SeAMK
SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joel Piiroinen

Koepaikan valinnan automatisointi

Opinnäytetyö
Kevät 2023
Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Joel Piiroinen

Työn nimi: Koepaikan valinnan automatisointi

Ohjaaja: Ismo Tupamäki

Vuosi: 2022 Sivumäärä: 40

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa ABB Oy, Smart Power tutkimuslaboratorioon lämpenemiskoepaikalle koepaikan valinnan automatisointi PLC-pohjaisella ratkaisulla. Työn tarkoituksena oli nopeuttaa ja helpottaa koepaikan työntekijöiden työskentelyä. Tämän lisäksi tarkoituksena oli lisätä työturvallisuutta vähentämällä virhekytkentöjen määrää.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään pääasiassa sähkökuvien piirtämistä, Siemens STEP7 PLC -ohjelmointia sekä RS232 ja RS485 sarjaliikenneprotokollia. Työn käytännön osuus aloitettiin kartoittamalla olemassa oleva laitteisto. Tämän jälkeen piirrettiin järjestelmän sähkökuvat ja valittiin komponentit. Seuraavaksi sähkökeskus koottiin piirikaavion perusteella ja järjestelmä asennettiin sekä kaapeloitiin. Järjestelmän asennuksen jälkeen suoritettiin järjestelmän sähköinen testaus. Viimeisenä vaiheena logiikan ja käyttöliittymän ohjelmoinnin jälkeen oli järjestelmän toimivuuden testaus.

Lopputuloksena saatiin toimiva ja turvallinen automaatiojärjestelmä, jolla käyttäjän on kosketusnäytöltä helppo valita koepaikka ja haluttu virtalähde kokeelle. Järjestelmä asettaa automaattisesti vaihtokytkimet vaadittuun asentoon. Kosketusnäytöltä käyttäjälle näytetään kuluvan kokeen tiedot. Turvallisuutta lisää myös koepaikoille asennetut varoitusvalot, jotka ilmaisevat kokeen olevan meneillään.

[1] Asiasanat: ohjelmoitavat logiikat, väylät (tietotekniikka), automaatiojärjestelmät, sähköpiirustus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electrical Automation

Author: Joel Piiroinen

Title of thesis: Automatization of test spot selection

Supervisor(s): Ismo Tupamäki

Year: 2022 Number of pages:40

The goal of the thesis was to design and implement the automatization of test spot selection for ABB Oy, Smart power research laboratory with a PLC- based solution. The purpose of the thesis was to make it faster and easier for the employees to work in the research laboratory. In addition, the purpose was to increase work safety by decreasing the number of false connections.

The theory in this thesis concentrated mainly on electrical drawings, Siemens STEP 7 PLC programming, RS232 and RS485 serial communication protocols. The practical part of the thesis project stared from assessing the already existing equipment. Next electrical drawings were made of the system and suitable components were chosen. The assembly and installation of the electrical cabinet was done based on the drawings. After the installation, electrical tests were carried out. Lastly after the programming of the PLC and HMI the system was tested.

As the result of the thesis there was a functional and safe automation system where it is easy for the user to select the desired test spot and power supply for a test. The automation system automatically switches the disconnectors to the correct position for the test. Information about the running test is displayed to the user on the HMI. New warning lights were installed to each test spot to indicate a currently running test for safety reasons.

[1] Keywords: programmable logic controllers, busses (computing), automation systems, electrical drawing

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä 1
Thesis abstract 2
SISÄLTÖ 3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo 5
Käytetyt termit ja lyhenteet 6
1 JOHDANTO 7
1.1 Työn tausta, tavoitteet ja rakenne 7
1.2 Yritysesittely 8
2 SÄHKÖKUVIEN PIIRTÄMINEN 9
2.1 AutoCAD Electrical 2022 9
2.2 Olemassa oleva laitteisto 9
2.3 Piirikaaviot 12
2.4 Osien valinta 16
3 JÄRJESTELMÄN ASENNUS 19
3.1 Sähkökeskuksen kokoaminen 19
3.2 Kaapelointi 20
4 PLC-OHJELMOINTI 21
4.1 Siemens Totally Integrated Automation (TIA) Portal 21
4.2 Siemens SIMATIC STEP 7 ohjelmointikielet 21
4.3 Ohjelmalohkot 24
4.4 Ohjelmakierto 25
4.5 Sarjaliikenne virtalähteille 26
4.5.1 Sorensen DC-virtalähde 27
4.5.2 Zenone AC-virtalähteet 27
4.5.3 RS232-sarjaliikennestandardi 30
4.5.4 RS485-sarjaliikennestandardi 31
4.6 Käyttöliittymä eli HMI 32
4.7 Ohjelmiston testaus 34

5 TULOKSET JA POHDINTAA..... 36
LÄHTEET 38

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Kuparikiskosto ja OTM-erotuskytkin yhdellä koepaikalla. 10

Kuva 2. Zenone GI4-1KA-50KVA-1-LV-virtalähde 11

Kuva 3. Zenone GI100A-10KVA-1AM-LV-Virtalähteet. 11

Kuva 4. Sorensen HPX 10 X 4000 E-virtalähde. 12

Kuva 5. Sähkökeskus. 19

Kuvio 1. Sähkönjakelun piirikaavio. 13

Kuvio 2. Releohjaus. 14

Kuvio 3. Erotuskytkimen symboli. 15

Kuvio 4. Suunnitellun sähkökeskuksen layout-kuva. 16

Kuvio 5. Zenone AC -virtalähteiden komentolauseen rakentamiseen käytettyjen funktioiden järjestys 29

Taulukko 1. Organisaatiolohkot. 24

Taulukko 2. SR-Kiikun totuustaulukko. 25

Taulukko 3. Komentolauseen rakenne. 28

Taulukko 4. RS232-Signaalitasot. 30

Taulukko 5. RS232-yhteyden signaalit. 31

Taulukko 6. RS485-Signaalit. 32

Taulukko 7. RS485-signaalitasot. 32

Käytetyt termit ja lyhenteet

AC	AC on lyhenne sanoista Altrenating Current. Suomeksi vaihtosähkö.
DC	DC on lyhenne sanoista Direct Current. Suomeksi tasasähkö.
HMI	HMI on lyhenne sanoista Human Machine Interface. Suomeksi laitteen ja ihmisen välinen käyttöliittymä.
PLC	PLC on lyhenne sanoista Programmable Logic Controller. Suomeksi ohjelmoitava logiikka.
IO	IO on lyhenne sanoista Input Output. Suomeksi Sisääntulo ja Ulostulo.
LAD	LAD on lyhenne sanoista Ladder Diagram. LAD on ohjelmointikieli Siemens STEP 7 ohjelmointiympäristössä
FBD	FBD on lyhenne sanoista Function Block Diagram. FBD on ohjelmointikieli Siemens STEP 7 ohjelmointiympäristössä
SCL	SCL on lyhenne sanoista Structured Text List. SCL on ohjelmointikieli Siemens STEP 7 ohjelmointiympäristössä
STL	STL on lyhenne sanoista Statement List. STL on ohjelmointikieli Siemens STEP 7 ohjelmointiympäristössä
USB	USB on lyhenne sanoista Universal Serial Bus. USB on laajalti käytössä oleva sarjaliikenneprotokolla.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta, tavoitteet ja rakenne

Opinnäytetyön aiheeseen päädyttiin, kun nähtiin, että tällaisesta järjestelmästä olisi hyötyä yrityksen koepaikalla. Työn laajuudesta ja tavoitteista keskusteltiin koepaikan työntekijöiden ja esimiehen kanssa. Aihe on mielenkiintoinen sillä, koska siinä yhdistyy suunnittelu-, ohjelmointi- ja käytännöntyö. Uusien järjestelmien kehittäminen kulkee yhdessä koulussa opittujen asioiden kanssa.

Työn tarkoituksena on automatisoida lämpenemiskoepaikan valinta ja asettaa käyttäjän kosketusnäytöltä valitsemat arvot kokeessa käytetylle virtalähteelle. Lämpenemiskoepaikalla suoritetaan kokeita, joissa selvitetään kytkinten eri osien lämpeneminen virran kulkiessa kytkimen läpi. Automatisoinnin tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa koepaikan työntekijöiden työntekoa ja lisätä työturvallisuutta vähentämällä virhekytkentöjen määrää. Tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa helppokäyttöinen käyttöliittymä, josta voi valita koepaikan ja asettaa halutut arvot virtalähteille.

Työn alussa kerrotaan työssä käytetyt termit. Johdannossa käydään läpi, kuinka aiheeseen päädyttiin, työn tavoitteet ja esitellään yritys. Työn toisessa kappaleessa kerrotaan sähkökuvien piirtämiseen käytetystä sovelluksesta ja siihen liittyvistä haasteista. Kappaleessa käydään myös läpi sähkökuvien piirtäminen, miten työ yhdistyy olemassa olevaan laitteistoon koepaikalla sekä kerrotaan osien valinnasta sekä piirikaaviosta. Kolmannessa kappaleessa kerrotaan sähkökeskuksen kokoamisesta, kaapeloinnista ja sen sähköisestä testaamisesta. Neljännessä kappaleessa käsitellään laitteiston ohjelmointia ja järjestelmän toiminnallisuuden testaamista. Aluksi kerrotaan Siemens TIA Portal -ohjelmointiympäristöstä, tämän jälkeen esitellään ohjelman toiminta. Seuraavaksi selvitetään laitteistossa käytettävät sarjaliikenneprotokollat ja -standardit. Samassa kappaleessa käydään läpi käyttöliittymän ohjelmointi ja testaus Työn lopussa esitetään työn tulokset ja pohditaan tulevaa.

1.2 Yritysesittely

ABB Oy, Smart Power on markkinajohtaja kytkintuotteissa. ABB:n Smart Power -liiketoimintalinjan Vaasan tehdas työllistää noin 300 henkilöä ja vastaa kytkintuotteiden tuotekehityksestä, valmistuksesta, myynnistä ja markkinoinnista maailmanlaajuisesti.

Vaasan tehtaalla valmistetaan turvakytkimiä, kuormankytkimiä, vaihtokytkimiä, kytkinvarokkeita, nokkakytkimiä ja koteloituja kytkimiä (ABB, i.a.). Käyttösovelluksia tuotteille ovat teollisuuden-, varavoima-, aurinkovoima-, ja IT-konesalien sähkönsyötön varmistuksen järjestelmät.

