

KOULUTUSLAITTEISTO

Case: Beckhoff Automation Oy

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Suunnittelupainotteinen mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Henri Hakamaa

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

HAKAMAA, HENRI:

Koulutuslaitteisto
Case: Beckhoff Automation Oy

Suunnittelupainotteisen Mekatroniikan

57 sivua

oppinnäytetyö

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa TwinCAT-ohjelmisto ja laitteistokoulutukseen soveltuvat koulutuslaitteistot Beckhoff Automation Oy:lle. Beckhoff järjestää kattavan määrän koulutuksia yrityksensä tiloissa tai vaihtoehtoisesti asiakkaan pyynnöstä, asiakkaan tiloissa.

Tavoitteena toteuttaa helposti kuljetettava ja nopeasti käyttöönotettava koulutuskokonaisuus joka soveltuu koulutuksiin Beckhoffin tiloissa sekä myös asiakkaan toivomassa sijainnissa. Laitteiston tulee täyttää Beckhoff Automation Oy:n tämänhetkiset koulutusvaatimukset sekä mahdollistaa laajennuksen myös tulevaisuuden koulutustarpeille.

Työn tuloksena rakennettiin kahdeksan kappaletta koulutuslaitteita Beckhoffin uudelle pääkonttorille Hyvinkäälle. Lisäksi yritykselle jätettiin arkistoituna tarpeellinen dokumentointi koulutuslaitteiden jatkotuotantoon. Raportissa tutustutaan suunnittelutyön eri vaiheisiin sekä järjestykseen, komponenttien valintaan sekä suunnittelijan kommunikointiin yhteistyökumppanien kanssa.

Asiasanat: koulutuslaitteisto, Beckhoff, TwinCAT-koulutus, EtherCAT- väylä, mekaniikka- ja sähkösuunnittelu.

Lahti university of applied sciences
Mechatronics

HAKAMAA, HENRI:

Beckhoff training demorack
Case: Beckhoff Automation Oy

Bachelor's Thesis in Mechatronics

57 pages

Spring 2015

ABSTRACT

The main task of this thesis was to design and produce a training demorack for Beckhoff Automation device and system training. Beckhoff provides large scale of trainings arranged in Beckhoffs office or at the customers own site.

Objective was to design and produce easily transportable and quickly bootable system for Beckhoffs TwinCAT and device training. In demand the device has to fulfill the present requirements of the training and also take into account future needs in training.

As a result, eight devices of demoracks were build for Beckhoffs headoffice in Hyvinkää. All the required documentation and plannings of rack were filed and delivered to Beckhoff for further production of the device.

This report gets acquainted with the different phases and arrangements of work in designing, selection of components and communication with cooperative partners.

Key words: Demorack, Beckhoff, TwinCAT training, E-bus, mechanical- and electrical design.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITE	2
3	BECKHOFF AUTOMATION OY	3
3.1	PC-pohjaista ohjausta	3
3.2	Beckhoff Suomessa	3
4	KOULUTUS (2015)	4
4.1	TwinCAT-standardikoulutukset (Beckhoff Suomi, 2015)	5
4.2	TwinCAT-erikoiskoulutukset (Beckhoff Suomi, 2015)	5
5	KOULUTUS- JA LAITTEISTOVAATIMUKSET	7
5.1	TC3 Peruskurssi	7
5.1.1	TC3 NC Liikkeenohjaus	8
5.1.2	TC3 TwinSAFE	9
5.2	TC2	9
5.3	EtherCAT	10
5.3.1	Redundancy	10
5.3.2	Fast Hot Connect	10
5.3.3	XFC	11
5.4	Koulutusluettelo	12
6	LAITTEISTO JA OHJELMISTO	14
6.1	Ohjelmisto	14
6.1.1	TwinCAT 3	14
6.1.2	TwinCAT 2	14
6.1.3	BA Framework	15
6.2	Digital input	16
6.3	Digital output	19
6.4	Analog input	22
6.5	Analog output	24
6.6	Liikkeenohjaus	26
6.7	TwinSAFE	28
6.8	EtherCAT	31

7	SÄHKÖSUUNNITTELU	34
7.1	Tehonlähde	35
7.2	Ohjauskaavio 1	37
7.3	Ohjauskaavio 2	38
7.4	Digitaaliset tulot: EL1008	39
7.5	XFC aikaleimalla	40
7.6	XFC oversampling	41
7.7	Analoginen XFC	42
7.8	Servokäyttö	43
7.9	Turvatulot TwinSAFE	44
7.10	Turvalähdöt TwinSAFE	45
8	MEKANIKKASUUNNITTELU	46
8.1	Komponenttien tilantarve	47
8.2	Asennuslevy	48
8.3	Sähkökomponentit	49
8.4	Runko	51
8.5	Tilantarpeen tarkastus	53
8.6	Prototyyppi	54
9	LAITTEISTON SUUNNITTELU JA YHTEISTYÖ	55
10	YHTEENVETO	56
	LÄHTEET	57

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa Beckhoff Automation Oy:n ohjelmointikoulutuslaitteisto. Työhön kuului laitteiston suunnitteleminen käyttäen 3D-piirustus- ja suunnitteluohjelmistoja, komponenttien valitseminen ja mitoittaminen sekä tarjouspyyntöjen ja tilausten toteuttaminen.

Beckhoff järjestää TwinCAT koulutuksia toimistotiloissaan sekä koulutustilaisuuksia asiakkaiden tiloihin. Koulutuslaitteisto koostuu yhdeksästä identtisestä demolaitteesta, joista koulutustilaisuudessa yhtä operoi kouluttaja ja koulutettavat toteuttavat harjoitukset omalla demolaitteellaan.

Vaatimuksina koulutuslaitteistolla tulee pystyä toteuttamaan yrityksen tämänhetkiset koulutustarpeet, laajennettavuus tulevaisuudessa koulutuksen sisällön muuttuessa, helppo liikuteltavuus ja käyttöönotto koulutustilan vaihtuessa sekä helppo muokattavuus soveltumaan tarvittaessa erikoisempaan koulutuskokoonpanoon. Työ aloitettiin tutustumalla Beckhoffin koulutusohjelmaan, kartoittamalla Twincat koulustilaisuuksien vaatimuksia yhdessä koulutusvastaavien kanssa ja tutustumalla koulutusmateriaaliin sekä arvioimalla tulevaisuuden kehitystarpeita.

Koulutuslaitteista rakennetaan ensin yksi prototyyppi, jonka pohjalta toteutetaan loppuerä. Edeltävän koulutuslaitteiston kapasiteetti ei ollut enää riittävä koulutustarpeisiin sekä liikuteltavuudessa oli puutteita. Uusiin demolaitteisiin lisätään myös servomootorit ja ohjaimet sekä huomattavasti lisää kortteja väylämaisessä kokoonpanossa. Tämä tuottaa lisähaasteita laitteiden tilankäyttöä suunniteltaessa.

2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS JA TAVOITE

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja tuottaa erä koulutuslaitteistoja sekä tuottaa dokumentointi jatkotuotannolle, laitteistolle, joka soveltuu Beckhoff Automation Oy:n tämänhetkiseen laitteistokoulutukseen sekä mahdollistaa laajennuksen myös tulevaisuuden koulutustarpeille.

Laitteisto tulee olla helposti kuljetettava ja nopeasti käyttöönotettava koulutuskokonaisuus joka soveltuu koulutuksiin Beckhoffin tiloissa sekä myös asiakkaan toivomassa sijainnissa.

Koulutuslaitteiston vaatimuksia:

- koulutusvaatimusten täyttäminen
- helppo ja turvallinen liikuteltavuus
- käyttömukavuus
- monipuolisuus ja mukautettavuus
- mahdollinen laajennettavuus
- komponenttien turvallinen ja asiallinen sijoittelu
- pieni koko ja paino
- helppo tuotettavuus ja kokoonpano

3 BECKHOFF AUTOMATION OY

Beckhoff toimittaa automaatiojärjestelmiä, jotka pohjautuvat PC-pohjaiseen ohjaustekniikkaan. Tuotevalikoimaan kuuluvat muun muassa kenttäväyläkomponentit, liikkeenohjaustuotteet, teollisuus-PC:t ja ohjauspaneelit sekä automaatio-sovelluksien ohjelmistot. Eri ryhmien tuotteita voidaan käyttää erillisinä komponentteina, tai ne voidaan integroida täydellisiksi ohjausjärjestelmiksi. Beckhoffin tuotteita ja järjestelmäratkaisuja käytetään maailmanlaajuisesti monenlaisissa sovelluksissa nopeista työstökeskuksista aina älykkääseen rakennusautomaatioon. (Beckhoff 2015. a)

3.1 PC-pohjaista ohjausta

Beckhoffin PC-pohjainen ohjaustekniikka yhdessä väyläterminaalien ja TwinCAT-automaatio-ohjelmiston kanssa ovat tulleet yleisesti hyväksytyiksi korkean suorituskyvyn vaihtoehtoiksi perinteiselle ohjaustekniikalle. Reaaliaikainen Ethernet-ratkaisu, EtherCAT mahdollistaa korkean suorituskyvyn ja edistyksellisyyden uuden sukupolven ohjauskonsepteille. (Beckhoff 2015. a)

3.2 Beckhoff Suomessa

Beckhoff Suomen pääkonttori on Hyvinkäällä. Haarakonttorit sijaitsevat Tampereella, Seinäjoella ja jatkossa Tallinnassa. Tällä hetkellä Viron aluetta hoidetaan Hyvinkään konttorin toimesta.

