



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tuomas Mann

Turva-automaatio osana taajuusmuuttajan ohjausta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

7.10.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tuomas Mann Turva-automaatio osana taajuusmuuttajan ohjausta 51 sivua + 1 liite 7.10.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikan insinööri
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Eero Kupila
<p>Työn tavoitteena oli rakentaa kenttäväyläyhteyden kautta ohjattava taajuusmuuttaja, jota voidaan ajaa eteen- ja taaksepäin eri nopeuksilla, antaa momenttiohje sekä aktivoida turva-PLC:n kautta turvatoiminnot STO ja SS1-t. Työn tarkoitus on luoda pohja sille, että vastaava turva-automaatiota ja taajuusmuuttajia yhdistävä harjoitustyö voitaisi toteuttaa Metropolian Sähkövoimatekniikan laboratorioon opiskelijoille. Harjoitustyön toteuttaminen jäi tämän työn rajauksen ulkopuolella.</p> <p>Työhön kuului kahden eri ohjelmoitavan logiikan parametointi, väyläyhteyden rakentaminen taajuusmuuttajan ja logiikoiden välille sekä ohjauksen ja turvatoimintojen testaus. Taajuusmuuttajan ohjauksen testaaminen toteutettiin antamalla väyläyhteyden kautta ohjaussana ja nopeus- tai momenttiohje. Moottorin pyörimissuunta kerrottiin taajuusmuuttajalle antamalla nopeusohje, joka oli yli puolet väyläyhteyden kautta käytettävissä olevasta nopeusskaalasta. Nopeus- ja momenttiohjeen oikea toiminta todennettiin monitoroimalla väyläyhteyden yli moottorille menevää nopeus- ja momenttiohjetta.</p> <p>Turvaominaisuudet testattiin antamalla väyläyhteyden yli turvalogiikalta STO tai SS1-t käsky ja monitoroimalla taajuusmuuttajalta lähtevää virtaa ja jännitettä sekä turvatoimintojen tilan esittävää ohjaussanaa. Taajuusmuuttajan arvioimaan moottorin nopeutta monitoroitiin myös oikeanlaisen toiminnan tarkistamiseksi.</p> <p>Teoriaosuudessa kerrotaan lyhyesti, miten taajuusmuuttajat toimivat, tämän työn kannalta oleellimmat toiminnalliseen turvallisuuteen liittyvät käsitteet sekä ohjelmoitavien logiikoiden perusteet. Lopuksi käsitellään työn toteutusta ja testaamista.</p> <p>Työn tuloksena saatiin väyläyhteyden kautta ohjattava taajuusmuuttaja sekä mahdollisuus demonstroida kahta erilaista taajuusmuuttajan turvatoimintoa. Tämän työn pohjalta voidaan toteuttaa turva-automaation harjoitustyö Metropolian sähkövoimatekniikan laboratorioon. Opiskelijoille voidaan havainnollistaa sitä, miten turva-automaatio toimii taajuusmuuttajakäytöissä.</p>	
Avainsanat	FSPS-21, turva-automaatio, PLC, taajuusmuuttaja

Author Title	Tuomas Mann Safety automation as part of variable speed drive control
Number of Pages Date	51 pages + 1 appendix 7 th October 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineer
Professional Major	Automation engineering
Instructors	Eero Kupila, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis was to build a frequency converter controlled via a fieldbus connection which can be driven forwards and backwards at different speeds and to which it's possible to give torque reference via fieldbus connection. Safety automation components were used to build this fieldbus-controlled frequency converter setup. Therefore, this thesis also includes the possibility to demonstrate how safety functions STO and SS1-t operate. Based on this thesis it's possible to build similar exercise to Metropolia's Electrical power engineering laboratory for students. Building the exercise described in this thesis was left outside the scope of this work.</p> <p>The thesis work was interesting and included many of different aspects of automation engineering including safety automation. I hadn't done a similar work in the past so working on this thesis was both challenging and educational.</p> <p>Theoretical part briefly describes how frequency converters work and the basic concept of functional safety. Also programmable logics are covered in the theoretical part. In the last part of the work implementation and testing is described.</p> <p>The result of this thesis work was a frequency converter controlled via fieldbus connection with the ability to demonstrate safety functions STO and SS1-t. All of the objectives set for this thesis were achieved.</p>	
Keywords	FSPS-21, safety automation, PLC, frequency converter

Sisällys

Lyhenteet

1	Taajuusmuuttaja	5
2	Toiminnallinen turvallisuus	9
2.1	Turvallisuuden eheystaso ja riskin määrittäminen	10
2.2	Turva-automaatio taajuusmuuttajakäytössä	13
2.3	PROFIsafe	13
3	Ohjelmoitavat logiikat	17
3.1	PLC rakenne ja toiminta	18
3.2	Taajuusmuuttajan ja PLC:n välinen kommunikointi	20
3.3	Tilakoneen ja ohjaus- ja tilasanat	20
3.4	Tilakoneen virhe- ja estotilat	24
3.5	Keskusyksikön ohjelmointikielet	26
4	Opinnäytetyön toteutus	27
4.1	Toteutettu kytkentä	27
4.2	PLC:n parametointi	31
4.3	Automation builder ja CodeSys	31
4.4	Väyläohjauksen parametointi taajuusmuuttajalle	40
4.5	Toiminnan testaaminen	41
5	Yhteenveto	50
	Lähteet	52
	Liitteet	
	Liite 1. KytKentäkaavio	

Lyhenteet

CRC	Cyclic Redundancy Check. Tarkisteavaimen luomiseen tarkoitettu tiivistealgoritmi
FBD	Function Block Diagram. Graafinen ohjelmointikieli ohjelmoitaville logikoille.
HMI	Human Machine Interface. Käyttöliittymä ihmisen ja koneen väliseen kommunikointiin.
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor. Bipolaaritransistori.
IL	Instruction List. Tekstipohjainen ohjelmointikieli.
PC	Personal Computer. Yleisluontoinen tietokone.
PFD_{avg}	Average probability of failure on demand. Keskimääräinen vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys vaateen ilmetessä.
PFH	Probability of a dangerous failure per hour. Vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys tiheästi ilmaantuville vaateille.
PLC	Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka.
PWM	Pulse Width Modulation. Pulssinleveysmodulaatio.
PZD	Process data (Application specific). Prossessin käyttämä datasana.
SFC	Sequential Function Chart. vuokaavio-ohjelmointi askelmaiseen ohjelmointiin
SIL	Safety Integrity Level. Turvallisuuden eheystaso.

SS1-t	Safe Stop 1, Time controlled. Aikakontrolloitu turvapysäytys.
ST	Structured text. Rakenteinen teksti joka muistuttaa C- ja Pascal-kieltä
STO	Safe Torque Off. Turvallinen vääntömomentin poisto.
TET	Turvallisuuden Eheyden Taso.

Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa taajuusmuuttajan ohjaus väyläyhteyden kautta. Tavoitteeksi toimivalle väyläohjaukselle päädyttiin siihen, että taajuusmuuttajalta on pystyttävä lukemaan sen tilatietoja sekä antamaan nopeus ja momenttiohje. Turva-PLC eli turvatoimintoja hoitava ohjelmoitava logiikka pystyy lisäksi käskemään taajuusmuuttajan turvalliseen tilaan kahdella tavalla. Poistamalla momentin moottorin akselilta käyttämällä STO-komentoa tai ajamalla moottorin alas ajastettua ramppia pitkin SS1-t-komennolla. Ohjauksen toteuttava laitteisto koostuu kahdesta ohjelmoitavasta logiikasta, jotka keskustelevat Ethernet-yhteyden kautta turvaoption ja taajuusmuuttajan kanssa. Turvalogiikan viestit sekä ohjausviestit kulkevat saman kaapelin kautta, mikä vähentää kaapeloinnin tarvetta ja tuo huomattavaa etua perinteisiin turvajärjestelmiin verrattuna. Perinteiset turva-automaatiojärjestelmät rakentuvat yleensä kokonaan erillisen kaapeloinnin vaaraan.

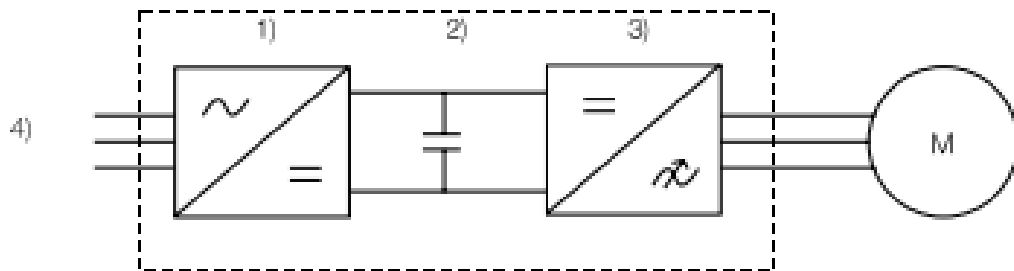
Opinnäytetyön pohjalta on mahdollista toteuttaa väyläohjaukselle toimiva harjoitustyö Metropolian Sähkövoimatekniikan laboratorioon sekä demonstroida turva-automaation tuomia etuja ja toimintoja. Harjoitustyön toteutus sähkövoimatekniikan laboratorioon jätettiin tämän työn ulkopuolelle työn selkeän rajaamisen takia. Aihe valittiin siksi, että vastaavaa harjoitustyötä ei ollut vielä sähkövoimatekniikan laboratoriossa olemassa sekä siksi että aihe oli kiinnostava ja opettavainen.

Teoriaosuuden aineisto koostuu pääosin internetistä kerätyistä lähteistä ja siinä käydään läpi tähän insinöörityöhön oleellisesti liittyvät käsitteet ja asiat. Työhön tarvittava laitteisto olivat työpaikan puolesta käytettävissä opinnäytetyön suorittamista varten. Ainoastaan väyläohjauksen mahdollistava turvaoptio oli tilattava erikseen. Työn toteuttamiseksi apuna käytettiin laitteiston manuaaleja sekä aiheeseen liittyviä koulutusmateriaaleja ja oppaita.

1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on tehoelektroniikkaa hyödyntävä laite, jonka avulla sähkömoottorin momenttia, pyörimisnopeutta sekä suuntaa voidaan ohjata portaattomasti. Taajuusmuuttajalla ohjattavia sähkömoottoreita ovat muun muassa oikosulkumoottorit, liukurengasmoottorit ja reluktanssimoottorit. Tyypillisiä käyttökohteita taajuusmuuttajaohjatuille moottoreille ovat pumpput, puhaltimet, leikkurit, nostimet ja kompressorit. Taajuusmuuttajan suurin hyöty tulee siitä, että se mahdollistaa moottorin koko nopeusskaalan ja vääntömomentin käytön portaattomasti.

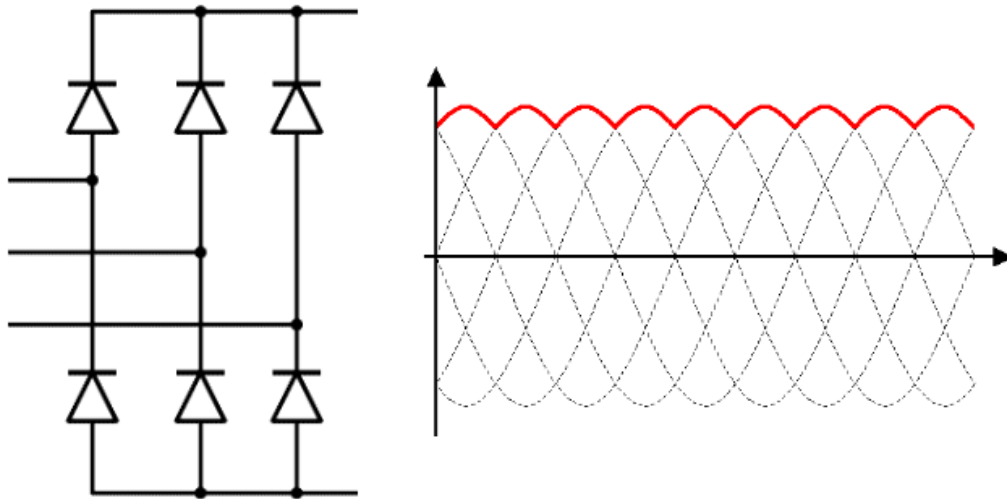
Taajuusmuuttajan rakenne koostuu kolmesta pääosasta. Tasasuuntaaja, välipiiri ja vaihtosuuntaaja. Kuvassa 1 on esitetty taajuusmuuttajan rakenne, jossa numerolla 4) on esitetty sähkösyöttö, numerolla 1) tasasuuntaaja, numerolla 2) välipiiri ja numerolla 3) vaihtosuuntaaja (1, s. 6). Teknisessä oppaassa mainittujen osien lisäksi voidaan taajuusmuuttajan rakenteeseen myös lukea ohjauspiiri, joka vastaa taajuusmuuttajan toiminnasta.



Kuva 1. Taajuusmuuttajan rakenne (1, s. 6).

Tasasuuntaaja

Tasasuuntaajan tehtävä on muuttaa sähköverkosta tuleva vaihtosähkö tasasähköksi taajuusmuuttajan välipiiriin. Yleinen tasasuuntausmenetelmä on käyttää niin kutsuttua diodisiltaa. Diodisilta ja sen tuottama tasasähkön kuvaaja on esitetty kuvassa 2 (2, s. 4).



Kuva 2. Diodisilta ja sen vaihtosähköstä tuottama tasasähkö (2, s. 4).

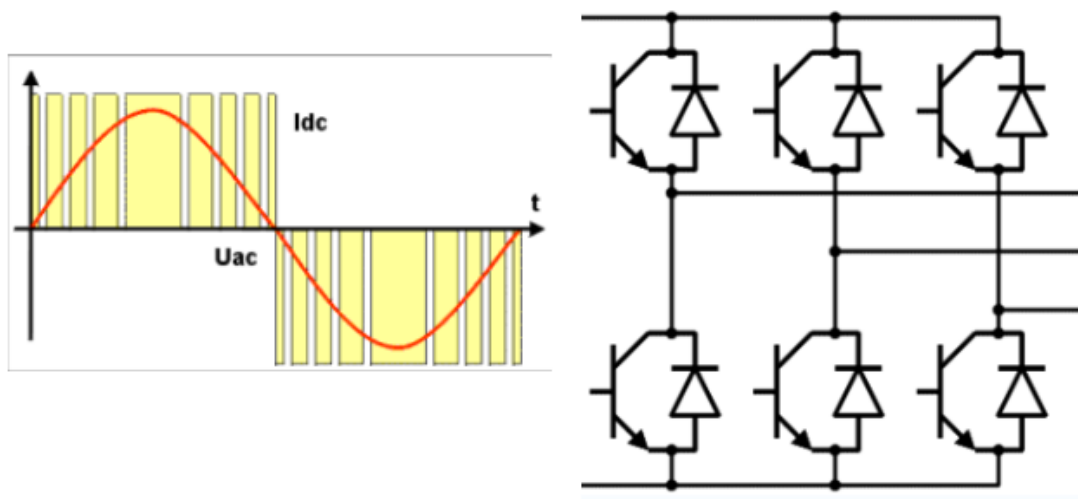
Diodeista koostuvaa tulosiltaa kutsutaan ohjaamattomaksi tulosillaksi. Sen toimintaa ei voida kontrolloida vaan kukin diodi vaihtuu vuorollaan johtavaan tilaan riippuen siitä missä tulovaiheessa jännite on suurin. Tulosilta voidaan rakentaa myös tyristoreilla tai IGBT:llä, jolloin kukin vaihe voidaan ohjata erikseen johtavaan tai ei-johtavaan tilaan. Tällöin voidaan myös tarvittaessa johtaa sähköä välipiiristä verkkoon päin.

Välipiiri

Tasasuuntaajassa tasasähköksi muutettu energia varastoidaan välipiiriin. Välipiirejä on erilaisia mutta nykyisin tyypillisin on jänniteohjattu välipiiri. Muita välipiirityyppejä ovat virtaohjattu välipiiri ja muuttuvajännitteinen välipiiri. Kuvan 2 oikealla puolella on kuvattu tasasähkön laatu välipiirissä. Siitä nähdään, että välipiiriin tuleva jännite ei ole täysin tasaista. Tämän takia välipiiriin on yleensä lisätty kondensaattoreiden ja käämien yhdistelmiä. Näitä kondensaattoreiden ja käämien yhdistelmiä kutsutaan suodattimiksi ja taajuusmuuttajan välipiirissä niiden tehtävä on tasoittaa sykkivää tasajännitettä (3, s. 11).