Tämä opinnäytetyö tehdään ABB Oy, Smart Powerin testauslaboratorion lämpenemiskoepaikalle. Testauslaboratoriossa tuotteille tehdään kattavat sähköiset ja mekaaniset kokeet tuotekehitysprosessin aikana.

2 SÄHKÖKUVIEN PIIRTÄMINEN

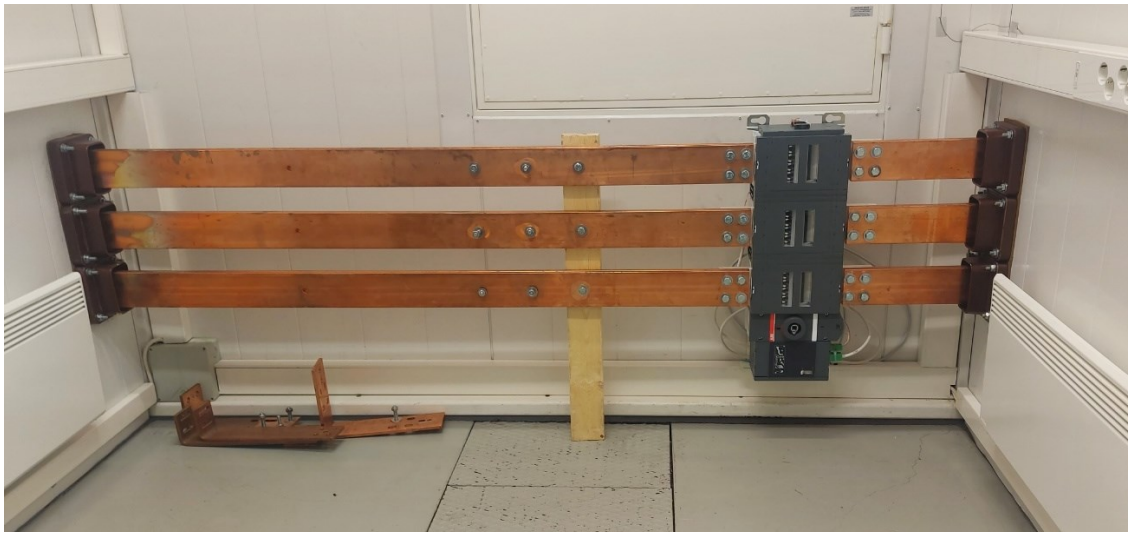
2.1 AutoCAD Electrical 2022

AutoCAD Electrical 2022 on osa Autodesk inc:in tuoteperhettä. AutoCAD on alun perin vuonna 1982 julkaistu tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma (Autodesk, 2022a). AutoCAD ohjelmistoperheeseen kuuluvat sovellukset arkkitehtuuri-, mekaaniseen-, sähköiseen-, tehdas-, rasteri-, MEP- ja karttasuunniteluun (Autodesk, 2022b).

AutoCAD Electrical on sähkökuvien piirtämiseen tarkoitettu suunnitteluohjelma. Ohjelmalla on mahdollista piirtää sähkösuunnitelmat yksinkertaisista kytkennöistä aina isojen tehtaiden sähkösuunnitelmiin saakka (Autodesk, 2022c). Työn toteuttamisessa päädyttiin käyttämään AutoCAD Electrical ohjelmistoa, sillä se oli saatavilla yrityksen ohjelmistoasennuspalvelusta.

2.2 Olemassa oleva laitteisto

Koepaikalla testaukseen käytettävää laitteistoa ovat kuusi AC-virtalähdettä, yksi DC-virtalähde sekä neljä erotuskytkintä. Tarkoituksena on lisätä vielä kaksi erotuskytkintä järjestelmään. Virtalähteissä huomioitavaa oli niiden käyttämät kommunikointiprotokollat, jotta niiden ohjaaminen onnistuu käyttöliittymästä. Erotuskytkimissä huomioonotettavaa, että logiikalla oli niiden ohjaukseen ja tilatietojen lukemiseen riittävästi lähtöjä ja sisääntuloja. Nyt testien suorittamista varten työntekijät kytkevät kaapelit virtalähteestä joko suoraan testattavaan kappaleeseen tai testausalueella olevaan kuparikiskostoon. Tällä tavoin kokeeseen vaadittava virta voidaan siirtää toisille koepaikoille. Erotuskytkimet sijaitsevat kuparikiskostossa. Virtalähteille syötetään niiden käyttöpaneelista halutut arvot ja kuparikiskostossa olevat kytkimet käännetään käsin oikeaan asentoon. Kuva 1 on yhdeltä koepaikalta, jossa näkyy kuparikiskosto ja OTM-erotuskytkin.



Kuva 1. Kuparikiskosto ja OTM-erotuskytkin yhdellä koepaikalla.

Järjestelmää suunnitellessa oli otettava huomioon virtalähteiden kommunikaatioprotokollat sekä erotuskytkinten ohjaus- ja tilatietosignaalit. Koepaikalla on kolme Zenone GI4.1KA-50KVA-1-LV-virtalähdettä, kolme Zenone GI1000A-10KVA-1AM-LV-virtalähdettä ja yksi Sorensen HPX 10 X 4800 E – 1A 000-virtalähde. Zenonen virtalähteissä kommunikaatioprotokollana on RS-485 ja Sorensenin virtalähteessä kommunikaatioprotokollana on RS-232. Erotuskytkiminä on ABB OTM4000 -sarjan moottorisoituja kytkimiä. Koepaikalla on myös mahdollista suorittaa kokeita käyttämällä sähkömoottorilla pyöritettävää generaattoria, jonka tuottama sähkövirta sovitetaan muuntajalla testausta varten sopivaksi.

Zenone GI4.1KA-50KVA-1-LV ja GI1000A-10KVA-1AM-LV-virtalähteet ovat jatkuvan virran virtalähteitä. Virtalähteet antavat tasaisesti valitun virran riippumatta kuorman impedanssista tai sähköverkon vaihtelusta (ZENONE Elettronica, 2018a, s. 2). Virtalähteillä on mahdollista syöttää koekappaleelle vaihtosähköä neljästäkymmenestä kahteensataan hertsiin. GI4.1KA-50KVA-1-LV-virtalähde kykenee kahdentoista voltin ulostulojännitteeseen ja neljäntuhannensadan ampeerin virtaan (ZENONE Elettronica, 2018b, s. 1). GI1000A-10KVA-1AM-LV eroaa edellä mainitusta mallista ulostulojännitteessä ja virrassa. Maksimi ulostulojännite kyseisellä virtalähteellä on kymmenen volttia ja virta kaksisataaviisi ampeeria (ZENONE Elettronica, 2018c, s. 1). Kuvissa 2 ja 3 esitetään Zenone GI4.1KA-50KVA-1-LV ja GI1000A-10KVA-1AM-LV-virtalähteet.

Kuva 2. Zenone GI4-1KA-50KVA-1-LV-virtalähde

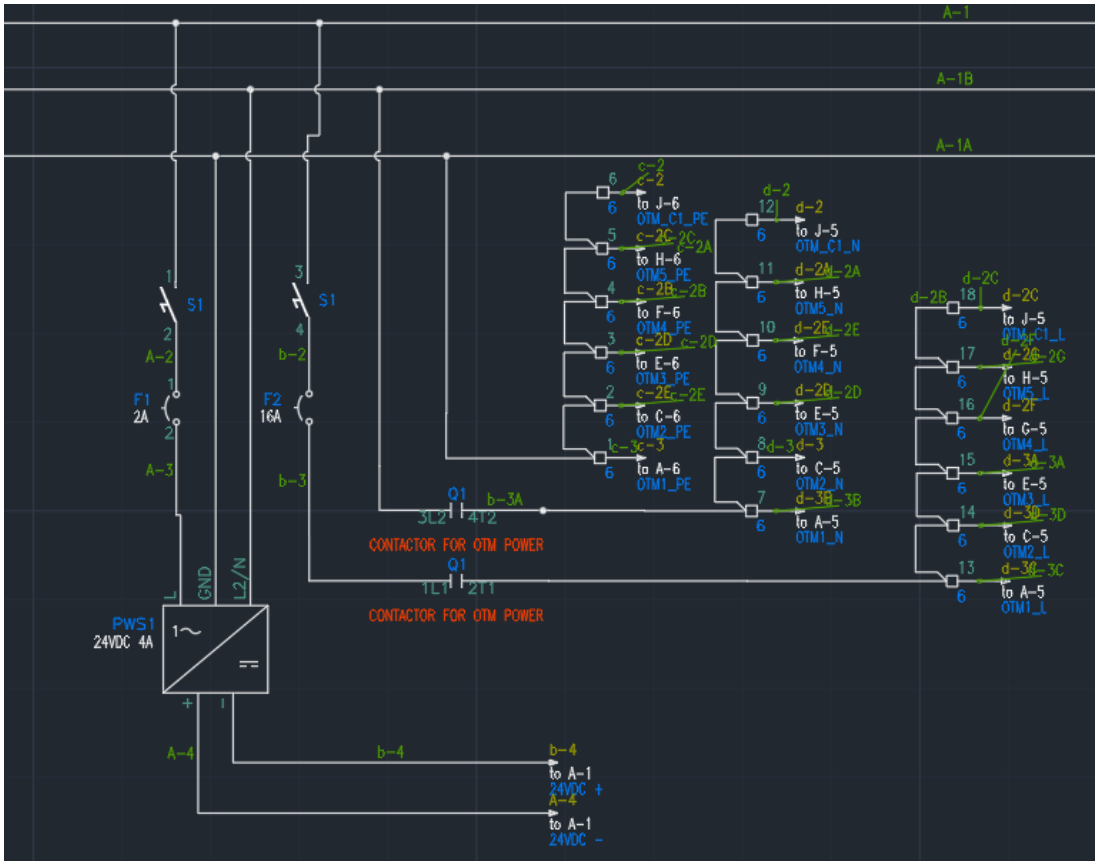
Kuva 3. Zenone GI100A-10KVA-1AM-LV-Virtalähteet.

Sorensen HPX 10 X 4800 E on jatkuvan virran, sekä jännitteen DC-virtalähde. Virtalähteellä on mahdollista syöttää koekappaleeseen nollasta kymmeneen volttia ja enimmillään neljätuhattakahdeksansataa ampeeria (AMETEK Programmable Power, 2017, s. 7). Kuvassa 4 esitellään Sorensen HPX 10 X 4800 E-virtalähde.

Kuva 4. Sorensen HPX 10 X 4000 E-virtalähde.

