



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Uula Koistinen

PLC- ja kenttäväylätestilaitteiston rakentaminen ja ohjelmointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

28.04.2020

Tekijä(t) Otsikko	Uula Koistinen PLC- ja kenttäväylä-testilaitteiston rakentaminen ja ohjelmointi
Sivumäärä Aika	38 sivua + 3 liitettä 28.04.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	automaatiotekniikka
Ohjaajat	teknisen tuen asiantuntija Lauri Järvinen lehtori Reijo Leinonen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli rakentaa ja ohjelmoida liikuteltava PLC- ja kenttäväylätestilaitteisto ABB Drivesin taajuusmuuttajien teknisen tuen käyttöön. Testilaitteiston tarkoituksena oli lisätä teknisen tuen osaamista kenttäväyliin, ohjelmoitaviin logiikoihin liittyen sekä tehostaa teknisen tuen laatua ja vasteaikaa.</p> <p>Testinlaitteistolla haluttiin testata teollisuuden Ethernet-kenttäväyliä, kuten PROFINET ja Ethernet/IP ja näiden pohjalta vanhaan testilaitteistoon asennettiin uudet ohjelmoitavat logiikat (AC500, S-1500 ja ControlLogix1756-L82ES), jotka ohjelmoitiin valmistajien ohjelmointiympäristöissä suorittamaan yleisimpiä kenttäväylien kautta suoritettavia taajuusmuuttajan toimintoja. Työn alkuvaiheessa käsiteltiin teoriaa taajuusmuuttajista, PLC:stä ja kenttäväylistä. Tämän jälkeen käytiin läpi turvallisuusstandardeja liittyen toiminnalliseen turvallisuuteen, sähköturvallisuuteen ja työn suunnitteluun ja rakentamiseen. Turvallisuusosion jälkeen siirrytään varsinaisen työn osioon, jossa käydään läpi työn vaiheita, kuten sen vaatimukset, rakentaminen, ohjelmointi ja taajuusmuuttajan parametrien asettaminen.</p> <p>Työn lopputuloksena syntyi valmis ja toimiva testilaitteisto, jonka avulla voitiin suorittaa PLC- ja kenttäväylätestejä ABB:n taajuusmuuttajille, joiden avulla pystytään vastaamaan asiakkaiden ongelmatilanteisiin. Testilaitteisto mahdollistaa eri kenttäväyläratkaisujen vertailun ja tarjoaa kustannustehokkaan jäljitelmän asiakkaan konfiguraatiosta.</p>	
	PLC, kenttäväylät, PROFINET, Ethernet/IP

Author(s) Title	Uula Koistinen Building and Programming of PLC and Fieldbus Test Rack
Number of Pages Date	38 pages + 3 appendices 28 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Specialisation option	Automation Engineering
Instructors	Lauri Järvinen, Technical Support Specialist Reijo Leinonen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this study was to build and program a PLC and fieldbus test rack. Rack was built for use of the ABB Drives Technical Customer Support team. The test racks function is to increase fieldbus and PLC related skills of the Technical Customer Support Team and to help the team solve PLC and fieldbus related problems. Also to improve the quality and response time of the customer queries.</p> <p>The test rack is used to demonstrate and tests of industrial Ethernet fieldbus protocols such as PROFINET and Ethernet/IP. PLCs including AC500, S-1500 and ControlLogix1756-L82ES were installed on the old test rack based on these industrial Ethernets. The PLCs was programmed so that they will perform the most used fieldbus functions of ABB drives. At the beginning of this thesis contains theory of frequency converters, PLCs, and fieldbuses are. These topics are followed by industrial standards which includes functional safety and electrical safety. After the safety topics the thesis contains theory on the test rack's design, requirements, and construction. In the end of the thesis drives parameters configurations, PLC- and HMI-programing are reviewed.</p> <p>The goal of the thesis was working test rack that can be used to perform various tests regarding PLC and fieldbus tests for ABB's drives. The purpose of these test were to produce answers to customers' application problems. The test rack is used to compare different fieldbuses with each other and offers the most cost-effective way to replicate customer configuration.</p>	
Keywords	PLC, fieldbus, PROFINET, Ethernet/IP

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Taajuusmuuttaja	2
2.1	Toimintaperiaate	2
2.2	Käyttökohteet	3
2.3	Ohjelmisto	3
3	Ohjelmoitava logiikka	6
3.1	IEC-ohjelmointi	7
4	Kenttäväylät	9
4.1	Kenttäväylien kehitys	9
4.2	OSI-malli ja sen kerrokset	10
4.3	PROFINET	13
4.4	Ethernet/IP	16
4.5	EtherCAT	18
4.6	ABB ja kenttäväylät	20
4.7	OPC Unified Architecture	21
5	Turvallisuus	23
5.1	Sähköturvallisuus	23
6	Testilaitteiston suunnittelu ja vaatimukset	25
7	Testilaitteiston rakentaminen ja taajuusmuuttajan parametointi	27
7.1	Testilaitteiston rakentaminen	27
7.2	AC500 PLC:n asennus	29
7.3	ControlLogix PLC:n asennus	29
7.4	S7-1500 PLC:n asennus	29
7.5	Taajuusmuuttajan parametrien asettaminen	30
8	PLC-ohjelma	31
9	Testilaitteiston käyttöönotto	33
10	Yhteenveto	35

Liitteet

Liite 1. Automation Builder -ohjelma ja muuttujat

Liite 2. TIA portal -ohjelma ja muuttujat

Liite 3. Studio5000 -ohjelma ja muuttujat

Lyhenteet ja käsitteet

AO	<i>Analog output.</i> Analogilähtö.
AI	<i>Analog input.</i> Analogitulo.
CPU	<i>Central processing unit.</i> Suoritin tai prosessori, käytetään myös usein synonyminä ohjelmoitavalle logiikalle.
CW	<i>Control Word.</i> ABB:n taajuusmuuttajaa ohjaava biteistä koostuva sana.
EDS	<i>Electronical Datasheet File.</i> Tekstitiedosto, joka pitää sisällään tietoja laitteesta, kuten konfiguraation parametreista, laite- ja valmistajatunnisteet.
GSDML	<i>General Station Description.</i> XML-pohjainen tekstitiedosto, joka pitää sisällään tietoja laitteesta, kuten konfiguraation parametreista, laite- ja valmistajatunnisteet.
HMI	<i>Human-machine interface.</i> Käyttöliittymä ihmisen ja koneen välillä.
OPC UA	<i>OPC Unified Architecture.</i> Käyttöjärjestelmästä riippumaton alusta-arkkitehtuuri.
PLC	<i>Programmable logic controller.</i> Ohjelmoitava logiikka.
PN	<i>PROFINET.</i> Teollisuus-Ethernet -pohjainen kenttäväyläprotokolla.
I/O	<i>Input/Output.</i> tulo/lähtö.
SW	<i>Status Word.</i> ABB:n taajuusmuuttajan tilaa indikoiva biteistä koostuva sana.
TCP	<i>Transmission Control Protocol.</i> OSI-mallin kuljetuskerroksen yhteydellinen protokolla.
UDP	<i>User Data Protocol.</i> OSI-mallin kuljetuskerroksen yhteydetön protokolla.

1 Johdanto

Insinööriyön työn aiheena on PLC- ja kenttäväylätestilaitteiston rakentaminen ja ohjelmointi. Työ aloitettiin suunnittelemalla ja rakentamalla testilaitteisto. Testilaitteiston tarkoituksena on avustaa ABB Oy:n Drivesin Pitäjänmäen taajuusmuuttajien teknisen tuen yksikköä. Yksiköllä on tarkoitus auttaa asiakasta ongelma tilanteessa, kuten vastaamalla teknisiin kysymyksiin tai antamalla apua sovellusten ja laitteiden kanssa. ABB Oy on yksi maailman suurimmista automaatioteknologiayrityksistä ja Pitäjänmäen Drives-yksikössä työskentelee noin 1300 henkilöä eri työtehtävissä.

Taajuusmuuttajien teknisen tuen työnkuvaan kuuluu teknisiin kysymyksiin vastaaminen, jotka koskevat pääsääntöisesti erilaisia taajuusmuuttajiin liittyviä tuotteita ja sovelluksia. Kysymysten ratkaisemiseen ei ole yhtä ja oikeaa menetelmää. Monet kysymykset ovat usein kysyttyjä tai muuten vain entuudestaan tuttuja, jolloin kysymykseen voidaan vastata suoraan. Toinen vaihtoehto on testaaminen. Testaaminen suoritetaan mahdollisimman saman kaltaisella kokoonpanolla, kuin mitä asiakkaalla on käytössä esimerkiksi demolaitteella. Demolaite tyypillisesti koostuu yhdestä taajuusmuuttajasta ja moottorista, kuitenkin eri variaatioita on olemassa. Suoritettujen testien perusteella teknisen tuen yksikkö pyrkii ratkaisemaan kohdatun ongelman ja tarjoamaan asiakkaalle toimivan ratkaisun.

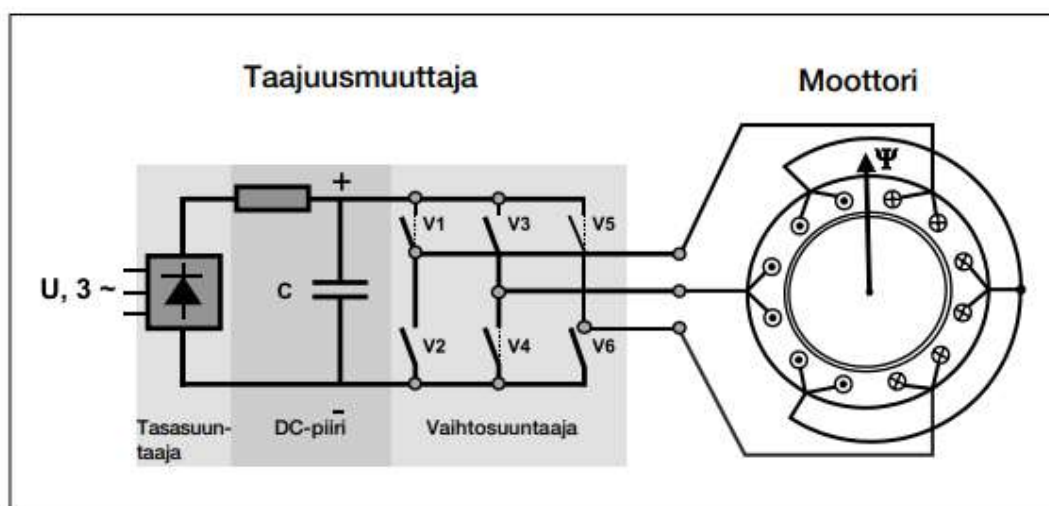
Työn tarkoituksena on rakentaa laitteisto, joka toimii demolaitteen rinnalla keskittyen kenttäväyliin ja PLC:n kommunikointiin yleisimpien taajuusmuuttajien kanssa. Laitteistoon on tarkoitus asentaa kolme ohjelmoitavaa logiikkaa ja HMI-paneeli, joiden avulla havainnollistetaan eri Ethernet-pohjaisten kenttäväyläprotokollien toimintaa ABB:n taajuusmuuttajien kanssa. Havainnollistaminen tapahtuu usein luomalla yhteys PLC:n ja taajuusmuuttajan välille, sekä ohjaamalla taajuusmuuttajaa ja seuraamalla sen tilaa. Taajuusmuuttajan ohjaaminen on suunniteltu tapahtuvan ohjauspaneelin tai HMI-käyttöliittymän kautta, kun taas taajuusmuuttajan tilaa seurataan DO-ledin tai HMI:n kautta. Valitut kenttäväylät perustuvat taajuusmuuttajien teknisen tuen tarpeiden mukaan ja ne ovat PROFINET ja Ethernet/IP. Laitteistolla pystytään testaamaan useampaa demolaitetta samaan aikaan, eikä sitä ole suunniteltu rutiininomaiseen käyttöön.

2 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on sähkömoottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia ohjaava laite. Pyörimisnopeuden säätäminen tapahtuu ohjaamalla sähkömoottorin tehonsyötön taajuutta ja jännitettä. Sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan yhdistelmää kutsutaan sähkömoottorikäytöksi. Sähkömoottorikäytön etuina on se, että moottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia voidaan säätää prosessin tarpeiden mukaan. Pyörimisnopeuden säätäminen luo säästöjä energiankulutuksessa. Taajuusmuuttaja vähentää myös moottorinohjaussovellukseen syntyvää mekaanista rasitusta ja sähköverkon kuormitusta käynnistyksen yhteydessä. Mekaanisen rasituksen väheneminen pidentää huoltotarpeen väliä. Taajuusmuuttajalla voidaan ohjata prosessia hyvinkin tarkkaan ja näin optimoidaan sähkömoottorisovelluksen toiminta. (1.)

2.1 Toimintaperiaate

Taajuusmuuttajia on kahta päätyyppiä: välipiirilliset taajuusmuuttajat ja suorat taajuusmuuttajat. Välipiirilliset ovat nykyisin yleisimmin käytössä oleva vaihtoehto. Välipiirillisen taajuusmuuttajan toiminta voidaan karkeasti jakaa kolmeen vaiheeseen, jotka ovat tasasuuntaus, välipiiri ja vaihtosuuntaus (kuva 1.). Näitä kolmea vaihetta ohjataan ohjausyksikön avulla. Ohjausyksikköön voidaan asettaa sähkömoottorikäytön tiedot ja valvoa sen toimintaa. Valvottavia toimintoja ovat esimerkiksi pyörimisnopeus, energiankulutus ja häiriöt. (2, s.11.)



Kuva 1. Taajuusmuuttajan toiminnan vaiheet. (3, s.12).

Välipiirillisen taajuusmuuttajan toiminta voidaan jakaa ja yksinkertaistaa seuraaviin kolmeen vaiheeseen:

- Ensimmäisessä vaiheessa tasasuuntaaja tasasuuntaa syötöltä tulevan vaihtosähkön tasasähköksi välipiiriä varten.
- Toisessa vaiheessa välipiiri suodattaa tasasähkön kondensaattoreiden avulla ja siirtää vaihtosuuntaajalle.
- Kolmannessa vaiheessa vaihtosuuntaaja tasasuuntaa tasasähkön takaisin vaihtosähköksi ja syöttää sen ohjattavalle moottorille. (2, s.11.)