Vaihtosuuntaaja

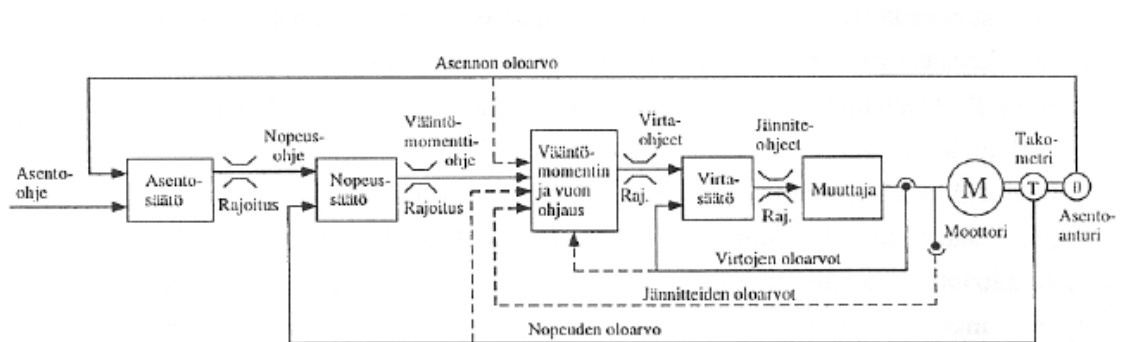
Vaihtosuuntaaja on puolestaan suoraan kytketty tasajännitevälipiiriin. Vaihtosuuntaaja on yleisimmin toteutettu kuudella IGBT:lla eli bipolaaritransistorilla jotka vuorotellen kytkevät välipiiriin tasajännitettä päälle ja pois erilaisilla ennalta määritetyillä aikajänteillä. Tämä on esitetty kuvan 3 vasemmalla puolella ja tätä kutsutaan yleisesti pulssinleveysmodulaatioksi (PWM). Pulssinleveysmodulaation tarkoitus on tuottaa välipiiriin tasasähköstä sähkömoottorille halutunlaista vaihtosähköä halutulla taajuudella (4, s.7).



Kuva 3. Vaihtosuuntaaja (4, s.7).

Ohjauspiiri

Taajuusmuuttajan ohjaus perustuu moottorista tehtyyn malliin ja ohjearvoihin, joita taajuusmuuttaja noudattaa ja säätää tarvittaessa. Ohjearvoja ovat esimerkiksi nopeus, - ja momenttiohjeet, jotka taajuusmuuttajalle asetetaan. Taajuusmuuttaja pyrkii erilaisia antureita ja lähettimeä hyväksikäyttäen mittaamaan esimerkiksi moottorin virtaa ja jännitearvoja sekä päättämään, onko asetettu ohjearvo saavutettu. Mikäli taajuusmuuttajan ohjauspiiri havaitsee poikkeamaa ohjearvon ja mittauksen välillä taajuusmuuttaja tulkitsee sen säätöpoikkeamaksi. Säätöpoikkeama eli lähtösuureiden ja ohjearvojen erotuksen perusteella ohjausta korjataan siten, että mittausarvot vastaavat ohjausarvoja. Kuvassa 4 on esimerkki siitä, miten taajuusmuuttajan säätö ja ohjaus voi toimia (5, s. 1–2).



Kuva 4. Säätö- ja ohjauspiiri (5, s. 4).

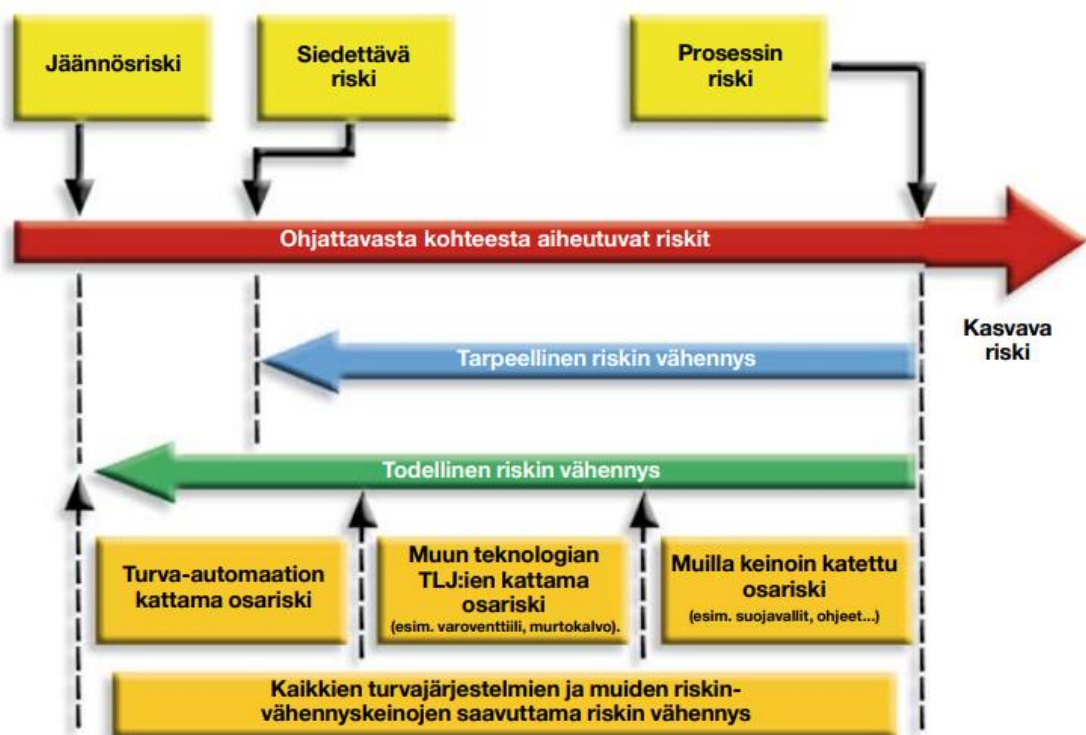
2 Toiminnallinen turvallisuus

Toiminnallisella turvallisuudella tarkoitetaan aktiivista turvallisuusjärjestelmää, jonka tehtävä on estää riskien realisoitumista ihmiselle, ympäristölle tai omaisuudelle. Aktiivinen turvajärjestelmä eroaa passiivisesta turvajärjestelmästä siten, että sen toiminta käynnistyy vasta kun kone tai laite ei toimi kuten sen käyttäjä sitä kääntää tai kun laitteen oloarvot ylittävät ennalta määritetyn rajan. Esimerkiksi sähkömoottorin ylläampösuoja on käytännön ratkaisu toiminnallisesta turvajärjestelmästä. Ylläampösuoja aktivoituu ja jarruttaa tai pysäyttää sähkömoottorin, kun ennalta määritetty oloarvo ylitetään. Sen sijaan sähkömoottorin käämitysten eristys ei ole toiminnallista turvallisuutta. Käämitysten eristyksellä pyritään suojaamaan moottoria kuumentumiselta, jolloin kyse on turvallisuudesta mutta ei toiminnallisesta turvallisuudesta (6, s. 7). Yleisesti turva-automaatiolla viitataan juuri toiminnalliseen turvallisuuteen.

Turva-automaatio toimii prosessiteollisuuden riskienhallintakeinona. Se on itsenäinen järjestelmä erillään muusta prosessiteollisuuden automaatiosta ja sen tehtävä on pysäyttää prosessi tai laite vakavassa häiriö- tai vaaratilanteessa, jossa muu automaatiojärjestelmä ei sitä syystä tai toisesta tee. Turva-automaation toimimattomuus aiheuttaa vakavan riskin ympäristölle, henkilöstölle tai omaisuudelle. Turva-automaatio on siis osa prosessin toiminnallista turvallisuutta. Turvallisuusjärjestelmät tulee toteuttaa siihen tarkoitettuilla tyyppihyväksytyillä turvalaitteilla. Tyyppihyväksytyt turvalaitteet takaavat sen, että järjestelmä toimii riittävän suurella todennäköisyydellä myös sellaisissa vaaratilanteissa, joita saattaa ilmetä vain kerran laitteen tai prosessin eliniän aikana. Turva-automaatiojärjestelmä ei saa aiheuttaa prosessia tai turvallisuutta vaarantavia pysähdyksiä tai alasajoja. Turva-automaatiojärjestelmä on oltava helposti testattavissa ja häiriötilanteessa toimilaitteet tulee siirtyä ennalta määritettyyn turvalliseen tilaan (7, s. 3–4).

2.1 Turvallisuuden eheystaso ja riskin määrittäminen

Lähtökohtana toiminnallisella turvallisuudella pidetään riittävää riskianalyysiä ja prosessin vaatimusten määrittelyä. Näiden pohjalta voidaan prosessille määritellä riittävä Turvallisuuden eheystaso (TET). Turva-automaatiolla voidaan poistaa vain osa prosessin tain laitteen toimintaan liittyvistä riskeistä. Muut riskit tulee kartoittaa ja poistaa tai minimoida muiden keinojen avulla kuten esimerkiksi varoventtiileillä suojamuureilla tai verkoilla ja riittävällä koulutuksella. Kuvassa 5 on esitetty riskienhallinnan yleiset periaatteet (7, s. 5).



Kuva 5. Riskien vähentämisen analysointi (7, s. 5).

Turvallisuuden eheyden tasoista käytetään usein suomenkielisessä materiaalissa lyhennettä SIL joka tulee englannin kielen sanoista Safety Integrity Level. SIL-tasot on määritetty IEC 61508 -standardissa. IEC 61508 -standardin käsittää toiminnallisen turvallisuuden, joka toteutetaan käyttäen sähköisiä, elektronisia tai ohjelmoitavista elektronisista komponenteista koostuvia turvajärjestelmiä. Tällaisiin turvalaitteisiin viitataan

standardissa lyhenteellä E/E/PE, joka tulee sanoista electrical and/or electronic and/or programmable electronic (6, s. 9).

SIL-tasoa on IEC 61508 -standardin mukaan neljä. SIL 1-taso on alin toiminnallisen turvallisuuden taso ja SIL 4 -taso on korkein. Korkeimmalla SIL-tasolla turvallisen toiminnan kriteerit ovat tiukempia, jotta todennäköisyys vakavalla vaaratilanteella olisi mahdollisimman pieni (6, s. 11).

SIL -tason määrittäminen riippuu IEC-standardien mukaan siitä, käytetäänkö laitteistolle tai koneelle korkeaa, matalaa vai jatkuvaa vaatimustasoa. Matala vaatimustaso tarkoittaa, että laitteisto ajetaan turvalliseen tilaan vain käyttäjän pyynnöstä ja pyyntöjen määrä on keskimäärin alle yksi kappale vuodessa. (8, s. 21) Matalan vaatimustasolle laskettava PFD-arvo kuvattu taulukossa 1. Taulukossa esitetty PFD-arvo kuvaa yksittäisen vaarallisen tapahtuman todennäköisyyttä. Vaarallisen tapahtuman todennäköisyys määrittää siten SIL-tason.

Taulukko 1. SIL -tasot. Matala vaatimustaso (9, s. 33).

Safety integrity level (SIL)	Average probability of a dangerous failure on demand of the safety function (PFD_{avg})
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

Korkea vaatimustaso tarkoittaa sitä, että laitteisto ajetaan turvalliseen tilaan vain käyttäjän pyynnöstä, mutta pyyntöjen määrä on keskimäärin yli yksi kappale vuodessa (8, s. 21). Jatkuvalle vaatimustasolle tarkoitetaan sitä, että laitteistoa ajetaan jatkuvasti turvallisessa tilassa osana sen normaalia käyttöä (8, s. 21). Korkean tai jatkuvan vaatimustason PFH-arvo on kuvattu taulukossa 2. PFH-arvo tarkoittaa sitä, kuinka monta kertaa tunnissa vaarallinen tapahtuma potentiaalisesti esiintyy. PFH-arvo lasketaan eri toimintojen ja laitteiden todennäköisten vikaantumisten todennäköisyyksistä. PFH-arvo määrittää siten, SIL-tason korkealla ja jatkuvalla vaatimustasoilla.

Taulukko 2. SIL-tasot. Korkea tai jatkuva vaatimustaso (9, s. 34).

Safety integrity level (SIL)	Average frequency of a dangerous failure of the safety function [h ⁻¹] (PFH)
4	$\geq 10^{-9}$ to $< 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$

2.2 Turva-automaatio taajuusmuuttajakäytössä

Teknologian edistyminen ja tekniikan kehittyminen ovat mahdollistaneet turvatoimintojen integroimisen suoraan taajuusmuuttajiin. Tämä on merkittävästi helpottanut turva-automaation suunnittelua ja käyttöä kasvattaen samalla turvallisen toiminnan varmuutta. Taajuusmuuttajissa on nykypäivänä vakio-ominaisuutena STO-turvatoiminto, mutta taajuusmuuttajien turvatoimintoja voidaan lisätä erilaisilla turvaoptioilla. STO-turvatoiminto, jonka tarkoituksena on ajaa taajuusmuuttaja momentittomaan tilaan ja estää odottamaton käynnistyminen. STO-toiminto on siis integroitu turvatoiminto, jonka ansiosta erillisiä sähkömekaanisia laitteita vastaavan toiminnon tuottamiseksi ei tarvita. Integroidut turvatoiminnot lisäävät turvallisuutta sekä helpottavat asennustyötä koska erillisiä turvareleitä, kontaktoreja tai muita turvalaitteita ei tarvitse erikseen kaapeloida. Integroidut turvatoiminnot vähentävät suunnittelu ja käyttöönottoaikaa. (10, s. 1.)

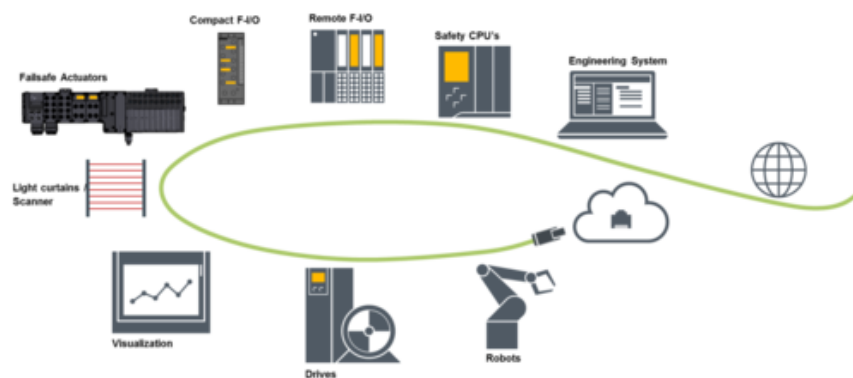
2.3 PROFIsafe

PROFIsafe tulee sanojen PROFINET ja safety yhdistelmästä. PROFIsafe on standardin IEC 61508 mukainen, ja se on kehitetty PROFIBUS & PROFINET International (PI) yhteisön toimesta. PROFIsafe on tullut kansainvälinen standardi (IEC 61784-3-3). ja se on kansainvälisten luokituslaitosten IFAN:n ja TÜV:n hyväksymä. PROFIsafe on itsenäinen tiedonsiirtotavasta riippumaton ja kustannustehokas kommunikaatiotapa toteuttaa toiminnallisen turvallisuuden tarpeita. Se kattaa koko kommunikaatioketjun aina anturilta ohjaimelle asti käyttäen black channel -toimintaperiaatetta. (11.)

Tässä luvussa käsitellään PROFIsafe-viestintään liittyvät single bus approach sekä black channel -kommunikaatio. PROFIsafe-viestien kulkiessa samassa yhteydessä normaalin ohjaus- ja tilaviestinnän kanssa on oleellista eritellä se, miten pidetään huolta siitä, että viestiliikenne ei häiriinny tai sekoitu turvaviestinnän kanssa. Seuraavaksi käsitellään edellä mainitut käsitteet.

Single bus approach

PROFIsafe-turvaväyläprotokolla mahdollistaa turva-automaatioon liittyvien viestien lähettämisen samassa viestikanavassa ohjausviestien kanssa. Tätä kutsutaan yhden kanavan periaatteeksi tai "Single channel approach"-periaatteeksi. Yhden kanavan periaatetta on havainnollistettu kuvassa 6.

