

Turva-automaation laboratorioharjoitusten laitteistojen suunnittelu

Juha Penttinen

Opinnäytetyö

Syyskuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Penttinen, Juha	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 01.02.2018
	Sivumäärä 31	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Turva-automaation laboratorioharjoitusten laitteistojen suunnittelu		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Ari Kuisma		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työhön liittyviä riskejä ja vahinkoja pyritään koko ajan vähentämään ja tämä näkyy myös insinööritoimistojen työtilauksissa asiakkaiden vaatiessa turvallisia tuotteita. ”Automaatio luo huomisen työpaikat” -kampanjan yhteydessä Jyväskylän ammattikorkeakoulu lisäsi turva-automaatiokoulutustaan. ABB lahjoitti turvalaitteita Jyväskylän ammattikorkeakoulun opetuksen kehittämiseen.</p> <p>Tehtävänä oli suunnitella ja rakentaa laitteistot turvareleen sekä taajuusmuuttajan turvakäytön laboratorioharjoituksille. Opinnäytetyössä tutkittiin koneturvallisuuteen liittyviä standardeja ISO SFS EN 13489-1 ja SFS-EN ISO 62061 sekä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Työssä laadittiin sähköiset ja mekaaniset suunnitelmat CAD -ohjelmistoilla. Suunnitelmien pohjalta suoritettiin käytännön osuus, eli rakennettiin opetustarkoitukseen laitteistot. Laitteistot testattiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa kytkemällä sähköt ja testaamalla laitteistojen komponenttien toiminta ja kytkennät.</p> <p>Turvarelelaitteisto viritettiin käyttöön 0-1-start-kytkimellä ja tilan palautus toimi oikein. Kun hätäseisäkytkintä painettiin tai kanava kytkimen ja turvareleen välillä katkaistiin, niin turvarele esti lampun palamisen. Taajuusmuuttajan ohjaaminen toimi sekä paikallisesti paneelista että ulkoisesti potentiometrin avulla. Taajuusmuuttajan turvatoimintomoduuli tunnisti turvalaitteet ja reagoi niiden tilan muutoksiin oikein.</p> <p>Tuloksena työssä saatiin kaksi toimivaa laitteistoa, joiden ympärille voidaan suunnitella laboratorioharjoituksia. Tulevaisuudessa laitteistoja käyttävät harjoittelijat pääsevät harjoittelemaan kytkemistä, todentamista ja taajuusmuuttajien turvallisuusohjelmointia Jyväskylän ammattikorkeakoulun tiloissa.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Koneturvallisuus, turva-automaatio, automaatiosuunnittelu, sähkösuunnittelu		
Muut tiedot		

Author(s) Penttinen, Juha	Type of publication Bachelor's thesis	Date 01.02.2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 31	Permission for web publication: x
Title of publication Hardware planning of safety automation laboratory practices		
Degree programme Degree programme in Automation Technology		
Supervisor(s) Kuisma, Ari		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences, Häkkinen Veli-Matti		
Abstract <p>Risks and harms are constantly less acceptable and this is seen in orders of engineering offices. JAMK answered in working life's needs and participated in "Automation creates tomorrow's jobs" – campaign. As part of campaign ABB donated safety automation components for JAMK to improve JAMK's safe automation education. Task was to plan and implement hardware for safety relay and frequency converter -based laboratory practices.</p> <p>Safety of machinery standards SFS-EN ISO 13849-1 and SFS-EN ISO 62061 and related literature were examined for thesis. In task electrical and mechanical schematics were developed in CADS -environment. After developing was construction of hardware according to schematics. Hardware were tested in JAMK's laboratory where electricity was connected to see if components and wirings were working correctly.</p> <p>Safety relay machinery were activated via 0-1-start-switch and reset worked correctly. When emergency switch was pressed or when channel between safety relay and emergency switch was cut, then safety relay prevented lamp from working. Using of frequency converter worked as planned with locally and remotely controlled with potentiometer. Frequency converter's safety module recognized safety gear correctly and responded status changes of those.</p> <p>As a result, two working machinery were gotten and those can be used for laboratory practices. In future users of machinery get to practice wiring, verifying and programming of frequency converter safety programs at Jyväskylä University of Applied Sciences.</p>		
Keywords/tags (subjects) Machinery safety, Safety automation, Automation planning, Electrical planning		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	4
2	Turva-automaation suunnittelu	5
2.1	Vaadittava suoritustaso PLr.....	5
2.2	Suoritustaso PL	6
2.3	Kanavan vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika $MTTF_D$	7
2.4	Diagnostiikan kattavuus DC.....	8
2.5	Vikaantuminen	9
2.6	Ohjausjärjestelmien luokittelu	10
2.7	Pysäyttäminen	12
3	Komponentit	13
3.1	Taajuusmuuttaja.....	14
3.2	Ethernet adapterimoduuli FENA-21.....	14
3.3	FSO-12 turvatoimintomoduuli	15
3.4	Turvarajakytkin.....	16
3.5	Turvarele.....	17
4	Harjoitusympäristöt	18
4.1	Turvarelelaitteisto	19
4.2	Taajuusmuuttajalla ohjattu moottorilähtö	21
5	Testaus	24
6	Johtopäätökset ja pohdinta	25
	Lähteet.....	27
	Liitteet	29
	Liite 1. Häätäseislaitteiston virtapiirikaavio.....	29
	Liite 2. Häätäseislaitteiston virtapiirikaavio testauksessa.....	30
	Liite 3. Taajuusmuuttajalaitteiston virtapiirikaavio.....	31

Kuviot

Kuvio 1. Kuvaaja vaadittavan PL_r :n määrittämiseksi.....	6
Kuvio 2. Kanavan vaarallisen keskimääräisen vikaantumisajan ja diagnostiikan kattavuuden suhde suoritustasoon	9
Kuvio 3. Ohjausjärjestelmä rakenteet.....	12
Kuvio 4. Pysäytysluokat.....	13
Kuvio 5. FENA-21 Ethernet adapterimoduuli.....	15
Kuvio 6. FSO-12 turvatoimintomoduuli	16
Kuvio 7. MKey8M turvarajakytkin.....	17
Kuvio 8. Hätäseisrele ohjaa sähkömoottoria ja valvoo hätäseiskytkintä.....	17
Kuvio 9. ABB RT6 turvarele.....	18
Kuvio 10. Periaatekuva turvajärjestelmästä, missä turvalaitteet kytketty taajuusmuuttajan FSO-12 moduuliin	19
Kuvio 11. Turvareleen ja turvalaitteen kytkentäperiaate	20
Kuvio 12. Valmis turvarelelaitteisto.	21
Kuvio 13. Laitteiston ohjauskomponentit.	22
Kuvio 14. Taajuusmuuttajalle kytketyt turvalaitteet.	23
Kuvio 15. Moottori ja taajuusmuuttaja rakin sisällä.	24

Taulukot

Taulukko 1. Suoritustaso (PL).....	7
Taulukko 2. Kanavan vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika ($MTTF_D$).....	7
Taulukko 3. Diagnostiikan kattavuus (DC).....	8
Taulukko 4. FSO-12:n mahdollistamat turvatoiminnot.....	15

Käsitteet

CCF – Common cause failure, yhteisvikaantuminen

DC – Diagnostic coverage, diagnostiikan kattavuus

MTTF_D – Mean time to dangerous failure, kanavan vaarallisen vikaantumisen keskimääräinen aika