2.2 Käyttökohteet

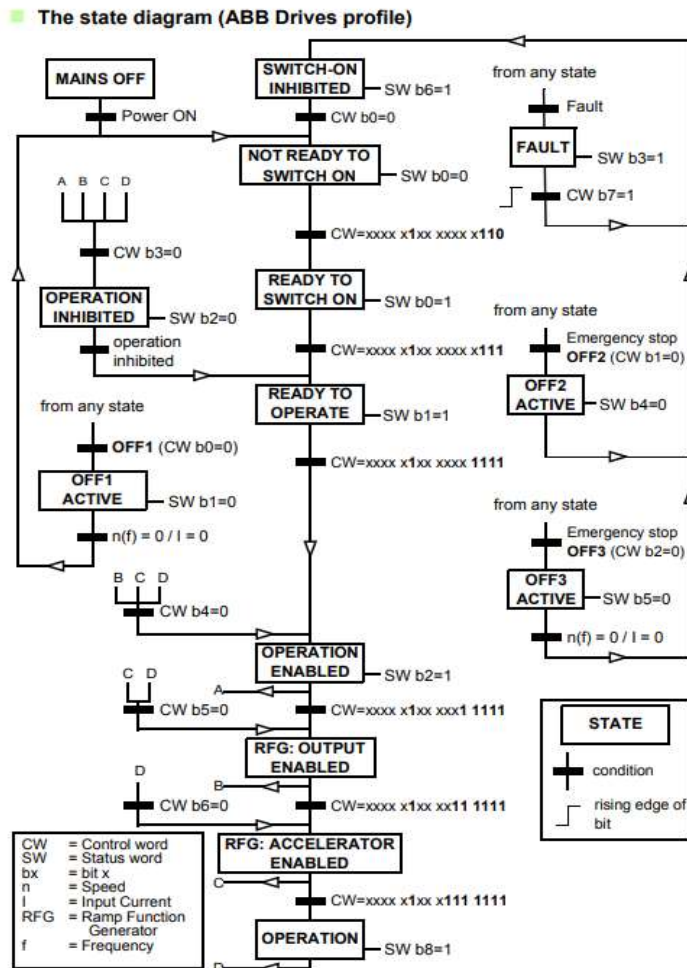
Taajuusmuuttajat ovat yleisesti käytössä teollisuuden sovelluksissa suuren energiantarpeen takia. Tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi pumpput, puhaltimet ja kuljettimet. Sähkömoottorikäytöllä voidaan vähentää sovellusten elinkaarikustannuksia laitteiden pysyessä kunnossa pidempään mekaanisen rasituksen vähentyessä. Sähkömoottorikäytöllä voidaan myös vähentää myös energiankulutusta, kun sovellusta pyörittävälle moottorille ohjataan virtaa vain sovelluksen tarvitsema määrä. (1.)

Taajuusmuuttajien ominaisuutta muuttaa ja siirtää sähköä takaisin sähköverkkoon tai käyttää sähköä paikallisesti on hyödynnetty uusiutuvassa energiantuotannossa. Tällaisia energiantuotannonmuotoja ovat aurinko, tuuli ja vesi. Samaa ominaisuutta käyttävät myös muut sovellukset, kuten hissit, sähköautot ja laivat. (1.) Muita käytännönläheisimpiä esimerkkejä teollisuuden hyödyntämistä taajuusmuuttajan sähkömoottoria säätelevistä ominaisuuksista ovat pyörimissuunnanvaihto, kiihdytys- ja hidastusajan asettaminen, momentin säätö ja vauhtikäynnistys. (3.)

2.3 Ohjelmisto

ABB on tehnyt useita eri ohjelmistoja taajuusmuuttajan sovelluksia varten ja luonnollisesti ohjelmistot eroavat toisistaan käyttötarkoituksen mukaan. Automaation näkökulmasta ohjelmiston tärkeimpiin osiin kuuluu taajuusmuuttajan ohjaussana (Control Word) ja tilasana (Status Word). Molemmat sanat koostuvat 16- tai 32-bitistä, jossa jokaisella bitillä on oma tehtävänsä (kuva 2.). Ohjaussana on periaate, jolla voidaan ohjata taa-

juusmuuttajaa kenttäväyläjärjestelmällä. Isäntä eli usein PLC määrittää ohjaussanan arvon ja taajuusmuuttaja muuttaa toimintaansa bittiohjeiden mukaan palauttaen tilatiedon isännälle tilasanana. (4, s.570.)



Kuva 2. ACS880 Primary Control Programin ABB Drives -profin tilakaavio (4, s.575).

Taajuusmuuttajan eri kommunikointiprofiilit määrittelevät, kuinka se reagoi ohjaus- ja tilasanaan. Esimerkiksi käytettäessä ABB:n omaa kommunikointiprofiilia "ABB Drives commucation profile" taajuusmuuttajalle on valmiiksi määritetty tilakoneessa, kuinka se toimii ohjaussanan eri arvoilla ja mitä arvoja se lähettää takaisin tilasanana. Toisin kuin "transparent commucation profilen" kanssa yksittäisiä bittejä voidaan käyttää ohjamaan taajuusmuuttajaa bittiosoittimien kautta. (4, s.570.)

ABB:n taajuusmuuttajien toiminta perustuu ohjearvoketjuun. Näiden ketjujen avulla voidaan tarkkailla, kuinka parametrit tai yksittäinen bitti vaikuttaa taajuusmuuttajaan toimintaan (kuva 3.). (4, s.579.)



Kuva 3. Yksinkertaistetut ohjearvoketjujen suorittamat toiminnot (4, s.580).

Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta matemaattisilla toiminoilla tarkoitetaan jako-, kerto-, yhteen- ja vähennyslaskutoimintoja, jotka suoritetaan taajuusmuuttajan ohjearvoketjun aikana. Kriittisillä nopeuksilla tarkoitetaan ohjearvon asettamista niin, että moottori käy kriittisillä nopeuksilla vain hetkellisesti. Kriittisiä nopeuksia säädetään sovellusten ongelmien takia, kuten mekaanisen resonoinnin. (4, s.43.)

Raja-arvot ovat suurin ja pienin sallittu pyörimisnopeus, taajuus tai momentti. Ramppeihin vaikuttaa useampi parametri ja onkin näiden parametrien ”summa”, joiden avulla ramppi ensin generoidaan ja muokataan. Generoidusta ja muokatusta rampista saadaan lopullinen rampin ulostulo, minkä taajuusmuuttaja suorittaa kiihdytyksen tai hidastuksen yhteydessä. (4, s.580.)

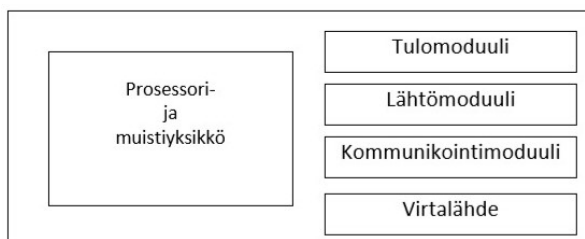
3 Ohjelmoitava logiikka

PLC (programmable logic controller) tarkoittaa ohjelmoitavaa logiikkaa. PLC on automaatioteollisuuteen kehitetty mikroprosessoripohjainen laite ja sitä käytetään automaatioprosessien reaaliaikaiseen ohjaukseen. Ensimmäiset PLC:t ilmestyivät automaatioteollisuuden käyttöön 1960-luvulla. Yhdellä ohjelmoitavalla logiikalla voidaan korvata satoja tai jopa tuhansia releitä riippuen logiikan ohjauskapasiteetista. (5, s.7.) PLC:n edut verrattuna releohjaukseen ovat

- kompakti koko
- vikatilanteiden määrittäminen
- fyysisen asennuksen ja korjauksen nopeus.

Ohjelmoitavien logiikoiden hyödyt nousevat erityisesti esiin laitteiden hallinnassa ja ohjauksessa, jossa voidaan suorittaa huomattavasti monimutkaisempi toimintoja ja pitääkin sisällään eri ohjelmointi toimintoja, kuten ajastimet, laskimet ja muistin toisin, kuin perinteiset releet. Toimintojen muuttaminen on myös huomattavasti yksinkertaisempaa ja useissa tapauksissa etukäteen simuloitavissa. (5, s.7.)

Ohjelmoitava logiikka voi koostua prosessorista, muistiyksiköstä, tulo-, lähtö-, kommunikointimoduulista ja virtalähteestä (kuva 4.). PLC:n käyttää myös usein hajautettuja tulo- ja lähtöasemia, jotka toimivat toimilaitteiden yhteydessä. Näihin asemiin on usein kytketty erilaisia antureita, jotka antavat tilatietoa prosessista tai kytкимиä, joiden avulla ohjataan toimilaitteita. (5, s.8.)



Kuva 4. PLC:n esimerkkirakenne (5, s.8).

Tulo- ja lähtöportit voidaan jakaa kahteen kategoriaan digitaalisiin ja analogisiin. Digitaaliset signaalit ilmaisevat päälle- tai pois-tilan ja näin ollen ohjaus on hyvin rajallista, ilman

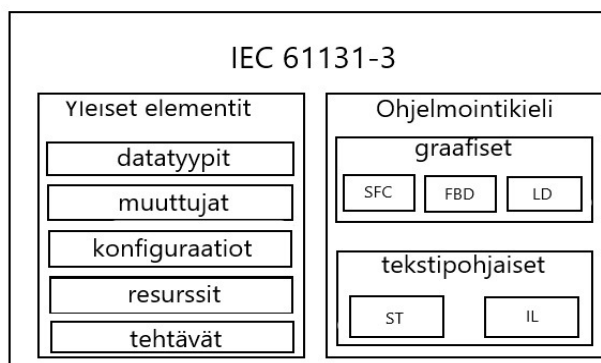
minkäänlaisia apumuuttujia. Digitaalisilla signaaleilla on kuitenkin erittäin helppo ohjata bittejä ja näin kytkeä päälle ja pois PLC-ohjelman muuttujia, mikä käytännössä mahdollistaa rajattomat mahdollisuudet ohjaukselle ja ohjelmalle. Analogimoduuli pystyy tarkkailemaan ja ohjaamaan arvoja laajemmalla skaalalla saatavan jännitteen tai virran perusteella. Analogisia signaaleita käytetään tässä työssä antamaan taajuusmuuttajalle referenssiarvon.

Ohjelmoitava logiikka, hajautetut tulot ja lähdöt mahdollistavat kenttäväyläteknologian käytön. Kenttäväyliä avulla siirrettävän tiedon määrä toimilaitteelta logikalle on suurempaa kuin perinteisen johdotuksen. Jotkut laitteet, kuten taajuusmuuttaja toimivat PLC:lle eräänlaisena hajautettuna I/O-asemana.

3.1 IEC-ohjelmointi

IEC 61131-3 on The International Electrotechnical Commission kehittämä kansainvälinen ohjelmoitaviin logiikoihin perustuva standardi. Ohjelmoitavien logiikoiden jatkuva käytön kasvu, järjestelmien monimutkaisuuden lisääntyminen ja standardin puuttuminen olivat syitä, miksi kyseinen standardi on kehitetty. Standardin tarkoituksena on luoda teollisuusautomaatiolle yhteneväinen näkemys siitä, mitä kieliä tulisi käyttää ja kuinka.

IEC 61131-3 -standardi koostuu kahdesta pääosasta, jotka ovat yleiset elementit ja ohjelmointikieli. Yleiset elementit pitävät sisällään datatyypit, muuttujat, konfiguraatiot, resurssit ja tehtävät, kun taas ohjelmointikieli koostuu grafiikka- ja tekstipohjaisista ohjelmointikielistä (kuva 5.). Tekstipohjaisiin kieliin kuuluvat Instruction List (IL) ja Structured Text (ST), kun taas grafiikkapohjaisiin kuuluvat Ladder Diagram (LD) ja Function Block Diagram (FBD). Nämä neljä ohjelmointikieltä ovat läheisesti vuorovaikutuksessa toistensa kanssa. (6, s.1.)



Kuva 5. IEC 61131-3 -standardin rakenne. (6, s.1).

Yleisten elementtien datatyypit estävät virheitä aikaisessa vaiheessa, ja sitä käytetään määrittelemään mikä tahansa parametri. Toiminnon avulla voidaan esimerkiksi välttää datatyyppi päivämäärän jakamisen kokonaisluvulla. Yleisiä datatyyppejä ovat integer, boolean, real, byte, word, date, Time-of-Day ja string. Näiden datatyyppien perusteella voidaan määritellä oma henkilökohtainen datatyyppi, jota kutsutaan johdetuksi datatypiksi. (6, s.1.)

Muuttujat määritellään konfiguraatiossa, resursseissa ja ohjelmissa vain laitteiston osoitteille, kuten tuloille, lähdöille ja muistipaikoille. Tällä tavalla pyritään luomaan laitteille riippumattomuutta ja ohjelmiston uudelleenkäytettävyyttä. Muuttujien käytettävyyttä rajoitetaan luomalla niille eri käyttöasteista, kuten VAR_GLOBAL ja VAR. (6, s.1.)

Korkeimmalla tasolla koko ohjelmiston tulee ratkaista ongelma ohjaukseen liittyen. Jokainen konfiguraatio on luotu vain yhdelle ja ainoalle ohjausjärjestelmälle, mukaan lukien käsitellyt resurssit, muistialueet I/O-kanaville ja järjestelmän ominaisuudet. Konfiguraatiossa voidaan määrittää yksi tai useampi resurssi eli käsittelevä prosessilaitte. Resurssille määritetään erilaisia tehtäviä, kuten ohjelmien ja Function Blockien ohjaaminen. (6, s.2.)

Standardin IEC 61131-3 mukaan ohjelmia, Function Blockkeja ja funktioita tulee kutsua POU:ssa (Program organization unit) eli aliohjelmassa. Tämä helpottaa ohjelmien luomista, sekä niiden testaamista. POU:n avulla voidaan paikantaa ja poistaa käytöstä ohjelman ongelmallisia osia. (6, s.2.)

Ohjelmointikielten osat koostuvat grafiikka- ja tekstipohjaisista ohjelmointikielistä. Grafiikkapohjaisiin kieliin kuuluvat Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD), ja Sequential Function Chart (SFC), kun taas tekstipohjaisiin kuuluvat Structured Text (ST), ja Instruction List (IL). (6, s.3.)

Suunniteltaessa ohjelmaa ja ohjelmointikieltä valittaessa tulee ottaa huomioon ohjelmoin tausta, hallintajärjestelmän rakenne ja käyttöliittymä. Grafiikkapohjaiset ohjelmointikielet on suunniteltu siten, että ne muistuttavat hyvin paljon piirikaavioita. Tämän takia ne sopivat ihmisille, joilla ei ole niin paljoa ohjelmointiosaamista. Tekstipohjaiset ohjelmointikielet perustuvat pitkälti valmiisiin ohjelmointikieliin, kuten Structured Text perustuu Pascal-, C- ja Ada-kieleen. Näin ollen tekstipohjaiset ohjelmointikielet ovat suunniteltu ohjelmoijille, joilla on taustaa ohjelmoinnin parissa näiden kielten kanssa. (6, s.3.)