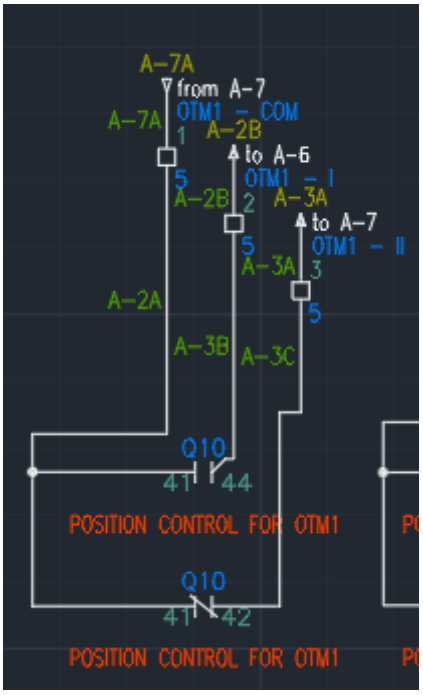
2.3 Piirikaaviot

Järjestelmän piirikaavioiden suunnittelu alkoi sähkönsyötön ja sen jakelun piirtämisestä. Tähän kuuluu pääkatkaisija, automaattisulakkeet, kontaktori sekä 24 VDC -virtalähde logiikkaa, kosketusnäyttöä sekä varoitusvaloja varten. Tämän jälkeen piirustukseen lisättiin logiikka ja siihen kuuluvat lisämoduulit. Logiikan ja sen lisämoduulit löytyivät AutoCAD Electricalin sisäänrakennetusta komponenttitietokannasta. Kuvassa 5 esitetään sähkönjakelun piirikaavio.



Kuvio 1. Sähkönjakelun piirikaavio.

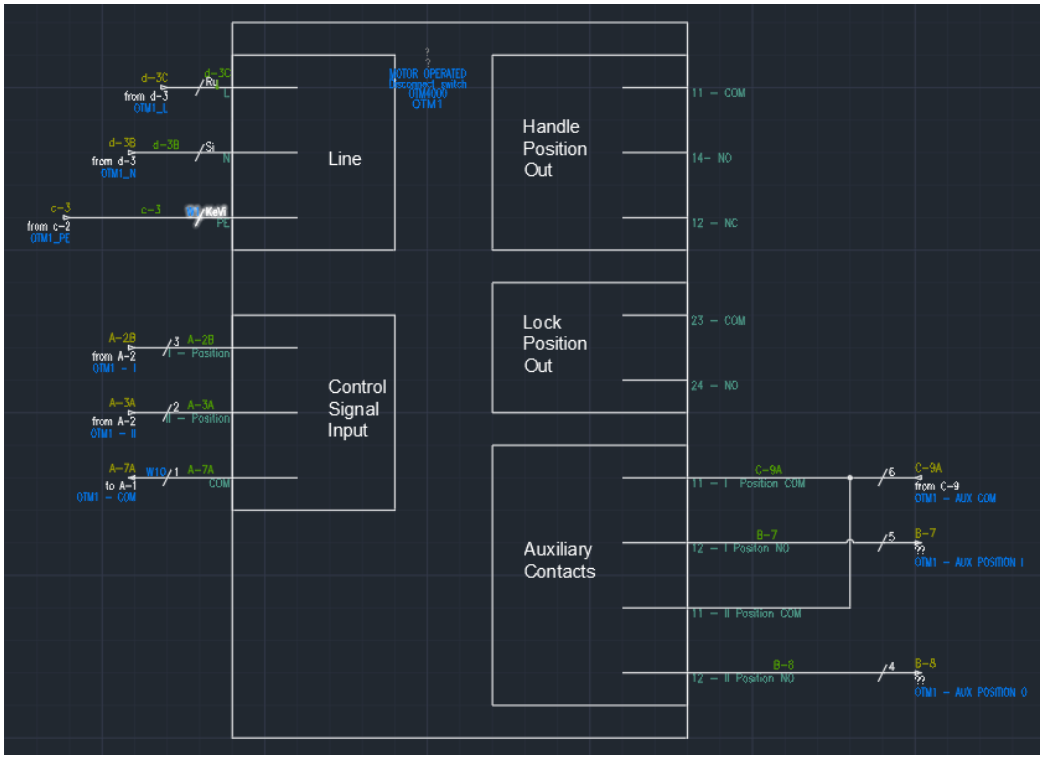
Logiikan sisääntulojen ja lähtöjen määrittämistä varten oli huomioon otettavaa, miten vaihtokytkimiä ohjataan eri asentoihin sekä miten vaihtokytkimiltä saadaan tilatieto. ABB:n OTM-sarjan vaihtokytkimiä voi ohjata joko pulssiohjauksella tai jatkuvalla ohjauksella. Kaksiasentoisessa kytkimessä on omat sisääntulonsa kytkimen ohjaamiselle kumpaankin asentoon. Pulssiohjauksessa kytkimelle lähetetään vähintään sadan millisekunnin pituinen pulssi, jonka jälkeen kytkin vaihtaa asentoa. Jatkuvassa ohjauksessa asennon ohjaussignaali pidetään aktiivisena jatkuvasti. (ABB, 2016, s. 21–22). Jatkuva ohjaus on helppo toteuttaa logiikalla hyödyntämällä releitä. Releiden normaalisti suljetut kontaktit on liitetty kytkimien sisääntuloihin, jotka ohjaavat kytkimet nolla-asentoon. Normaalisti avoinna olevat kontaktit ovat kytketty kytkimien ykkösasentoon ohjaaviin sisääntuloihin. Kuvassa 6 on kaavio releohjauksesta.



Kuvio 2. Releohjaus.

Näin saadaan logiikan yhdellä ulostulolla ohjattua kytkimet joko nolla-asentoon tai ykkös-asentoon. Tällaisella kytkennällä myös varmistetaan turvallisuus mahdollisessa vikatilanteessa. Kytkimet ohjautuvat nolla-asentoon, jos logiikan sähkönsyöttö katkeaa. Tilatiedot kytkimiltä saadaan käyttämällä yhteensopivia apukoskettimia.

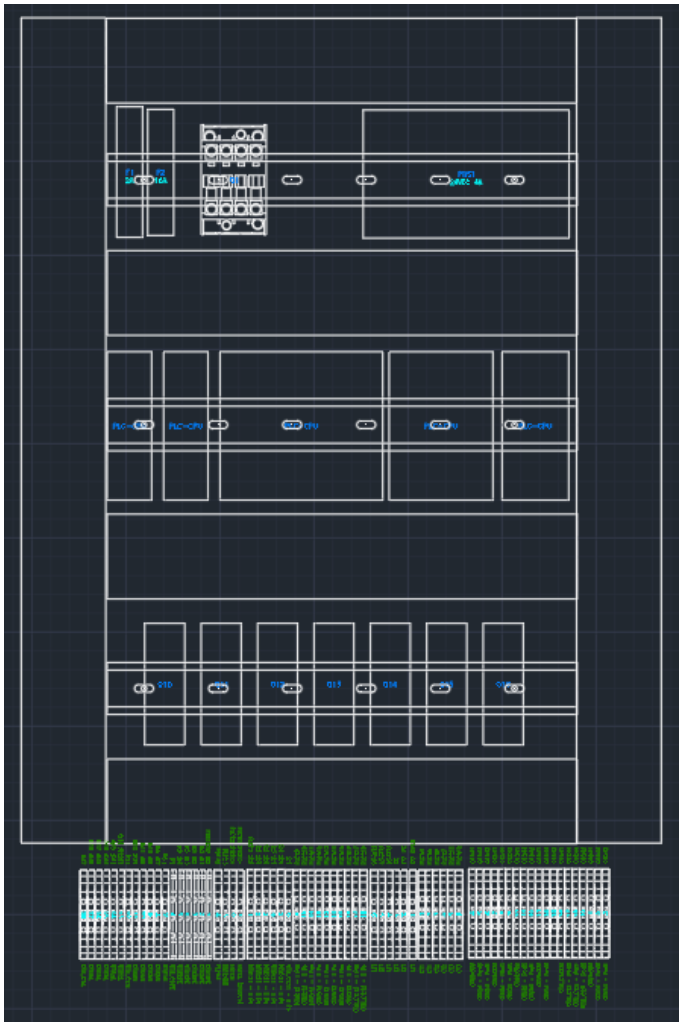
Kytkimien ohjaustavan suunnittelun jälkeen selvitettiin, miten saadaan piirrettyä omat symbolit vaihto- ja erotuskytkimille. Näille ei ollut symboleja sisäänrakennetussa komponenttikirjastossa. Symbolien piirtäminen vei paljon aikaa. Ohjelmistossa on sisäänrakennettu kattava ohje, jossa kerrotaan symbolien piirtämisestä. Suositussa videoiden suoratoistopalvelussa on myös saatavilla tietoa omien symbolien piirtämisestä. Kuvassa 7 esitetään itse piirretty OTM-erotuskytkimen symboli.



Kuvio 3. Erotuskytkimen symboli.

Seuraavaksi piirustuksiin lisättiin kytkennät koepaikalle asennettaville huomiovaloma-jakoille, kytkennät mahdollisille virtamuuntajille generaattorisyötön virranmittausta varten sekä kytkennät kosketusnäytölle. Riviliittimet ryhmittelin kytkettävien funktioiden mukaan. Kytkimille lähtevät ohjaussignaalit ovat omassa ryhmässään, kytkimiltä sisään tulevat signaalit omassa ryhmässään, kosketusnäytön kytkennät omassa ryhmässään ja niin edelleen.

Lopuksi komponenttien valitsemisen jälkeen piirustuksiin määriteltiin jokaista symbolia vastaavat komponentit. Tämä on helppoa ohjelmistoon sisäänrakennetun komponenttitietokannan ansiosta. Komponenttien määrittelyn jälkeen suunniteltiin sähkökeskuksen layout-kuva. Layout-kuva on helppo tehdä, sillä ohjelmiston tietokannassa on komponenttien fyysistä ulkoasua esittävät piirrosmerkit. Komponentit asetettiin kuvaan ja lisättiin tarvittavat johdotuskanavat. Kuvassa 8 on sähkökeskuksen layout-kuva.



Kuvio 4. Suunnitellun sähkökeskuksen layout-kuva.