Kaikissa Beckhoff Suomen konttoreissa on myynti, tekninen tuki, koulutus, tuotekehitys, sovellukset ja huolto edustettuna. Näiden lisäksi Hyvinkäällä sijaitsee Beckhoff-komponenttien varasto.

4 KOULUTUS (2015)

Opinnäytetyön aiheena suunniteltava koulutuslaitteisto pohjautuu olennaisesti Beckhoff Automation Oy:n järjestämiin koulutustilaisuuksiin. Koulutustilaisuudessa pääsääntöisesti sekä kouluttaja että kurssiin osallituvat käyttävät saman kokoonpanon koulutuslaitteistoja. Koulutuslaitteisto suunnitellaan täyttämään Beckhoffin tämänhetkinen koulutustajonta sekä huomioidaan tulevaisuuden laajennustarpeet.

Beckhoff tarjoaa laitteisto- ja ohjelmistokoulutusta muun muassa TwinCAT-ohjelmistolle sekä erilaisille laitekokoonpanoille. Koulutusta pidetään Beckhoffin toimistotiloissa tai asiakkaan pyynnöstä, asiakkaan luona. Myös muita koulutuksia, kuten kenttäväyläohjelmointia, väyläterminaalien konfigurointia ja väylän, rakentamista järjestetään asiakkaan pyynnöstä.

Koulutuksen luonne, sisältö sekä laitteisto myös vaihtelevat koulutuskohtaisesti. Tilanteissa, joissa koulutusta järjestetään yrityksen työntekijöille, projektiin valmistautuessa voidaan kurssilla pyrkiä paneutumaan projektiin liittyviin sisältöihin. Koulutusta järjestetään suomen kielellä, ja kurssille otetaan noin 6 - 8 osallistujaa. Koulutusmateriaali on pääosin englanninkieleinen.

4.1 TwinCAT-standardikoulutukset (Beckhoff Suomi, 2015)

Seuraavaksi käydään läpi Beckhoff Automation Oy:n koulutustarjonta TwinCAT-standardikoulutuksiin. Koulutustarjonta löytyy yrityksen kotisivuilta. (Beckhoff 2015. a)

TwinCAT 3 Peruskurssi	
Kesto:	2 päivää
Kohderyhmä:	Henkilöt, joilla ei ole aikaisempaa kokemusta TwinCAT-järjestelmistä.
Kursilla käydään ohjelmointiharjoitusten avulla läpi TwinCAT 3 -järjestelmän työkalujen ja ominaisuuksien käyttö.	

TwinCAT 3 NC Liikkeenohjauskurssi	
Kesto:	2 päivää
Kohderyhmä:	Henkilöt, joilla on perustietämys TwinCAT-järjestelmistä (esim. TwinCAT 2/3 peruskurssi)
Kursilla käydään ohjelmointiharjoitusten avulla läpi TwinCAT NC -järjestelmän perusteet sekä AX5000-servovahvistimen tärkeimmät ominaisuudet.	

TwinCAT 3 TwinSAFE –kurssi	
Kesto:	1 päivä
Kohderyhmä:	Henkilöt, joilla on perustietämys TwinCAT-järjestelmistä (esim. TwinCAT 2/3 peruskurssi)
Kursilla käydään ohjelmointiharjoitusten avulla läpi TwinSAFE -järjestelmän perusteet.	

4.2 TwinCAT-erikoiskoulutukset (Beckhoff Suomi, 2015)

Seuraavaksi käydään läpi Beckhoff Automation Oy:n koulutustarjonta TwinCAT-erikoiskoulutuksiin. Koulutustarjonta löytyy yrityksen kotisivuilta. (Beckhoff 2015. a)

TwinCAT 3 Uudet ominaisuudet (TwinCAT 2 - TwinCAT 3 Upgrade)

Kesto: 1 päivä

Kohderyhmä: Henkilöt, joilla on aikaisempaa kokemusta TwinCAT 2-järjestelmästä ja ovat siirtymässä TwinCAT 3:een.

Kurssilla käydään läpi TwinCAT 3 -järjestelmän työkalujen ja uusien ominaisuuksien käyttö.

TwinCAT 2 Peruskurssi

Kesto: 2 päivää

Kohderyhmä: Henkilöt, joilla ei ole aikaisempaa kokemusta TwinCAT-järjestelmästä.

Kurssilla käydään ohjelmointiharjoitusten kautta läpi TwinCAT 3 -järjestelmän työkalujen ja ominaisuuksien käyttö.

TwinCAT ADS: Liitynnät muihin ohjelmistoihin

Kesto: 1 päivä

Kohderyhmä: Henkilöt, jotka suunnittelevat käyttöliittymiä tai muita liityntöjä TwinCAT-järjestelmiin.

Kurssilla käydään läpi TwinCAT Ads.NET -rajapinnan perusperiaatteet. Kurssiharjoitukset tehdään Microsoft Visual Studiolla (C#)

EtherCAT-Kenttäväylä pintaa syvemältä

Kesto: 1 päivä

Kohderyhmä: Henkilöt, jotka tekevät sovelluskehitystä TwinCAT-järjestelmällä.

Kurssilla käydään läpi EtherCAT-kenttäväylän toimintaperiaate sekä diagnostiikka. Harjoituksina mm. redundanttinen kytkentä, **XFC**, **Hot Connect**.

TwinCAT Huoltokoulutus

Kesto: 1 päivä

Kohderyhmä: Esimerkiksi huoltomiehet tai asentajat, jotka eivät tee varsinaista sovelluskehitystä, mutta tarvitsevat perustietämyksen esim. vianetsintään.

Kurssilla käydään läpi TwinCAT-järjestelmän perusperiaatteet sekä diagnostiikka. Käytännössä kurssi on kevennetty versio TwinCAT-peruskurssista

5 KOULUTUS- JA LAITTEISTOVAATIMUKSET

Ennen koulutuslaitteiston mekaanista suunnittelua perehdytään koulutuksiin sekä niiden koulutuskalustolle asettamiin vaatimuksiin. Laitteisto valitaan yhdessä koulutushenkilökunnan kanssa. Perustaa tarvittavalle laitteistolle löytyy aikaisemmista koulutuslaitteista ja koulutustilaisuuksista.

Edellinen versio koulutuslaitteistosta sisältää Windows-käyttöjärjestelmällä toimivan sulautetun CX-PC:n digitaalisella ja analogisella I/O:lla sekä TwinSAFE PLC:n tarvittavilla tulo- ja lähtökorteilla. CX-logiikkaan yhdistetään näyttö, näppäimistö ja hiiri ja harjoitukset toteutetaan koulutuslaitteiston käyttöliittymässä. Liikkeenohjausharjoitukset on toteutettu kytkemällä erillinen AX5000-servo-ohjain CX-logiikkaan.

Uuden laitteiston suunnittelussa tavoitteena on luoda monipuolinen ja mukautettava koulutuskokonaisuus. Tavallisten prosessitason I/O-korttien lisäksi tontukseen haluttiin tuoda digitaaliset ja analogiset korkean taajuuden XFC-tulo- ja lähtökortit, ja näiden myötä laitteisto myös kasattaisiin väylämäiseen kokoonpanoon. Uudessa laitteistossa myös liikkeenohjausharjoitukset toteutetaan samassa kokoonpanossa. Servo-ohjaimen ja servomootorin liittäminen samaan kokoonpanoon vaatii Beckhoffin kompaktia servo-ohjaustekniikkaa. Liikuteltaviin koulutuskokoonpanoihin liitettävä servolaitteisto aiheuttaa kuitenkin laitteiston sekä tehontarpeen vuoksi tilankäyttöllisiä haasteita.

5.1 TC3 Peruskurssi

TwinCAT 3 ohjelmiston peruskurssi perustuu pääsääntöisesti TwinCAT 3 ohjelmiston työkalujen ja ominaisuuksien käyttöön, laitteiston kofigurointiin ja yksinkertaisiin ohjelmointiharjoituksiin. Simuloitujen tulo- ja lähtömoduulien lisäksi on kurssilla käytössä myös digitaaliset ja analogiset terminaalit.