4 Kenttäväylät

Kenttäväylän määritelmänä pidetään, että se on automaatiojärjestelmän osa, jonka on tarkoitus yhdistää eri hajautetut kenttälaitteet, kuten anturit, toimilaitteet ja kontrollerit mahdollistaen automaatiojärjestelmän kommunikoinnin. Kenttäväylä on tietoliikenneprotokolla, ja sitä käytetään tyypillisesti automaatioteollisuudessa. Teollisuuden sovellukset poikkeavat toisistaan merkittävästi ja samalla niiden vaatimukset ovat erilaiset. Osa sovelluksista vaatii väylältä suurta kapasiteettia, kun taas toiset turvaominaisuuksia, luotettavuutta ja häiriönsietokykyä. Eri kenttäväyliä on kehitetty vastaamaan näitä tarpeita, eikä ole yhtä ratkaisua, joka pystyisi vastaamaan kaikkiin tarpeisiin. (7, s.8.)

Kenttäväyliä käyttämisen suurimpiin etuihin kuuluu kaapeloinnin väheneminen, joka on etu prosessin monessa vaiheessa. Tällaisia prosessin vaiheita ovat käyttöönotto ja huolto, sekä kaapelointikustannukset. Toimilaitteelta tai antureilta kerätyllä datalla on tarkoitus ohjata prosessia. Haasteena on kerätyn datan ymmärtäminen. Kerättyä dataa voidaan myös hyödyntää kenttäväylän kautta vikatilanteiden määrittämiseen ja parhaassa tapauksessa kokonaan fyysisten korjausten välttämiseen. (7, s.8.)

4.1 Kenttäväyliä kehitys

Kenttäväyliä historia saa alkunsa 1970-luvulta. Valmistajat alkoivat kehittämään omia kenttäväyläprotokollia, joka johti laitteiden integraatio-ongelmiin ilman standardeja yhteensopivuudesta eli kenttäväylät kärsivät tässä vaiheessa dataformaattien eroavaisuuksista ja kaistanleveyden puutteesta. Tätä ongelmaa lähdettiin ratkaisemaan vuonna 1985 luomalla yhteinen standardi kenttäväyliä. Standardin tarkoituksena oli parantaa yhteensopivuutta, lisätä kaistanleveyttä ja kykyä kommunikoida pidempiä matkoja. Tarkoitus oli myös luoda lisää luotettavuutta asiakkaisiin ja näin saada markkinointietu standardoimattomiin systeemeihin verrattuna. Standardin kehittäminen johti kuitenkin useampiin markkina- ja sovellusalueiden standardeihin. Valmistajien standardeista tuli kuitenkin avoimempia, jolloin muut valmistajat pystyivät kehittämään ja luomaan sovelluksia omiin tarpeisiin. (8, s.2.)

Teollisen Ethernetin nousu on lähtenyt liikkeelle 2000-luvun vaihteessa ja on nykyään yksi käytetyimmistä kenttäväyläratkaisuksista. Se tarjoaa koko yrityksen läpikattavat palvelut datan keräämisestä ohjaukseen. Teollista Ethernetiä on määritelty IEEE 802.3 standardissa, jossa keskitytään signaalin näkymiseen kaapelissa ja kuinka teolliseen-

Ethernet-verkkoon liitytään. Teollisen Ethernetin etuihin kuuluu se, että se pystyy yhdenaikaisesti kommunikoimaan moninkertaisen solmumäärän kanssa, kuin perinteiset kenttäväylät. (9, s.4.)

Useimmat Ethernet-pohjaiset laitteet käyttävät IP-osoitetta tunnistaakseen verkossa olevat laitteet toisistaan. On useita tapoja määrittää IP-osoite ja kaikki eivät sovi teollisuuden käyttöön. Toimistoympäristössä esimerkiksi tietokone saa dynaamisesti IP-osoitteen DHCP:ltä ja on mahdollista, että osoite on eri joka käynnistyksen yhteydessä. Tietokoneet ovat toimistoissa usein laitteita, jotka lähettävät pyyntöjä ja näin ollen osoitteen vaihdoksella ei ole väliä. Kun taas teollisuuden ohjauslaitteet ovat viestintäpyyntöjen kohde, jolloin IP-osoite ei voi vaihtua jokaisen käynnistyksen yhteydessä. IP-osoitteen vaihtaminen jokaisen uudelleen käynnistyksen yhteydessä johtaa siihen, että muut laitteet hukkaavat ohjauslaitteen. Tällöin IP-osoitteen tulee olla staattinen. (10, s.69.)

4.2 OSI-malli ja sen kerrokset

OSI-malli (Open Systems Interconnection model) pohjautuu standardiin (ISO/IEC 7498-1), jonka on luonut ISO (International Organization for Standardization) vuonna 1983. OSI-malli koostuu seitsemästä kerroksesta (kuva 6.), jonka läpi liikuteltava tieto kulkee. Se on ajattelumalli, joka edesauttaa valmistajia rakentamaan yhteen sopivia verkkolaitteita. Mallin vahvuuksiin kuuluu jokaisen kerroksen itsenäinen toiminta, eli yhden kerroksen toimintaa voidaan muokata ilman, että se vaikuttaa koko järjestelmään. Tietoliikenteen kerrokseen jakaminen helpottaa myös virheen määrittämistä, korjausta, sekä protokollien määrittäminen on yksinkertaisempaa, kun nähdään selkeästi, mihin kaikkiin kerroksiin niillä on vaikutus. (11.)

OSI-mallin ensimmäisen eli fyysisen kerroksen tehtävä on tarjota fyysinen laite, joka siirtää bittivirtaa seuraavalle rajapinnalle yleensä sähköisessä muodossa. Muita tiedonsiirron muotoja tässä kerroksessa ovat mekaaninen ja looginen. Fyysisiä tiedonsiirtomuotoja on kuitenkin vain kaksi sarja- ja rinnakkaismuoto. Sarjamuotoisessa tiedonsiirtomuodossa johtimia ei välttämättä tarvita kuin kaksi, kuitenkin bittejä voi siirtää vain yksi kerrallaan. Tämä tekee vaikeaksi erottaa, missä kohtaa uusi sanoma alkaa tai loppuu, joten alku- ja loppubitteihin tulee jonkin näköinen merkintä sanoman päättämiseksi. Rinnakkaismuotoisessa tiedonsiirrossa yhden merkin tai merkkijonon bitit siirretään kaikki samaan aikaan. Tämä johtaa automaattisesti siihen, että tiedonsiirto on huomattavasti nopeampaa kuin sarjamuotoisessa tiedonsiirrossa. (11, s.463; 12, s.9.)

Siirtoyhteyskerroksen eli toisen kerroksen tehtävänä on tarjota kehyksille luotettava datansiirto kahden solmun välillä. Toinen kerros on rakennettu fyysisen kerroksen päälle ja sen on tarkoitus korjata ensimmäisen kerroksen epäluotettavaa bittien siirtoa. Siirtoyhteyskerros huolehtii myös vikojen havainnoinnista ja hallinnasta, joka on usein toteutettu CRC:n (Cyclic Redundancy Check) avulla. Toinen kerros jakaa kolmannelta kerrokselta tulevat viestit pienempiin osiin, ja näitä pienempiä osia kutsutaan kehyksiksi. (12, s.9: 11, s.463.)

Verkkokerros on OSI-mallin kolmas kerros. Kerroksen tehtäviin kuuluu datan organisointi siirtoa ja kokoamista varten. Verkkotaso määrittää samassa verkossa toimiville solmuille osoitteen ja kuljettavan reitin. Samalla taaten yksilöllisten osoitteiden avulla solmujen välisen datagrammien siirtämisen oikeaan osoitteeseen. Datagrammeja voidaan lähettää samassa verkossa eri reittejä useampana fragmentteina, jolloin fragmentit on kootava uudelleen ja virheistä on raportoiva. (11, s.463.)

Kuljetuskerros tarkoituksena on viestien päästä päähän -toimitus ja vikojen tunnistaminen eri prosessi laitteiden välillä. Kuljetuskerros ja verkkotason tarjoamat palvelut ovat pitkälti samanlaisia. Niiden välillä on kuitenkin tärkeitä eroavaisuuksia. Kuljetustaso tunnistaa sovellukset toisistaan porttinumeron avulla ja liittää sen aina segmentin otsikoksi. Kuljetustasossa on käytössä monia protokollia, mutta tunnetuimmat ovat TCP (Transmission Control Protocol) ja UDP (User Datagram Protocol). Sovellusohjelmoijat ovat usein suoraan yhteydessä tämän kerroksen kanssa ja heidän näkökulmastaan kuljetuskerros on usein "verkko" itsessään. Kuljetuskerroksen yksi tärkeimpiä tehtäviä on pitää huolta siitä, että tietoa ei lähetetä vastaanottajalle nopeammin kuin vastaanottaja pystyy vastaanottamaan (11, s.16.)

TCP on yhteyspohjainen tietoliikenneprotokolla eli se varmistaa yhteyden laitteiden välillä ennen paketin lähettämistä, pakettien oikean järjestyksen ja sen että lähetty paketti löytää vastaanottajalle. Tämän takia TCP mielletään usein luottavaksi protokollaksi. (12, s. 10.)

UDP on yhteydetön tietoliikenneprotokolla. Se ei vaadi yhteyttä laitteiden välille. Jokaisen paketin kuitenkin tulee sisältää kaikki tarvittavat tiedot, jotta lähetettävä paketti löytää perille itsenäisti. UDP ei pidä sisällään segmentointia ja pakettien uudelleen kokoamista,

eikä se takaa tietojen lähettämistä tai vastaanottamista oikeassa järjestyksessä. (12, s.9.)

Istuntokerros tarkistaa yhteyden virheitä ja korjaa niitä tarvittaessa. Kerros lisää myös otsikon datagrammeihin kommunikoinnin aikana. Istuntokerros tarjoaa mahdollisuuden pitää käynnissä tiedonsiirtoa kahden osapuolen välillä. Osapuolten väliset sovellukset voivat vaihtaa viestejä ja paketteja niin kauan kun istunto on käynnissä, ja hajottaa sen istunnon päättyessä. Se valvoo, että istuntoon pääsevät vain halutut osa puolet. Hyvä esimerkki istuntotason sovelluksesta on etäkäyttö tietokoneelle, jossa voidaan kirjautua tietokoneelle ja ladata tiedostoja laitteiden välillä. (12, s.9.)

Esityskerros lisää datagrammiin muodon, eli päätteen. Kerroksen tehtäviin kuuluu datan muuttaminen sellaiseen muotoon, että vastaan ottava laite tai sovellustaso pystyy sen ymmärtämään. Esityskerroksen protokollat voivat kryptata tietoja tarpeen mukaan ennen datan lähettämistä eteenpäin. (11, s.465.)

Sovelluskerros on OSI-mallin seitsemäs kerros, ja sen kanssa käyttäjä on usein vuorovaikutuksessa. Sovelluskerroksessa data muutetaan esimerkiksi chat-ohjelmiksi, web-sivuiksi, sähköpostiksi tai muihin vastaaviin sovelluksiin. Monet protokollat käyttävät tätä kerrosta, kuten DNS, FTP, http, https ja smtp. Sovelluskerroksen alaisena toimivat kaikki muut kerrokset ja voidaan sanoa, että sovelluskerros hallitsee ohjelmistojen kommunikointia. (11, s.465.)

OSI-Mallin kerrokset & niiden vastuut	
Isännän vastuulla	7. Sovelluskerros
	6. Esityskerros
	5. Istuntokerros
	4. Kuljetuskerros
Verkon vastuulla	3. Verkkokerros
	2. Siirtokerros
	1. Fyysinen kerros

Kuva 6. OSI-mallin kerrokset ja vastuut (11, s.462).

Jokainen OSI-mallin kerros on kytkeytynyt sen alapuolella olevaan kerrokseen ja käyttää sen tarjoamia palveluita. Tästä tapauksesta voidaan ottaa esimerkki, jossa TCP-yhteyden on lähetävä datapaketti Ethernetin kautta toiseen laitteeseen. TCP-yhteys siirtää datapaketin IP:lle lähetystä varten. IP huolehtii siitä, että datapaketti siirtyy Ethernet verkosta halutulle laitteelle. Vastaanottajan päässä Ethernet liitäntä luovuttaa paketin IP-kerrokselle ja välittää sen TCP-yhteyden kautta vastaanottajalle. Pelkkä IP ei takaa datapaketin siirtymistä laitteelta toiselle, vaan se kuuluu kuljetus- tai sovellustason tehtäväksi. (13, s.3.)

4.3 PROFINET

PROFINET on PROFIBUS ja PROFINET International Organization kehittämä tiedonsiirtostandardi, joka on määritelty IEC 61158 (IEEE802) standardissa. Standardi määrittää viansietoa EMC:lle, vakaan kaapeloinnin ja prosessitietojen reaaliaikaisen tiedonsiirron. (14, s.5.) PROFINET on niin sanottu teollisuus-Ethernet ja on yleisesti käytössä teollisuuden 4.0 -sovelluksissa. PROFINET-järjestelmä ohjaa ja kerää tietoa laitteilta ja antureilta. PROFINET on suunniteltu siten, että se täyttää teollisuusautomaation aikarajoitteet ja -vaatimukset reaaliaikaisuuden suhteen toisin kuin perinteinen Ethernet. Teollisuuden kenttäväylänä PROFINETin tulee sietää häiriöitä, kemikaaleja, tärinää ja muita teollisuudessa esiintyviä elementtejä. Tämän takia PROFINET-protokollaa pystytään käyttämään useissa teollisuus- ja automaatio-sovelluksissa. (15.)

PROFINETin avulla voidaan tällä hetkellä suorittaa seuraavia sovelluksia:

- tuotanto- ja prosessiautomaatiota
- turvasovelluksia
- liikkeenhallintaa.

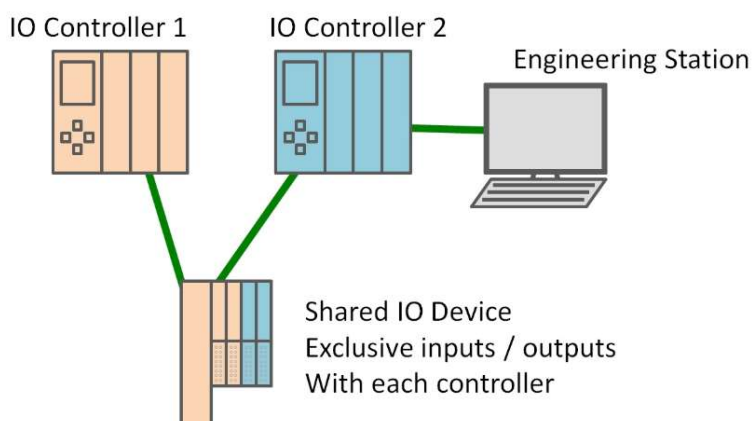
Sitä kehitetään jatkuvasti lisäämällä uusia toimintoja. (15.)