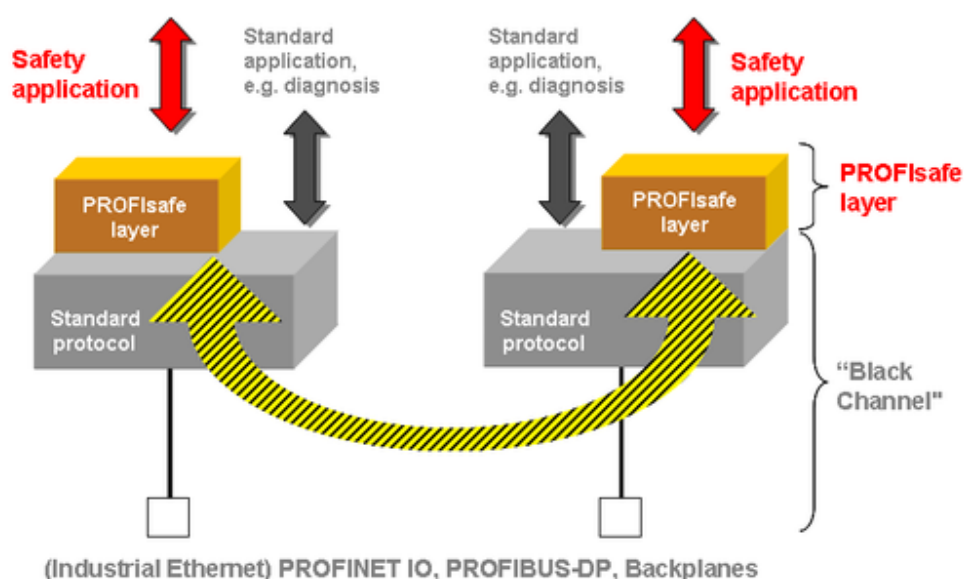


Kuva 6. Single channel approach (12).

Yhden väylän periaatteella voidaan vähentää tarvittavaa kaapelointia, sillä erillistä kaapelointia turva-automaation viestintää varten ei tarvita. Järjestelmissä, joissa ohjaus- ja turva-automaation välinen viestintä on fyysisesti erotettu toisistaan, ei tarvitse erikseen määritellä sitä, minkälaisia viestejä väyläyhteydessä kulkee. Sillä viestit ovat aina joko pelkästään turva-automaatioon liittyviä viestejä tai aina pelkästään ohjausautomaatioon liittyviä viestejä. Tämä ongelma ratkaistaan PROFIsafe-viestinnässä "Black channel"-periaatteella, jossa viestit erotellaan toisistaan lähtö- ja tulopäissä erilaisilla tarkistusmetodeilla.

Black Channel

PROFIsafe on suunniteltu riippumattomaksi lähetysskanavan tyypiksi. Lähetysskanava voi olla kuparijohdin, valokuitukaapeli tai langaton lähetyss. Lähetysskanavan riippumattomuus hoidetaan Black channel -lähestymistavalla, mikä tarkoittaa sitä, että viestin kulkua lähetysskanavassa ei monitoroida, eikä sitä sen takia tarvitse erikseen määrittää. Black channel on esitetty alla kuvassa 7, ja sillä viitataan niin kutsuttuun ”mustaan laatikkoon”, jonka sisällöstä ei ole tietoa. Tämä lähestymistapa takaa sen, että käyttäjän ei tarvitse ottaa kantaa viestintäpolun turvallisuuden arviointiin (13).



Kuva 6. Black channel-kommunikointi (12).

PROFIsafe varmistaa viestinnän turvallisuuden lähteestä määränpäähän ja takaisin neljällä sisäänrakennetulla tarkistusmenetelmällä:

- Viestien juokseva numerointi: Jokainen PROFIsafe-lähetin ja vastaanotin sisältää sisäänrakennetun laskurin, joka tarkistaa, että jokainen tuleva ja lähtevä viesti sisältää edellistä seuraavan juoksevan numeron. Näin PROFIsafe pystyy päättämään, että sama viesti ei tule kahta kertaa eikä viestejä ole kadonnut. Jos viestin numero poikkeaa siitä, mitä lähetin tai vastaanotin odottaa, ajetaan prosessi

turvalliseen tilaan kommunikaatiokatkoksen takia. Tätä toimintoa kutsutaan elonmerkiksi ("sign-of-life"). (14.)

- Viestien ajastaminen: PROFIsafe-väylässä kulkevat viestit edellyttävät aina, että vastaus viestiin saapuu ennalta määrätyssä ajassa. Mikäli vastaus ei saavu ennalta määrätyssä ajassa, prosessi ajetaan turvalliseen tilaan kommunikaatiokatkoksen takia. Tätä toimintoa kutsutaan myös vahtikoiraksi ("Watchdog"). (14.)
- Koodinimi: Jokaisella lähettäjällä ja vastaajalla on yksilöllinen koodinimi. Jokainen turva-PLC saa yksilöllisen F-Host -nimen ja jokainen laite, jonka kanssa turva-PLC kommunikoi saa yksilöllisen F-Device -nimen. F-device nimi on yleensä ilmaistu juoksevilla numerolla. Tämän avulla PROFIsafe väylässä kulkevat viestit voidaan osoittaa eri laitteille, ja tarkistaa miltä laitteelta vastaus on saapunut. Tätä kutsutaan F-osoitteiksi ("F-Address"). (14.)
- CRC-arvo: Jokaiselle lähetetylle viestille lasketaan CRC-arvo. CRC-arvo lasketaan kaikista lähetettävistä biteistä ja liitetään lähetettävään viestiin perään. Vastaanottajalla on sama CRC-algoritmi kuin lähettäjällä, joten se pystyy tarkistamaan, että CRC-arvo vastaa vastaanotettujen bittien arvoa. Tällä tarkistetaan, että vastaanotettu data ei ole korruptoitunut matkan varrella. (14.)

Kuvassa 7 on esitetty taulukkomuodossa, mihin ennalta odotettuun ongelmaan kukin tarkistusmetodi parhaiten toimii.

Remedy: Error type:	(Virtual) Consecutive Number	Time Out with Receipt	Codename for Sender and Receiver	Cyclic Redundancy Check
Repetition	✓			
Deletion	✓	✓		
Insertion	✓	✓	✓	
Resequencing	✓			
Data Corruption				✓
Delay		✓		
Masquerade (standard message mimics failsafe)		✓	✓	✓
Revolving memory failures	✓			

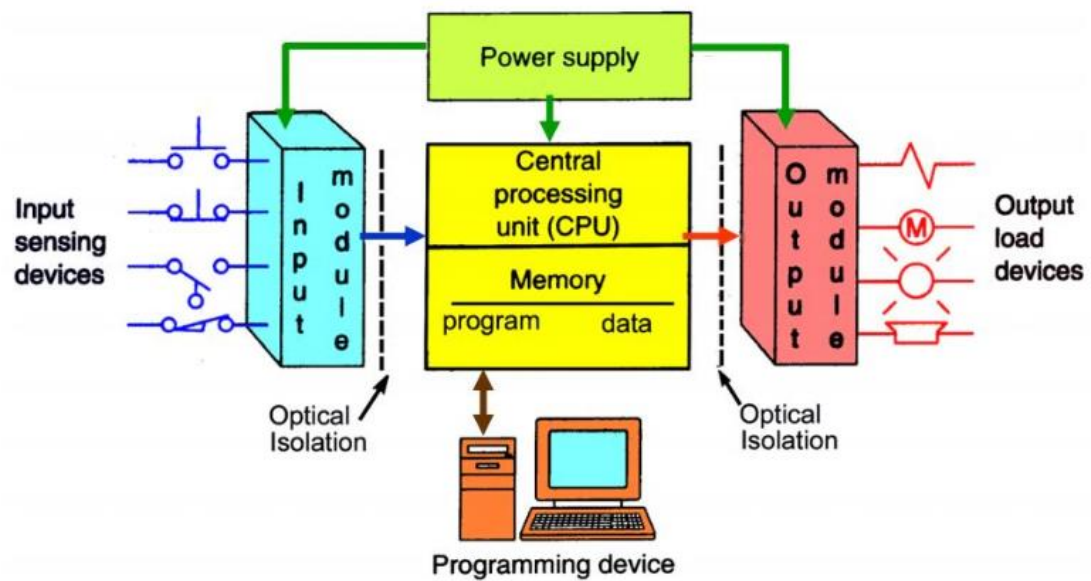
Kuva 7. PROFIsafe-viestinnän ennakoidut ongelmat ja korjaukset (14).

3 Ohjelmoitavat logiikat

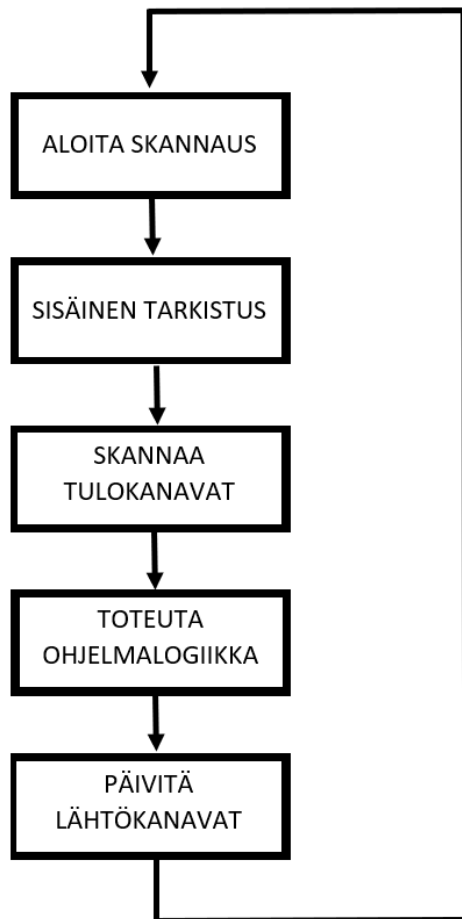
PLC eli ohjelmoitava logiikka kehitettiin suorittamaan samaa työtä kuin relelogiikat. Relelogiikoiden ongelmana oli niiden vianhaun vaikeus. Relelogiikoissa esiintyi usein ongelmaa, jossa kuormitetun releen vaihtaessa tilaa syntyi pieni valokaari. Valokaari puolestaan aiheuttaa suuren lämpötilan nousun, jonka takia releen kärjet saattoivat hitsautua kiinni toisiinsa. Mikäli relelogiikan kanssa oli teknisiä ongelmia, täytyi koko releistä koostuva kokonaisuus testata alusta loppuun. Ohjelmoitavat logiikat ovat sen sijaan robusteja ja sietävät paremmin haastavia olosuhteita kuten kuumaa tai kylmää. Ohjelmoitavan logiikan ohjelmointikieli on helposti ymmärrettävissä, ja sen oppimiseen ei kulu valtavasti aikaa. PLC:t ovat lisäksi modulaarisia, joten niistä voidaan rakentaa tarpeen mukaan halutunlaisia kokonaisuuksia. (15.)

3.1 PLC rakenne ja toiminta

Kuvassa 8. on esitetty PLC:n tyypillinen rakenne. PLC tyypillisesti koostuu tulevan tiedon vastaanottavista digitaalisista tai analogisista tuloista, digitaalista tai analogista tietoa lähettävistä lähdöistä, keskusyksiköstä, joka prosessoi kaiken tulevan ja lähtevän tiedon, sekä teholähteestä, joka tuottaa jokaisen edellä mainitun komponentin tarvitseman sähkön. (15.)



Kuva 8. Ohjelmoitavan logiikan tyypillinen rakenne (15).

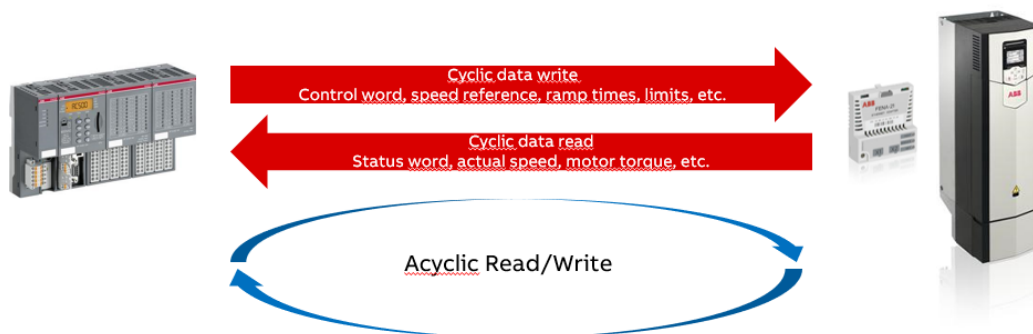


Kuva 9. PLC:n toimintalogiikka (15).

Kuvassa 9 on esitetty keskusyksikön toimintalogiikka, jota yksikkö toistaa jatkuvasti, mikäli vikoja sisäisessä tarkistuksessa ei havaita. Toimintalogiikan lopputuloksena PLC jatkuvasti tutkii omaa toimintaansa ja tulokanavien tilatietoja. Tulokanavien tilatietojen muutoksia voi tulla esimerkiksi erilaisilta prosessia tarkkailevista antureista tai kytkimistä, jotka vaihtavat tilaa tai käyttäjän tekemistä ohjauskäskyjen muutoksista. Tulokanavien käskyjen pohjalta keskusyksikkö toteuttaa sille ennalta annettua ohjelma logiikkaa. Ohjelmalogiikan pohjalta se päivittää lähtökanavien tilatietoja, jotka puolestaan kytkyvät ennalta määritetyillä tavoilla esimerkiksi venttiilejä tai moottoreita päälle ja pois. (15.)

3.2 Taajuusmuuttajan ja PLC:n välinen kommunikointi

Taajuusmuuttajan ja PLC:n välinen kommunikointi tapahtuu syklisellä tai asyklisellä tilasanojen ja ohjaussanojen, sekä muun muassa nopeus ja momentti tietoja vaihtamalla. Syklinen kommunikointi tarkoittaa jatkuvaa tiedonsiirtoa taajuusmuuttajan ja PLC:n välillä ja asyklinen tiedonsiirto tarkoittaa sitä, että tietoa siirretään vain pyynnöstä. (16.)

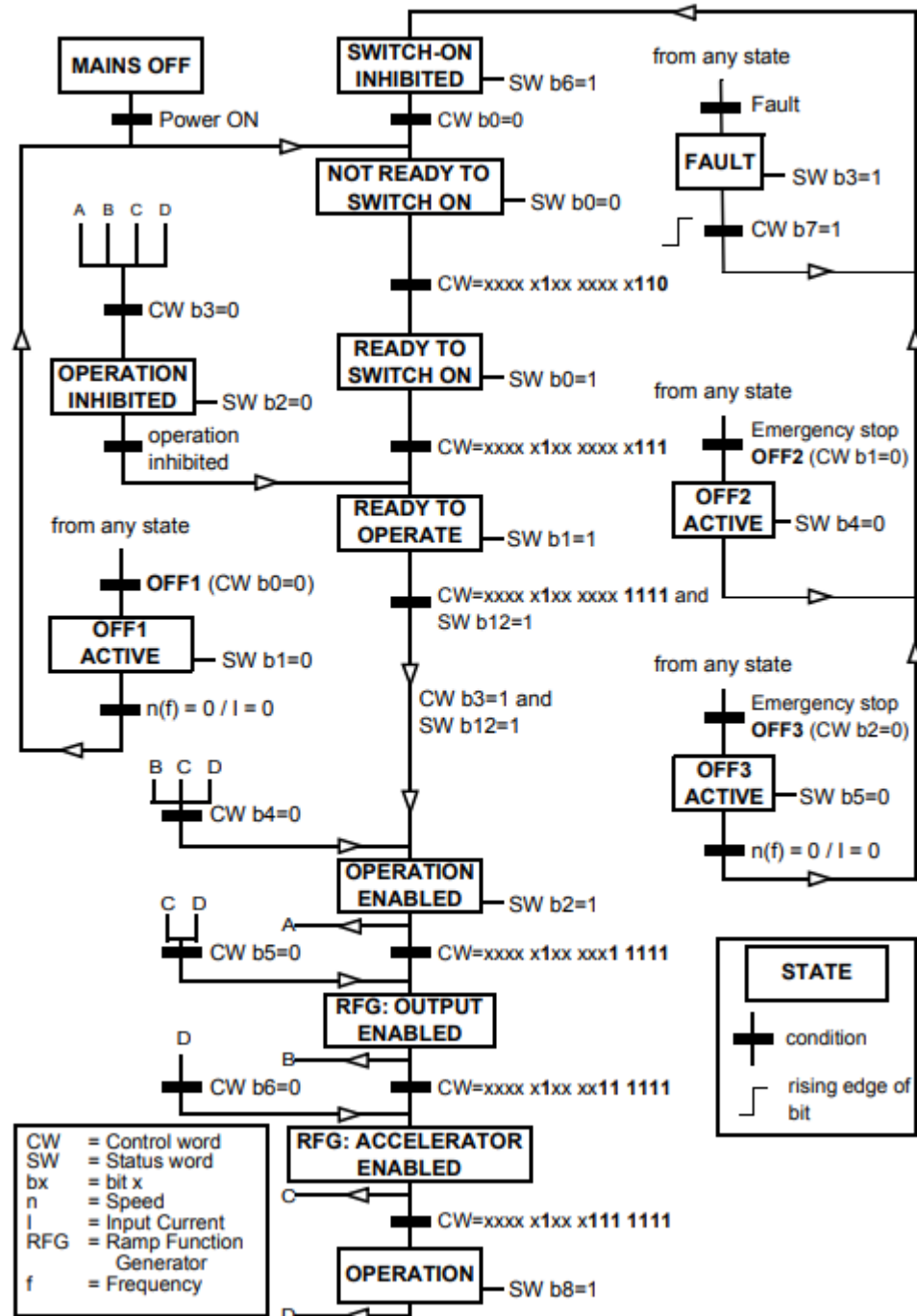


Kuva 10. Syklinen ja asyklinen tiedonsiirto (16).