2.4 Osien valinta

Osien valinta on vaivatonta AutoCAD Electricalin sisäänrakennetun osaluettelon ansiosta. Ohjelmoitavan logiikan valinnassa oli oleellista varmistaa valmiudet sarjaliikenneyhteyksiin, jotta kommunikointi virtalähteille arvojen asettamista ja lukemista varten on mahdollista. Ohjelmoitavaksi logiikaksi valittiin Siemens S7-1200. Logiikassa on riittävästi lähtöjä sekä tuloja lisättävien IO-moduulien ansiosta. Logiikkaan sai myös RS-232 sekä RS-485-moduulit, jotka mahdollistavat yhteyden logiikan ja virtalähteiden välillä.

Kontaktoria valitessa tuli ottaa huomioon kontaktorin kelan vaatima virta ja logiikan ulostulon virran kesto. Kontaktoriksi valikoitui ABB AL16-30-10 sen pienen kelavirran vuoksi. Re-

leiden valinnassa asennuksen helppouden vuoksi valittiin ABB:n CR-M-sarjan releet loogisilla relekannoilla. Loogisessa relekannassa releen kela kytketään kannan alapuolelle ja kontaktien liitännät kytketään yläpuolelle (ABB, 2022). Tämä helpottaa ja nopeuttaa asennusta huomattavasti. Relekantoihin valittiin lisäksi yhteensopivat lisäosat ilmaisinvalolla ja suojausdiodilla.

Pääkytkimeksi valittiin Vaasan tehtaalla valmistettu ABB OT20-kuormankytkin. Sulakkeiksi valikoitui ABB:n S201-1P-K-2A ja S201-1P-K-16A-automaattisulakkeet. Sulakkeet mitoitettiin kuorman ja standardin mukaisesti. Sulakkeiden mitoitukseen käytetään IEC 60364-4-43 mukaista laskukaavaa.

$$I_b \leq I_n \leq I_z \tag{1}$$

Missä

I_b on piirin suunniteltu virta

I_n on sulakkeen mitoitettu virta

I_z on kaapelin virran kestokyky

Kaapelin virrankesto on määritelty IEC/HD 60364-5-52-standardissa (ABB STOTZ-KONTAKT, 2013, s. 2). Laukaisukäyräksi valittiin K-laukaisukäyrä käyttökohteen perusteella. K-laukaisukäyrä soveltuu hyvin kuormiin, joissa saattaa olla isoja käynnistysvirtoja, kuten moottoreissa. K-käyrän automaattisulake katkaisee välittömästi virtapiirin vasta kun virta on 10–15-kertainen sulakkeen nimellisestä virrankestosta. B-käyrän sulakkeet katkaisevat välittömästi virran jo 3–5-kertaisella virralla ja C-käyrän sulakkeet 5–10-kertaisella virralla (ABB STOTZ-KONTAKT, 2013 s. 3).

Virtalähteeksi logiikalle valikoitui Siemens Sitop PSU100C-virtalähde. Virtalähde täyttää logiikan, verkkokytkimen, releiden ja kosketusnäytön jännite- sekä kuormavaatimukset. Lähiverkkokytkimeksi valittiin Siemens Scalance XB004-1-kytkin. Kosketusnäytön valinnasta käytiin keskustelua koepaikan työntekijöiden kanssa, ja he totesivat, että he haluavat mahdollisimman ison näytön. Tämän vuoksi kosketusnäytöksi valikoitui Siemens Simatic HMI

KTP1200 basic. HMI on varustettu kahdentoista tuuman kosketusnäytöllä, kymmenellä funktionäppäimellä ja siinä on tuoteperheen isoin kosketusnäyttö (Siemens, 2018, s. 15). Riviliittimiksi valittiin Weidmüller WDU-sarjan riviliittimet ja yhteensopivat WPE-suojamaadoitusriviliittimet.

3 JÄRJESTELMÄN ASENNUS

3.1 Sähkökeskuksen kokoaminen

Sähkökeskuksen kokoaminen aloitettiin tarkastelemalla layout-kuvaa. Layout-kuvan perusteella sähkökeskuksen mitoittaminen oli helppoa, sillä layout-kuvassa olevien komponenttien mitat vastaavat todellisia mittoja. Sähkökeskukseksi valikoitui Schneider Electric Spacial S3D-sarjan H600xW400xD200 sähkökeskus.

Kokoaminen alkoi DIN-asennuskiskojen sekä kaapelikourujen leikkaamisella ja kiinnittämisellä kaapin pohjalevyyn. Pohjalevyn valmistelun jälkeen komponentit kiinnitettiin paikoilleen ja johdotustyö alkoi. Johtimiksi valittiin poikkipinta-alaltaan 2,5 mm² johtimet 230 VAC kytkentöihin ja 1,5 mm² poikkipinta-alaiset johtimet 24 VDC ja signaalitason kytkentöihin. Kaikkien johtimien päissä käytettiin eristettyjä johdinpääteholkkeja. Kuvassa 9 on valmis sähkökeskus.

Kuva 5. Sähkökeskus.

3.2 Kaapelointi

Kaapeloinnin suoritti Caverion Oyj suunnitteluvaiheessa luodun kaapelilistan perusteella. 230 VAC virransyöttökaapeleina OTM-erotuskytkimille käytettiin MMJ 3X1.5 S-kaapelia, signaali sekä ohjauskaapelina käytettiin NOMAK 1X2X0,5+0,5-kaapelia. RS232 ja RS485 -kommunikointikaapelina virtalähteille käytettiin MODULAR MC4 kaapelia. RS485 -kommunikointikaapeleissa hyödynnettiin Zenone AC-virtalähteiden sisäänrakennettua päätevastusta. Tehonsyöttökaapelina kosketusnäytölle käytettiin 5x1,5s-kumikaapelia. Kommunikointikaapelina lähiverkkokytkimeltä kosketusnäytölle ja logiikalle käytettiin CAT6-Ethernet-kaapelia.

Ennen kaapelointia sähkökeskuksen sijainti sekä kaapelien reitit suunniteltiin huolella. Reiteillä hyödynnettiin olemassa olevia kaapelihyllyjä mahdollisimman paljon. Uusia kaapelihyllyjä asennettiin tarpeen mukaan kohtiin, joihin tuli useampi kaapeli. Yksittäiset kaapelit asennettiin metalliseen suojaputkeen. Sähkökeskuksesta eristysvastuksen mittaus suoritettiin MEGGER BM8Mk2-eristysvastusmittarilla. Kytkennät varmistettiin mittaamalla johtimien jatkuvuus sähkökuvan perusteella. Kuvassa 10 on sähkökeskus kaapeloinnin jälkeen.

Kuva 6. Sähkökeskus asennettuna koestusalueella.

4 PLC-OHJELMOINTI

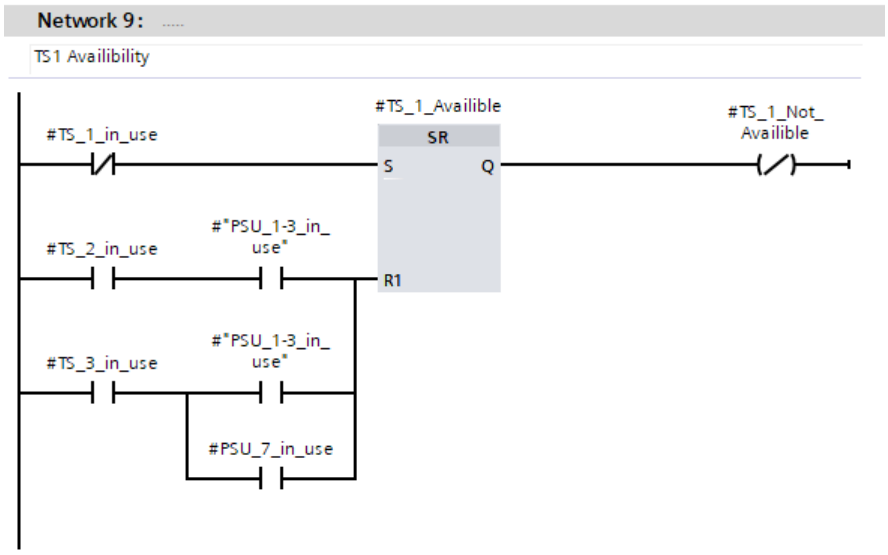
4.1 Siemens Totally Integrated Automation (TIA) Portal

Siemens TIA Portal on vuonna 2010 julkaistu ohjelmistopaketti (Automation.com, 2010). Ohjelmistopakettiin kuuluu SIMATIC STEP 7 PLC ohjelmointiympäristö ja SIMATIC WinCC Visualisointiympäristö. Lisäksi ympäristöön on asennettavissa SINAMICS Start-drive taajuusmuuttajan parametrointiympäristö, SIMOTION-robottiohjelmointiympäristö ja SIMOCODE-moottorikäynnistäjän parametrointiympäristö (Siemens, 2022a). Tässä työssä on käytetty SIMATIC STEP 7-ohjelmointiympäristöä.

SIMATIC STEP 7 on Siemensin vuonna 1995 julkaisema ohjelmointiympäristö Siemensin S7-sarjan ohjelmoitaville logiikoille. SIMATIC STEP 7-ohjelmointikielinä ovat ladder diagram (LAD), function block diagram (FBD), structured text list (SCL) ja statement list (STL) (Siemens, 2022b).

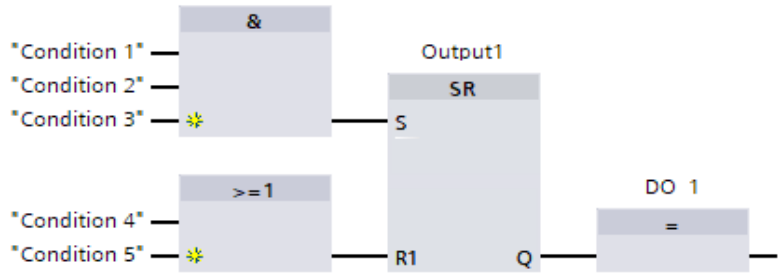
4.2 Siemens SIMATIC STEP 7 ohjelmointikielet

LAD-ohjelmointikieli on hyvin yleinen ja laajalti käytössä oleva ohjelmointikieli PLC ohjelmoinnissa. LAD-ohjelmointikieli on graafinen, suhteellisen helposti ymmärrettävissä oleva ohjelmointikieli, joka on ollut pitkään käytössä. Lähes kaikki PLC-valmistajat tukevat ohjelmointia LAD-ohjelmointikielellä. LAD-ohjelmointikieli saa nimensä sen tikapuumaisesta ulkoasustaan. Yleisesti kaavion vasemmalla puolella olevat ehdot asettavat muuttujat ja kaavion oikealla puolella ovat ehtojen täytyttyä suoritettavat ohjaustapahtumat (Hanssen, 2015, s. 317–319). Kuvassa 11 on esimerkki LAD-ohjelmointikielestä.



