



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jarno Salmi

PDUpro ÄLYKÄS
TEHONJAKELUYKSIKKÖ

Tekniikka ja liikenne
2012

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty keväällä 2012 Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikan ja liikenteen yksikön sähkötekniikan koulutusohjelman mukaisesti ABB Pienjännitejärjestelmät liiketoimintayksikköön.

Opinnäytetyön valvojina toimivat Tekniikka ja liikenteen yksiköstä lehtori Juha Nieminen sekä ABB pienjännitejärjestelmiltä myyntipäällikkö Ari Rosing.

Kiitän kaikkia opinnäytetyössäni auttaneita henkilöitä. Erityisesti haluan kiittää lehtori Juha Niemistä, myyntipäällikkö Ari Rosingia ja aluemyyntipäällikkö Tepo Lepistöä insinöörityöni valvomisesta sekä tärkeän ja tarpeellisen avun annosta.

Vaasassa 6.4.2012

Jarno Salmi

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jarno Salmi
Opinnäytetyön nimi	PDUpro Älykäs tehonjakeluyksikkö
Vuosi	2012
Kieli	suomi
Sivumäärä	59 + 9 liitettä
Ohjaaja	Juha Nieminen

Työn lähtökohtana toimi ABB pienjännitejärjestelmien tuotekehitysprojekti, jonka tarkoituksena oli päivittää automaatioyksikkö, jolla mitattiin PDUn syöttämää energiaa. PDUpro sähköjakelukeskus soveltuu kohteisiin, kuten tietokonesaleihin, tietokeskuksiin, sairaaloihin ja raha- ja finanssilaitoksiin, joissa sähkönjakelu on kriittistä. Koska tietokonesaleissa kulkevan ja tallennettavan tiedon määrä on kasvanut, on kohteiden energian kulutus myös noussut. Tästä johtuen markkinoille on syntynyt tarve tuotteelle, jolla voidaan hyvin yksityiskohtaisesti mitata jakelukeskuksen siirtämää energiaa. Täten mahdollistetaan myös kulutushuippujen sekä prosessien pullonkaulojen löytyminen. PDUn tärkeimpiä ominaisuuksia ovat toimintavarmuus, vähäinen huollon tarve sekä henkilöturvallisuus.

Työssä tutustuttiin kojeistoon, ABB AC500-sarjaan, Beckhoffin tarjoamiin tuotteisiin, ST ohjelmointiin sekä EtherCAT-tiedonsiirto-protokollaan. Aluksi määriteltiin, mitä vanhalla mittausyksiköllä voitiin tarjota asiakkaalle jonka jälkeen PDUpro keskus joka oli lähdössä Jyväskylään sähkö-, tele-, valo- ja AV- messuille toteutettiin Beckhoffin tarjoamalla automaatioyksiköllä. Uudella yksiköllä pystyttiin tarjoamaan asiakkaalle huomattavasti laajempi tiedonsiirtovalikoima sekä enemmän informaatiota energiaa kuluttavasta prosessista. Tämän jälkeen tutkittiin vaihtoehtoratkaisuja, joilla voitaisiin toteuttaa mahdolliset tuotevariaatiot. Laitteistolle kehitettiin testiohjelma, jolla sen toiminta voitiin varmistaa ja luotiin ohjeistus tuotannolle.

Työn tuloksena PDUprolla voidaan tarjota asiakkaalle enemmän tietoa prosessista laajemmalla tiedonsiirtovalikoimalla. Uudella mittayksiköllä varustettua PDUprota tullaan tarjoamaan asiakkaille. Tuotekehitystyötä tullaan jatkamaan Beckhoffin julkaistessa uusia tuotteita markkinoille.

ABSTRACT

Author	Jarno Salmi
Title	PDUpro Intelligent Power Distribution Unit
Year	2012
Language	Finnish
Pages	59 + 9 Appendices
Name of Supervisor	Juha Nieminen

The thesis was made as a research and development project for ABB Low Voltage Systems and the objective of the project was to update an automation unit used for measuring the performance of the PDU. The PDUpros are used in applications where electricity distribution is critical such as data centers, server rooms in hospitals and leading financial institutions. Because of the growth in data stored and processed in server rooms and data centers also the amount of power consumed has increased. As a result of this there is a need on the market for a product which can measure the distributed power in high detail to spot process bottlenecks. ABB PDUpro offers benefits for the user such as state-of-the-art personal safety, top operational reliability and a minimum need for maintenance

In the project research was done in ABB AC500 series, Beckhoff Embedded PC:s, ST programming and EtherCAT communication. The first task was to define what could be offered to the customer with the current measuring unit. After that a prototype with a new measuring unit from Beckhoff was made for the technology trade fair in Jyväskylä. The new measuring unit was able to provide the user with more information from the process with a wider range of communication possibilities. Finally a testing program and a guideline for production where made.

The result of the thesis is that the PDUpro can now provide the user with more detailed information about the process with a wider range of communication possibilities. The PDUpro is now offered to customers with the new measuring unit. Further research will be done to develop the PDUpro when Beckhoff releases new products to the market

LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boweri
ABS	Absolute value, itseisarvo
AC	Alternating Current, vaihtovirta
AI	Analog Input, analoginen tulo
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AV	Audiovisual
CPU	Central Processing Unit, keskusyksikkö
DC	Directional Current, tasavirta
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DI	Digital Input, digitalinen tulo
DIN	Deutsches Institut für Normung
DVI	Digital Visual Interface
EUR	Euro
FBD	Function Block Diagram
FMMU	Fieldbus Memory Management Unit
HW	Hardware, laitteisto
IEC	International Electrotechnical Commission
INT	Integer
IP	Internet protokolla
I/O	Input Output, tulot lähdöt
PC	Personal Computer
PDU	Power Distribution Unit, sähkönjakeluyksikkö
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
RMS	Root Mean Square, tehollisarvo
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
ST	Structured Text
UPS	Uninterruptible Power Supply, katkeamaton sähkösyöttö
USB	Universal Serial Bus, sarjaväylä
USD	United States Dollar, Amerikan dollari
VAR	Variable, muuttuja

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO.....	8
1 JOHDANTO.....	10
2 MNS PDU	12
3 AC500.....	14
3.1 Keskusyksikkö	14
3.2 I/O pääteyksiköt TU515/TU516	16
3.3 Digitaalinen tulomoduuli DI524	17
3.4 Analoginen tulomoduuli AI523	18
4 PDU BECKHOFFIN KOKOONPANOLLA	20
4.1 CX5010.....	20
4.2 EL3403 3-vaiheinen tehonmittauskortti	21
4.3 EL1809 16 kanavoinen digitaalinen tulokortti	23
4.4 EL9400 virranjakoyksikkö.....	24
4.5 EtherCat-kenttäväylä.....	25
4.6 Beckhoff laitteiston käyttöönotto.....	25
4.7 CX5010 ohjelmointi.....	28
4.7.1 EL3403 toimilohko	30
4.8 Yhteenveto lopputuloksesta Beckhoffin kokoonpanolla	33
5 KEHITYSMAHDOLLISUUDET BECKHOFFIN LAITTEISTOLLA	34
5.1 CX9000 ja CX9010 keskusyksiköt.....	34
5.2 CX9020 keskusyksikkö	35
5.3 CX8000 keskusyksikkö	36
5.4 I/O kortit.....	37
5.5 Yhteenveto kehitysmahdollisuuksista.....	39
6 LAITTEISTON TESTAUS	41
6.1 Näyttelykojeiston testaus	41
6.2 Asiakkaalle menevän laitteiston testausohjelma.....	42
7 OHJEISTUS TUOTANTOA VARTEN	45

7.1	Verkkoasetusten tarkastaminen	45
7.2	Ohjelman lataaminen keskusyksikköön.....	46
8	PDULLE TEHTY SCADA SOVELLUS.....	50
9	YLLÄPITO JA TUOTEPÄIVITYKSET	52
10	VIKADIAGNOSTIIKKA	53
10.1	Keskusyksikön viat	53
10.2	EL3403 tehonmittauskortti	54
10.3	EL1809 digitaalinen tulokortti.....	55
10.4	EL9400.....	56
11	YHTEENVETO	57
	LÄHDELUETTELO.....	58
	LIITTEET	

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. AC500 PM564 /3/	16
Kuva 2. Pääteyksikkö TU515/516 /3/	17
Kuva 3. Digitaalinen tulomoduuli DI524 /3/	18
Kuva 4. Analoginen tulomoduuli AI523 /3/	19
Kuva 5. CX5010 keskusyksikkö ja sen kytkentäkuva /5/	21
Kuva 6. Kortin mittaama jännite sekä virta /6/	22
Kuva 7. Tehokolmio sekä EL3403 /6/	23
Kuva 8. EL1809 digitaalinen tulokortti /7/	24
Kuva 9. EL9400 virranjakoyksikkö /8/	25
Kuva 10. CX5010 testauksessa	28
Kuva 11. Käyrät scope view-ohjelmassa.....	30
Kuva 12. EL3403 toimilohko sekä sen ST-ohjelmointi	31
Kuva 13. Arvojen skaalaus ja tuonti rajapinnalle.....	32
Kuva 14. Indeksien arvojen lukeminen.....	33
Kuva 15. CX9010 keskusyksikkö /10/	35
Kuva 16. CX9020 keskusyksikkö /11/	36
Kuva 17. CX8010 keskusyksikkö EtherCAT-tiedonsiirrolla /13/.....	37
Kuva 18. Mittakortti EL3773 /15/ ja analogiatulokortti EL3058 /14/.....	39
Kuva 19. Verkkoasetusten tarkastaminen	46
Kuva 20. Keskusyksikön etsiminen	47
Kuva 21. Ohjelman aktivoiminen	48
Kuva 22. PLC control kirjautuminen	49
Kuva 23. PDUpron SCADA sovelluksen etusivu	51
Kuva 24. CX5010 keskusyksikön indikointiledit /4/	54
Kuva 25. EL3403 indikaatioledit /6/	55
Kuva 26. EL1809 indikaatioledit /7/	55
Kuva 27. EL9400 indikaatioledit /8/	56
Taulukko 1. EL3403 indeksit /6/	29

LIITELUETTELO

LIITE 1. PDU:n kytkentäperiaate

LIITE 2. AI523 kytkentäkuva

LIITE 3. DI524 kytkentäkuva

LIITE 4. EL3403 kytkentäkuva

LIITE 5. EL1809 kytkentäkuva

LIITE 6. EL9400 kytkentäkuva

LIITE 7. CX5010 messukeskuksen kokoonpano

LIITE 8. Yhteenveto Beckhoffin keskusyksiköistä

LIITE 9. Vähemmän tietoa tarjoava versio CX5010 keskusyksiköllä

1 JOHDANTO

ABB muodostui tammikuussa 1988 kun ruotsalainen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin sähköiset liiketoiminnot yhdistettiin 50–50 omistusperiaatteella. Nykyään ABB on johtava sähkö- ja automaatioteknologian yhtymä joka toimii yli 100 maassa. Yrityksen kasvu perustuu teknologiseen voimaan, osaamiseen ja vahvoihin juuriin. Juuria Suomessa edustaa Strömberg joka on perustettu vuonna 1889. Gottfrid Strömberg perusti 4 miehen konepajan jonka tavoitteena oli valmistaa parempia tasavirtadynamoita ja sähkövalaistuslaitoksia kuin sen aikaiset kilpailijat. Strömberg nousi ajan kuluessa Suomen merkittävämpien teollisuusyritysten joukkoon, ja sen historia jatkuu ABB:n useassa eri yksikössä.

Nykyään ABB koostuu 5:stä eri yksiköstä: Sähkövoimatuotteet, Sähkön voimajärjestelmät, Sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio, Pienjännitetuotteet ja Prosessiautomaatio. ABB:n tuotteet parantavat teollisuus- ja energiayhtiöasiakkaiden kilpailukykyä ympäristömyönteisesti. ABB:n palveluksessa on yli 124 000 henkilöä, yli 100 maassa. Vuonna 2010 koko ABB:n liikevaihto oli 31,589 MUSD. Suomessa ABB:n liikevaihto oli 2,174 MEUR ja palkattuna yli 6800 henkilöä.

ABB Pienjännitetuotteet valmistaa pienjännitteisiä ohjaus- ja valvontakojeita kytimiä, katkaisijoita, asennustarvikkeita sekä kotelo- ja kaapelijärjestelmiä, joiden tarkoituksena on suojata ihmistä ja laitteistoa ylikuormitukselta. Pienjännitetuotteet valmistavat myös KNX-järjestelmiä, joiden avulla voidaan yhdistää sähköiset toiminnot kuten valaistus, ilmastointi ja valvonta yhtenäiseksi älykkääksi verkoksi. Kyseisessä työssä on päivitetty automaatio yksikkö, jolla mitataan konesaleissa käytettävien älykkäiden jakelukeskusten tehonsyöttöä. Koska konesaleissa kuluu nykypäivänä yhä enemmän energiaa, on esille noussut tarve mitata kuluva energia, jotta olisi mahdollista havaita kohtia, joissa voitaisiin saada aikaiseksi säästöjä. /1/

Työssä tutustutaan aluksi MNS PDUpro:hon ja käydään läpi sen ominaisuuksia sekä rakennetta. Tämän jälkeen tutkitaan ABB:n AC500-sarjaa, jolla on toteutettu

nykyinen mittaukset suorittava automatiikka. Seuraavaksi työssä esitellään Beckhoffin tuotteilla tehty kokoonpano, joka asennettiin näyttelyitä varten tehtyyn messukeskukseen. Osiossa tutkitaan laitteiston teknisiä ominaisuuksia, esitellään laitteiston ohjelmointi sekä testaus. Tämän jälkeen työssä esitellään tutkimus, jossa etsittiin vaihtoehtoisia keskusyksiköitä sekä I/O moduuleita Beckhoffin tuotevalikoimasta, joita voitaisiin käyttää PDUssa. Tutkimuksen jälkeen seuraa yhteenveto löydetyistä variaatiomahdollisuuksista. Yhteenvedon jälkeen työssä esitellään tuotannolle tehty ohjeistus koskien mittausohjelman asennusta Beckhoffin keskusyksikköön sekä ohjeistus mittayksikön testauksesta. Lopuksi työssä on laadittu vikadiagnostiikka osuus Beckhoffin tuotteilla tehtyä mittausyksikköä varten.

2 MNS PDU

PDUpro on älykäs tehonjakoyksikkö, joka on helposti, nopeasti ja turvallisesti päivitettävissä asiakkaan muuttuvien tarpeiden mukaan. Tuotteen käyttökohteita ovat konesalit, joista syötetään esim. serverikeskuksia, sairaalataloja ja johtavia finanssialan tiloja. Näissä kohteissa sähkönsaanti ja sen luotettavuus on hyvin tärkeä ja tahattomia katkoksia ei saa tapahtua. Tämän takia sähkönjakelu on kyseisissä kohteissa aina varmennettu toisella jakoyksiköllä. PDUpro tarjoaa asiakkaalle huippuluokan henkilöturvallisuutta sekä joustavaa ratkaisua, jolla on pieni ylläpidon tarve. Reaaliaikainen tehonmittaus mahdollistaa järjestelmän monitoroinnin, jolloin päivitystarpeet sekä prosessien pullonkaulat ovat helpommin löydettävissä. Järjestelmä on täysin integroitavissa suurimpaan osaan energianhallintajärjestelmiä tai rakennushallintajärjestelmiä. PDU on helposti laajennettavissa asiakkaan tarpeiden mukaan, mikä helpottaa tulevien investointien suunnittelua sekä pitkän aikavälin omaisuudenhoitoa.

Yksikkö toimii siten, että sähkö tuodaan kaapissa pystyssä oleville pääkiskoille, joiden nimellisvirta on 630 – 800 A. Pystykiskoilta se jaetaan 4 kolmivaiheiselle minikiskolle, joita kutsutaan myös minibareiksi. Minikiskojen nimellisvirta on 160 A, jos virta syötetään kiskon päistä ja 200 A jos syöttö on keskellä kiskoa. Minikiskoille asennettavat ryhmät koostuvat moduuleista. Kaikilla PDU:n minikiskoilla on tilaa 20 moduulille. Yhteensä PDU keskukseseen on asennettavissa 80 kpl moduuleja 4 rivissä. Kolmivaiheinen lähtöryhmä koostuu 3 moduulista, keskuksessa voidaan myös käyttää yksivaiheisia lähtöjä, jotka ovat 1 moduulin kokoisia. Apu- ja hälytinkosketin tarvitsevat molemmat $\frac{1}{2}$ moduulia, joten yhdessä ne vievät 1 moduulin tilan. PDU:n suurena etuna on, että yhden lähdön johdonsuoja voidaan turvallisesti ja nopeasti vaihtaa tarpeen mukaan suurempaan ilman, että keskuksen muilta ryhmiltä joudutaan katkaisemaan sähköjä. Johdonsuojilta saadaan sekä apukosketintieto että hälytystieto logiikalle. Jokaisen lähdön kaikki vaiheet on johdotettu mittamuuntajien kautta ulosviennelle. Mittamuuntajilla mitausarvo muutetaan 4 – 20 mA viestiksi logiikan analogiatulokorteille. Asiakas on

voinut lukea rajapinnalta keskukselta vaihekohtaisesti kulkevan virran, tehon sekä lähtökohtaiset hälytin- ja apukosketintiedot. /2/

Koska PDUssa logiikalle varattu tila on hyvin rajattu ja asiakkaat haluavat enemmän tietoa prosesseista joita PDUt syöttävät. Vaihtoehtoisia ratkaisuja mittauslaitteiston toteutukselle on haettu ABB:n oman tuotevalikoiman ulkopuolelta. Automaatioyksikölle varattu tila PDUssa on 550 mm leveä ja 275 mm korkea. Komponentit tarvitsevat myös vapaata tilaa ympärillään, jotta niiden jäähdytys toimisi ja johdottaminen olisi mahdollista tehdä siististi. Tärkeimmät ominaisuudet, joita automaatioyksiköltä haetaan, ovat: kompakti koko, päivitysten helppous, laaja valikoima tiedonsiirtovaihtoehtoja sekä luotettavuus. /2/

3 AC500

PDUpron logiikka on tähän asti toteutettu ABB:n AC500-sarjalla. Kokoonpanoon on kuulunut virtalähde, keskusyksikkö, 4 analogista tulokomponenttia sekä digitaalinen tulokomponentti. Koska PDU keskuksessa logiikalle varattu tila on hyvin rajallinen ja AC 500-sarjan laitteisto on melko kookas, ei kyseisellä laitteistolla ole voitu tarjota käyttäjälle enempää tietoa prosessista. Logiikan suhteen asiakas on ainoastaan määritellyt, millä tiedonsiirrolla (profiubs, ethernet) hän on laitteiston halunnut. Tämän jälkeen logiikan kokoonpano on räätälöity keskukselle sopivaksi. AC500-sarjalle on annettu suositukseksi, että logiikkakokoonpanon ympärille jätettäisiin 20 mm vapaata tilaa, jotta jäähdytys toteutuisi tarpeeksi hyvin. Näin myös minimoidaan mahdolliset sähkömagneettiset häiriöt, joita voi ilmaantua, jos lähistöllä on kaapeleita, joissa kulkee enemmän virtaa. /3/