3.3 Tilakoneen ja ohjaus- ja tilasanat

Taajuusmuuttaja käsittelee tietoja ja toimii sille ohjelmoidun tilakoneen mukaisesti. ACS880 tilakone on kuvattu tila- ja ohjaussana diagrammilla kuvassa 11. Taajuusmuuttajan lähtötilanne on alussa MAINS OFF, ja kun on saavutettu OPERATION-tila, niin taajuusmuuttaja moduloi, ja nopeusrampit ovat käytössä. Jokaista tilakoneen porrasta ei tarvitse käydä askel askeleelta läpi, mutta jokaisesta tilasta eteneminen vaatii sen, että kyseisen tilan ehdot on täytetty. Tilakoneen toiminnankuvaus esitetään kuvan 11 jälkeen. Toiminnankuvauksessa tulkitaan kuvan 11 ohjausdiagrammia ja selitetään vaatimukset ja ehdot sille, että taajuusmuuttaja voidaan käynnistää.

The state diagram



Kuva 11. Tilakoneen ohjausdiagrammi (17.)

Siirtyminen tilasta MAINS OFF tilaan NOT READY TO SWITCH ON tapahtuu, kun seuraavat ehdot täyttyvät:

- Välipiirin tasajännite on oltava ladattu ennalta määritetylle tasolle ja käynnistysen estot on kuitattu.
- Tilasanan bitti nolla ilmoittaa NOT READY TO SWITCH ON -tilan arvolla 0.

Siirtyminen tilasta NOT READY TO SWITCH ON tilaan READY TO SWITCH ON tapahtuu, kun seuraavat ehdot täyttyvät:

- Tila vaihtuu, kun ohjaussanan bitit 0–2 ja bitti 10 saavat niille tilakoneessa ilmoitetut arvot.
- Kun tila READY TO SWITCH ON on saavutettu, tilasanan bitti nolla vaihtuu arvoon 1.

Siirtyminen tilasta READY TO SWITCH ON tilaan READY TO OPERATE tapahtuu, kun seuraavat ehdot täyttyvät:

- Tila vaihtuu, kun ohjaussanan bitit 0–2 ja bitti 10 saavat niille tilakoneessa ilmoitetut arvot.
- Tilasanan bitti yksi ilmoittaa READY TO OPERATE -tilan arvolla 1.

Siirtyminen tilasta READY TO OPERATE tilaan OPERATION ENABLED tapahtuu, kun seuraavat ehdot täyttyvät:

- Tila vaihtuu, kun ohjaussanan bitit 0–3 ja bitti 10 saavat niille tilakoneessa ilmoitetut arvot.
- Tilasanan bitti 2 ilmoittaa OPERATION ENABLED -tilan arvolla 1.

- OPERATION ENABLED -tilassa modulointi alkaa mutta ohjausramppeja ei ole vielä vapautettu käyttöön.

Siirtyminen tilasta OPERATION ENABLED tilaan OPERATION tapahtuu, kun seuraavat ehdot täyttyvät:

- Tilan OPERATION ENABLED ja OPERATION välisiä toimintoja ohjataan ohjaussanan biteillä 4–6.
- Kun bitit 4–6 saavat arvon 1, taajuusmuuttaja alkaa noudattamaan kiihdytysramppeja ja nopeusohjeita normaalisti.
- Kun todellinen nopeus saavuttaa sille määritetyn arvon, tilasanan bitti 8 saa arvon 1.

3.4 Tilakoneen virhe- ja estotilat

OPERATION INHIBITED -tila. Taajuusmuuttajan käynnistäminen voidaan estää tietyillä tilakoneen biteillä. Bitit voivat saada arvon 1 tai arvon 0 riippuen siitä mitkä ehdot tulee täyttyä taajuusmuuttajan käynnistyneen estämiseksi. Seuraavaksi on kuvattu se, miten päädytään OPERATION INHIBITED -tilaan ja miten ohjaus- ja tilasanat toimivat.

- Jos ohjaussanan bitti 3 vaihtuu tilasta 1 tilaan 0, taajuusmuuttajan tilakone ajaa taajuusmuuttajan "käyttö estetty" -tilaan.
- Tilasanan bitti 2 saa tällöin arvon 0.
- Taajuusmuuttaja ajetaan ennalta määrättyä jarrutusramppia pitkin pysähdyksiin.
- Tilakoneen tila vaihtuu tällöin OPERATION tilasta READY TO OPERATE -tilaan. Tätä indikoi myös tilasanan bitti 1 arvolla 1.
- Ohjaussanan bitti 3 voidaan vaihtaa takaisin arvoon 1 jolloin tilakone siirtyy takaisin OPERATION -tilaan.

SWITCH-ON INHIBITED -tila. Taajuusmuuttajan käynnistäminen voidaan estää tietyillä tilakoneen biteillä. Bitit voivat saada arvon 1 tai arvon 0 riippuen siitä mitkä ehdot tulee täyttyä taajuusmuuttajan käynnistykseen estämiseksi. Seuraavaksi on kuvattu se, miten päädytään SWITCH-ON INHIBITED -tilaan ja miten ohjaus- ja tilasanat toimivat.

- Hätäpysäytystilat kommunikoidaan tilakoneelle OFF2- ja OFF3-tiloilla. Tilasanan bitit 4 ja 5 ilmoittavat arvolla 0, mikäli hätäseis-tila on pyydetty.
- Vikatila kommunikoidaan tilakoneelle FAULT-tilana. Tällöin tilasanan bitti 3 saa arvon 1.
- Tilasanan bitti 6 ilmoittaa arvolla 1, että käynti on estetty (SWITCH-ON INHIBITED)

OFF1 -ACTIVE tila. Taajuusmuuttajan käyttö voidaan estää myös OFF1 bitin tilaa muuttamalla. Seuraavaksi on esitelty sen toiminta sekä se, miten taajuusmuuttaja siihen reagoi.

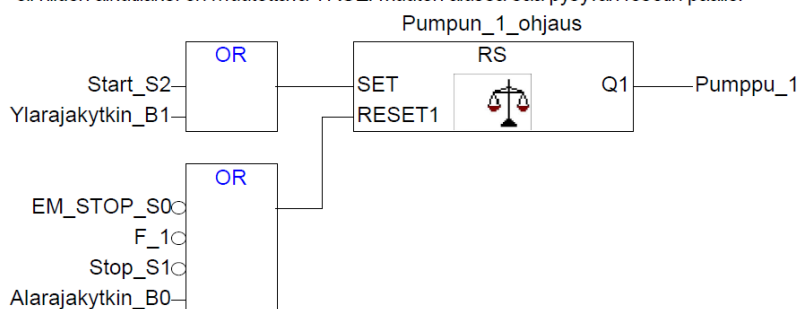
- Voidaan aktivoida asettamalla ohjaussanan bitti nolla, arvoon 0.
- Tilasanan bitti yksi vaihtuu tilaan 0
- Kun OFF1 -ACTIVE -tila on aktivoitu, tilakone siirtyy NOT READY TO SWITCH ON -tilaan (16.)

3.5 Keskusyksikön ohjelmointikielet

Standardin IEC 61131 mukaisia ohjelmoitavien logiikoiden ohjelmointikieliä on viisi, joista yleisimmin käytettyjä ovat tikapuulogiikka ja FBD-logiikka. Tikapuu- logiikka kehitettiin sähköasentajia varten, ja sen ohjelmakaaviot muistuttavat hyvin paljon relelogiikoiden kytkentäkaaviota. (15.) Kuvassa 12 on esitetty katkelma eräästä FBD-kielellä toteutetusta logiikasta. Kuvakaappauksessa näkyy ohjelman nimi ”PROGRAM jätevesipumppaamo” sekä vapaasti selitettynä hieman ohjelmalohkon toimintaa. Ohjelmalohkojen toiminnan selittäminen on tärkeää, jotta kuka tahansa, joka yrittää selvittää ohjelman toimintaa, pystyy helposti ymmärtämään mitä mikäkin lohko aiheuttaa ohjelmakokonaisuudessa. Kuvan 12 mukainen FBD-logiikka koostuu lohkoista ja tulo- sekä lähtöehdoista, joita yhdistelemällä saadaan rakennettua erilaisia PLC-ohjelmia.

```
PROGRAM Jätevesipumppaamo
VAR
    Pumpun_1_ohjaus: RS;
    Pumpun_2_ohjaus: RS;
END_VAR
```

Tässä lohossa on kuvattu pumpun 1 ohjaus. Testauksessa on otettava huomioon, että EM_STOP, F_1 ja STOP_S1 on invertoitu eli niiden alkutilaksi on muutettava TRUE. Muuten alussa saa pysyvän resetin päälle.



Kuva 12. FBD-ohjelmointikieli.

Muita standardin mukaisia ohjelmointikieliä ovat seuraavat;

IL-kieli, vapaasti käännettynä tarkoittaa ohjelistaa. Tällä kielellä toiminnot keskusyksikölle annetaan yksinkertaisena ohjelistauksena.

SFC-kieli koostuu valmiista ohjelmointilohkoista, joilla kullakin on omat aliohjelmansa.

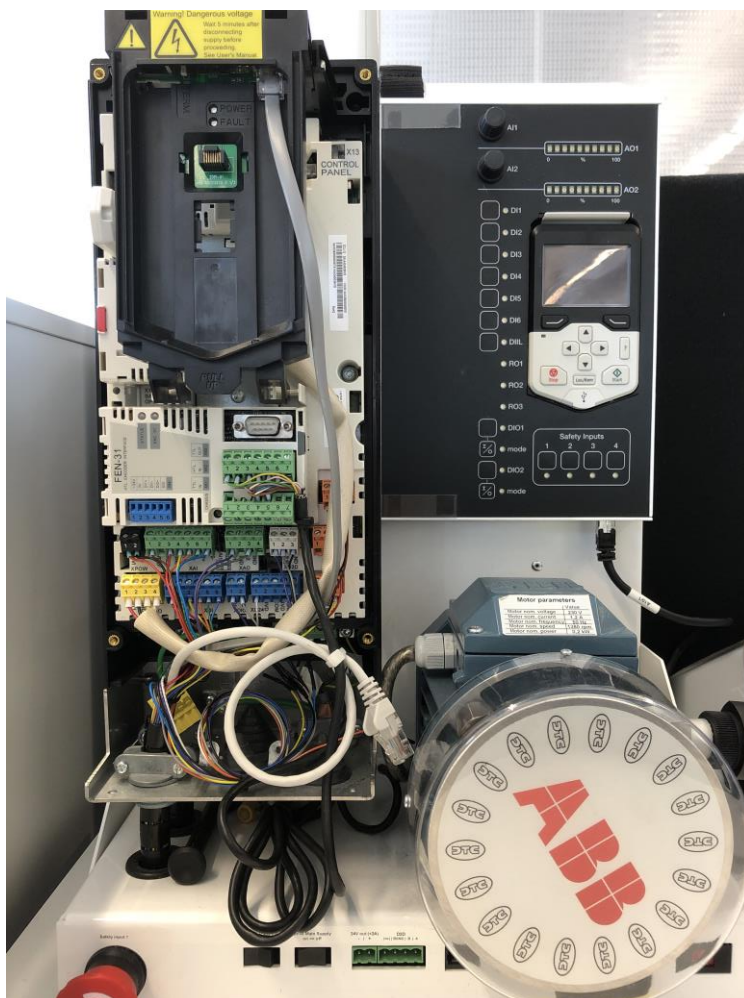
ST -kieli on tarkoitettu kokeneempien ohjelmointiosaajien tarpeisiin. (15.)

4 Opinnäytetyön toteutus

4.1 Toteutettu kytkentä

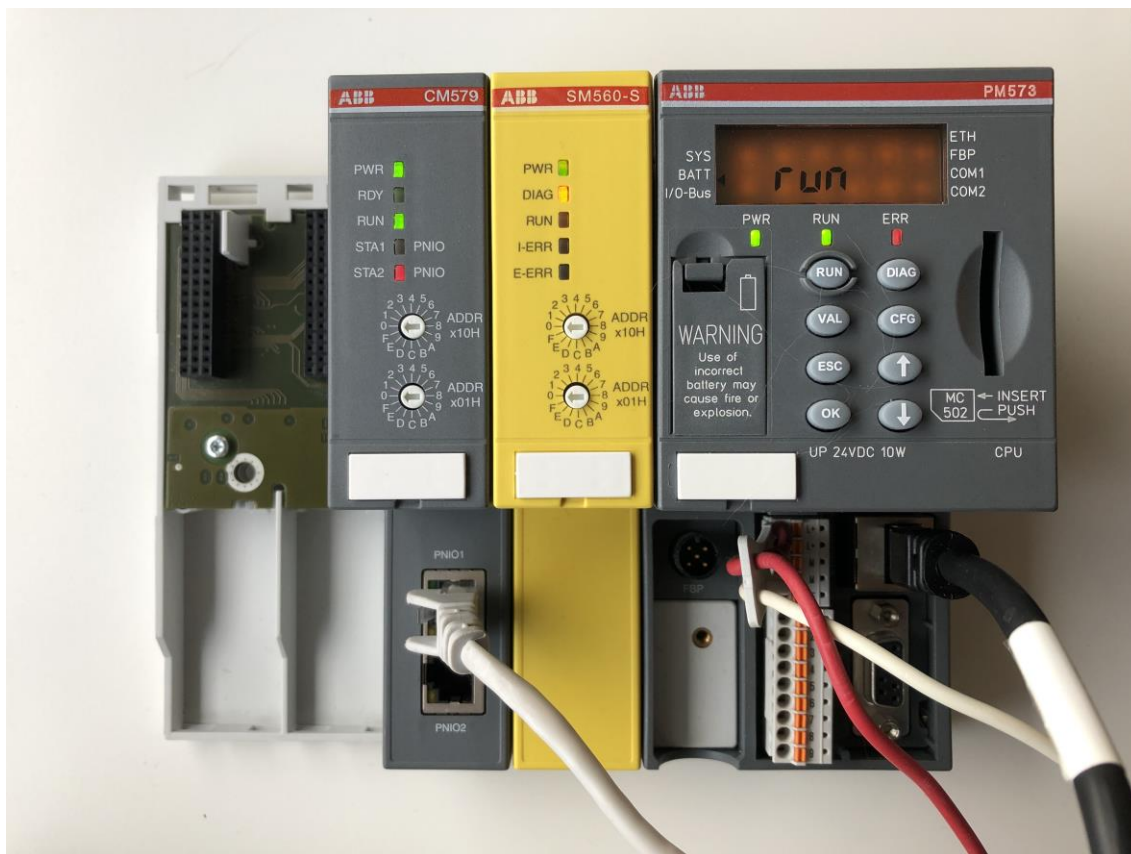
Toimivan kenttäväylä yhteyden kautta ohjatun taajuusmuuttajakäytön rakentamiseksi tarvittiin kolme pääkomponenttia. ACS880 demosalkku, joka on nähtävissä kuvassa 13, PLC ja turva -PLC liitinalustaan kiinnitettynä, jotka on esitelty kuvassa 14, sekä FSPS-21 turva-optio joka on nähtävillä kuvassa 15. Näiden pääkomponenttien lisäksi käytettiin Ethernet-johtoja sekä langallisia USB-verkkosovitin.