Kuva 7. Esimerkki LAD-ohjelmointikielestä.

FBD-ohjelmointikieli on graafinen ohjelmointikieli, joka koostuu lohkoista, jotka sisältävät jonkin funktion. Näitä lohkoja ovat IEC 61131-3-standardin mukaiset lohkot, logiikkavalmistajan lohkot ja käyttäjän itse määrittämät lohkot. Lohkoissa on yleensä vasemmalla puolella sisääntulot muuttujille ja oikealla puolella lähdöt toiminnoille. Lohkoja voidaan kytkeä peräkkäin ilman välimuuttujia. FBD-ohjelmointikieli on myös hyvin yleinen logiikoiden ohjelmoinnissa. FBD-ohjelmointikieli on myös helppolukuinen standardissa määritettyjen loogisten funktioiden vuoksi, varsinkin jos käyttäjällä on kokemusta digitaalitekniikasta (Hanssen, 2015, s. 372). Kuvassa 12 on esimerkki FBD-ohjelmointikielestä.



Kuva 8. Esimerkki FBD ohjelmointikielestä.

SCL on tekstipohjainen korkean tason ohjelmointikieli. SCL-ohjelmointikieli on tyyliltään hyvin samanlainen kuin ohjelmointikieli PASCAL. Ohjelma kirjoitetaan peräkkäisinä lauseina, jotka erottaa puolipilkku (Mehta & Reddy, 2014, s. 70). Suurin osa ohjelmointiympäristön sisäänrakennetuista funktioista on kirjoitettu SCL-kielellä. SCL-ohjelmointikielen vahvuuksiin kuuluu pääsääntöisesti aritmeettiset laskelmat ja numeroiden prosessointi (Hanssen, 2015, s. 394, 396). Kuvassa 13 on esimerkki SCL-ohjelmointikielestä.

```
#i:=0;
#L1 := FALSE;
#L2 := FALSE;
#L3 := FALSE;
#Phase := 0;
#Recieve_enable := FALSE;
#Send_enable := FALSE;
#Recieve_buffer_empty := FALSE;

IF #Start = TRUE THEN
    IF #"3_phase" = FALSE THEN
        FOR #i := 0 TO 1 DO
            IF #i = 0 THEN
                #PSU_select_run := TRUE;
                IF #PSU_select_done = TRUE THEN
                    #PSU_select_run := FALSE;
                    #Frequency_set_run := TRUE;
                END_IF;

                IF #Frequency_set_done = TRUE THEN
                    #Frequency_set_run := FALSE;
                    #Cheksum_calc_run := TRUE;
                END_IF;

                IF #Checksum_calc_done = TRUE THEN
                    #Cheksum_calc_run := FALSE;
                    #Send_enable := TRUE;
                END_IF;

                IF #Serial_send_done = TRUE THEN
                    #Send_enable := FALSE;
                    #Recieve_enable := TRUE;

                END_IF;

                IF #Recieve_string[0] = B#16#02 THEN //STX
                    #Recieve_enable := FALSE;
                    IF (#Recieve_string[2] = B#16#13) AND   //IND
                        (#Recieve_string[3] = 70) THEN       //Command
                        #Recieve_succesful := TRUE;
                        IF (#Recieve_string[4] = 1) THEN      //ESI (1 ok, 0 nok)
                            #Command_executed := TRUE;
                            #Recieve_buffer_empty := TRUE;
                        ELSE
                            #Command_executed := FALSE;
                            #Recieve_error_text := 'Frequency set failed, Check PSU';
                            #Recieve_buffer_empty := TRUE;
```

Kuva 9. Esimerkki SCL-Ohjelmointikielestä.

STL on matalan tason tekstipohjainen koontikieli. STL-kielen komennoilla ohjataan suoraan prosessoria. STL-kieli ei ole enää kovin laajassa käytössä eikä osa Siemensin ohjelmoitavista logiikoista tue sitä. STL-kieli antaa käyttäjälle täyden prosessorin hallinnan. Ohjelmointikieltä on hankalampi tulkita kuin muita kieliä, mutta se mahdollistaa hyvin monimutkaiset ohjelmat (Ait Ali Yahia, 2022).

4.3 Ohjelmalohkot

Ohjelma koostuu erilaisista lohkoista. Lohkoja ovat Organization blocks (OB), Functions (FC), Function blocks (FB) ja Global data blocks (DB). Organization block (OB) on rajapinta ohjelman ja käyttöjärjestelmän välillä. OB-lohkoja on logiikan tyypistä riippuen useita ja niillä on omat käyttötarkoituksensa (Kumbhar, 2021). OB-lohkoihin luodaan ohjelma FC ja FB-lohkoista. Käyttöjärjestelmä kutsuu OB1-lohkoa jokaisella ohjelmakierroksella. Tähän lohkoon luodaan ohjelma, jos ohjelman suorittaminen halutaan toteuttaa syklisesti. Muut lohkot keskeyttävät OB1-lohkon suorittamisen tiettyjen ehtojen täytyttyä ja suorittavat keskeyttävän lohkon sisällä olevat toiminnot (Siemens, 2010, s. 77). Taulukossa 1 esitellään Siemens-logiikoiden erilaiset organisaatiolohkot.

Taulukko 1. Organisaatiolohkot.

Keskeytyksen tyyppi	Organization Block	Prioriteetti
Pääohjelman kierto	OB1	1
Kellonajasta riippuvaiset keskeytykset	OB10 – OB17	2
Sykliset keskeytykset	OB30-OB38	7–15
Laitteisto keskeytykset	OB40 – OB47	16–23
DVP1 keskeytykset	OB55 – OB57	2
Monilaskenta keskeytykset	OB60	25
Synkroniset syklin keskeytykset	OB61 – OB64	25
Redundanssivirheet	OB70, OB72	25, 28
Epäsynkronisetvirheet	OB81 – OB87	25
Taustasykli	OB90	29
Käynnistys	OB100 – OB102	27

Function (FC) ja Function block (FB) ovat käyttäjän ohjelmoitavia ohjelmalohkoja. Lohkoja käytetään esimerkiksi matemaattisten toimitusten tekemiseen, tilakoneisiin ja ohjauslogiikkaan. Lohkot voidaan ohjelmoida FBD, LAD ja SCL-ohjelmointikielillä. FC ja FB-lohkot eroavat toisistaan siten että FC-lohkossa ei ole pysyvää muistia, eli lohkon sisällä olevat arvot katoavat suorituksen jälkeen. FB-lohkot ovat linkitettyinä Data block (DB)-lohkoihin, jotka säilyttävät lohkon sisällä olevat arvot. FB-lohkojen arvoja voidaan lukea missä vaiheessa ohjelmakiertoa (Siemens, 2010 s. 72). Data block (DB) ovat lohkoja, joihin tallennetaan ohjelman dataa. Data-lohkoja käytetään FB-lohkojen parametrien tallennukseen ja yleiseen ohjelmadatan tallennukseen.

4.4 Ohjelmakierto

Pääohjelma koostuu kahdesta OB-lohkosta: Main [OB1] ja Cyclic interrupt [OB30]. Main eli päälohko sisältää neljä FB-lohkoa, joiden sisällä on useita eri funktioita, joissa asetetaan testiin tarvittavat parametrit. Cyclic interrupt -lohko sisältää muutaman funktion, joilla luetaan käynnissä olevan testin parametreja, jotka näytetään käyttäjälle käyttöliittymässä. Ohjelmakierto alkaa Main-organisaatiolohkosta, joka sisältää neljä funktiolohkoa: Test_Spot&PSU_Select, PSU_config, OTM_Control ja PSU_Control. Logiikka suorittaa jatkuvasti Main-lohkon sisällä olevia lohkoja.

Cyclic interrupt-organisaatiolohkoa käytetään kutsumaan funktioita, jotka lukevat virtalähteiden tilatietoja. Cyclic interrupt-organisaatiolohkoa suoritetaan määrätyn ajan välein. Tässä ohjelmassa se on määritetty ajettavaksi viiden sekunnin välein. Tämä lohko keskeyttää muiden lohkojen suorituksen lohkon suorituksen ajaksi.

PSU_Config-lohko tallentaa käyttäjän valinnan perusteella virtalähteiden ja koepaikkojen käytön tilan. Lohko on ohjelmoitu LAD-kielellä, jossa ohjataan SR-kiikkuja tiettyjen ehtojen perusteella. SR-kiikku on yksinkertainen kiikku, joka säilyttää tilansa. SR-kiikku koostuu kahdesta ristiinkytketystä NOR-portista. SR-kiikussa on kaksi sisääntuloa S, R ja kaksi ulostuloa Q ja Q̄ (Harris & Harris, 2007, s. 105). Taulukossa 2 esitetään SR-kiikun toimintaa totuustaulukon avulla.

Taulukko 2. SR-Kiikun totuustaulukko.

S	**R**	**Q**	**Q̄**
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	0	0
0	0	-	-

Test_Spot&PSU_Select-lohko on kirjoitettu LAD-ohjelmointikielellä. Lohkossa käsitellään ehdot virtalähteiden ja koepaikkojen valitsemiseen. Lohkossa luetaan kosketusnäytöltä

käyttäjän tekemiä valintoja ja PSU_Config-lohkossa asetettuja virtalähteiden ja koepaikkojen tilaa. Näiden parametrien perusteella käyttäjälle ilmaistaan mahdolliset valinnat virtalähteen ja koepaikan valitsemiseen. Näin myös estetään mahdolliset virheelliset tilanteet, jossa useampi virtalähde olisi valittuna samalle koepaikalle. Lohkossa on SR-kiikut jokaiselle virtalähteelle ja koepaikalle. SR-kiikkujen ulostulo ilmaisee, onko virtalähteen tai koepaikan valinta mahdollista.

OTM_Control-lohkossa luetaan edellisessä lohkossa tehtyjä valintoja ja ohjataan OTM-erotuskytkimiä haluttuun tilaan. Kytkinten tilan ohjaamiseen käytetään SR-kiikkuja. Jokaiselle kytkimelle on oma SR-kiikkunsa. Kiikuille on asetettu ehdot, joilla kytkimet ohjataan haluttuun tilaan. Lohkossa myös seurataan kytkinten asentoa ja sitä verrataan haluttuun asentoon. Jos haluttua asentoa ei saavuteta, siitä annetaan varoitus käyttäjälle käyttöliittymän kautta.

