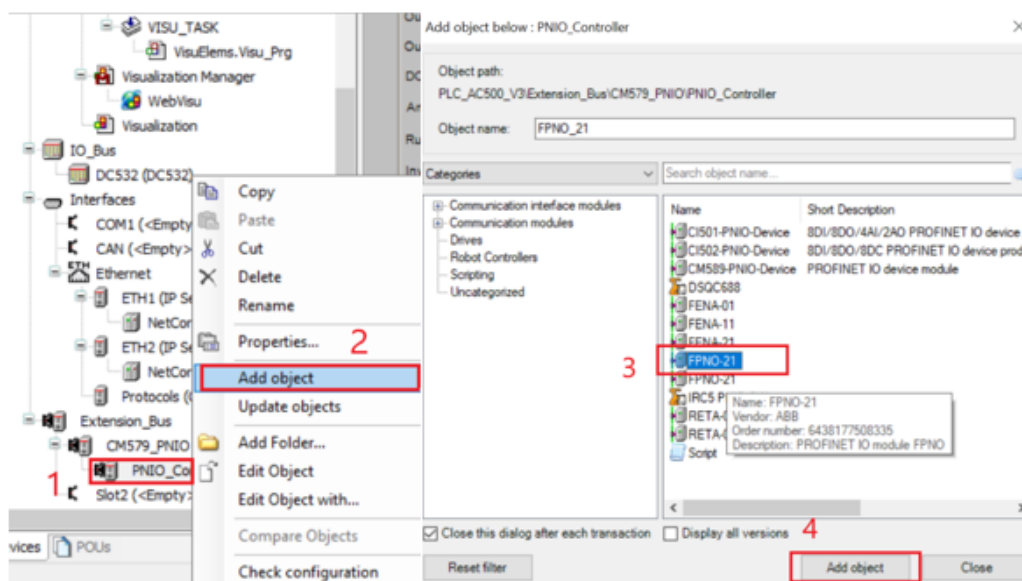
Lopputuloksena saatiin onnistuneesti suoritettua taajuusmuuttajien tehosyklit (IGBT komponenttien kuormittaminen) ja spesifikaatio mukaisen PLC-ohjausjärjestelmä, jota voidaan implementoida testauslinjalla. Toteutettu PLC-ohjelma mahdollistaa myös testauspaikkojen kytkimien tilojen tarkastus, pääkatkaisijoiden ohjaus ja niiden tilojen tarkastus sekä testaustavan valinnan mahdollisuus. Myös ohjauksen ja tilatarkastuksen helpottamista varten suunniteltiin graafinen valvomoympäristö.