PL_r - Required performance level, vaadittava suoritustaso

PL – Performance level, suoritustaso

1 Johdanto

Koneiden ja teollisten prosessien yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on turvallisuus, johon sijoittamalla ehkäistään henkilöstö- ja laitteistovaurioita. Koska riskejä ja tapaturmia siedetään koko ajan vähemmän ja teollisuus sekä palvelut automatisoituvat, on automaattisten turvatoimintojen tarve kasvanut. Siksi on tärkeää, että insinööri-koulutuksessakin panostetaan turva-automaatioon yhä enemmän. Prosessin turvallisuutta lisätään lähtökohtaisesti prosessin suunnittelulla ja koneiden turvallisuutta voidaan lisätä mekaanisella suunnittelulla. Mekaanisia turvallisuutta lisääviä toimenpiteitä ovat muun muassa aidat ja lukitut portit, jotka estävät vaara-alueelle pääsemisen. Toissijaisesti voidaan käyttää sähköisiä turvallisuutta lisääviä ominaisuuksia. Sähköisiä turvatoimenpiteitä voivat olla puolestaan erilaiset turvarajat, jotka estävät koneen käymisen esimerkiksi portin ollessa auki. Tässä opinnäytetyössä keskitytään koneiden turvallisuuteen ja niiden luokkiin.

Opinnäytetyön tilaajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulu eli JAMK. JAMKissa opiskelee noin 8000 opiskelijaa kahdeksalla eri alalla yli 30:ssä tutkinto-ohjelmassa (Tutustu JAMKiin n.d.). Opinnäytetyö valikoitui JAMKin henkilön esittäessä mahdollista opinnäytetyöaihetta. Opinnäytetyö on osa vuonna 2015 käynnistynyttä valtakunnallista Automaatio luo huomisen työpaikat -kampanjaa, jonka yhteydessä ABB lahjoitti JAMKille turva-automaatiolaitteistoa turva-automaatiokoulutuksen kehittämiseen.

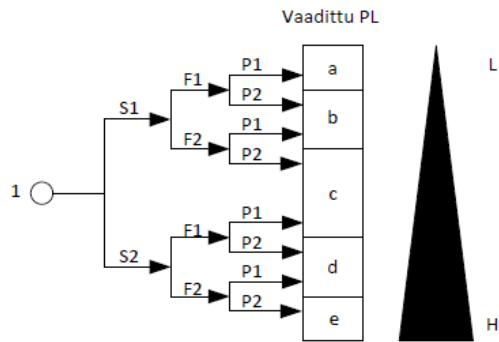
Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella sekä rakentaa kaksi laboratorioharjoituslaitteistoa. Laitteistojen suoritustasoksi tilaaja oli määritellyt tason d. Laboratorioharjoitusten tekijät pääsevät tutustumaan laitteiden suoritustasoihin ja todentamaan niitä sekä perehtymään turvatoimintoihin käytännössä. Opinnäytetyötä lähdettiin toteuttamaan perehtymällä koneiden turvallisuutta käsitteleviin standardeihin ja kirjallisuuteen.

2 Turva-automaation suunnittelu

Koneiden turvallisuuden suunnitteluun Suomessa asettaa vaatimuksia valtionneuvoston koneasetus 400/2008, joka perustuu konedirektiiviin 2006/42/EY (Koneturvallisuuden standardit n.d., 2). Standardeissa SFS-EN ISO 13849-1, SFS-EN ISO 14119 ja SFS-EN ISO 62061 käsitellään keinoja päästä direktiivin asettamiin vaatimuksiin. Tässä opinnäytetyössä on käytetty erityisesti standardia ISO 13849-1 eli koneturvallisudessa turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien osiin liittyviä yleisiä suunnitteluperiaatteita käsittelevää standardia. Prosessiturvallisuuteen keskitytään standardissa SFS-EN 61511-1. Turvasuunnittelu aloitetaan tavanomaisesti riskien arvioinnilla, mutta se ei ollut osana tätä opinnäytetyötä.

2.1 Vaadittava suoritustaso PLr

Standardin ISO 13859-1 mukaan riskianalyysien jälkeen määritetään PLr, joka kuvaa vaadittavaa suoritustasoa. Vaadittavaa suoritustasoa määrittäessä arvioidaan mahdollisten vammojen vakavuutta, vaaralle altistumisen kertoja tietyssä ajan jaksossa ja/tai kestoja sekä mahdollisuutta välttää vaara tai rajoittaa vahinkoa kuvion 1 mukaisesti. (SFS EN ISO 13849 2015, 54.)



Selite

- 1 Lähtökohta turvatoiminnon osuuden selvittämiseksi
 L Osuus riskin pienentämisessä pieni
 H Osuus riskin pienentämisessä suuri

Riskimuuttujat:

- S Vamman vakavuus
 S1 Lievä (tavallisesti palautuva vamma)
 S2 Vakava (tavallisesti palautumaton vamma tai kuolema)
 F Vaaralle altistumisen taajuus ja/tai kesto
 F1 Harvoin...toisinaan ja/tai lyhyt altistumisaika
 F2 Toistuvasti...jatkuvasti ja/tai pitkä altistumisaika
 P Mahdollisuus välttää vaara tai rajoittaa vahinkoa
 P1 Mahdollista tietyissä olosuhteissa
 P2 Tuskin mahdollista

Kuvio 1. Kaavio vaadittavan suoritustason PL_r:n määrittämiseksi (SFS EN ISO 13849 2015, 55).

2.2 Suoritustaso PL

PL (Performance Level) eli suoritustaso ilmaisee ohjausjärjestelmän kyvyn toteuttaa turvatoiminto. Jokaiselle turvatoiminnon toteuttavalle järjestelmän osalle on arvioitava suoritustaso. Seuraavaksi on lueteltu asiat, joiden perusteella määritetään järjestelmän osan suoritustaso:

- vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika (MTTF_D)
- diagnostiikan kattavuus (DC)
- yhteisvikaantuminen (CCF)
- rakenne
- turvatoiminnon käyttäytyminen vikatilanteessa (-tilanteissa)
- turvallisuuteen liittyvä ohjelmisto
- systemaattinen vikaantuminen
- kyky toteuttaa turvatoiminto ennakoitavissa olevissa ympäristöolosuhteissa. (SFS EN ISO 13849 2015, 23.)

Taulukossa 1 on esitetty vaarallisen vikaantumistaajuuden ja suoritustason suhdetta.

Taulukko 1. Suoritustaso (PL) (ISO 13849 2015, 19).

PL	Vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaajan todennäköisyys tuntia kohden (PFHD) 1/h
a	$\geq 10^{-5} - < 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6} - < 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6} - < 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7} - < 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8} - < 10^{-7}$

Laitevalmistajilta on yleensä saatavilla tieto, mihin suoritustasoon kullakin laitteella päästään.

2.3 Kanavan vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika $MTTF_D$

$MTTF_D$ tarkoittaa signaalikanavan vaarallista keskimääräistä vikaantumisaajan arvoa. Tätä arvoa voidaan ilmaista kolmella tasolla, ja on huomioitava, että jokaiselle kanavalle on erikseen tarkastettava oma arvo. Tämä koskee sekä yksittäisiä kanavia että redundanttisen kytkennän kaikkia kanavia. (SFS EN ISO 13849 2015, 25.) Taulukossa 2 on esitelty edellä mainitut kolme tasoa.

Taulukko 2. Kanavan vaarallinen keskimääräinen vikaantumisaika ($MTTF_D$) (ISO 13849 2015, 25).