Näistä sovelluksista PROFINETiä käytetään eniten tuotanto- ja prosessiautomaatiossa, sekä turva-automaation tiedonsiirrossa PROFIsafe-standardia. PROFIsafe täyttää standardin IEC61508 asettamat määritykset. Standardi määrittää, että samassa verkkokaapelissa voidaan käyttää vakio- ja turvatiedonsiirtoa.

PROFINET-kenttäväylää käyttäessä tulee ottaa huomioon, että PLC ei pysty kommunikoimaan suoraan toimilaitteiden kanssa vaan vaatii GSDML (General Station Description) -tiedoston asettamista projektiin. GSDML-tiedoston ”kielenä” käytetään XML-pohjaista ohjelmointikieltä, josta tulee GSDML:n loppuosa. Tiedosto pitää sisällään konfiguraatio tietoja parametreista, moduuleista, valmistaja- ja laitetunnisteen. GSDML-tiedosto on yleensä löydettävissä valmistajien verkkosivulta. (16, s.304.)

PROFINET-verkkolaitteet tunnistetaan toisistaan asemanimen avulla, jolloin PLC käyttää DCP-toimintoa (Discovery Control Protocol) löytääkseen konfiguroidut asemanimet aliverkosta. Löydetyt laitteet vastaavat viestiin tunnistuksella, joka sisältää nykyisen IP-osoitteen. PLC korvaa IP-osoitteen uudella, mikäli se ei vastaa laitteistolle konfiguroitua osoitetta. Tämä IP-osoite asetetaan laitteen väliaikaiseksi osoitteeksi, mikä tarkoittaa, että uudelleen käynnistyksen jälkeen IP-osoite on 0.0.0.0 PROFINET-standardin mukaisesti. (17, s.90.)

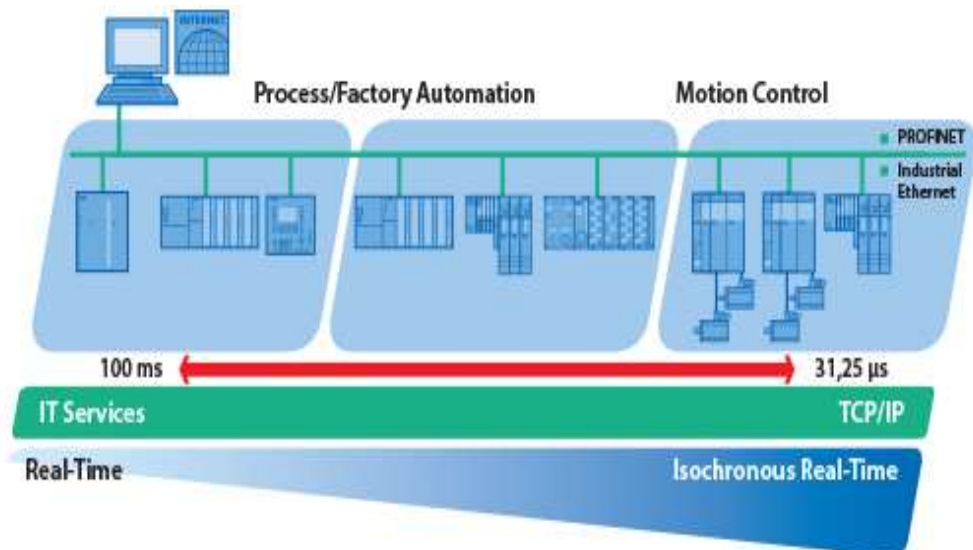
I/O-laitteet jonka moduuleita käyttää useampi I/O-kontrolleri kutsutaan jaetuiksi laitteiksi (Shared Device). Jaetut laitteet jakavat yhteyden eri I/O-kontrollerien kanssa. Jokainen jaettu laitteen moduuli on osoitettu tietylle I/O-kontrollerille. Näillä toiminnoilla mahdollistetaan useamman I/O-kontrollerin pääsy samalle I/O-laitteelle ilman CPU:ita CPU:lle kommunikointia (kuva 7.). Käytettäessä jaettua laitetta tulee ottaa huomioon, että jaettavat laitteet täytyy konfiguroida samalla tavalla jokaiselle asemalle ja se, että vain yhdellä I/O-kontrollerilla on pääsy siihen kerrallaan. Konfiguraatio viat johtavat automaattisesti jaetun laitteen epäonnistumiseen. (18, s.6.)



Kuva 7. Kontrollerien jakama I/O-laite (19).

Reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon PROFINET käyttää useimmiten OSI-mallin neljää kerrosta. Nämä kerrokset ovat fyysinen kerros, verkkokerros, siirtokerros ja sovelluskerros. Käytettäessä verkkokerroksen TCP/IP-toimintoja pitää ottaa huomioon, että tiedonsiirto ei aina ole reaaliaikaista. Reaaliaikaiseen tiedon siirtoon PROFINET käyttää Real Time (RT)- tai Isochronous Real-Time (IRT) -toimintoja.

Real-Time (RT) eli reaaliaikaista tiedonsiirtoa käytettäessä tulee käyttää standardoituja komponentteja, kuten PLC:tä ja kytkimiä. Reaaliaikaista tiedonsiirtoa käytetään usein tehdasautomaation yhteydessä syklisen datan siirtämiseen ja hälytyksiin. Reaaliaikaisessa tiedon siirrossa PROFINET I/O-kehykset asetetaan etusijalle ennen vakiokehyksiä IEEE802.1Q standardin mukaisesti. RT ohittaa kokonaan TCP/IP-kerroksen, joka nopeuttaa tiedonsiirron 1...10 millisekunnin nopeuteen. (20, s.53.) Kuvassa 8 havainnollistetaan reaaliaikaisuuden tarvetta eri sovellusten kohdalla.



Kuva 8. Reaaliaikaisuuden tarve (22).

Isokrooninen reaaliaikaisuus eli Isochronous Real-Time:n (IRT) on kehitetty vastaamaan liikkeenohjaus -sovellusten tarpeita. IRT tarkoittaa syklisen datan vaihdon synkronoimista laitteiden välille. Lähetyskello varaa IRT:lle kaistanleveyttä, joka takaa, että IRT-tiedot voidaan siirtää ilman, että verkon muut kuormitukset, kuten TCP/IP vaikuttavat viestien reaaliaikaisuuteen. (20, s.89.)

PROFINET käyttää mediaredundanssia estämään automaatiojärjestelmän häiriöitä, jotka aiheutuvat kaapeli- tai laitevian takia. Media redundanssi on suunniteltu niin RT:lle (Media Redundancy Protocol, MRP), kuin IRT:lle (Media Redundancy for Planned Duplication, MRPD). PROFINET-laitteet, jotka ovat redundanssissa verkossa muodostavat MRP-piirin. MRP suunnitellaan usein rengastopologiaan, sillä se mahdollistaa laitteiden kytkemisen kahdesta suunnasta samasta verkosta. Kommunikaaation katkoksen yhteydessä kytkeminen kahdesta suunnasta mahdollistaa viestisuunnan automaattisen vaihdon. Tällä tavalla pystytään välttämään automaatiojärjestelmän toimintakatkokset. (22, s.4.)

4.4 Ethernet/IP

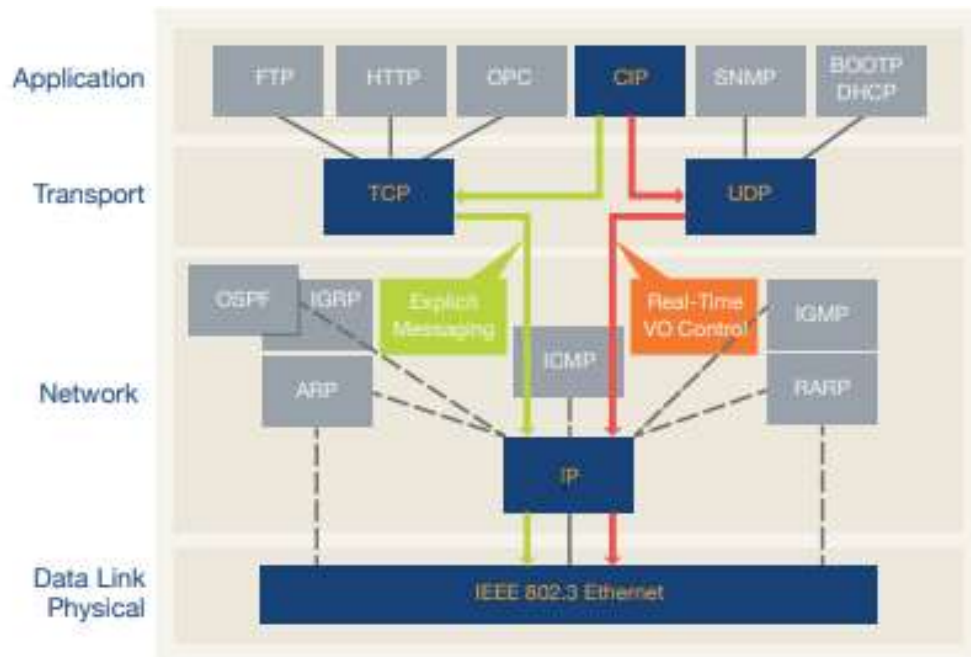
Ethernet/IP-protokolla on avoin teollisuusstandardi, jonka Allen & Bradley ja ODVA ovat kehittäneet vuonna 2000, ja sitä käytetään enimmäkseen Pohjois-Amerikan alueella. Ethernet/IP:n loppuosa tulee sanoista Industrial Protocol, jota ei pidä sekoittaa TCP/IP:n kanssa, jossa IP tarkoittaa "Internet Protocol". Ethernet/IP:stä käytetään myös yleisesti lyhennettä "EIP". (23.)

Ethernetilla on juuret toimistokäytössä, eikä sitä siksi usein ajatella deterministiseksi, kuten teollisuuden sovelluksen hyvin usein ovat. Oikein käytettynä Ethernet/IP -verkko pystyy kuitenkin kapasiteetiltaan kattamaan koko laitoksen kommunikoinnin eri laitteiden välillä, jotka ovat avoimessa verkossa ja täyttävät verkkoteknologian teollisuusstandardit. Kuten PROFINET myös Ethernet/IP täyttää vaatimukset laitteiden reaaliaikaiseen hallintaan, sekä turva-, liike- ja taajuusmuuttajasovelluksissa. Ethernet/IP:n avulla voidaan laitteet, kuten anturit, kontrollerit, moottorin käynnistimet, HMI-paneelit ja näiden lähettämät tiedot yrityksen järjestelmiin ja sovelluksiin. (23.)

Ethernet/IP:n kautta voidaan käyttää useita eri topologia vaihtoehtoja, kuten tähteä ja rinkiä. Ethernet/IP laitteet voivat liittyä verkkoon verkon ollessa käynnissä. Tätä ominaisuutta kutsutaan QuickConnectiksi. Ethernet/IP täyttää IEEE-standardit, ja näin sitä voidaan käyttää useilla eri siirtonopeuksilla, kuten 10, 100 Mbps ja 1Gbps. (24.)

Ethernet/IP pohjautuu OSI-mallin neljään alimpaan kerrokseen, jotka ovat verkosta riippuvaisia. Kuitenkin tapa, jolla kerroksia käytetään, määrittelee optimaalisen datan keräämisen, laitteiden konfiguraation ja ohjauspalvelut Ethernet/IP:ssä. Se tekee Ethernet/IP:stä käytännöllisen ja turvallisen käyttää ohjaustasolla. (12, s.2)

Ethernet/IP perustuu CIP-protokollaan (Control Industrial Protocol) käyttäen sitä OSI-mallin ylimpinä kerroksina (kuva 9.). Ethernet/IP pystyy käyttämään myös mitä tahansa muuta protokollaa, joka toimii siirtokerroksen päällä ylimpinä kerroksina ja minkä tahansa muun CIP-verkon kanssa samanaikaisesti. Muita vanhempia CIP-protokollaan pohjautuvia kenttäväyliä ovat DeviceNet ja ControlNet. (10, s.65.)



Kuva 9. CIP:n ja Ethernet/IP:n välinen suhde (25, s.4).

Ethernet/IP toimii Ethernet-laitteistolla ja se käyttää tiedonsiirtoon TCP/IP-(Explicit connections) ja UDP/IP (Implicit messaging) -protokollaa ilman minkäänlaisia muutoksia. TCP/IP on käytössä pääasiassa PLC:n palauttaman viestien vastaanottamiseen, kun taas UDP/IP:tä käytetään I/O-viesteihin. (10, s.70.)

Suora viestintä (Explicit messaging) tarjoaa geneerisen ja monikäyttöisen kommunikaatioreitin kahden laitteen välille. Kumpaankin suuntaan kommunikoitaessa se vaatii lähdeosoitteen, määränpääosoitteen ja yhteys ID:n. Suora viestintä perustuu tyypilliseen pyyntö-/vastausorientoituun verkkokommunikointiin ja voidaan näin pitää luotettavana tapana kommunikoida. CIP-kehys on kuitenkin TCP-paketin sisällä ja voi näin pitää lisätietoja kohdesolmuista ja viestintäpolusta. Suora viestintä käynnistetään CIP-protokollan sovelluskerroksen ulkoisilla tapahtumilla. (12, s.7.)

Epäsuoraa viestintää (Implicit messaging) käytetään usein tilanteissa, joissa datan vaihto solmujen välillä on käyttäjälle läpinäkyvää ja suoritetaan protokollan sovellustasossa, jossa tuottavat ja kuluttavat solmut ovat tietoisia viestin sisällöstä ennen sen lähetystä. Epäsuoraa viestintää käytetään usein I/O:n viesteihin, jossa saadaan täysi hyöty tuottavista ja kuluttavista malleista. CIP-protokolla on määrittänyt neljä pääperiaatetta epäsuorassa viestinnässä, jotka ovat tilan vaihtaminen, kysely, syklinen ja poiminta. (12, s.7.)

Ethernet/IP käyttää tekstitiedostoa laitteiden määrittämiseen ja tunnistamiseen, niin kuin myös PROFINET. Tätä tekstitiedostoa kutsutaan Ethernet/IP:n yhteydessä EDS-tiedostoksi (Electronical Datasheet File), joka voi pitää sisällään yksittäisiä parametrejä, kokoonpanon täydellisen kuvaksen ja kokoonpanon parametrit. Jokainen taajuusmuuttaja ja sovellus vaatii oman EDS-tiedoston toimiakseen kolmannen osapuolen laitteena. EDS-tiedostojen käyttöön liittyy muitakin etuja, sillä näiden tiedostojen käyttäminen vähentää laitteille tulevaa räsitystä. Laitteille tuleva räsitys vähentyy, kun valmiiksi tehty tiedosto kertoo laitteen toiminnan. (12, s.6.)