- Twincat 3 XAE (engineering) ohjelmisto

Fyysisiä tulotietoja digitaalisena laitteistoon tulee kuusi kappaletta keinuvipukytkimiltä, joista kolme liitetään tulokortille, loput tuloista jätetään varalle. Digitaalisia lähtöjä ei kytketä fyysisesti ohjaamaan mitään, vaan lähtöjen tila korteilla ilmoitetaan merkkivaloilla. Lähdöt voidaan myös halutessa kytkeä ohjaamaan ulkopuolisia laitteita tai hyyttää tulokorttiin.

- Digital input, 8 tuloa (EL1008)
- Digital output, 8 lähtöä (EL2008)

Analoginen lähtökortti yhdistetään paneelimitariin, joka osoittaa lähdön jännitteen alueella $\pm 10V_{dc}$. Analogista tulokorttia ohjataan potenttiometrillä, jolloin sille voidaan antaa tehtäviä esimerkiksi servomoottorin nopeusohjauksessa. Tulokortissa toinen kanava jää varalle erillisille analogisille toimilaitteille, kuten lämpötila-anturille tai paineanturille.

- Analog input, 2 tuloa (EL3102)
- Analog Output, 2 lähtöä (EL4132)

5.1.1 TC3 NC Liikkeenohjaus

TwinCAT 3-liikkeenohjauskurssilla käytetään laitteistona yhden kaapelin kompaktia EtherCAT-servo-terminaalia sekä servomoottoria. Kurssilla tutustutaan liikkeenohjauksen toimintoihin TwinCAT 3 -ympäristössä. Liikkeenohjauksen konfigurointi ja linkittäminen ohjelmistoon tapahtuu TwinCAT 3-käyttöliittymässä Motion-välilehdellä. Servotermiinaali yhdistetään EtherCAT-terminaaliasemaan, johon servomoottori liittyy yhdellä kuusijohtimisella kaapelilla.

Liikkeenohjauskurssilla toteutetaan liikkeenohjausharjoituksia. Servomoottorille ja sen ohjaukselle sekä uselle arvolle voidaan kursseilla antaa ehtoja käytettävissä olevilta digitaalisilta sekä analogisilta

tulotiedoilta. Myös simuloituja tuloja ja ohjelmistoja voidaan käyttää liikkeenohjaus harjoituksissa.

- EtherCAT-servoterminaali (EL7201-0010)
- Servomoottori (AM8121-0F21)

5.1.2 TC3 TwinSAFE

TwinCAT 3 TwinSAFE- turvaohjelmiston sekä turva I/O käyttö kurssi. Kurssilla perehdytään TwinSAFE- turvaohjelmiston ja terminaalien konfigurointiin sekä ohjelmointiin. Käytössä kurssilla on TwinSAFE- turvalogiikka sekä turvatulot ja -lähdöt.

Kurssilla harjoitellaan turvalogiikan ohjelmointia. Turvalaitteina ohjelmoinnissa käytetään hätäseis-painiketta, hätäseis-kuittausta sekä kontaktorin kärkitietoja. Ulkopuolisia turvalaitteita voi haluttaessa kytkeä varalla oleviin tuloihin. Lähtökortilla havainnollistetaan turvaohjelmiston toimintaa ohjaamalla servomoottorin syöttöjen kontaktoria.

- Turvalogiikka, TwinSAFE (EL6900)
- Digital input, 4 tuloa, TwinSAFE (EL1904)
- Digital output, 4 lähtöä (EL2904)

5.2 TC2

TwinCAT 2-ohjelmiston käyttökurssi perustuu pääsääntöisesti TwinCAT 2-ohjelmiston työkalujen ja ominaisuuksien käyttöön. Simuloitujen tulo- ja lähtömoduulien lisäksi käytössä on myös digitaaliset ja analogiset terminaalit. Kurssin sisältö ja laitteisto vastaavat koulutuksen sisällöllisesti uudemman version TwinCAT 3- kurssia.

Käyttöliittymästä sekä TwinCAT ohjelmistosta tehdään IMAGE- tiedosto SD-muistikortille jolloin ohjelmistojen vaihto suritetaan nopeasti korttia vaihtamalla

- Twincat 2 XAE (engineering) ohjelmisto

5.3 EtherCAT

EtherCAT- Kurssilla käydään läpi EtherCAT-kenttäväylän toimintaperiaate sekä diagnostiikka. Koulutuslaitteisto on rakennettu väylämäiseen kokoonpanoon, jossa väylän rakenne on myös mukautettavissa. EtheCAT väylärakennetta tutkittaessa käytössä ovat harjoituskohtaisesti tarvittavat väyläliityntä-terminaalit.

Laitteisto on jaettu useaan väyläasemaan väyläterminaalien avulla. Terminaalien väyläliityntäpisteet ovat käyttäjän ulottuvissa ja väylän rakenne käyttäjän valittavissa EtherCAT-kaapelien paikkaa vaihtamalla.

5.3.1 Redundancy

Tutkitaan EtherCAT-väylän redundanttisuutta eli sitä, kuinka hyvin verkko pystyy toimimaan häiriötapauksissa. Väylän redundanttisuutta ja sen vaikutuksia kyetään testataamaan katkaisemalla väyläterminaalien yhteys EtherCAT-väylään.

- EtherCAT-väyläterminaali (EK1100)
- EtherCAT-pääteterminaali (EK1110)

5.3.2 Fast Hot Connect

Testataan FHC-väyläterminaalien (Fast Hot Connect) toimintakykyä väylän rakennustilanteessa. Väylän ylösajon nopeus riippuu väylätologiasta, liittyvistä laitteista sekä hajauttujen kellojen määrästä (distributed clocks). Väylän yhteyden ja kommunikation saavuttaminen voi normaalitilanteessa viedä useita sekunteja kun taas FHC- tekniikalla voidaan väylän toimintakunto saavuttaa alle sekunnissa.

Väylän ylösajon testaamiseen käytetään FHC- ominaisuuksellisia väyläterminaaleja, joiden syöttöjännitettä katkotaan käyttäjän toimesta kytkimen avulla. Väylän toimintakunnon nopeutta voidaan testata

esimerkiksi ohjelmoimalla väylän ohjainlaitteen ilmoittamaan toimintavalmiutensa lähtöviestillä.

- EtherCAT FHC väyläliitinterminaali (EK1122-0080)
- EtherCAT FHC väyläterminaali (EK1101-0080)

5.3.3 XFC

Testataan Beckhoff XFC-teknologian (eXtreme Fast Control Technology) toimivuutta ja I/O toimitusnopeutta. XFC- tekniikassa näytetaajuutta kasvatetaan kertomalla taajuutta EtherCAT-väylän normaalin kiertosyklin sisällä.

Ethercat tiedonsiirtonopeus: 2x100 miljoonaa bittiä sekunnissa.

Päivitysaika:

- 256 digitaalista I/O:ta 11 mikrosekunnissa
- 1000 digitaalista I/O:ta 30 mikrosekunnissa hajautettuna 100 asemaan
- 12000 digitaalista I/O:ta 350 mikrosekunnissa
- 200 analogista I/O:ta (16bittiä) 50 mikrosekunnissa 20kHz näytetaajuudella
- 100 servoakselia (jokaisella 8 bittiä tulo ja lähtö) 100 mikrosekunnissa

EtherCAT-väylässä tiedonsiirtonopeudet ovat suuret verrattuna muihin yleisesti käytössä oleviin kenttäväyliin, ja yhdistettynä XFC- tekniikan laitteisiin voidaan saavuttaa alle 100µs:n vasteaika järjestelmän ja kenttälaitteiden välillä. Väylän vasteaikaa testataan nopeataajuuksisilla digitaalisilla ja analogisilla XFC tulo- ja lähtökorteilla. (infosys.beckhoff 2015. b)

XFC-tulo- ja lähtökortit liitetään kommunikoimaan keskenään jolloin vasteaikaa sekä toimintanopeutta ja tarkkuutta voidaan tarkastella koulutuksessa Scopeview-työkalun avulla.

- XFC digital input, 2 tuloa (EL1262)
- XFC digital output, 2 lähtöä (EL2262)
- XFC digital input, 2 tuloa aikaleimalla (EL1252)
- XFC digital output, 2 lähtöä aikaleimalla (EL2252)
- XFC analog input, 2 tuloa (EL3702)
- XFC analog output, 2 lähtöä (EL4732)

5.4 Koulutusluettelo

Seuraavana listattuna koulutusluettelo, joko on suunniteltu ja hyväksytty Beckhoff Automation Oy:n koulutushenkilökunnan kanssa.