Kunkin kanavan merkintä	$MTTF_D$
	Kunkin kanavan vaihteluväli
Pieni	$3 \text{ vuotta} \leq MTTF_D < 10 \text{ vuotta}$
Keskitaso	$10 \text{ vuotta} \leq MTTF_D < 30 \text{ vuotta}$
Suuri	$30 \text{ vuotta} \leq MTTF_D < 100 \text{ vuotta}$

2.4 Diagnostiikan kattavuus DC

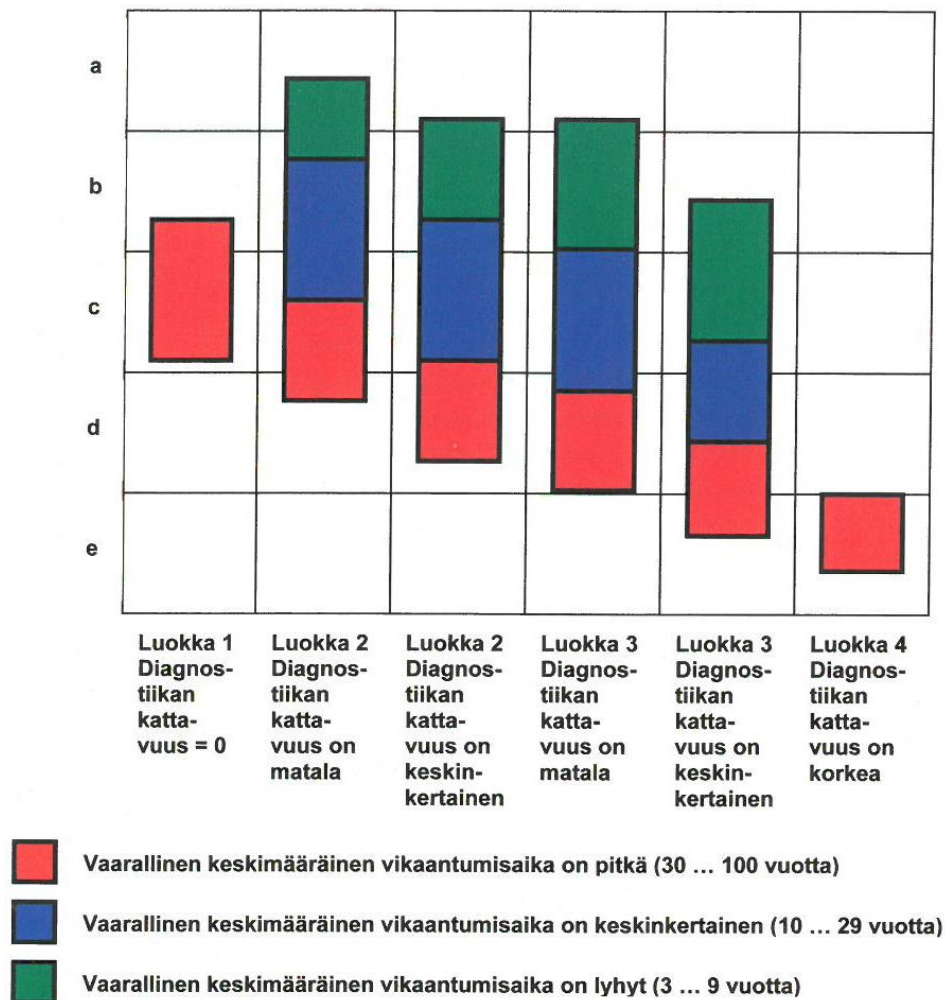
Diagnostiikan kattavuus voidaan ymmärtää vikojen havaitsemisena. Vian ilmentyessä on järjestelmän pysyttävä turvallisena, mikä tarkoittaa, että vian tulesa havaituksi on järjestelmän kyettävä toteuttamaan turvatoiminto. (Siirilä & Kerttula 2007, 169). Diagnostiikan kattavuuden ilmaisuun käytetään taulukon 3 mukaisia tasoja. Tavallisesti standardin IEC 60812 mukainen vika- ja vaikutusanalyysi on sopiva menetelmä diagnostiikan kattavuuden arvioimiseksi. Vastaavalla tavalla tulee ottaa muutkin ilmenevät viat ja/tai vikaantumismuodot huomioon. Standardin SFS 13849-1 liitteessä E on esitetty yksinkertaistettu lähestymistapa. (SFS EN ISO 13849-1, 26.)

Taulukko 3. Diagnostiikan kattavuus (DC) (ISO 13849 2015, 26).

Diagnostiikan kattavuus	
Merkintä	Kunkin kanavan vaihteluväli
Ei lainkaan	$DC < 60 \%$
Matala	$60 \% \leq DC \leq 90 \%$
Keskitaso	$90 \% \leq DC \leq 99 \%$
Korkea	$99 \% \leq DC$

Kuviossa 2 on kuvattu kanavan vaarallisen keskimääräisen vikaantumisajan ja diagnostiikan kattavuuden suhdetta suoritustasoon.

Suoritustaso



Kuvio 2. Kanavan vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaikan ja diagnostiikan kattavuuden suhde suoritustasoon (Siirilä & Kerttula 2007, 172).

2.5 Vikaantuminen

Vikaantumiset lajitellaan suoritustasoa arvioidessa yhteisvikaantumisiin ja systemaattisiin vikaantumisiin.

Koneiden ja ohjausjärjestelmien viat ovat joko systemaattisia tai satunnaisia. Systemaattinen vika voi syntyä turvakomponentin väärin mitoittamisesta suunnitteluvaiheessa tai virheellisestä asentamisesta. Esimerkiksi väriin olosuhteisiin mitoitettu laite, väärää aluetta valvova oikeanlainen anturi sekä ohjelmointivirheet lukeutuvat systemaattisiin vikoihin. (Siirilä & Kerttula 2007, 153-154.)

Yhteisvikaantumisella tarkoitetaan sitä, kun yksi juurisyy aiheuttaa vian vähintään kahteen laitteiston osaan tai kokonaisuuteen. Turvallisuudesta vastaavan järjestelmän tulee selvittää näistä tilanteista ja sen pitää pystyä toteuttamaan turvatoiminto. Yhteisvikaantumisia aiheuttavat suunnittelu- tai valmistusvirheet laitteissa, huollossa ja käytössä tehdyt virheet taikka jokin ulkoinen syy, joka vaikuttaa järjestelmässä useaan osa-alueeseen. (Siirilä & Kerttula 2007, 165.)

2.6 Ohjausjärjestelmien luokittelu

Standardissa SFS-EN ISO 13 849-1 kerrotaan ohjausjärjestelmän kyvystä selvittää turvatoiminnosta ilmenneissä vikatilanteissa sekä selitetään vikojen todennäköisyyttä (Siirilä 2009, 143). Standardissa ohjausjärjestelmät voidaan jakaa viiteen eri luokkaan, jotka ovat B, 1, 2, 3 ja 4. Luokitus riippuu arkkitehtuurista ja perusvaatimuksista. Perusvaatimus koostuu järjestelmän määrittelyosasta ja vaarallisten vikaantumisten välisestä keskimääräisestä ajasta. Seuraavana luokkakuvaukset selitetään lyhyesti:

Luokassa B järjestelmän osat tulee valita niin, että ne kestävät sijoituspaikan olosuhteissa turvallisina. Turvallisuuden peruseriaatteet ovat aina otettava huomioon, jotta vahingoilta säästyttäisiin ja ne minimoitaisiin. Vaarallisen vikaantumisen välinen keskimääräinen aika on määritelty olevan vähintään 3 - 29 vuotta. (Siirilä 2009, 143.)