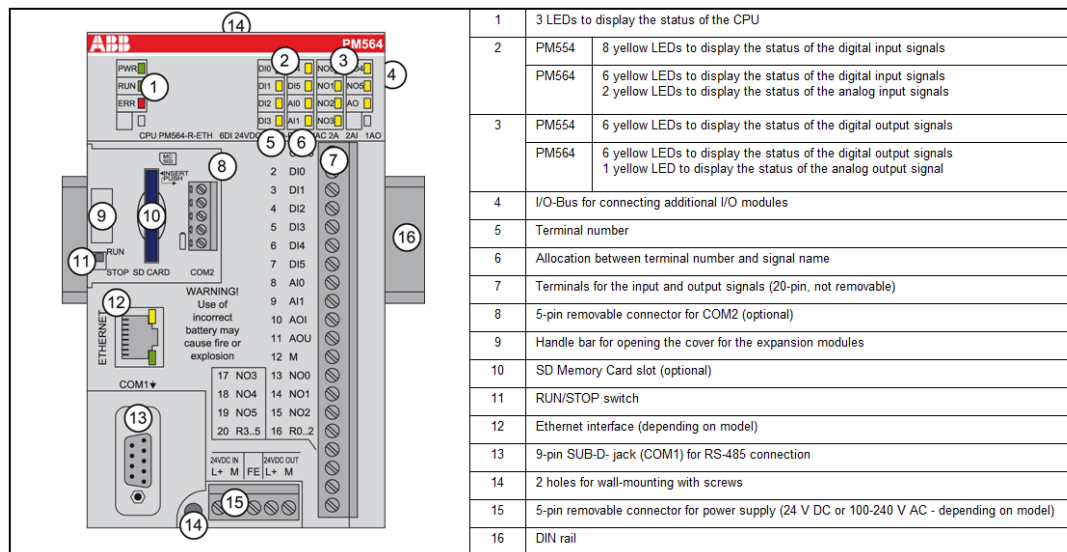
3.1 Keskusyksikkö

Keskusyksikkönä PDUssa on käytetty joko TU505, joka kuuluu AC S500 hajautettuun I/O järjestelmään tai AC 500 PM554. Molemmat keskusyksiköt ovat DIN kiskolle asennettavia yksiköitä. TU505 on pääteyksikkö, jossa on 8 ruuviliitäntäistä digitaalista sisääntulokanavaa, joka on liitetty DC505 liitäntäyksikköön. Liitäntäyksikön kannessa on säätimet, joilla määritetään keskuksen osoite välille 0-99. Liitäntäyksikössä on myös led taulu, josta voidaan lukea I/O-kanavien tilat sekä vikakoodit. TU505 on 67,5 mm leveä, 135 mm korkea, 30 mm syvä ja painaa 200 g. PM554 on perus keskusyksikkö, jossa on 128 KB keskusmuisti. Keskusyksikössä on 8 digitaalista tulokanavaa sekä 6 digitaalista lähtökanavaa. Tulojen ja lähtöjen määrä on laajennettavissa maksimissaan 7-10 I/O yksiköllä riippuen ohjelmiston versiosta. PM554:ssa on aina RS-485 liitäntä, mutta keskusyksikköä on myös saatavilla Ethernet-liitännällä. Lisäksi kaikki AC 500 keskusyksikkö tyypit on laajennettavissa toisella RS-485 liittimellä sekä SD muistikortinlukijalla. Keskusyksikkö tarvitsee 24 V DC virtalähteen, josta se kuluttaa 180 – 210 mA riippuen yksikön mallista. Järjestelmään, jonka keskusyksikkönä toimii PM554, voidaan maksimissaan liittää 232 digitaalista tuloa, 174 digitaalista lähtöä ja 112 analogista tulo sekä lähtöä. PM554 on 82 mm leveä, 135 mm korkea ja 75 mm syvä ja pai-

naa 300 g. Näin ollen PM554 on hieman TU505:ta kooltaan suurempi. Molempia keskusyksiköitä voidaan ohjelmoida seuraavilla kielillä:

- Instruction List (IL)
- Function Block Diagram (FBD)
- Ladder Diagram (LD)
- Sequential Function Chart (SFC)
- Structured Text (ST)
- Continuous Function Chart (CFC)

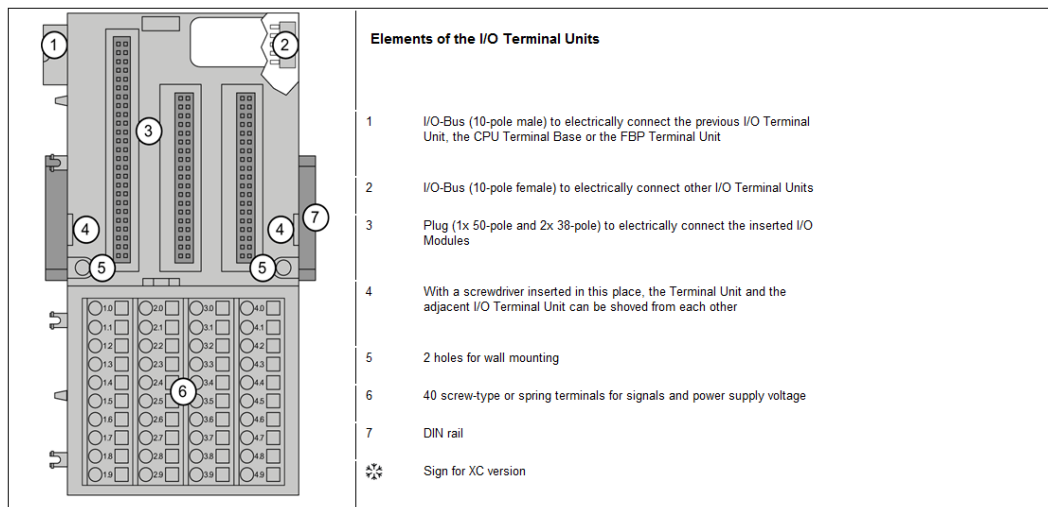
COM1 porttia voidaan käyttää ohjelmointiin, ASCII-kommunikointiin sekä Modbus master tai slavena. Liittimeen voidaan maksimissaan liittää 50 m pitkä kaapeli. Jos halutaan käyttää jotakin muuta tiedonsiirtokieltä, on logiikkaan lisättävä ylimääräinen tiedonsiirtomoduuli. PM564 keskusyksikkö kuvassa 1. /3/



Kuva 1. AC500 PM564 /3/

3.2 I/O pääteyksiköt TU515/TU516

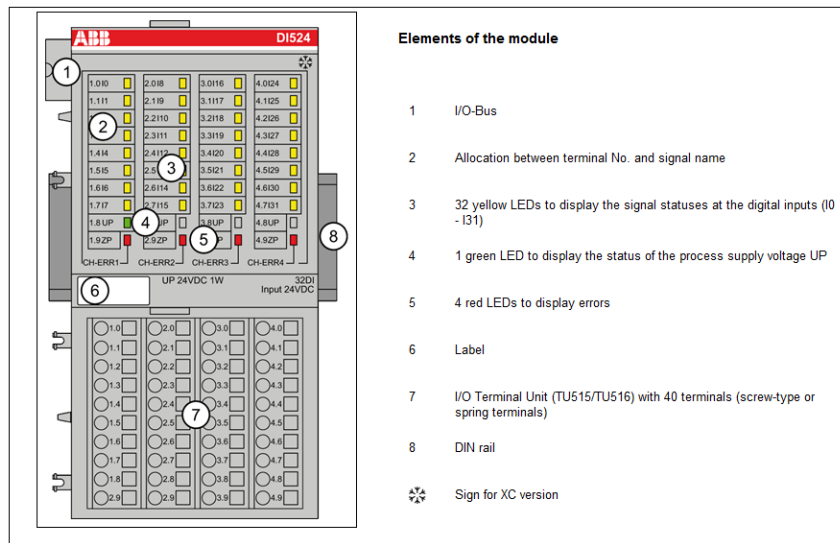
PDUprou keskuksessa on käytetty analogisille sekä digitaalisille tulokorteille ABB:n TU515 pääteyksikköä. TU515 ja TU516 eroavat toisistaan ainoastaan kanavien liittimillä. TU516 liittimissä on jousimekanismi johdon kiinnitystä varten, kun TU515:ssä on ruuviliittimet. Molemmissa moduuleissa on tilaa 32 digitaaliselle kanavalle, tai 16 analogiselle kanavalle. Yksikkö on 67,5 mm leveä, 135 mm korkea, 30 mm syvä ja painaa ilman liitäntämoduulia 200 g. TU515 pääteyksikkö kuvassa 2. /3/



Kuva 2. Pääteyksikkö TU515/516 /3/

3.3 Digitaalinen tulomoduuli DI524

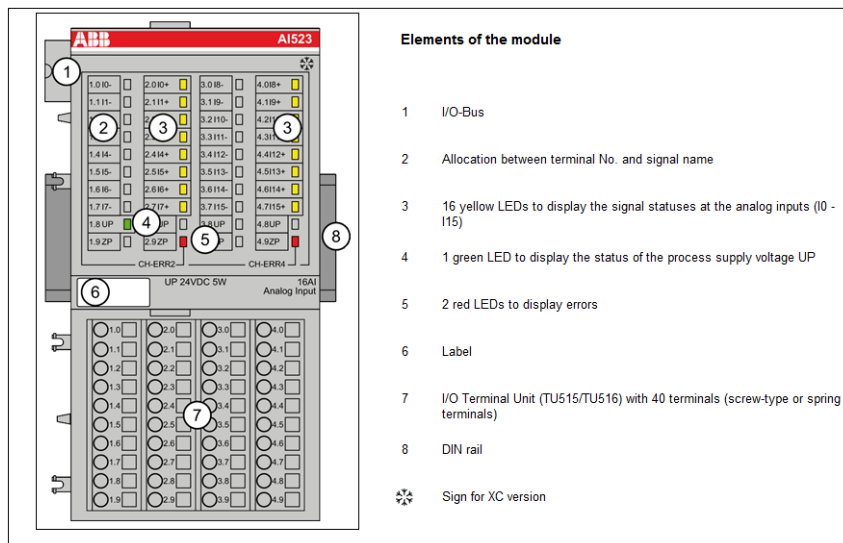
ABB DI524 on digitaalinen tulomoduuli, joka on yhteensopiva PM554 keskusyksikön sekä FBP liitäntämoduulin, kuten DC505 kanssa. Tulomoduulissa on 32 kappaletta 24 V DC tuloa, jotka on jaettu neljään ryhmään (0.0...4.7). Kaikki tulot on sähköisesti eristetty moduulin muusta sähköisestä rakenteesta. Tulojen tilat on indikoitu oransseilla ledeillä. DI524 myös liitäntä moduuli kuten DC505 ja tarvitsee myös pääteyksikön jonka päälle tämä asennetaan. PDUpro keskuksessa on käytetty analogisille sekä digitaalisille tulokorteille ABB:n TU515 pääteyksikköä. Apu- ja hälytinkosketintietojen kytkentä digitaaliselle tulokortille on esitetty liitteessä 3. DI524 digitaalinen tulomoduuli esitetty kuvassa 3. /3/



Kuva 3. Digitaalinen tulomoduuli DI524 /3/

3.4 Analoginen tulomoduuli AI523

ABB AI523 on analoginen tulomoduuli jossa on 16 kanavaa. Kanavat ovat konfiguroitava erikseen sovellusohjelmassa, ja ne on jaettu 2 ryhmään (1.0...2.7 ja 3.0...4.7). Kanavien näytteenottoresoluutio on 12 bittiä ja lämpötilaa mitattaessa 0,1 °C. AI523 myös liitääntä moduuli kuten DC505 ja tarvitsee TU515 tai TU516 pääteyksikön jonka päälle tämä asennetaan. Tulokanavat voidaan konfiguroida vastaanottamaan jänniteviestiä tai mA-viestiä. Moduuliin voidaan myös liittää kaksi- tai kolmijohdin Pt100- tai Pt1000-antureita. Moduuliin liitettävien laitteiden kaapeleiden maksimi pituus on noin 100 m ja moduuli kuluttaa virtaa noin 150 mA. KytKentäkuva virtamuuntajilta analogiselle tulokortille on esitetty liitteessä 2, analoginen tulomoduuli AI523 esitetty kuvassa 4. /3/



Kuva 4. Analoginen tulomoduuli AI523 /3/

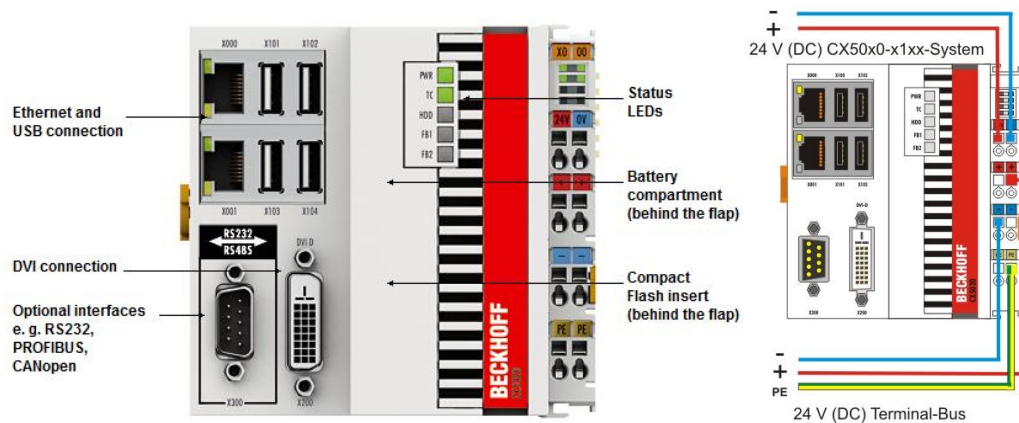
4 PDU BECKHOFFIN KOKOONPANOLLA

Koska logiikalle varattu tila on hyvin keskeisessä roolissa PDU-keskuksessa, on ratkaisuja etsitty myös ABB:n oman tuotevalikoiman ulkopuolelta. Beckhoff pystyy tarjoamaan kompaktin ja tehokkaan ratkaisun, jolla lisäksi voidaan antaa enemmän informaatiota loppukäyttäjän sähkönkulutuksesta ja tällä tavoin nostaa tuotteen arvoa. Tampereella 1 – 3.2.2012 pidetyille sähkö-, tele-, valo- ja AV-messuille päätettiin esiteltäväksi vietävän PDUpron mittaukset toteuttaa Beckhoffin tuotteilla, kojeistossa käytettiin liitteessä 7 esitettyä kokoonpanoa.

4.1 CX5010

Beckhoffin CX5000-sarjan tuotteet ovat DIN-kiskolle asennettavia sulautettuja PC järjestelmiä ilman tuuletinta. Järjestelmä on kooltaan hyvin kompakti ja laajennettavissa erilaisilla I/O- ja mittakorteilla. Järjestelmä tarjoaa laajan valikoiman erilaisia tiedonsiirtovaihtoehtoja kuten Ethernet, EtherCAT, PROFIBUS, CANopen ja DeviceNet. Keskusyksikön DVI-porttiin voidaan myös liittää paikallisnäyttö. Siinä on myös 4 USB porttia, joihin voidaan liittää lisä muistia tai esim. näppäimistö sekä hiiri. Prosessorina CX5000-sarjassa on joko Intel® Atom™ Z510 joka toimii 1,1 GHz:n kellotaajuudella, tai Intel® Atom™ Z530 joka toimii 1,6 GHz:n kellotaajuudella. CX5000-sarjassa on keskusmuistia 512 MB, ja järjestelmä toimii Microsoft Windows CE tai Microsoft Windows Embedded Standard käyttöjärjestelmällä. Ohjelmointia ja tallennettavia tietoja varten oleva muisti on laajennettavissa muistikortilla. Ohjausohjelmanäyttöjärjestelmässä käytetään TwinCat PLC runtimea. Ohjausohjelman avulla CX5000 järjestelmä voidaan jakaa 4 virtuaaliseen PLC yksikköön jotka kukin suorittavat toisistaan riippumatonta ja erillistä prosessia, niiden vähimmäiskiertoaika on 50 mikrosekuntia. Yhdessä TwinCat-ohjelmiston kanssa CX5000 tarjoaa lähes samat mahdollisuudet kuin suuri teollisuus PC. CX5000-sarjassa on sisäänrakennettu 1 sekunnin kapasitiivinen UPS-järjestelmä. Tämä mahdollistaa sähkökatkoksen tullessa viimeisten tietojen tallennuksen sekä sammuttaa järjestelmän turvallisesti hätäseis toiminnolla. Keskusyksikkö on 100 mm korkea, 106 mm leveä, 92 mm syvä ja painaa 575 g. CX5000 sarjan keskusyksikköön kuuluu mukaan myös virtalähdekortti. Virtakor-

tille on tuotava 24 V DC jännite, josta keskusyksikkö ottaa tarvitsemansa virran. Virtalähdekortilla voidaan myös syöttää järjestelmään liitettäviä mitta- ja tulokortteja. Kortista saadaan virtaa 2 A. CX5010 keskusyksikkö ja sen jännitesyötön kytkentäkuva kuvassa 5. /4/

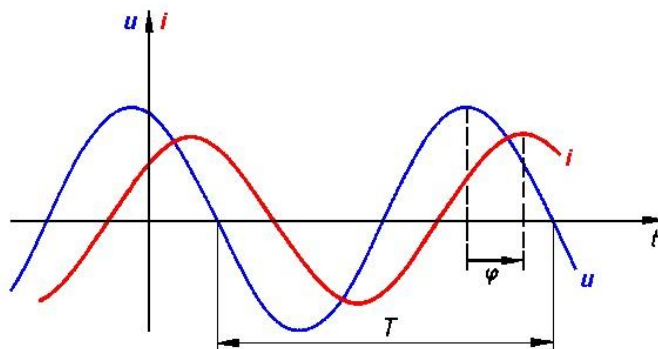


Kuva 5. CX5010 keskusyksikkö ja sen kytkentäkuva /5/

4.2 EL3403 3-vaiheinen tehonmittauskortti

Mittakortti mahdollistaa kuormituksen ja virran mittaamisen kolmivaiheisesta verkosta 6 analogisella kanavalla. Mittauksia varten kortille on kytkettävä järjestelmän kaikkien vaiheiden jännitteet ja virrat. 400 V AC vaihejännitteet voidaan kytkeä suoraan mittakortille. Virtaa kortti kestää ainoastaan 1 A, tämän takia on kytkennässä käytettävä virtamuuntajia. Kortti on kooltaan pieni, joka tekee siitä käyttökohteeseen hyvin sopivan. Se on noin 15 mm leveä, 100 mm korkea ja 70 mm syvä. Mittakortti tarvitsee virtalähteeltä 120 mA. Kortti kykenee mittaamaan myös ei-sinimuotoisia jännite ja virtakäyriä noin 5 % tarkkuudella riippuen käyrän muodosta. Jännite ja virtatietojen avulla EL3403 laskee jokaiselle vaiheelle pätötehon (P), energian (W), tehokertoimen ($\cos \varphi$), näennäistehon (S), taajuuden (f) sekä vaihesiirtokulman. Kortin mittausten tarkkuus on 0,5 % maksimi mittaasarvosta (U ja I), lasketuista arvoista, kuten teho (P) 1 % ja mittausten näyttötarkkuus on 1 μ A, 0,1 mV ja 10 mW. Mittaukset perustuvat true RMS toimintoon, jossa kortti laskee 64 000 näytteestä jännitteen sekä virran todellisen tehollisarvon. Oletusasetuksena kortti on konfiguroitu toimimaan 50 Hz verkossa, mutta toiminta

taajuusalue on 45 – 65 Hz. Mittakortti kommunikoi keskusyksikölle 24 V DC EtherCat-väylän kautta. Koska kortille tuodaan 400 V vaihejännite, ei EtherCat-väylän tarvitsemaa 24 V DC olla voitu viedä mittakortin läpi seuraavalle. Tämän takia on suotavaa että EL3403 kortit asennettaisiin viimeiseksi kokoonpanossa. Kortin laskemat arvot perustuvat seuraaviin mittauksiin ja laskelmakaavoihin:



Kuva 6. Kortin mitaama jännite sekä virta /6/

Kuvassa 6. on esitetty kortin mitaama jännitteen (u) sekä virran (i) hetkellisarvo ajan (t) funktiona. Jännitteen tehollisarvo (U) voidaan määrittää kuvassa esitetystä hetkellisarvosta kaavalla

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n u_{(t)}^2} \quad (1)$$

Ja virran tehollisarvo (I) voidaan määrittää kaavalla

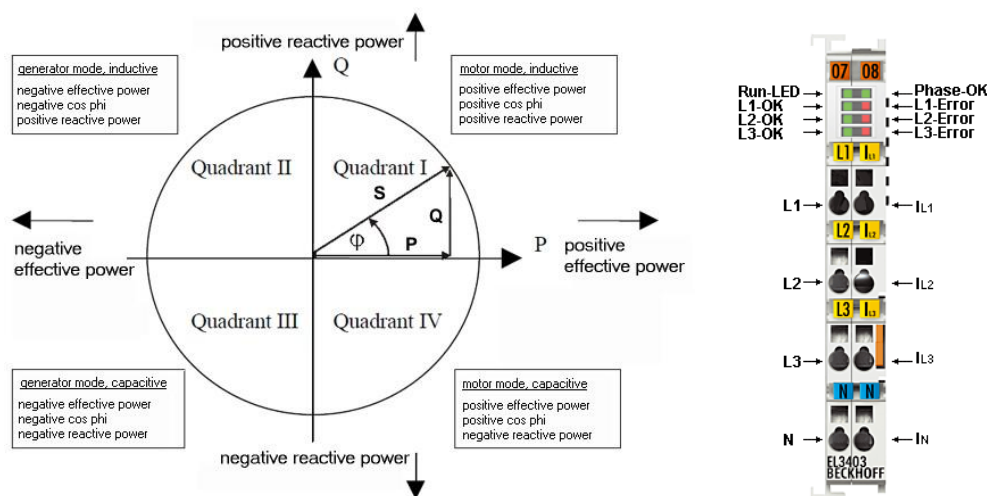
$$I = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n i_{(t)}^2} \quad (2)$$

kaavoissa (n) on mitattujen arvojen lukumäärä. Jakson aika on kuvassa merkitty T :llä, jakson ajan perusteella voidaan määrittää taajuus f .

$$f = 1/T \quad (3)$$

Koska jakelupisteiden syöttämät kuormat eivät aina ole täysin resistiivisiä, aiheutuu näistä vaihe-ero jännitteen ja virran välille. Vaihe-eroa on kuvassa 6 merkattu φ :llä. Yleensä kuormat ovat induktiivisia, jolloin virta on jännitettä jäljessä.

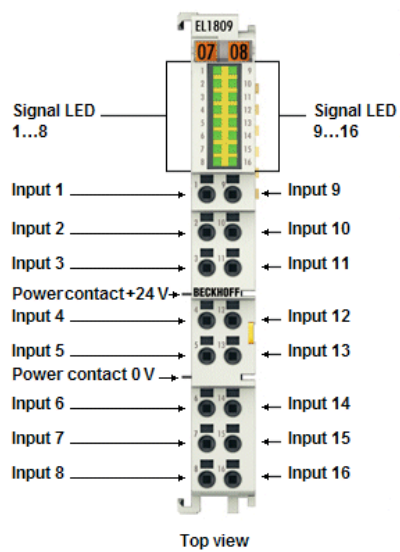
Kuorman ollessa kapasitiivinen on virta jännitettä edellä piirin resistanssin ja impedanssin suhteen verran. Jännitteen, virran ja vaihe-eron avulla voidaan selvittää piirin tehokerroin. Tehokertoimen avulla saadaan selvitettyä piirin kuluttama päteho sekä loisteho. Yleensä loisteho on kompensoitu kondensaattori piirillä. Kuvassa 7 on esitetty tehokertoimen ($\cos \varphi$) vaikutus piirin tehoihin ja sen käyttämään energiaan. EL3403 mittakortin kytkentäkuva on esitetty liitteessä 4, EL3403 tehonmittauskortti kuvassa 7. /6/



Kuva 7. Tehokolmio sekä EL3403 /6/

4.3 EL1809 16 kanavoinen digitaalinen tulokortti

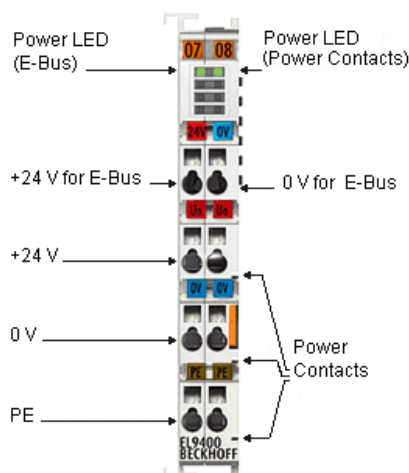
Apukosketin ja hälytintietoja varten tarvitaan PDU-keskuksessa 40 tulokanavaa. Beckhoffin tuotteilla tehdyssä kokoonpanossa on nämä signaalit tuotu PLC:lle EL1809 korttien kautta. Kortti lukee kanavan tilaa 3 ms välein. EL1809 kortit kommunikoivat PLC:lle niiden läpikulkevan EtherCat-väylän kautta. Tulokorteissa tiedonsiirtoon tarvittava 24 V DC jännite siirtyy myös kortin läpi seuraavalle. EL1809 on kooltaan 15 mm leveä, 100 mm korkea ja 70 mm syvä ja tarvitsee virtalähteeltä 100 mA. EL1809 esitetty kuvassa 8 ja tulokortin kytkentäkuvat liitteessä 5. /7/



Kuva 8. EL1809 digitaalinen tulokortti /7/

4.4 EL9400 virranjakoyksikkö

Virranjakoyksiköt antavat 2 A virtaa, joka kuluu muissa korteissa. Tämän takia suuremmissa kokoonpanoissa joudutaan käyttämään useampaa virranjakoyksikköä. Virranjakokortit tulisi sijoittaa kokoonpanoon tasaisin välein siten, että virranjakokorttien jälkeen tulevien yksiköiden yhteenlaskettu virrankulutus ei ylitä 2 A:ia. EL9400 Virranjakokortin esitetty kuvassa 9 ja kytkentäkuvat liitteessä 6. /8/



Kuva 9. EL9400 virranjakoyksikkö /8/

4.5 EtherCat-kenttäväylä

EtherCat on avoin korkean suorituskyvyn ethernet-pohjainen kenttäväylä, jonka tavoitteena oli mahdollistaa Ethernetin käyttö automaatio-sovelluksissa, joissa tarvitaan lyhyitä kiertoaikoja, korkeaa häiriökestoisuutta sekä matalia laitteistokustannuksia. Perinteisessä Ethernet-väylässä viesti vastaanotetaan, tulkitaan ja kopioidaan jokaisella laitteella. EtherCat-laitteet pystyvät FMMUn (fieldbus memory management unit) ansiosta lukemaan viestin sen kulkiessa laitteen läpi. Samalla ne poimivat siitä niille tarkoitetun datan ja kirjoittavat viestiin niiltä pyydetyn tiedon. EtherCat mahdollistaa suurienkin verkostojen tiedonsiirron yhdellä kehyksellä hyvin lyhyessä ajassa, koska viesti hidastuu ainoastaan noin 2 ns kussakin laitteessa. EtherCat-järjestelmä voidaan liittää täysin linjamaisesti tavallisella pari-kaapeli-johtimella tai optisella valokuidulla, jolloin kytkennässä ei tarvita kytkimiä. Verkosto voidaan myös kytkeä perinteisellä tähtimenetelmällä, jolloin voidaan käyttää tavallisia Ethernet-kytkimiä. Verkostossa, jossa EtherCat on toiminnassa, voidaan myös lähettää muita Ethernetiin pohjautuvia viestejä samanaikaisesti ilman, että EtherCat-viestintä häiriököityy tai hidastuu merkittävästi. /9/

4.6 Beckhoff-laitteiston käyttöönotto

Sähkö-, tele-, valo- ja AV-messuille esiteltäväksi lähtenyt PDUpro-keskuksen loogikka toteutettiin Beckhoffin tuotteilla. Kokoonpano koostui CX5010 keskusyks-

siköstä, 20 kpl:ta EL3403 tehonmittauskorttia, 5 kpl:ta EL1809 digitaalista tulokorttia sekä 2 kpl:ta EL9400 virranjakokorttia. Järjestelmän virtalähteenä käytettiin ABB:n CP-C 24/5.0, jolla pystyttiin syöttämään 5 A 24 V DC. Tarkoituksena oli saada keskus sellaiseen kuntoon, että sillä pystyttäisiin simuloimaan messuilla uuden logiikan tuomia lisäominaisuuksia.

Laitteiston ollessa kytkettävänä huomattiin, että 1 virranjakokortti oli jäänyt kokoonpanosta pois. Jotta laitteisto toimisi, oli tämä asennettava jälkikäteen muiden korttien väliin. Kortin päätettiin asentaa kokoonpanoon kymmenennen mittakortin jälkeen. Jälkeenpäin asennus onnistui kuitenkin helpolla, koska kortteja oli kohtalaisen helppo liikuttaa DIN-kiskoa pitkin. Keskusyksikössä on oma virranjakoyksikkö, josta se ottaa tarvitsemansa tehon. Kortista voidaan myös syöttää 2 A:ia keskusyksikköön liitettävälle I/O-korteille. Kun järjestelmälle kytkettiin virta, havaittiin, että mitta- ja digitaaliset tulokortit eivät käynnistyneet. Ongelma johtui siitä, että virranjakokorteilta oli jäänyt 1 nollajohdin kytkemättä. Kokoonpanoon jouduttiin jälleen tekemään muutoksia, kun huomattiin, että digitaalisilta tulokorteilta ei saatu informaatiota, vaikka nämä saivat virtaa. Digitaaliset tulokortit oli sijoitettu viimeiseksi kokoonpanossa ja koska EtherCatin tarvitsema virta ei siirry EL3403 mittakortin läpi, jäivät tulokortit ilman tiedonsiirron tarvitsemaa virtaa. Ratkaisuna ongelmaan olisi järjestää kortit uudestaan siten, että digitaaliset tulokortit olisi sijoitettu joko kokoonpanon keskellä olevan virtakortin tai alussa olevan keskusyksikön perään. Nämä muutoksen nähtiin kuitenkin melko hankaliksi toteuttaa, koska kortit oli jo johdotettu ja osa johdoista oli melko tarkkaan mitoitettu. Ongelma päätettiin ratkaista asentamalla ylimääräinen virranjakokortti EL3403 ja EL1809 korttien väliin.

Ohjelma ladattiin keskusyksikköön käyttämällä RJ45-kaapelia, jonka jälkeen testattiin ohjelman toimivuutta. Testauksen ajaksi kytkettiin jännite keskuksen syötön ensimmäiseen vaiheeseen. Kuormaksi kytkettiin 0 – 200 Ω säätövastus ensimmäisen smissiline-ryhmälähdön ensimmäiseen vaiheeseen. Virta, jännite ja taa-juustiedot olivat oikein, mutta $\cos \varphi$ näytti arvoa -0,55. Koska kuorma oli täysin resistiivinen, oli oletettavaa, että arvo oli väärin. Virheellisen vaihesiirtokulman

takia vääristyivät myös muut arvot kuten piirissä kulkeva teho ja sen kuluttama energia, koska kortti laskee ne mitattujen arvojen perusteella.

Virheen syyksi epäiltiin aluksi että virtamuuntajat olisi kytketty väärinpäin, tai että virtajohdot olisi kytketty ristiin. Ongelmaa tutkittaessa selvisi kuitenkin, että virtajohdot eivät voineet olla väärin kytketty, koska ainoastaan ensimmäiseen vaiheeseen oli kytketty kuorma. Jos virranmittaus olisi ollut väärin kytketty, olisi mitattu arvo ensimmäisestä vaiheesta oletettavasti ollut 0. Vaiheiden jännitteet oli kytketty kaikille mittakorteille yhden henkilösuojan kautta. Jännitteen vaihesiirtokulma ei ole riippuvainen piiriin kytketystä kuormasta. Kolmivaiheisessa järjestelmässä vaiheiden jännitteiden välinen vaihesiirtokulma on 60° , jolloin ensimmäisen ja kolmannen vaiheen välinen ero on 120° . Laskemalla voidaan todeta että

$$1 * \cos 120^\circ = -0,5 \quad (4)$$

näin voidaan olettaa, että ensimmäinen ja kolmas vaihe on kytketty ristiin joko henkilösuojalla tai mittakortilla. Ongelmasta tehtiin ilmoitus, ja se korjattiin tuotannon puolesta. Kuvassa 10 on esitettyä testattu laitteisto.



Kuva 10. CX5010 testauksessa

4.7 CX5010 ohjelmointi

Ohjelmointi tehtiin käyttämällä Beckhoffin tarjoamaa TwinCat-ohjelmaa. Laitteiston ohjelmointiin käytettiin TwinCat PLC controllia ja ohjelmointi kielenä käytettiin ST:tä sekä FBD:tä. Ohjelma tehtiin yhdelle lähdölle, jonka jälkeen sitä voitiin monistaa lopuille lähdöille. ST-kielellä ohjelmoitiin toimilohko, johonka tuotiin apu- ja hälytyskosketintieto sekä mittasuureet missä ne skaalattiin. Mittakortilta on jatkuvasti luettavissa jännite, virta sekä pätöteho. Muut mittasuureet ovat indeksiarvon takana. Indeksiluku ohjelmoitiin olemaan tiettyssä arvossa aina yhden ohjelmakierron ajan verran. Muuttamalla indeksilukua välillä 0-5 saadaan muut mittasuureet seuraavasti:

Taulukko 1. EL3403 indeksit /6/

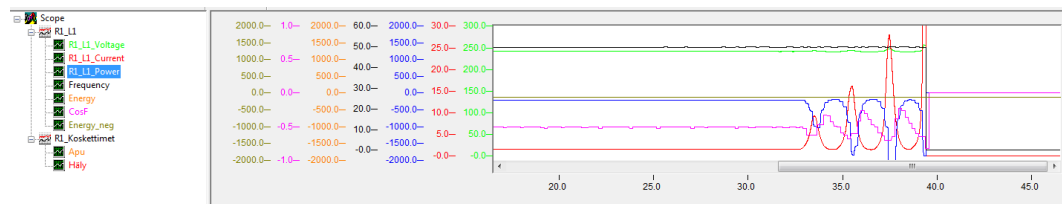
Indeksi	Suure	Yksikkö
0	Näennäisteho	0,01 VA
1	Loisteho	0,01 VAR
2	Energia	0,001 Wh
3	Cosφ	0,001
4	Taajuus	0,01 Hz
5	Negatiivinen energia	0,001 Wh

Tehty toimilohko kopioitiin jokaiselle lähdölle ja numeroitiin ryhmien mukaisesti. Indeksiarvon kierto on selvitetty tarkemmin EL3403 osuudessa kappaleessa 4.7.1.

Laitteisto kytkettiin tietokoneeseen käyttäen suoraa RJ45-kaapelia. Tietokoneen verkkoasetuksista oli tarkistettava että DHCP oli päällä, koska tämä oli oletuksena CX5010:ssa. Yhteys laitteiden välillä luotiin TwinCat system managerilla. Kun yhteys oli luotu, pyydettiin keskusyksikköä tarkastamaan laitteisto, jolloin se löysi siihen kytketyt I/O:t ja loi tarvittavan hardware konfiguraation. PLC controlilla tehty projekti tuotiin system manageriin, jonka jälkeen ohjelmassa pyydyt I/O:t yhdistettiin HW-konfiguraation määrittelemiin osoitteisiin. Tehdyt asetellut tallennettiin ja ladattiin keskusyksikölle, jonka jälkeen ohjelma voitiin käynnistää.

Ohjelman toimintaa keskusyksikössä voitiin seurata asettamalla PLC control sekä system manager-ohjelmat online-tilaan. Mitatut arvot voitiin visualisoida käyttämällä TwinCat scope view-ohjelmaa. Tällöin niitä oli helpompi tarkastella, kun ohjelman toimivuutta testattiin säätövastuksella. Mittasuureille luotiin ryhmä, jossa määritettiin näytteenottoiheys sekä käyrän piirtoaikaväli. Halutut mittasuureet voitiin valita listasta, joka ladattiin keskusyksiköltä ja nämä lisättiin kanavina ryhmään. Kanaville asetettiin minimi ja maksimi arvo sekä väri, jolla kanavan

käyrä taulukossa piirrettäisiin. Hälytin- ja apukosketintiedolle luotiin oma ryhmä. Koska nämä olivat digitaalisia tuloja, joiden tila oli joko 1 tai 0, näkyisi tilan muutos käyrällä askelmaisena. Scope view-näkymä kuvassa 11.

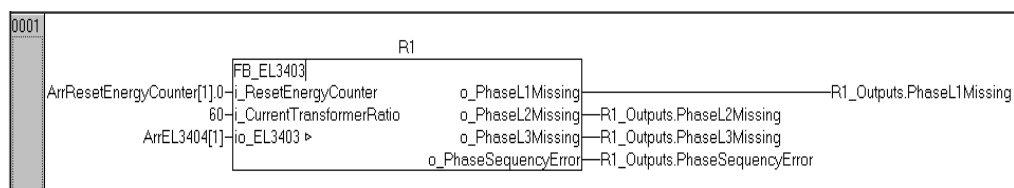


Kuva 11. Käyrät scope view-ohjelmassa

PLC controllin puolella tehtiin myös ohjelmointiosuus, jolla mahdollistettiin laitteiston tiedonsiirto SCADAn kanssa käyttäen IEC61850-tiedonsiirtoprotokollaa. TwinCat-ohjelmasta ei ollut vielä saatavan versiota, jolla laitteiston tiedonsiirto saatiin käännettyä IEC61850. Tällöinen versio löytyi kuitenkin Beckhoffilta Saksasta. Ohjelmointiosuus, jonka tiedonsiirto tarvitsi, saatiin myös Beckhoffilta.