TAULUKKO 1. Listaus koulutuksista

Training	Type	Requirements
TC3 Training	Standard	TC3 XAE + IO EL1008 - 8 Digital inputs EL2008 - 8 Digital Outputs EL3102 - Analog input EL4132 - Analog output
TC3 NC Training	Standard	AX500 + Motor EL7201-0010 One cable terminal AM8121-0F21 One cable motor
TC3 TwinSAFE Training	Standard	EL6900 (TwinSAFE master) EL1904 (DI, TwinSAFE) EL2904 (DO, TwinSAFE)
Service Training (TC2/TC3)	Optional	
.NET Training (ADS)	Optional	Visual Studio
EtherCAT Training	Optional	Redundancy Demo EK1100 Fast Hot Connect Demo EK1122-0080 EK1101-0080 XFC: EL1262 (Digital input) EL2262 (Digital output) EL1252 (DI, Timestamp) EL2252 (DO, Timestamp) EL3702 (Analog input $\pm 10V$) EL4732 (Analog output $\pm 10V$)
TC2 Training	Optional	

TwinCAT Service Training	Optional	
TwinCAT 2 => 3 Update Training	Optional	
BA Framework	Optional	
Other mechanics		EK1110

Taulukossa 1 on listattuna koulutushenkilöstön kanssa suunnitellut kurssit, koulutuksen luonne sekä vaadittavat laitteistot. TwinCAT 3- ja TwinCAT 2-kurssit käyttävät samaa laitteistoa ja eroavat toisistaan pääosin vain ohjelmistollisesti. Koulutuslaitteistoa valittaessa huomioidaan myös useita peruskoulutuksista poikkeavia koulutusmahdollisuuksia, ja komponenteiksi valitaankin monipuoliseen käyttöön soveltuva kokonaisuus.

TAULUKKO 2. Laitteiston komponentit koulutuskohtaisesti

Unit	Qty	Description	Note
		CPU	
EK1110	3	EtherCAT extension	
EK1100	2	EtherCAT Coupler	
EK1101-0080	2	EtherCAT Coupler with ID switch, Fast Hot Connect	Fast Hot Connect
EK1122-0080	1	2-port EtherCAT junction, Fast Hot Connect	
EL9410	1	Power supply terminals for E-bus	
EL1008	1	8-channel digital input terminal 24 V DC, 3 ms	
EL2008	1	8-channel digital output terminal 24 V DC, 0.5 A	
EL3102	1	2-channel analog input terminal -10...+10 V, differential input, 16 bit	
EL4132	1	2-channel analog output terminal -10...+10 V, 16 bit	
EL6900	1	TwinSAFE PLC	TwinSAFE
EL1904	1	4-channel digital input terminal, TwinSAFE, 24 V DC	
EL2904	1	4-channel digital output terminal, TwinSAFE, 24 V DC	
EL7201-0010	1	Servomotor terminal with OCT, 50 V DC, 2.8 A _{RMS}	
AM8121-0F21	1	Synchronous servomotor for servo terminal, 0.5 – 0.8 Nm	
ZK4704-0411-2010	1	1 m motor cable for AM81xx servomotors with OCT to EL7201-0010 EtherCAT Terminal	
EL1262	1	2-channel digital input terminal with oversampling	XFC
EL2262	1	2-channel digital output terminal with oversampling	
EL1252	1	2-channel digital input terminal with time stamp	
EL2252	1	2-channel digital output terminal with time stamp, tri-state	
EL3702	1	2-channel analog input terminal -10...+10 V with oversampling	
EL4732	1	2-channel analog output terminal -10...+10 V with oversampling	

Taulukossa 2 nähdään listattuna laitteiston sekä lisälaitteiden määrä yhdessä koulutuslaitteistokokoonpanossa. Komponenttien tilaus suoritetaan Saksan Verlin pääkonttorin kautta.

6 LAITTEISTO JA OHJELMISTO

Seuraavassa luvussa käydään läpi koulutuslaitteistoon valitut Beckhoff ohjelmisto, laitteisto ja terminaalit.

6.1 Ohjelmisto

Beckhoff-kotisivuilla on ladattavissa TwinCAT 3, TwinCAT 2- sekä BA Framework -ohjelmistot. TwinCAT 3- ohjelmistoa pystyy käyttämään ilmaiseksi demolisenssillä jotka sisältävät täydet toiminnot, mutta vaatii viikottaisen aktivoinnin reaaliajan säilyttämiseksi. Koulutuslaitteissa käytetään demolisenssillisiä ohjelmistoja.

6.1.1 TwinCAT 3

Käytössä oleva TwinCAT 3 XAE (eXtended automation engineering) toimii integroituna Visual Studio- ohjelmankehitysympäristöön ja mahdollistaa oliopohjaisen (moduulien) ohjelmoinnin IEC 61131-3- standardin mukaisen PLC-ohjelmoinnin ohjelmointikielien C ja C++ rinnalla. Moduulit voivat lähettää tai vastaanottaa tietoa keskenään huolimatta siitä, millä ohjelmointikielellä ne on kirjoitettu. Kehitysympäristöön integroidun TwinCAT System Managerin avulla ohjelmointi, laitteiden konfigurointi, parametrisointi sekä määrittäminen pystytään suorittamaan yhden ohjelmiston sisällä. (Beckhoff 2015. a)

6.1.2 TwinCAT 2

TwinCAT 2- ohjelmisto onTwinCAT 3- ohjelmiston edeltäjä. TwinCAT 2- ohjelmistoa löytyy teollisuuden tuotantolaitteista yhä paljon, mutta tekniikan ja tuotannon kehittyessä ohjelmistoja pyritään päivittämään uudempaan TwinCAT 3 versioon. Beckhoff järjestää koulutuksia koskien laitteiston päivitystä TwinCAT 2 ohjelmistosta TwinCAT 3- versioon.

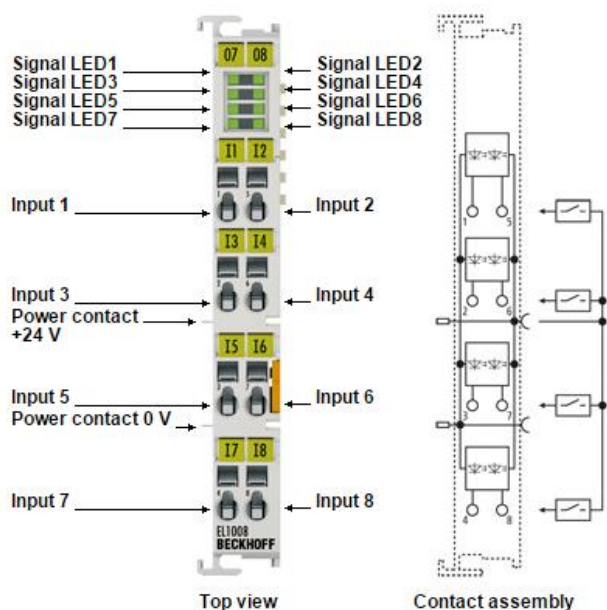
6.1.3 BA Framework

TwinCAT Building Automation Framework (BA Framework) on kiinteistö- ja taloutomaatio puolelle suunniteltu työkalu, joka toimii rajapintana teollisuuden ohjelmointikielen sekä kiinteistöautomaation toimilaitteiden ja anturien välillä. BA Framework koostuu useasta toimilohkosta, jotka muodostavat kiinteistöautomaatioon soveltuvan monikäyttöisen ohjelmiston, joka ei vaadi käyttäjältä aiempaa tietämystä teollisuuden ohjelmointikielistä.

6.2 Digital input

EL1008

Kahdeksankanavainen tulokortti vastaanottaa kenttätason ohjausignaaleja ja lähettää ne sähköisesti eristetyssä muodossa korkeamman tason ohjausyksikölle. EL100x sarjan tuloterminaalit lukevat kanavan tilaa 3 millisekunnin taajuudella. Tulon tila ilmoitetaan merkkivalolla.

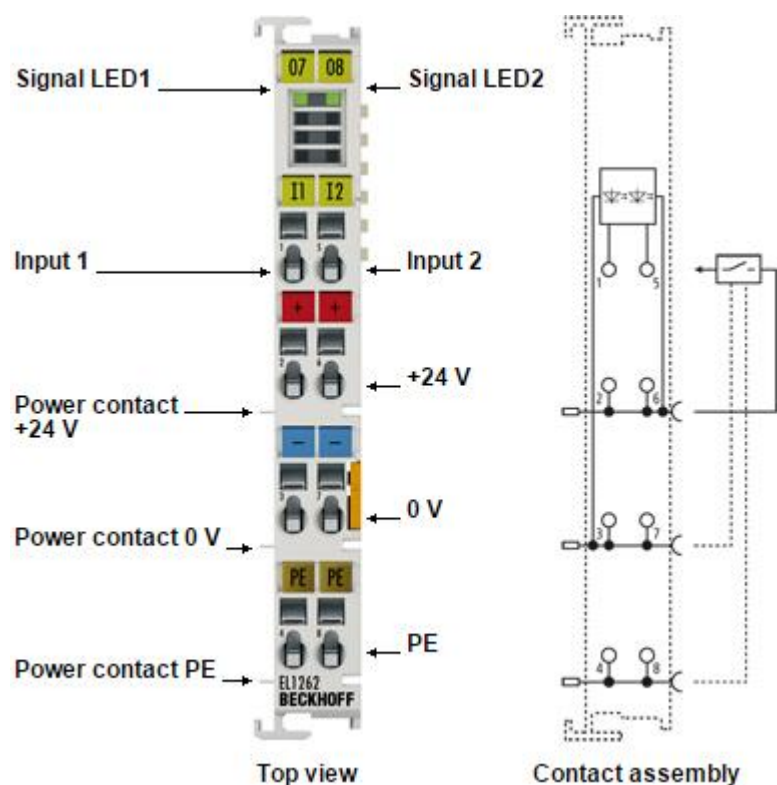


KUVA 1. EL1008 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 1 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

EL1262

EL1262 on kaksikanavainen nopean vasteajan tuloterminaali. Näytetaajuutta kasvatetaan kertoimella kenttäväylän kiertosyklin päälle. Yhdestä kenttäväylän kierrosta muodostetaan moduuli, joka kirjaa tarkan ajan tulojen tilan vaihdoksesta. Nopeaa näytetaajuutta käytetään synkronoidessa aikakriittisiä tehtäviä.