Lähteet

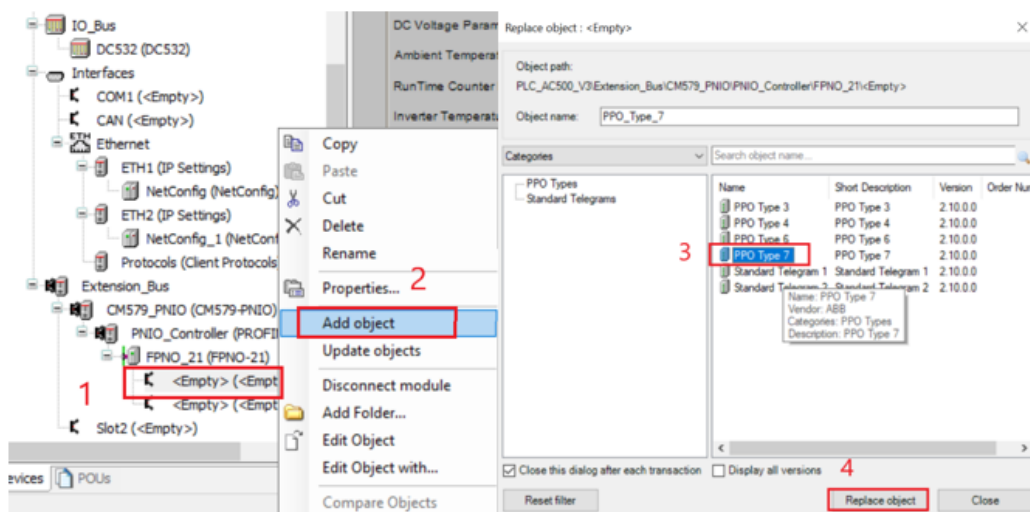
- 1 Tekninen opas nro 4. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. Verkkoaineisto. ABB. < https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf > Luettu 28.9.2021.
- 2 Niiranen, Jouko. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Otatieto
- 3 ABB:n teollisuustaajuusmuuttajat. ACS880-taajuusmuuttajat 0,55-3200 KW. Tuoteluettelo. Verkkoaineisto. ABB. <https://library.e.abb.com/public/cb0da58246ba4a62aaae948d808fcc7d/FI_ACS880_single_drives_3AUA0000124140_RevJ.pdf> Luettu 29.9.2021.
- 4 Taajuusmuuttajat. Verkkoaineisto. SähköNet <<https://blogit.gra-dia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>>. Luettu 29.9.2021
- 5 Application guide. ACS355 common dc. Verkkoaineisto. ABB. <<https://library.e.abb.com/public/21c4fab1813be5cec12579f700381f5a/enacs355commondcapplicationguidea.pdf>>. Luettu 1.10.2021
- 6 Application guide, ACS880-01 drives and ACS880-04 drive modules Common DC systems. Verkkoaineisto. ABB. <https://www.convertingsystems.com/uploads/2/6/8/5/26859557/acs880_common_dc_bus.pdf>. Luettu 1.10.2021
- 7 Bolton, William. 2009. Programmable Logic Controllers. Viides painos. Oxford: ELSEVIER.
- 8 Keinänen. Kärkkäinen. Lähetkangas. Sumujärvi. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Oppikirja. Ensimmäinen painos. Helsinki: WSOY oppimateriaalit Oy.
- 9 Saari, Sami. 2015. PLCopen XML -esitystapa sovellusten siirrossa. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92974/PLCopen%20XML%20-%20Sami%20Saari.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Luettu 4.10.2021

- 10 Overview of the IEC 61131 standard. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=DS%2f2101127&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 4.10.2021
- 11 Koistinen, Uula. 2020. PLC- ja kenttäväylätelaitteiston rakentaminen ja ohjelmointi. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/339279/Koistinen_Uula.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Luettu 4.10.2021
- 12 Apiainen, Teemu. 2019. Ethernet/IP protokollan redundanttinen testaus. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90575/Insinoori-tyo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Luettu 4.10.2021
- 13 Saxena, Piyush. 2014. OSI Reference Model. A Seven Layered Architecture of OSI Model. ISSN 2348-6848. Verkkoaineisto. International Journal of Research (IJR). <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.874.1968&rep=rep1&type=pdf>>. Luettu 5.10.2021
- 14 ACS880-perusohjausohjelma. 2018. Ohjelmointiopas. Verkkoaineisto. ABB. < https://library.e.abb.com/public/08790785ce3a44a59ec8c8ad7822e15d/FI_ACS880_FW_manual_T_A4.pdf >. Luettu 10.10.2021
- 15 James A. Rehg, Glenn J. Sartori. 2009. Programmable controllers. Toinen painos. Pearson Education: New Jersey
- 16 Petruzella, Frank D. 2011. Programmable Logic Controllers. Neljäs painos. McGraw-Hill: New York.