4.7.1 EL3403 toimilohko

Mittakorteille ohjelmoitu toimilohko tehtiin ST-kielellä. Koodissa määriteltiin toimilohkolle tulevat sekä lähtevät tiedot. Kaikki tiedot määritellään muuttujiksi VAR komennolla. Muuttujat voivat olla tulevia, lähteviä, yleisiä tai sekä tulevia että lähteviä. Muuttujille on myös annettava tiedon tyyppi. Esim. apu ja hälytin-kosketintiedot ovat BOOLEAN muuttujia, kun esim. virtamuuntajan muuntosuhde on kokonaisluku ja määriteltävä INT-muotoon. Tiedot, jotka halutaan tuoda toimilohkon reunalle, on määriteltävä joko inpuiteiksi tai outpuiteiksi. Tulevia tietoja voidaan tällöin helposti muuttaa toimilohkon reunalta, esim. virtamuuntajan muuntosuhde. Muuntosuhteen vaihtuessa ei ole tarvetta muuttaa toimilohkon koodia. Mittakortin järjestysnumero on määriteltävä IN_OUT muuttujaksi. Tämä helpottaa toimilohkon käyttöä, kun tarvitaan useampi kuin yksi mittakortti. Mittakortille annetaan tulopuolelle järjestysnumero, jonka jälkeen numero käytetään määrittelemään muille tuloille sekä lähdöille osoitteet. Toimilohko sekä sen ohjelmointi näkyvät kuvassa 12.



```

0001 FUNCTION_BLOCK FB_EL3403
0002 VAR_INPUT
0003   i_ResetEnergyCounter:BOOL;
0004   i_CurrentTransformerRatio:INT;
0005 END_VAR
0006 VAR_OUTPUT
0007   o_PhaseL1Missing:BOOL;
0008   o_PhaseL2Missing:BOOL;
0009   o_PhaseL3Missing:BOOL;
0010   o_PhaseSequencyError:BOOL;
0011 END_VAR
0012 VAR_IN_OUT
0013   io_EL3403:ST_EL3403;
0014 END_VAR
0015 VAR
0016   I_L1 AT %I:ST_PMInputs;
0017   I_L2 AT %I:ST_PMInputs;
0018   I_L3 AT %I:ST_PMInputs;
0019   I_Status AT %I:BYTE;
0020   I_AlarmInput AT %I:BOOL;
0021   I_HelpInput AT %I:BOOL;
0022
0023   Q_L1 AT %Q:ST_PMOutputs;
0024   Q_L2 AT %Q:ST_PMOutputs;
0025   Q_L3 AT %Q:ST_PMOutputs;
0026
0027   nSetIndex: USINT;
0028 END_VAR
0029

```

Kuva 12. EL3403 toimilohko sekä sen ST-ohjelmointi

Vaihekohtaiset tiedot määritellään yleismuuttujiksi, jotka saavat mittakortin järjestysluvun mukaan yksilölliset ositteet. Indeksiluku määritellään määrittelemättömäksi kokonaisluvuksi, jolloin se on ohjelmoitavissa muuttumaan ohjelmakierroon mukaan. Prosessista saatavat tiedot eivät tule kortilta suoraan oikeassa muodossa ja yksikössä. Tämän takia ne on koodissa muunnettava ja skaalattava, jotta ne olisivat rajapinnalta luettavissa oikeassa muodossa. ABS-komennolla on tietyt suuret muunnettu itseisarvoiksi, jolloin vältetään, että rajapinnalla näkyisi negatiivisia arvoja. Mitta-arvojen skaalaus on esitetty kuvassa 13.

```

0012 (* Transfer process data values to structure *)
0013 io_EL3403.L1_Current := ABS(I_L1.Current*0.000001*i_CurrentTransformerRatio); (*A*)
0014 io_EL3403.L2_Current := ABS(I_L2.Current*0.000001*i_CurrentTransformerRatio); (*A*)
0015 io_EL3403.L3_Current := ABS(I_L3.Current*0.000001*i_CurrentTransformerRatio); (*A*)
0016
0017 io_EL3403.L1_Voltage := I_L1.Voltage*0.0001; (*V*)
0018 io_EL3403.L2_Voltage := I_L2.Voltage*0.0001; (*V*)
0019 io_EL3403.L3_Voltage := I_L3.Voltage*0.0001; (*V*)
0020
0021 io_EL3403.L1_ActivePower := ABS(I_L1.ActivePower*0.01*i_CurrentTransformerRatio); (*W*)
0022 io_EL3403.L2_ActivePower := ABS(I_L2.ActivePower*0.01*i_CurrentTransformerRatio); (*W*)
0023 io_EL3403.L3_ActivePower := ABS(I_L3.ActivePower*0.01*i_CurrentTransformerRatio); (*W*)
0024

```

Kuva 13. Arvojen skaalaus ja tuonti rajapinnalle

Kuten edellä esitettiin, niin kaikki kortin mittaamat ja laskemat arvot eivät ole suoraan luettavissa tai tuotavissa rajapinnalle, vaan osa niistä tuodaan yksitellen indeksimuuttujalle. Seuraavalla ohjelmointiosuudella on määritelty, koska halutut tiedot tuodaan sekä indeksiluvun automaattinen vaihtuminen. Ohjelmoinnin avulla on myös varmistettu, että halutut tiedot on kirjoitettu rajapinnalle luettavaksi, ennen kuin indeksi lukua vaihdetaan ja rajapinnalle syötetään uudet arvot. Ensimmäiseksi koodissa määritetään mittakortin jokaisen vaiheen indeksiluvuksi sillä hetkellä ohjelmakierrossa oleva indeksi IF-komennolla. CASE OF-komennolla ohjelma valitsee vuorossa olevan indeksiluvun mukaisen laskuoperaation jolla luettavissa olevat arvot skaalataan ja viedään rajapinnalle luettavaksi. CASE OF-komennon jälkeen indeksilukuun lisätään joka ohjelmakierrolla +1 ja indeksiluvun ylittäessä arvon 5 se palautetaan arvoon 0. Indeksiarvon kierron ohjelmointi on esitetty kuvassa 14.


```

0025 (* Scroll Index to read out rest of the values from EL3403 card *)
0026 IF (L_L1.Index = nSetIndex) AND (L_L2.Index = nSetIndex) AND (L_L3.Index = nSetIndex) THEN
0027     CASE nSetIndex OF
0028     0: (* Apparent power *)
0029         io_EL3403.L1_ApparentPower := ABS(L_L1.VariantValue*0.01*_CurrentTransformerRatio); (*VA*)
0030         io_EL3403.L2_ApparentPower := ABS(L_L2.VariantValue*0.01*_CurrentTransformerRatio); (*VA*)
0031         io_EL3403.L3_ApparentPower := ABS(L_L3.VariantValue*0.01*_CurrentTransformerRatio); (*VA*)
0032     1: (* Reactive power *)
0033         io_EL3403.L1_ReactivePower := ABS(L_L1.VariantValue*0.01*_CurrentTransformerRatio); (*VAr*)
0034         io_EL3403.L2_ReactivePower := ABS(L_L2.VariantValue*0.01*_CurrentTransformerRatio); (*VAr*)
0035         io_EL3403.L3_ReactivePower := ABS(L_L3.VariantValue*0.01*_CurrentTransformerRatio); (*VAr*)
0036     2: (* Energy *)
0037         io_EL3403.L1_EnergyPos := ABS(L_L1.VariantValue*0.001*_CurrentTransformerRatio); (*Wh*)
0038         io_EL3403.L2_EnergyPos := ABS(L_L2.VariantValue*0.001*_CurrentTransformerRatio); (*Wh*)
0039         io_EL3403.L3_EnergyPos := ABS(L_L3.VariantValue*0.001*_CurrentTransformerRatio); (*Wh*)
0040     3: (* cosPhi *)
0041         io_EL3403.L1_cosPhi := L_L1.VariantValue*0.001;
0042         io_EL3403.L2_cosPhi := L_L2.VariantValue*0.001;
0043         io_EL3403.L3_cosPhi := L_L3.VariantValue*0.001;
0044     4: (* Frequency *)
0045         io_EL3403.L1_Frequency := L_L1.VariantValue*0.1; (*Hz*)
0046         io_EL3403.L2_Frequency := L_L2.VariantValue*0.1; (*Hz*)
0047         io_EL3403.L3_Frequency := L_L3.VariantValue*0.1; (*Hz*)
0048     5: (* Energy neg *)
0049         io_EL3403.L1_EnergyNeg := ABS(L_L1.VariantValue*0.001*_CurrentTransformerRatio); (*Wh*)
0050         io_EL3403.L2_EnergyNeg := ABS(L_L2.VariantValue*0.001*_CurrentTransformerRatio); (*Wh*)
0051         io_EL3403.L3_EnergyNeg := ABS(L_L3.VariantValue*0.001*_CurrentTransformerRatio); (*Wh*)
0052     END_CASE
0053     nSetIndex := nSetIndex + 1;
0054     IF nSetIndex > 5 THEN
0055         nSetIndex := 0;
0056     END_IF
0057 END_IF
0058
0059 (* Set output Index to requested value *)
0060 Q_L1.Index := Q_L2.Index := Q_L3.Index := nSetIndex;

```

Kuva 14. Indeksien arvojen lukeminen

4.8 Yhteenvedo lopputuloksesta Beckhoffin kokoonpanolla

Lopputulokseen oltiin hyvin tyytyväisiä, Beckhoffin laitteisto yllätti käyttäjäystävällisyydellään. Vaikka erilaisia tulotietoja oli linkitettävänä 522 kpl, oli niiden yhdistäminen laitteiston osoitteisiin vaivatonta. Laitteiston mittaamat arvot oli helppo havainnollistaa scope view-ohjelman avulla. Scope view-sovellusta voitaisiin myös käyttää messuilla visualisoimaan laitteiston toimintaa, mikäli SCADA-sovellusta ei ehdittäisi saada valmiiksi. Automaatioyksikön kyky palautua virransyöttökatkoksesta tuli myös testattua, kun siltä jouduttiin ajoittaan katkaisemaan virta. Järjestelmä palautui joka kerta normaaliin toimintatilaan nopeasti, kun virta kytkettiin sille takaisin.

5 KEHITYSMAHDOLLISUUDET BECKHOFFIN LAITTEISTOLLA

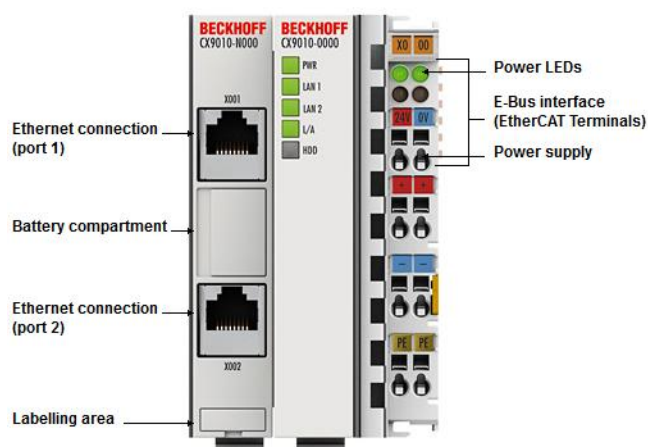
Tarkoituksena löytää monipuolisia ja joustavia ratkaisuja jolla saadaan toteutettua samat ominaisuudet kuin AC500 ja tuotua tuotteelle lisä arvoa sekä ominaisuuksia. Tavoitteena on säilyttää tuotteen joustavuus ja tuoda valikoimaan laajuutta prosessista tarjottuihin tietoihin, mahdollisiin tiedonsiirtovaihtoehtoihin sekä hintavaihtoehtoihin. Tuotevariaatioita haettaisiin vaihtoehtoisilla keskusyksiköillä ja I/O-korteilla.

Koska CX5000-sarjan keskusyksikkö on suorituskyvyltään tehokas ja tarjoaa laajan valikoiman tiedonsiirtomahdollisuuksia pyrittiin variaatio vaihtoehdoissa etsimään edullisempia ratkaisuja. Lähes kaikki CX5000 keskusyksikön tarjoamat tiedonsiirtovariaatiot on toteutettavissa myös muilla keskusyksiköillä lisämoduulien avulla. IEC 61850-tiedonsiirron vaatima ohjelmointiosuus on kuitenkin sen verran raskas, että se voidaan tarjota ainoastaan keskusyksiköillä CX5000 sekä CX9010, joissa prosessoriteho on tarpeeksi suuri sen suorittamiseen. Kaikki keskusyksiköt ja I/O-kortit ovat DIN-kiskolle asennettavia komponentteja ja niiden välinen tiedonsiirto on toteutettu EtherCAT-väylällä

5.1 CX9000 ja CX9010 keskusyksiköt

CX9000 on keskusyksikkö jossa prosessorina on Intelin IXP420, joka toimii 266 MHz kellotaajuudella. Keskusyksikköä on saatavan kahdella muistivaihtoehdolla. Pienemmässä on 16 MB flash-muisti ja 64 MB keskusmuisti. Suuremmassa vaihtoehdossa on 32 MB flash-muisti sekä 128 MB keskusmuisti. Pienemmällä muistikapasiteetillä oleva malli on riittävä tarvittavalle ohjelmalle, jolla mittaukset saadaan luettua. Tarvittaessa voidaan myös ohjelmointia tai tiedonvarastointia varten olevaa muistia laajentaa muistikortti- tai USB-lisämoduulilla. Käyttöjärjestelmänä keskusyksikössä toimii Microsoft Windows CE. CX9000 perusmoduulissa on 2 RJ45-Ethernet porttia, joissa on sisäinen kytkin. Keskusyksikössä on myös tehonjakokortti, josta se saa tarvitsemansa virran. Tehonjakokortilta voidaan myös jakaa 2 A virtaa I/O moduuleille. CX9010 keskusyksikössä on myös käytetty Inte-

lin IXP420 prosessoria. CX9010 keskusyksikössä prosessorin kellotaajuus on kuitenkin nostettu 533 MHz:iin, jonka ansiosta sillä voidaan tarjota IEC 61850-tiedonsiirtomahdollisuus. Keskusyksikössä on 32 MB flash-muisti sekä 128 MB keskusmuisti. Muuten CX9000 sekä CX9010 ovat ominaisuuksiltaan ja kooltaan identtisiä. CX9000 on kooltaan 58 mm leveä, 100 mm korkea ja 91 mm syvä. Keskusyksiköissä on 5 diagnostiikka lediä, jotka indikoivat järjestelmän virran-saantia, RJ45-porttien tiedonsiirtoa, EtherCat-väylän tiedonsiirtoa sekä muistin käyttöä. Kuvassa 15 CX9010 keskusyksikkö. /10/

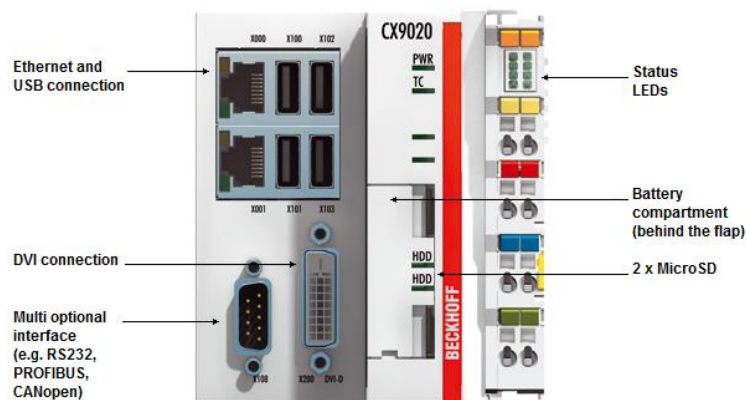


Kuva 15. CX9010 keskusyksikkö /10/

5.2 CX9020 keskusyksikkö

CX9020 keskusyksikkö prosessorina on ARM Cortex A8 joka toimii 1 GHz:n kellotaajuudella. Yksikössä on 256 MB:n flash-muisti, joka on laajennettavissa kahdella microSD muistikortilla. Keskusmuistia yksikössä on 1 GB:n nopeata DDR3 laatuista muistia. CX9020:ssa on vakiona 2 RJ45-liitintä, jotka on varustettu sisäisellä kytkimellä, DVI-liitin paikallisnäyttö varten, 4 USB-liitintä sekä tiedonsiirtoliitin joka voidaan valita seuraavista: EtherCat, Profibus, CANopen, Profinet RT, EtherNet/IP. ARM Cortex prosessorin teho on myös riittävä, jotta IEC 61850-tiedonsiirto on mahdollinen. Keskusyksikön käyttöjärjestelmänä toimii Windows Embedded Compact 7. Yksikön mukana on myös tehonjakokortti, josta keskusyksikkö saa tarvitseman virtansa ja voidaan jakaa 2 A virtaa myös I/O

korteille. Etupaneelin diagnostiikka ledeillä indikoidaan tiedonsiirron toimintaa, muistin käyttöä, TwinCat-ohjelman kiertoa sekä yksikön virran saantia. Keskusyksikkö on kooltaan 85 mm levyä, 100 mm korkea ja 91 mm syvä. CX9020:a on kuitenkin saatavan Beckhoffilta aikaisintaan tämän vuoden kolmannella neljänneksellä. CX9020 keskusyksikkö esitetty kuvassa 16. /11/



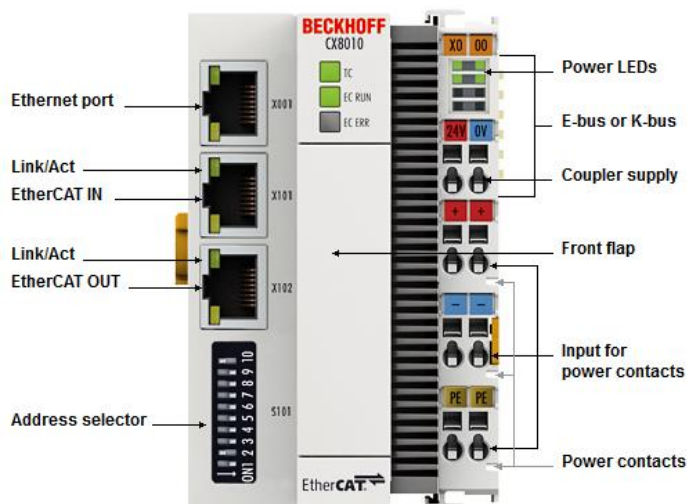
Kuva 16. CX9020 keskusyksikkö /11/

5.3 CX8000 keskusyksikkö

CX80XX keskusyksiköissä on 400MHz:in prosessori ja 256 MB flash-muisti, joka on laajennettavissa 4 GB asti. Keskusmuistia yksikössä on 64 MB. Kaikissa CX8000 malleissa on yksi RJ45 Ethernet liitin sekä 1 USB-liitin. Malli numeron kahdella viimeisellä numerolla kerrotaan millä tiedonsiirrolla ethernetin lisäksi keskusyksikkö on varustettu. CX8000:ta tulee olemaan saatavana seuraavilla tiedonsiirtomahdollisuuksilla: EtherCAT, Profibus, Profinet, EtherNet/IP, CANopen, BACnet/IP ja OPC UA. Keskusyksikön prosessoriteho ei kuitenkaan riitä IEC 61850-tiedonsiirron tarvitsemaan ohjelmointiin. Yksikön flash-muisti on microSD-kortilla ja täten laajennettavissa 4 GB asti kortin vaihdolla.