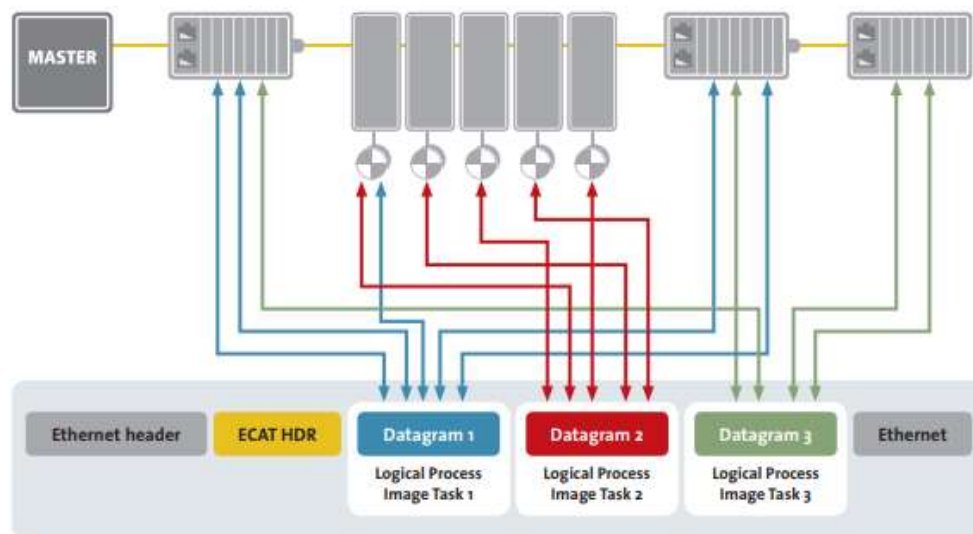
4.5 EtherCAT

EtherCAT on alun perin Beckhoff Automation kehittämä kenttäväyläprotokolla, joka on suunniteltu teollisuuden tarpeisiin ja julkaistiin vuonna 2003. EtherCAT täyttää IEC-61158 -standardin asettamat vaatimukset ja soveltuu automaatiotekniikan reaaliaikaisiin sovelluksiin. Pääpainopisteenä EtherCAT-protokollan kehityksessä on ollut lyhyt sykli-aika, vähäinen viiveen vaihtelu ja reaaliaikainen tiedonsiirto. Nämä kehityksen painopisteet ovat syy, miksi EtherCAT soveltuu ja on käytetty usein liikkeenohjaamiseen. (27.)

EtherCAT-protokolla optimoi prosessidatan ja käyttää IEEE 802.3 -standardin Ethernet-kehysä viestien liikuttamiseen isännän ja seuraajan välillä. Kehys pitää sisällään yhden tai useamman EtherCAT-sanoman, joista jokainen on osoitettu tietylle laitteelle tai muistialueelle. Sähke voidaan siirtää joko suoraan Ethernet-kehysen data-alueelle tai IP:n kautta UDP-datagrammin tieto-osassa. (27, s.85.)

EtherCATin toiminta perustuu ”full duplex-” ja ”on the fly” -toimintoon. Tässä yhteydessä full duplex tarkoittaa, kun siirrettävä tieto kulkee saman aikaisesti samaa kaapelia pitkin

molempiin suuntiin. Full duplex -toiminto voi lisätä tiedonsiirron nopeutta, jopa 90 prosenttia riippuen siirrettävän datan määrästä. On the fly -toiminnon kyseessä ollessa seuraaja käsittelee isännältä tulevan viestin lisäten kehykseen vain tarvittavat tiedot ja lähettää sen samalla seuraavalle seuraajalaitteelle. Väylän viimeinen seuraaja lähettää täysin käsitellyn kehyksen takaisin isännälle. Isäntä on ainut laite, joka saa laittaa viestejä. Kaikkien muiden tehtävä on vain välittää viesti seuraavalle laitteelle (kuva 10.). Tällä toiminnolla estetään ennustamattomat viiveet ja taataan reaaliaikaisuus. (26.)



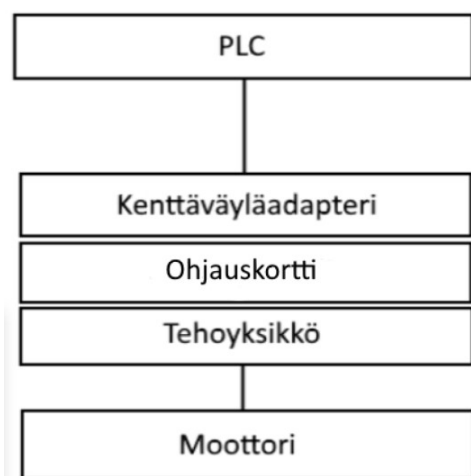
Kuva 10. Prosessidatan lisääminen On the fly -toiminnon avulla (26).

EtherCAT on MAC (Media Access Control) -tason protokolla ja on läpinäkyvä kaikille korkeamman tason protokollille, kuten TCP/IP ja UDP. EtherCAT-kenttäväylä koostuu isännästä ja seuraajalaitteista 65 535 solmuun asti. Laitteet yhdistetään toisiinsa standardi Ethernet-kaapelilla. EtherCAT tukee useita eri verkkotopologioita, kuten linjaa, tähteä ja puuta. (9, s.4.)

Useat sovellukset vaativat samaan aikaan ja korkeilla nopeuksilla toimivia toimintoja, ja EtherCAT on ratkaissut tämän hajautettujen kellojen (distributed clocks, DC) avulla. Kellojen kalibrointi tapahtuu laitteistopohjaisesti, kun DC-seuraajalaitte ottaa ensimmäisen kerran syklisesti yhteyden muihin hajautettuihin laitteisiin järjestelmässä. Tämän toiminnon avulla seuraajalaitteen kello saadaan asetettua alle 1µs:n tarkkuuteen referenssilaitteesta. (26.)

4.6 ABB ja kenttäväylät

ABB:n taajuusmuuttajat kommunikoivat PLC:n kanssa kenttäväyläadaptereiden kautta, jotka ovat kiinnitetty taajuusmuuttajien ohjausyksikköihin. Kenttäväyläadapteri toimii rajapintana taajuusmuuttajan ja PLC:n välillä (kuva 11.). Viestit liikkuvat kenttäväyläadapterin ja PLC:n välillä bittijonona, jonka kenttäväyläadapteri muuttaa taajuusmuuttajalle luettavaksi oikeaan muotoon. Kenttäväyläadapterit eivät ole taajuusmuuttajaan sisään rakennettuina, vaan ovat vaihdettavissa tarpeen mukaan ja joihinkin taajuusmuuttajiin on mahdollista valita samaan aikaan käytettäväksi kaksi samaa tai eri kenttäväyläprotokollaa. Usean kenttäväyläadapterin etuihin kuulu se, että taajuusmuuttajaa voidaan ohjata vielä toisen kenttäväyläadapterin menettäessä yhteyden. (4, s.567.)



Kuva 11. Yksinkertaistettu PLC-taajuusmuuttaja-moottori -kaavio.

Tietoliikenneprofiilit määrittävät, kuinka kommunikointi tapahtuu taajuusmuuttajan ja isännän välillä. Tarkemmin tietoliikenneprofiilit määrittävät kuinka ohjauskomennot, kuten ohjaussana, tilasana ja referenssi siirretään taajuusmuuttajalle. Käytettävät tietoliikenneprofiilit määrittyvät käytettävän kenttäväyläadapterin mukaan. Kuitenkin eri kenttäväyläadapterit tukevat eri tietoliikenneprofiileja. (16, s.76.)

ABB:n taajuusmuuttajat käyttävät PROFINET-kommunikointiin PROFINET-kenttäväyläadapteria. Vaihtoehtoina tällaisista kenttäväyläadaptereista toimii FENA-11, FENA-21 ja FPNO-21, joista viimeinen tukee seuraavia profileja:

- PROFIdrive

- ABB drive
- Transparent 16-bit
- Transparent 32-bit. (17, s.76.)

ABB:n taajuusmuuttajat käyttävät Ethernet/IP -kommunikointiin Ethernet/IP -kenttäväyläadapteria. Tämän kaltaisia kenttäväyläadaptereita ovat FENA-11, FENA-21 ja FEIP-21. FEIP-21 tukee seuraavia profiileja:

- ODVA AC/DC
- ABB drive
- Transparent 16-bit
- Transparent 32-bit. (28, s.54.)

ABB tukee useita muita perinteisempiä kenttäväyläprotokollia, eikä se rajoitu vain Ethernet-pohjaisiin väyliin. Tämän kaltaisia kenttäväyläprotokollia esimerkiksi ovat Modbus/RTU ja PROFIBUS, kun Ethernet-pohjaiset ovat Modbus/TCP ja Powerlink.

4.7 OPC Unified Architecture

OPC Unified Architecture (UA) on julkaistu vuonna 2008. Se on itsenäinen ja palvelukeskeinen alusta-arkkitehtuuri. OPC UA:n tarkoituksena on integroida kaikki OPC Classicin toiminnallisuudet yhdeksi laajaksi kehikseksi. OPC UA:n kehityksen painopisteet ovat toiminnallinen vastaavuus, käyttöjärjestelmästä riippumattomuus, turvallisuus, laajennettavuus ja kattava tiedon mallintaminen. (29.)

OPC UA suunniteltiin toiminnallisesti vastaamaan OPC Classicia siten, että sillä on kyky toimia OPC Classicin sovellusten kanssa. OPC UA pystyy kuitenkin ylittämään OPC Classicin rajoitukset. OPC UA pystyy etsimään OPC-palvelimen paikallisesta tietokoneesta ja verkosta. Se esittää osoitetilan kaikki tiedot hierarkkisella rakenteella, jotta OPC-asiakkaat voivat hyödyntää yksinkertaisia tai monimutkaisia rakenteita. OPC UA:n avulla voidaan pyydettäessä kirjoittaa ja lukea tietoja käyttöoikeuksien perusteella. OPC-asiakas pystyy määrittämään erikseen tapahtumat, joista halutaan ilmoitus. Asiakas pystyy myös suorittamaan ohjelmia OPC-serverin määrittämien metodien avulla. (30.)

Käyttöjärjestelmästä riippumattomuus tarkoittaa, että OPC UA:n avulla voidaan yhdistää erilaisia laitteistoja (PLC, PC, pilvipohjaiset palvelimet ja yms.) ja operoivia järjestelmiä

(Microsoft Windows, Apple OSX, Android ja yms.) yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Kokonaisuuden tarkoituksena on kattaa koko yrityksen välinen tietoliikenne, kuten laitteelta laitteelle ja laitteelta yritykselle. (29.)

Tietoliikenteen turvallisuus on yksi nykypäivän suurimmista teknologian haasteista. Näihin haasteisiin OPC UA pyrkii vastaamaan useilla menetelmillä. OPC UA on helposti käytettävissä palomuurin kanssa, ja se korjaa tietoturva ongelmia ohjauksen eri tavoilla, kuten siirtämisellä, istuntojen salauksella, viestien allekirjoituksella, pakettien sekvensoinnilla, käyttäjän hallinnalla, auditoinnilla ja todennuksella. Todennuksella määritetään, mitkä systeemit ja laitteet saavat yhdistyä toistensa kanssa. (29.)

5 Turvallisuus

Turvallisuuden funktio on suojata ihmisiä ja ympäristöä vahingoilta ja riskeiltä, jotka aiheutuvat koneista. Toiminnallisen turvallisuuden järjestelmät ovat tapa poistaa onnettomuuksien mahdollisuutta tahattomissa vaaratilanteissa. Turvallisuusstandardi luonnehtii turvallisuuden vapautena hyväksyttämättömästä riskistä. Hyväksyttävät riskitasot on määritelty koneturvallisuusstandardissa. (30, s.414.)

Toimivin tapa rajoittaa riskejä on suunnitella laitteet turvallisiksi, jos laitetta ei ole mahdollista tai käytännöllistä suunnitella turvalliseksi, tulee turvaamisen tapahtua kiinteällä suojalla tai turvatoiminnolla. Koneturvallisuudentoimilla voidaan vähentää liikkuvista osista aiheutuvia riskejä ylläpitäen tuottavuutta ja käytettävyyttä. Lakisääteisillä koneturvallisuustoimilla turvataan myös ihmisten ja ympäristön turvallisuus. (30, s.414.)

Koneiden toiminnallinen turvallisuus tarkoittaa usein, että järjestelmää voidaan tarvittaessa seurata ja ohjata turvallisesti. Toiminnallisen turvallisuuden järjestelmät ovat suunniteltu siten, että ne havaitsevat vaaratilanteet tai käyttäjän tekemän turvatilapyynnön. Näissä tilanteissa kone saatetaan turvalliseen tilaan, esimerkiksi turvapysäytykseen. (30, s.414.)

5.1 Sähköturvallisuus

Sähköturvallisuuslailla halutaan turvata sähkölaitteen ja -laitteiston käytön turvallisuus. Sähköturvallisuuslailla estetään sähkön käytöstä aiheutuvat sähkömagneettisten häiriöiden vahingolliset vaikutukset. Lailla pyritään myös turvaamaan edellä mainituista vahingoista kärsineiden oikeudet. Tämän lisäksi sähköturvallisuuslaki määrittelee sähkölaitteiden vaatimustenmukaisuuden ja vapaan liikkuvuuden. (31.)

Sähköturvallisuuslaissa määritellään sähkölaitteita ja -laitteistoja koskevia vaatimuksia. Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava, huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksen mukaisesti niin, että

- kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle ei aiheudu vaaraa
- sähköisesti tai sähkömagneettisesti ei aiheudu kohtuutonta häiriötä

- toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. (31.)

Standardeista poikkeaminen määritellään sähköturvallisuuslaissa tilanteessa, kun vaadittu turvallisuustaso pystytään saavuttamaan toisella tavalla. Standardista poiketessa on sähkölaitteiston suunnittelijan tai rakentajan tehtävä kirjallinen selvitys ja heillä täytyy olla tilaajan suostumus. Selvityksen perusteella täytyy pystyä todentamaan vaatimusten täyttyminen. Selvitystä voidaan täydentää valtuutetun laitoksen tai tarkastajan lausunnolla. (31.)

Sähköisille testauslaitteistoille on asetettu vaatimuksia standardissa *SFS-EN 50191 Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö*. Standardissa määritellään, että testauslaitteisto on rakennettava ja toteutettava testauspaikkana, -laboratoriona, tutkimuslaitoksena tai tilapäisenä testauslaitteistona. (32, s.14.)