PSU_Control-lohko sisältää virtalähteiden parametrien asettamiseen luodut funktiot. Funktioista kerrotaan tarkemmin kappaleessa 4.5.1 Sorensen DC-virtalähde ja kappaleessa 4.5.2 Zenone AC-virtalähteet.

4.5 Sarjaliikenne virtalähteille

Sarjaliikenteellä tarkoitetaan tiedonsiirtotapaa, jolla tietoa lähetetään bitti kerrallaan. Sarjaliikenneyhteyden muodostamiseen tarvitaan vähimmillään vain yksi johdin, tässä työssä käytetään RS232- ja RS485-sarjaliikennestandardeja. Toisia laajasti käytössä olevia sarjaliikennestandardeja ovat Controller are network (CAN), Inter-Integrated Circuit bus (I^2C), Serial Peripheral Interface (SPI), Microwire ja 1-Wire (Embedded, 2002).

Universal Serial Bus (USB)-sarjaliikennestandardi on nykyään suurimmilta osin korvannut vanhat sarjaliikennestandardit kuluttajakäytössä. USB-väylässä voi olla useita laitteita kytkettynä samanaikaisesti. USB-väylä koostuu yhdestä isännästä ja vähintään yhdestä laitteesta. Tiedonsiirtonopeus USB-väylässä on huomattavasti nopeampi kuin muissa sarjaliikenneväylissä. USB-väylän yksi keskeisimmistä eroista muihin sarjaliikenneväyliin on mahdollisuus toimia teholähteenä yhdistetyille laitteille. Tästä syystä USB-väylää käytetään ladattavissa laitteissa, kuten älypuhelimissa (Anttalainen & Jääskeläinen, 2014 s. 65)

4.5.1 Sorensen DC-virtalähde

Sorensenin DC-Virtalähde käyttää SCPI-sarjaliikenneprotokollaa. SCPI protokolla on yleinen laboratoriolaitteissa käytetty protokolla. SCPI-protokollan on kehittänyt SCPI Consortium vuonna 1999 (SCPI Consortium, 1999, s.7). SCPI-protokolla pohjautuu avainsanoihin, joista koostetaan komentolause, joka lähetetään laitteelle. Riippuen laitteesta ja komentolauseesta, laite joko heti suorittaa saamansa komennon tai laitteelle pitää lähettää suorituskomento, jolla laite suorittaa aiemmat komennot. Laitteen tilaa, asetusarvoja, mittausarvoja ja muita arvoja voi tiedustella laitteelta lähettämällä tiedustelukomennon. Tiedustelukomennot tunnistavat kysymysmerkistä komennon lopussa. Laite vastaa tiedustelukomentoon välittömästi arvolla, jota on tiedusteltu. SCPI-protokolla helposti lähestyttävä ja helposti luettava protokolla tiedonsiirrossa eri laboratoriolaitteiden välillä.

Kommunikointiin Sorensen DC-virtalähteen kanssa luotiin Sorensen_config-funktio, jossa luodaan komentolauseet jännitteen asettamiselle vakioasetukseen sekä virran asettamiseen käyttäjän valinnan mukaan. Virtalähteen tilatietoa luetaan Sorensen_Test_Status_Read-funktiolla, jota kutsutaan Cyclic interrupt-organisaatiolohkosta. Funktiossa lähetetään virtalähteelle komentolauseet, jotka yksitellen kysyvät virtalähteeltä sen hetkisen jännitteen, virran, tehon ja testiin kuluneen ajan. Nämä arvot näytetään käyttäjälle käyttöliittymässä.

4.5.2 Zenone AC-virtalähteet

Zenonen AC-virtalähteissä käytetään Zenonen kehittämää sarjaliikenneprotokollaa. Kyseisessä protokollassa komentolause koostuu viidestä osasta. Aluksi asetetaan aloitusmerkki, jota seuraa laitteen osoite. Osoitteen asettamisen jälkeen tulee joko komento tai vastaus. Tämän jälkeen tulee lopetusmerkki ja lopuksi lasketaan tarkastussumma. Tarkastussumma koostuu laskemalla yhteen jokaisen merkin arvo. (ZENONE Elettronica, 2017, s. 2). Taulukko 3 kuvaa tiedonsiirron komentolauseen rakennetta.

Taulukko 3. Komentolauseen rakenne.

Aloitusmerkki	Osoite	Komento tai vastaus	Lopetusmerkki	Tarkastus-summa

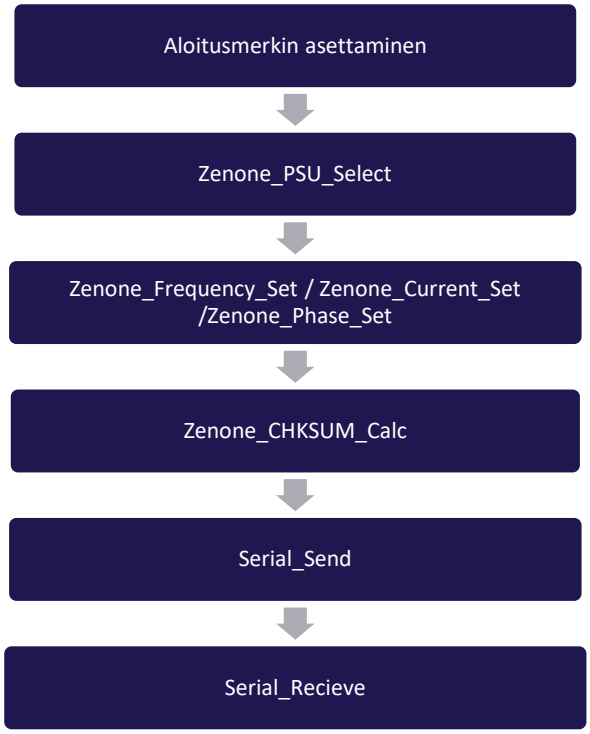
Tällä protokollalla mahdollistetaan jopa kolmenkymmenen kahden laitteen ohjaaminen samalla sarjaliikenneväylällä. Hyötynä tällä protokollalla on myös mahdollisten signaalihäiriöiden mitätöinti, sillä jos tarkastussummat eivät täsmää, niin komentoa ei suoriteta. Tässä protokollassa virtalähde vastaa aina jokaiseen komentoon ja kertoo vastauksessaan, suoritettiinko komentoa vai ei.

Kommunikointiin Zenonen AC-virtalähteiden kanssa luotiin useita funktioita, jotka rakentavat komentolauseet virtalähteelle. Zenone_config-lohko on kirjoitettu SCL-kielellä. Lohkossa rakennetaan Zenone-virtalähteille lähetettävä komentolause käyttäjän asettamien arvojen perusteella. Komentolauseen rakentaminen alkaa asettamalla kaikki muuttujat alkuarvoihinsa. Alkuarvojen asettamisen jälkeen komentolauseeseen lisätään aloitusmerkki. Aloitusmerkin lisäämisen jälkeen tarkistetaan käyttäjän valitsema virtalähde käyttämällä Zenone_PSU_Select-funktiota. Funktiossa lisätään komentolauseeseen käyttäjän valitseman virtalähteen osoite. Lohko jää odottamaan vahvistusta Zenone_PSU_Select funktiolta. Vahvistuksen jälkeen siirrytään seuraavaan vaiheeseen.

Lohkon ohjelmakierrossa joko Zenone_Frequency_set, Zenone_Current_set tai Zenone_Phase_set funktiota kutsutaan seuraavaksi riippuen ohjelmakierroksesta ja onko käyttäjä valinnut kolmivaiheisen kokeen, jossa käytetään kolmea virtalähdettä samanaikaisesti. Näissä funktioissa komentolauseeseen lisätään joko käyttäjän valitsema virran arvo tai taajuus riippuen funktiosta. Kyseisiltä funktioilta odotetaan myös vahvistusta, jonka jälkeen siirrytään seuraavaan vaiheeseen eli tarkastussuman laskemiseen.

Tarkastussuma lasketaan Zenone_CHKSUM_Calc funktiossa. Tarkastussumma saadaan laskemalla kaikkien komentolauseen merkkien yhteissumma. Kun tarkastussumma on laskettu, summa lisätään komentolauseeseen. Tämän jälkeen funktio antaa lohkolle tiedon, että laskenta on valmis. Seuraavaksi lohko antaa SEND_PTP-funktiolle tiedon, että komentolause on valmis lähetettäväksi sarjaliikennettä käyttäen. SEND_PTP-funktio antaa tiedon, kun lähetys on valmis ja lohko tämän jälkeen antaa tiedon RVC_PTP-funktiolle sar-

jaliikenteen vastaanottamisen aloittamiseen. Kun lohko saa luettua onnistuneesti vastaanotettavasta sarjaliikenteestä aloitusmerkin, varmistetaan että vastaanotettu komentolause on oikean pituinen. Tämän jälkeen sarjaliikenteen vastaanottaminen lopetetaan ja siitä saadun tiedon perusteella tiedetään komennon lähettämisen onnistuneen tai epäonnistuneen. Lähettämisen epäonnistuttua käyttäjälle näytetään siitä ilmoitus. Valittu virtalähde tai valitut virtalähteet kytketään lopuksi päälle, jos kaikki lohkon toiminnot ovat suoritettu onnistuneesti. Kuviossa 1 esitetään virtalähteen komentolauseen rakentamiseen käytettävien funktioiden suoritusjärjestys.



Kuvio 5. Zenone AC -virtalähteiden komentolauseen rakentamiseen käytettyjen funktioiden järjestys

Virtalähteiden tilatietoja luetaan Zenone_Test_Current_Read, Zenone_Test_Status_Read ja Zenone_Test_time_read-funktioilla. Funktioissa luodaan komentolause sillä hetkellä testiä suorittavalle virtalähteelle. Komentolause rakentuu samoin kuin testiparametrien asettelussa. Lähettämisen jälkeen luetaan saapuvaa sarjaliikennettä ja tulokset näytetään käyttäjälle käyttöliittymässä.