FSPS-21 optio kytketään ACS880-01 taajuusmuuttajan ohjauskorttiin. Ohjauskorttiin kytetty FSPS-21 optio näkyy kuvassa 15. Ohjauskortti sijaitsee taajuusmuuttajan kannen alla mutta kannen irrottamista ei ole käsitelty erikseen vaan kytkentöjen kuvaus alkaa tilanteesta, jossa taajuusmuuttajan kansi on jo irrotettu. Kuvassa 13 näkyy työssä käytetty ACS880-01 -mallinen demosalkku etupaneeli irrotettuna.



Kuva 13. ACS880-demosalkku.

KytKentäkaavio on kuvattu liitteessä 1, ja se on avattu tässä luvussa kuvien kera. PLC, turvalogiikka sekä kenttäväylämoduuli kytketään TB541-malliseen liitinalustaan, joka puolestaan voidaan kiinnittää DIN-kiskostoon. Kuvasta 14 nähdään, että liitinalustaan voidaan kiinnittää PLC:n lisäksi neljä optiomoduulia. Tässä työssä käytössä on kuitenkin vain kaksi optiota PLC:n lisäksi: turva-PLC SM560-S sekä PNIO-PROFINET CM579 -kenttäväylämoduuli.



Kuva 14. PLC:n kytkennät.

PLC-yksikön alla on liittimet FBP, DC IN 10 W, Ethernet sekä COM1 että COM2. Tässä työssä PLC:n ohjelmointia varten tarvittiin Ethernet-liitin sekä DC IN 10W -liitin sähkösyöttöä varten. Loput liittimet jätettiin kytkemättä. Liitinalustassa ainoastaan PLC-prosessorin paikka oli ennalta määritetty yksikön oikeaan reunaan. Muut optiot voitiin vapaasti kytkeä haluttuun järjestykseen. Tässä tapauksessa vasempaan reunaan asetettiin PNIO-kenttäväylämoduuli, joka puolestaan kytkettiin Ethernet-johdolla taajuusmuuttajassa kiinni olevaan FSPS-21-turvaoptioon.



Kuva 15. FSPS-21-optio kytkettynä taajuusmuuttajaan.

Kuvassa 15 näkyy PROFINET IO PROFISAFE (FSPS-21) turvaoptio, jonka kautta turvalogiikan kommunikointi sekä PLC:n ohjauskommunikaatio kulkevat. FSPS-21-turvaoptio on yhteensopiva kaikkien ABB:n taajuusmuuttajien kanssa. FSPS-21-turvaoptiossa on kaksi RJ-45-porttia, mikä mahdollistaa taajuusmuuttajien kytkemisen sarjaan. FSPS-21-turvaoptiossa on kolme led-valoa, jotka kommunikoivat turvaoption tilan. Turvaoptio on kiinnitetty taajuusmuuttajan optiopaikkaan kaksi (SLOT 2) ruuvilla, joka näkyy option vasemmassa alareunassa. Ruuvin tehtävä kiinnittämisen lisäksi on myös maadoittaa turvaoptio. Kuvassa näkyy myös optiot FEN-31 ja FDCO-01, joita tämä työn suorittamiseen ei käytetty. FSPS-21-optioon on myös liitetty STO-piiri, joka välittää STO-viestin taajuusmuuttajalle.

4.2 PLC:n parametointi

Ohjelmoitavan logiikan, turvalogiikan ja taajuusmuuttajan toimintakuntoon saattamiseksi tarvittiin seuraavat ohjelmistot ja tiedostot:

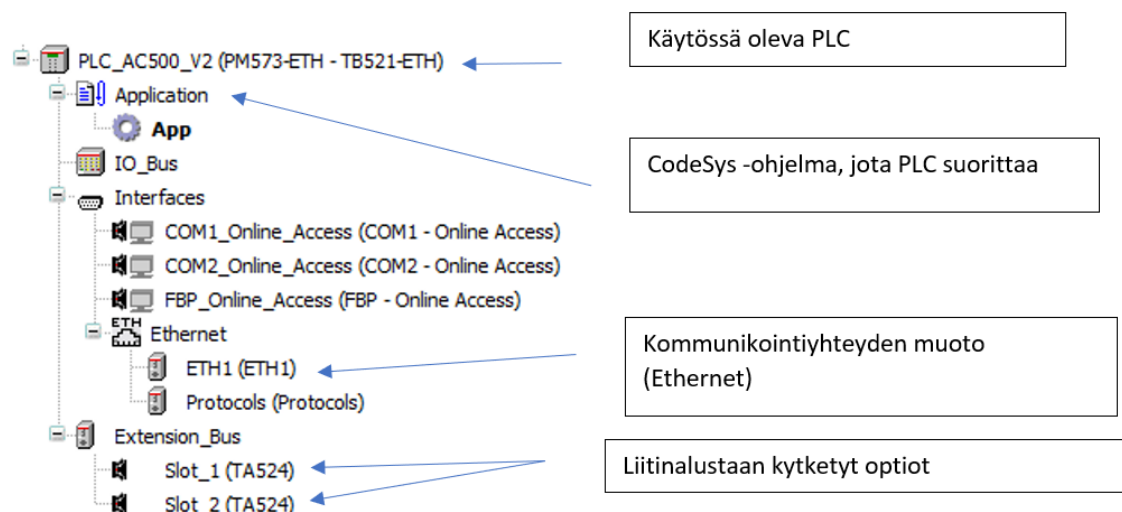
- DriveComposer Pro 2.4
- Automation Builder (vähintään Standard -lisenssi)
- GSDML-file FSPS-21 V2.33

DriveComposer Pro:ta käytetään taajuusmuuttajan parametrien määrittämiseen ja Automation Builderiä sekä turvalogiikan että prosessilogiikan ja väyläyhteyden määrittämiseksi. Automation Builder ohjelmistolle on oltava vähintään Standard-lisenssi, jotta Profinet ja turva-PLC-ohjelmointi onnistuu. Nämä eivät kuulu ilmaiseen Basic-lisenssiin. GSDML-tiedosto on ladattava Automation builderille, jotta väyläviestintää varten tarvittavat kokoonpanotiedot ja avainsanat saadaan käyttöön.

4.3 Automation builder ja CodeSys

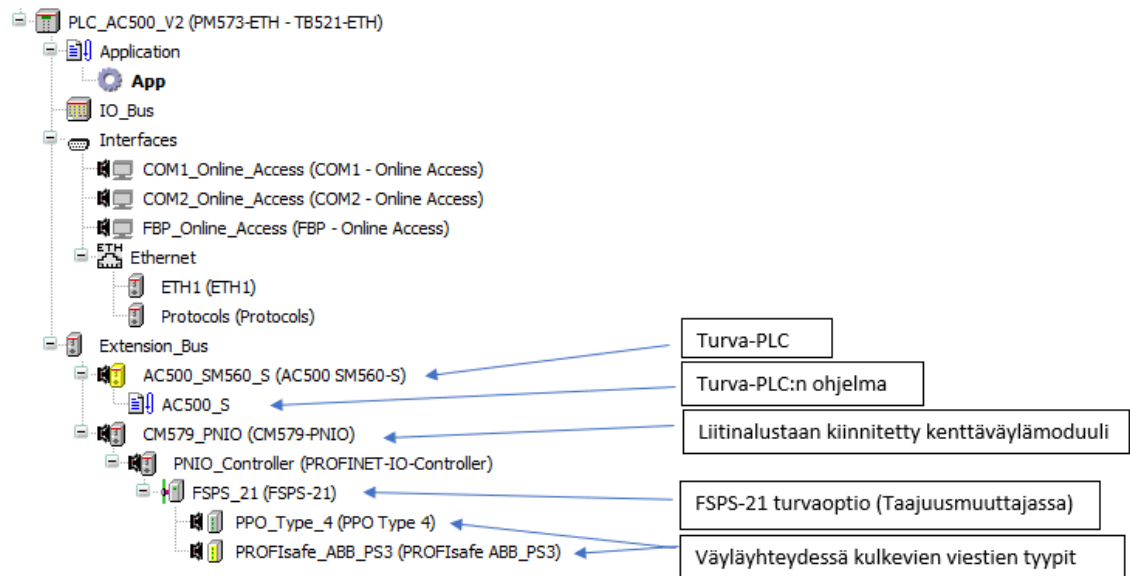
Automation builderin käyttö oli loogista, sillä siinä täytyi määritellä käytettävät laitteet puu-tyyppiseen rakenteeseen sekä osoittaa laitteille niiden IP-osoitteet ja muut vaaditut asetukset. Lopullisen projektin rakenne on esitetty kuvassa 17. Turva-PLC:lle oli myös määriteltävä lyhyt ohjelma, joka on kuvattu FSPS-21-manuaalissa. Tässä alaluvussa käydään läpi, mitä määrittelyjä Automation builderissä tulee tehdä, jotta yhteys saadaan toimintaan. Tämä luku ei kuitenkaan ole työohje, vaan luvussa käsitellään määrittelyn pääkohdat ja muutamat kompastuskivet, joihin itse törmäsin kytkentää rakentaessani. Tarkemmat työohjeet löytyvät manuaalista FSPS-21 safety function fieldbus module: User's manual.

Kuvassa 16 on esitetty lähtötilanne, josta aloitetaan käytettävien laitteiden määrittely. Extension_Bus-kohtaan tulee määrittellä, mitä laitteita liitinalustaan on kytketty. Kuvasta 14 nähdään käytössä olevien laitteiden tyypit, ja ne tulee lisätä Extension_Busin kohtiin Slot_1 ja Slot_2



Kuva 16. Automation builderistä otettu kuvakaappaus selityksineen.

Extension_busin eli liitinalustan määrittelyn jälkeen ohjelmalle on kerrottava kenen kanssa keskustelua tullaan käymään, eli kuka vastaanottaa ja lähettää viestejä ja mikä on viestien tyyppi. Kuvassa 17. "Liitinalustan määrittely" nähdään, että kenttäväylä moduulin vastapariksi on valittu FSPS-21-optio. Näin PLC-ohjelma tietää, minkä laitteen kanssa keskusteluyhteys toimii. FSPS-21-option alla näkyy PPO_Type_4 sekä PROFI-safe_ABB_PS3. Nämä ovat viestityyppien määrittelyt, jotka tulevat väyläyhteydessä liikumaan.



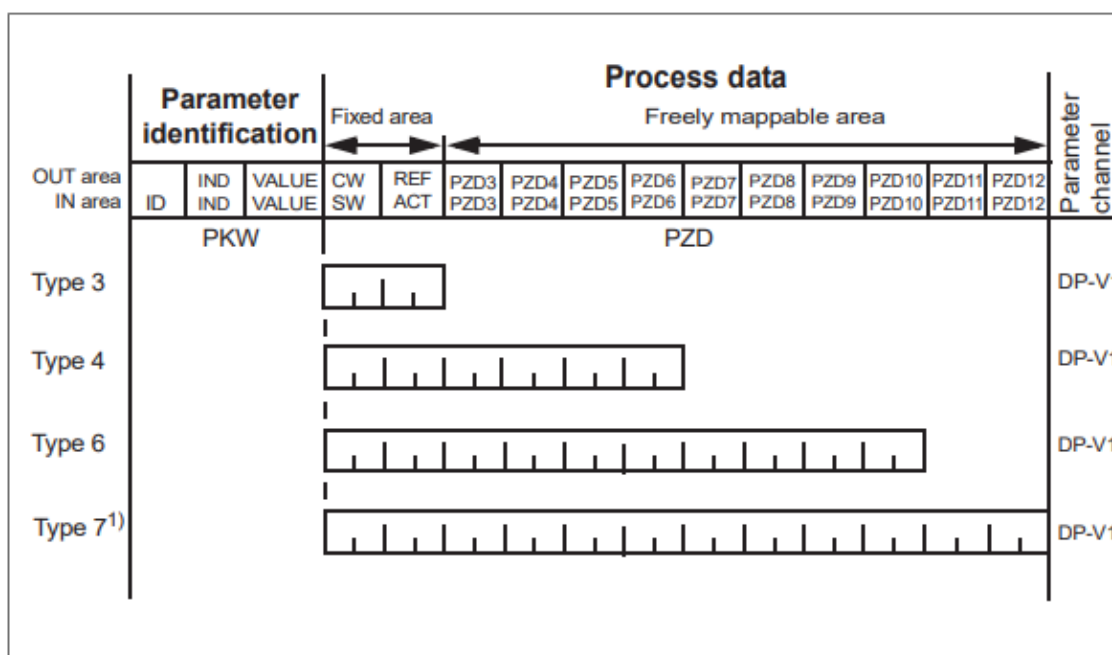
Kuva 17. Kuvakaappaus Automation Builderin määrittelyistä selityksineen.

Turva-PLC:n parametreihin täytyy määritellä lähettäjän ja vastaanottajan osoitteet. Tämä tehdään asettamalla lähettäjän osoite kohtaan F_source_Add ja vastaanottajan osoite kohtaan F_Dest_Add. Vastaanottajan osoite täytyy myös määritellä taajuusmuuttajan parametreihin. Muihin parametreihin ei tarvitse tehdä muutoksia perustoiminnallisuuden saavuttamiseksi. Kuvassa 18 näkyy turva-PLC:n parametrit ja korostettuna vastaanottajan osoite, joka on asetettu arvoksi 2. Vastaanottajan osoitteen määrittäminen on ehdottomasti oltava sama taajuusmuuttajan ja turva-PLC:ssä.

F-Parameter		F-Parameters for safety device			
General		Checksum F-Parameter: 54598			
PNIO Module I/O Mapping					
I/O mapping list					
Information					
Name	Value	Symbolic-Value	Description		
F_SIL	2	SIL3	SIL1 SIL2 SIL3		
F_CRC_Length	0	3-Byte-CRC	3-Byte-CRC		
F_Par_Version	1	1	1..1		
F_Source_Add	1	1	1..65534		
F_Dest_Add	2	2	1..65534		
F_WD_Time	150	150	50..65535		
F_Par_CRC	54598	54598	0..65535		
Device Info	GSDML-V2.33-A...	GSDML-V2.33-A...	F-Parameters		
Creator Info	SafetyGSDMLCo...	SafetyGSDMLCo...			

Kuva 18. Turva-PLC:n parametrit.

Normaaliin PLC-viestintään riittää PPO type 4 -tyypin viestintä. Tavoitteena on pystyä antamaan taajuusmuuttajalle väyläyhteyden kautta nopeusohje, momenttiohje, käyntiin- ja seis-käskyt. suuntaohje annetaan negatiivisena nopeusohjeena, joten se ei erikseen tarvitse omaa datasanaa.



Kuva 19. Syklisten viestien tyypit.

PPO 4 -tyypin viesti sisältää aina kuusi "datasanaa". Jokaisessa viestissä kaksi ensimmäistä datasanaa ovat aina joko ohjaussana ja referenssi tai statussana ja todellinen arvo, eli CW ja REF tai SW ja ACT sanat kulkevat edestakaisin joka viestissä. Näiden lisäksi PPO 4 -tyypin data sisältää aina neljä vapaasti valittavaa datasanaa. Tässä työssä vapaasti valittaviksi sanoiksi tarvitaan nopeus ja momentti. Kuten kuvassa 19 on esitetty, nämä sanat määritellään vapaalle alueelle PZD-sanoiksi eli prosessidata sanoiksi. (18.)

Tämän lisäksi pitää määritellä myös turvaviestin tyyppi. Turvaviestin tyyppiä valitaan Profisafe_ABB_PS3 eli "Black channel" -viestintä.