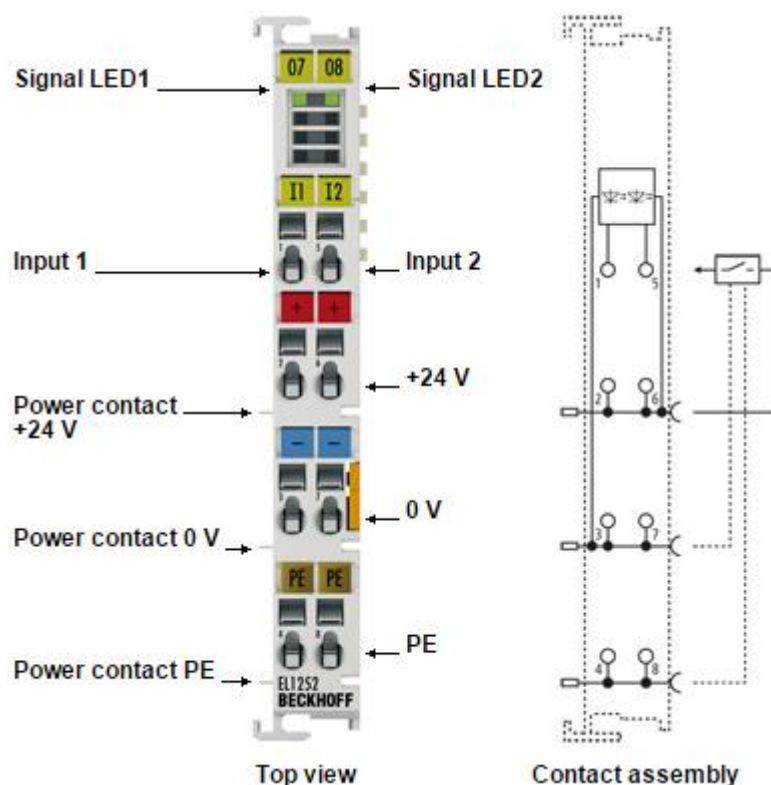


KUVA 2. EL1262 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 2 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnukset. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

EL1252

EL1252 on kaksikavainen tulokortti aikaleimalla. Tulokanavan tilanvaihdoksesta tallentuu aikaleima 1ns:n tarkkuudella. Aikaleimaa käyttämällä pystytään tarkasti synkronoimaan hajautettuja aikakriittisiä tehtäviä. EL1252-tulokortti Yhdistettynä EL2252-lähtökorttiin voidaankin saavuttaa täysin kenttäväylän kiertosyklistä riippumattomia, tarkasti synkroituja ohjaustoimintoja.



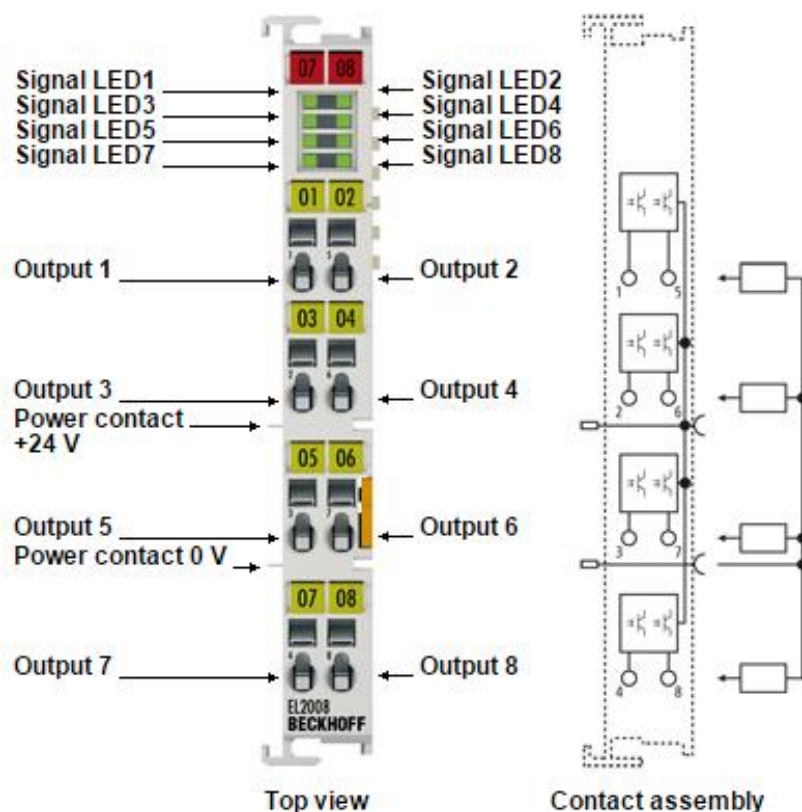
KUVA 3. EL1252 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 3 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

6.3 Digital output

EL2008

EL2008 on kahdekskanavainen lähtökortti, joka vastaanottaa ohjauksyksikön binääri viestin ja ohjaa kenttätason laitteita sähköisesti eristettynä piirissä. Lähdön tila ilmoitetaan merkkivalolla.



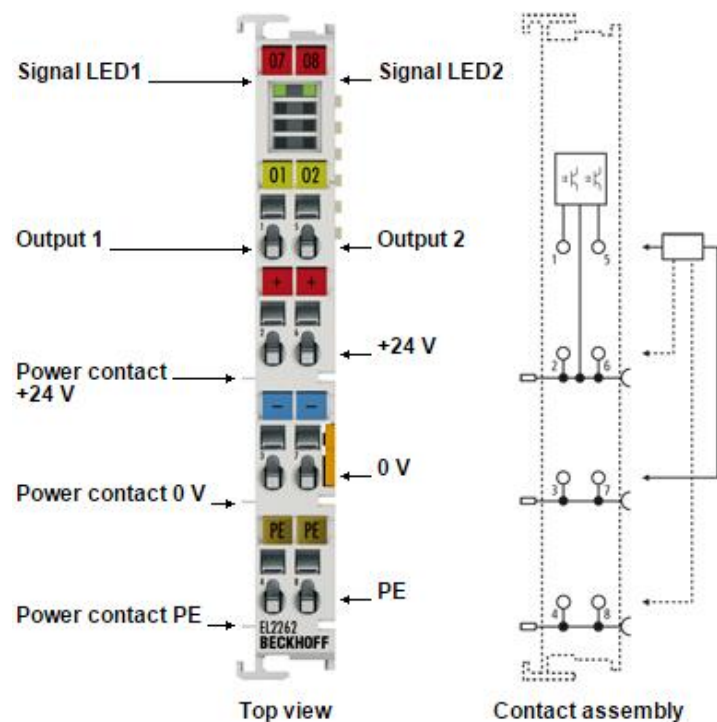
KUVA 4. EL2008 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 4 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

EL2262

EL2262 on kaksikanavainen nopean vasteajan lähtöterminaali.

Näytetaajuutta kasvatetaan kertoimella kenttäväylän kiertosyklin päälle (n sykliä väyläsyklissä). Terminaali vastaanottaa joka väyläkierrolla datamoduulin, joka määrää lähdön tilan muutoksen tarkasti väyläkierron sisällä. Nopeaa näytetaajuutta käytetään synkronoidessa aikakriittisiä tehtäviä. Maksimi lähtöjen tilojen rasteri on miljoona tilanvaihdosta sekunnissa.