4.5.3 RS232-sarjaliikennestandardi

RS232-sarjaliikennestandardi on yksi vanhimmista, ellei vanhin sarjaliikennestandardi (Frenzel, Jr., 2016 s. 109). RS232-sarjaliikenneväylä on kuitenkin vielä laajassa käytössä teollisuuden laitteissa, kuten tässä työssä käytettävässä Sorensen 4.8kA DC-virtalähteessä. RS232 on yksinkertainen ja luotettava tiedonsiirtotapa. Tiedonsiirtonopeus on pieni, mutta se soveltuu hyvin ympäristöihin, joissa on paljon sähkömagneettisia häiriöitä. RS232-yhteyden kaapelipituus voi enimmillään olla noin 40 metriä (Axelson, 2007 s. 43). RS232-standardi tukee yhteyden muodostamista kahden laitteen välille. RS232-standardissa käytetään positiivisia ja negatiivisia jännitteitä loogisen ykkösen ja nollan ilmaisemiseen (mts. 46–47). Taulukossa 4 on RS232-yhteydessä käytettävien loogista ykköstä ja nollaa vastaavat jännitetasot.

Taulukko 4. RS232-Signaalitasot.

Looginen taso	Jännite
0	+3 V – +15 V
1	-3 V – -15 V

RS232-standardissa on yhteyteen määrätty yhdeksän signaalia, mutta niistä vain kolme vaaditaan kaksisuuntaiseen yhteyteen; RX, TX ja SG (Axelson, 2007 s. 61–63). Yleisimmät liitintyypit RS232-yhteyksillä ovat yhdeksän pinninen D-SUB (DE-9) ja kaksikymmentäviisi pinninen D-SUB (DB-25). Muita liitintyyppejä, kuten RJ-11 ja RJ-45 voidaan myös käyttää. Taulukossa 5 on esitetty RS232-yhteyden käyttämät signaalit.

Taulukko 5. RS232-yhteyden signaalit.

Signaali	Tyyppi	Kuvaus
CD	Ohjaus	Kantoaallon tunnistus
RX	Data	Datan vastaanotto
TX	Data	Datan lähetys
DTR	Ohjaus	Data terminaali valmiina
SG	-	Signaali maa
DSR	Ohjaus	Data asetettu valmiiksi
RTS	Ohjaus	Pyyntö lähettää dataa
CTS	Ohjaus	Valmis lähettämään dataa
RI	Ohjaus	Soitto indikaattori

4.5.4 RS485-sarjaliikennestandardi

RS485 on sarjaliikennestandardi, joka tukee jopa 256 laitetta samassa verkossa, jopa tuhannen kahdensadan metrin pituisia siirtomatkoja ja jopa 10Mbps nopeuksia (Axelson, 2007 s. 80). RS485-tietoliikenneyhteyksiä käytetään teollisuuden laitteissa ja järjestelmissä, rakennusautomaatiossa sekä myyntiterminaaleissa (Frenzel, 2016 s. 117). Tässä työssä RS485-sarjaliikenneyhteyttä käyttää Zenone 1kA ja 4kA AC-virtalähteet.

RS485-yhteyden paremmat nopeudet ja pidempi suurin etäisyys saavutetaan käyttämällä balansoituja signaaleja (Axelson, 2007 s. 80–82). Balansoitu signaali koostuu kahdesta signaalista. Ensimmäinen signaali lähetetään sellaisenaan, toinen signaali käännetään lähetysvaiheessa peilikuvaksi ja takaisin vastaanottovaiheessa. Kummatkin signaalit lähetetään samaan aikaan samaa parikaapelia pitkin. Jos signaaliin kohdistuu häiriötä, niin toisessa johtimessa oleva identtinen, päinvastainen häiriö lähes mitätöi yhteishäiriön vastaanottovaiheessa. Tämän ansiosta balansoitu signaali on paljon parempi häiriöitä vastaan, kuin balansoimaton signaali. Balansoitu signaali on myös käytännössä immuuni maapotentiaalieroja vastaan, sillä signaalitasoa ei mitata maapotentiaalia vasten.

Vuorosuuntaiseen RS485-yhteyteen vaaditaan kolme johdinta ja kaksisuuntaiseen yhteyteen vaaditaan viisi johdinta (Axelson, 2007 s. 91–93). Vuorosuuntainen (half duplex) yhteys tarkoittaa sitä, että vain yksi laite voi lähettää kerrallaan dataa ja muut laitteet samanaikaisesti vastaanottavat dataa. Kaksisuuntaisessa (full duplex) yhteydessä laitteet voivat samanaikaisesti lähettää ja vastaanottaa dataa (Termipankki, i.a.). Taulukossa 6 esitetään RS485-yhteyden signaalit.

Taulukko 6. RS485-Signaalit.

Signaali	Kuvaus
1A	Balansoitu signaali 1 +
1B	Balansoitu signaali 1 -
2A	Balansoitu signaali 2 +
2B	Balansoitu signaali 2 -
GND	Signaali maa

Eroten RS232-yhteydestä RS485-yhteydessä käytetään vain positiivista jännitettä ilmaisemaan looginen ykkönen ja nolla (Axelson, 2007 s. 84–85). Standardin mukaisesti minimi jännite-ero loogisen tason erottamiseen on 1.5 V ja maksimi jännite-ero on 7 V. Taulukossa 7 on esitetty RS485-yhteydessä loogista ykköstä ja nollaa vastaavat jännitetasot.

Taulukko 7. RS485-signaalitasot.

Looginen taso	Jännite
0	0 V
1	1.5 V – 7 V

RS485-Standardissa suositellaan käytettäväksi kuudenkymmenen ohmin päätevastuksia johtimien kummassakin päässä (Axelson, 2007 s. 85). Erittäin lyhyissä yhteyksissä ja pienillä tiedonsiirtonopeuksilla on mahdollista olla käyttämättä päätevastuksia. Päätevastusten käyttö lisää yhteyden virrankulutusta.

4.6 Käyttöliittymä eli HMI

Käyttöliittymä eli englanninkielisenä terminä HMI (human to machine interface) on osa laitetta, jolla käyttäjä voi ohjata laitteen toimintoja ja seurata laitteen tilaa. Termiä HMI käytetään yleisesti teollisuusautomaation yhteydessä. HMI voi olla esimerkiksi laitteeseen sisäänrakennettu tai erillinen kosketusnäyttöpaneeli, tietokoneen näyttö tai tablettitietokone (Inductive Automation, 2018). HMI voi olla yksinkertainen laitteen tai prosessin tilaa näyttävä seurantapaneeli tai ison tuotantoprosessin toimintaa hallitseva kokonaisuus. HMI ei tyypillisesti itse kommunikoi ohjattavan laitteen tai prosessin kanssa. Käyttöliittymä on yleisesti ottaen kytketty ohjelmoitavaan logiikkaan, joka lähettää käyttöliittymään näytettävää tietoa ja vastaanottaa käyttäjän antamia komentoja.

Tässä työssä on käytetty Siemens Simatic HMI KTP1200 basic-paneelia, jonka ohjelmointi tehdään saman Siemens TIA Portal- ohjelmointiympäristön kautta, jolla ohjelmoitava logiikka ohjelmoidaan. Ohjelmointiympäristössä HMI lisätään samaan projektiin ohjelmoitavan logiikan kanssa. Tämä tekee HMI:n integroimisesta vaivatonta ohjelmoitavan logiikan kanssa. HMI on yhteydessä ohjelmoitavaan logiikkaan Ethernet-väylällä. HMI-ohjelma koostuu niin sanotuista ruuduista, joita voi olla ohjelman tarpeiden mukaan yhdestä viiteenkymmeneen (Siemens, 2012 s. 143). Ohjelmoidessa HMI:lle asetetaan ohjelmoitavan logiikan muuttujat, joiden arvoa HMI seuraa jatkuvasti sekä muuttujat, joiden arvoa HMI:llä on oikeus muuttaa.

TIA Portal-ohjelmointiympäristössä Siemens Simatic basic HMI-paneelien ruutujen luomiseen käytettävissä olevat työkalut jaettu neljään eri kategoriaan: basic objects, elements, controls ja graphics. Basic objects sisältää työkalut geometristen muotojen, kuvien ja tekstin näyttämiseen. Elements kategoria sisältää tiedon näyttämiseen ja syöttämiseen tarvittavat työkalut. Controls työkaluihin kuuluvat hälytyksien, graafien, verkkosivujen, diagnostiikkatiedon, reseptien sekä käyttäjätietojen työkalut. Graphics kategoriassa on monia teollisuuden prosesseja ja toimintoja kuvaavat graafiset elementit.

Työssä kosketusnäytön aloitusnäkymässä näkyvät koepaikkojen tilat, uuden kokeen aloitusnäppäin ja kaikkien kokeiden pysäytysnäppäin. Aloitusnäkymässä näytetään käynnissä olevien kokeiden reaaliaikainen virta, virtalähde tai virtalähteet sekä kokeen käynnissäoloaika. Valitsemalla koepaikan pääsee katsomaan aloitusnäkymässä näkyvien tietojen lisäksi tarkemmat tiedot koepaikalla tapahtuvasta kokeesta, kuten jännitteen ja tehon. Näkymässä on myös painike, jolla voi pysäyttää käynnissä olevan kokeen.

Kokeen aloitusnäkymässä käyttäjä valitsee ensin koepaikan. Koepaikan valintanäkymässä ilmaistaan, jos jonkin koepaikan valinta ei ole mahdollista. Käyttäjä voi valita vain yhden koepaikan kerrallaan. Koepaikan valinnan jälkeen siirrytään virtalähteen valintanäkymään. Virtalähteen valintanäkymässä käyttäjä voi valita neljästä virtalähteestä haluamansa virtalähteen käytettäväksi kokeessa. Tässäkin näkymässä, kuten koepaikan valintanäkymässä ilmaistaan, jos jonkin virtalähteen valinta ei ole mahdollista ja vain yksi virtalähde on mahdollista valita. Virtalähteen valinnan jälkeen siirrytään virtalähteen asetukset-näkymään. Tässä näkymässä käyttäjä näkee valitsemansa koepaikan, virtalähteen ja virran asetuksen

syöttöikkunan. Jos virtalähteeksi on valittu 4.8 kA tai 1 kA Zenone-virtalähteet, niin käyttäjälle esitetään myös kokeessa käytettävän vaiheiden valinta. Valintojen jälkeen käyttäjä painaa OK-näppäintä, jonka jälkeen käyttäjältä kysytään varmistus kokeen aloittamisesta. Tämän jälkeen käyttöliittymä palautuu automaattisesti aloitusnäkymään.