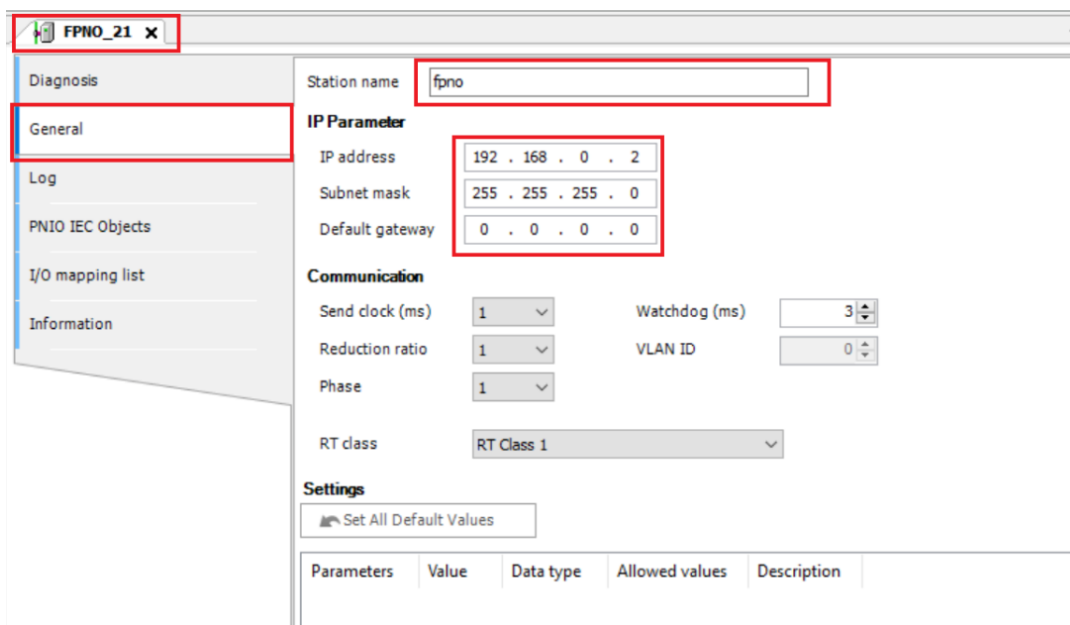
FPNO-21-moodulien määrittely



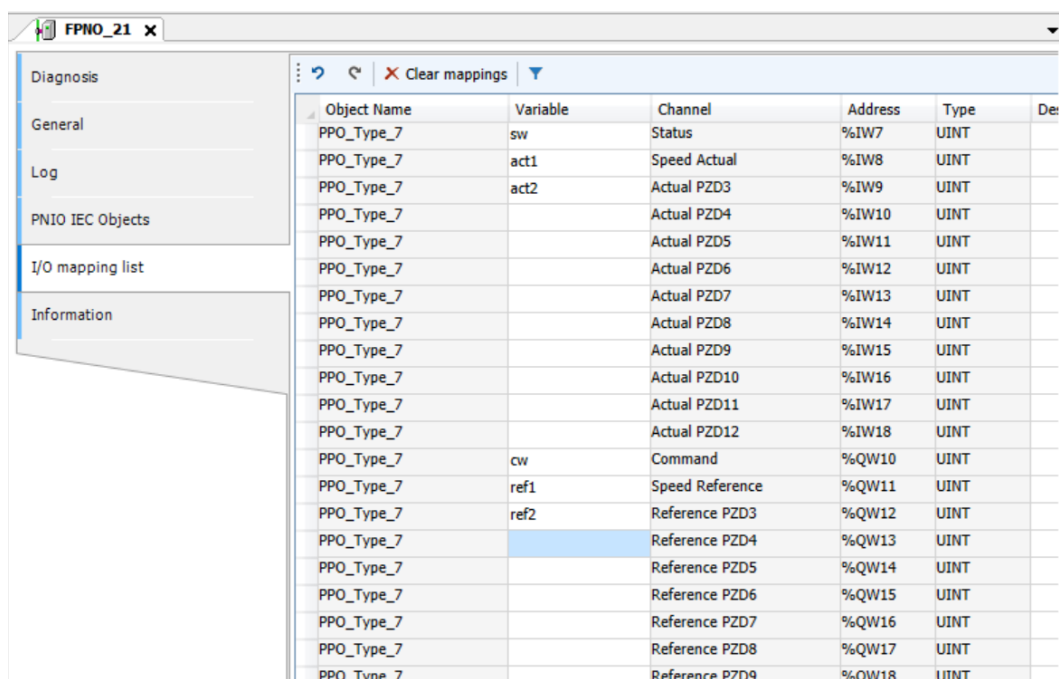
PNIO_Controlleriin lisätään objekti > valitaan FPNO-21 > lisätään FPNO-21 objekti.