Luokassa 1 turvallisuuden yleisten peruseriaatteiden ohella tulee käyttää hyvin koeteltuja järjestelmän osia ja turvallisuusperiaatteita. Jos vikaantuminen tapahtuu, niin se tapahtuu suuntaan, joka on ihmiselle ja koneelle turvallisempi. Luokka 1:ssä vaarallisten vikaantumisten välinen keskimääräinen aika on määritelty vähintään olevan 30 - 100 vuotta. (Siirilä 2009, 143-144).

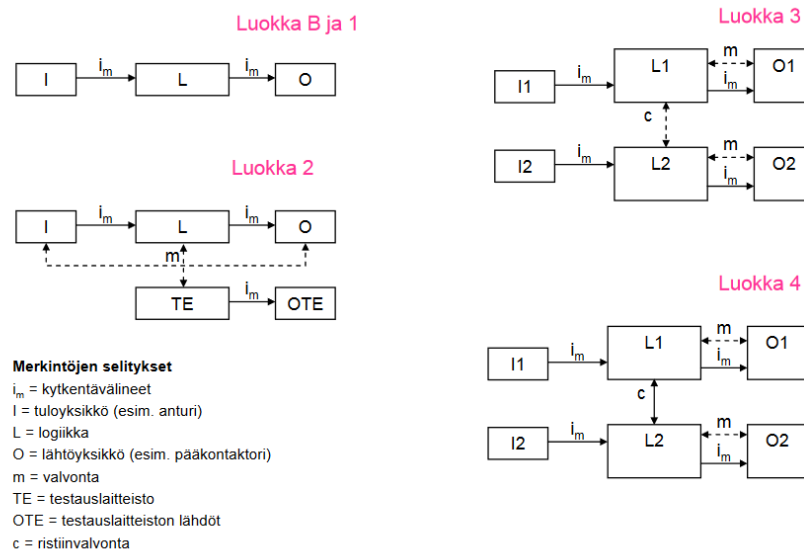
Luokassa 2 turvallisuuden hyvin koeteltujen turvallisuusperiaatteiden ja yleisten turvallisuuden peruseriaatteiden lisäksi ohjausjärjestelmän tulee pystyä tarkistamaan turvatoiminto koneen käynnistyessä ja ennen vaaratilannetta. Lisäksi tarpeen vaatiessa turvatoiminto on pystyttävä tarkistamaan myös koneen ollessa käynnissä. Standardissa SFS-EN ISO 13 849-1 kohdassa 4.5.4 edellytetään, että turvatoimintoa testataan ainakin sata kertaa useammin, kuin sitä tarvitaan. Vaarallisten

vikaantumisten välisen keskimääräisen ajan on oltava määritysten mukaan vähintään 3 – 100 vuotta riippuen vaadittavasta suoritustasosta. Diagnostiikan keskimääräisen kattavuuden on standardin mukaan oltava vähintään 60-98 %. Yhteisvikojen todennäköisyyden tulee olla pieni. (Siirilä 2009, 144.)

Luokassa 3 hyvin koeteltujen turvallisuusperiaatteiden ja yleisten turvallisuuden peruseriaatteiden lisäksi ohjausjärjestelmän tulee vian ilmetessä pystyä suorittamaan turvatoiminto. Lähtökohtaisesti toiminto toteutetaan kahdennuksilla ja niiden lisäksi vaaditaan, että useimpien vikojen on paljastuttava toiminnon yhteydessä. Vaadittavasta suoritustasosta riippuen kanavan vaarallisten vikaantumisten välisten keskimääräisen ajan on oltava vähintään 3-100 vuotta. Diagnostiikan keskimääräisen kattavuuden on oltava vähintään 60-98 %. Todennäköisyys yhteysvikaantumiseen on oltava tarpeeksi pieni. (Siiriä 2009, 144.)

Luokassa 4 hyvin koeteltujen turvallisuusperiaatteiden ja yleisten turvallisuuden peruseriaatteiden lisäksi ohjausjärjestelmän tulee pystyä suorittamaan turvatoiminto viasta huolimatta. Havaitsematta jääneistä vioista ei saa aiheutua vaaraa, joten tästä johtuen kaikkien vikojen on tultava esiin. Vikojen ilmaantumisen havaitsemista varmennetaan kahdennuksilla ja jatkuvalla automaattisella valvonnalla. Jokaisen kanavan vaarallisten vikaantumisten välisen keskimääräisen ajan on määritysten mukaan oltava vähintään 30-100 vuotta. Diagnostiikan keskimääräisen kattavuuden tulee olla vähintään 99-100 % vikojen kertyminen mukaan luettuna. Yhteisvikojen todennäköisyyden tulee olla pieni. (Siirilä 2009, 144).

Kuviossa 3 on esitetty mainitut rakenteet. Nimetyt rakenteet hankaloittavat standardin soveltamista, koska kolmikanavaisia järjestelmiä vastaavia rakenteita ei ole nimetty. Kolmikanavaiset rakenteet voidaan redusoida kaksikanavaisiksi, mutta silloin laskennallinen suoritustaso on heikompi, kuin todellinen turvatoiminto. Jos järjestelmä jaetaan alijärjestelmiin, niin voidaan niitä tarkastella IEC 62061 mukaan. Tällä tavoin voidaan suoritustaso todentaa todellista turvatoimintoa vastaavaksi kolmikanavaisissakin järjestelmissä. (Alanen, Hietikko & Malm 2009, 21)



Kuvio 3. Ohjausjärjestelmä rakenteet (Alanen, Hietikko & Malm 2009, 21).

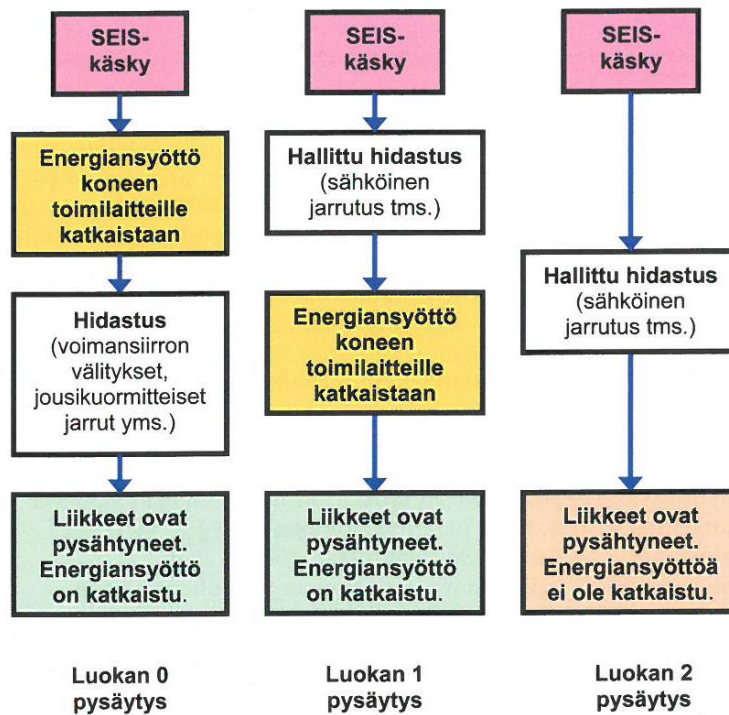
2.7 Pysäyttäminen

Koneessa on oltava ohjauslaite, jolla se voidaan turvallisesti pysäyttää kokonaan ja koneen/koneiston jokaisessa työpisteessä tulee olla pysäyttämismahdollisuus (Valti-onneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 2008). Pysäytysluokkia koneissa voi olla kolmea erilaista: 0, 1 ja 2. Turvallisuusmielessä kone on pysähtynyt vasta, kun siitä on katkaistu energiansyöttö, mikä tarkoittaa luokkia 0 ja 1 (Siirilä & Kerttula 2007, 132). Pysäytysluokat eroavat toisistaan liikkeiden pysäyttämistavan ja lopputuloksen perusteella:

Luokka 0: Energiansyöttö katkaistaan välittömästi pysäytyskäsken jälkeen. Turvallinen jarrutus toteutetaan mekaanisesti.