4.7 Ohjelmiston testaus

Ohjelmiston testaus aloitettiin lataamalla ohjelmisto tietokoneelta ohjelmoitavaan logiikkaan sekä HMI-paneeliin TIA Portal ohjelmiston avulla. Tämän jälkeen varmistettiin kaikkien tulojen sekä lähtöjen toimivuus. Lähdöt testattiin manuaalisesti ohjaamalla lähdöt yksitellen päälle ja toteamalla joko aistinvaraisesti tai yleismittarilla lähdön toimivuus sekä oikeellisuus. Tulojen toimivuus ja oikeellisuus testattiin seuraamalla tulojen tilaa ohjelmistossa, kun apukoskettimien tilaa muutettiin ja painonäppäintä painettiin. Tulojen ja lähtöjen toimivuuden varmistamisen jälkeen koepaikan ja virtalähteen valinnan toiminnallisuus testattiin.

Testattaessa kosketusnäytöltä halutun koepaikan ja virtalähteen valintaa, todettiin, että kiskostossa olevat erotuskytkimet ohjautuivat oikeaan asentoon. Samalla varmistettiin, että valitun koepaikan huomiovalo syttyi. Tässä vaiheessa testausta huomattiin, että käyttäjän oli mahdollista tehdä virheellinen valinta, jossa kaksi virtalähdettä syöttää sähköä samanaikaisesti samaan kiskoston osaan. Tämän huomaamisen jälkeen ohjelmaan tehtiin muutoksia, jotta tällainen virheellinen valinta ei ole mahdollista. Todettiin myös käyttöliittymän kotinäkymässä näkyvän koepaikalla käytössä olevan virtalähteen oikeaksi. Virtalähteen valintaan tehtyjen muutosten jälkeen todettiin koepaikan sekä virtalähteen valinnan toimivan halutulla tavalla.

Koepaikan sekä virtalähteen valinnan testaamisen jälkeen siirryttiin testaamaan virtalähteiden asetusten asettelua sekä tilatietojen lukemista. Kosketusnäytöltä syötettyjen asetusten asettamisen jälkeen, todettiin ettei tieto siirtynyt ohjelmoitavalta logiikalta virtalähteille. Vian selvitys aloitettiin seuraamalla TIA Portal-ohjelmistossa sarjaliikennettä ohjaavien lohkojen tilaa reaaliajassa. Ohjelmointivirheen takia virtalähteelle lähetettävä komentolause ei rakentunut loppuun asti. Asetetun virran komentolauseeseen lisäävällä funktiolla oli odotettu

datan muoto eri kuin mitä kosketusnäytöltä saatu datan muoto oli. Tämän virheen korjaamisen jälkeen jatkettiin testausta ja todettiin, että ohjelmoitava logiikka lähettää datan sarjaliikenneyhteydellä virtalähteille, mutta kuitenkaan virtalähteet eivät reagoineet lähetettyyn dataan. Ajan puutteen vuoksi ongelmaa ei ehditty selvittää, joten toistaiseksi virtalähteiden asetusten asettelu sekä tilatietojen lukeminen jätettiin pois käytöstä.

5 TULOKSET JA POHDINTAA

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa ABB Oy, Smart Power tutkimuslaboratorioon lämpenemiskoepaikalle koepaikan valinnan automatisointi PLC-pohjaisella ratkaisulla. Koepaikan valinta saatiin toteutettua PLC-pohjaisella järjestelmällä. Työssä saatiin valmistettua järjestelmän sähköpiirustukset, PLC-järjestelmän sisältävän sähkökaapin, asennettua järjestelmä sekä ohjelmoitua ja testattua järjestelmän toimivuus. Järjestelmästä tuli turvallinen, sillä käyttäjän ei ole mahdollista tehdä virheellisiä valintoja koepaikkaa ja virtalähdettä valittaessa. Käynnissä olevaa koetta ilmaisevat huomiovalot koepaikoilla lisäävät turvallisuutta. Käyttöliittymän suunnittelussa haastavaa oli luoda käyttöliittymästä mahdollisimman käyttäjäystävällinen ja opastava. Käyttöliittymässä on käyttäjälle selkeästi tekstiä ja värejä käyttämällä tuotu ilmi erilaisten valintojen mahdollisuus. Järjestelmän käyttöliittymän suunnittelussa onnistuttiin hyvin eli käyttöliittymästä tuli selkeä ja helppokäyttöinen.

Työssä ei aikataulullisista syistä saatu virtalähteiden asetusten asettamista ja tilatietojen lukemista toteutettua. Kaikkia erotuskytkimiä ei ole vielä hankittu, mutta tämä ei estänyt järjestelmän käyttöönottoa laboratoriossa. Suurimmat haasteet työssä ilmenivät sarjaliikenneyhteyden muodostamisessa virtalähteille sekä sähkökuvien piirtämisessä. Sarjaliikenneyhteyden muodostaminen työssä käytetyllä ohjelmoitavalla logiikalla oli huomattavasti haastavampaa kuin ajateltiin. Ratkaisun löytämiseen sarjaliikenneyhteysongelmille käytettiin useita iltoja, mutta ongelmia ei saatu ratkaistua tämän työn aikana. Sähkökuvien piirtämisessä oli haasteita uuden ohjelmiston käytössä. AutoCAD Electrical -ohjelmisto, jota tämän työn tekijä on aikaisemmin käyttänyt, oli huomattavasti erilainen käytettävä kuin EPLAN-ohjelmisto mitä tämän työn tekijä on aikaisemmin sähkökuvien piirtämiseen käyttänyt. Haasteet kuitenkin selätettiin ja järjestelmästä saatiin luotua kattavat sähkökuvat.

Jatkossa järjestelmään hankitaan ja asennetaan puuttuvat erotuskytkimet sekä viimeistellään virtalähteiden asetusten asettelu ja tilatietojen lukeminen toimivaksi. Puuttuvien erotuskytkinten asentamisen jälkeen järjestelmää on helpompi ja nopeampi käyttää, sillä silloin kaikki virtalähteet voivat olla samanaikaisesti kytkettynä järjestelmään. Helppokäyttöisyys ja turvallisuus paranee vielä, kun sarjaliikenneyhteys ohjelmoitavan logiikan ja virtalähteiden välillä saadaan toimimaan. Tämä lisää turvallisuutta siten, ettei käyttäjän tarvitse olla suuren magneettikentän läheisyydessä käynnistäessään koetta. Helppokäyttöisyys

paranee, kun näin saadaan saman käyttöliittymän kautta asetettua virtalähteille parametrit kokeita varten ja käyttäjän on mahdollista nähdä käynnissä olevien kokeiden tilatiedot yhdellä vilkaisulla.

LÄHTEET

ABB Stotz-kontakt. (2013). *Comparison of tripping characteristics for miniature circuit-brakers.* https://library.e.abb.com/public/114371fcc8e0456096db42d614bead67/2CDC400002D0201_view.pdf

ABB. (2016). *ABB Installation and operation instructions, 34OTM_rev. E.*

ABB. (2022). *Tarkemmat tiedot: CR-M2LS*. Haettu 29.6.2022. https://new.abb.com/products/fi/1SVR405651R1100/cr-m2ls

ABB. (i.a.) *ABB Oy, Smart Power.* Haettu 22.6.2022. https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/smart-power

Ait Ali Yahia, R. (2022). *An Introduction to Statement List (STL) Programming in Siemens TIA Portal.* https://www.solisplc.com/tutorials/statement-list-stl-programming-in-siemens-tia-portal

AMETEK Programmable Power. (2017). *Sorensen HPX SERIES POWER RACKS.*

Anttalainen, T. & Jääskeläinen, V. (2014). *Introduction to Communication Networks. Artech House.*

Autodesk. (2022a). *About Us.* https://www.autodesk.com/company

Autodesk. (2022b). *AutoCAD Software.* https://www.autodesk.com/products/autocad/overview

Autodesk. (2022c). *The 2023 Electrical toolset is included with AutoCAD*. https://www.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets/autocad-electrical?term=1-YEAR&tab=subscription

Automation.com. (2010). *Siemens introduces TIA software engineering framework.* https://www.automation.com/en-us/products/product13/siemens-introduces-tia-software-engineering-framew

Axelson, J. (2007). *Serial port complete: COM ports, USB virtual COM ports, and ports for embedded systems, second edition* (2nd ed.). Lakeview Research.

Embedded. (2002). *Serial Communication Protocols Compared.* https://www.embedded.com/serial-protocols-compared/

Frenzel, L. E., Jr. (2016). *Handbook of serial communications interfaces: A comprehensive compendium of serial digital input/output (I/O) standards* (1st edition.). Elsevier Science.

Hanssen, D. H. (2015). *Programmable Logic Controllers: A Practical Approach to IEC 61131-3 Using CoDeSys*. John Wiley & Sons, Incorporated.

Harris, D. M. & Harris, S. L. (2007). Digital design and computer architecture. Morgan Kaufmann Publishers

Inductive Automation. (2018). *What is HMI?.* https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi#

Kumbhar, V. (2021). *Siemens PLC Programming OBs in Siemens TIA Portal.* https://www.plctutorialpoint.com/siemens-plc-programming-obs-in-siemens/

Mehta, B. R. & Reddy, Y. J. (2014). *Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation*. Butterworth-Heinemann.

SCPI Consortium. (1999). *Standard Commands for Programmable instruments (SCPI) Volume 1: Syntax and Style.* SCPI Consortium.

Siemens. (2010). *SIMATIC Programming with STEP 7 Manual*.

Siemens. (2012). *SIMATIC HMI HMI devices Basic Panels.*

Siemens. (2018). *Machine-based visualization with SIMATIC HMI.* https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:796d5e95-d5a9-4ddc-93d0-a3597bdaa7b5/dffa-b10135-03-br-simatic-hmi-mehrwerte-24-pages-deenus-144.pdf?ste_sid=5221a68f7d6a6243c45a1becd9f99454

Siemens. (2022a). *Totally Integreted Automation Portal.* https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html

Siemens. (2022b). *STEP 7 Professional (TIA Portal).* https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10314843?tree=CatalogTree&activeTab=2#Function

Termipankki. (i.a.) *Dupleksi.* Haettu 2.6.2022. https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/dupleksi

ZENONE Elettronica. (2017). *Communication Protocol.*

ZENONE Elettronica. (2018a). *Series GI and GIS static current generators User Manual.*

ZENONE Elettronica. (2018b). *Technical data current source GI4.1KA-50KVA-1-LV.*

ZENONE Elettronica. (2018c). *Technical data current source GI1000A-10KVA-1AM-LV.*