Standardissa myös käsitellään sähköiskuilta suojausta ja jännitteen siirtymisen estämistä. Sähköiskuilta suojaus tulee tapahtua niin, että jännitteiset osat on eristetty ja suojattu kosketukselta. Tämä tapahtuu käytännössä kansilla, koteloinnilla, puomeilla tai turvaetäisyydellä. Suojauksen tulee täyttää vähintään IP3X-kotelointiluokan vaatimukset. Jännitteen siirtymisen testausalueen ulkopuolella oleviin johtaviin osiin on estettävä. Estäviä toimenpiteitä ovat maadoitus, osien peittäminen, johtoreittien sopiva valinta tai jännitteisten osien suojaaminen kosketukselta. (32, s.18.)

Testauslaitteiston täytyy sisältää laite, joka ilmoittaa testilaitteen toiminnan- ja käyttötilanteen, kuten merkki- ja varoitusvalot. Testauslaitteistossa täytyy olla myös hätäkytkentälaitte, jonka avulla voidaan katkaista vaaraa aiheuttavat sähköenergiat. Sähkökatkoksen jälkeen testauspiirit eivät saa tulla automaattisesti jännitteisiksi. (32, s.16–18.)

Testauslaitteistojen käyttöä varten on omat edellytykset. Standardissa määritetään, että testauslaitteistoa saavat käyttää vain henkilöt, jotka ovat alan ammattihenkilöitä tai ammattihenkilön ohjauksessa ja valvonnassa olevat henkilöt. Laitteistolla täytyy olla käyttöohjeet, jotka sisältävät tiedot laitteen turvalliseen toimintaan. Ennen testauslaitteiston käyttöä tulee laitteisto tarkastaa ulkoisten vaurioiden tai vikojen havaitsemiseksi. Havaittujen vikojen tai vaurioiden jälkeen laitteistoa ei saa käyttää. Testauslaitteiston kunnossapidon sekä oikean kunnon ja toiminnan tarkastamisen saa suorittaa vain ammattitaitoinen henkilö. Kunnon ja toiminnan tarkastamisesta on kirjattava saadut tulokset muistiin. (32, s.24.)

6 Testilaitteiston suunnittelu ja vaatimukset

Opinnäytetyö tehdään taajuusmuuttajien teknisen tuen yksikön käyttöön, ja sen on tarkoitus lisätä yksikön PLC- ja kenttäväylätestaus mahdollisuuksia. Yksiköllä on jo valmiiksi käytössä vastaavanlaisia testausmahdollisuuksia vanhemmilla komponenteilla. Testaukset perustavat pääsääntöisesti asiakkaiden kohtaamiin ongelmiin, jotka ovat pohjautuvat konfiguraatioon, yhteensopivuuteen ja kommunikaatioon. Asiakkailta on usein käytössään uusimmat komponentit. Teknisen tuen yksikkö pyrkii vastaamaan asiakkaiden kohtaamiin tilanteisiin ja konfiguraatioihin mahdollisimman tarkasti, mikä on yksi testilaitteiston päivityksen syistä. Yksi testauksen haasteista on se, että vakiotestejä ei ole olemassa muuta kuin kommunikaation toiminnan todentaminen, vaan suoritettavat testit riippuvat täysin asiakkaan käyttämistä toiminnoista ja sovellusten tarpeista.

Taajuusmuuttajien teknisen tuen näkökulmasta testaamista tehdään:

1. Asiakkaan ongelmatilanteen selvittämiseksi ja heidän kysymyksiinsä vastaamiseksi.
2. Ohjelmisto- ja laitevikojen tunnistamiseksi. Tarkoituksena on ymmärtää laitteiden toimintaa eli kuuluuko laitteen/laitteiden toimia kyseisellä tavalla vai onko kyseessä ei-haluttu toiminnallisuus. Mahdollisista ohjelmisto- ja laitevioista tehdään raportti, jonka pohjalta laitteita ja ohjelmistoja voidaan kehittää.
3. Teknisentuen osaamisen lisäämiseksi. Osaamisen lisäämisen tarkoituksena on nopeuttaa ja laadultaan parantaa testaus-, sekä vastausprosesseja.

Laitteistoa aloitettiin suunnittelemaan vanhan PLC-testiräkinpohjalta. Samalla pyrittiin hyödyntämään vanhan testilaitteiston osia mahdollisimman paljon. Testilaitteiston vaatimuksiin kuului kaksi teollisuus-Ethernet -pohjaista kenttäväylää (PROFINET ja Ethernet/IP) sekä ohjelmoitavat logiikat, jotka valittiin teknisen tuen yksikön tarpeiden ja käytössä olon yleisyyden mukaan. EtherCAT lisättiin työn teoriaosuuteen, sillä se on yleisesti käytössä oleva teollisuuden Ethernet. EtherCAT kuitenkin rajattiin fyysisestä toteutuksesta pois, koska teknisen tuen yksiköltä löytyy jo päivitetty ratkaisu kyseiselle kenttäväyläprotokollalle. Testilaitteistoon valitut PLC:t ja kenttäväyläadapterit ovat seuraavat:

- ABB:n CM583-ETH ja FPNO-21(PROFINET)

- Siemensin 1516F-3 PN/DP ja FPNO-21 (PROFINET)
- Rockwellin ControlLogix 5582ES ja FEIP-21 (Ethernet/IP)

FPNO-21 tukee seuraavia kommunikointiprofiileita: PROFIdrive, ABB Drives, Transparent 16-bit ja Transparent 32-bit. Näistä profiileista työssä käytettäväksi valittiin ABB drive -profiili PROFINETin kanssa. FEIP-21 on Ethernet/IP-kenttäväyläadapteri ja se tukee kommunikointiprofiileja, kuten ODVA AC/DC ja ABB Drives. Työhön valittiin ODVA AC/DC -profiili.

Testilaitteistolla haluttiin testata vähintään kommunikaation toimintaa kenttäväyläadapterin ja PLC:n välillä, joten ohjauspaneelista varattiin käytettäväksi DI1-, DI2-kytkimet, AI1-, AI2-säätimet ja kaikki DO:t toimivaksi eri funktioilla. Funktioiden on tarkoitus havainnollistaa ja helpottaa kommunikaation toiminnan tarkkailua. Teknisen tuen yksiköllä ei ole aikaisemmin ollut käytössä HMI-paneelia, ja siksi se haluttiin lisätä työhön. HMI-paneeli suunniteltiin suorittavan samat toiminnot kuin ohjauspaneeli, ja näin HMI-paneelin on tarkoitus havainnollistaa kommunikointia PLC:n ja taajuusmuuttajan välillä.

7 Testilaitteiston rakentaminen ja taajuusmuuttajan parametointi

7.1 Testilaitteiston rakentaminen

Testilaitteiston rakentaminen aloitettiin tilaamalla uudet PLC:t sekä liittimet syöttöpiisto-keita varten. Vanhasta testilaitteistosta poistettiin vanhat logiikat (Omron, Siemens ja ABB). Vanhoja loogikoita irrottaessa merkittiin ohjauspaneelin tulo- ja lähtöjohdotukset. Tarkoituksena säästää mahdollisimman paljon aikaa uudelleenkiinnitysvaiheessa. Ohjauspaneelin tulo-, lähtö- ja virtajohdotukset vedettiin kourua tai putkea pitkin kytkentäkoteloon. Kaapeleita oli huomattava määrä, ja niille haluttiin suojaa tarttumiselta, katkeamiselta ja siistimpää ulkonäköä. Kytkentäkotelo piti sisällään releen, kaksi virtalähdettä (12 V ja 24 V), riviliittimiä ja automaattisulakkeita. Automaattisulakkeet asennettiin siten, että niihin pääsee myös käsiksi ohjauspaneelin suojakannen alta.

Asennettavia ohjelmoitavia loogikoita varten testilaitteistoon asennettiin uudet kiinnityskiskot tai valmistajan omat kiinnitysmekanismit, joita varten taustalevyyn porattiin uudet reiät. Reiät siistittiin siten, että niistä ei myöhemmin irtoa jäystettä laitteiston sisään. Testilaitteiston alempaan taustalevyyn kiinnitettiin uusi ABB:n CM583-ETH ja ylempään taustalevyyn kiinnitettiin Siemensin 1516F-3 PN/DP ja Rockwellin Logix1756-L82ES CPU:t (kuva 12.).



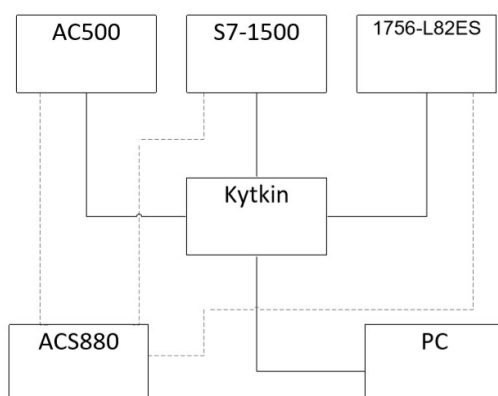
Kuva 12. Valmis testilaitteisto.

Ohjauspaneelin on jaettu kahteen osaan AC500-puoli ja vaihdettava PLC-puoli. Ohjauspaneeli pitää sisällään kytkimiä (32 kpl), ledejä (32 kpl), analogisäätimä (4 kpl) ja neljä kappaletta automaattisulakkeita. AC500-puoli kytkettiin suoraan AC500:n analogi-, digitaalilähtöihin ja -tuloihin. Vaihdettava PLC-puoli kytkettiin riviliittimen kautta adapteriin, jonka avulla voidaan vaihtaa ohjelmoitavaa logiikkaa käyttötarpeen mukaan S7-1500:n ja 5582ES:n välillä.

Vaihdettavien logiikoiden sähkökytkentä toteutettiin turvallisuussyistä siten, että ne vaativat käynnistymiseen sekä syöttöpistokkeen ja adapterin saman aikaisen kiinnityksen saman PLC:n komponentteihin. Tarkoituksena oli lisätä testilaitteiston turvallisuutta niin mekaanisesti kuin sähköisesti. Turvallisuustoiminnot suoritettiin adapterin pinnin, syöttöpistokkeen ja releen avulla.

Testilaitteiston pääsyöttö kytkettiin pääkytkimen taakse, joka on kytketty neljään automaattisulakkeeseen. Sähköt ovat siis jaettuna neljään osaan: vaihdettavat logiikat, AC500, HMI-paneeli ja verkkokytkin. Sulakkeiden tarkoituksena on taata mahdollisimman turvallinen työskentely testien ja käytön aikana. Jokainen PLC maadoitettiin laitteiston runkoon ja rungosta lähtee erillinen maadoituskaapeli, joka on tarkoitus kytkeä testilaboratorioiden erillisiin maadoituspisteisiin.

Testilaitteistoon vaihdettiin verkkokytkin. Verkkokytkimen avulla voidaan käyttää testilaitteiston kaikkia väyliä vaihtamalla vain adapteri, syöttöpistoke ja yksi Ethernet kaapeli (kuva 13.). Tämän tarkoituksena on nopeuttaa ongelmatilanteiden ratkaisua ja helpottaa testausympäristön luomista.



Kuva 13. Testilaitteiston topologia PC:n ja taajuusmuuttajan kanssa.

7.2 AC500 PLC:n asennus

CM583-ETH on CPU eikä se pysty yksinään toimimaan ohjaavana yksikkönä. CM583-ETH rinnalle asennettiin kenttäväylämoduuli (CM579) PROFINET-kommunikointia varten. CM579 yhdistettiin Ethernet-kaapelilla FPNO-21:een. Digitaalisignaaleita varten käytössä on kaksi I/O-moduulia (DC522). Toinen I/O-moduuleista kytkettiin suoraan ohjauspaneelin AC500 puolen digitaalituloihin, kun taas toinen I/O-moduuli kytkettiin digitaalilähtöihin. I/O-moduuleihin jäi ylimääräisiä tuloja ja lähtöjä, joita voidaan hyödyntää myöhemmin testauksen yhteydessä. Analogisignaaleja varten AC500:n rinnalle asennettiin analogimoduuli (AX521), joka kytkettiin suoraan ohjauspaneelin AC500 puolen analogisäätimeen. Kenttäväylämoduuli, I/O-moduulit ja analogimoduuli ovat yhteydessä CM583-ETH:hen kiinnitysalustan kautta. AC500 v3 pystyy tulevaisuuden päivitysten jälkeen kommunikoimaan kenttäväylän kautta ilman erillistä kommunikointimoduulia.

7.3 ControlLogix PLC:n asennus

Rockwellin ControlLogix 1756-L82ES on ohjelmoitava turvalogiikkaa. Niin kuin ABB myös Rockwell on ratkaissut kenttäväyläkommunikoinnin erillisellä kenttäväylämoduulilla, joka asennettiin ControlLogix 1756-L82ES:n rinnalle. CPU:n ja kenttäväylämoduulin rinnalle asennettiin DeviceNet-, digitaali- ja analogimoduulit. Digitaali- ja analogimoduulien tulot ja lähdöt kytkettiin ristikytkentäkorttiin, joka yhdistetään ohjauspaneeliin adapterin ja riviliittimien avulla. Toisin kuin muut työssä käytettävät logiikat Rockwellin malli vaatii oman virtalähteensä. Työssä käytetyt Rockwellin tuotteet kiinnitettiin erilliseen kiinnitysalustaan, joka on erikseen suunniteltu valmistajan moduuleita varten. 1756-L82ES eroaa myös muista logiikoista, sillä se tarvitsee digitaalituloille ja -lähdöille oman maapotentiaaliin.

7.4 S7-1500 PLC:n asennus

Siemensiltä työssä käytettiin S7-1500 sarjan CPU 1516F-3 PN/DP, jossa on integroituna PROFINET-kommunikointiportti. Tämän lisäksi rinnalle asennettiin S7-1500 -sarjan digitaali- ja analogimoduulit, joiden tulot ja lähdöt kytkettiin ristikytkentäkorttiin. Ristikytkentäkortti yhdistettiin ohjauspaneeliin adapteriin ja riviliittimen avulla. S7-1500 -sarja vaatii oman kiinnityskiskon, jossa on erillinen kiinnityspiste maadoitusta varten.

7.5 Taajuusmuuttajan parametrien asettaminen

Ennen demosalkun käyttöönottoa taajuusmuuttajan ohjelmisto päivitettiin versioon 2.90 ja taajuusmuuttaja valmisteltiin parametreja ja ID-ajoa varten. ID-ajoa varten taajuusmuuttajalle määritettiin moottoriarvot, jotka löytyvät moottorikilvestä. ID-ajon jälkeen taajuusmuuttajaan asennettiin kaksi kenttäväyläadapteria, FEIP-21 (Ethernet/IP) ja FPNO-21 (PROFINET).