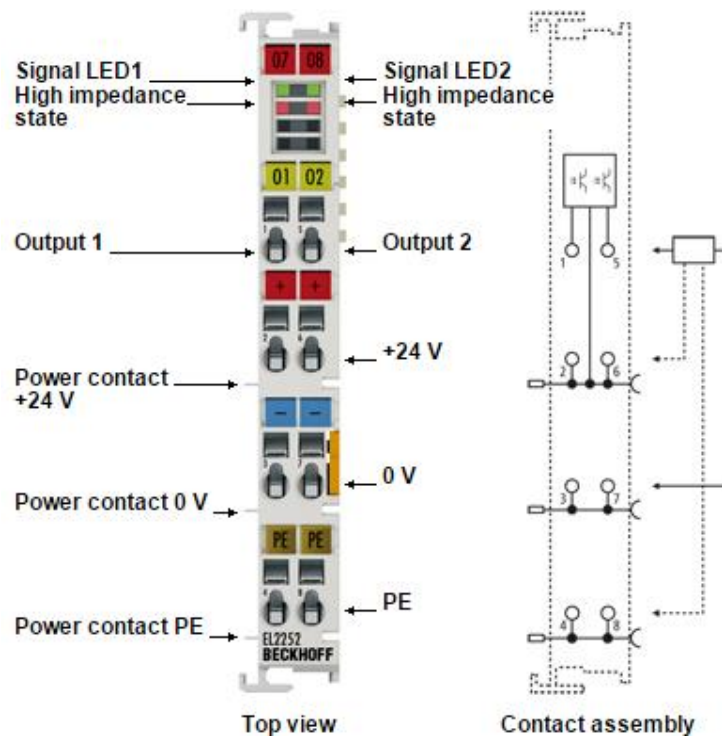


KUVA 5. EL2262 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 1 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

EL2252

EL 2252 on kaksikanavainen nopean vasteajan lähtöterminaali aikaleimalla. Lähtökanavan tilanvaihto pystytään suorittamaan 10ns:n tarkkuudella. Aikaleimaa käyttämällä pystytään tarkasti synkronoimaan hajautettuja aikakriittisiä tehtäviä, ja 2252 yhdistettynä EL1252:n (tulokortti aikaleimalla) voidaankin saavuttaa täysin kenttäväylän kiertosyklistä riippumattomia, tarkasti synkrointuja ohjaustoimintoja.



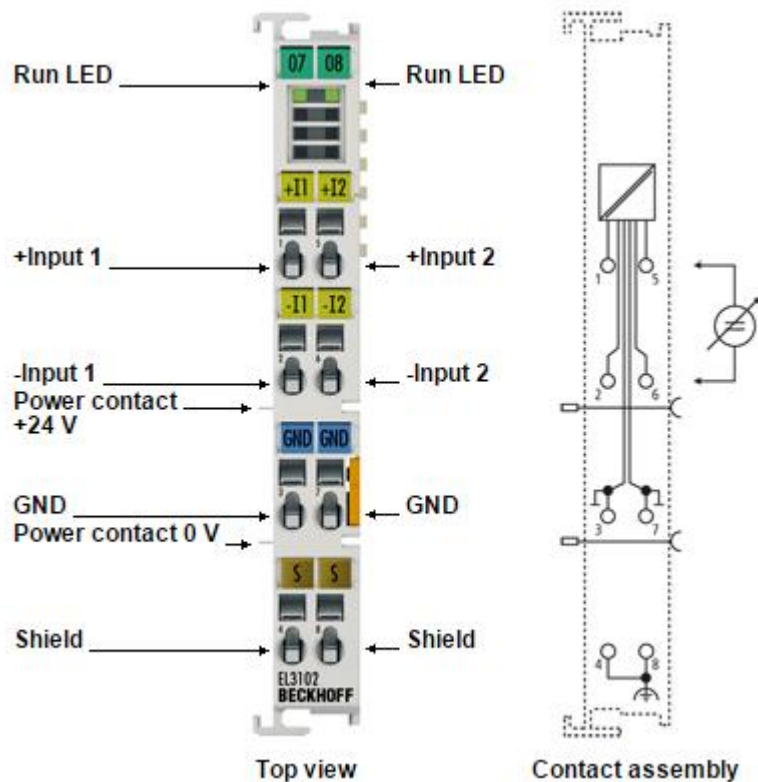
KUVA 6. EL2252 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 6 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

6.4 Analog input

EL3102

EL3102 on kaksikanavainen analoginen tuloterminaali potentiaalieron -10...+10 Vdc:n mittaamiseen. Analoginen potentiaaliero muutetaan 16-bittiseksi digitaalseksi viestiksi ja lähetetään ohjausyksikölle. Terminaali mittaa potentiaaliero yhteisen sisäisen maapotentiaalilin sekä tulokanavien potentiaalilin välillä. Tulosignaalin tilan osoitetaan merkkivalolla.

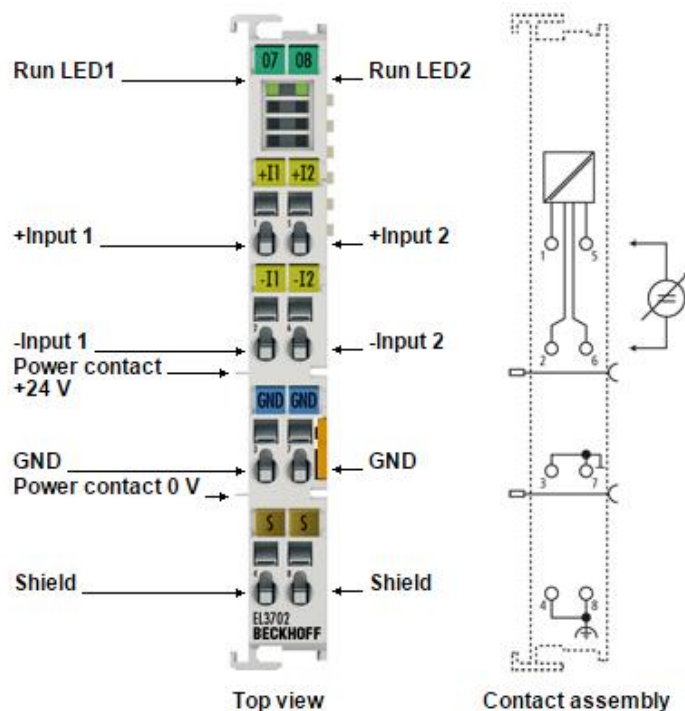


KUVA 7. EL3102 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 7 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

EL3702

EL3702 on kaksikanavainen nopean vasteajan analoginen XFC-tuloterminaali potentiaalieron $-10\dots+10$ Vdc mittaamiseen. Analoginen potentiaaliero muutetaan 16-bittiseksi digitaaliseksi viestiksi ja lähetetään ohjausyksikölle. Näytetaajuutta kasvatetaan kertoimella kenttäväylän kiertosyklin päälle. Yhdestä kenttäväylän kierrosta muodostetaan moduuli, joka kirjaa tarkan ajan tulojen tilan vaihdoksesta.



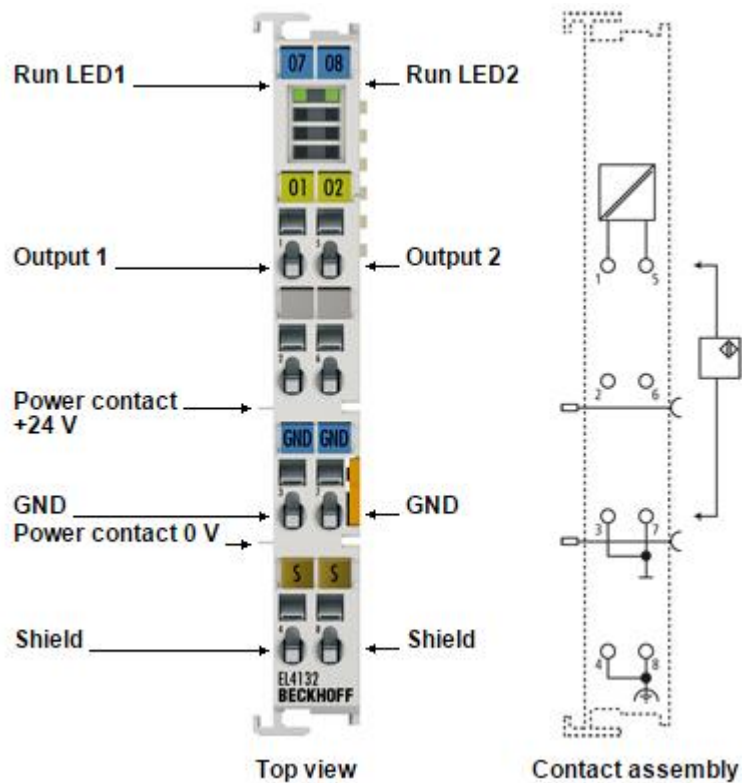
KUVA 8. EL3702 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 8 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

6.5 Analog output

EL4132

EL4132 on kaksikanavainen analoginen lähtöterminaali $-10\dots+10$ Vdc:n jännitteet tuottamiseen. 16-bittinen digitaalinen viesti muutetaan analogiseksi jännitepotentiaaliksi, joka käyttää terminaalin yhdistettyä maapotentiaalia. Signaalin tila osoitetaan merkkivalolla.