Luokka 1: Energiansyöttö on käytössä turvallisen jarrituksen ajan, jolloin jarrutus voidaan toteuttaa myös sähköisesti. Kun koneista on pysähtynyt, energiansyöttö katkaistaan koneistolta.

Luokka 2: Energiansyöttö on käytössä koko jarrituksen ajan eikä energiansyöttöä katkaista (Siiriä & Kerttula 2007, 133). Kuviossa 4 on kuvattu luokkien eroavaisuudet.



Kuvio 4. Pysäytysluokat (Siirilä & Kerttula 2007, 132).

Pysäytysluokassa 2 on selkeästi suurempi vaara odottamattomaan käynnistykseen sillä energiansyöttö jää käyttöön toisin kuin luokissa 0 tai 1. Tästä syystä luokkaa 2 ei yleensä turvallisuuteen liittyvissä pysäytyksissä voida käyttää. Jos luokkaa 2 kummin-kin päädytään käyttämään, niin pysähtymistä tulee pystyä luotettavasti valvomaan (Siiriä & Kerttula 2007, 133.) Ohjausmielessä pysäytystoimintojen on toimittava etusijaisesti käynnistystoimintoihin nähden.

3 Komponentit

Seuraavassa kappaleessa luetellaan komponentit, joita käytettiin opinnäytetyössä. Suurin osa komponenteista saatiin lahjoituksena ABB:ltä valtakunnallisen Automaatio luo huomisen työpaikat -kampanjan yhteydessä.

3.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on laite, joka nimensä mukaan muuttaa jännitteen taajuutta. Jännitteen muutoksella voidaan moottoria ohjata prosessille sopivalla nopeudella tai väännöllä. Sopiva nopeus tai vääntö säästää koneiston liikkuvia osia ja sähköä, jolloin prosessin ylläpito ei ole niin kallista.

Taajuusmuuttajalle syötetään sähköverkosta 50 Hz:n vaihtojännitettä, joka menee taajuusmuuttajan tasasuuntaajaan. Tasasuuntaaja muuttaa vaihtosähkön tasasähköksi, joka siirtyy sen jälkeen kondensaattoreille. Kondensaattoreiden tarkoitus on silottaa jännitettä ja puhdistaa epäpuhtauksia niistä. Puhtaampi jännite siirtyy vaihtosuuntaajaan, joka muuttaa tasajännitteen vaihtojännitteeksi. Vaihtojännite siirtyy taajuusmuuttajan lähtöön, jolta se menee ohjattavalle moottorille. (ABB Drives 2014.)

Tässä työssä käytetty ABB:n taajuusmuuttaja ACS880 saatiin osana ABB:n tekemää lahjoitusta. ACS880:aan on kytketty seuraavaksi esiteltävät lisäkomponentit.

3.2 Ethernet adapterimoduuli FENA-21

FENA-21 on lisämoduuli ACS880 -taajuusmuuttajiin, ja se mahdollistaa ethernet -yhteyden käytön ACS880:ssa (ks. kuvio 5). FENAn avulla voidaan käyttöönottaa ja valvoa useita yksittäisiä taajuusmuuttajia tai linjakäyttöjen muuttajia ja syöttöjä etänä käyttäen Drive composer pro -tietokonetyökalua. (User's manual. FENA-01/-11/-21 Ethernet adapter module n.d., 25).

FENA-21 on yhteensopiva Ethernet standardien IEEE802.3 ja IEEE802.3u kanssa. FENA tukee Modbus/TCP, tai vaihtoehtoisesti UDP, EtherNet/IP™ ja PROFINET IO protokollia. (User's manual. FENA-01/-11/-21 Ethernet adapter module n.d., 25).



Kuvio 5. FENA-21 Ethernet adapterimoduuli (FENA-11 Ethernet adapter module 2018).

3.3 FSO-12 turvatoimintomoduuli

FSO-12 on ACS880:iin lisättävä turvatoimintomoduuli, mikä tuo taajuusmuuttajaan lisää turvallisuustoimintoja (ks. kuvio 6). FSO-12:n turvatoiminnot on esitelty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 4. FSO-12:n mahdollistamat turvatoiminnot (User's manual. FSO-12 safety functions module n.d, 39-41.)

Turvatoiminto	Pysäytysluokka
Tuvarallinen vääntömomentin poisto (STO)	0
Turvapysäytys 1 (SS1)	1
Hätäturvapysäytys (SSE)	0 STOn kanssa tai 1 SS1:n kanssa
Jarrujen turvarallinen käyttö (SBC)	-
Turvarallisesti rajoitettu nopeus (SLS)	-
Muutettava turvarallisesti rajoitettu nopeus (SLS)	-
Turvarallinen maksimi nopeus (SMS)	-
Odottamattomien käynnistyksien esto (POUS)	-

FSO-12:ssa on yhteensä kahdeksan yksittäistä tai neljä kahdennettua digitaalista tu-
loa. Lisäksi siinä on kuusi yksittäistä tai kolme kahdennettu digitaalista lähtöä ja PL e -
toiminnot. Moduuliin voidaan kytkeä esimerkiksi turva- ja rajakytkimiä sekä siihen
voidaan muodostaa PROFINET tai ProfiSafe – yhteys hyödyntäen turvalogiikalta
FENA-21 Ethernet adapterimoduulia (User's manual. FSO-12 safety functions module
n.d., 39.)



Kuvio 6. FSO-12 turvatoimintomoduuli (Safety functions module 2018).

3.4 Turvarajakytkin

Turvarajakytkimet ovat liikkuvien suojiin lukituksen asennon tunnistukseen suunniteltu kytkinkomponentteja. Turvarajakytkimen runko asennetaan suojan paikallaan olevaan osaan ja avainosa suojan liikkuvaan osaan niin, että se on linjassa kytkimen avainaukon kanssa. Avainosan asettuessa kytkimeen ja kytkimen lukkiutuessa voidaan koneisto käynnistää.

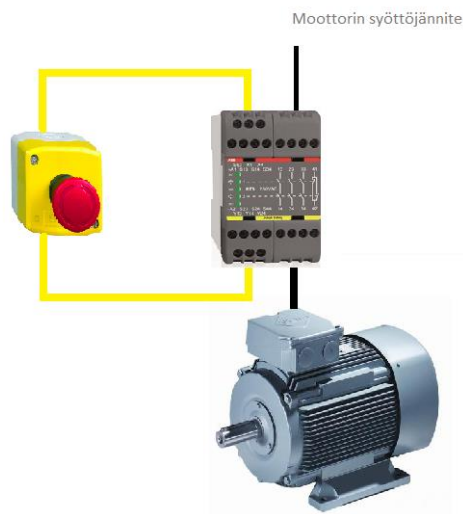
Tässä opinnäytetyössä käytetty MKey8M on Mkey8 sarjan elektromagneettisella lukolla varustettu versio (ks. kuvio 7). Lukkomekanismi toimii solenoidilla, joka saadessaan käyttöjännitteen lukkiutuu. Avainosaa ei voi poistaa kytkimen ollessa lukkiutuneessa tilassa, vaan pitää käyttöjännite katkaista ensin. MKey8M:llä päästään suoritustasoon d.(MKey8M-series – Safety Interlock Switch with Guard Locking n.d.)