Tyhjään kohtaan lisätään objekti > valitaan PPO Tyyppi 7 > Valinta vahvistetaan.



Avataan vasemmalla oleva FPNO-21. General lehdessä voidaan määrittää moduulin nimi ja IP-osoitteet



I/O mapping list -ikkunassa voidaan kartoittaa taajuusmuuttajan tilasana ja ohjaus sana.

PNIO_Controller x

Diagnosis

General

PROFINET-IO-Controller I/O Mapping

PROFINET-IO-Controller IEC Objects

I/O mapping list

Information

Station name

IP Parameter

IP address

Subnet mask

Default gateway

Default Slave IP Parameter

First IP address

Last IP address

Subnet mask

Default gateway

I/O Provider / Consumer status

Application Stop --> Substitute values

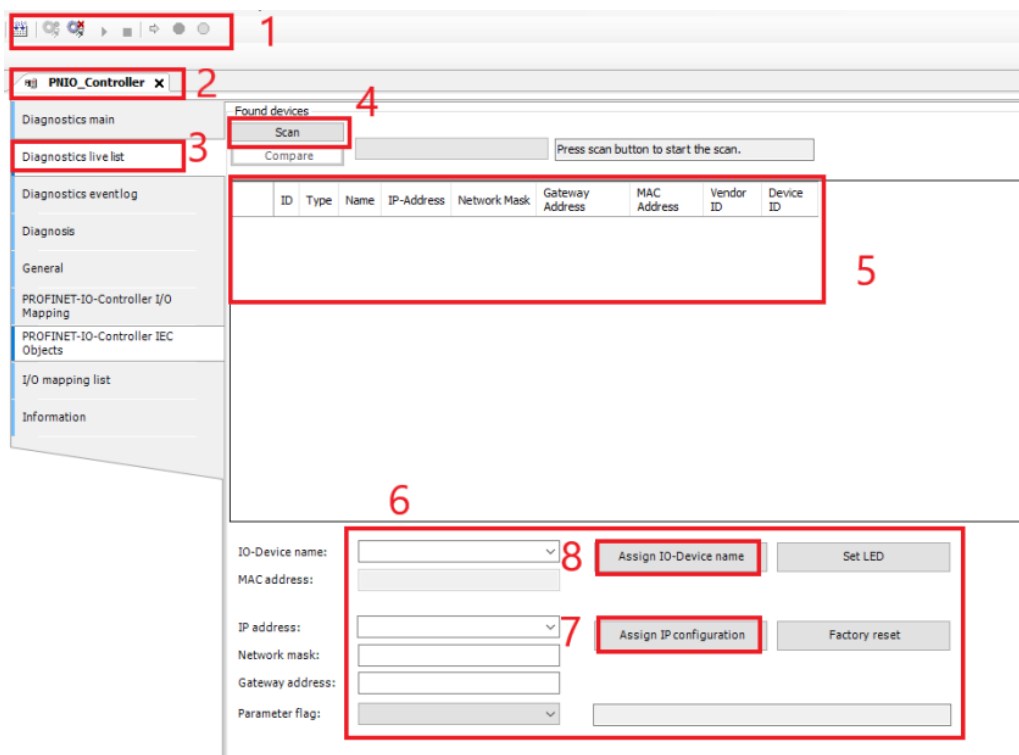
Add to I/O mapping

Watchdog

Enable

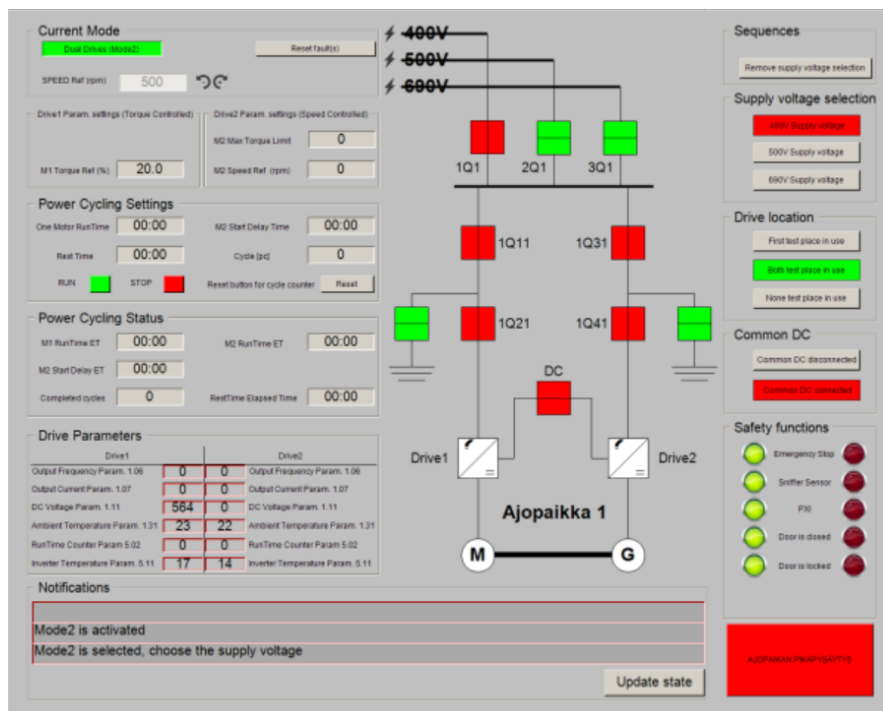
(ms)

Offline-tilassa tarkastetaan PNIO_Controllerin IP-osoite ja sen 'Slave'-laitteiden IP-parametrit.

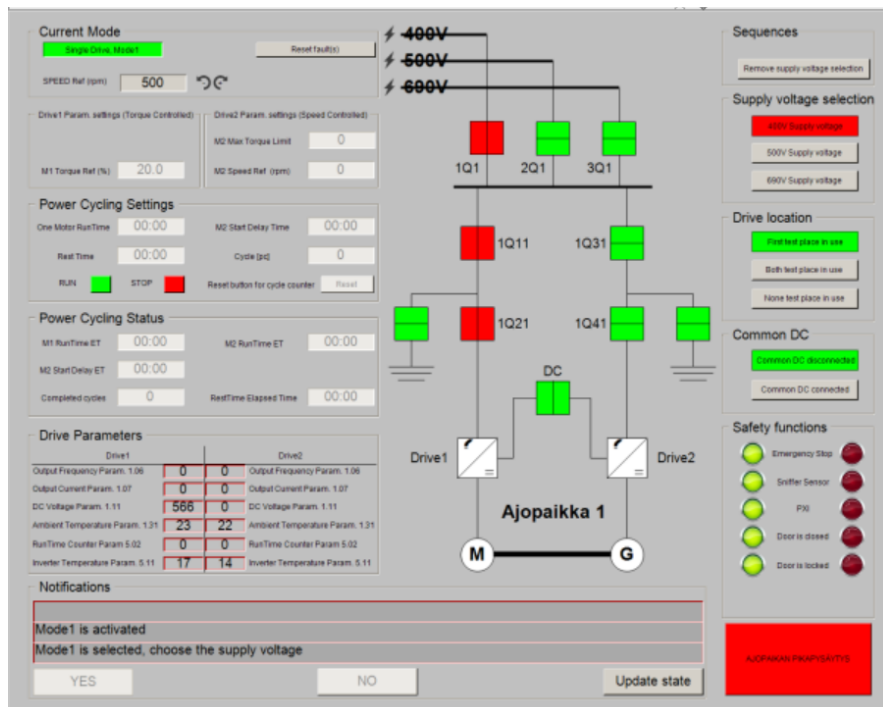


Online-tilassa PNIO_Controllerin moduulissa avataan diagnoosilistaikkuna ja skannataan 'Slave'-moduulit (FPNO-21). Kohdassa 5 näkyvät tunnistetut moduulit. Kohdassa 6 määritetään ensin laitteen IP-osoite ja sen jälkeen asetetaan tunnistettu 'Slave'-moduuli.