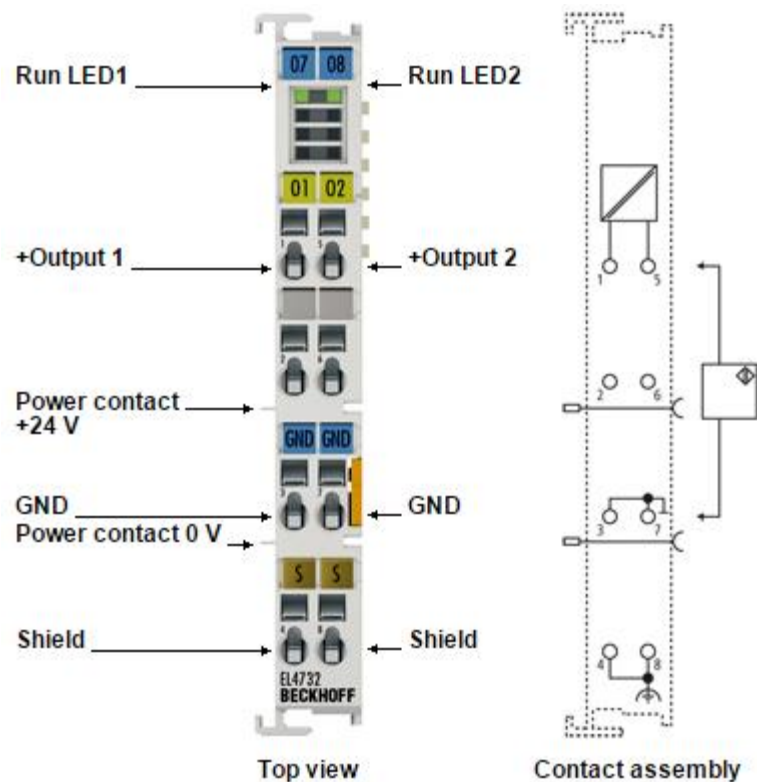


KUVA 9. EL4132 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 9 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnukset. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

EL4732

EL4732 on kaksikanavainen korkean taajuden analoginen XFC-lähtöterminaali $-10\dots+10\text{Vdc}$:n jännitteet tuottamiseen. 16-bittinen digitaalinen viesti muutetaan analogiseksi jännitepotentiaaliksi. XFC-tekniikalla analoginen viesti pystytään synkronoimaan tarkasti aikakriittisissä tehtävissä.



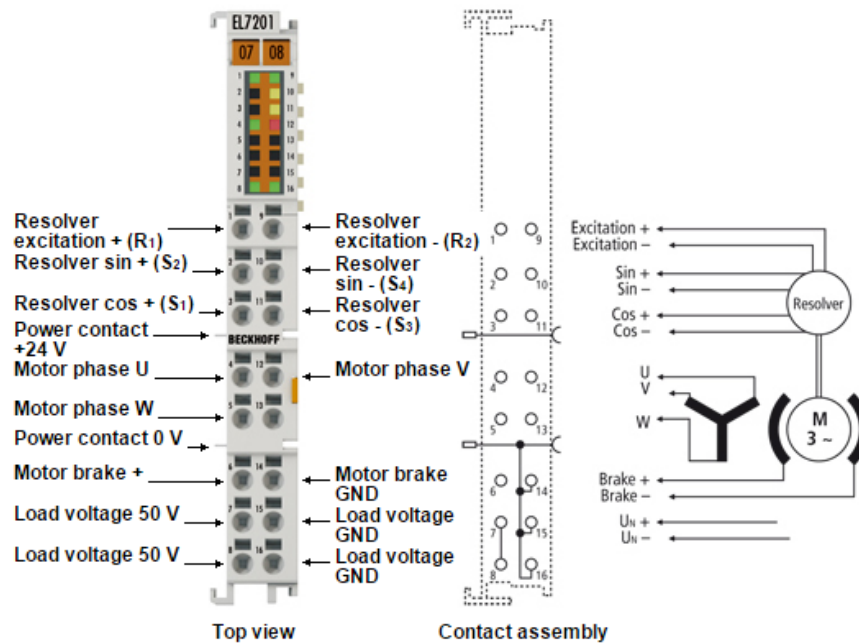
KUVA 10. EL4732 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 10 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

6.6 Liikkeenohjaus

EL7201-0010

EL7201 on EtherCAT servomoottoriterminaali integroidulla resolverilla. Servoterminaali perustuu FOC (Field Oriented Control)- ohjaukseen PI-säätimellä. Terminaali mittaa yli- ja alijännitettä, ylivirtaa sekä laskee terminaalin lämpötilaa ja moottorin ylikuormitusta I²T-mallin mukaisesti, luotettavamman käytön saavuttamiseksi. Terminaalissa on myös jarrun takaisinkytkentä. 16 ledin osoitin ilmoittaa varoitus- ja häiriöviestit sekä mahdolliset moottorille asetetut rajoittimet.



KUVA 11. EL7201-0010 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 11 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

AM8121-0F21

AM81xx- sarjan moottorit ovat yksinomaan kompakteille EL7201- ja EL7211-servoterminaleille suunniteltuja yksijohtimellisia servomoottoreita. Moottorissa integroituna absoluuttienkooderi jonka paikkatieto siirretään digitaalisena servoterminaalille ja tallennetaan EEPROM-muistiin (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). AM8121-0F21 sisältää välyksettömän kestmagneettijarrun.



KUVA 12. AM8121-0F21 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 12 nähdään Beckhoffin yhden kaapelin servotekniikalla yhdistettynä ohjainyksikkö sekä servomoottori.

Data for 50 V DC	AM8121-wFyz
Standstill torque	0.50 Nm
Rated torque	0.50 Nm
Rated speed	3000 min ⁻¹
Rated power	0.16 KW
Peak torque	2 Nm
Standstill current	4.0 A
Peak current	17.0 A

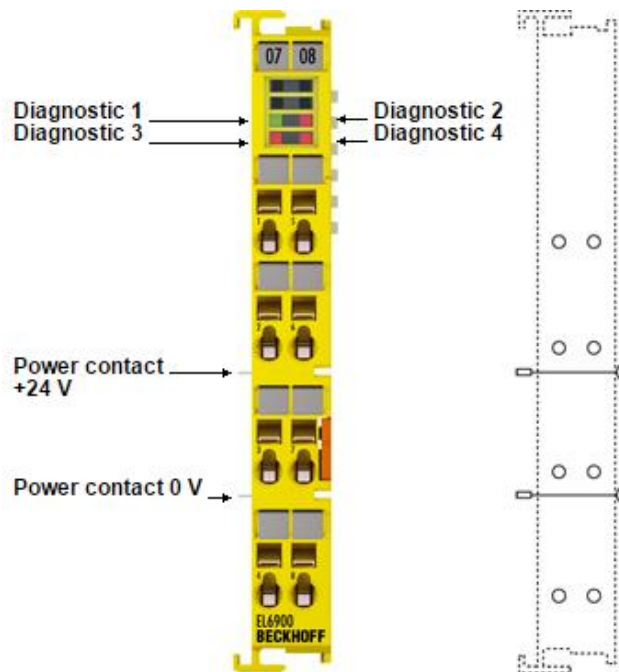
TAULUKKO 3. AM8121-0F21 Datasheet (Beckhoff 2015. c)

Taulukossa 3 nähdään Servomoottorin teho, momentti, nopeus sekä virran kulutus.

6.7 TwinSAFE

EL6900

TwinSAFE EL6900 toimii erillisenä turvalogiikkana muiden ohjausyksiköiden rinnalla. TwinSAFE PLC sisältää sertifioidut turvamoduulit, jotka on suunniteltu turvalaitekäyttöön. Ohjelmointi pohjautuu loogisiin operaatioihin, kuten AND, OR ja NOT. Turvaohjelmointi sekä toimintojen konfigurointi tapahtuvat TwinCAT System Managerin avulla. EL6900 noudattaa IEC 61508 SIL 3- ja DIN EN ISO 13849 PL-turvallisuustasot.

