Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

SÄHKÖMOOTTORIN ETÄOHJAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TESTAUS
Designing and testing a remote control system for electric motor

Henri Eloranta

Kandidaatintyö
LUT Energia
Sähkötekniikan koulutusohjelma

6.5.2013

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energia
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Henri Eloranta
Sähkömoottorin etäohjausjärjestelmän suunnittelu ja testaus
2013

Kandidaatintyö
32 sivua, 17 kuvaa ja 2 taulukkoa

Tarkastaja: TkT Tero Ahonen

Tämä kandityön aihe liittyy LUT Energialla lukuvuonna 2012 – 2013 käynnissä olevaan tutkimukseen, jossa tutkitaan sähkömoottorin laakerivirtojen syntyä. Tätä tutkimusta varten tarvittiin sähkömoottorin etäohjausjärjestelmä, jonka avulla tutkimuksessa käytettävän sähkömoottorin käyttäytymistä voitaisiin tutkia erilaisien käyttöprofiileiden funktiona.

Tässä kandityössä suunnitellaan ja toteutetaan edellä kuvattu järjestelmä. Toteutuksessa hyödynnetään nykyaikaista automaatiotekniikkaa, joka yhdessä Ethernet-lähiverkkotekniikan kanssa mahdollistaa etäohjauksen. Valmiin etäohjausjärjestelmän avulla käyttäjä pystyy sekä käynnistämään että sammuttamaan sähkömoottorin, ja määrittämään käyttöprofiilin ON- ja OFF-tilojen ajalliset kestot sekä käyntinopeudet.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT Energy
Degree Programme in Electrical Engineering

Henri Eloranta
Designing and testing a remote control system for electric motor
2013

Bachelor's thesis
32 pages, 17 pictures and 2 tables

Examiner: D.Sc Tero Ahonen

This bachelor thesis is based on a research project at LUT Energy going on the academic year 2012 – 2013, which studies the occurrence of bearing currents in electric motor. To proceed in this study, an automated remote control system for the electric motor needed to be created. With this system it should be possible to change the parameters of the duty cycle driven in the studied electric motor.

In this bachelor thesis I design and test the remote control system described above. The implementation is based on modern automation technology together with the Ethernet networking protocol. The resulted remote control system grants an interface for researcher to influence the duty cycle parameters, which are speeds and durations of the ON and OFF states driven in the electric motor duty cycle.

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET 5
1. JOHDANTO 6
2. LAITTEISTON VALINTA 7
3. LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO 9
3.1. Laitekuvaus 9
3.2. Kenttäväylän osoitteet ja tiedonsiirtonopeus 10
3.3. Datapaketit 11
3.4. GSD-tiedosto 11
3.5. Taajuusmuuttajan parametrien määritys 12
3.6. TCP/IP – asetukset 13
4. OHJELMAN TOTEUTUS 15
4.1. Vaatimusmäärittely 15
4.2. Ohjelman rungon muodostaminen 16
4.3. Varsinainen ohjelma 16
4.4. Käyttöliittymä 17
4.5. Ohjelman lataus PLC:lle ja muistikortille 19
5. JÄRJESTELMÄN TESTAUS 20
5.1. White box – menetelmä 20
5.1.1. Testiajo 1 21
5.1.2. Testiajo 2 24
5.2. Destruktiivinen testaus 27
6. YHTEENVETO 29
LÄHTEET 30
LIITTEET 32

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

ACT	Nopeudentila-arvo
CW	Control Word
GSD	General Station Description
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
PLC	Ohjelmoitava logiikka
PPO	Parameter/Process Data Object
REF	Nopeudenasetusarvo
ST	Structured Text
SW	Status Word
TON	Timer On Delay

1. JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö liittyy olennaisesti LUT Energialla lukuvuonna 2012 – 2013 käynnissä olevaan nuoremman tutkijan Ville Niskasen tutkimukseen, jossa tutkitaan sähkömoottorin käyttöprofiilin (Duty Cycle) vaikutusta laakerivirran syntyyn. Tarkoituksena on myös selvittää miten laakerivirta olisi minimoitavissa. Ilmetessään laakerivirta aiheuttaa kipinän sähkömoottorin roottorin ja laakerin välillä, joka kuluttaa laakeria fyysisesti. Voidaan sanoa, että laakerin käyttöikä on jossain määrin verrannollinen näiden kipinöiden esiintymistiheyteen (ABB 2011a, s. 7).

Niskasen tutkimuksen kannalta on tarpeellista, että moottoria ajetaan pitkiä aikoja erilaisilla käyttöprofiileilla. Tästä syystä moottorille halutaan rakentaa automaattinen ohjausjärjestelmä, jonka parametreja voidaan muuttaa Internetin ylitse esimerkiksi työhuoneelta. Etäohjausjärjestelmä on erittäin hyödyllinen, sillä se poistaa tarpeen olla fyysisesti paikalla muuttamassa näitä parametreja.

Kandidaatintyön keskeisenä tutkimuskysymyksenä on edellä mainitun sähkömoottorin etäohjauksen käytännön toteutus. Ratkaistavaksi ongelmaksi rajataan yhteyden muodostaminen käyttöprofiilin parametrien muuttamiseen käytettävän tietokoneen ja moottorin ohjaamiseen käytettävän taajuusmuuttajan välille. Ohjattavan moottorin säätöteknillisiä ongelmia ei tässä kandityössä tarkastella. Lisäksi Ethernet-pohjaista tietoliikenneteknistä toteutusta yksinkertaistetaan sillä varsinaisen etäohjauksen toteutus olisi turhan monimutkainen yliopiston suljetusta verkosta johtuen.

Tutkimusmenetelmäksi valitaan varsinaista laakerivirtojen tutkimukseen käytettävää sähkömoottorikäyttöä vastaavan järjestelmän rakentaminen LUT:n säätö- ja digitaalitekniikan laboratorioon. Tällä järjestelmällä tavoitteena on ratkaista edellä määritetty ongelma. Mikäli tämä onnistuu, järjestelmällä suoritetaan testiajo, joka mitataan. Tutkimus on onnistunut, mikäli testiajon mittaustulokset vastaavat työn luvussa 4.1 esitettyjen vaatimuksien pohjalta moottorille lähetettyjä nopeudenasetusarvoja.

2. LAITTEISTON VALINTA

Etäohjauksen toteutuksessa käytetään Niskasen vaatimusten mukaan maailmalla hyvin yleisesti esiintyvää kansainvälisen standardin IEE 802.3 mukaista Ethernet-lähiverkkotekniikkaa. Ongelmaksi muodostuu tämän tietoliikennedatan välittäminen Ethernet-verkon ja sähkömoottoria ohjaavan taajuusmuuttajan välillä. On myös muodostettava järjestelmä, joka lukee käyttäjän syötteet käyttöasemalta ja ohjaa niillä taajuusmuuttajan toimintaa automaattisesti työn luvun 4.1 vaatimusten mukaan. Nämä ongelmat ratkaistaan hyödyntämällä nykyaikaista automaatiotekniikkaa.

Automaatiotekniikan ydin ovat ohjelmoitavat logiikat (PLC:t), joita ohjelmoiden voidaan luoda varsin hyvin muokattavissa ja laajennettavissa olevia järjestelmiä. ”*Kansainvälinen sähkötekniikan komissio (IEC) on julkaissut useita standardeja koskien ohjelmoitavia logiikkoja”* (VTT 2005, s. 20). Esimerkiksi IEC 61131-3 määrittelee neljä ohjelmointikieltä, joilla ohjelmoitavia logiikkoja voidaan ohjelmoida (VTT 2005, s. 21).

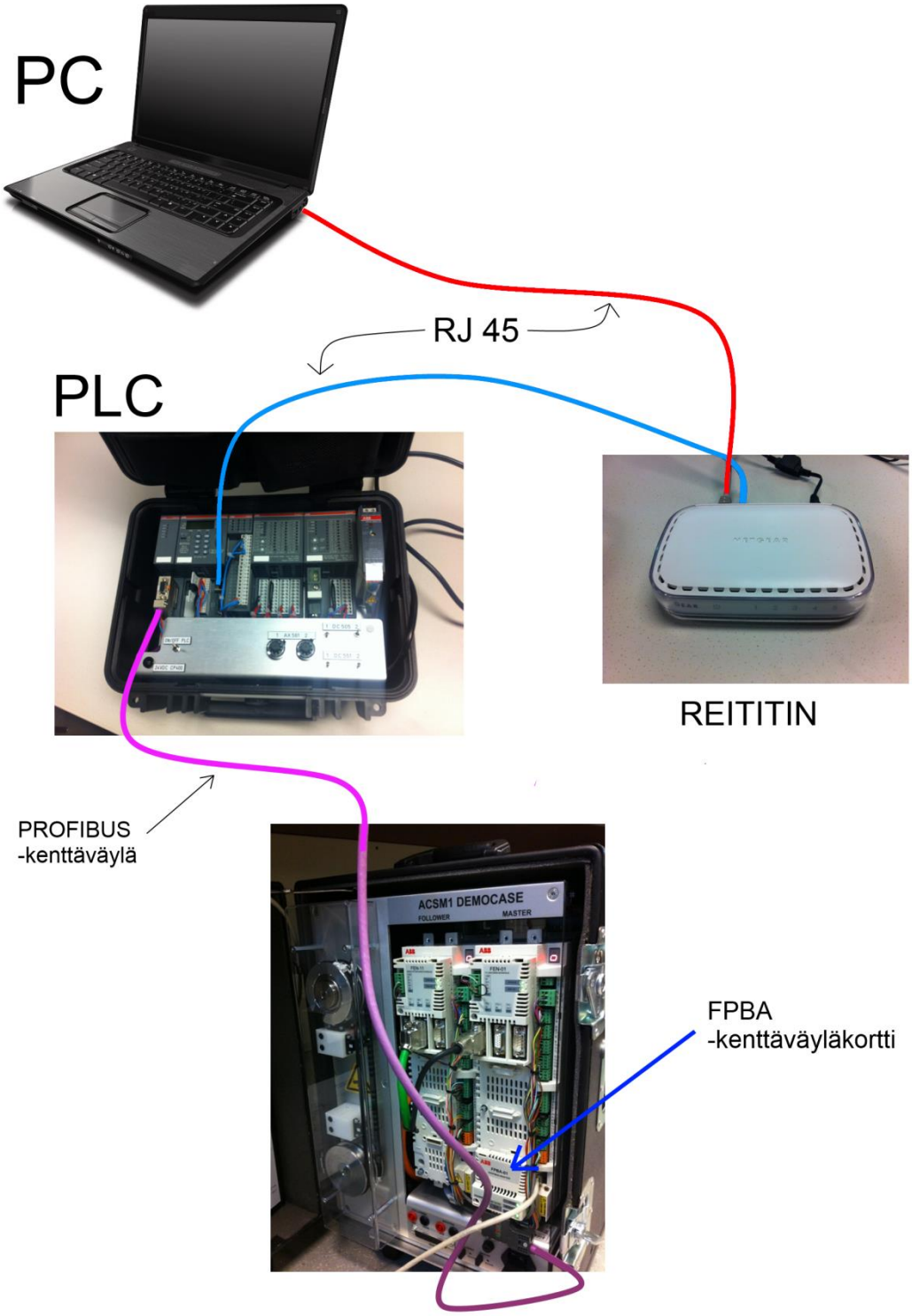
Automaatiojärjestelmä muodostuu vähintään yhdestä ohjelmoitavasta logiikasta, yhdestä tai useammasta ohjelmoitavalla logiikalla ohjattavasta pääteasemasta, ja kenttäväylästä näiden välillä. Kenttäväylän muodostamiseen on käytössä mm. seuraavat protokollat (VTT 2005, s. 27–28)

- Controller Area Network (CAN)
- AS-Interface (AS-i)
- Modbus
- HART (Highway Addressable Remote Tansducer)
- DeviceNet
- PROFIBUS
- Foundation Fieldbus

Kandidaatintyössä esitettyyn ongelman ratkaisuun valitaan PROFIBUS-pohjainen automaatiojärjestelmän rakenne, sillä LUT Energian säätö- ja digitaalitekniikan laboratoriossa juuri PROFIBUS-pohjaisia järjestelmiä on käytössä paljon.