Taajuusmuuttajan parametrien asettaminen suoritettiin käyttämällä Drive Composer 2.4 -ohjelmaa. Parametrien asettaminen aloitettiin profiilien välisistä yhteisistä parametreista, joihin kuuluvat taajuusmuuttajan käynnistys-, pysäytyskomennon, vikatilanteen kuitauksen ja ohjearvon lähde. Nämä parametrit asetettiin tulemaan kenttäväylältä.

Jokainen kenttäväylä vaatii taajuusmuuttajan puolelta hieman omanlaisen konfiguraation. Taajuusmuuttajalle asetettiin käytettävä profiili, väylätyyppi ja mahdollisesti IP-osoitteet. Tässä työssä FPNO-21:n kanssa käytetään ABB drives -profiilia ja FEIP-21:n kanssa käytetään ODVA AC/DC -profiilia. Näiden tietoliikenneprofiilien määrittämisessä on suurimmat erot tulevat, kun puhutaan IP-osoitteen määrittämisestä. Käytettäessä ODVA AC/DC -profiilia taajuusmuuttajan IP-osoite asetettiin staattisesti, kun taas PROFINET-protokollan kanssa osoite määritettiin dynaamisesti parametrin 51.25 mukaan. Tämä parametri määrittää taajuusmuuttajan PROFINET-nimen asetetun arvon mukaan muodossa "abbdrive-xx", jossa xx-osa kuvaa asetettua arvoa. Asetettu arvo tarkistetaan vain uudelleen käynnistyksen yhteydessä, jolloin kenttäväyläadapteri validoi parametreihin tehdyt muutokset. (17, s.32.)

8 PLC-ohjelma

Jokaisen PLC:n ohjelmointiin vaadittiin valmistajakohtainen ohjelmointiympäristö. ABB:lta käytössä on Automation Builder v2.2, Siemensiltä TIA Portal v14 ja Rockwellilta Studio5000. Ohjelmointiympäristöihin suoritettiin lisensointi ennen niiden käyttöönottoa. Ennen ohjelmoinnin aloittamista PLC:lle asetettiin IP-osoite, jonka kautta tietokoneen verkkokortilta otettiin yhteys PLC:hen.

PLC-ohjelmat aloitettiin luomalla uusi projekti ohjelmointiympäristössä ja lisäämällä tarvittavat tiedostot projektiin. Tällaisia tiedostoja ovat GSDML- ja EDS-tiedostot. Jokaiseen ohjelmaan lisättiin projektiin kuuluvat laitteet, joihin konfigurointiin tarvittavat tiedot, kuten IP-osoitteet, PPO-tyypit ja I/O-signaalien jännitealueet.

Itse PLC-ohjelmointi aloitettiin luomalla digitaalituloille ja -lähdöille muuttujat. Digitaalilähdöt (16 kpl) ovat asetettu ohjelmaan tavalla, jossa jokainen lähtö vastaa aina yhtä ABB:n taajuusmuuttajan tilasanan bittiä. Bittien tilaa indikoi testilaitteiston ohjauspaneelissa olevat ledit, jotka ovat päällä, kun bitti on arvoltaan yksi. TIA Portal -ohjelmointiympäristössä tilasanalle tehtiin datatyypinmuunnos funktiolla "Int to BCD16", joka mahdollistaa yksittäisten bittien asettamisen digitaalilähtöihin. Muissa ohjelmointiympäristöissä tilasanan bitit yhdistettiin yksitellen digitaalilähtöihin.

Digitaalitulot ohjelmoitiin tekemään erinäisiä tehtäviä, kuten käynnistys-, pysäytyskomento ja vikatilanteen kuittaus. ABB Drives -profiilissa käynnistystä ja pysäytystä pystytään ohjaamaan ohjaussanan bitti kolmen mukaan. Bitti kolme asetettiin aktiiviseksi ohjauspaneelin DI1-kytkimellä. Ohjaussanan integer-arvolla 1143 taajuusmuuttaja on pysähtynyt ja vaatii tämän arvon ennen käynnistymistä arvolla 1151. Ohjaussanan bitti numero seitsemällä pystytään ohjaamaan vikatilanteen kuittausta, joka on ohjelman kautta yhdistetty ohjauspaneelin DI2 -kytkimeen.

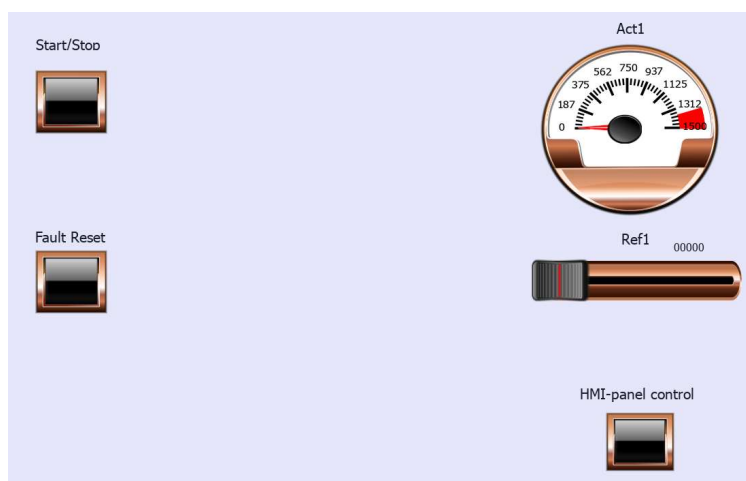
ODVA AC/DC -profiili toimii eri tavalla kuin ABB Drives -profiili. Se kuitenkin ohjelmoitiin tekemään samat funktiot ohjauspaneelin DI1- ja DI2-kytkimellä kuin ABB drives -profiili. ODVA AC/DC -profiili käyttää taajuusmuuttajan käynnistykseen ja pysäytykseen profiilin ohjaussanan ensimmäistä bittiä ja vikatilanteen kuittaamiseen ohjaussanan bittiä nolla.

Taajuusmuuttajan saamaa nopeusreferenssiä säädetään ohjauspaneelin analogisäätimen asennon mukaan. Ohjelma tarkkailee analogisäätimeltä tulevaa jännitettä ja muuttaa sen kokonaisluvuksi lukujen 0...28000 välillä. Tämän kokonaisluvun taajuusmuuttaja muuttaa nopeusreferenssiksi, joka määrittää siis sähkömoottorin halutun pyörimisnopeuden riippuen moottorin raja-arvoista.

Ohjelmien toimivuutta eri profiileilla testattiin tarkkailemalla taajuusmuuttajan ohjaussanoja ja toimintaa suorittavan ohjelman eri vaiheissa. Ohjelman toimivuus vastasi niitä vaatimuksia, mitkä sille oli annettu ja näin ollen se todettiin toimivaksi.

HMI-ohjelma

HMI-ohjelman hahmotteleminen aloitettiin luomalla muuttujat kosketuspaneelille Automation Builder -ohjelmointiympäristössä. Muuttujat linkitetään myöhemmin PanelBuilder 600 -ohjelmaan. Linkityksen jälkeen PanelBuilder 600 -ohjelmassa kosketusnäytölle luotiin visuaaliset painikkeet ja säätimet, joiden avulla taajuusmuuttajaa pystytään ohjaamaan (kuva 14.). Näitä ohjauskomentoja ovat käynnistys, pysäytys, referenssi ja vikatilanteen kuittaus. Prosessin ollessa päällä (arvolla 1151) Start/Stop -napissa palaa vihreä valo. Näytölle luotiin myös valintanappi, joka määrittää taajuusmuuttajan ohjauksen sijainnin tulevan ohjauspaneelilta tai kosketusnäytöltä. Ohjauksen sijainnin tilaa indikoi paneelissa oleva valo, joka palaa vihreänä, kun ohjaus tulee HMI-paneelilta. Kosketusnäytöltä pystytään myös seuraamaan moottorin todellista pyörimisnopeutta ja tilasanaa.

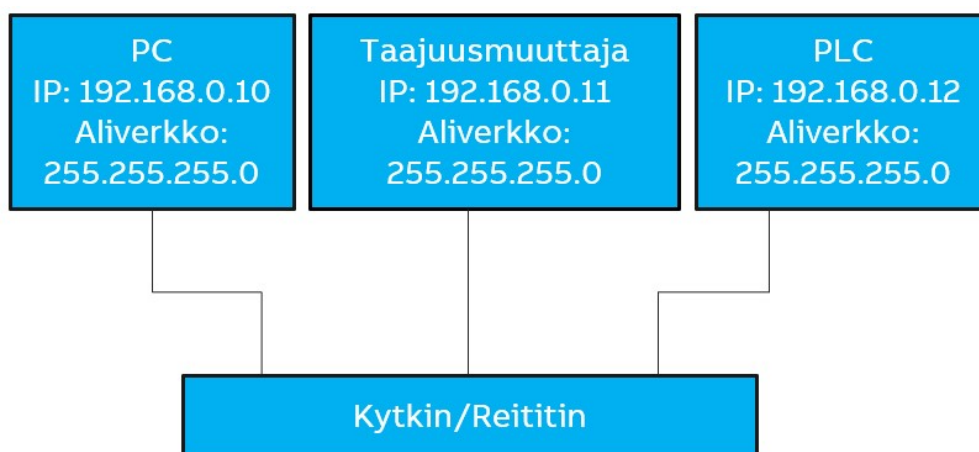


Kuva 14. HMI-käyttöliittymän näkymä.

9 Testilaitteiston käyttöönotto

Testilaitteiston toiminta ja turvallisuus täytyy tarkistaa visuaalisesti sähköisiltä vaaroilta ennen sen käyttöönottoa. Laitteistossa ei saa olla ylimääräisiä roikkuvia sähköjohtoja ja tarkistaa, että laboratorion maadoituspisteeseen tarkoitettu maadoituskaapeli on oikein kytketty.

Kommunikaatioyhteyksistä täytyy tarkistaa Ethernet-kaapelien kiinnitykset PLC:den, kenttäväyläadapterien ja PC:n välillä. Seuraavassa vaiheessa tarkistettiin laitteiden IP-osoitteet ja se, että ne ovat samassa verkossa. IP-osoitteita konfiguroidessa tulee ottaa huomioon, että kaksoiskappaleita ei synny eli kaikilla laitteilla tulee olla oma IP-osoite (kuva 15.).



Kuva 15. Esimerkkikuva toimivasta laitteiden välisestä verkkotopologiasta.

Ohjelmoitavien logiikoiden IP-osoitteet lukevat PLC:den kansissa. Tällä tavalla pyrittiin estämään tarpeeton osoitteiden muutos ja hukkaaminen. PLC:n ja PC:n välinen yhteyden muodostaminen vaatii PC:n palomuurin ottamisen pois päältä. PC:n IP-osoite voidaan muuttaa tietokoneen verkkokortilta tai vaihtoehtoisesti USB-Ethernet -adapterin avulla. Taajuusmuuttajien kenttäväyläparametrit ladattiin muistitikulle, josta ne pystytään tarvittaessa päivittämään takaisin taajuusmuuttajalle. PLC-projektit ladattiin myös muistitikulle.

Aina ennen taajuusmuuttajan käyttöönottoa tulee taajuusmuuttajalle suorittaa ID-ajo. ID-ajon avulla varmistutaan, että taajuusmuuttaja tietää, millainen sähkömoottori siihen on kytketty ja osaa syöttää sinne oikean määrän virtaa moottoriarvojen mukaan. ID-ajon

jälkeen taajuusmuuttajalle asetetaan parametrit. Testilaitteiston kannalta tärkeimmät parametrit ovat kenttäväylä kohtaiset parametrit, käynnistys-, pysähdyskomentojen, vikatilanteen kuittauksen ja ohjearvon lähde, jotka asetettiin tulemaan kenttäväylältä. Taajuusmuuttajalle ei voi sanoa yhtä oikeaa konfiguraatiota, sillä parametrit ovat riippuvaisia sovelluksen tarpeista. Testilaitteistolla ei haluta rajoittaa taajuusmuuttajan toiminnallisuuden mahdollisuuksia, ja siksi työssä ei oteta kantaa muihin kuin kenttäväylä parametreihin.

10 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa testilaitteisto ABB Drivesin taajuusmuuttajien teknisen tuen käyttöön, jossa sillä oli tarkoitus suorittaa testejä. Testilaitteiston tuli pohjautua yleisimpiin teollisuuden Ethernet-pohjaisiin kenttäväylä ratkaisuihin. Valmiin laitteiston tuli poistaa mahdollisimman monta välivaihetta testausympäristön luomisesta ja näin tehostaa koko testausprosessin läpivientä.

Työn lopullisena tuloksena valmistui toimiva testilaitteisto, jonka avulla pystytään testaamaan ja vertailemaan eri kenttäväyläkommunikointia, taajuusmuuttajan reaktiota väylältä tuleviin käskyihin ja kenttäväyläadapterien toimivuutta. Testilaitteisto eroaa aikaisemmasta versiosta siten, että siinä on päivitettyt PLC:t ja muut komponentit ja sen pääpainopisteenä on teollisuus-Ethernet. Tällä tavalla ylläpidetään testilaitteiston toiminnot ajan tasalla ja varmistetaan sen soveltuvuus toiminnallisuuksien testaamiseen jatkossakin.

Testilaitteisto vastaa toteutukseltaan hyvin paljon alkuperäistä suunnitelmaa, jonka mukaan piti pystyä havainnollistamaan kenttäväyliä ja PLC:n toimintaa ABB:n taajuusmuuttajien kanssa. Työhön jätettiin vielä kuitenkin laajentamisen varaa OPC UA:lle ja muille kenttäväylä protokollille, jotka tullaan mahdollisesti lisäämään testilaitteistoon myöhemmin.

Suurimmat vaikeudet työn aikana kohdistuvat ohjelmointiympäristöjen lisensointiin, jossa jouduttiin turvautumaan eri asiantuntija tahoihin ongelman ratkaisemiseksi. Tämä aiheutti työssä muutaman viikon viivästyksen. PLC:iden ohjelmointi sujui aikataulussa ilman viivästyksiä. Muita eteen tulleita haasteita oli vanhojen sähkökuvien puuttuminen, josta johtuva sähkötöiden selvittäminen vei suunniteltua enemmän aikaa. Ongelmista huolimatta voidaan katsoa, että alkuperäisessä aikataulussa pysyttiin kohtuullisen hyvin.