Kuvio 7. MKey8M turvarajakytkin (ABB Safety Handbook | 2TLC172001C0202 2018).

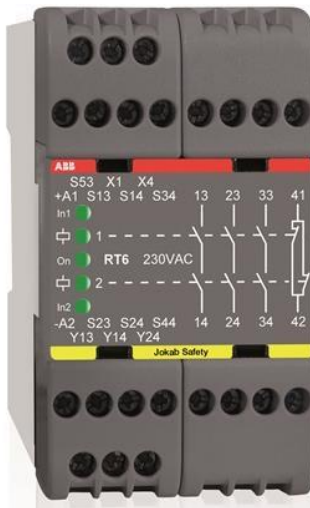
3.5 Turvarele

Turvarele on laite, joka on varmistamassa koneiston turvallisuutta ja yleensä se liitetään turvalogiikkaan. Turvareleeseen voidaan kytkeä esimerkiksi turvarajakytkimiä, hätäseisäkytkimiä ja painokytkimiä (ks. kuvio 8).



Kuvio 8. Turvarele ohjaa sähkömoottoria ja valvoo hätäseisäkytkintä

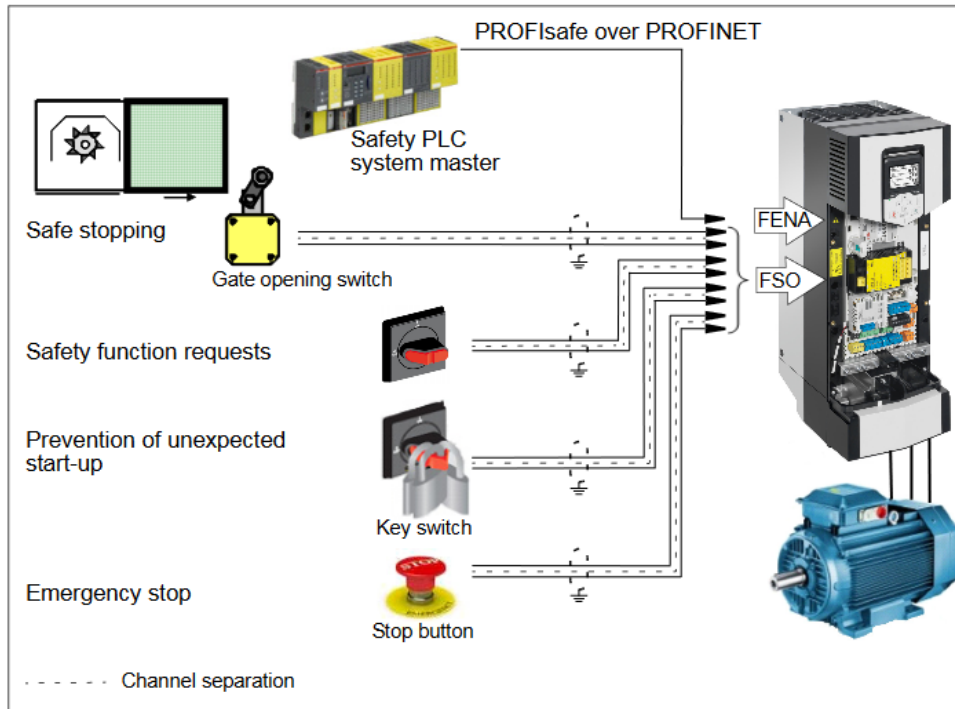
Tässä opinnäytetyössä käytettyyn RT6:n ominaisuuksiin lukeutuu muun muassa viisi erilaista kytkentäperiaatetta, joilla saavutetaan eri suoritustasoja ja odottamaton käynnistyksen esto. Tähän opinnäytetyöhön on valittu kytkentä periaate, jolla päästään suoritustasoon d (ks. kuvio 11). (Original manual. Safety Relay RT6 n.d.).



Kuvio 9. ABB RT6 turvarele (RT 6 2018).

4 Harjoitusympäristöt

Opinnäytetyössä toteutettiin kaksi oppimisympäristöä. Turvareleellä varmistettu häätäseis -piiri, jossa ohjattiin releellä merkkivaloa sekä taajuusmuuttajalla ohjattu moottorilähtö, jossa tutkittiin taajuusmuuttajan eri turvatoimintoja (ks. kuvio 10). Molempien kokonaisuuksien layout suunnittelu AutoCAD –ohjelmistolla ja sähkösuunnittelu CADS –ohjelmistolla.



Kuvio 10. Periaatekuva turvajärjestelmästä, jossa turvalaitteet on kytketty taajuusmuuttajan FSO-12 moduuliin (User's manual. FSO-12 safety functions module n.d., 36).

4.1 Turvarelelaitteisto

Turvarelelaitteistossa järjestelmää ohjattiin käyttäen 0-1-start-nokkakytkintä. Nokkakytkimellä ohjattiin välirelettä, joka ohjasi piirin päärelettä. Turvareleellä valvottiin hätäseiskytkintä, ja mikäli hätäseiskytkintä painettiin, niin estettiin turvareleellä pääreleen toiminta. Laitteisto asennettiin vanerialustalle, jotta laitteiston sijainti voidaan valita tulevaisuudessa tarpeen mukaan (ks. kuvio 12). Tämän tyylistä sovellusta voitaisiin käyttää esimerkiksi teollisuudessa moottorin ohjauksen turvatoimintona tai prosessin osana turvallisuuden takaamiseksi. Suoritustaso laitteistoon määritettiin tilaajan toimesta tasoon d.

Opinnäytetyössä kaikki lähdöt kytkettiin riviliittimiin, mutta riviliittimestä riviliittimeen yhteydet jätettiin kytkemättä, jotta voitaisiin ympäristöllä harjoitella kytkemistä ja havainnollistaa, kuinka PL –taso d voidaan saavuttaa (ks. Liite 1). Hätäseiskytkin kytkettiin RT6-turvareleen manuaalin mukaisen kytkentä numeron 2 mukaan, siinä hätäseiskytkimeltä kytkettiin kaksi erillistä kanavaa turvareleelle. Mikäli toinen

tai molemmat kanavat eivät anna signaalia turvareleelle, estää turvarele laitteiston toiminnan. Alla periaatekuva hätäseiskeytkimen kytkemisestä turvareleelle.