Keskusyksikkö voidaan ohjelmoida Ethernet-liittimen kautta tai sitten siihen voidaan laittaa muistikortti, johon ohjelma on valmiiksi asennettu. Keskusyksikön käyttöjärjestelmänä toimii Microsoft Windows CE. CX8000 on varustettu 1 sekunnin kapasitiivisellä UPS-järjestelmällä, jonka ansiosta virran syötön katketessa yksikkö kykenee tallentamaan katkoshetkellä kriittiset tiedot sekä sammuttamaan

hallitusti järjestelmän. Myös CX8000-sarjassa on virranjakokortti, josta keskusyksikkö saa virtansa ja josta voidaan jakaa 2 A I/O korteille. CX8000-sarjan hyväpuoli on se, että se tarjoaa laajan valikoiman erilaisia tiedonsiirtovaihtoehtoja ilman ylimääräisiä lisämoduuleita. Kuten CX9020 myös CX8000-sarja julkaistaan vasta tämän vuoden kolmannella neljänneksellä. Kuvassa 17 esitetty CX8010 keskusyksikkö jossa EtherCat-tiedonsiirto. /12/



Kuva 17. CX8010 keskusyksikkö EtherCAT-tiedonsiirrolla /13/

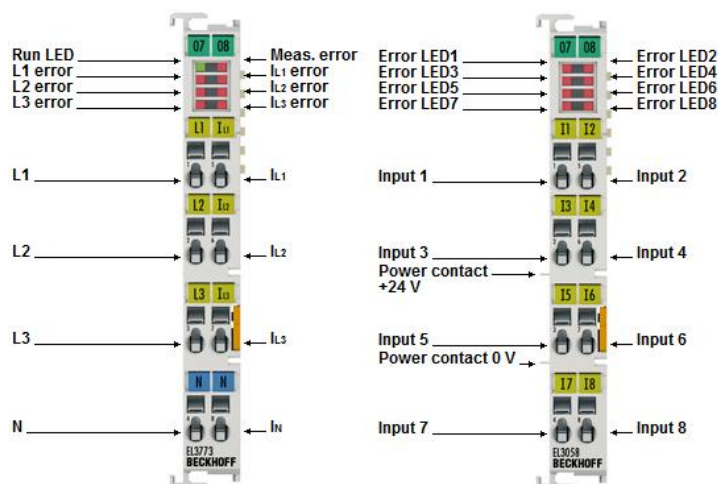
5.4 I/O kortit

Asiakkaan halutessa prosessista ainoastaan lähtökohtaisen virran kulutus tiedon, voidaan tämä toteuttaa Beckhoffin EL3058 analogisilla tulokorteilla. Kortissa on 8 analogista tulokanavaa, joiden näytteenoton resoluutio on 12 bittiä kuten ABB:n AI523:ssa. Tulokanaville mittamuuntajilta tuotava mA-viestin alueeksi valittiin 4-20 mA, tällöin häiriötila on paremmin huomattavissa viestisignaalin mennessä nolllaan. Häiriön, kuten ylivirta tai signaalin katoaminen mittakanavalta, on nähtävissä ohjelmapuolella, mutta indikoidaan myös ledillä mittakortin yläreunassa. Kuten AI523:ssa myös EL3058 kortissa kaikkien kanavien mittasignaaleja verrataan kortissa yhteiseen nollopotentiaaliin. EL3058 korteilla voidaan hyvin kompaktilla kokoonpanolla tarjota asiakkaalle samat tiedot prosessista kuin AC500 kokoonpanolla. Beckhoffin tuotteilla tehdyssä kokoonpanossa suurimpana etuna

on kuitenkin huomattavasti laajempi valikoima tiedonsiirtomahdollisuuksia. EL3058 kortti kuluttaa virtalähteeltä 130 mA. /14/

Messukokeistossa käytetyt EL3403 tehonmittauskortit mittaavat jännitteen ja virran tehollisarvoja ja täten eivät näytä hetkellisarvoja. Beckhoffin tuotevalikoimasta löytyy mittakortti EL3773, joka kykenee mittaamaan prosessista hetkellisarvoja. Konesalien tehonsyöttö on lähes poikkeuksetta toteutettu UPS-järjestelmän kautta. UPS-järjestelmässä jännite tasasuunnataan ja viedään akustolle jonka jälkeen se vaihtosuunnataan uudelleen ja viedään käyttöpisteisiin jakelukeskuksien kautta. Tämän prosessin aikana UPS-järjestelmä korjaa jännitteestä mahdollisen särön, yli- ja alijännitteet.

Koska konesalien kuorma koostuu lähinnä puolijohteista sekä hakkuriregulaattoreista on mahdollista, että jakelukeskuksien syöttämät kuormat aiheuttavat laitteistolle haitallista jännitesäröä UPS järjestelmän jälkeiseen verkostoon. Tämän takia haluttiin myös tutkia mahdollisuutta mitata jännitteen ja virran hetkellisarvoja sekä aaltojen sini- muotoisuutta. Mikäli EL3773 kortin näytteenottotaajuus on tarpeeksi korkea, kykenisi se havaitsemaan tämänkaltaiset ilmiöt. Yksi EL3773 mittauskortti voitaisiin asentaa keskukseen mittaamaan pääkiskojen jännitettä. Ratkaisu mahdollistaisi viallisesti toimivan laitteen havaitsemisen syöttökeskustasolla, jonka jälkeen asiakas voisi alkaa selvittämään tarkempaa sijaintia. EL3773 tarvitsee virtalähteeltä 200 mA. Kuvassa 18 mittakortti EL3773 ja analoginen tulo kortti EL3058. /15/



Kuva 18. Mittakortti EL3773 /15/ ja analogiatulokortti EL3058 /14/

5.5 Yhteenveto kehitysmahdollisuuksista

Tutkimuksen päätteeksi voidaan todeta, että keskusyksiköiden suurimmat erot ominaisuuksissa on tiedonsiirtomahdollisuudet ja hinta. Kaikilla keskusyksiköillä pystyttiin toteuttamaan vaihekohtaiset tehomittaukset käyttäen EL3403 mittakortteja, keskusyksiköillä pystyttiin myös tarjoamaan lähes kaikki tiedonsiirtomahdollisuudet. Jos tiedonsiirroksi valitaan jokin muu kuin Ethernet, tarvitsevat hieman vanhentuneet CX9000 sekä CX9010 kuitenkin lisämoduulin, joka nostaa niiden hinnan lähes CX5010 tasolle. Tämän lisäksi IEC61850 ei ole mahdollinen CX9000 eikä CX9010:lla. Varteenotettavin vaihtoehto tutkituista keskusyksiköistä CX5010 tilalle olisi CX9020, jolla voitaisiin toteuttaa samat ominaisuudet kuin CX5010:lla hieman edullisemmalla hinnalla. Beckhoff ei kuitenkaan ole vielä julkaissut myyntiin keskusyksiköitä CX9020 sekä CX80xx. Täten PDUprot päätettiin toistaiseksi toteuttaa käyttämällä CX5010 keskusyksikköä. Yhteenveto keskusyksiköiden ominaisuuksista sekä hinnoista liitteessä 8. /16/

Tuotevariaationa kaavailtiin esittelykeskukseen verrattuna vähemmän tietoa tarjoavaa versiota, jossa käyttäjällä olisi rajapinnalta luettavissa esim. vaihekohtainen virta, teho, järjestelmän jännite sekä ryhmäkohtaiset apu- ja hälytinkosketin tiedot. Tämä voitaisiin toteuttaa käyttäen seuraavaa kokoonpanoa: CX5010 keskusyksikkö, EL3058 analogisia tulokortteja virranmittausta varten, EL1809 apu-

ja hälytinkosketin tietoja varten sekä yhtä EL3403 tehonmittauskorttia, jolla järjestelmän jännite mitattaisiin. EL3403 kortin mittaamaa vaihejännitettä käytettäisiin vaihekohtaisen tehon laskemiseen. Kyseisessä kokoonpanossa käytettäisiin virran mittaamiseen samoja mittamuuntajia, joita käytettiin AC500 sarjalla tehdyssä kokoonpanossa. Kuva vähemmän tietoa tarjoavasta versiosta esitetty liitteessä 9.

6 LAITTEISTON TESTAUS

Testauksen tarkoituksena on todentaa laitteiston toimivuus ja varmistaa sen laatu. Tulokset, jotka testauksesta saadaan, tallennetaan ja niiden perusteella voidaan seurata ja valvoa tuotteen laadun kehittymistä sen elinkaaren aikana. Huolellisella testauksella ja raportoinnilla yritys voi myös turvata omaa selustaansa asiakasrekламаatioiden suhteen, koska täten voidaan varmistaa, että laitteisto on ollut kunnossa sen lähtiessä asiakkaalle.

6.1 Näyttelykojeiston testaus

Kun laitteiston on valmiiksi kytketty ja ohjelma ladattu keskusyksikköön, tulisi varmistaa, että prosessista saadaan todenmukaiset mittatiedot. Testikentällä on mahdollista kytkeä sähkötkeskukseen, jolloin testaus on mahdollista. On hyvin tärkeätä, että kortin mittaamat arvot ovat oikein, koska suurin osa sen rajapinnalle tarjoamista tiedoista perustuu mittatiedoista laskettuihin arvoihin.

Lähtökohtaisia arvoja voidaan tarkastella TwinCat scope view-ohjelmalla, jossa kaikki kortin tarjoamat arvot voidaan esittää joko käyränä tai numeromuodossa. Scope view näyttää järjestelmän rajapinnalle tarjoaman datan. Messukojeistossa osa arvoista, esim. virta sekä $\cos \varphi$, on PLC-ohjelmoinnissa muutettu absoluuttiseksi arvoiksi, joka tarkoittaa, että ne ovat aina positiivisia. Tämän takia olisi suotavaa tarkistaa TwinCat PLC control-ohjelmalla laitteiston mittaamat todelliset arvot, jotta olisi huomattavissa virhetilanteet, joissa esim. johdin kulkee väärinpäin virtamuuntajan lävitse. PLC control-ohjelmalla on myös luettavissa mittakortin vikadiagnostiikka. Vikadiagnostiikan avulla voidaan selvittää onko kaikki vaiheet kytketty kortille ja että niille löytyy nollapotentiaali jota vasten mittaus voidaan tehdä sekä myös vaihejärjestyksen oikeellisuus voidaan todeta. Vertaamalla scope viewin näyttämiä arvoja sekä PLC controlista luettavia arvoja voidaan myös varmistaa, että tarjottavan datan skaalaus on tehty oikein ohjelmoinnissa.

Esittelykeskusta testattaessa käytettiin 0 - 250 Ω säätövastusta. Vastus kytkettiin keskuksen riviliittimille nollaan sekä ensimmäisen ryhmän ensimmäiseen vaiheeseen, jonka jälkeen keskukseen kytkettiin virta kääntämällä ryhmälähdön kosketin

kiinni. Myöhemmin esittelykeskukseen asennettiin kuormaksi pieni kolmivaiheinen moottori. Esittelyissä kiertävässä messukeskuksessa vähäisen kuorman takia virtamuuntajien lävitse kulkevat johtimet on kierretty kulkemaan kymmenen kertaa muuntajan läpi. Tämä on tehty, koska virtamuuntajan herääminen vaatii tietyn suuruisen virran ja mittalaitteiden pienin virhemarginaali on lähellä laitteiston maksimiarvoja.

Kuormittamalla moottoria jarrun avulla kunnes virta saavutti nimellisen 1,1 A arvon, pystyimme vertaamaan myös muita mitattuja ja laskettuja arvoja, kuten $\cos \phi$ ja moottorin kuluttamaa tehoa, moottorin kilvissä annettuihin nimellisiin arvoihin. Testauksen aikana huomasimme aluksi, että moottorissa oli vaiheet kytketty väärään järjestykseen ja se pyöri väärään suuntaan. Tällä ei kuitenkaan ollut oleellista merkitystä mittatuloksiin. Mitatut arvot eivät kuitenkaan vastanneet odotuksia ja lopuksi huomattiin, että mittakortti ilmoitti vaihejärjestyksen vääräksi. Vikaa lähdettiin paikallistamaan pyörintäsuunta- sekä johtavuusmittarilla. Lopuksi syyksi selvisi, että ryhmän toisen vaiheen johdin oli tuotu väärinpäin virtamuuntajan läpi. Virhe korjattiin väliaikaisesti, jotta testausta voitaisiin jatkaa, vaihtamalla kahden johtimen paikkaa muuntajan liittimissä keskenään. Kun virhe oli korjattu, pystyimme toteamaan, että mitatut arvot prosessista olivat todenmukaisia.

6.2 Asiakkaalle menevän laitteiston testausohjelma

Ennen kuin tuotetta voidaan luovuttaa asiakkaalle, joudutaan se testaamaan perusteellisesti. Mittayksikön osalta testauksessa tulisi varmistaa, että kaikki mitattavat ja laskettavat arvot on saatavan oikeina rajapinnalta. Myös apu- sekä hälytinkosketin tietojen toimivuus on varmistettava. Testaus tulisi suorittaa kytkemällä testiohjelmassa määritetty kuorma vuorollaan jokaiselle lähdölle ja yksikön antamat arvot kirjattaisiin ylös. Kuormana tulisi aina käyttää samansuuruista vastusta, jolloin tiedoille voitaisiin laatia vertailuarvot, joihin niitä verrattaisiin. Saatujen arvojen ja tarkastusarvojen välillä saisi olla virhemarginaali jolloin tuotteelle voidaan taata tietty tarkkuus ja laatu. Vertailuarvojen toleranssirajoissa tulisi huomioida EL3403 mittakortissa syntyvät mittaus- ja laskentavirheet sekä virtamuuntajassa tapahtuva virhe. Virtamuuntajina PDUprossa käytetään EFEN PSA213 virta-

muuntajia, joiden tarkkuusluokka on 1. Tämä tarkoittaa, että niissä syntyvä virhe +/- 1 % maksimimittausarvosta. /17/ Kuorma tulisi valita siten, että virta olisi mahdollisimman lähellä virtamuuntajien maksimiarvoa. Tällöin mittalaitteistossa syntyvä virhe on pienin. Testauksessa käytettävät testikärryt kuitenkin rajoittavat henkilöturvallisuus syistä käytettävän virran suuruuden.

Testauksessa voitaisiin kuormana käyttää 15 Ω vastusta, jolloin piirissä kulkeva virta voitaisiin määrittää laskennallisesti seuraavasti

$$230 \text{ V} / 15 \text{ } \Omega = 15,3 \text{ A} \quad (5)$$

Piirissä kulkeva teho voidaan todeta seuraavalla laskulla

$$15,3 * 230 = 3,53 \text{ kW} \quad (6)$$

Vertamaalla mitattuja tuloksia laskennallisiin arvoihin voidaan mittausten laatu varmentaa. Koska kuorma valittiin täysin resistiiviseksi, on tehokertoimen oltava 1, jolloin kaikki piirissä kulkeva teho on pätötehoa.

Tarkistusarvojen toleranssit saadaan selville, kun laskettu arvo kerrotaan mittausspiirissä tapahtuvalla virheellä. Mitatun virran toleranssi voidaan laskea seuraavasti

$$0,5 \% * 15,3 \text{ A} + 1 \% * 15,3 = 0,23 \text{ A} \quad (7)$$

Täten voidaan todeta että kortin ilmoittaman virran tulisi olla 15,3 A +/- 0,23 A. Jännite on myös kortin mittaama suure ja sille sallittu toleranssi voidaan laskea seuraavasti

$$0,5 \% * 230 \text{ V} = 1,15 \text{ V} \quad (8)$$

jolloin rajapinnalla näkyvän jännitteen arvo tulisi olla 230 +/- 1,15 V. Jännitteestä ja virrasta lasketuilla arvoilla, kuten kytkennän teholla, toleranssi laskettaisiin seuraavasti

$$1 \% * 3530 \text{ W} + 1 \% * 3530 \text{ W} = 70,6 \text{ W} \quad (9)$$

mitatun teho tulisi olla $3530 \text{ W} \pm 70,6 \text{ W}$. Virheissä olisi myös huomioitava virheen suhteellinen kasvu johtuen siitä, että mitattava arvo on melko kaukana mittalaitteen maksimiarvosta, jossa mittalaitteen tarkkuus on ilmoitettu. Jotta voitaisiin selvittää mittalaitteiston tarkkuus pienellä kuormalla, tulisi tehdä sarja mittauksia erikokoisilla kuormilla. Laitteiston mittaamia tuloksia verrattaisiin yleismittarilla saatuihin arvoihin, jolloin mittatulosten eroavaisuus selviäisi.

7 OHJEISTUS TUOTANTOA VARTEN

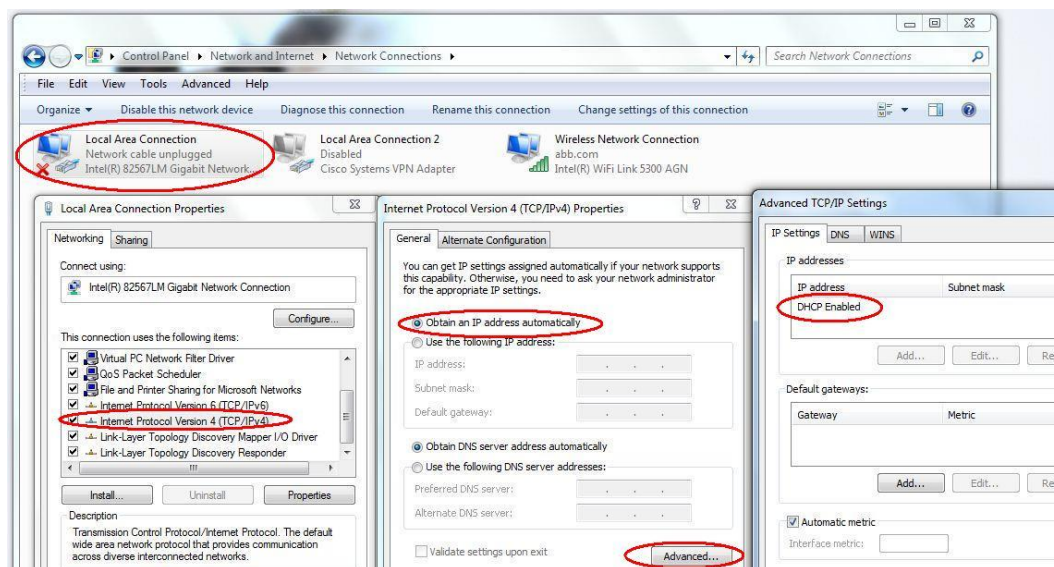
Ohjeen tarkoituksena on opastaa tuotantoa luomaan yhteys keskusyksikön ja tietokoneen välille sekä asentamaan ennalta tehty ohjelma keskusyksikköön. Opastuksessa kerrotaan myös, kuinka mittaukset suorittava automaatioyksikkö saadaan sellaiseen tilaan, jossa sillä voidaan suorittaa tarvittavat testit. PDU:n tärkeä ominaisuus on sen helppo muunneltavuus. Tämän takia yksikön ohjelmointi on tehty toimimaan mahdollisimman monessa erilaisessa konfiguraatiossa. Koska ohjelmointiin joudutaan harvoin tekemään muutoksia, ohjeessa ei kerrota kuinka laitteen ohjelmointi tai hardware konfiguraatio toteutetaan.

7.1 Verkkoasetusten tarkastaminen

Kun laitteisto on valmiiksi kytketty ja mittauksia suorittavalle automaatioyksikölle saadaan virta, voidaan ohjelma ladata siihen. Ohjelmisto voidaan asentaa keskusyksikköön joko kaapelilla tietokoneesta tai asettamalla muistikortti, johon ohjelma on tallennettu, keskusyksikköön. Jotta ohjelma on ladattavissa tietokoneesta keskusyksikköön, on tietokone kytkettävä suoralla RJ45-verkkokaapelilla johonkin laitteesta olevista RJ45-liittimistä. Keskusyksikössä olevissa liittimissä syttyy vihreä ledi kun kaapeli on kytketty. Tämä vilkkuu oranssina, kun tietoa siirtyy laitteiden välillä.

Beckhoff-laitteiston tehdasasetuksilla olevissa keskusyksiköissä on päällä DHCP, jolloin niille ei ole määriteltyä IP osoitetta. Laitteisto valitsee vapaana olevan osoitteen sen kytkeytyessä verkkoon. Tietokoneen ja keskusyksikön välisen tiedonsiirron mahdollistamiseksi on myös tietokoneessa oltava DHCP-asetus päällä, jotta laitteistojen osoitteen olisivat samalla kuuntelu alueella. DHCP:n käytössä oleminen voidaan varmistaa menemällä tietokoneen control paneliin, josta valitaan network and internet, josta valitaan edelleen network connections. Network connections-ikkunasta avataan local area connections, jolloin aukeaa uusi ikkuna. Auenneessa ikkunasta löytyy lista, josta etsitään Internet Protocol Version 4 (TCP/IPV4), tuplaklikkaamalla listasta tätä saadaan auki seuraava ikkuna, josta tarkistetaan, että IP osoitteen automaattinen haku on päällä (obtain an IP automa-

tically). Internet protocol asetussivustosta saadaan advanced nappia klikkaamalla auki ikkuna, josta nähdään koneen DHCP tila. Varmistetaan että tietokoneen DHCP on enable tilassa. Jos tila ei ole enable, saadaan se vaihdettua valitsemalla edit. Verkkoasetusten tarkastaminen ja asettaminen esitetty kuvassa 19.