Valitaan käytettäväksi ABB ACSM1 – demosalkku, jossa on sekä sähkömoottori, että taajuusmuuttaja järjestelmän rakentamista varten. Demosalkun ACSM1-taajuusmuuttajaan liitetään FPBA-kenttäväyläkortti, joka mahdollistaa kommunikoinnin PROFIBUS-kenttäväylän kanssa. Ohjelmoitavaksi logiikaksi valitaan säätö- ja digitaalitekniikan laboratoriossa oleva ABB-demosalkun AC500-sarjan PM583-logiikka. Rajapinnaksi kenttäväylän ja ohjelmoitavan logiikan välillä valitaan ABB-demosalkun AC500-sarjan CM572-kenttäväylämoduuli. Internet-yhteyttä ohjelmoitavan logiikan ja

käyttöaseman välillä simuloidaan yhdellä RJ45-parikaapeleiden välissä olevalla reitittimellä. Muodostettavan automaatiojärjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 2.1. Koko käytetty järjestelmä kaapeleineen ja ohjelmineen on esitetty liitteessä 1.



Kuva 2.1 Käyttöasema (PC) on kytketty Internetin ylitse ohjelmoitavaan logiikkaan (PLC), joka PROFIBUS – kenttäväylää pitkin ohjaa taajuusmuuttajan ACSM1 toimintaa.

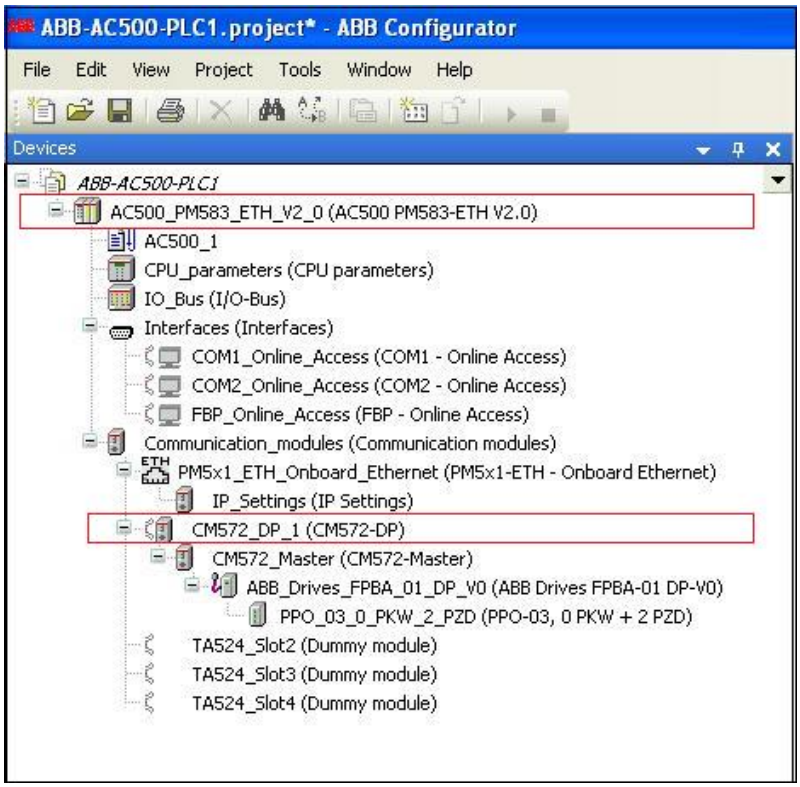
3. LAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTO

Jotta ohjelmoitava logiikka ja taajuusmuuttaja voisivat kommunikoida keskenään, niiden välinen yhteys pitää määrittää. Tämä määritys käsittää järjestelmän laitteistokuvauksen luomisen, taajuusmuuttajan ja ohjelmoitavan logiikan kenttäväyläosoitteiden asettamisen, kenttäväylässä kulkevien datapakettien kehystyypin määrittämisen, käytettävän tiedonsiirtonopeuden valitsemisen, taajuusmuuttajan GSD-tiedoston (General Station Description) asennuksen, sekä taajuusmuuttajan parametrien määrityksen.

Tämän lisäksi ohjelmoitavan logiikan ja käyttöaseman (PC) välinen Ethernet-verkko pitää muodostaa valitsemalla yhteensopivat TCP/IP – asetukset kummallekin laitteelle.

3.1. Laitekuvaus

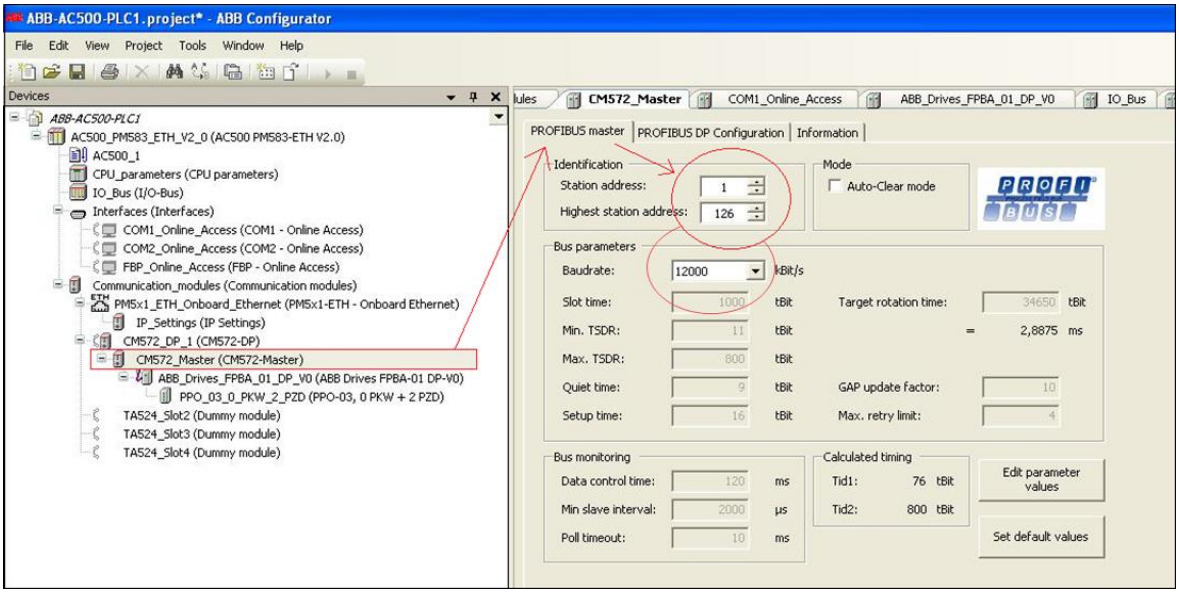
ABB-demosalkun käytettävä laitteisto kuvannetaan ABB Configurator – ohjelmaan. Tämä on tärkeä osa ongelman ratkaisua, sillä laitekuvauksen avulla voidaan muokata järjestelmän ominaisuuksia halutunlaiseksi. Laitekuvaus on esitetty kuvassa 3.1.



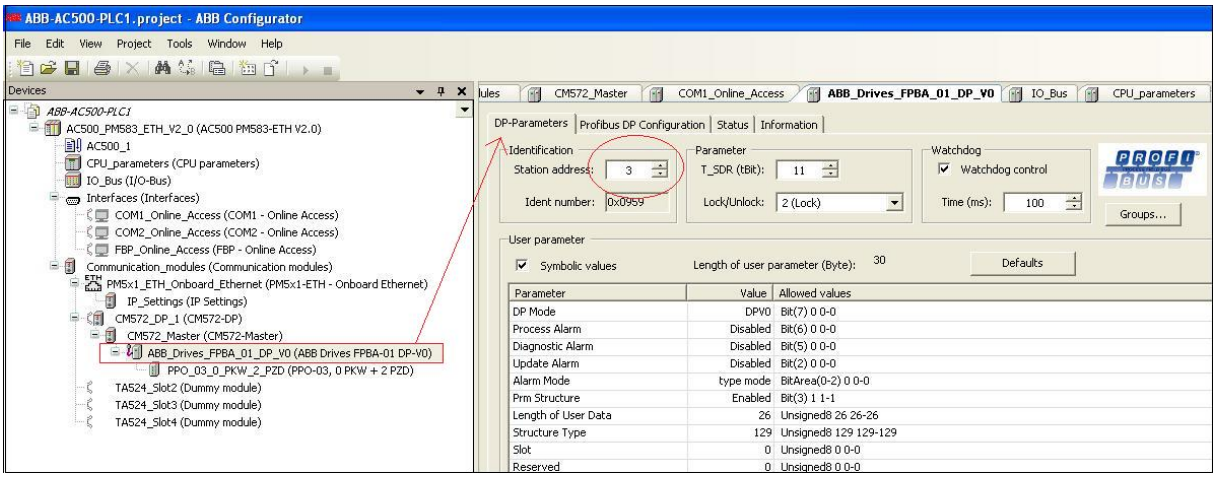
Kuva 3.1 ABB Configurator – ohjelmalla tehty laitekuvaus. Kuvassa punaisella järjestelmässä käytettävät PM583 ja CM572 moduulit ABB – demosalkusta. Kuvassa myös työn luvussa 3.3 valittava PPO-tyyppi, PPO-3.

3.2. Kenttäväylän osoitteet ja tiedonsiirtonopeus

Jokainen kenttäväylälle kytketty laite tarvitsee kenttäväyläosoitteen tunnistaakseen sille tulevat käskyt ja leimatakseen kenttäväylälle lähettämänsä datapaketit kenttäväyläosoitteellaan, jotta ne voidaan tunnistaa juuri siltä tulleeksi. Asetetaan ohjelmoitavan logiikan kenttäväyläosoitteeksi 1, ja ACSM1-taajuusmuuttajan FPBA-kenttäväyläkortin osoitteeksi 3. Valitaan kenttäväylän tiedonsiirtonopeudeksi suurin mahdollinen käytettävissä oleva, eli 12000 kbit/s. Nämä asetukset on esitetty kuvissa 3.2 ja 3.3.



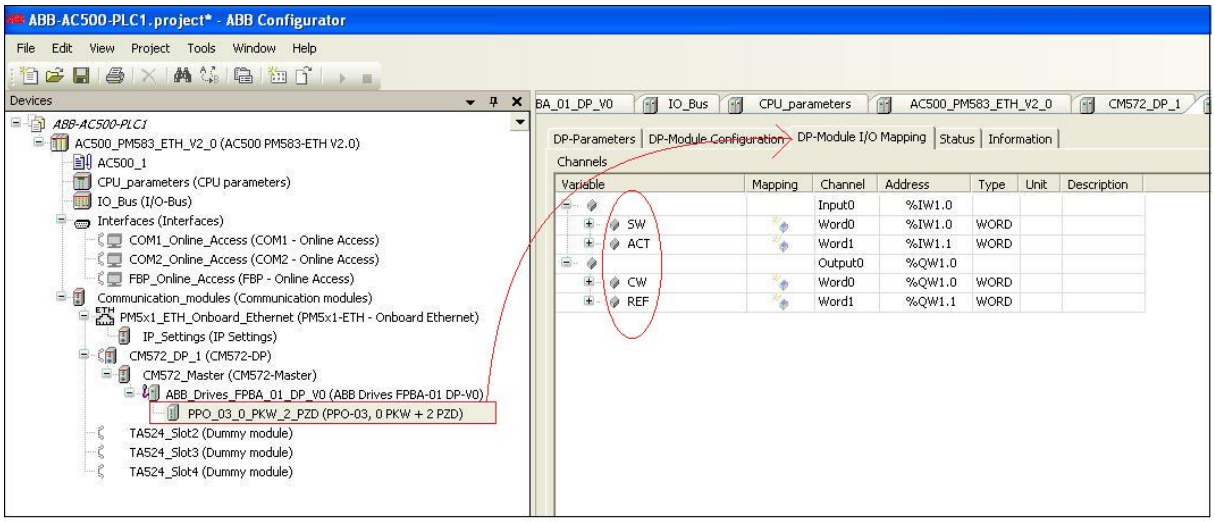
Kuva 3.2 Ohjelmoitavan logiikan kenttäväyläosoitteen ja tiedonsiirtonopeuden määritys.