Tämän jälkeen määritettiin kenttäväylämoduulille I/O-osoitteista. I/O-osoitteiden määrittely kertoo PLC:n päässä käyttäjälle, mikä minkäkin tulon ja lähdön tarkoitus on. Vastaa- vat määrittelyt tehdään myös taajuusmuuttajan parametreihin mutta ne käsitellään myö- hemmin. Kuten kuvasta 21 näkee, taajuusmuuttajalta luettavat arvot on merkitty %IW- etuliitteellä. %IW-tyyppisiä datasanoja on kuusi kappaletta. Näistä kuudesta kaksi on en- nalta varattu taajuusmuuttajan tilatiedolle ja todelliselle nopeusarvolle (Status ja Speed Actual). Act1-tieto on nopeustyyppinen, koska taajuusmuuttaja on asetettu nopeusohja- tuksi. Tämä on esitetty kuvassa 20, joka on otettu parametreista 58.28 ja 58.29. Nopeus- ohjaukselle act1 määritellään automaattisesti nopeudeksi ja act2 määrittyy momentti- tyyppiseksi.

28	EFB act1 type	Auto	NoUnit	Auto
29	EFB act2 type	Torque	NoUnit	Torque

Kuva 20. Actual tietojen -tyypit.

Loput taajuusmuuttajalta luettavat tiedot ovat Drive_Speed_estimated eli arvioitu no- peus, DC_Voltage eli välipiirintasajännite ja Drive_Torque eli momentti. PZD3 on annettu myös nimi Drive_in3 mutta sitä käytetään myös momentin lukemiseen.

Työn tavoitteena oli ohjata taajuusmuuttajan nopeutta ja momenttia, joten taajuusmuut- tajalta on oleellista pystyä lukemaan arvioitu nopeus sekä momentti. Tästä syystä valit- sisin luettaviksi arvoiksi arvioidun nopeuden, momentin sekä välipiirin jännitteen. Välipii- rin jännitteen lukeminen ei ollut työn tulosten kannalta oleellinen arvo mutta sen lisäämi- nen luettavien parametrien listalle on hyödyllistä väyläyhteyden toiminnan toteamiseksi.

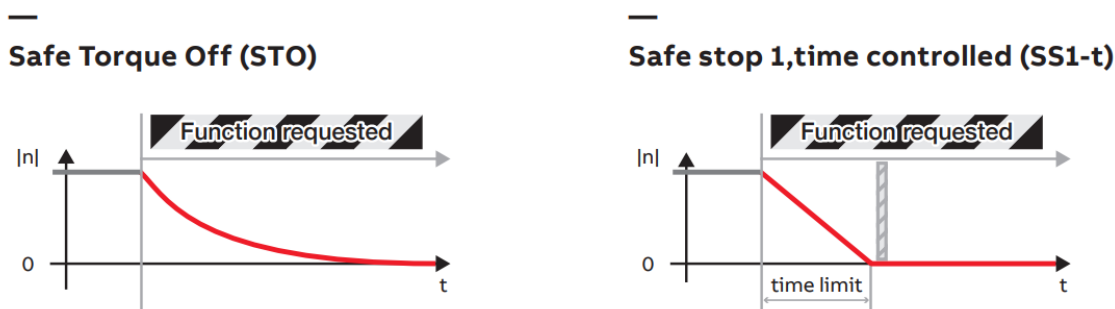
Taajuusmuuttajalle annettavat ohjeet on osoite sarakkeessa listattu etuliitteellä %QW. Kuten edellä mainittiin, PPO 4 -viestityypistä %QW-alkuisia taajuusmuuttajalle meneviä datasanoja on kuusi, joista kaksi on lukittu ja neljä on vapaasti valittavia. Lukitut datasa- nat ovat ohjaussana (Drive_CW) ja nopeusohje (Drive_ref_Speed). Nopeusohje on lu- kittu, sillä taajuusmuuttaja on asetettu nopeusohjaukseen. Näiden lisäksi vapaa valintai- nen momenttiohje on vielä lisätty lähetettäväksi datasanaksi. Tämä on muuttujan nimellä Drive_ref_Torque. Muita taajuusmuuttajalle lähetettäviä muuttujia ei ole asetettu.

Loput määritellyt parametrit liittyvät samassa väyläyhteysessä toimivaan turvaväylään. Taajuusmuuttajalta luetaan neljää turvatoimintoihin liittyvää parametriä. Nämä luettavat parametrit ovat Drive_safestate, Drive_STO_signal, Drive_STO_Act ja Drive_SS1_Act.

Object Name	Variable	Channel	Address
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_SW	Status	%IW2.0
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_speed_ACT1	Speed Actual	%IW2.1
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_in3	Actual PZD3	%IW2.2
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_Speed_estimated	Actual PZD4	%IW2.3
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	DC_Voltage	Actual PZD5	%IW2.4
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_Torque	Actual PZD6	%IW2.5
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_CW	Command	%QW2.0
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_ref_Speed	Speed Reference	%QW2.1
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_ref_Torque	Reference PZD3	%QW2.2
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_out4	Reference PZD4	%QW2.3
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_out5	Reference PZD5	%QW2.4
PPO_Type_4 (FSPS_21\)	Drive_out6	Reference PZD6	%QW2.5
PROFIsafe_ABB_PS3 (FSPS_21\)	Drive_safestate	ABB_PS3 In octet 0 status bits - Device_state	%IX2.12.0
PROFIsafe_ABB_PS3 (FSPS_21\)	Drive_STO_signal	ABB_PS3 In octet 0 status bits - STO_signals_active	%IX2.12.3
PROFIsafe_ABB_PS3 (FSPS_21\)	Drive_STO_Act	ABB_PS3 In octet 0 status bits - STO_active	%IX2.12.4
PROFIsafe_ABB_PS3 (FSPS_21\)	Drive_SS1_Act	ABB_PS3 In octet 0 status bits - SS1-t_active	%IX2.12.5
PROFIsafe_ABB_PS3 (FSPS_21\)	Drive_STO_request	ABB_PS3 Out octet 0 command bits - STO_request	%QX2.12.0
PROFIsafe_ABB_PS3 (FSPS_21\)	Drive_SS1t_request	ABB_PS3 Out octet 0 command bits - SS1-t_request	%QX2.12.1
PROFIsafe_ABB_PS3 (FSPS_21\)	SS1TIME	SS1-t_time	%QW2.7
PROFIsafe_ABB_PS3 (FSPS_21\)	Status	PROFIsafe F Message trailer - Status	%QB2.16

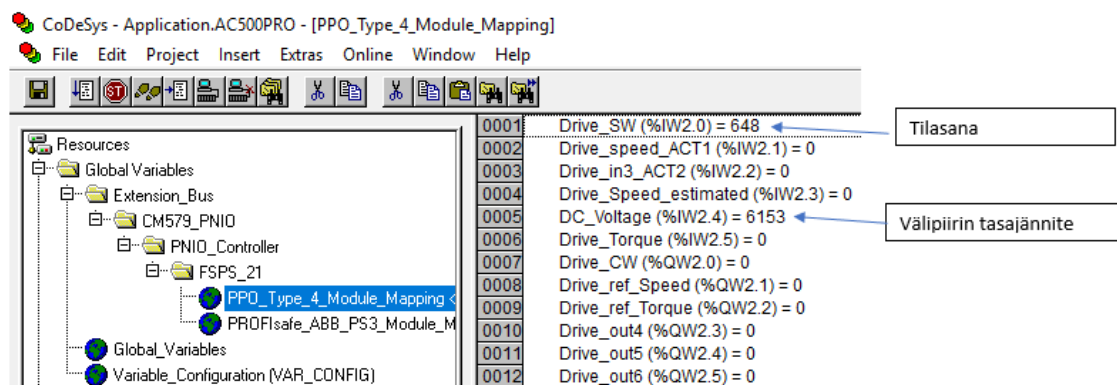
Kuva 21. I/O-määrittelyt.

Taajuusmuuttajalle voidaan turva-PLC:ltä lähettää kaksi pyyntöä. Drive_STO_request ja Drive_SS1t_request. STO-pyyntö tarkoittaa sitä, että taajuusmuuttajalle annetaan pysähtymiskäske, mutta sen annetaan vapaasti rullata moottori pysähdyksiin. SS1t-pyyntö sen sijaan antaa taajuusmuuttajalle pysähtymiskäskyn, mutta taajuusmuuttajan ohjaama moottorin myös ajetaan ramppia pitkin pysähdyksiin tietyn ajan sisällä. Edellä kuvaillut toiminnot on esitetty kuvassa 22, jossa y-akselilla ”|n|” kuvaa taajuusmuuttajan nopeutta ja x-akselilla ”t” kuvaa aikaa.



Kuva 22. STO ja SS1t.

CodeSys-ohjelmaa normaalin PLC:n puolelle ei tehdä, vaan taajuusmuuttajaa operoidaan väyläyhteyden kautta syöttämällä ohjaussana, nopeusohje sekä momenttiohje. Väyläyhteyden kautta on luettavissa taajuusmuuttajan välipiirin tasajännite sekä tilasana, jotka näkyvät kuvassa 23. Välipiirin jännite ilmoitetaan neljällä luvulla, joista viimeinen esittää jännitteen desimaaliarvoa. Taajuusmuuttajan välipiirin tasajännite on siis kuvassa x. 615.3VDC. Tilasana esitetään bittiluvun numeerisena desimaalilukuna.



Kuva 23. Tilasana ja välipiirin tasajännite

Tässä työssä ei tehty erillistä turvaohjelmaa PLC:lle, vaan tavoitteena oli väyläyhteyden kautta aktivoida STO-pyyntö sekä SS1-t -pyyntö. Ainoa pakollinen ohjelma väyläyhteyden toimintaan saattamiseksi oli Watchdog-ohjelma. Watchdog-ohjelman tehtävä on vahtia sitä, että väyläyhteys pysyy jatkuvasti kunnossa ja, että jokaisen viestiin vastaan. Watchdog-ohjelma siis tarkistaa, että yhteys toimii. Toimiva väyläyhteys todennetaan sillä, että jokaiseen lähetettyyn viestiin vastataan 150 millisekunnissa. Mikäli vastaus saapuu asetetun aikarajan sisällä, todetaan väyläyhteyden olevan kunnossa. Jos vastausta lähetettyyn viestiin ei saada, turva-PLC olettaa väyläyhteyden katkenneen ja

aktivoi STO-toiminnon. Samaa ajallista tarkistusta taajuusmuuttajan päässä hoitaa FSPS-21-optio, joka ajaa taajuusmuuttajan turvalliseen tilaan, mikäli viestiin ei vastata ajoissa. Turva-PLC:lle tehty ohjelma on esitetty kuvassa 24.