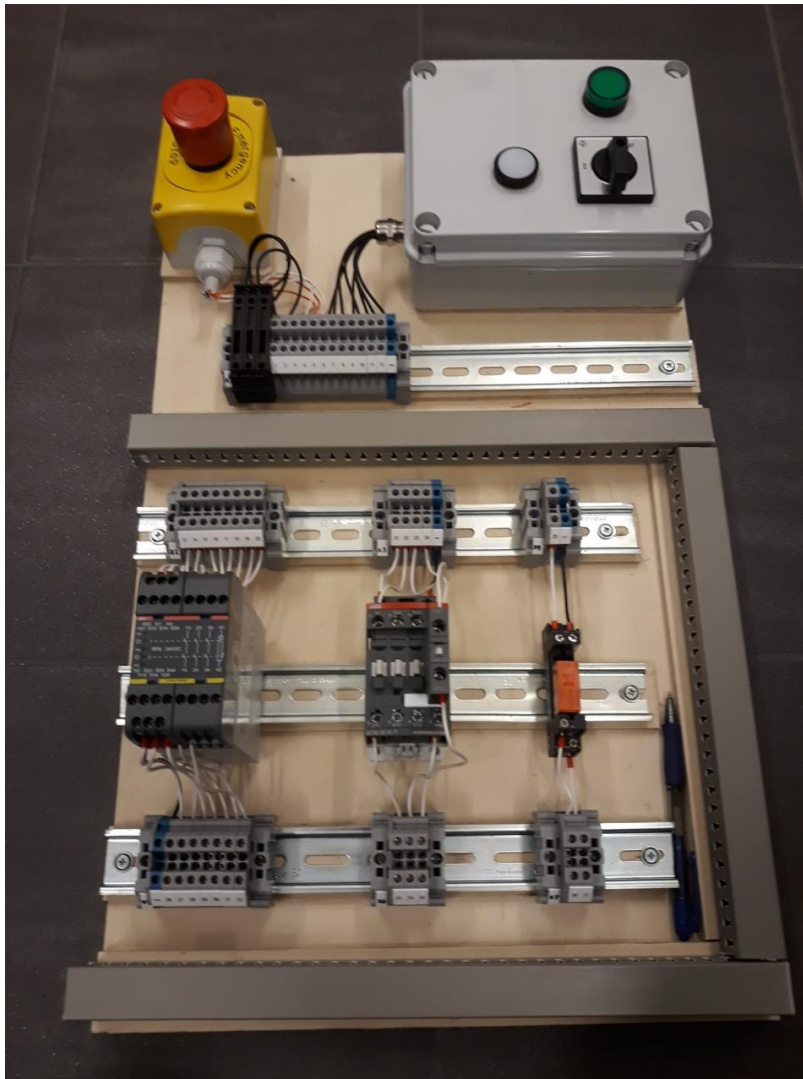
2. DUAL CHANNEL, 2 NO from +24 V (Cat 3 PL d)



Both input contacts (S14 and S34) must be closed before the relay outputs can be activated. The safety relay contacts will open if one or both of the input contacts are opened. Both the input contacts must be opened and reclosed before the relay can be reset. A short-circuit between inputs S14 and S34 can only be supervised if the device connected to the inputs has short-circuit supervised outputs, e. g. ABB/Jokab Safety Focus light curtains.

Kuvio 11. Turvareleen ja turvalaitteen kytkentäperiaate (Original manual. Safety Relay RT6 n.d.).

Turvareleen tilan palautukseen voi kytkeä manuaalisen tai automaattisen palautuksen. Manuaalisessa palautuksessa kytkettiin painonappi turvareleen palautuspiiriin ja se aktivoitui painonapin laskevalla reunalla. Kun napin on painanut pohjaan ja sen jälkeen päästänyt napista irti, palautuu turvareleen tila normaaliksi. Automaattinen palautus toteutettiin jättämällä painonappi kytkemättä. Sen sijaan kytkettiin johdin turvareleen X1 ja X4 liittimiä vastaavien riviliittimien väliin. Automaattinen palautus palauttaa turvareleen toimintakuntoon välittömästi turvareleen tilan sen salliessa.



Kuvio 12. Valmis turvarelaitteisto

4.2 Taajuusmuuttajalla ohjattu moottorilähtö

Taajuusmuuttajaympäristössä keskityttiin turvatoimintamoduuli FSO-12 tuomiin ominaisuuksiin. 0-1-start-nokkakytkimellä ohjattiin välirelettä, jolla annettiin käyntilupa taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttajaan kytkettiin 0-10 kohm:n potentiometri, jotta taajuusmuuttajan nopeutta pystyttiin säätämään niin paikallisesti kuin ulkoisesti. Hallintalaitteet kytkettiin yhdelle seinämälle (ks. kuvio 13) ja turvalaitteet toiselle (kts. kuvio4). Samalla tavalla kuin turvarelaitteistossa, tilaaja määrittä suoritusastaksi tason d.



Kuvio 13. Laitteiston ohjauskomponentit

Taajuusmuuttajalle kytkettiin hätäseiskytkin ja turvarajakytkin tässäkin työssä kahdennettuna, jotta saavutettiin haluttu suoritustaso. Hätäseiskytkin pysäytti koko laitteiston toiminta ja turvarajakytkin rajoitti moottorin pyörimisnopeutta. Kytkenät toteutettiin Nomakilla EMI-häiriösuojauksen vuoksi.



Kuvio 14. Taajuusmuuttajalle kytketyt turvalaitteet

Laitteisto asennettiin 19 tuuman räkkiin, johon moottorille tehtiin moottoripeti ohuesta metallilevystä ja taajuusmuuttajalle teline lattaraudasta räkin perälle (ks. kuvio 15). Taajuusmuuttaja kytkettiin moottoriin metallisella suojavaipalla varustetulla Ölflex-kaapelilla.



Kuvio 15. Moottori ja taajuusmuuttaja räkin sisällä

5 Testaus

Turvarelelaitteistoa kokeiltiin kytkemällä johtimet sähkökaavion mukaan (ks. Liite 2). Laitteistoon todettiin toimivan halutulla tavalla: kun hätäseis -kytkintä painettiin tai toinen kytkimelle kytketyistä kanavista katkaistiin, merkkivalo sammui. Laitteiston hallinnassa käytettävällä 0-1-start kytkimellä ei todettu ongelmia. Turvareleessä oleva odottamattoman käynnistyksen esto todettiin toimivaksi. Kun kytkettiin sähköt, piti turvareleen tila muuttua ennen kuin merkkivalo pystyi syttymään.

Taajuusmuuttajalaitteistoa testattiin kytkemällä laitteisto 3-vaihevirtaan ja tutkimalla turvalaitteiden vaikutusta taajuusmuuttajaan. FSO-12:n tulot ja lähdöt reagoivat halutulla tavalla ja turvalaitteet toimivat. Taajuusmuuttajan nopeutta voitiin säätää

halutessa myös laitteiston sivussa sijaitsevalla potentiometrillä. 0-1-start -kytkin mahdollisti taajuusmuuttajan käyntiluvan halutulla tavalla.

6 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyössä tavoitteena oli saada toteutettua kahden oppimisympäristön sähköiset ja mekaaniset suunnittelut sekä toteutukset. Työssä päästiin sille asetettuihin tavoitteisiin. Tuloksena oli kaksi toimivaksi testattua laitteistoa, joita voidaan käyttää myöhemmin koulutustarkoitukseen.

Onnistumisia työssä oli selkeästi käytännön osuuden toteutus ja työn jälki näyttää olosuhteisiin nähden hyvältä. Vaikka työn jälki on hyvää, voidaan myös sanoa, että parantamistakin siinä olisi ollut. Turvarelelaitteistossa olisi ollut suotavaa olla paksumpaa pohja vaneria alustaksi, jotta olisi välttytty korkopalojen käytöltä. Korkopalojen käytön aiheuttamat haitat ovat lähinnä esteettisiä, eivätkä ne vaikuttaneet laitteiston toimintaan. Taajuusmuuttajalaitteistossa onnistumisiin lukeutui edellisen laitteiston tapaan käytännössä onnistuminen. 19 tuuman räkin soveltaminen aiheutti haittaa verrattuna kytkentäseinään, johon komponentit saa kiinni läpiruuveilla. Taajuusmuuttajalle tullut teline oli siisti ja kaapelointi oli hoidettu asianmukaisilla kaapeleilla.