Kuva 3.3 ACSM1 taajuusmuuttajan FPBA-kenttäväyläkortin kenttäväyläosoitteen määritys.

3.3. Datapaketit

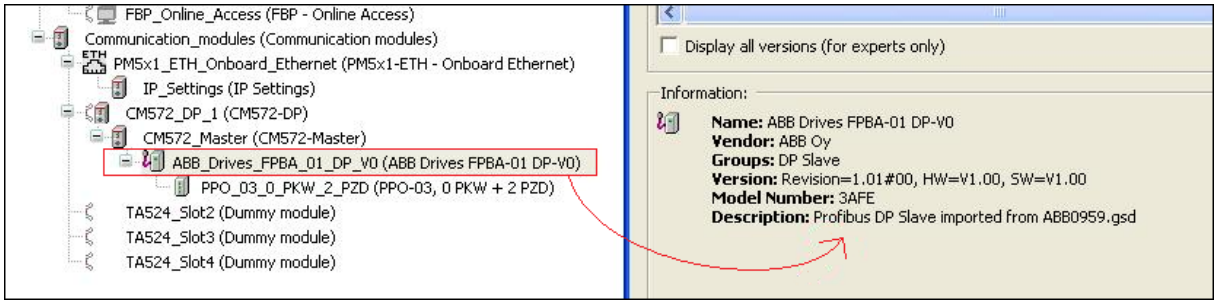
Ohjelmoitavan logiikan hallinnoiman, PROFIBUS-kenttäväylän jaksollisen viestimisen välineinä on käytettävissä erilaisia PPO-paketteja (Parameter/Process Data Object), joiden koko vaihtelee käytettävän sovelluksen mukaan (ABB 2011b, s. 114). Nyt taajuusmuuttajalle halutaan lähettää sekä käynnistyskäskyjä (CW) että nopeudenasetusarvoja (REF). Taajuusmuuttajalta halutaan lähettää ohjelmoitavalle logiikalle sekä tilasana (SW) että nopeudentila-arvo (ACT). Tähän riittää rakenteeltaan yksinkertaisin kehystyyppi PPO-3, joka valitaan. Edellä mainitut asetukset on esitetty kuvassa 3.4.



Kuva 3.4 Datapakettien määritys ja nimeäminen.

3.4. GSD-tiedosto

Jokaiselle kenttäväylään kytketylle laitteelle tarvitaan GSD-tiedosto kuvaamaan sen ominaisuudet, jotta ohjelmoitava logiikka tunnistaisi laitteen. ABB Configurator – ohjelma lataa ACSM1-taajuusmuuttajan tiedot automaattisesti tietokoneelle erikseen asennetusta tiedostosta ABB0959.gsd. Kuvassa 3.5 ilmenee GSD-tiedoston käyttö.



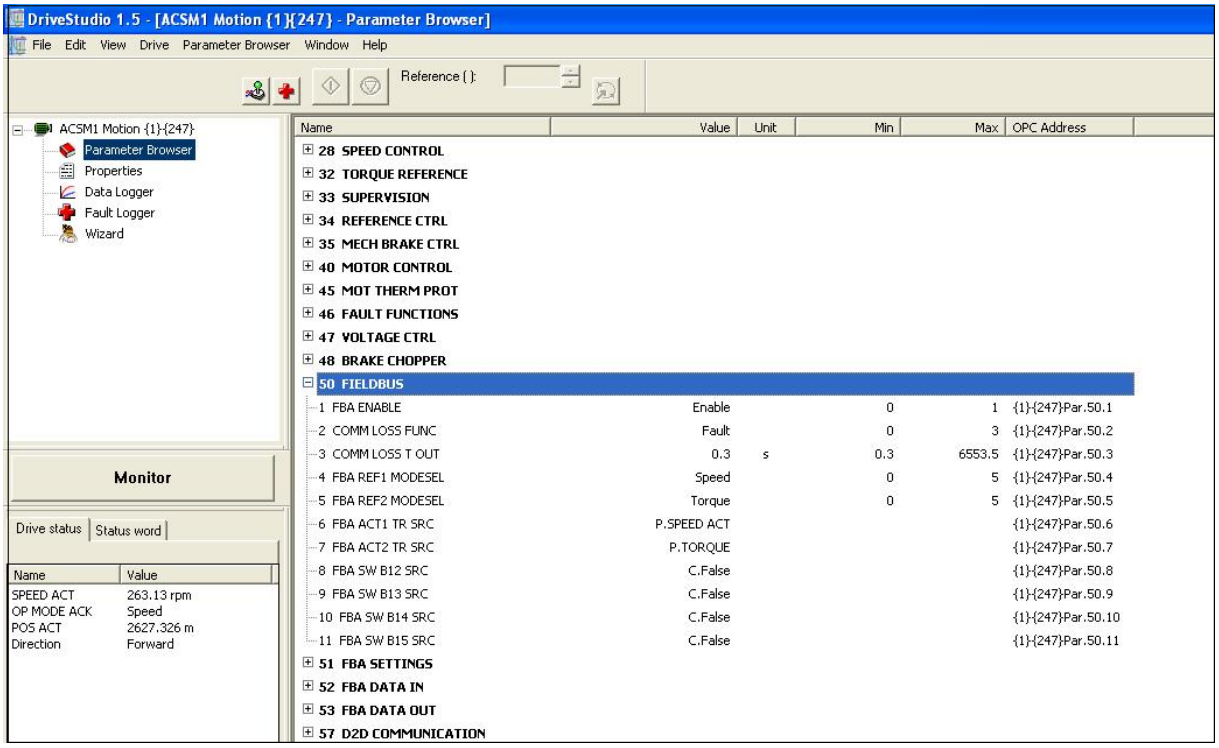
Kuva 3.5 GSD-tiedoston käyttö.

3.5. Taajuusmuuttajan parametrien määritys

ACSM1–taajuusmuuttajalla on joukko parametreja, joita muuttamalla se saadaan toimimaan halutunlaisesti esimerkiksi vääntö- tai kulmaohjeen mukaan. Tässä kandityössä taajuusmuuttajaa halutaan käyttää pyörimisnopeusohjattuna. Tarvittavien parametrien asetus tehdään DriveStudio 1.5 – ohjelmalla, jolla voidaan tarvittaessa myös nollata taajuusmuuttajan virhekoodit. Ennen asetuksien muuttamista on käyttöasema kytkettävä sarjaportista taajuusmuuttajan Ethernet-porttiin ABB RS OPCA-02 -ohjelmointikaapelilla. Oikeat asetukset on esitetty taulukossa 3.1 (ABB 2010, s. 23). Lähteestä poiketen käytämme työn luvussa 3.3 valittua kehystyyppiä PPO-3. Kuvassa 3.6 on esitetty DriveStudio 1.5 – ohjelma, jolla parametreja muutetaan.

Taulukko 3.1 Pyörimisohjaukseen vaadittavien parametrien asetukset (ABB 2010, s. 23). Muut parametrit voivat olla vakioasetuksella.

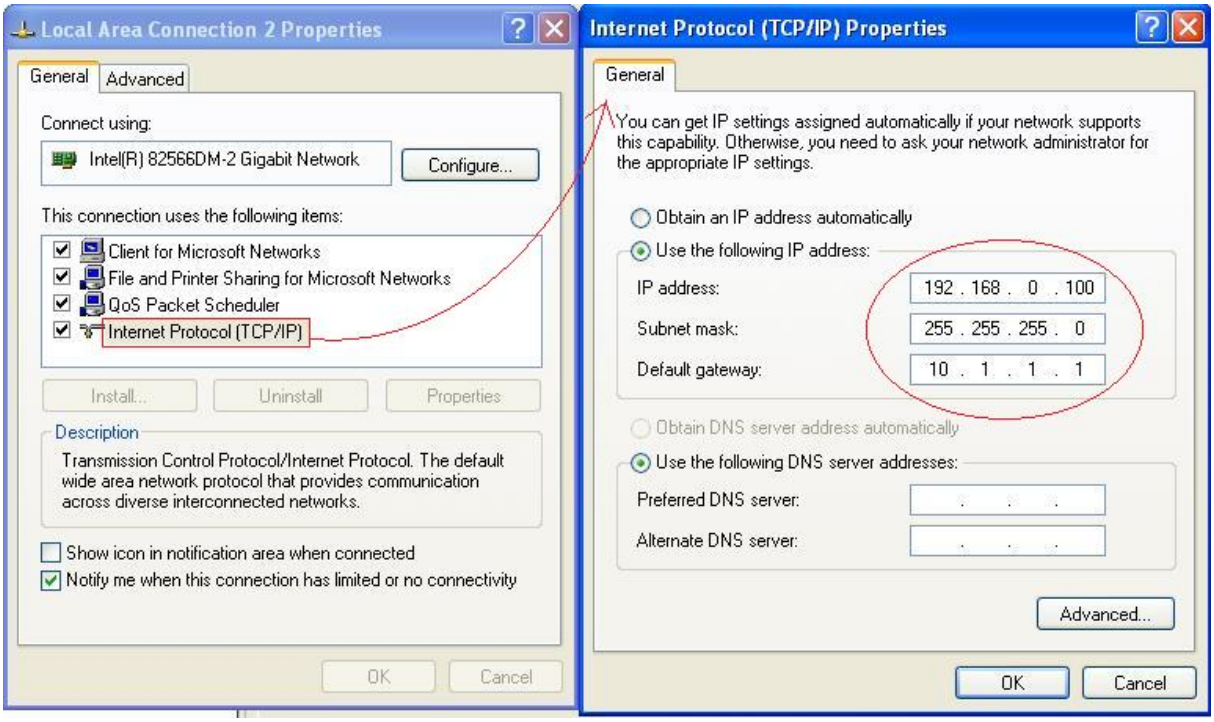
#	Taajuusmuuttajan parametri	Asetus	Lisätieto
10.01	EXT1 START FUNC	FBA	(External control source selection)
24.01	SPEED REF1 SEL	FBA REF1	
34.03	EXT1 CTRL MODE	SPEED	
50.01	FBA ENABLE	ENABLE	(Communication enable between the drive and the fieldbus module)
50.04	FBA REF1 MODESEL	SPEED	
51.01	FBA TYPE	PROFIBUS DP	
51.02	NODE ADDRES	3	
51.03	BAUDRATE	12000	(kbit/s)
51.04	TELEGRAM TYPE	3	(=PPO 3)
51.05	PROFILE	0	(=PROFIdrive)
52.01	FBA DATA IN1	4	(Status Word)
52.02	FBA DATA IN2	5	(Actual Value 1)
53.01	FBA DATA OUT1	1	(Control Word)
53.02	FBA DATA OUT2	2	(Reference 1)



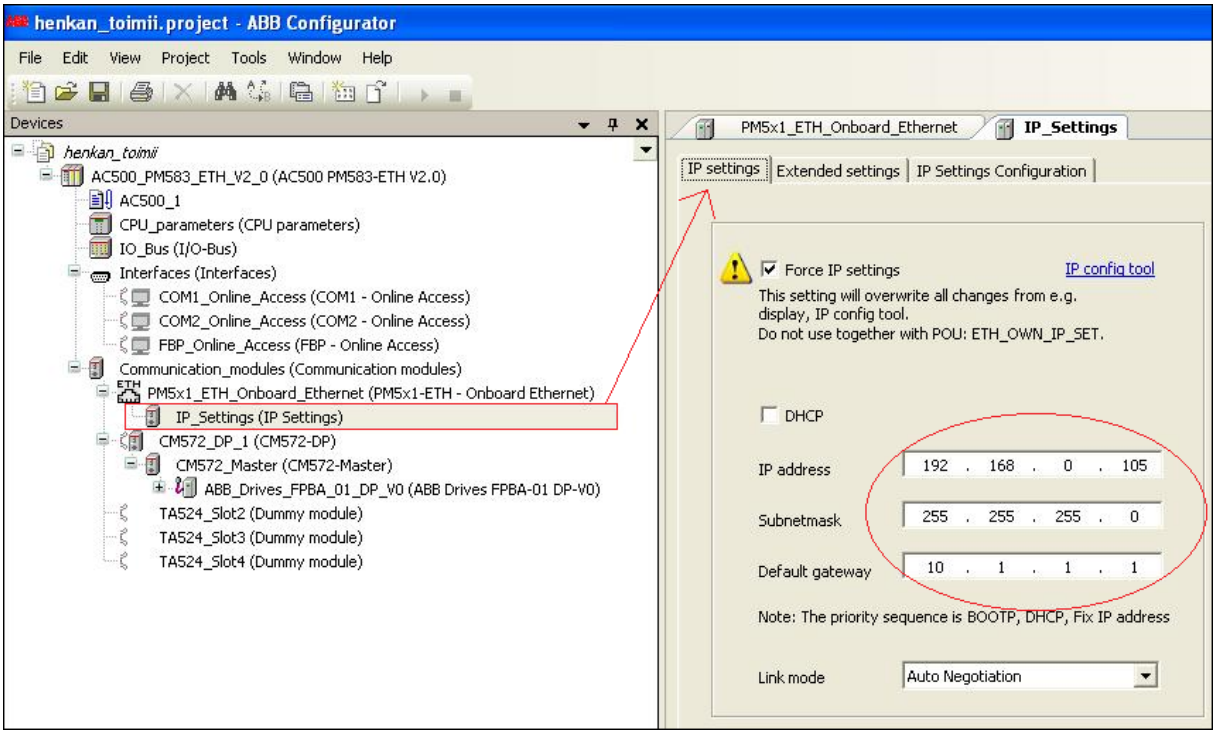
Kuva 3.6 DriveStudio 1.5, jota käytetään taajuusmuuttajan parametrien muuttamiseen.