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     wdog: SF_WDOG_TIME_SET;
0004 END_VAR
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011 (*Watchdog timer*)
0012 wdog(
0013     EN:=TRUE,
0014     WDOG:=150,
0015     RESET:=,
0016     DONE=>,
0017     ACT_TIME=>,
0018     MAX_TIME=>);
0019
0020 (*Automatic acknowledgement for PROFIsafe*)
0021 IF PROFIsafe_ABB_PS3.OA_Req_S = TRUE THEN
0022     PROFIsafe_ABB_PS3.OA_C:=TRUE;
0023 ELSE
0024     PROFIsafe_ABB_PS3.OA_C:=FALSE;
0025 END_IF;
0026

```

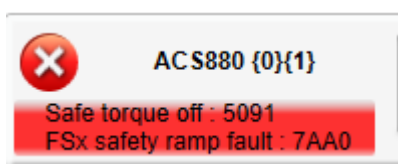
Kuva 24. Watchdog-ohjelma.

Turva-PLC:n ohjausta ja tilaa käsitellään Input-tilaa lukemalla ja output-tilaa ohjaamalla. Kuvassa 25 näkyy tulot ja lähdöt. Kuvassa vasemmalla on taajuusmuuttajalta luettavat arvot. Taajuusmuuttajalta tarkistetaan, onko taajuusmuuttajalla turvatila päällä, onko STO-signaali luettavissa, onko STO aktivoitu ja onko SS1-t aktivoitu. Kuten kuvasta nähdään, ainoa TRUE-tilassa oleva arvo on Drive_STO_signal, mikä tarkoittaa sitä, että taajuusmuuttajan STO-tilaa voidaan lukea.

0001	Drive_safestate = FALSE	0001	Drive_STO_request = FALSE
0002	Drive_STO_signal = TRUE	0002	Drive_SS1t_request = FALSE
0003	Drive_STO_Act = FALSE	0003	SS1TIME = 0
0004	Drive_SS1_Act = FALSE	0004	
0005		0005	
0006		0006	
0007		0007	
0008		0008	
0009		0009	
0010		0010	

Kuva 25. Turva-PLC:n tulo- ja lähtömuuttujat.

Kuvan vasemmalla puolella on pyydettyjen turvatoimintojen tilat, joka kaikki ovat tilassa FALSE, eli tällä hetkellä ei pyydetä taajuusmuuttajalta mitään turvatoimintoa. SS1-t-pyyntön yhteydessä on aina kerrottava myös SS1TIME, eli aika jossa taajuusmuuttaja on ajettava kuvan 21 mukaista ramppia pitkin pysähtyneeseen tilaan. Mikäli taajuusmuuttaja ei ole pysähtynyt asetetussa ajassa, käynnistetään STO ja taajuusmuuttaja menee virhetilaan, joka on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Safety ramp -vika.

Safety ramp fault liittyy taajuusmuuttajan Zero speed limit -määrittelyyn. Zero speed limit parametrin määrittely on esitetty kuvassa 27. SS1-t:n aktivoiduttua taajuusmuuttaja ohjaa moottoria ramppia pitkin pysähdyksiin, kunnes Zero speed limit on saavutettu. Tämän jälkeen moottori pyöri vapaasti pysähdyksiin, mikäli Zero speed delay -arvoa ei ole määritetty. Turvatoiminnon kannalta Zero speed delaytä ei tarvitse määritellä. Zero speed delayn määrittely aiheuttaa ainoastaan sen, että taajuusmuuttaja jatkaa moduloimista viiveeksi määritellyn ajan verran ja pitää nopeusohjauksen käytössä. Taajuusmuuttaja on siis valmiina nopeaan uudelleen käynnistykseen Zero speed delay -viiveeseen määritellyn ajan.

21. Start/stop mode						
6	Zero speed limit	30.00	rpm	0.00	30000.00	30.00
7	Zero speed delay	50	ms	0	30000	0

Kuva 27. Zero speed limit ja Zero speed delay.

4.4 Väyläohjauksen parametointi taajuusmuuttajalle

Taajuusmuuttajan parametriryhmiin 52 ja 53 kerrotaan, mitä tietoja taajuusmuuttajalta halutaan lukea sekä mitä taajuusmuuttajan väyläyhteyden kautta saatu tieto sisältää. Kuvassa 28 nähdään, että ryhmään 52. FBA A data in on annettu kuusi arvoa. Nämä kuusi arvoa ovat tilasana, todellinen nopeusarvo, todellinen momenttiarvo, arvioitu moottorin nopeus, välipiirin tasajännite sekä moottorin momentti.

52. FBA A data in				
1	FBA A data in1	SW 16bit	NoUnit	None
2	FBA A data in2	Act1 16bit	NoUnit	None
3	FBA A data in3	Act2 16bit	NoUnit	None
4	FBA A data in4	1.2[16]	NoUnit	None
5	FBA A data in5	1.11[16]	NoUnit	None
6	FBA A data in6	1.10[16]	NoUnit	None
53. FBA A data out				
1	FBA data out1	CW 16bit	NoUnit	None
2	FBA data out2	Ref1 16bit	NoUnit	None
3	FBA data out3	Ref2 16bit	NoUnit	None

Kuva 28. Tuleva ja lähtevä tieto.

Ryhmään 53. FBA A data out on kerrottu taajuusmuuttajalle, mitä sen saama tieto on. Kuvan 26 mukaisesti vastaanotettu tieto on ohjaussana (CW 16bit), nopeusohje (Ref1 16bit) sekä momenttiohje (Ref2 16bit)

Ryhmään 51. FBA A settings määritellään väyläyhteyden muoto. Taajuusmuuttajalle kerrotaan, että väylän tyyppi on PROFIsafe ja että profiili on PNIO ABB Pro. Lisäksi määritellään IP-osoite ja viestin tyyppiä asetetaan PPO4. Oleellista on myös kertoa taajuusmuuttajalle sen yksilöllinen F-osoite. Turva-PLC käyttää F-osoitetta viestien lähettämiseen, joten F-destination address on oltava aseteltuna samoin kuin turva-PLC:n parametreissa. Kaikki määritellyt parametrit on esitetty kuvassa 29.

51. FBA A settings						
1	FBA A type	PROFIsafe	NoUnit			None
2	Protocol/Profile	PNIO ABB Pro	NoUnit			0
5	IP address 1	192	NoUnit	0	255	0
6	IP address 2	168	NoUnit	0	255	0
8	IP address 4	2	NoUnit	0	255	0
9	Subnet CIDR	24	NoUnit	0	32	0
10	GW address 1	192	NoUnit	0	255	0
11	GW address 2	168	NoUnit	0	255	0
13	GW address 4	2	NoUnit	0	255	0
19	T16 scale	99	NoUnit	0	65535	0
20	Telegram type	PPO4	NoUnit			Unknown
22	Map selection	16bit	NoUnit			32bit
24	F-destination address	2	NoUnit	1	65534	0
31	D2FBA A comm status	On-line	NoUnit			Not configured

Kuva 29. Väyläyhteyden määrittely.

Kuvassa 30 on taajuusmuuttajalle määritetty käynnistyksen ohjaus. Ohjaustavaksi on valittu kenttäväylä ja käyntilupa saadaan ohjaussanan bitistä 3, joka on myös "käy" tieto. Bitti 3 on valittu käyntiluvan lähteeksi, koska erillistä käyntiluvan estoa ei ollut tarpeen määritellä. Käyntilupa usein määritellään tilanteissa, joissa halutaan ulkoisesti antaa lupa käynnistää kone. Esimerkiksi, jos koneen valvomo on kaukana käytettävästä koneesta ja on haluttu, että ennen kuin kone voidaan käynnistää valvomosta, jonkun koneen luona olevan on vahvistettava, että koneen voi käynnistää antamalla käyntilupa.

20. Start/stop/direction				
1	Ext1 commands	Fieldbus A	NoUnit	In1 Start; In2 Dir
12	Run enable 1 source	FBA A MCW bit 3	NoUnit	DIIL

Kuva 30. käynnistyksen ohjaus

4.5 Toiminnan testaaminen

Koska erillistä PLC -ohjelmaa ei tehty, testaaminen suoritettiin monitoroimalla väyläyhteyden yli taajuusmuuttajalta luettavia parametrejä sekä pakottamalla väyläyhteyden yli taajuusmuuttajalle nopeusohje, momenttiohje sekä ohjaussana.

Kun taajuusmuuttaja ja molemmat PLC:t on parametroitu oikein ja väyläyhteys toimii, muuttuu taajuusmuuttajan parametri 51.31 (D2FBA A com status) tilaan "on-line". Tämä

kertoo, että taajuusmuuttajalle määriteltä väyläyhteys toimii eikä kommunikaatiokatkoksia ole havaittu. Seuraavaksi tarkasteltiin sitä, pystyykö PLC lukemaan taajuusmuuttajan tilasanan ja pystyykö PLC kirjoittamaan taajuusmuuttajalle ohjaussanan. Taajuusmuuttajan tilasana on luettu kuvassa 31, ja se on korostettu vihreällä. Kuvan yläosassa näkyy PLC:ltä luettu tilasana 4785 joka vastaa kuvan alaosassa olevaa tilasan arvoa desimaaliarvoa. Kuvassa 31 nähdään myös, että PLC on käskennyt ohjaussanan arvoon 1150 (korostettu punaisella). Vastaava arvo muuttunut taajuusmuuttajan ohjaussanaksi.

PPO_Type_4_Module_Mapping

0001	Drive_SW (%IW2.0) = 4785	← Taajuusmuuttajalta luettu tilasana
0002	Drive_speed_ACT1 (%IW2.1) = 0	
0003	Drive_in3_ACT2 (%IW2.2) = 0	
0004	Drive_Speed_estimated (%IW2.3) = 0	
0005	DC_Voltage (%IW2.4) = 6064	
0006	Drive_Torque (%IW2.5) = 0	
0007	Drive_CW (%QW2.0) = 1150	← Taajuusmuuttajalle annettu ohjaussana
0008	Drive_ref_Speed (%QW2.1) = 0	
0009	Drive_ref_Torque (%QW2.2) = 0	
0010	Drive_out4 (%QW2.3) = 0	
0011	Drive_out5 (%QW2.4) = 0	

Binary parameter editor Main control word {1}{1}

Old value [bin]	0b0100 0111 1110	[hex] 0x047e	[dec] 1150
New value [bin]	0b100011111110	0x047e	1150

← Taajuusmuuttajalle saapunut ohjaussana

Binary parameter editor Main status word {1}{1}

Old value [bin]	0b0001 0010 1011 0001	[hex] 0x12b1	[dec] 4785
New value [bin]	0b1001010110001	0x12b1	4785

← Taajuusmuuttajan tilasana

Kuva 31. Tila- ja ohjaussana taajuusmuuttajalla sekä PLC:llä.

Ohjaussana 1150 näkyy kuvassa 31 myös binaarimuodossa, josta kuvaa 11 tulkitsemalla voidaan päätellä taajuusmuuttajan ohjaussanan bitin 0 olevan arvossa 0. Tämä tarkoittaa sitä, että taajuusmuuttajan tila on "READY TO SWITCH ON", sillä "OFF1" bitti on arvossa 0. Kaikki muut tilakoneen ohjaussanan bitit ovat arvossa, joka sallii käynnistuksen. Taajuusmuuttajan käynnistystä testauksessa siis ohjataan kytkemällä taajuusmuuttajan OFF1-bittiä päälle ja pois. Testausta varten taajuusmuuttajaa ohjataan käynnistymään ohjaussanalla 1151 eli OPERATION ja pysähtymään ohjaussanalla 1150 eli READY TO SWITCH ON.

Nopeusohje ja momenttiohje

Taajuusmuuttajalle voidaan antaa sekä nopeus- että momenttiohje yhtäikaa. Tämän toteuttaminen edellyttää, että taajuusmuuttaja parametroidaan kuvan 32 mukaisesti Ext1 control mode = Add.

19. Operation mode			
1	Actual operation mode	Add NoUnit	Add
11	Ext1/Ext2 selection	EXT1 NoUnit	EXT1
12	Ext1 control mode	Add NoUnit	Speed
14	Ext2 control mode	Torque NoUnit	Speed
16	Local control mode	Speed NoUnit	Speed
17	Local control disable	No NoUnit	No
20	Scalar control reference unit	Rpm NoUnit	Rpm

Kuva 32. Taajuusmuuttajan parametrimäärittely nopeus ja momenttiohjausta varten.

Momenttiohjetta testattiin antamalla taajuusmuuttajalle ohjauksena 1151 sekä momenttiohje 3000. Kuvasta 33 nähdään, että taajuusmuuttajan mittaama nopeus näyttää arvoa 21742 ja momentti 584. Väyläyhteyden yli mitatut arvot eivät kuitenkaan suoraan välity rpm ja momentin numeerisena arvona vaan eri tavalla skaalattuina arvoina. Nopeus on skaalattu siten, että 1380 rpm tarkoittaa kenttäväyläyhteydellä arvoa 20000 ja momentti on skaalattu siten, että 100 % nimellismomentti tarkoittaa kenttäväyläyhteydellä arvoa 10000. Tällöin voidaan päätellä, että momenttiohje 8000 tarkoittaa taajuusmuuttajalle 80 % momenttiohjetta väyläyhteyden yli. Kuitenkin havaitaan, että mitattu momentti on vain 584 eli 5,84 % moottorin nimellismomentista. Tämä johtuu siitä, että taajuusmuuttajan maksiminopeus on rajattu 1500 rpm:n nopeuteen. Mitattu nopeus 21742 kääntyy skaalauksen mukaisesti 1500 rpm:n nopeudeksi. Momenttiohje törmää siis nopeusrajaan.

0001	Drive_SW (%IW2.0) = 4791	
0002	Drive_speed_ACT1 (%IW2.1) = 21742	Mitattu nopeus
0003	Drive_in3_ACT2 (%IW2.2) = 581	
0004	Drive_Speed_estimated (%IW2.3) = 21743	
0005	DC_Voltage (%IW2.4) = 5665	
0006	Drive_Torque (%IW2.5) = 584	Mitattu momentti
0007	Drive_CW (%QW2.0) = 1151	
0008	Drive_ref_Speed (%QW2.1) = 0	
0009	Drive_ref_Torque (%QW2.2) = 8000	Momenttioshje
0010	Drive_out4 (%QW2.3) = 0	

Kuva 33. Momenttioshjeen testaaminen.

Kuvassa 34 näkyvistä parametreista 26.70–26.73 on kuitenkin nähtävissä, että annettu momenttioshje välittyy taajuusmuuttajalle asti. Tämä voidaan tarkistaa myös taajuusmuuttajan ohjausdiagrammista.

70	Torque reference act 1	80.0	%
71	Torque reference act 2	80.0	%
72	Torque reference act 3	80.0	%
73	Torque reference act 4	80.0	%

Kuva 34. Momenttioshje väyläyhteyden yli.

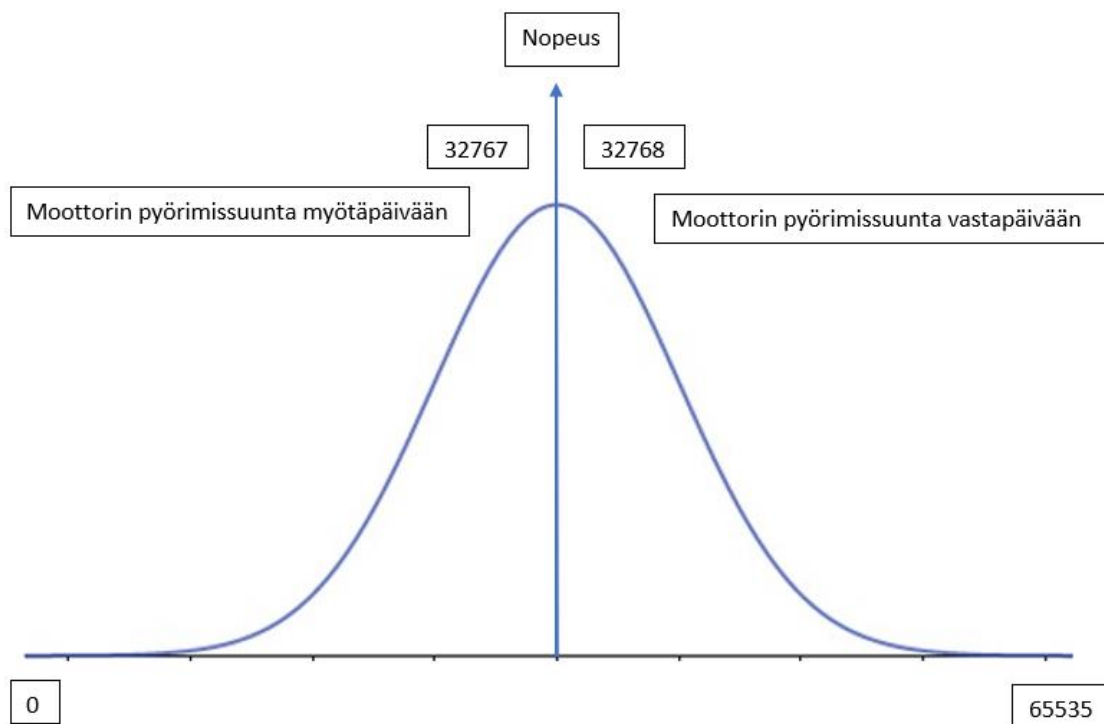
Nopeusohjeen testaaminen on hyvin suoraviivainen testi. Taajuusmuuttajalle annettu nopeusohje pitäisi palautua sellaisenaan taajuusmuuttajalta kuten kuvassa 35. on nähtävissä. Nopeuden arvo 13000 väyläyhteyden yli tarkoittaa 897 rpm:n nopeutta moottorin akselilla.