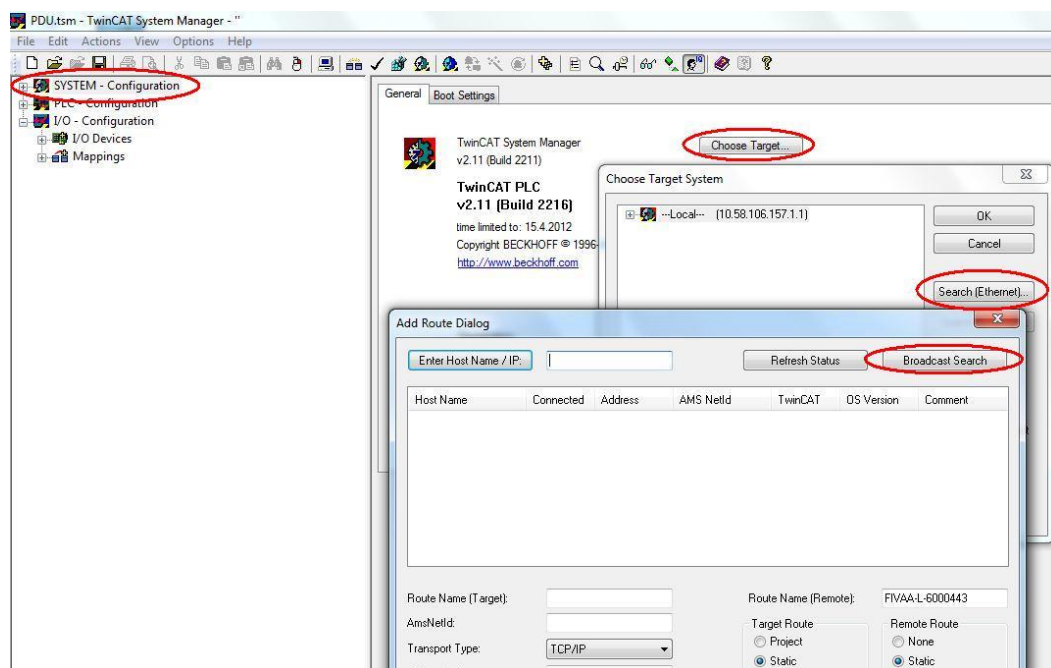


Kuva 19. Verkkoasetusten tarkastaminen

7.2 Ohjelman lataaminen keskusyksikköön

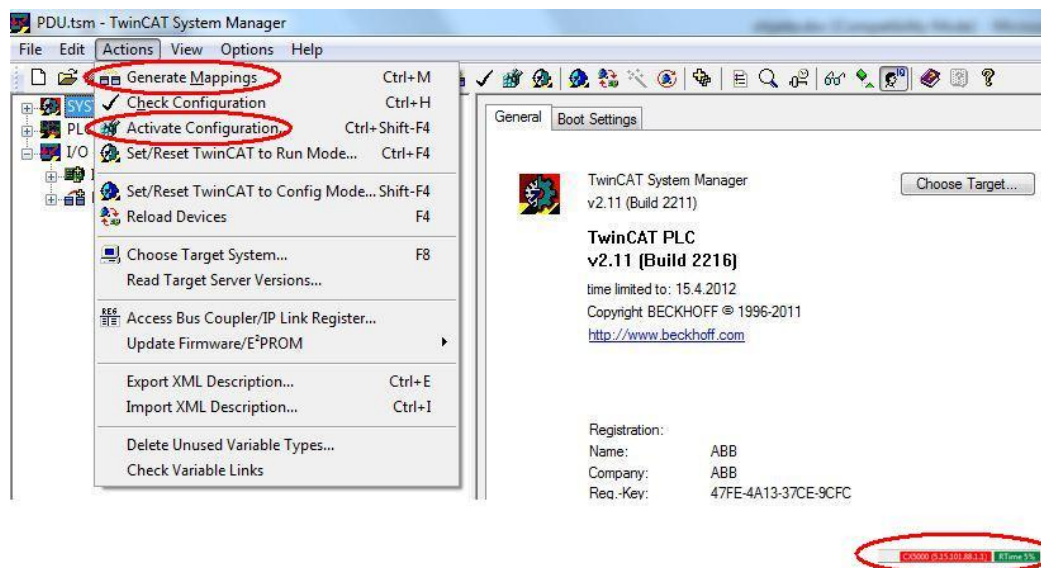
Kun verkkoasetukset ovat kunnossa, käynnistetään TwinCat System Manager-sekä PLC Control-ohjelmat. Avataan kummassakin ohjelmassa ohjelmat, jotka halutaan siirtää laitteistoon valitsemalla file ja open. Pro-loppuiset tiedostot aukeava PLC controlilla ja tsm loppuiset system managerilla. Valitaan kohde, johon ohjelmat halutaan asentaa systemmanagerissa valitsemalla ruudun oikeasta reunasta SYSTEM - Configuration jonka jälkeen valitaan Choose Target. Aukeavasta ikkunasta painetaan Search-nappia ja seuraavasta ikkunasta valitaan Broadcast Search. Löytynyt yksikkö saadaan lisätty valitsemalla se ja klikkaamalla add route. Password kentät jätetään tyhjiksi. Kun yhteys tietokoneen ja keskusyksikön välille on luotu, voidaan keskusyksikköä pyytää tarkistamaan siihen kytketyt I/O moduulit. Tarkistus saadaan tehtyä klikkaamalla hiiren oikealla napilla ruudun vasemmassa reunassa sijaitsevaa I/O Devices merkkiä. Avautuvasta valikosta valitaan scan-devices toiminto. Tämän jälkeen aukeavasta

ikkunasta valitaan EtherCAT I/O:t ja painetaan scan nappia. Keskusyksikön löytämät I/O moduulit saadaan esille avaamalla I/O-devices valikko kuvakkeen vieressä sijaitsevasta + merkistä. Seuraavaksi avataan Device 1 (EtherCAT) valikko, josta edelleen avataan Term 1 valikko jonka jälkeen laitteiston rakenne aukeaa tämän alle. Listassa näkyy I/O-moduulien nimet sekä niiden malli, listasta voidaan vertaamalla tarkistaa että kokoonpanot täsmäävät. Ohjelman lataamisessa tarvittavat kohdat o esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Keskusyksikön etsiminen

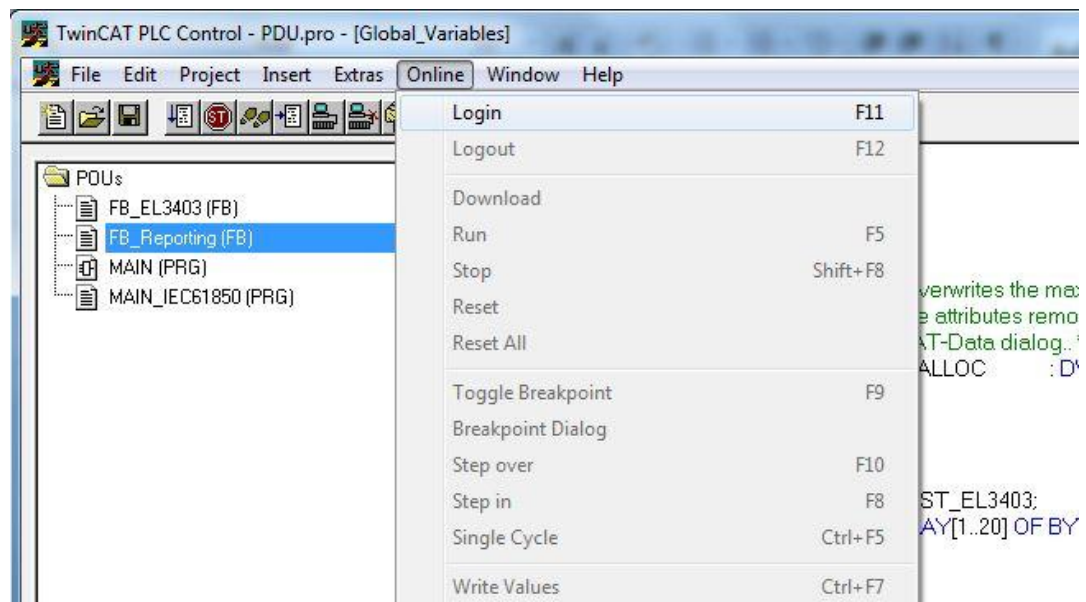
Ohjelma saadaan linkitettyä laitteistoon valitsemalla Actions valikosta Generate Mappings. Tämän jälkeen ohjelma voidaan aktivoida valitsemalla uudestaan Actions valikko ja sieltä Activate Configuration. Kun ohjelma on käynnissä, näkyy keskusyksikön nimi sekä osoite ohjelmaikkunan oikeassa alareunassa punaisella taustalla sekä keskusyksikön kuormitus tila vihreällä taustalla. Ohjelman aktivoiminen ja osoitteiden linkitys esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Ohjelman aktivoiminen

Kun ohjelma on käynnistetty System Managerissa, käynnistetään se myös PLC controllin puolella, jotta voidaan tarkastella laitteiston mittaamia skaalaamattomia arvoja. Ohjelma saadaan online-tilaan PLC controlissa valisemalla Online-valikko, josta valitaan login. Mikäli ohjelmaan joudutaan PLC controlin puolella tekemään muutoksia, on tämä rakennettava uudestaan, ennen kuin muutokset tulevat toimintaan keskusyksikössä. Jotta ohjelma saadaan rakennettua uudestaan, on se tallennettava ensin valitsemalla file-valikosta save tai painamalla disketi kuvaketta. Tämän jälkeen valitaan Project-valikosta build-toiminto ja tallennetaan ohjelma uudestaan.

Varmistaakseen, että muutokset PLC controlin puolelta siirtyvät myös System Managerin puolelle ladataan uusi PLC control-ohjelma System Manageriin klikkaamalla hiiren oikealla napilla vasemmassa reunassa olevaa PLC-Configuration valikkoa. Auvautuvasta valikosta valitaan Append PLC project-toiminto, jonka jälkeen avataan haluttu PLC-projekti. Kirjautuminen PLC controlissa online tilaan esitetty kuvassa 22.



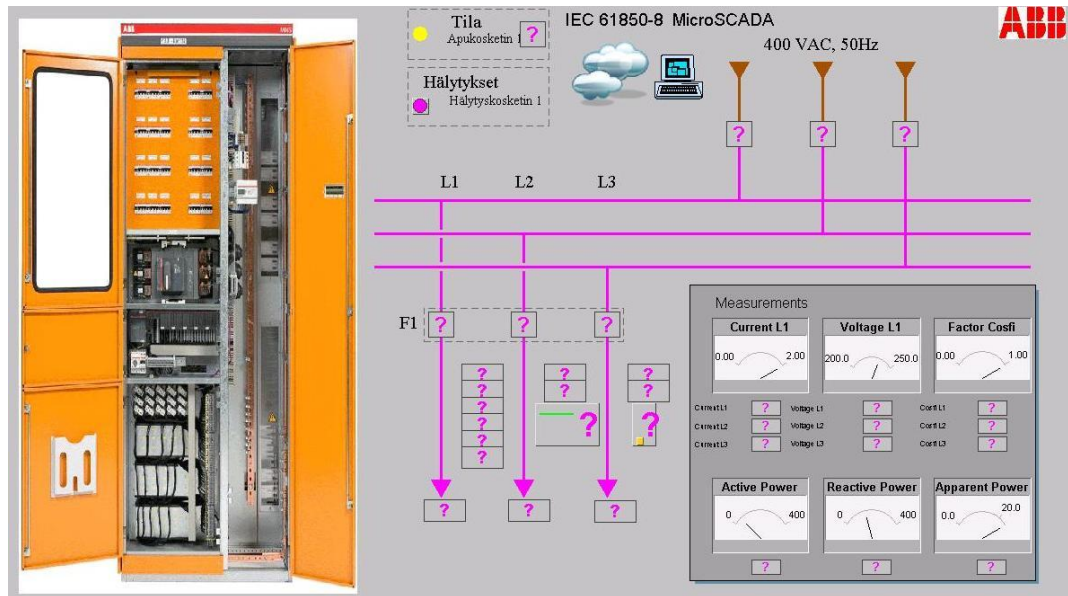
Kuva 22. PLC control kirjautuminen

8 PDULLE TEHTY SCADA SOVELLUS

Messukeskusta varten luotiin myös esimerkki, miltä PDUpron SCADA-sovellus voisi näyttää. Sovelluksen on tehnyt Osmo Isomäki ABB Substationilta käyttäen ABB:n MicroSCADA-ohjelmaa. Automaatioyksikön ja käyttöliittymän välinen yhteys on toteutettu käyttämällä IEC61850-8-tiedonsiirtoprotokollaa. Sovelluksessa on visualisoitu pääkoskettimen ja ensimmäisen ryhmälähdön kosketinten tilat. Koskettimia ei voida ohjata käyttöliittymällä.

Valitsemalla haluttu lähtö saadaan tämän mittaukset näkyviin myös pääkuvaan. Mitatut arvot esitetään mittareilla ja numeerisina arvoina. Ensimmäisen ryhmälähdön jokaisen vaiheen päähän on lisätty kulutusmittari, jossa vaiheen kuluttama energia on esitetty. Hälytyksen tullessa lähdöltä ilmoitetaan siitä punaisella varoitusvärillä. Apukoskettimen ollessa auki ilmoitetaan siitä näytöllä keltaisella huomio värillä.

Lähtöjen L1, L2 ja L3 viereen on tehty kolme mahdollista näkymää mittausarvoista, jotka voitaisiin esittää päänäytöllä. Lähdöllä L1 kaikki tiedot on esitetty numeerisessa muodossa. Lähdöillä L2 ja L3 tietoja on myös esitetty käyrämuodossa. SCADA sovelluksen avulla pystyttiin demonstroimaan PDUpron toimintaa TwinCat scope view-ohjelmaa paremmin. Myös CX5010 keskusyksikön tuoma IEC61850-tiedonsiirto-ominaisuuden toiminta saatiin esiteltyä kyseisen sovelluksen avulla. Mittaustulokset näkyvät kuvassa kysymysmerkkeinä, koska logiikka ei ole ollut kytkettynä liittymään, kun kuvankaappaus on tehty. Kuvassa 23 on esitetty esittelykojeiston SCADA-käyttöliittymä.



Kuva 23. PDUpron SCADA sovelluksen etusivu

9 YLLÄPITO JA TUOTEPÄIVITYKSET

PDUpron vähäinen huollon tarve sekä nopea ja helppo päivitettävyys kuormien kasvaessa ovat sen tärkeimpiä ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet pystyttiin säilyttämään myös Beckhoffin tuotteilla toteutetussa keskuksessa. Nopea ja helppo päivitettävyys saatiin toteutettua käyttämällä kaikissa lähdöissä aina keskuksen maksimisyötöille mitoitettuja mittalaitteita. Tällöin kun johdonsuojakatkaisijana toimiva smissline moduuli vaihdetaan suurempaan, voidaan virranmittauksessa edelleen käyttää samaa 60/1 virtamuuntajaa. Koska Ohjelmoinnissa virranmittaukseen perustuvissa laskelmissa on myös käytetty 60/1 suhdetta, ei myöskään automaatioyksikön ohjelmointi tarvitse päivitystä kuormituksen kasvaessa. Käyttöliittymässä käyttäjä joutuu kuitenkin päivittämään mahdolliset hälytysrajat uuden johdonsuojan asettamalle tasolle.

10 VIKADIAGNOSTIIKKA

10.1 Keskusyksikön viat

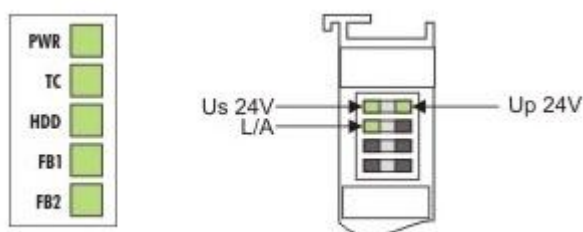
Mikäli yhteys keskusyksikköön katoaa tai dataa jää näkymättä rajapinnalta voidaan vian etsintä aloittaa keskusyksiköstä. Keskusyksikön etupaneelissa on 5 lediä, jotka indikoivat sen toimintaa. Ylin ledestä, joka on merkitty tekstillä PWR, syttyy, kun laite on kytketty aktiiviseen virtalähteeseen. Mikäli valo ei ole syttynyt, on keskusyksikkö ilman virtaa tai sen saama jännite on liian matala. Vian etsintä kannattaa aloittaa tarkistamalla virtalähteen sulake. Jos tämä on ehjä mitataan lähteen syöttämä jännite, jonka tulisi olla välillä 20,4 – 28,8 V DC.

TC-tekstillä merkitty ledi indikoi keskusyksikössä olevan ohjelman kiertoa. Valon ollessa vihreä on ohjelmakierto normaalisti käynnissä. Mikäli valo on punainen, on ohjelma stop-tilassa. Keskusyksikkö voidaan käynnistää uudelleen, jolloin ohjelmakierron pitäisi lähteä toimimaan. Ohjelman ollessa ohjelmointitilassa palaa valo sinisenä. Ohjelman kirjoittaessa järjestelmän flash-muistiin vilkkuu HDD-tekstillä merkattu ledi punaisena. Jos ohjelma ei pääse kirjoittamaan järjestelmän muistiin, voidaan muistikortin lukijan toimivuus testata asettamalla järjestelmään toimiva CF-muistikortti. Kortti sijaitsee keskusyksikön takana.

Alimmat 2 lediä merkattuna teksteillä FB1 ja FB2 indikoivat kenttäväylän toimintaa. Jos yhteys on toteutettu käyttämällä keskusyksikössä olevia RJ45-liittimiä, voidaan niiden indikaatioledeistä todeta onko yhteys edelleen olemassa ja tapahtuuko siinä tiedonsiirtoa. Liittimen vasemmassa reunassa on kaksi lediä joista ylempi ledi palaa keltaisena, kun portti on liitettynä verkkoon ja vilkkuu keltaisena kun portin kautta siirtyy dataa. Alempi ledi indikoi yhteyden nopeutta. Molemmat liittimet voivat toimia 10 / 100 / 1000 Mb/s siirtonopeudella. Yhteyden nopeuden ollessa 10 tai 100 Mb/s ledi palaa vihreänä ja nopeuden ollessa 1000 Mb/s valo on punainen.