3.6. TCP/IP – asetukset

Käyttöasema kytketään reitittimen kautta ohjelmoitavan logiikan Ethernet–porttiin RJ45-parikaapeleiden avulla. Tämä yhteys on määritettävä molempien asetuksista. Valitaan käyttöaseman IP-osoitteeksi 192.168.0.100 ja yhdyskäytäväksi 10.1.1.1. Valitaan ohjelmoitavan logiikan IP osoitteeksi 192.168.0.105, käytettäväksi portiksi 80 ja yhdyskäytäväksi edellä mainittu 10.1.1.1. Aliverkon peitteeksi valitaan yleisesti käytetty 255.255.255.0. Käyttöaseman IP-asetukset on esitetty kuvassa 3.7, ja ohjelmoitavan logiikan IP-asetukset kuvassa 3.8.



Kuva 3.7 Käyttöaseman IP-asetukset.



Kuva 3.8 Ohjelmoitavan logiikan IP-asetukset ABB Configurator – ohjelmassa. Käytettävän portin valinta löytyy alavalikosta ”Extended settings”.

4. OHJELMAN TOTEUTUS

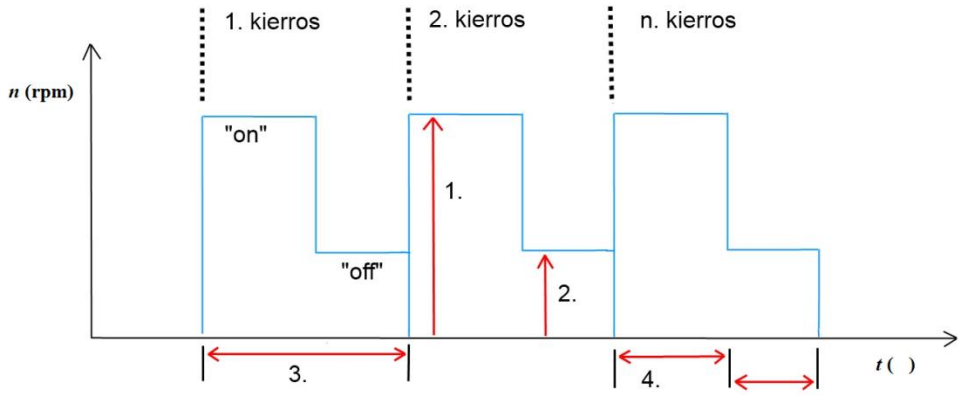
ABB Configurator – ohjelmalla luodun laitekuvauksen jälkeen päästään CoDeSys-ohjelmointiympäristöön tuplaklikkaamalla laitekuvauksen kohtaa ”AC500_1”. CoDeSys:llä muodostetaan vaatimusmäärittelyn mukainen Structured Text (ST) – kielinen ohjelma, joka ohjaa ohjelmoitavan logiikan toimintaa. ST on yksi neljästä IEC 61131-3 – standardin mukaisista kielistä.

4.1. Vaatimusmäärittely

Ohjelmalla halutaan muuttaa seuraavia moottorin käyttöprofiilin ominaisuuksia:

1. ON-tilan pyörimisnopeus (rpm)
2. OFF-tilan pyörimisnopeus (rpm)
3. Käyttöprofiilin jaksonaika
4. ON-tilan jaksonaika

Edellä mainitut ominaisuudet on esitetty kuvassa 4.1.

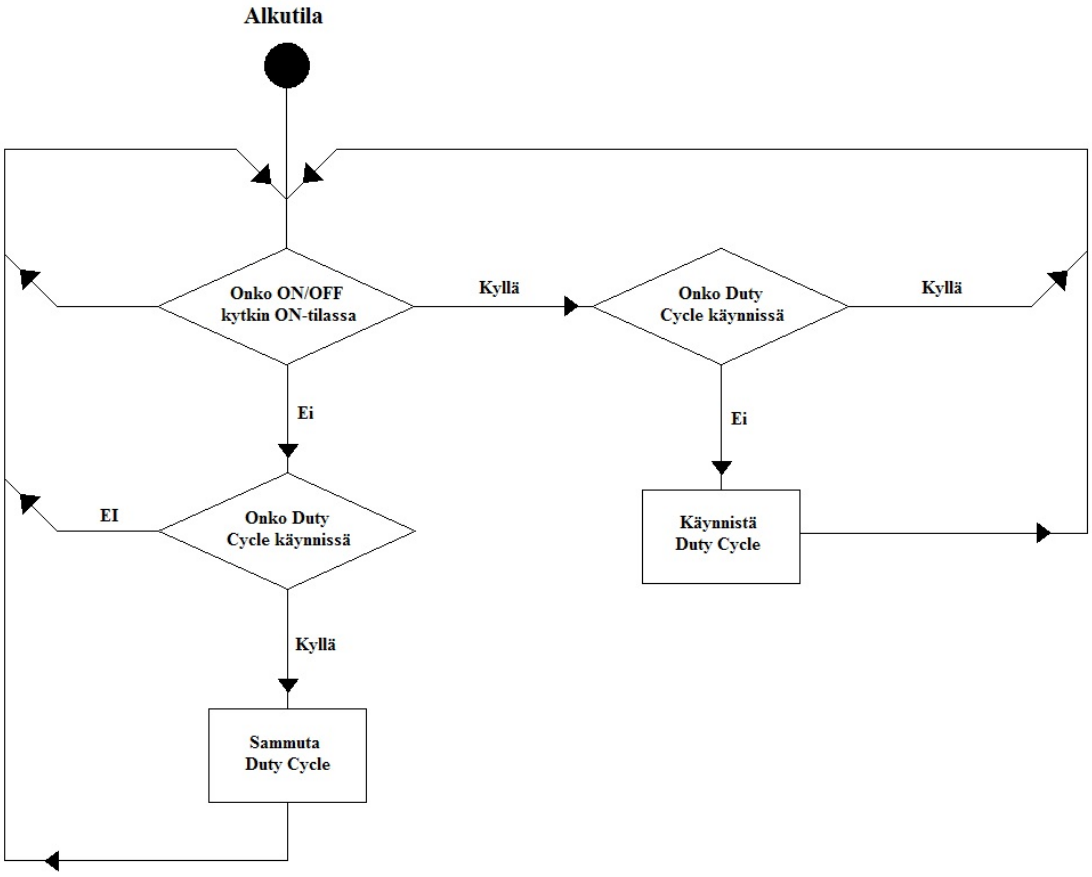


Kuva 4.1 Moottorin käyttöprofiilin halutut säätöparametrit. Kuvassa 1 = ON-tilan pyörimisnopeus, 2 = OFF-tilan pyörimisnopeus, 3 = käyttöprofiilin jaksonaika sekä 4 = ON-tilan pulssinkesto.

Järjestelmän käyttöä helpottaen halutaan lisäksi tallentaa muodostettava lähdekoodi SD-muistikortille, jotta ohjelmoitava logiikka käynnistyksen yhteydessä lataa koodin suoraan muistikortilta. Näin vältytään tarpeelta kytkeä ohjelmoitava logiikka käynnistyksen yhteydessä erikseen CoDeSys:llä varustettuun tietokoneeseen, jotta ohjelma saataisiin sarjaportin kautta siirrettyä ohjelmoitavalle logiikalle.

4.2. Ohjelman rungon muodostaminen

Ohjelmalle muodostetaan yksinkertainen runko ilman syntaksin mukaisia käskyjä, jonka pohjalta varsinainen ohjelma muodostetaan. Ohjelma päätetään toteuttaa ikuisena silmukkana, jota AC500-ohjelmoitavalla logiikalla ajetaan aina kun jaksottaisen suoritussyklin aika täyttyy. Vakiona tämä sykli on 10 ms (ABB 2007, s. 96). Ohjelman runko on esitetty kuvassa 4.2.



Kuva 4.2 Muodostettavan ohjelman runko.

4.3. Varsinainen ohjelma

Ohjelman toiminta toteutetaan yhdellä pääohjelmalla. Pääohjelman käyttöön generoidaan duty_cycle – funktio, joka käynnistää kaksi TON-funktion (Timer On Delay) laskuria mikäli käyttöliittymään tuleva ON/OFF – kytkin on ON-tilassa. Näiden kahden TON-funktion sisääntulona käytetään toisessa käyttäjän määrittämää käyttöprofiilin jaksonaikaa ja toisessa ON-tilan pulssinkestoa. Ulostuloksi TON-funktiosta saadaan Boolen algebran TRUE, mikäli funktion laskuri on laskenut sisääntulossa sille tuotuun aikaan asti. Nyt voidaan duty_cycle – funktiolla ja IF-lauseilla toteuttaa ON ja OFF tilojen vuorottelu, jota ohjelmalta vaadittiin.

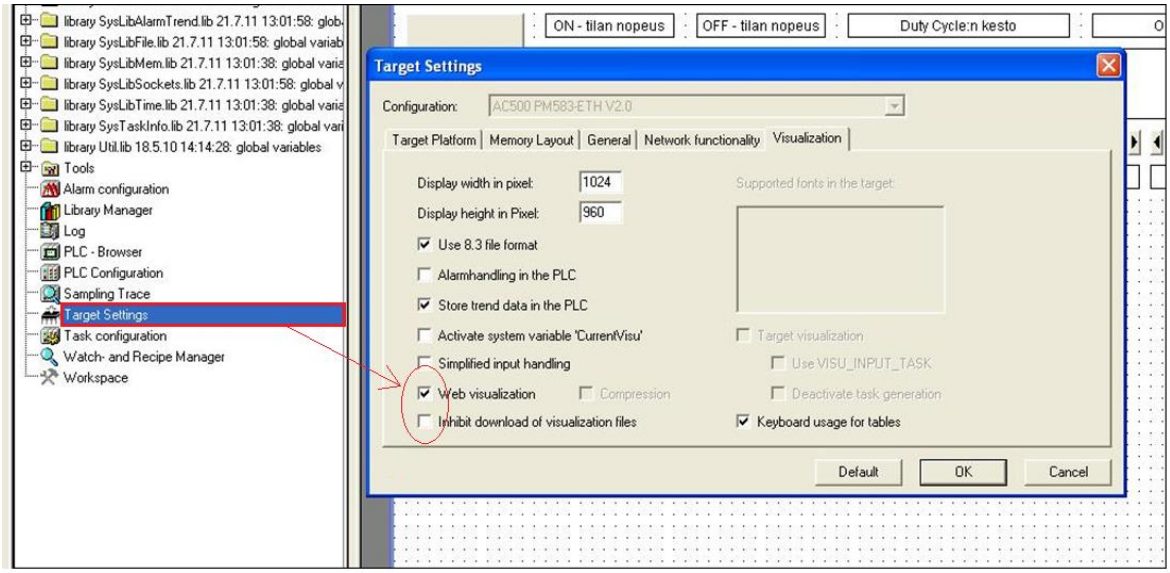
Muodostettu pääohjelma, käytetyt globaalit muuttujat sekä generoitu funktio duty_cycle on esitetty liitteessä 2.