0001	Drive_SW (%IW2.0) = 5047	
0002	Drive_speed_ACT1 (%IW2.1) = 13000	Mitattu nopeus
0003	Drive_in3_ACT2 (%IW2.2) = 515	
0004	Drive_Speed_estimated (%IW2.3) = 13000	
0005	DC_Voltage (%IW2.4) = 5727	
0006	Drive_Torque (%IW2.5) = 517	
0007	Drive_CW (%QW2.0) = 1151	
0008	Drive_ref_Speed (%QW2.1) = 13000	Nopeusohje
0009	Drive_ref_Torque (%QW2.2) = 0	

Kuva 35. Nopeusohjeen testaaminen.

Moottorin pyörimissuunta

Suunnanmuutos voidaan taajuusmuuttajalle antaa väyläyhteyden kautta antamalla sopiva nopeusohje. Nopeusohjeen tyypiksi Automation builderin I/O mapping list välilehdellä on valittu UINT joka tarkoittaa Unsigned Integer -tyyppistä arvoa. UINT voi saada arvoja väliltä 0–65535. Tällöin voitiin päätellä, että taajuusmuuttajan on vaihdettava suuntaa, kun taajuusmuuttajalle annettavien arvojen puoliväli ylitetään. Tämä osoittautui todeksi sillä arvolla 32767 taajuusmuuttaja pyörii myötäpäivään maksiminopeutta ja arvolla 32768 vastapäivään maksiminopeutta. nopeusohjeet siis noudattava kuvan 36 muotoista normaalijakaumaa siten, että molempien suuntien maksiminopeudet ovat normaalijakauman keskikohdalla.

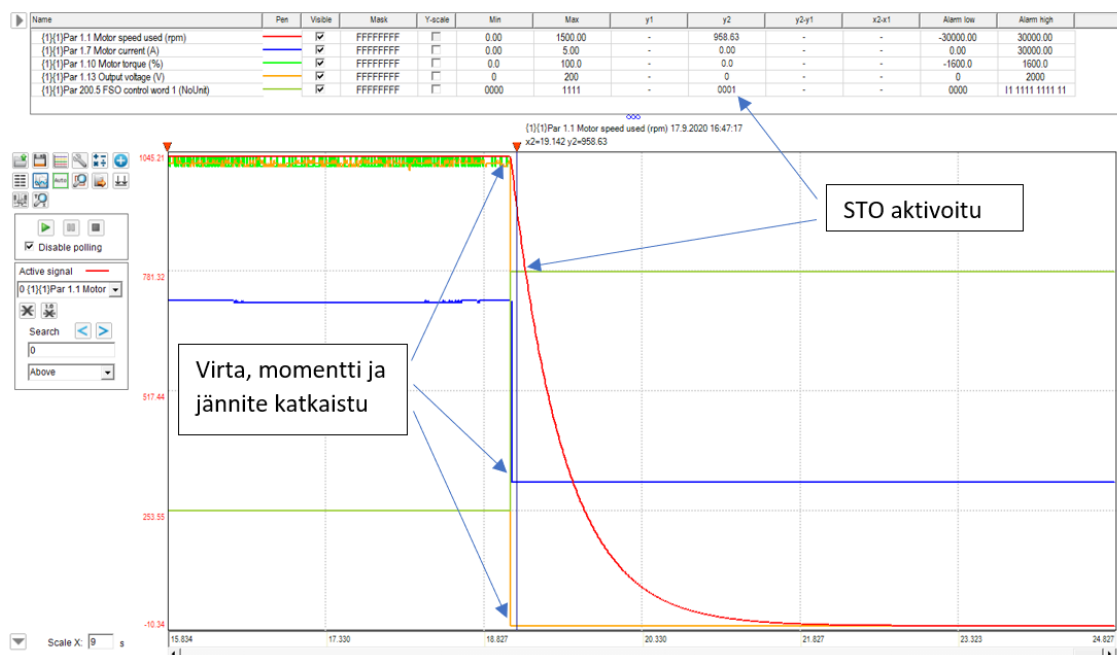


Kuva 36. Nopeuden kuvaaja väylältä annetuille nopeusohjeille.

Turvatoimintojen testaaminen

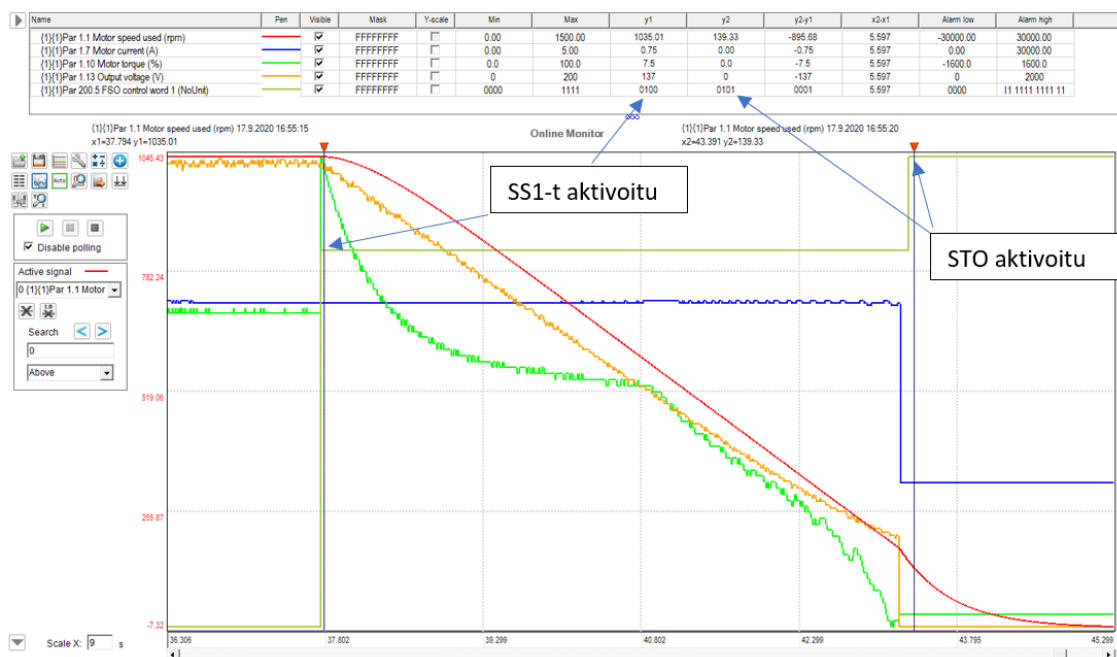
STO-toiminto on taajuusmuuttajien toiminnallisen turvallisuuden kulmakivi, jonka perustalle rakennetaan muut mahdollisesti käytössä olevat turvatoiminnot. STO-komento ajaa taajuusmuuttajan turvallisesti momentittomaan tilaan katkaisemalla tehonsyötön moottorille. STO-toimintoa käytetään usein hätäseis tilanteissa sekä estämään odottamaton käynnistyminen. Tämä toiminta testattiin monitoroimalla moottorin nopeutta, virtaa, momenttia, jännitettä ja parametria 200.05 bittiä 0, joka kertoo STO-pyynnön tilan. STO-pyyntöstä sähkönsyöttö moottorille katkeaa ja moottori rullaa vapaasti pysähdyksiin kuten kuvassa 22 on esitetty.

SS1-t toiminto ajaa taajuusmuuttajan ohjatusti alas ennalta määriteltyä ramppia pitkin, jonka jälkeen STO-toiminto aktivoidaan. Toiminto testattiin monitoroimalla moottorin nopeutta, virtaa, momenttia, jännitettä ja parametrin 200.05 bittiä 0, joka kertoo STO-tilan ja bittiä 2, joka kertoo SS1-t pyynnön tilan. Taajuusmuuttaja noudattaa parametria 23.23 Emergency stop time jonka perusteella taajuusmuuttaja ajaa moottorin täydestä nopeudesta nolla nopeuteen. Emergency stop time määriteltiin kahdeksaksi sekunniksi. Tämän lisäksi on määriteltävä parametri 21.06 Zero speed limit joka kertoo missä nopeudessa STO käynnistetään, eli milloin ”nolla nopeus” on saavutettu. Tämä parametri määriteltiin arvoon 100 rpm.



Kuva 37. STO-testi.

Väylähteyden kautta annettiin käynnistysohje 1151 sekä nopeusohje 15 000, jonka jälkeen turva-PLC teki STO-pyyntön. Kuvasta 37 nähdään hetki, jolloin STO-pyyntö on aktivoitunut. Samalla hetkellä moottorille menevä virta ja jännite katkeaa, sekä momentti katoaa. Nopeus on STO-aktivointi hetkellä 1017 rpm, josta moottori rullaa pysähdyksiin. Nopeutta kuvassa 37 esittää punainen viiva. Taajuusmuuttaja ilmoittaa Tilaksi Safe Torque Off:5091



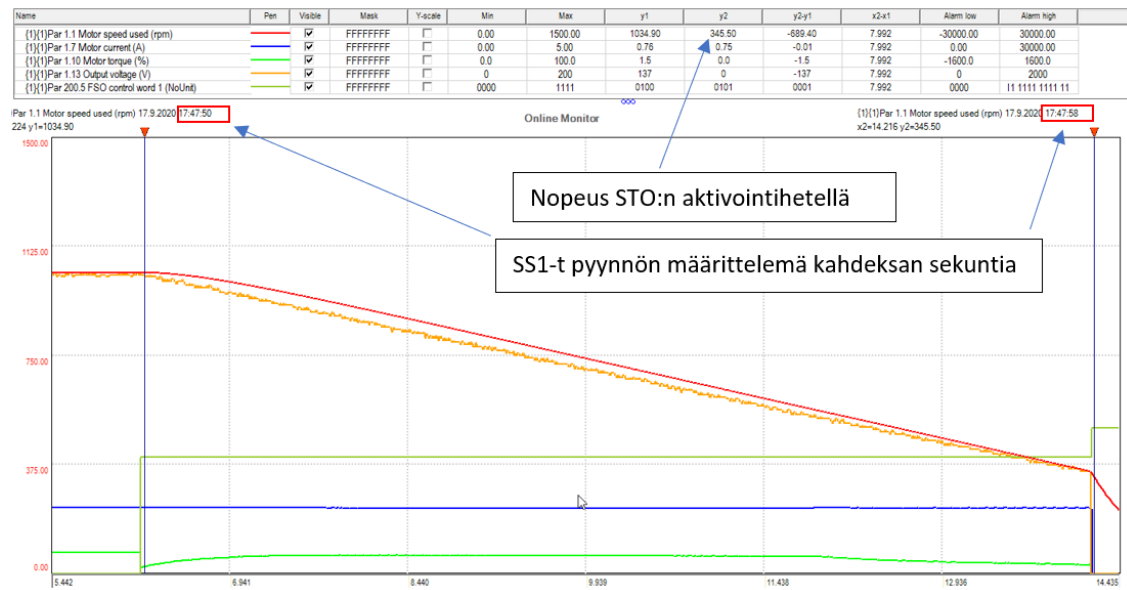
Kuva 38. SS1-t testi.

Kuvasta 38 nähdään monitorointi tilanteesta, jossa SS1-t pyyntö on aktivoitu. Kuvasta nähdään, että punainen viiva, joka esittää nopeutta lähtee laskemaan ramppia pitkin, kunnes STO aktivoituu ja moottori rullaa vapaasti pysähdyksiin. Virran ja jännitteen monitoroinnista voidaan päätellä, että moottori on edelleen hallinnassa kuvan 38 mukaisen rampin ajan, kunnes sähkönsyöttö moottorille katkaistaan STOn kytkeydyttyä päälle.

0001	Drive_STO_request = FALSE
0002	Drive_SS1t_request = TRUE
0003	SS1TIME = 80

Kuva 39. SS1-t -pyyntö turva-PLC:ltä.

Kuvassa 39 nähdään mitä taajuusmuuttajalta pyydettiin. Pyyntö oli SS1-t kahdeksan sekunnin sisällä. Parametri 23.23 Emergency stop time-parametri oli määritelty kahdeksaksi sekunniksi, joten SS1-t pyyntö ehti toteutua ennen sille määritellyn ajan loppumista. Tämän toimintaa testattiin myös asettamalla parametri 23.23 Emergency stop time arvoon 15 sekuntia, jolloin taajuusmuuttajan noudattama ramppi on pidempi ja SS1-t -pysäytyselle määritelty kahdeksan sekunnin pysäytysraja ei saavutettu.



Kuva 40. SS1-t -testi liian pitkällä hätäpysäytys ajalla.

Kuvasta 40 nähdään että taajuusmuuttajalla ohjatun moottorin nopeus on kahdeksan sekunnin kuluttua SS1-t-pyyntöä vielä 345 rpm. Tästä syystä taajuusmuuttaja käynnistää STOn ja ilmoittaa vian FSx Safety ramp fault: 7AA0.

5 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli toteuttaa taajuusmuuttajakäyttö väyläohjauksella sekä demonstroida käytössä olevia turvatoimintoja. Kaikki työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Työ aloitettiin aiheeseen liittyvää teoriaa lukemalla, jonka jälkeen siirryttiin kasaamaan laitteisto. Osat laitteistoa varten oli pääosin heti käytettävissä. Ainoastaan turvaoptio taajuusmuuttajalle oli tilattava erikseen.

Tarvittavan laitteiston kokoamisessa ei ollut suurempia ongelmia hyvän perusymmärryksen ansiosta, siitä miten laitteisto tulisi toimimaan. Laitteiston kokoamisen jälkeen parametroitiin molemmat PLC:t sekä taajuusmuuttaja. Kun väyläyhteys todettiin toimivaksi, jäi jäljelle enää ohjauksen ja turvatoimintojen testaus ja toiminnan toteaminen.

Logiikoiden parametointi ja asetusten määrittely oli työn haastavin sekä opettavaisin osuus. Aiempaa kokemusta vastaavan kokonaisuuden rakentamisesta minulla ei ollut. Työssä oli vaikea saada kokonaiskuva siitä, mitkä kaikki parametrimäärittelyt oli tehtävä taajuusmuuttajan ja PLC:n puolelle, jotta väyläyhteys ja ohjaus saadaan toimimaan. PLC:n ja taajuusmuuttajan manuaaleissa on pääosin selitetty tarvittavat parametrimäärittelyt mutta toiminnankuvaus oli selvítettävä lukuisia eri lähteitä soveltaen sekä yrityksen ja erehdyksen kautta. Testausvaihe oli työn mielenkiintoisin osuus. Turvatoimintojen testaaminen ja monitorointi havainnollisti sen, mitä taajuusmuuttaja oikeasti tekee ja miten se toimii kun jompikumpi käytössä olevista turvatoiminnoista aktivoitiin, sekä miten eri parametrien muutokset vaikuttivat turvatoimintojen toteutumiseen.

Työ tarjoaa pohjan jatkotutkimukselle tai tuleville insinööriopiskelijoilla opinnäytetyön muodossa. Työn lopputuloksena saatiin toteutettua ohjaus taajuusmuuttajalle sekä turvatoimintojen SS1-t ja STO käyttö. Jatkotutkimuksessa olisi mahdollista tehdä PLC-ohjelma ja HMI-käyttöliittymä tässä työssä kuvatuille toiminnoilla. Jatkotutkimuksessa olisi mahdollista esimerkiksi rakentaa PLC-ohjelma ja HMI-käyttöliittymä tässä työssä kuvatuilla toiminnoilla. Lisäksi tässä työssä kuvattu kytkentä voisi sopia harjoitustyöksi opiskelijoille Metropolian sähkövoimatekniikan laboratorioon.

Turva-automaation tarve tulee tulevaisuudessa vain lisääntymään ja tämä työ tarjosi mahdollisuuden oppia miten taajuusmuuttajan ja ohjelmoitavan logiikan välinen

turvaominaisuudet toimivat. Tämän takia myös vastaavanlaisen työn olemassaolo Metropolian laboratorion harjoitustyönä toisi uusille opiskelijoille merkittävää lisäarvoa.

Lähteet

1. ABB Tekninen opas nro. 7 – Sähkökäytön mitoitus. 2001. Verkkoaineisto <[https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekni-
nen_opasnro7.pdf](https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekni-
nen_opasnro7.pdf)>. s. 6. Luettu 18.6.2020.
2. Ravanti Ari. 2014. Taajuusmuuttajat. Verkkoaineisto. <<https://docplayer.fi/23262203-Ari-ravanti-taajuusmuuttajat-abb-group-november-26-2014-slide-1.html>>. Luettu 18.6.2020.
3. Kautto, Mikko 2014. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Verkkoaineisto. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78963/Kautto_Mikko%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y> s.11. Luettu 18.6.2020.
4. Ravanti Ari. 2014. Taajuusmuuttajat. Verkkoaineisto. <<https://docplayer.fi/23262203-Ari-ravanti-taajuusmuuttajat-abb-group-november-26-2014-slide-1.html>>. s. 7. Luettu 18.6.2020.
5. Ristola, Arja. 2020. Sääto- ja ohjausperiaatteet teksti. Taajuusmuuttajakäytöt -kursin materiaali. s. 1-2, 4.
6. IEC61508-0. 2005.Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 0: Functional safety and IEC 61508-0. s, 7, 9, 11, 33.
7. Tukes opas. Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. 2007. Verkkoaineisto. <[https://tukes.fi/documents/5470659/6409383/Turva-automaatio+prosessiturvallisuu-
dessa/e159a62f-a1c2-4de9-a063-7050349d5081/Turva-automaatio+prosessiturvalli-
suudessa.pdf?version=1.0](https://tukes.fi/documents/5470659/6409383/Turva-automaatio+prosessiturvallisuu-
dessa/e159a62f-a1c2-4de9-a063-7050349d5081/Turva-automaatio+prosessiturvalli-
suudessa.pdf?version=1.0)>. s, 3-4, 5. luettu 3.7.2020.
8. IEC 61508-4. 2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 4: Definitions and abbreviations. s, 21.
9. IEC 61508-1. 2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements. s, 33-34.
10. Control Engineering Europe. Safety-conscious drives meet safety standards. 2017. Verkkoaineisto. <[https://library.e.abb.com/public/ea2ea9af77844d03a08f313d6f117d4d/Safety-conscious_drives_meet-safety_standards_Control_Engineering_July_2017.pdf?x-
sign=RBOPhATg85sT9PZ19AETv7P0Vt9wl+HbxykqL/v0lv2acDpNlvs7+8R+u+MXilq](https://library.e.abb.com/public/ea2ea9af77844d03a08f313d6f117d4d/Safety-conscious_drives_meet-safety_standards_Control_Engineering_July_2017.pdf?x-
sign=RBOPhATg85sT9PZ19AETv7P0Vt9wl+HbxykqL/v0lv2acDpNlvs7+8R+u+MXilq)>. s. 1. luettu 3.7.2020.
11. PROFIsafe Overview. 2020. Verkkoaineisto. Profibus. <<https://www.profibus.com/technology/profisafe/overview/>>. Luettu 13.8.2020.

12. PROFI-safe benefits. 2020. Verkkoaineisto. Profibus. <<https://www.profibus.com/technology/profisafe/benefits/#tab-209118>> Luettu 13.8.2020.
13. Profinetuniversity. Industrial safety: PROFI-safe profile overview. 2019. Verkkoaineisto. <<https://profinetuniversity.com/functional-safety/profisafe-profile-overview/>>. luettu 13.8.2020.
14. Profinetuniversity. PROFI-safe Profile: Industrial Safety. 2019. Verkkoaineisto. <<https://profinetuniversity.com/functional-safety/profisafe-profile-details/>>. luettu 13.8.2020.
15. MachineDesign. Engineering Essentials: What is a programmable Logic Controller? Verkkoaineisto. 2015. MachineDesign. <<https://www.machinedesign.com/learning-resources/engineering-essentials/article/21834250/engineering-essentials-what-is-a-programmable-logic-controller>>. luettu 6.7.2020.
16. Järvinen, Lauri. 2020. ACS880 Crane v4.30.0.0 N5050 Fieldbus training-290620.pptm. ABB training.
17. ABB industrial drives Firmware manual ACS880 primary control program. Verkkoaineisto. 2012. ABB. <https://library.e.abb.com/public/6b0e2b9eba86e68bc1257b0c0053dab2/EN_ACS880_FW_Man_C.pdf>. Luettu 6.7.2020.
18. FPNO-21 PROFINET fieldbus adapter module User's manual. 2018. Verkkoaineisto. ABB. <https://library.e.abb.com/public/3dd046606c914c5198d22cdd14db17dc/EN_FPNO-21_UM_A_web.pdf>. s. 91. Luettu 6.7.2020