Mikäli yhteys näyttöpäätteeseen on toteutettu useamman kytkimen tai muun laitteen kautta voidaan keskusyksikön portin toiminta varmistaa kytkemällä siihen suoralla verkkokaapelilla tietokone, jossa on toimiva verkkoyhteys. Kaikissa kes-

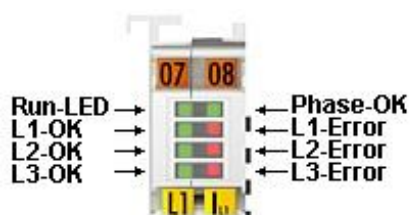
kusyksiköissä on mukana virranjakokortti, josta järjestelmä saa 2 A suuruisen virran EtherCAT-tiedonsiirtoa varten. Kortin yläosassa sijaitseva 2 ensimmäistä lediä palavat vihreänä, kun virta on kytketty oikein keskusyksikölle sekä I/O-moduuleille. Vasemman puoleinen valo indikoi keskusyksikön virransaantia ja oikeanpuoleinen EtherCAT-väylään liitettyjen moduulien virtaa. Toisena oleva vasemmanpuoleinen ledi indikoi EtherCAT-väylän toimintaa. Valo syttyy vihreäksi, kun väylä on kytketty ja vilkkuu vihreänä, kun väylällä on toimintaa. Kuvassa 24 on esitetty CX5010 keskusyksikön indikointiledit. /4/



Kuva 24. CX5010 keskusyksikön indikointiledit /4/

10.2 EL3403 tehonmittauskortti

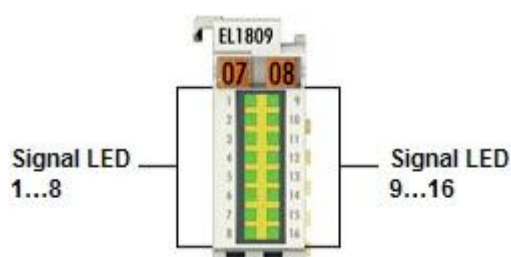
EL3403 tehonmittauskorteissa on kahdeksan lediä, jotka indikoivat kortin toimintaa ja siihen kytkettyjen tulojen tilaa. Ylin vasemmanpuoleinen ledi indikoi kortin toimintatilaa. Valon palaessa vihreänä on kortin toimintatila normaali ja prosessista mitattu tieto saatavana. Mikäli valo ei syty, on tarkistettava, että kortille väylätiedonsiirtoa varten virtaa syöttävä tehonjakoyksikkö on toiminnassa ja että kortilla on tarpeeksi virtaa saatavana. Ylin oikeanpuoleinen ledi indikoi vaihejärjestystä. Valon ollessa vihreä on vaiheet kytketty oikeassa järjestyksessä kortille. Seuraavat kolme lediriviä indikoivat tunnistaako järjestelmä siihen kytketyt vaiheet järjestyksessä L1, L2 ja L3. Järjestelmän tunnistaa siihen kytketyt jännitteet sekä nollopotentiaalin. Vasemmanpuoleinen valo syttyy kyseiselle vaiheelle vihreäksi. Mikäli vaihetta ei tunnisteta, ilmoittaa kortti siitä oikeanpuoleisella punaisella valolla. Mikäli vaihejärjestys on väärä tai jokin vaihe puuttuu, saadaan molemmissa tapauksissa myös tieto CPU:lle BOOLEan muuttujana. EL3403 tehonmittauskortin indikointiledit esitetty kuvassa 25. /6/



Kuva 25. EL3403 indikaatioledit /6/

10.3 EL1809 digitaalinen tulokortti

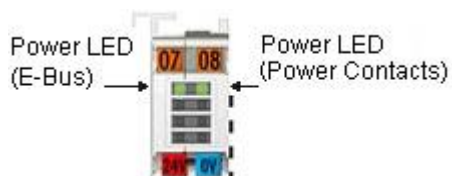
Kortin yläosassa on 16 vihreätä lediä, jotka indikoivat kortille tulevien kanavien tilaa. Kanavan tila on 0 ja valo sammuksissa, kun sille tuleva jännite on $-3 - 5$ V DC. Signaali muuttuu tilaan 1, kun sille tuleva jännite on $15 - 30$ V DC. Signaalin tilan ollessa 1 myös kanavan tilaa indikoiva ledi syttyy. Ohjelmapuolella digitaaliset tulokanavat on ohjelmoitu siten, että apu- tai hälytinkoskettimen ollessa kiinni on kanavan tila 1. Jos yksittäisen kanavan tila ei lähdön koskettimen asentoja muuttamalla muutu, on tarkistettava tulokanavalle tuleva jännite yleismittarilla. Jännite voidaan tarkistaa tulokanavan johtimesta ja nollapotentiaalia vasten. Mikäli yksikään kanavista ei toimi, on tarkastettava, että kortille tulee sen tarvitsema väylävirta. Digitaaliset tulokortit eivät voi olla lisättynä suoraan EL3403 tehonmittauskortin perään. Kuvassa 26 esitetty EL1809 digitaalitulokortin indikaatioledit. /7/



Kuva 26. EL1809 indikaatioledit /7/

10.4 EL9400

PDUssa EtherCAT-väylän tarvitsema virta on jaettu automaatioyksikössä EL9400 korteilla, joissa ei ole vikadiagnostiikkaa. Kortin yläosassa olevassa leditaulussa on käytössä 2 ylintä lediä sekä 3. rivin vasemman puoleinen ledi. Ylärivin ledit syttyvät vihreiksi, kun kortille on kytketty 24 V DC jännite. Vasemman puoleinen ledi indikoi EtherCAT-väylälle kytkettyä jännitettä ja oikeanpuoleinen I/O-tarvitsemaa virta syöttöä. Kun automaatioyksikköön on kytketty virta, tulee näiden aina olla vihreinä. Kolmannen rivin vasemman puoleinen vihreä valo indikoi kortin tilaa ja sen palaessa jatkuvasti on kortti normaalissa toiminta tilassa. EL9400 virranjakokortin indikaatioledit esitetty kuvassa 27. /8/



Kuva 27. EL9400 indikaatioledit /8/

11 YHTEENVETO

Insinööriyön lopputuloksena esittely ABB PDUpro-keskuksen mittaukset suoritettava automaatioyksikkö on päivitetty tehokkaampaan versioon. Uuden mittausyksikön avulla saa loppukäyttäjä halutessaan entistä enemmän informaatiota keskuksen syöttämistä kohteista. Käyttäjälle voidaan myös tarjota entistä laajempi valikoima tiedonsiirtovaihtoehtoja. Uudella esittely PDUprolla voidaan tuottaa ja sen tuomia lisäominaisuuksia markkinoida mahdollisille asiakkaille.

Työn suurimmat haasteet olivat vieraan TwinCat-ohjelman käytön opetteleminen sekä Beckhoffin uuteen laitteistoon tutustuminen. TwinCat-ohjelma osoittautui lopuksi hyvin selkeäksi ja käyttäjäystävälliseksi sovellukseksi. Kaikki työhön suunnitellut osiot saatiin suoritettua, vaikka osa jäi sisällöltään hieman kapeaksi. Tarkempi tarkastelu olisi kuitenkin johtanut siihen, että työstä olisi tullut insinööriyötä laajempi.

Esittely PDUprossa olevalle Beckhoffin tuotteilla toteutetulle mittausyksikölle pyrittiin myös löytämään vaihtoehtoisia ratkaisuja. Beckhoffin alun perin tarjoama kokoonpano CX5000-sarjan keskusyksiköllä osoittautui kuitenkin käyttökohteeseen parhaiten soveltuvaksi. Uusia ratkaisuja voitaisiin etsiä uudelleen kun Beckhoff julkaisee uusia tuotteita.

LÄHDELUETTELO

- /1/ ABB lyhyesti. Viitattu 16.1.2012.
<http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/4c7fb86040626fd9c2256b2000427c68.aspx>
- /2/ ABB Oy, Service | Intelligent Power Distribution Unit brochure 2010. Viitattu 16.1.2012.
- /3/ AC500 The System Advant Controller 500 online help. Document Revision V2.1.0 28.7.2011. Viitattu 21.1.2012.
[http://search-ext.abb.com/LibraryDownloadManager/Default.aspx?resource=http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/4c1baf0b40337445c12578ff003f7413/\\$file/2CDC125080M0204.zip](http://search-ext.abb.com/LibraryDownloadManager/Default.aspx?resource=http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/4c1baf0b40337445c12578ff003f7413/$file/2CDC125080M0204.zip)
- /12/ Beckhoff Automation GmbH Beckhoff New Automation Technology Main Catalog 2011 182 – 187
- /14/ Beckhoff Automation GmbH Documentation for Analog Input terminals version 2.1 19.1.2012. Viitattu 5.3.2012.
<http://download.beckhoff.com/download/Document/BusTermi/BusTermi/EL30xxen.chm>
- /7/ Beckhoff Automation GmbH Documentation for Digital HD Input Terminals version 1.3 21.9.2011. Viitattu 1.2.2012.
<http://download.beckhoff.com/download/Document/BusTermi/BusTermi/EL18xxen.chm>
- /6/ Beckhoff Automation GmbH Documentation for EL3403 3-phase power measurement terminal version 1.8 20.7.2011. Viitattu 1.2.2012.
<http://download.beckhoff.com/download/Document/BusTermi/BusTermi/EL3403en.chm>
- /8/ Beckhoff Automation GmbH Document for System and Function terminals version 1.9 11.1.2012 viitattu 1.2.2012.
<http://download.beckhoff.com/download/Document/BusTermi/BusTermi/EL9xxxen.chm>
- /4/ Beckhoff Automation GmbH Hardware documentation for CX5010 / CX5020 Embedded PC version 1.2 21.6.2011. Viitattu 1.2.2012.
http://download.beckhoff.com/download/Document/EPC/CX5000_HWen.chm
- /10/ Beckhoff Automation GmbH Hardware documentation for CX90x0 Ethernet controller version 2.5 22.10.2008. Viitattu 5.3.2012.
http://download.beckhoff.com/download/Document/EPC/CX9000_HWen.chm

/9/ Beckhoff Automation GmbH System Documentation version 3.0
27.10.2011. Viitattu 6.2.2012.
http://download.beckhoff.com/download/Document/BusTermi/BusTermi/Ethercat_System_en.chm

/5/ CX50x0 kuva. Viitattu 1.2.2012
http://www.beckhoff.com/images/pfeile/links_230.gif

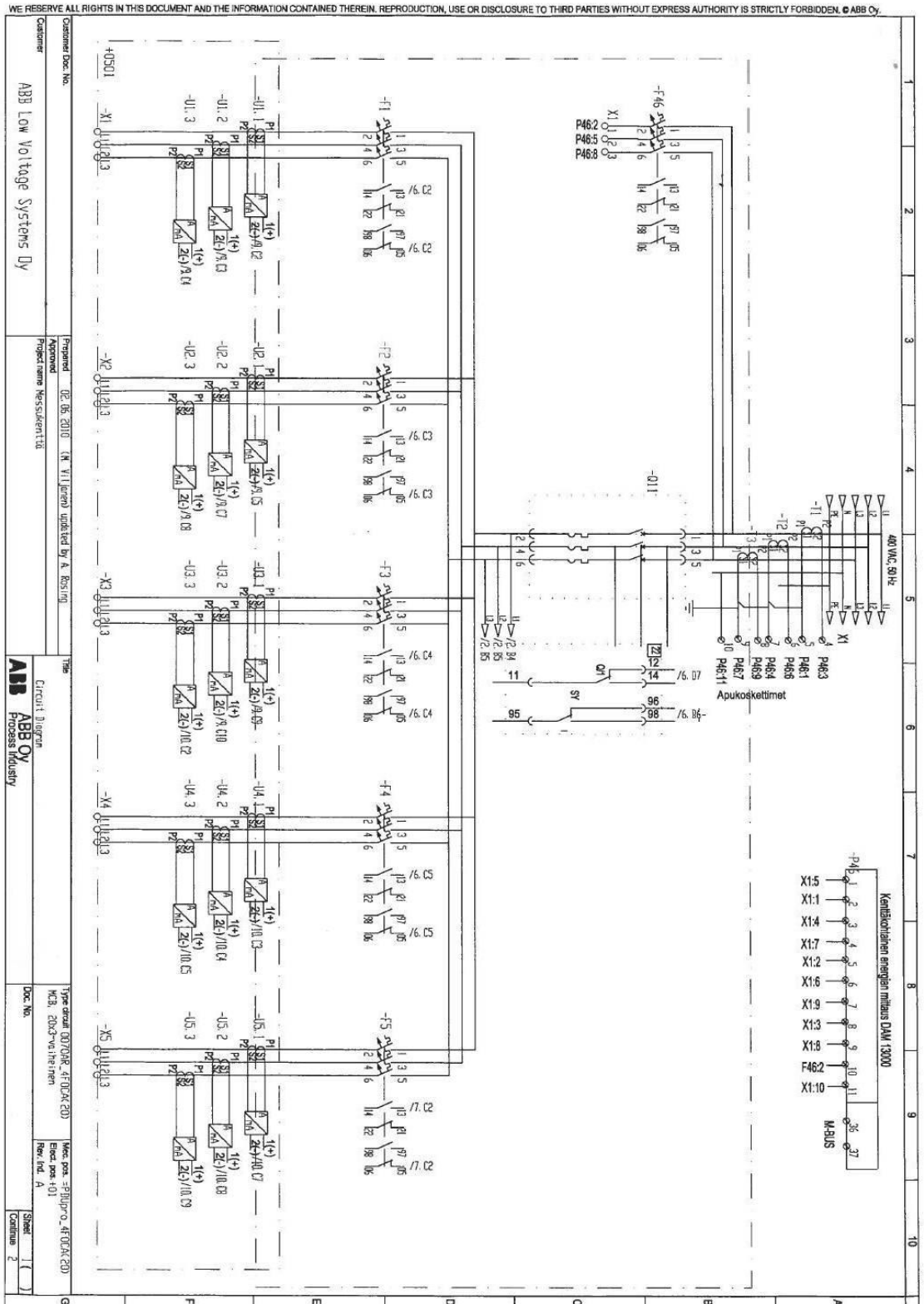
/13/ CX8010 kuva. Viitattu 5.3.2012.
http://www.beckhoff.com/images/embedded_pc/CX8010_web.jpg

/11/ CX9020 Datasheet. Viitattu 5.3.2012.
http://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/Embedded_PC/CX9020.pdf

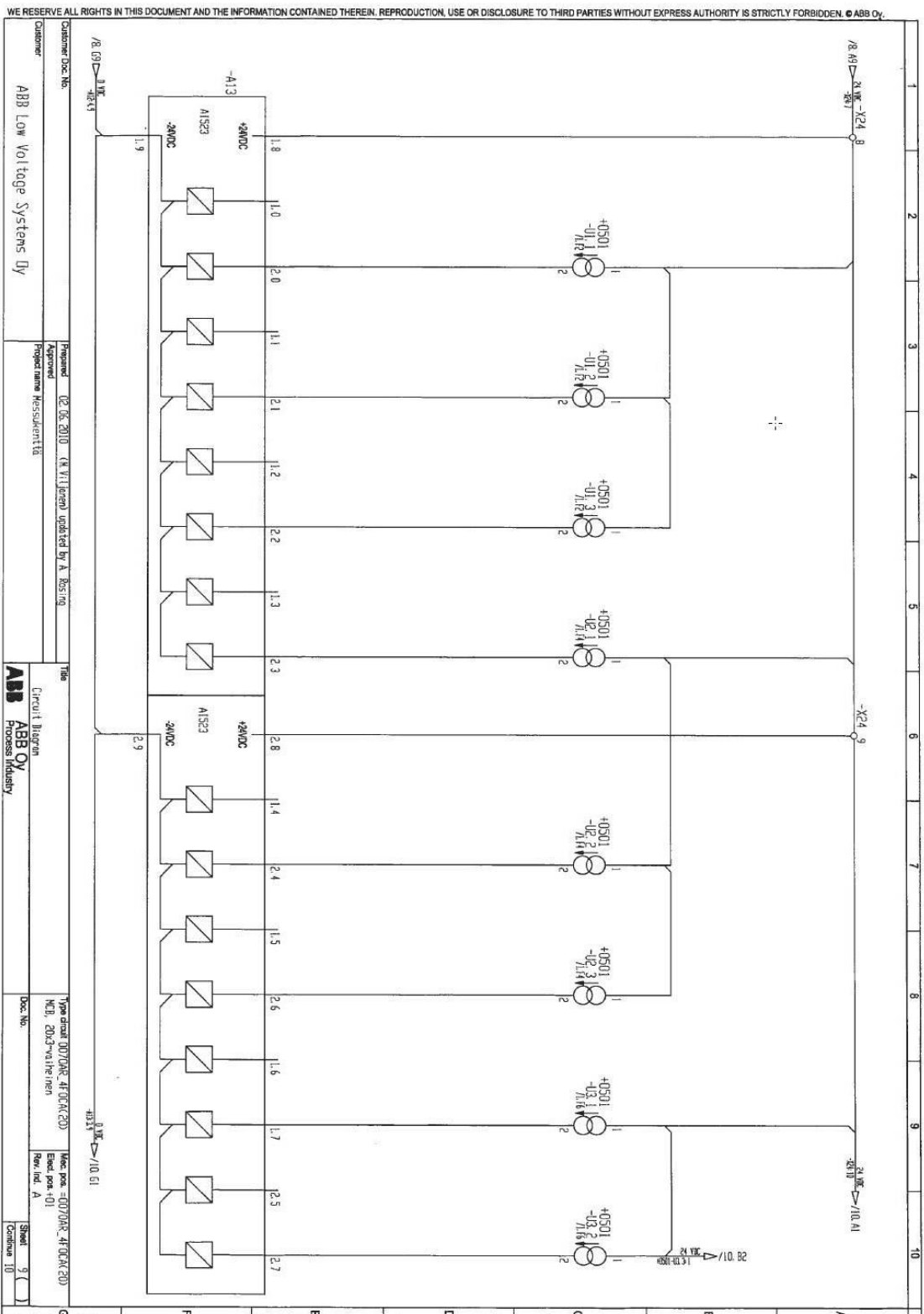
/17/ EFEN Low Voltage Current Transformers product infos 282. Viitattu 27.3.2012.
http://download.hager.com/efen.de/files_download/kataloge_en_2011/09_NW_Current_Transformer.pdf

/15/ EL3773 Datasheet. Viitattu 5.3.2012.
http://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/english/separate-pages/EtherCAT/EL3773.pdf

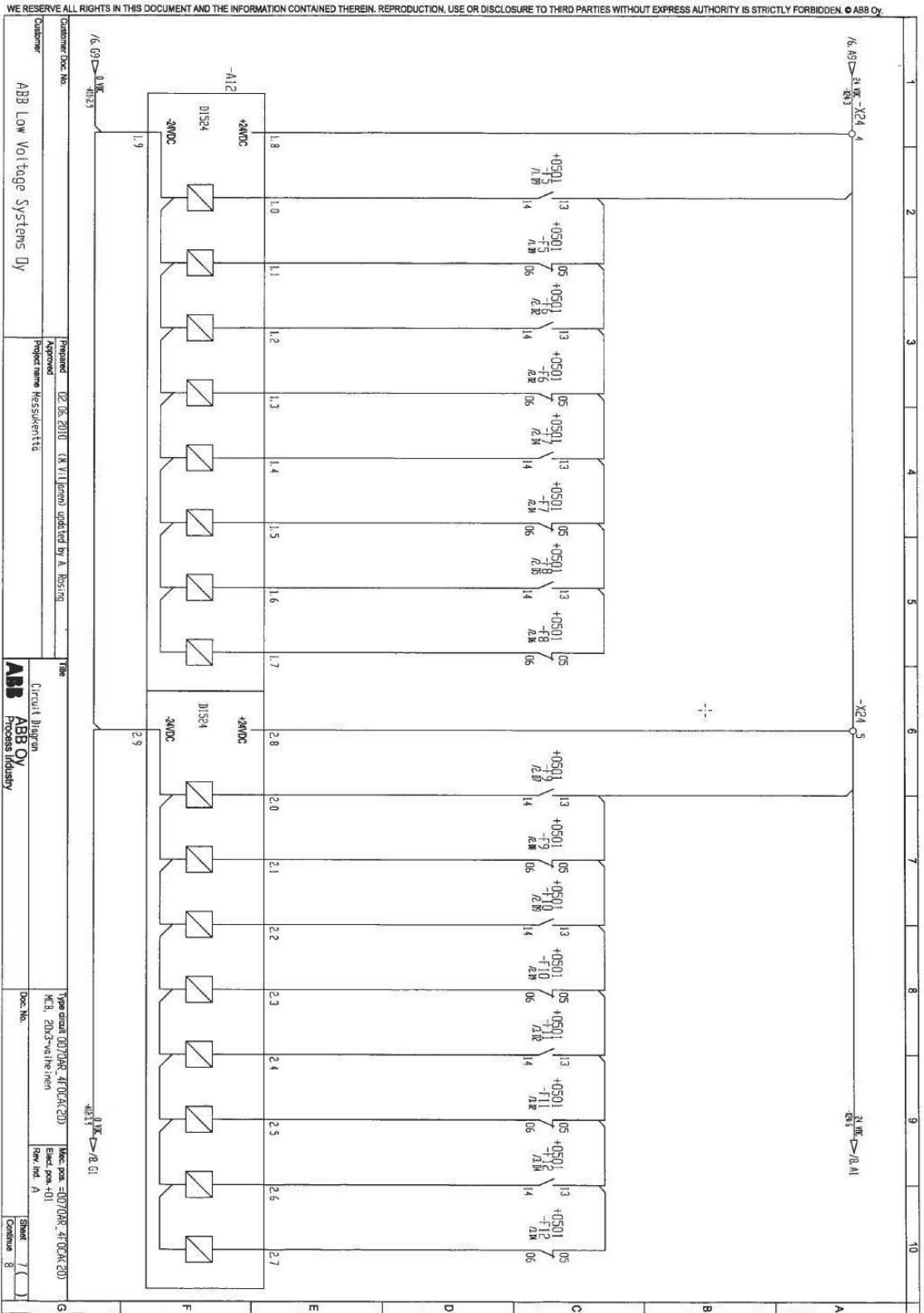
/16/ Lepistö, T. 2012. Vastaus tarjouskyselyyn työssä käsiteltävistä Beckhoffin tuotteista. Email t.lepisto@beckhoff.fi 22.3.2012.