4.4. Käyttöliittymä

Useimpiin ohjelmoitaviin logiikoihin on mahdollista luoda WEB-käyttöliittymä, jonka avulla voidaan Internetin ylitse ohjata logiikan toimintaa. Myös AC500-logiikasta tämä ominaisuus löytyy; tämä oli osasyy ko. logiikan valitsemiseen tämän kandidaatintyön luvussa 2. CoDeSys:llä luotujen lähdekoodien lisäksi käyttöliittymä tarvitsee seuraavat tiedostot toimiakseen (VAE Prosys 2012) (3S 2007, osiot 8.3, 8.5) (ABB, s. 74):

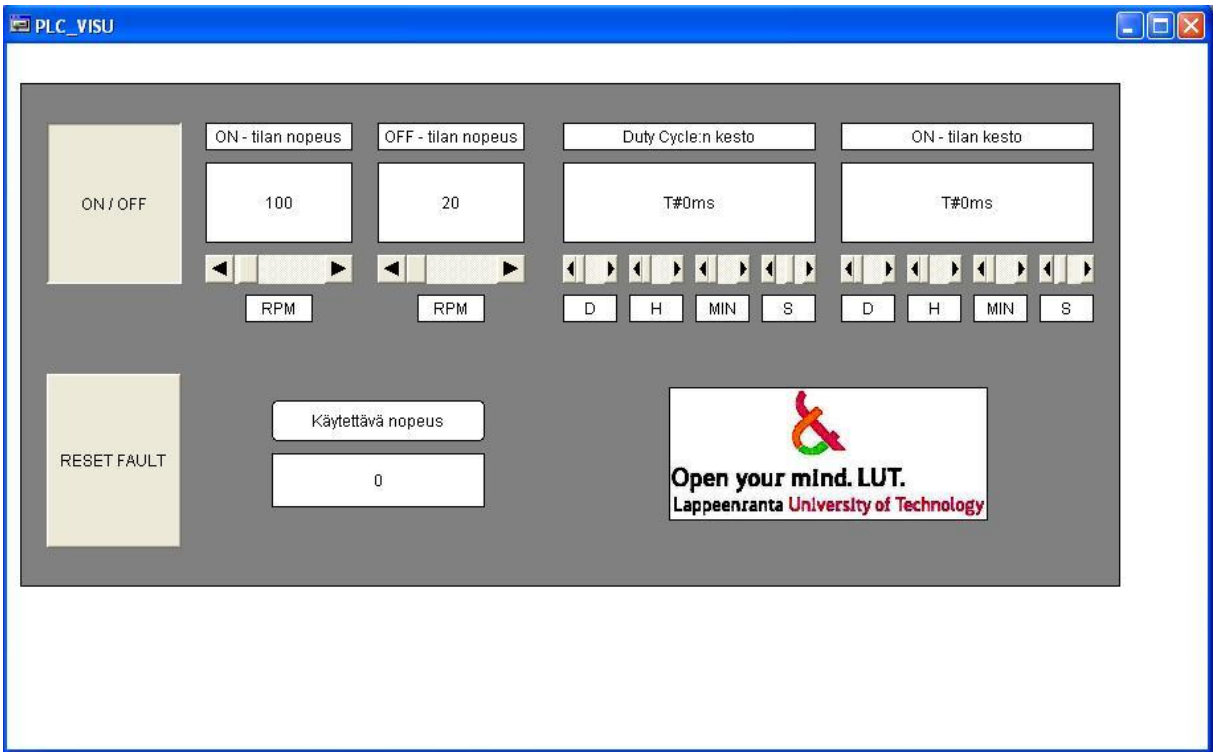
- webserver.exe
- elementDLL.ete
- minml.jar
- webvisu.jar
- webvisulogin.htm
- webvisu.htm
- Webserver_conf.xml
- PLCHandler.dll
- PLCHandler.ini
- WebServer_ABB.3sm

Nämä tiedostot löytyvät CoDeSys:n asennuskansiosta, ja ne generoituvat automaattisesti asennuksen aikana asennuskansion alakansioon nimellä ”Visu” (VAE Prosys 2012) (3S 2007, osio 8.3) (ABB, s. 74). Mainitut tiedostot määrittävät käyttöliittymän asetuksia sekä ohjaavat käyttöliittymän toimintaa ohjelmoitavassa logiikassa. CoDeSys:lle on kerrottava, että nämä tiedostot on otettava huomioon; tämä asetus löytyy klikkaamalla kahdesti CoDeSys:n ”Target Settings” valikkoa. Nyt avautuu ikkuna, joka on esitetty kuvassa 4.3. Asetuksen ”Inhibit download of visualization files” on oltava pois päältä (3S 2007, osio 8.4). Samasta ikkunasta löytyy myös asetus ”Web visualization”, joka on oltava päällä; tällä CoDeSys ymmärtää että käyttöliittymä muodostetaan (3S 2007, osio 8.1). Vielä on varmistettava, että käyttöliittymän tarvitsemat tiedostot löytyvät samasta kansiosta muodostettavan ohjelman lähdekoodin kanssa, jotta CoDeSys osaa kirjoittaa ohjelmoitavalle logiikalle myös nämä käyttöliittymän tarvitsevat tiedostot.



Kuva 4.3 Käyttöliittymän asetukset. Jotta käyttöliittymä toimisi, tarvitaan asetus ”Web visualization” päälle, ja asetus ”Inhibit download of visualization files” pois päältä.

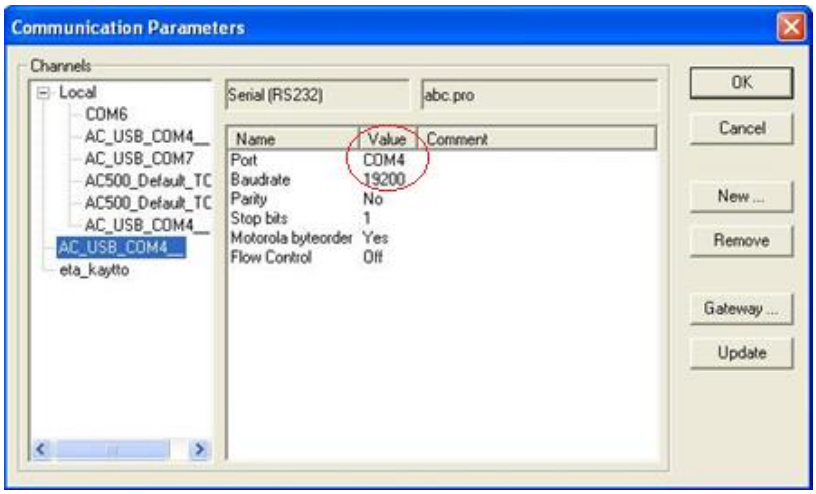
Nyt voidaan CoDeSys:llä muodostaa työn luvun 4.1 täyttävä käyttöliittymä (3S 2007, osiot 2-1 – 2-60). Työn luvun 4.1 vaatimusten lisäksi käyttöliittymällä halutaan nollata ohjelman käytön aikana ilmeneviä virhekoodeja, ilman että se pitäisi tehdä DriveStudio 1.5 – ohjelmalla. Vaatimusten mukainen käyttöliittymä on esitetty kuvassa 4.4.



Kuva 4.4 Ohjelman graafinen käyttöliittymä.

4.5. Ohjelman lataus PLC:lle ja muistikortille

Ennen ohjelman latausta on kytkettävä ohjelmointikaapeli (USB/COM) käyttöaseman USB-portin ja ohjelmoitavan logiikan sarjaportin välille. Lisäksi on varmistettava, että ohjelmoitava logiikka osaa lukea oikeaa sarjaporttia lähdekoodin vastaanottamiseksi. Valitaan käytettäväksi sarjaportiksi käyttöaseman portti COM4. CoDeSys:stä sarjaportin valinta tapahtuu ”Online”-valikon alta kohdasta ”Communication Parameters”. Ohjelmoitavan logiikan käyttämän sarjaportin asetus on esitetty kuvassa 4.5.



Kuva 4.5 Ohjelmoitavan logiikan sarjaportin valinta.

Nyt voidaan ladata ohjelma ohjelmoitavalle logiikalle ja SD-muistikortille seuraavasti (ABB 2007, s. 130):

- CoDeSys-ohjelmassa valikko ”Project”
- Käännetään koko ohjelma toiminnolla ”Clean all” ja tämän jälkeen ”Rebuild all”
- Ladataan ohjelma ohjelmoitavalle logiikalle valikosta ”Online” kohdasta ”Login”
- Luodaan ”Boot project” muistikorttia varten valikosta ”Online” kohdasta ”Create boot project”
- Asennetaan muistikortti ohjelmoitavan logiikan muistikorttipaikkaan
- Ladataan edellä tehty ”Boot project” muistikortille CoDeSys:n valikon ”Resources” alta löytyvällä ”PLC Browser”:lla komennolla ”sdappl” (huomio että PLC - Browseria käyttääksesi tarvitsee sinun olla ”Online” tilassa ohjelmoitavaan logiikkaan)

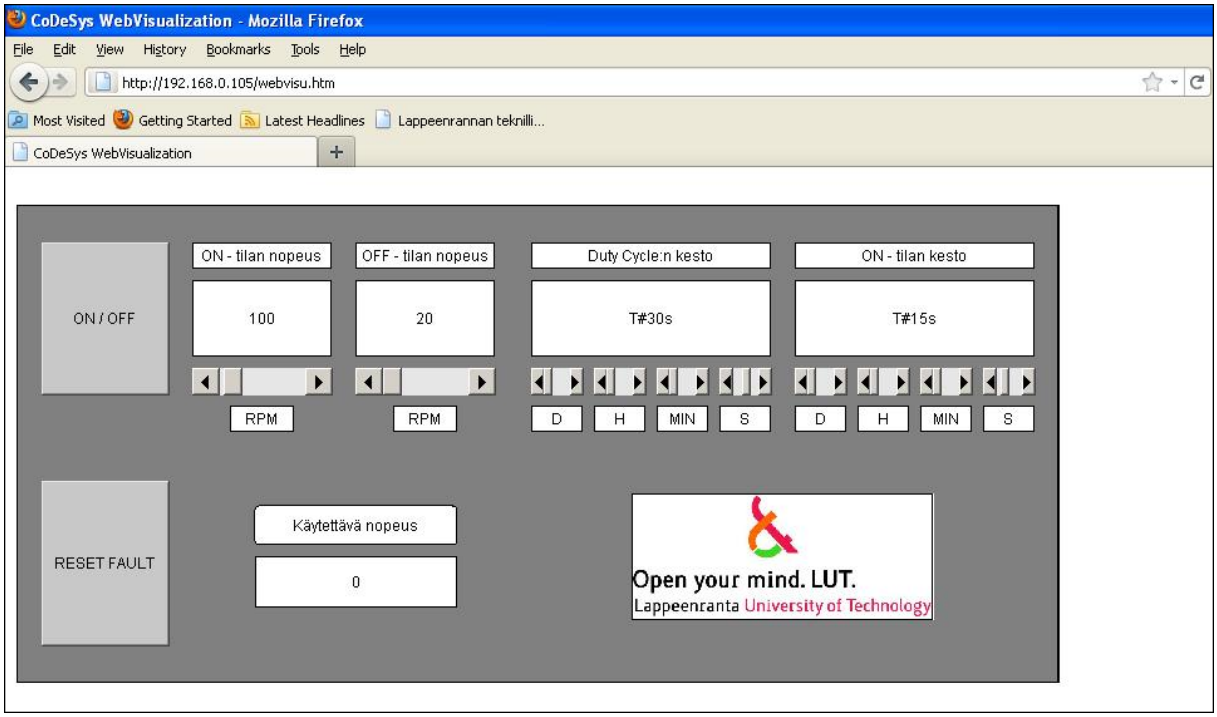
Edellä mainittujen toimenpiteiden jälkeen ohjelma latautuu muistikortilta ohjelmoitavalle logiikalle kun se käynnistetään. Ennen laitteiston käyttöä on DriveStudio 1.5:llä varmistettava, ettei kenttäväylällä ole voimassa olevia virheitä. Käyttöliittymällä ei virheiden nollaus onnistu, mikäli yhteys taajuusmuuttajaan jonkun virhetilanteen takia on poikki. Mahdolliset virheet voidaan nollata punaisesta rastista, joka näkyy kuvan 3.6 vasemmassa yläkulmassa.