Lähteet

- 1 Mikä on taajuusmuuttaja. Verkkoaineisto. Danfoss. <<https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>>. Luettu 25.3.2020.
- 2 Tuominen, Olli-Erkki. 2010. Taajuusmuuttaja. Verkkoaineisto. Theseus-tietokanta. Luettu 2.3.2020.
- 3 Tekninen opas nro 4. – Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. Verkkoaineisto. ABB. <https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf>. Luettu 15.3.2020.
- 4 ACS880 primary control program manual. 2019. Verkkoaineisto. ABB Drives. <https://library.e.abb.com/public/3a639c9601584b57b712ebbf2aef461/AINF290x_en.pdf>. Luettu 2.3.2020.
- 5 Erlandsson, Tobias; Rahaman, Mohammad Mashiur. 2013. Testing and verifying PLC code with a virtual model of Tetra Pak Filling Machine. Verkkoaineisto. <<https://pdfs.semanticscholar.org/694a/85098864cb30f170c931eccfc578e94fac5f.pdf>>. Luettu 18.3.2020.
- 6 Overview of the IEC 61131 Standard. Verkkoaineisto. ABB. <<https://library.e.abb.com/public/81478a314e1386d1c1257b1a005b0fc0/2101127.pdf>>. Luettu 9.3.2020.
- 7 Taipale, Teemu, 2016. Kenttäväylät valvomotekniikassa. Verkkoaineisto. Theseus-tietokanta. Luettu 15.2.2020.
- 8 Felser, Max. 2002. The Fieldbus Standards: History and Structures. Verkkoaineisto. <<https://www.felser.ch/papers/FE-TR-0205.pdf>>. Luettu 15.20.2020.
- 9 Lin & Pearson. 2018. An inside look at industrial Ethernet communication protocols. Verkkoaineisto. Texas Instruments. <<http://www.ti.com/lit/wp/spry254b/spry254b.pdf>>. Luettu 23.3.2020.
- 10 The Common Industrial Protocol (CIP™) and the Family of CIP Networks. 2016. Verkkoaineisto. ODVA. <https://www.odva.org/Portals/0/Library/Publications_Numbered/PUB00123R1_Common-Industrial_Protocol_and_Family_of_CIP_Networks.pdf>. Luettu 25.3.2020.
- 11 Kumar, Sumit; Dalal, Sumit & Dixit, Vikek. 2014. The OSI-model: overview on the seven layers of computer networks. International Journal of

Computer Science and Information Technology Research. ISSN 2348-1196 (print), ISSN 2348-120X (online). Luettu 18.3.2020.

- 12 Abramowicz, Daniel. 2007. Design of the Session Layer Gateway Supporting Mobile, Delay and Disconnection Tolerant Communication. Verkkoaineisto. <<https://people.kth.se/~maguire/DEGREE-PROJECT-REPORTS/070326-Daniel-Abramowicz.pdf>>. Luettu 18.3.2020.
- 13 EtherNet/IP: Industrial Protocol White Paper. Paul Brooks. Verkkoaineisto. Rockwell. <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/enet-wp001_-en-p.pdf>. Luettu 18.3.2020.
- 14 Osadcii, Alexandr. 2017. Design and Implementation of Automatic Tests for Siemens PROFINET IO Development Kit. Verkkoaineisto. <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68133/F2-DP-2017-Osadcii-Alexandr-MT_Osadcii_2017.pdf?sequence=1>. Luettu 1.3.2020.
- 15 PROFINET for product development. Verkkoaineisto. Siemens <<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/profinet/development.html>>. Luettu 28.3.2020.
- 16 FENA-01/-11/-21 Ethernet adapter module - User's manual. 2018. Verkkoaineisto. ABB Drives. <https://library.e.abb.com/public/d6a31af1808043ba8ef53980031041ea/EN_FENA01_11_21_UM_E_A4.pdf>. Luettu 29.2.2020.
- 17 FPNO-21 PROFINET fieldbus adapter module - User's manual. 2018. Verkkoaineisto. ABB Drives. <https://library.e.abb.com/public/3dd046606c914c5198d22cdd14db17dc/EN_FPNO-21_UM_A_web.pdf>. Luettu 27.2.2020.
- 18 Configuration manual "Shared Device". 2016. Verkkoaineisto. Siemens <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/600/109741600/att_900558/v1/109741600_config_SharedDevice_en.pdf>. Luettu 15.4.2020.
- 19 What is "PROFINET SHARED DEVICE"? Verkkoaineisto. PROFINET UNIVERSITY. <<https://profinetuniversity.com/profinet-features/profinet-shared-device/>>. Luettu 15.4.2020.
- 20 S7-1500 Isochronous mode - Function Manual. 2018. Verkkoaineisto. Siemens, <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109755401/s71500_isochronous_mode_function_manual_en-US_en-US.pdf?download=true>. Luettu 13.3.2020.
- 21 PROFINET – the leading Industrial Ethernet Standard. Verkkoaineisto. PROFIBUS: <<https://www.profibus.com/technology/profinet/overview/>> Luettu.12.3.2020.

- 22 Which PROFINET devices support media redundancy and which system redundancy?. 2018. Verkkoaineisto. Siemens. <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/686/67364686/att_927504/v1/67364686_Media_and_System_Redundancy_V1_1_en.pdf>. Luettu 15.4.2020.
- 23 ETHERNET/IP COMMUNICATION. Verkkoaineisto. Powerlink. <<https://www.ethernet-powerlink.org/powerlink/industrial-ethernet-facts/selection-of-systems-for-review/ethernetip-communication>>. Luettu 20.3.2020.
- 24 EtherNet/IP Overview. Verkkoaineisto. ODVA. <<https://www.odva.org/Technology-Standards/EtherNet-IP/Overview>>. Luettu 15.3.2020.
- 25 EtherNet/IP - CIP on Ethernet Technology. 2016. Verkkoaineisto. ODVA. <https://www.odva.org/Portals/0/Library/Publications_Numbered/PUB00138R6_Tech-Series-EtherNetIP.pdf>. Luettu 22.4.2020.
- 26 EtherCAT – The Ethernet Fieldbus. Verkkoaineisto. EtherCAT. <<https://www.ethercat.org/en/technology.html>>. Luettu 23.3.2020.
- 27 FECA-01 EtherCAT® adapter module - User's manual. Verkkoaineisto. ABB Drives. <https://library.e.abb.com/public/b972c703e2aa42cd80ffd7fc6822f434/EN_FECA_01_UM_F_A4.pdf>. Luettu 23.3.2020.
- 28 EN/FEIP-21 Ethernet/IP fieldbus adapter module User's manual. 2018. Verkkoaineisto. ABB Drives. <https://library.e.abb.com/public/1d32ee5059ab4be2aa9b264fb346cdab/EN_FEIP-21_UM_A_A4.pdf>. Luettu 27.2.2020.
- 29 Unified Architecture. Verkkoaineisto. OPC Foundation. <<https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>>. Luettu 25.3.2020.
- 30 Technical guide book. Verkkoaineisto. ABB Drives. <https://library.e.abb.com/public/61e5d147bd6f436d96559fa456a710cc/Technical-GuideBook_EN_3AFE64514482_Rev1.pdf>. Luettu 08.1.2020.
- 31 Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. 2016. Verkkoaineisto. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>>. Luettu 08.1.2020.
- 32 Standardi SFS-EN 50191 Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö. 2011. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Automation Builder -ohjelma ja muuttujat

```
1  PROGRAM PLC_PRG
2  VAR
3      x                : INT  ;
4      HMI_Start        : BOOL ;
5      HMI_Stop         : BOOL ;
6      HMI_Fault_Reset  : BOOL ;
7      HMI_Ref1         : INT  ;
8      HMI_Act1         : INT  ;
9      HMI_Control       : BOOL ;
10 END_VAR

11 //Start- ja Stop-komento
12
13 IF DI1 OR HMI_Start THEN
14     CW:=1151;
15 ELSE
16     CW:=1143;
17 END_IF
18
19 IF HMI_Stop THEN
20     CW:=1150;
21 END_IF
22
23 //Referenssin asettaminen AI1-napin avulla
24 x:=AI1 ;
25
26 Ref1:=AI1 ;
27
28 //Referenssin asettaminen HMI:n kautta
29 IF HMI_Control THEN
30     x      :=      HMI_Ref1;
31     Ref1   :=      HMI_Ref1;
32 END_IF
33
34 //Fault reset
35
36 IF DI2 OR HMI_Fault_reset THEN
37     CW.7:= 1;
38 ELSE
39     CW.7:= 0;
40 END_IF
```

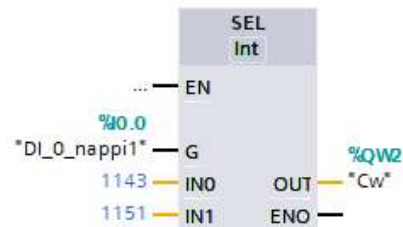
```
35 //Digitalilähdöt näyttämään Status Wordin bitit
36 //D1 ja Bitti 0
37 IF SW.0 THEN
38     DO1:=1;
39 ELSE
40     DO1:=0;
41 END_IF
42
43 //D2 ja Bitti 1
44 IF SW.1 THEN
45     DO2:=1;
46 ELSE
47     DO2:=0;
48 END_IF
49
50 //D3 ja Bitti 2
51 IF SW.2 THEN
52     DO3:=1;
53 ELSE
54     DO3:=0;
55 END_IF
56
57 //D4 ja Bitti 3
58 IF SW.3 THEN
59     DO4:=1;
60 ELSE
61     DO4:=0;
62 END_IF
63
64 //D5 ja Bitti 4
65 IF SW.4 THEN
66     DO5:=1;
67 ELSE
68     DO5:=0;
69 END_IF
70
```

```
1 {attribute 'qualified_only'}
2 VAR_GLOBAL
3 SW      : INT      ;
4 CW      : INT      ;
5 Ref1    : INT      ;
6 Act1    : INT      ;
7 DI1     : BOOL     ;
8 DI2     : BOOL     ;
9 HMI_Start : BOOL    ;
10 END_VAR
```

TIA portal -ohjelma ja muuttujat

▼ Network 1: Käynnistys ja pysäytys

Kun G on True drive lähtee käyntiin ja silloin kun G on 0 menee pois päältä.



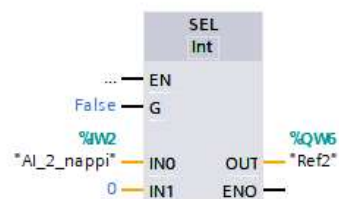
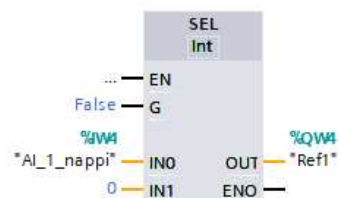
▼ Network 2: Vian kuittaus

DI2-nappi asetetaan säätämään ohjaussanan bittä 7.



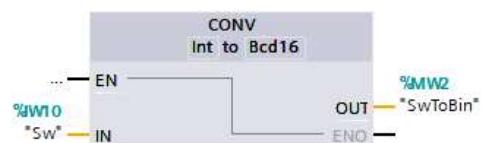
▼ Network 3: Referenssi vöylältä

Säätää Referenssi1 ja 2 analoginapista 1 ja 2



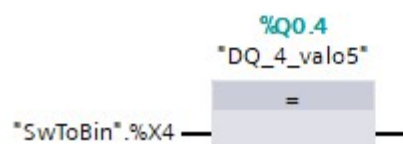
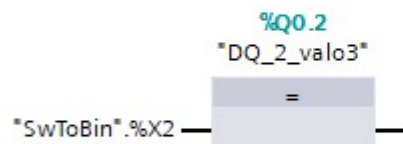
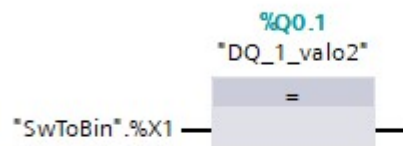
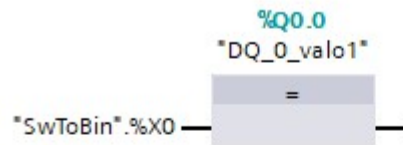
▼ Network 4: ControlWord muunnos





































































































































































































Tilasana muunnetaan blokin avulla binäärimuotoon



Network 5: StatusWordin bittien ohjaus DO-valoihin

ControlWordin bitti 0 ohjaa Do1



1		DI_0_nappi1	Bool	%I0.0					
2		DI_1_nappi2	Bool	%I0.1					
3		DI_2_nappi3	Bool	%I0.2					
4		DI_3_nappi4	Bool	%I0.3					
5		DI_4_nappi5	Bool	%I0.4					
6		DI_5_nappi6	Bool	%I0.5					
7		DI_6_nappi7	Bool	%I0.6					
8		DI_7_nappi8	Bool	%I0.7					
9		DI_8_nappi9	Bool	%I1.0					
10		DI_9_nappi10	Bool	%I1.1					
11		DI_10_nappi11	Bool	%I1.2					
12		DI_11_nappi12	Bool	%I1.3					
13		DI_12_nappi13	Bool	%I1.4					
14		DI_13_nappi14	Bool	%I1.5					
15		DI_14_nappi15	Bool	%I1.6					
16		DI_15_nappi16	Bool	%I1.7					
17		AI_2_nappi	Int	%IW2					
18		AI_1_nappi	Int	%IW4					
19		Cw	Int	%QW2					
20		Sw	Int	%IW10					
21		Always TRUE	Bool	%M2.4					
22		Ref1	Int	%QW4					
23		Ref2	Int	%QW6					
24		Tag_3	Word	%QW8					
25		Tag_4	Word	%QW10					
26		Tag_5	Word	%QW12					
27		Tag_6	Word	%QW14					
28		Tag_7	Word	%QW16					
29		Tag_8	Word	%QW18					
30		Tag_9	Word	%QW20					
31		Tag_10	Word	%QW22					
32		Tag_11	Word	%QW24					
33		DQ_0_valo1	Bool	%Q0.0					
34		DQ_1_valo2	Bool	%Q0.1					
35		DQ_2_valo3	Bool	%Q0.2					
36		DQ_3_valo4	Bool	%Q0.3					
37		DQ_4_valo5	Bool	%Q0.4					
38		DQ_5_valo6	Bool	%Q0.5					
39		DQ_6_valo7	Bool	%Q0.6					
40		DQ_7_valo8	Bool	%Q0.7					
41		DQ_8_valo9	Bool	%Q1.0					
42		DQ_9_valo10	Bool	%Q1.1					
43		DQ_10_valo11	Bool	%Q1.2					
44		DQ_11_valo12	Bool	%Q1.3					
45		DQ_12_valo13	Bool	%Q1.4					
46		DQ_13_valo14	Bool	%Q1.5					
47		DQ_14_valo15	Bool	%Q1.6					
48		DQ_15_valo16	Bool	%Q1.7					
49		SwToBin	Word	%MW2					

Studio 5000 -ohjelma ja muuttujat

[illegible]