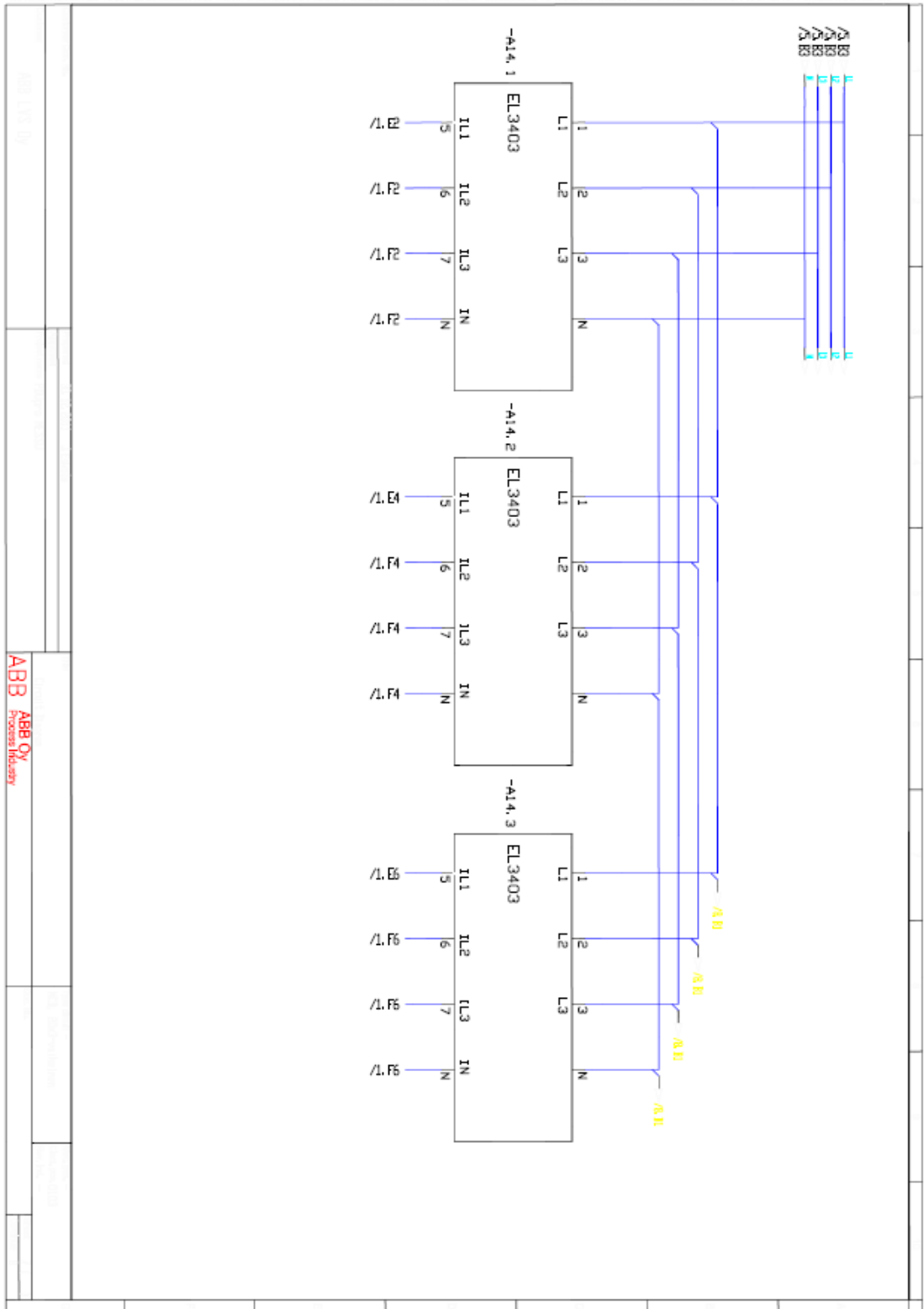
LIITE 2

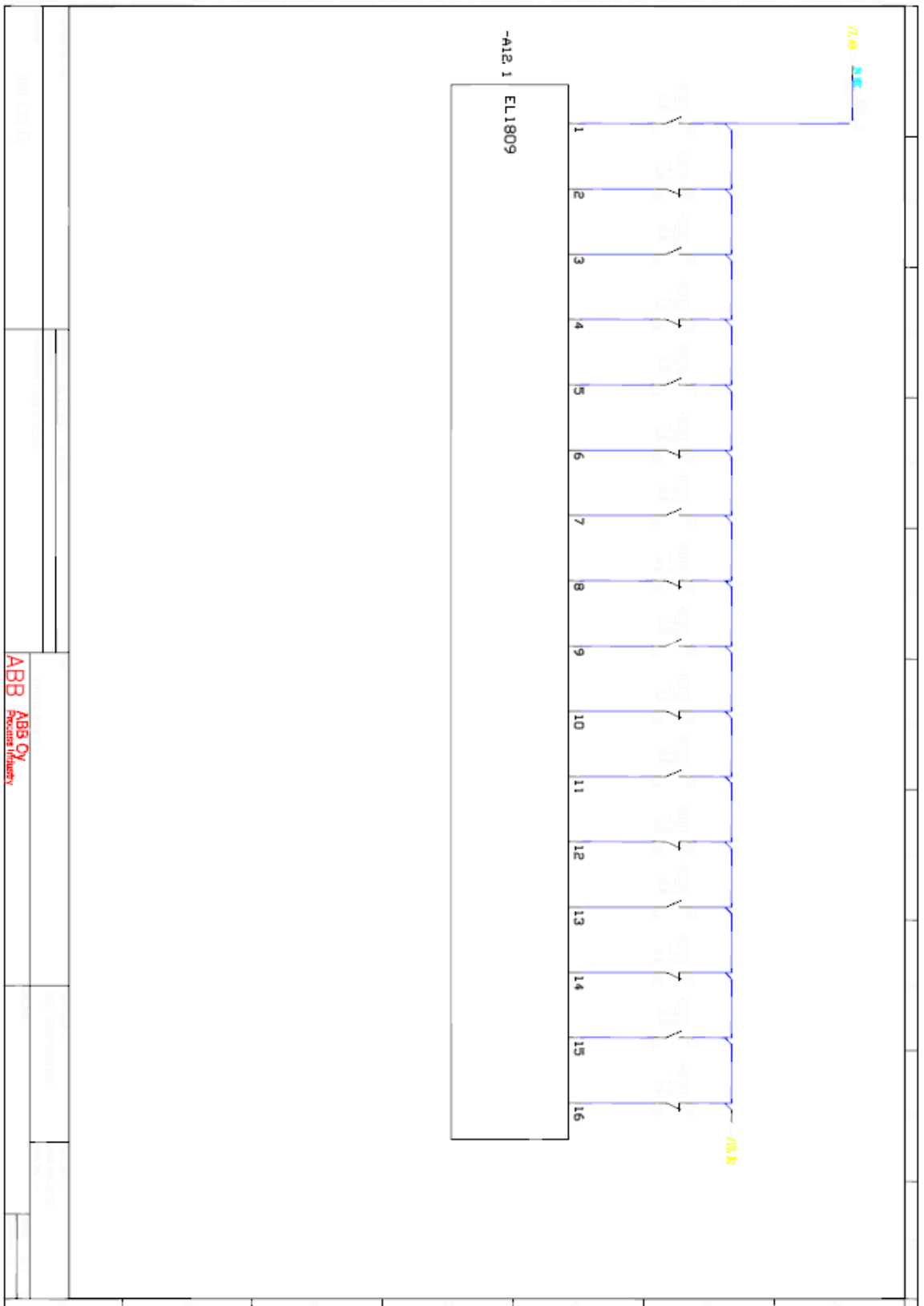


LIITE 3



LIITE 4





LIITE 6

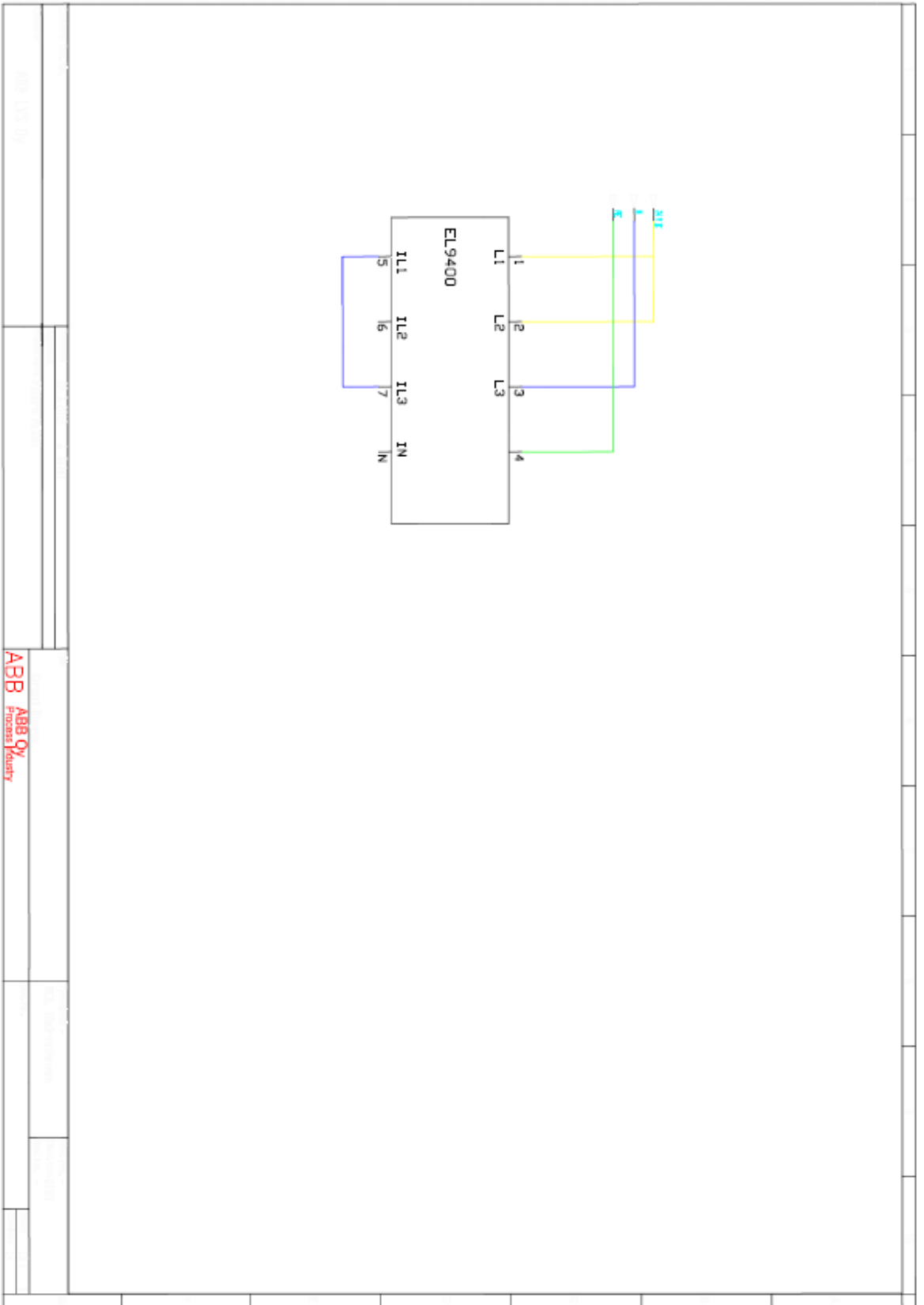
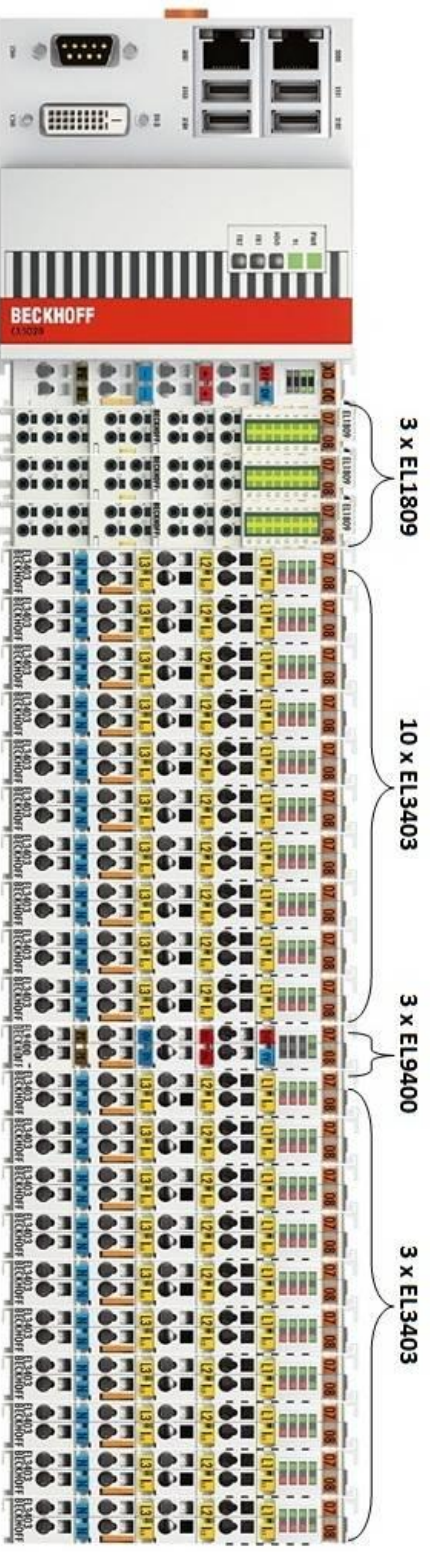


ABB
 Power and productivity
 for a better world™

MNS PDU Pro
 Intelligent Power Distribution Unit



- 
 EtherCAT
- 
 PROFINET
 BUS
- 
 CANopen
- 
 Ethernet/IP
- 
 PROFINET
 IRT

ABB
Power and productivity
for a better world™

MNS PDU Pro

Intelligent Power Distribution Unit

CPU	IEC61850	Profinet	Profibus	Ethernet	CANopen	Devicenet	Modbus	IEC60870-5-101/104	Vaihekohtainen tehomittaus	Hinta
CX5010	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X€
CX80xx		X	X	X	X	(L)	X	X	X	X€
CX9000		(L)	(L)	(L)	(L)	(L)	(L)	X	X	X€
CX9010	(X)	(L)	(L)	X	(L)	(L)	(L)	X	X	X€
CX9020	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X€

(L) Mahdollista lisämoduulin avulla (X) Mahdollinen mutta ei latevalmistajan suosittelema
Kommunikoitua varten tarvittavan lisämoduulin hinta (X – X€) ei mukaan lasketuna
CX80xx sekä CX9020 eivät vielä ole saatavilla

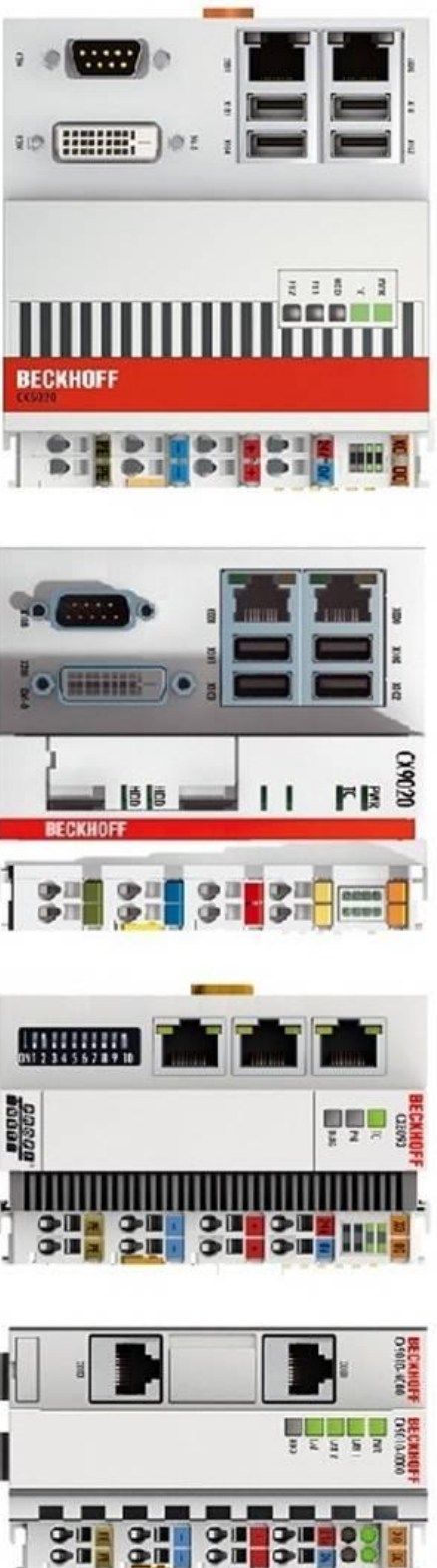


ABB
Power and productivity
for a better world™

MNS PDU Pro
Intelligent Power Distribution Unit