5. JÄRJESTELMÄN TESTAUS

Järjestelmää testataan 2:llä eri tavalla. Ensimmäisenä testataan white box – menetelmällä etäohjauksen oikea käyttäytyminen annetuilla syötteillä. Seuraavaksi testataan ohjelman luotettavuutta destruktiivisella menetelmällä, jossa yritetään kaataa ohjelma altistamalla se mahdollisille erilaisille virhetilanteille (Tahvanainen 2012, s. 15). Testaus katsotaan onnistuneeksi, mikäli järjestelmä toimii työn luvun 4.1 vaatimusten mukaisesti luotettavasti kaatumatta.

5.1. White box – menetelmä

Ohjelman toimintaa testataan Mozilla Firefox – selaimella, jolla muodostetaan yhteys ohjelmoitavan logiikan web-käyttöliittymään. Tämä tapahtuu kirjoittamalla käyttöaseman selaimen URL-riville seuraava teksti: http://192.168.0.105/webvisu.htm. URL:ssä kirjoitettuna on ensin käytettävä protokolla HTTP (Hypertext Transfer Protocol), sitten kohdeaseman IP-osoite (192.168.0.105, määritetty työn luvussa 3.6) ja lopuksi kohdeaseman tiedostopolku /webvisu.htm. Selaimella avattu käyttöliittymä on esitetty kuvassa 5.1.



Kuva 5.1 Mozilla Firefox – selaimella avattu käyttöliittymä.

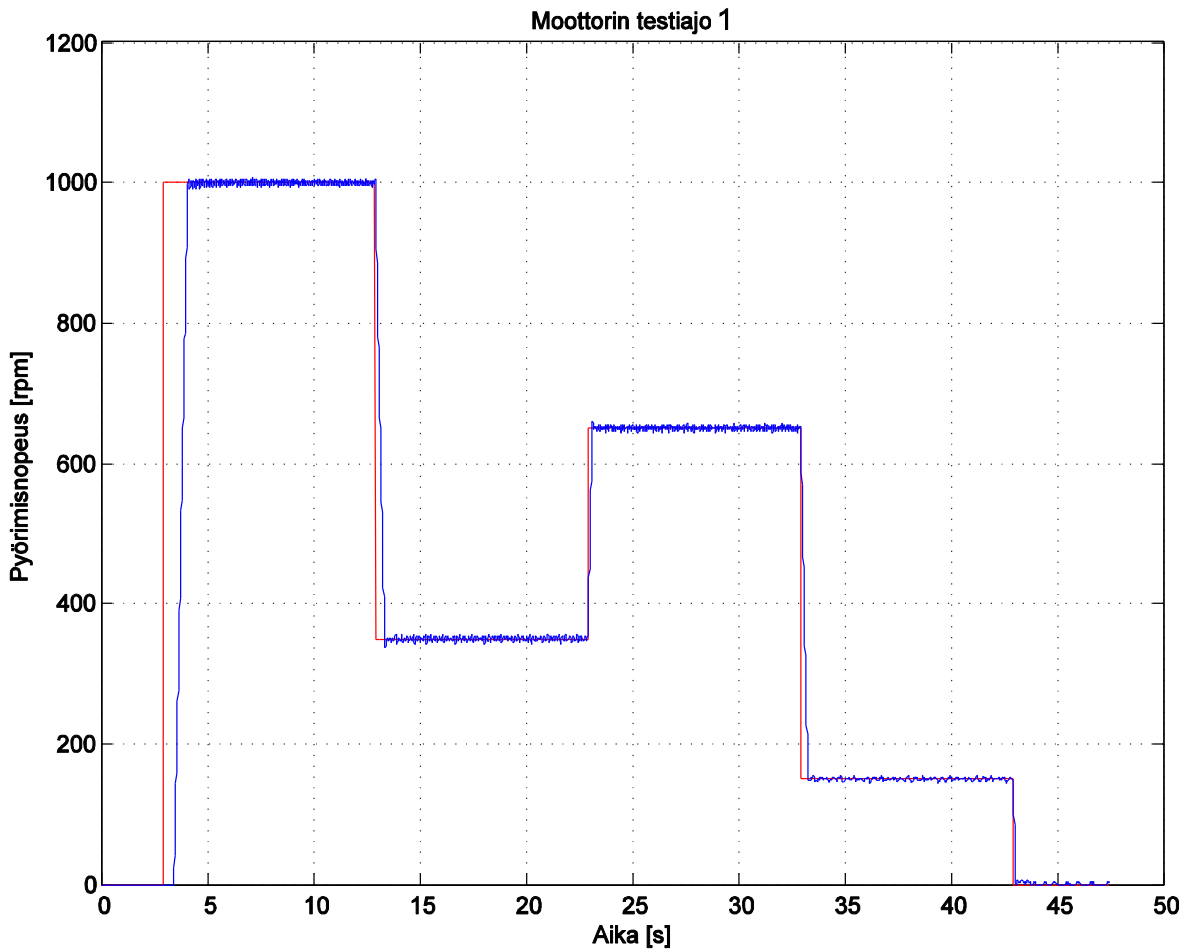
Käyttöliittymällä asetetaan käyttöprofiilin mittauksen analysointia tukevat, vaatimusmäärittelyn mukaiset parametrit. Tämän jälkeen mittauksen ajan kenttäväylältä luetaan DriveStudio 1.5 – ohjelmalla taajuusmuuttajan nopeudenasetusarvo REF (parametri 3.1) ja mittaukseen perustuva nopeudentila-arvo ACT (parametri 1.1), joita verrataan keskenään. Mittaus tehdään Sick-Stegmann DGS66 pulssianturilla, joka on liitetty ACSM1-taajuusmuuttajaan, ja sitä kautta kenttäväylään.

5.1.1. Testiajo 1

Ajetaan testiajo 1 seuraavasti:

- näytteistystaajuus 100 Hz (mittausväli 10 ms)
- käyttöprofiilin pituus 20 s
- ON-tilan pituus 10 s (OFF-tila siis 10 s)
- alussa pyörimisnopeus 0 rpm
- ensimmäisen ON-tilan pyörimisnopeus 1000 rpm
- ensimmäisen OFF-tilan pyörimisnopeus 350 rpm
- toisen ON-tilan pyörimisnopeus 650 rpm
- toisen OFF-tilan pyörimisnopeus 150 rpm
- lopussa pyörimisnopeus 0 rpm

Kyseisestä ajosta mitatut arvot on esitetty kuvassa 5.2.



Kuva 5.2 Sähkömoottorin testiajo 1. Punaisella nopeudenasetusarvo REF, sinisellä mitattu nopeudentila-arvo ACT.

Mittaustuloksista havaitaan, että ajanhetkellä 2.91 s taajuusmuuttaja saa pyörimisnopeuskäskyn arvolla 1000 rpm. Sähkömoottorin pyörimisnopeus saavuttaa jatkuvuustilan noin 1.19 s käskystä, nousuajan ollessa 530 ms. Jatkuvuustilan virhe on mittaustulosten perusteella lähes symmetristä, noin 10 Hz:n taajuudella esiintyvää värähtelyä jonka amplitudi on noin 5 rpm. Näytteistystaajuutta laskemalla esim. 10 Hz:iin saadaan jatkuvuustilan värähtelytaajuudeksi kuitenkin noin 0.4 Hz. Todetaan että jatkuvuustilan todellinen värähtely todennäköisesti laskostuu Nyquistin teoreeman mukaan alemmalle taajuudelle käytetyn näytteistystaajuuden mukaan. Todellinen jatkuvuustilan värähtely on siten todennäköisesti mittaustulosten ja Nyquistin teoreeman mukaan suurempaa kuin 50 Hz. Taajuusmuuttaja saa ajanhetkellä 12.90 s uuden pyörimisnopeuskäskyn, ja alkaa muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Nopeudenasetusarvo säilyi halutussa ON-tilassa 9.99 s ja nopeudentila-arvo 8.80 s.

Ensimmäisen OFF-tilan pyörimisnopeuden 350 rpm sähkömoottori saavuttaa noin 530 ms:n kuluttua käskystä, nousuajan ollessa noin 350 ms. Jatkuvuustilan virhe on

mittaustulosten perusteella lähes symmetristä, noin 6 Hz:n taajuudella esiintyvää värähtelyä jonka amplitudi on noin 5 rpm. Todetaan, että myös ensimmäisen OFF – tilan todellinen värähtely on todennäköisen laskostumisen takia suurempaa kuin 50 Hz. Taajuusmuuttaja saa ajanhetkellä 22.91 s uuden pyörimisnopeuskäskyn, ja alkaa muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Nopeudenasetusarvo säilyi halutussa OFF-tilassa 10.01 s ja nopeudentila-arvo 9.48 s.

Toisen ON-tilan pyörimisnopeuden 650 rpm sähkömoottori saavuttaa noin 250 ms kuluttua käskystä, nousuajan ollessa noin 170 ms. Jatkuvuustilan virhe on mittaustulosten perusteella lähes symmetristä, noin 12.5 Hz:n taajuudella esiintyvää värähtelyä jonka amplitudi on noin 5 rpm. Todetaan, että myös toisen ON-tilan todellinen värähtely on todennäköisesti laskostumisen seurauksena suurempaa kuin 50 Hz. Taajuusmuuttaja saa ajanhetkellä 32.92 s uuden pyörimisnopeuskäskyn, ja alkaa muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Nopeudenasetusarvo säilyi halutussa ON-tilassa 10.01 s ja nopeudentila-arvo 9.76 s.

Toisen OFF-tilan pyörimisnopeuden 150 rpm sähkömoottori saavuttaa noin 360 ms kuluttua käskystä, nousuajan ollessa noin 270 ms. Jatkuvuustilan virhe on mittaustulosten perusteella lähes symmetristä, noin 4 Hz:n taajuista värähtelyä 5 rpm:n amplitudilla. Todetaan, että myös toisen OFF-tilan todellinen värähtely on todennäköisesti laskostumisen seurauksena suurempaa kuin 50 Hz. Taajuusmuuttaja saa ajanhetkellä 42.93 s uuden pyörimisnopeuskäskyn, ja alkaa muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Nopeudenasetusarvo säilyi OFF-tilassa 10.01 s ja nopeudentila-arvo 9.65 s.

Mittauksessa pyörimisnopeuden jatkuvuustilan virhe on välillä 0.5 – 3 %, riippuen käytetystä pyörimisnopeudesta. Tätä tarkkuutta voidaan todennäköisesti parantaa säätöteknillisillä ratkaisuilla, mutta tähän kandityöhön näiden säätöteknillisten ratkaisuiden etsiminen ei sisältynyt. Saavutettu tarkkuus on riittävä.

Ensimmäisen ON-tilan nopeudentila-arvon reagointi nopeudenasetusarvoon ei tapahtunut halutunlaisesti; taajuusmuuttajan nopeudentila-arvo pysyi arvossa 0 rpm noin 520 ms ON-tilan alkamisen jälkeen. Tämä selittyy todennäköisesti sillä, että taajuusmuuttaja oli työn luvussa 4.3 generoidun pääohjelman perusteella valmiustilassa (pääohjelman rivi 10) saadessaan kenttäväylää pitkin käynnistyskäskyn. Ohjelmakoodin TON_on_tila – ajastin lähti laskemaan ON-tilan aikaa, mutta taajuusmuuttajalla luultavimmin meni juuri tuo 520 ms prosessoida ja käynnistää itsensä. Tämä voitaisiin estää lisäämällä ylimääräisellä TON-funktiolla 520 ms viive ennen alkuperäiset laskurit käynnistävää funktiota duty_cycle.