Kuten mainittu, tuloksien perusteella opinnäytetyössä kehitettyjä laitteistoja voidaan käyttää niille suunnitelluissa tehtävissä. Turvarelelaitteisto soveltuu kytkentöjen harjoitteluun ja sähkökuvan piirtämisen yhdistämiseen käytännönmaailmaan. Taajuusmuuttajalla voidaan harjoitella kattavasti eriturvatoimintojen toteutuksia. Suunnitelluiden käyttöjen lisäksi voidaan myös tarkastella, kuinka eri turvatoiminnot käyttäytyvät ja mihin suoritustasoihin laitteistot ovat kytketty, sekä mihin suoritustasoihin niillä pääsee.

Opinnäytetyössä on kehittämisenvaraa taajuusmuuttajalaitteistossa. Räkkiin voisi rakentaa oven tai moottorin akselille suojan polymetyylimetakrylaatista eli puhekielisesti pleksilasista. Turvarajakytkimen voisi sen jälkeen sijoittaa takaamaan aukeavan

oven turvallisuutta joko lukitsemalla oven kokonaan tai sitten halutulla turvatoiminnolla taajuusmuuttajan puolelta.

Lähteet

ABB Safety Handbook | 2TLC172001C0202. 2018. ABB:n www-sivut.

http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC172001C0202_MKey8&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch. Viitattu 17.1.2018.

ABB. What is a drive? YouTube video, julk. 3.9.2014. Viitattu 12.2.2018

<https://www.youtube.com/watch?v=vz4a65ALLs0>

Alanen J., Hietikko M., & Malm T. 2009. Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Ohjeita ja työkaluja standardien mukaisen turvallisuusprosessin luomiseen. VTT tiedotteita 2485.

FENA-11 Ethernet adapter module. 2018. ABB:n www-sivut 2018. Viitattu 17.1.2018.

<http://new.abb.com/drives/connectivity/fieldbus-connectivity/modbus-tcp/fena-11>.

MKey8M-series – Safety Interlock Switch with Guard Locking. 2TLC172238M9801 Rev. B. N,d. ABB.

Koneturvallisuuden standardit. N.d. Esite Suomen Standardisoimisliiton SFS ry:n sivustolla. Viitattu 24.1.2018. <https://www.sfs.fi/files/63/Koneturvallisuus-esite2015web.pdf>

Original manual. Safety Relay RT6. 845-0081C. N,d. ABB

RT 6. 2018. ABB:n www-sivut 2018. Viitattu 17.1.2018.

<http://www.abb.com/productguide/product.aspx?country=00&tabKey=2&gid=ABB2TLA010026R0500&c=886bb21db745a401c1257865004d4ec7&db=seitp329>

Safety functions module. 2018. ABB:n www-sivut. Viitattu 11.1.2018.

<http://new.abb.com/drives/connectivity/safety-functions-module>. Viitattu

SFS EN ISO 13849-1:2015. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset Suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 31.12.2015. Viitattu 30.09.2017. <https://online.sfs.fi>.

Siirilä, T. & Kerttula, T. 2007. Koneturvallisuuden perusteet. Otavan Kirjapaino.

Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus. Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. Otavan Kirjapaino.

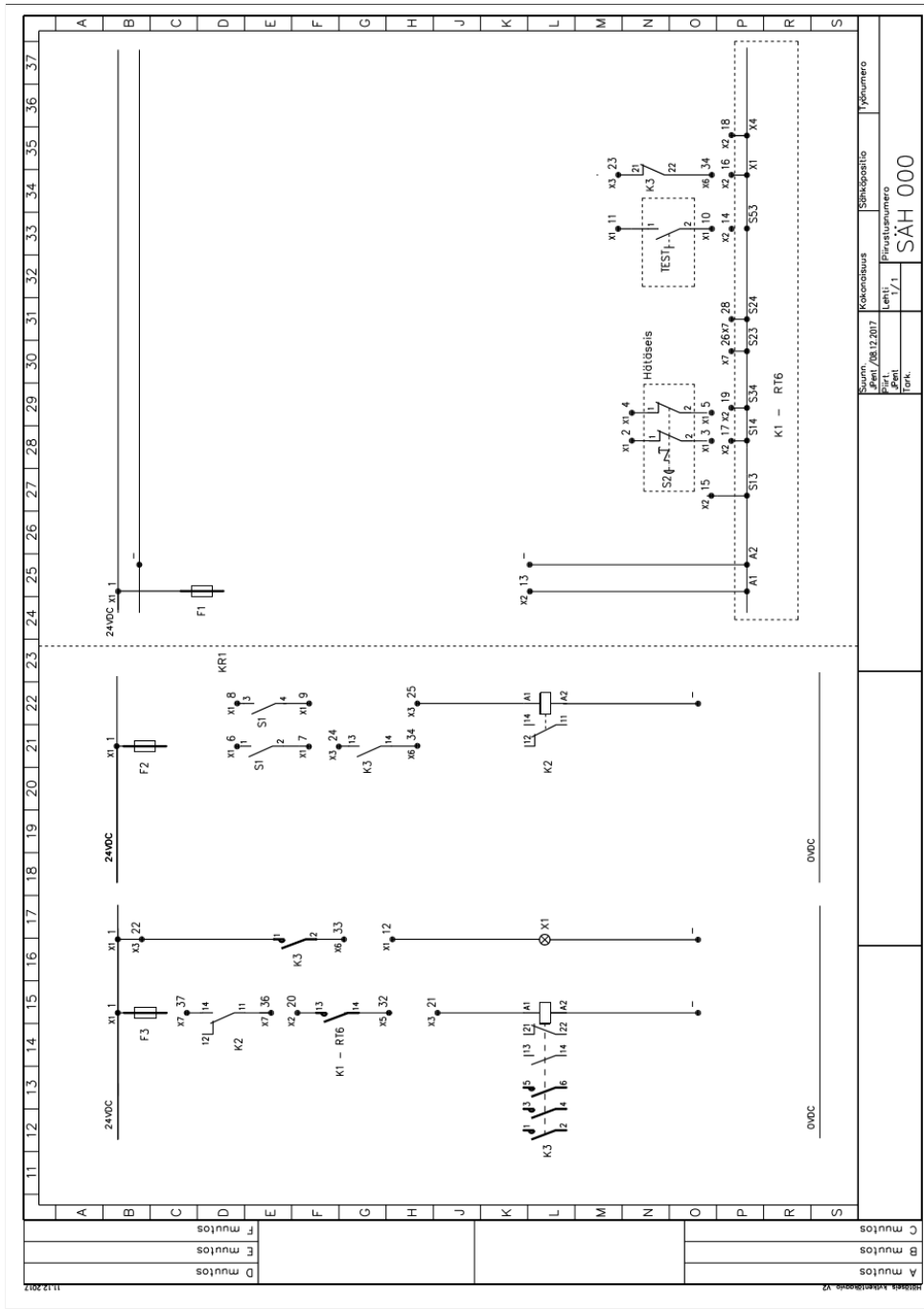
Tutustu JAMKiin. N.d. Esittelysivu Jyväskylän ammattikorkeakoulun sivustolla. Viitattu 11.2.2018. <https://www.jamk.fi/fi/Tietoa-JAMKista/Tutustu-JAMKiin/>
User's manual. FENA-01/-11/-21. 3AUA0000093568 Rev. C. 2015. ABB.

User's manual. FSO-12. 3AXD50000015612 Rev. D. 2016. ABB.

Valtionneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. 2008. Asetus Finlexin sivustolla.
Viitattu 11.2.2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>

Liitteet

Liite 1. Häätäseislaitteiston virtapiirikaavio



Liite 3. Taajuusmuuttajalaitteiston virtapiirikaaviot