Graafinen valvomoympäristö eri tiloissa

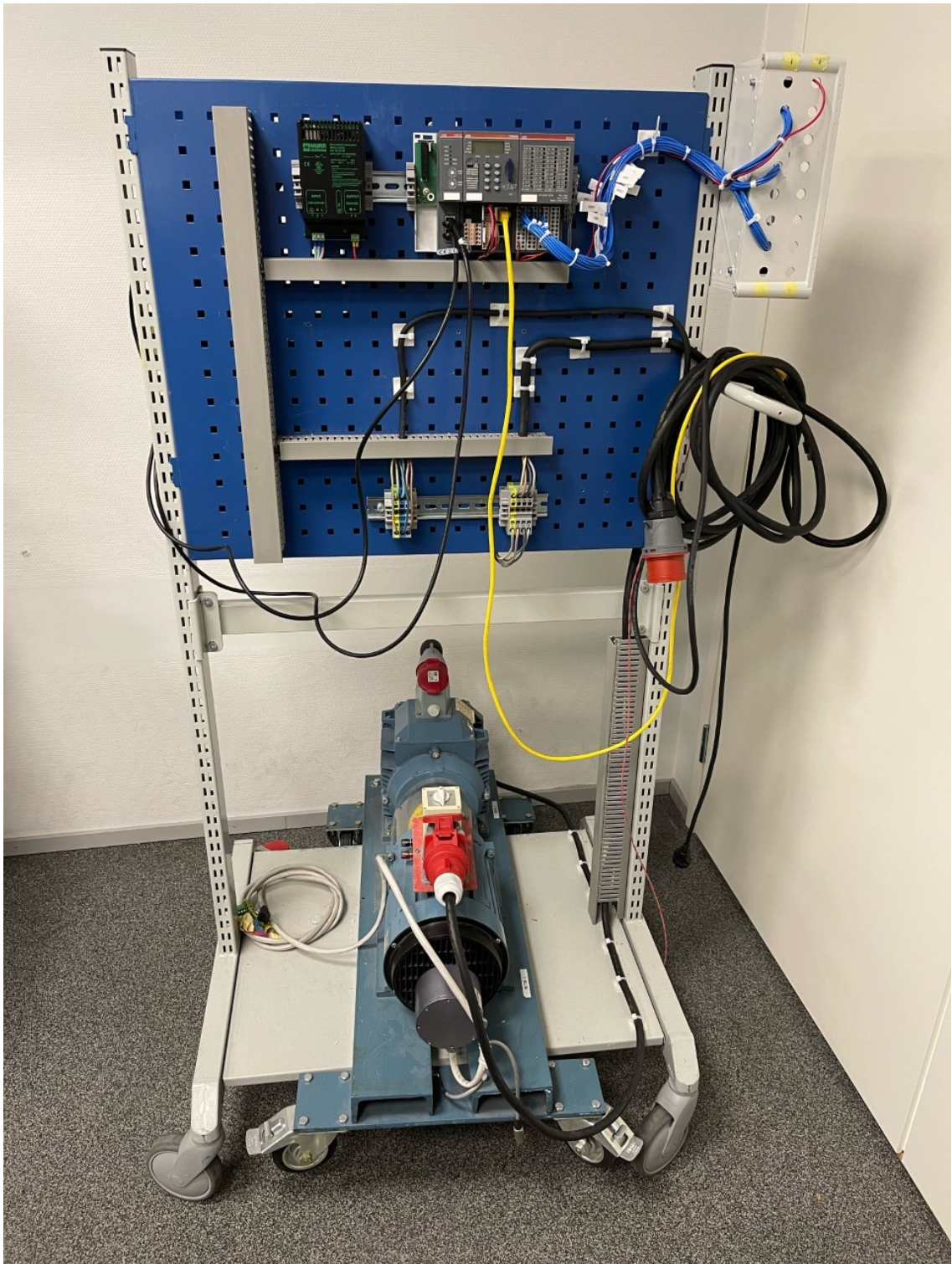


Dual drives, Mode 2



Single drive, Mode 1

Testauslaitteisto



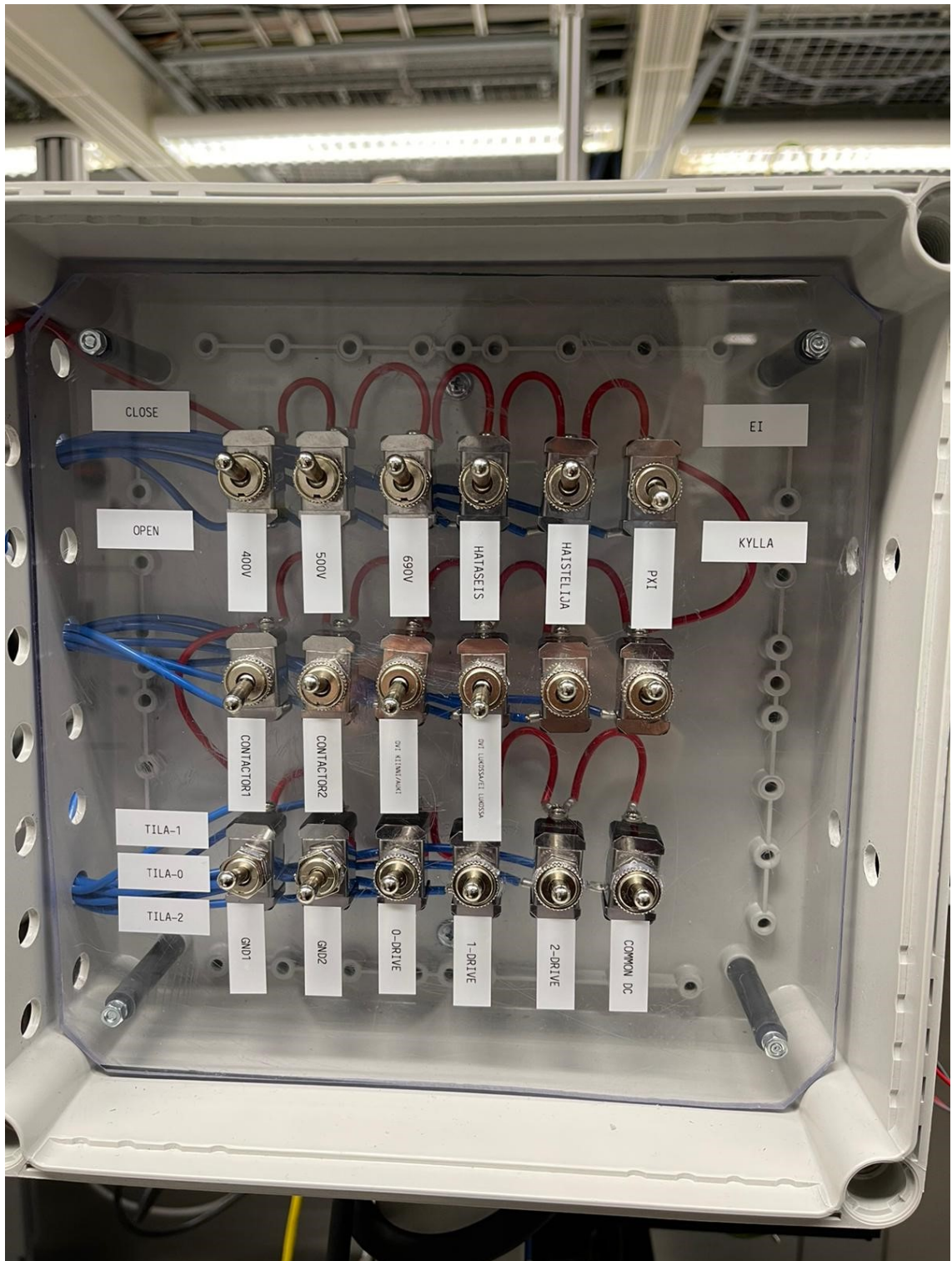
Testauslaitteisto ja toteutettu AC500-V3 -PLC-järjestelmä



Testauslaitteisto ja ACS880-taajuusmuuttajat



Digitaaliset tulosignaalit toteutettu testauslaitteistossa vaihtokytkimillä.



Vaihtokytkimet testauslaitteistossa.