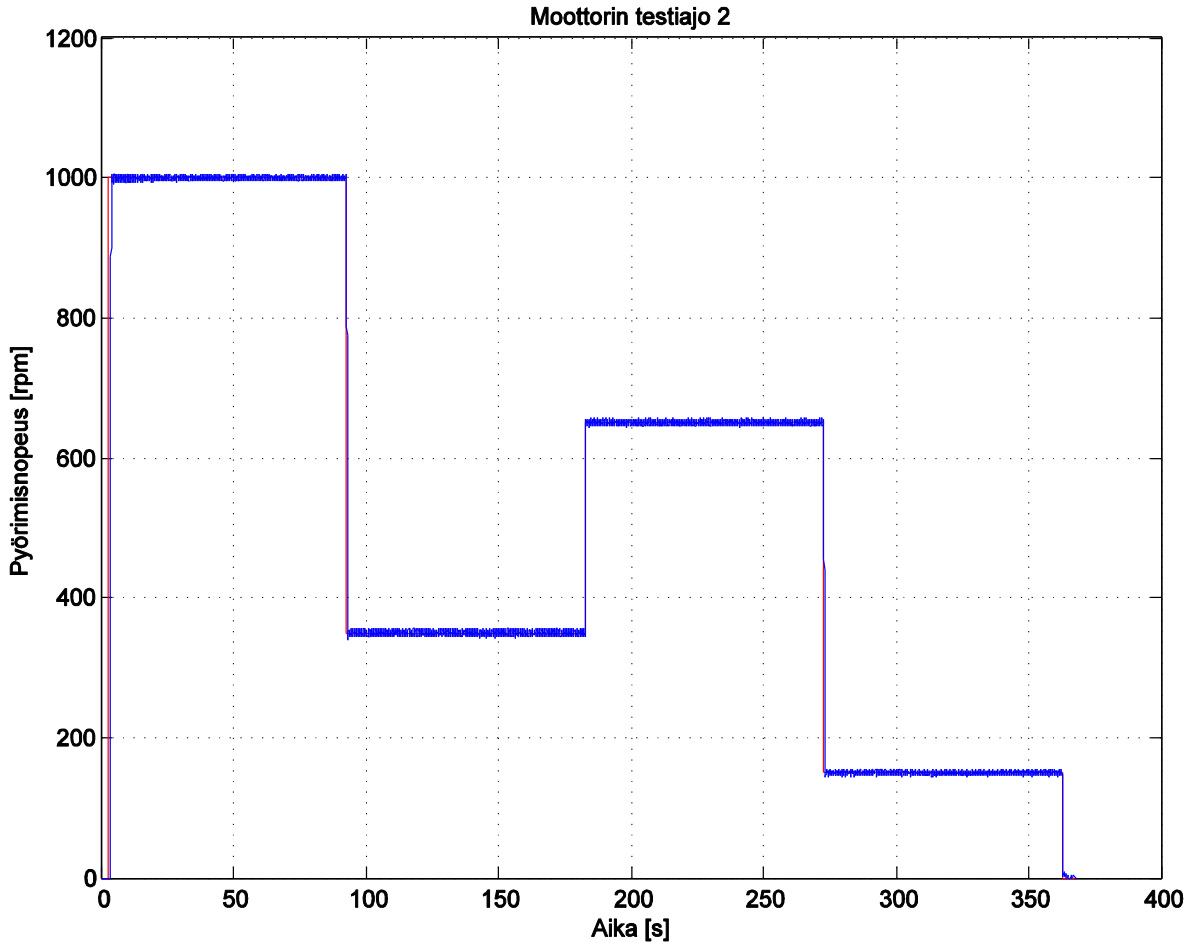
Huomioitavaa on myös ensimmäisen ON-tilan jälkeisissä tiloissa ilmenevä 10 ms ylitys. Tämä selittynee käytetyllä näytteistystaajuudella, mutta myös muodostetun ohjelman rakenteellisella ratkaisulla, sillä ohjelma ajetaan kerran toimettomana lävitse, jotta saadaan käytetyt laskurit nollattua niiden saavutettua maksimiarvot. AC500 – ohjelmoitavan logiikan jaksottaisen suoritussyklin aika kun vakiona on juuri 10 ms (ABB 2007, s. 96). Voi olla siis mahdollista että jokainen sykli jättää 10 ms. Tämä voitaisiin korjata vähentämällä ohjelmalle käyttöliittymällä syötettävästä ajasta 10 ms.

5.1.2. Testiajo 2

Tehdään toinen koeajo, jolla varmistetaan, etteivät koeajo1:n mittaustuloksista havaitut asiat muutu käyttöprofiilin funktiona. Ajetaan testiajo 2 seuraavin muutoksin:

- käyttöprofiilin pituus 3 min
- ON-tilan pituus 1 min 30 s (OFF-tila siis 1 min 30 s)

Kyseisestä ajosta mitatut arvot on esitetty kuvassa 5.3.



Kuva 5.3 Sähkömoottorin testiajo 2. Punaisella nopeudenasetusarvo REF, sinisellä mitattu nopeudentila-arvo ACT.

Mittaustuloksista havaitaan, että ajanhetkellä 2.75 s taajuusmuuttaja saa pyörimisnopeuskäskyn arvolla 1000 rpm. Sähkömoottorin pyörimisnopeus saavuttaa jatkuvuustilan noin 1.20 sekunnissa käskystä, nousuajan ollessa 520 ms. Jatkuvuustilan virhe on mittaustulosten perusteella lähes symmetristä, noin 10 Hz:n taajuudella esiintyvää värähtelyä jonka amplitudi on noin 5 rpm. Todetaan, että kuten testiajo 1:ssä jatkuvuustilan todellinen värähtely todennäköisesti laskostuu Nyquistin teoreeman mukaan alemmalle taajuudelle käytetyn näytteistystaajuuden mukaan. Todellinen jatkuvuustilan värähtely on siten todennäköisesti mittaustulosten ja Nyquistin teoreeman mukaan suurempaa kuin 50 Hz. Taajuusmuuttaja saa ajanhetkellä 92.74 s uuden pyörimisnopeuskäskyn, ja alkaa muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Nopeudenasetusarvo säilyi halutussa ON-tilassa 89.99 s ja nopeudentila-arvo 88.80 s.

Ensimmäisen OFF-tilan pyörimisnopeuden 350 rpm sähkömoottori saavuttaa noin 500 ms:n kuluttua käskystä, nousuajan ollessa noin 350 ms. Jatkuvuustilan virhe on mittaustulosten perusteella lähes symmetristä, noin 6 Hz:n taajuudella esiintyvää

värähtelyä jonka amplitudi on noin 5 rpm. Todetaan, että myös ensimmäisen OFF-tilan värähtely on todennäköisesti laskostumisen seurauksena suurempaa kuin 50 Hz. Taajuusmuuttaja saa ajanhetkellä 182.75 s uuden pyörimisnopeuskäskyn, ja alkaa muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Nopeudenasetusarvo säilyi halutussa OFF-tilassa 90.01 s ja nopeudentila-arvo 89.51 s.

Toisen ON-tilan pyörimisnopeuden 650 rpm sähkömoottori saavuttaa noin 220 ms kuluttua käskystä, nousuajan ollessa noin 160 ms. Jatkuvuustilan virhe on mittaustulosten perusteella lähes symmetristä, noin 12.5 Hz:n taajuudella esiintyvää värähtelyä jonka amplitudi on noin 5 rpm. Todetaan, että myös toisen ON-tilan värähtely on todennäköisesti laskostumisen seurauksena suurempaa kuin 50 Hz. Taajuusmuuttaja saa ajanhetkellä 272.75 s uuden pyörimisnopeuskäskyn, ja alkaa muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Nopeudenasetusarvo säilyi halutussa ON-tilassa 90.00 s ja nopeudentila-arvo 89.78 s.

Toisen OFF-tilan pyörimisnopeuden 150 rpm sähkömoottori saavuttaa noin 400 ms kuluttua käskystä, nousuajan ollessa noin 270 ms. Jatkuvuustilan väreily on mittaustulosten perusteella lähes symmetristä, noin 4 Hz:n taajuista värähtelyä 5 rpm:n amplitudilla. Todetaan, että myös toisen OFF-tilan värähtely on todennäköisesti laskostumisen seurauksena suurempaa kuin 50 Hz. Taajuusmuuttaja saa ajanhetkellä 362.75 s uuden pyörimisnopeuskäskyn, ja alkaa muuttaa sähkömoottorin pyörimisnopeutta. Nopeudenasetusarvo säilyi halutussa OFF-tilassa 90.00 s ja nopeudentila-arvo 89.60 s.

Mittaustuloksista havaitaan, että koeajo 1:n verrattuna mittaustulokset olivat lähes samanlaiset. Pyörimisnopeuden jatkuvuustilan virhe on välillä 0.5 – 3 %, riippuen käytetystä pyörimisnopeudesta. Ensimmäisen ON-tilan nopeudentila-arvon reagointi nopeudenasetusarvoon tapahtui koeajo 1:n kanssa lähes identtisesti; taajuusmuuttajan nopeudentila-arvo pysyi arvossa 0 rpm noin 530 ms ON-tilan alkamisen jälkeen. Ensimmäiseen koeajoon verrattuna 10 ms syklin ylitystä ei ilmennyt kuin ensimmäisessä OFF-tilassa.

Sähkömoottorin etäohjausjärjestelmä toimii halutunlaisesti hyväksyttävällä tarkkuudella. Muutoksia testattuun ohjelmaan ei tämän osion perusteella tehdä.

5.2. Destruktiivinen testaus

Tässä osiossa altistetaan muodostettu järjestelmä mahdollisille virhetilanteille. Virhetilanteet, järjestelmän käyttäytyminen niiden aikana, sekä ratkaisut tilanteisiin esitetään taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1 Mahdolliset virhetilanteet, järjestelmän käyttäytyminen niiden aikana sekä ratkaisut.

Vika	Syy	Seuraus	Ratkaisu
Internet-yhteyden katkeaminen	Parikaapeli irti tai poikki	Käyttöliittymä ei toimi, ohjelmoitava logiikka jatkaa sähkömoottorin ohjausta.	Liitetään parikaapeli paikalleen, tai korvataan vaurioitunut kaapeli ehjällä.
	Kytkimen virransyötön keskeytyminen	Käyttöliittymä ei toimi, ohjelmoitava logiikka jatkaa sähkömoottorin ohjausta.	Varmistetaan kytkimen virransaanti, ja päivitetään selain painamalla F5
	Käyttöaseman virransyötön keskeytyminen	Ohjelmoitava logiikka jatkaa sähkömoottorin normaalia ohjausta.	Varmistetaan käyttöaseman virransaanti ja muodostetaan selaimella yhteys ohjelmoitavaan logiikkaan.
	Selaimen kaatuminen	Ohjelmoitava logiikka jatkaa sähkömoottorin ohjausta.	Avataan selain uudestaan ja muodostetaan selaimella yhteys ohjelmoitavaan logiikkaan.
Kenttäväyläyhteyden katkeaminen	PROFIBUS-kaapeli irti tai poikki	Taajuusmuuttajalle vikakoodi 45 "PROFIBUS COMM". Kenttäväylän liikenne keskeytyy ja sähkömoottorin ohjaus loppuu.	Liitetään PROFIBUS - kaapeli paikalleen, tai korvataan vaurioitunut kaapeli ehjällä. Nollataan vikakoodi DriveStudio 1.5 - ohjelmalla.
	Logiikan viransyötön keskeytyminen	Taajuusmuuttajalle vikakoodi 45 "PROFIBUS COMM". Kenttäväylän liikenne keskeytyy ja sähkömoottorin ohjaus loppuu.	Varmistetaan logiikan virransaanti. Nollataan vikakoodi DriveStudio 1.5 - ohjelmalla.
	Taajuusmuuttajan virransyötön keskeytyminen	Sähkömoottorin ohjaus keskeytyy.	Varmistetaan taajuusmuuttajan virransaanti ja käynnistetään taajuusmuuttaja uudelleen.
Taajuusmuuttajan vikakoodi	Käyttö aiheuttaa taajuusmuuttajassa jonkin vikatilan	Sähkömoottorin ohjaus keskeytyy.	Viasta riippuen nollataan vikakoodi käyttöliittymällä, tai tutkitaan vikaa tarkemmin DriveStudio 1.5 – ohjelmalla.

Taulukosta havaitaan, että sähkömoottorin etäohjaus keskeytyy ainoastaan, mikäli kenttäväyläyhteys katkeaa tai sähkömoottorin ohjaus aiheuttaa taajuusmuuttajassa jonkin virhetilan. Näille mahdollisia tilanteita on asennusympäristöstä tai tärinästä aiheutuva komponenttien väsyminen, jakeluverkon sähkökatko sekä kenttäväylän tai taajuusmuuttajan käytöstä aiheutuva vika, esimerkiksi ylikuumeneminen.

Myös etäohjauksen keskeytyessä vikaan löydetään suhteellisen helposti ratkaisu. Destruktiivisen testauksen perusteella voidaan sanoa, että järjestelmä on luotettava niin kauan kun sähkökatkoja ei ilmene, sekä järjestelmää huolletaan asennusympäristön edellyttämällä tavalla. Muutoksia testattuun järjestelmään ei tämän osion perusteella tehdä.

6. YHTEENVETO

Kandityössä löydettiin ratkaisu sähkömoottorin etäohjausjärjestelmän toteutukseen. Tämä toteutettiin standardin IEE 802.3 mukaista Ethernet-lähiverkkotekniikkaa ja automaatiotekniikkaa hyödyntäen. Järjestelmän oikea toiminnallisuus todennettiin testiajoilla, joiden mittaustulokset vastasivat hyväksyttävällä tarkkuudella osiossa 4.1 esitettyjen vaatimuksien pohjalta moottorille lähetettyjä nopeuden ohjearvoja. Tutkimus on onnistunut.

Jatkotyönä tulen tekemään kandityöni pohjalta Niskasen tarvitsemia lisäyksiä tähän muodostettuun järjestelmään. Niskasella on muodostunut esimerkiksi tarve tallentaa sähkömoottorin pyörimisnopeuden muutoskohdat aikaleimalla muistikortille, jotta jälkikäteen voidaan todentaa ajettu käyttöprofiili. Lisäksi sähkömoottorin pyörimisnopeutta halutaan muuttaa lämpötilasidonnaisesti.

LÄHTEET

(3S 2007) 3S Smart Software Solutions, CoDeSys Visualization, Supplement to the User manual for PLC Programming with CoDeSys 2.3. Document version 3.0, updated 17.12.2007. Viitattu 19.2.2013. Internet: http://www.wago.com/wagoweb/documentation/759/eng_manu/333/m07590333_00000000_2en.pdf

(ABB 2007) ABB, System Description, AC500 Sytem Technology. 08.2007. Julkaisun tunnus: 2CDC 125 022 M0201. Viitattu 6.3.2013. Internet: http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d72f2f6d2a7a4415c125739f002b032c/$file/2cdc125022m0202.pdf

(ABB 2010) ABB, Application Guide, Fieldbus Control with FPBA-01 PROFIBUS-DP Adapter Module and ABB AC500 PLC. 03.05.2010. Julkaisun tunnus 3AUA0000049359 Rev C EN. Viitattu 27.3.2013. Internet: http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/f53410a67cea6fb3c125771800456d8a/$file/EN_ACSM1_FB_Appl_Guide_C.pdf

(ABB 2011a) ABB, Technical guide no. 5, Bearing currents in modern AC drive systems. 27.4.2011. Julkaisun tunnus: 3AFE64230247 REV EN. Viitattu 27.3.2013. Internet: http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/8c253c2417ed0238c125788f003cca8e/$file/ABB_Technical_guide_No5_RevC.pdf

(ABB 2011b) ABB, User's manual, Profibus DP Adapter Module FPBA-01. 9.1.2009. Sivu 26–27. Julkaisun tunnus: 3AFE68573271 Rev E EN. Viitattu 27.3.2013. Internet: http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/280ac0b336e9da83c125790a00485e97/$file/EN_FPBA01_UM_E_screenres.pdf

(Tahvanainen 2012) Arto Tahvanainen. Kandidaatintyö: Vierasmagnetoidun tahtikoneen automaatiokonseptin testaus. LUT Energia, 2012. Viitattu 25.3.2013. Internet: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/77484/Externally%20excited%20synchronous%20machine%20Testing%20the%20automation%20concept.pdf?sequence=1

(VAE Prosys 2012) VAE Prosys s.r.o., Installing the Web Server/Gateway Server. Yrityksen internet-sivut. Viitattu 26.4.2013. Internet: http://www.vaeprosys.cz/dokumentace/ac500/English/CHM-Files/CAA-Merger-5/Webserver/Installing_the_Web_Server_Gateway_Server.htm

(VTT 2005) VTT, Helsinki University of Technology. Next generation of industrial automation. Otamedia Oy, Espoo 2005. ISBN951-38-6726-9. Viitattu 28.3.13. Internet: http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2303.pdf

(ABB) ABB, Control y Automatización, Baja Tensión. Control Builder PS501, Manual de prácticas para PLC´s AC500. Viitattu 26.4.2013. Internet: http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ABB/Software_de_programacion_de_PLC/IyCnet_Practicas_Control_Builder_PS501_v2.pdf

LIITTEET

LIITE 1	Käytetyt komponentit, laitteet ja ohjelmat.
LIITE 2	Muodostettu pääohjelma, funktio duty_cycle sekä käytetyt globaalit muuttujat.

Käytetyt komponentit, laitteet ja ohjelmat

- ABB:n AC500-demosalkku
    - CM572 (kenttäväylämoduuli)
    - PM573 (ohjelmoitava logiikka)
    - AX561 (analoginen I/O moduuli)
    - DC551 (väylämoduuli)
    - DC505 (FBP rajapinta)
    - CP-E 24/0.75 (virransyöttö)
    - ABB MC502 B1 muistikortti (SD, 512 MB)

Kuva 1 ABB-demosalkku

- NETGEAR kytkin + muuntaja

Kuva 2 NETGEAR kytkin

- ABB:n ACSM1 – demosalkku
  - Master (järjestelmässä käytetty)
    - ACSM1-taajuusmuttaja
    - ABB QAL58M4B 230V 50 Hz 1330 $\frac{1}{min}$ 0.1 kW sähkömoottori
    - Sick-Stegmann DGS66 pulssianturi pyörimisnopeuden mittaamiseen
  - Follower
    - ACSM1-taajuusmuuttaja
    - ABB 9C1.1.30 208V 250 Hz 3000 $\frac{1}{min}$ 0.41 kW sähkömoottori
    - Heidenhain EQN 1325 pulssianturi pyörimisnopeuden mittaamiseen

Kuva 3 ABB:n ACSM1 – demosalkku

- Käyttöasema (tietokone)
- FPBA-01 – kenttäväyläkortti taajuusmuuttajalle
- ABB Configurator – ohjelma
- CoDeSys v 2.3 – ohjelma
- 2 kpl parikaapeleita (RJ 45)
- ABB RS OPCA-02 - ohjelmointikaapeli
- Ohjelmointikaapeli USB/COM (USB-kaapeli ja siihen liitettynä Edgeport/1 USB/serial - adapteri, tuotetunnus P/N 50000823-01)
- PROFIBUS – kaapeli liittimineen

Muodostettu pääohjelma PLC_PRG, funktio duty_cycle sekä käytetyt globaalit muuttujat.

Käytetyt globaalit muuttujat

```
VAR_GLOBAL
    paivat_dc:              DINT :=         0;
    tunnit_dc:              DINT :=         0;
    minuutit_dc:            DINT :=         0;
    sekunnit_dc:            DINT :=         30;
    paivat_on:              DINT :=         0;
    tunnit_on:              DINT :=         0;
    minuutit_on:            DINT :=         0;
    sekunnit_on:            DINT :=         15;
    DutyCycle:              TIME;
    on_tila_aika:           TIME;
    ON_OFF:                 BOOL :=         TRUE;
    on_tila:                INT :=          100;
    off_tila:               INT :=          20;
    duty_cycle_lopussa :    BOOL;
    kaynnista_laskurit:     BOOL;
    REF_rpm:                INT;
END_VAR
```

Pääohjelma PLC_PRG

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
END_VAR

DutyCycle       := (DINT_TO_TIME(paivat_dc*86400000 + tunnit_dc*3600000 + minuutit_dc*60000
                + sekunnit_dc*1000);
on_tila_aika    := (DINT_TO_TIME(paivat_on*86400000 + tunnit_on*3600000 +
                minuutit_on*60000 + sekunnit_ on *1000);

(*DutyCycle:lle ja on_tila_aika:lle lasketaan WEB-käyttöliittymän mukaisten syötteiden arvot
päivien, tuntien, minuuttien ja sekuntien avulla. Kertoimet mukana, koska PLC:n yksikkö on
millisekunti [ms].*)

IF ON_OFF = FALSE
THEN
    kaynnista_laskurit := FALSE;
    CW                 := 1150;          (*Asetetaan kenttäväylän taajuusmuuttajalle
                                         meneväksi control word:ksi arvo 1150, joka
                                         sammuttaa taajuusmuuttajan. CW:n määritys
                                         kuvassa 3.4. *)
    duty_cycle();                        (*Ajetaan funktio duty_cycle())
    REF                := 0;
    REF_rpm            := 0;
END_IF

IF ON_OFF = TRUE
THEN
    CW                 := 1151;          (*Asetetaan kenttäväylän taajuusmuuttajalle
                                         meneväksi control word:ksi arvo 1151, joka
    IF duty_cycle_lopussa     = FALSE    käynnistää taajuusmuuttajan. *)
      duty_cycle();                      (*Ajetaan funktio duty_cycle(). Mikäli muuttuja
    END_IF                               duty_cycle_lopussa on TRUE eli funktion laskurit on
                                         laskeneet loppuun asti, ajetaan funktio kerran toi-
    IF duty_cycle_lopussa     = TRUE     mettomana lävitse, että saadaan laskurit nollattua *)
    THEN
      kaynnista_laskurit      := FALSE;
      duty_cycle_lopussa      := FALSE;
    END_IF
END_IF
```

Funktio duty_cycle

```
PROGRAM duty_cycle
VAR
    on_tila_laskuri:        TIME;
    TON_duty_cycle:         TON;
    TON_on_tila:            TON;
    DC_laskuri:             TIME;
END_VAR

TON_duty_cycle(IN:=kaynnista_laskurit, PT:=DutyCycle);     (*Duty Cycle-ajastimen käynnistys*)
duty_cycle_lopussa    := TON_duty_cycle.Q;
DC_laskuri            := TON_duty_cycle.ET;

TON_on_tila(IN:=kaynnista_laskurit,PT:=on_tila_aika);      (*ON-tilan ajastimen käynnistys*)
on_tila_laskuri       := TON_on_tila.ET;

IF TON_on_tila.Q = FALSE
THEN
    REF_rpm  := on_tila;
    REF      := INT_TO_WORD(LREAL_TO_INT(13.3333*REF_rpm));
             (*Tässä skaalataan ja muutetaan rpm-arvo kenttäväylälle sopivaksi*)
END_IF

IF TON_on_tila.Q = TRUE AND TON_duty_cycle.Q = FALSE
THEN                                (*Ohjelma ajaa tämän IF-lauseen mikäli ajastin TON_on_tila
                                    on laskenut ajan loppuun *)
    REF_rpm  := off_tila;
    REF      := INT_TO_WORD(LREAL_TO_INT(13.3333*REF_rpm));
             (*Tässä skaalataan ja muutetaan rpm-arvo kenttäväylälle sopivaksi*)
END_IF

IF kaynnista_laskuri    = FALSE     (*Tilanne, jossa ajettiin funktio kerran toimettomana lävitse*)
THEN
    kaynnista_laskurit := TRUE;     (* Kun ohjelma ajetaan kerran toimettomana ja nollataan
END_IF                              laskurit, täytyy muuttujalle kaynnista_laskurit asettaa arvo
                                    TRUE, jotta seuraavalla syklillä laskurit käynnistyvät *)
```