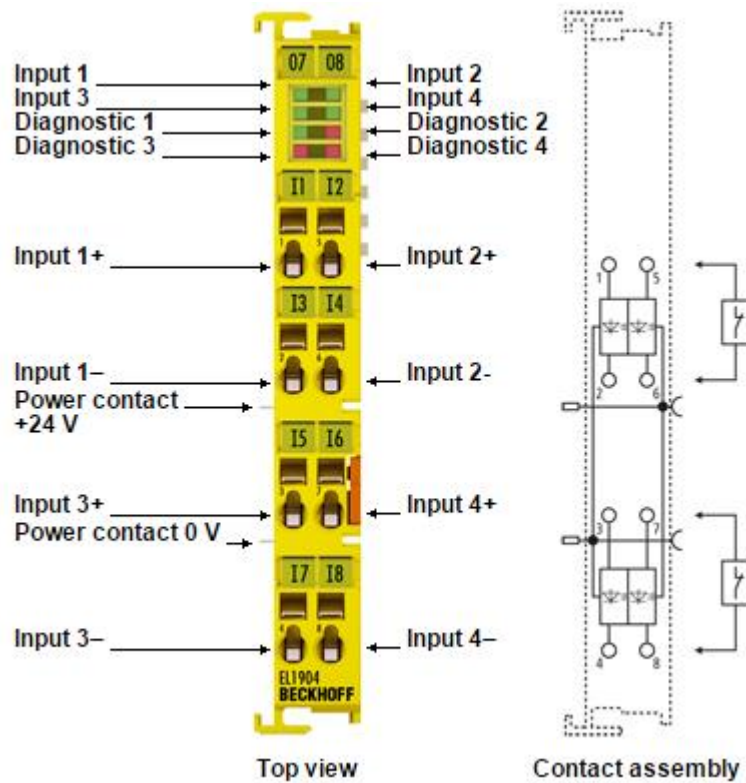


KUVA 13. EL6900 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 13 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

EL1904

EL1904 on TwinSAFE PLC masteriin liitettävä turvatulokortti 4:llä potentiaalivapaalla tulokanavalla. Tulokortti täyttää laitteistoturvallisuksia käsittelevät IEC 61508 SIL 3- ja DIN EN ISO 13849 PLe- standardit. Tulokanavien tilat ilmoitetaan merkkivaloilla.

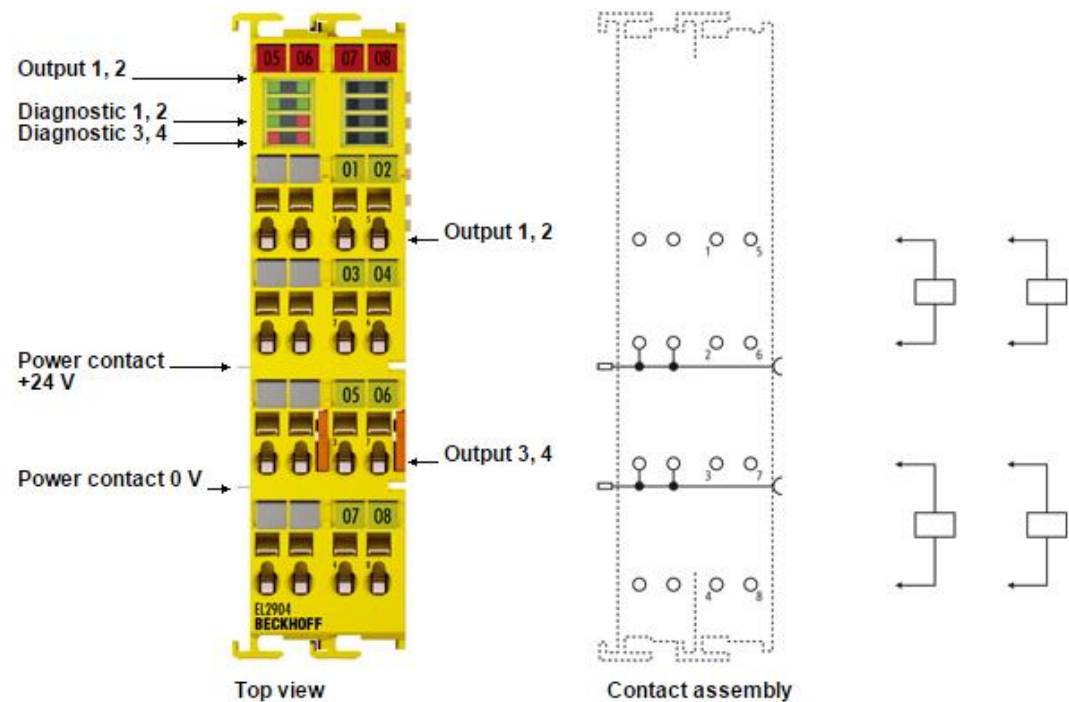


KUVA 14. EL1904 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 14 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

EL2904

EL2904 on TwinSAFE PLC masteriin liitettävä turvalähtökortti neljällä lähtökanavalla. Kortti Ohjaa 24 Vdc:n toimilaitteita 0.5A:n maksimivirralla. Lähtökortti täyttää laitteistoturvallisuuksia käsittelevät IEC 61508 SIL 3- ja DIN EN ISO 13849 PLe standardit. Lähtökanavien tilat ilmoitetaan merkkivaloilla.



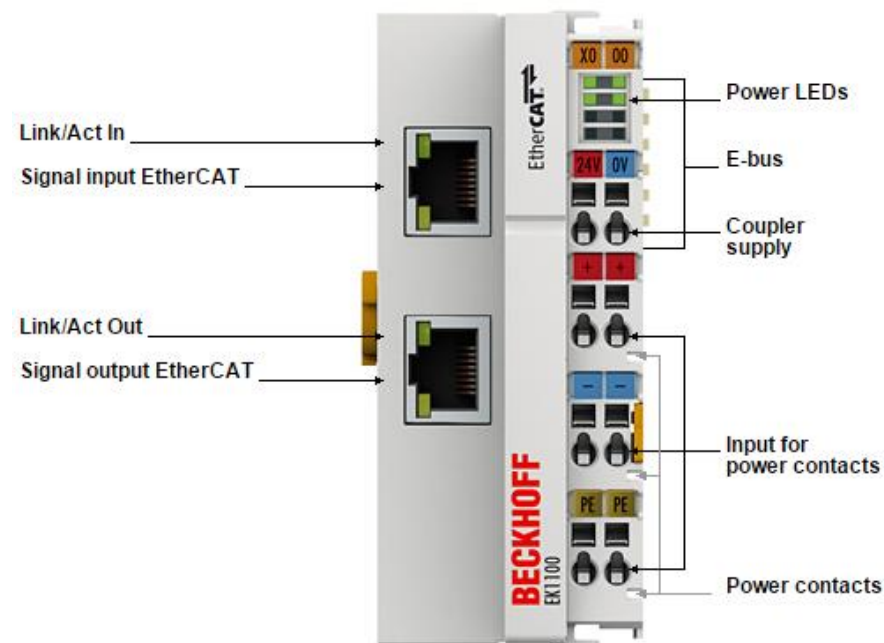
KUVA 15. EL2904 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 15 nähdään komponentin kytkentä ja toimintakaavio sekä liittimien tiedot ja tunnuksat. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

6.8 EtherCAT

EK1100

EK1100 on EtherCAT väyläliitin joka yhdistää EtherCAT terminaalit väylään. Yksi asema muodostuu väyläliittimestä, väylän terminaaleista sekä pääteterminaalista. EK1100 muuntaa sähköisen Ethernet 100BASE-TX- viestin E-bus väylän viestimutoon. EtherCAT-väylällä liitin voidaan sijoittaa minne tahansa 100BASE-TX- verkossa paitsi suoraan kytkimelle.

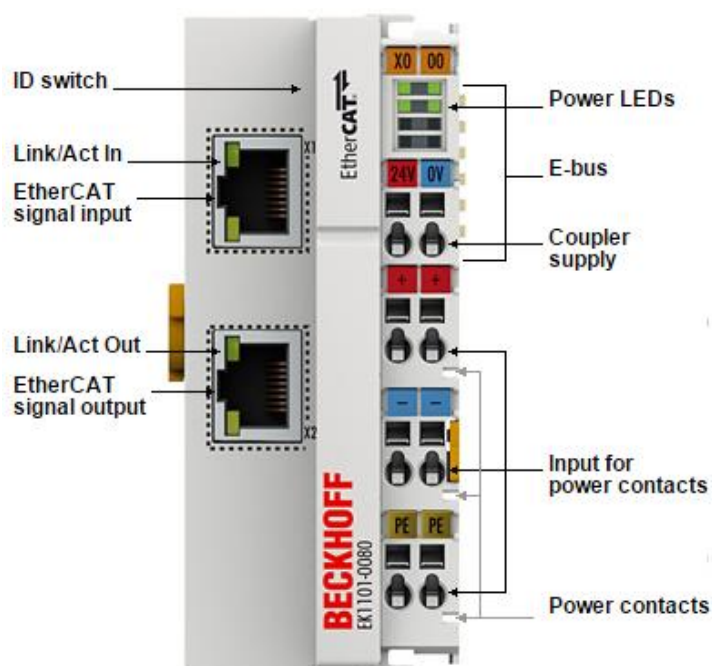


KUVA 16. EK1100 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 16 nähdään komponentin kytkentä sekä liittimien tiedot ja tunnukset. EK1100 liitinkortissa löytyy EtherCAT- väylän tulo ja lähtöliitin sekä terminaaliaseman jännitesyöttö. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin.

EK1101-0080

EK 1101-0080 on EtherCAT väyläliitin FHC-ominaisuudella (Fast Hot Connect). FHC mahdollistaa nopean väyläliittymisen ja topologiamuutokset. Nopean Väyläliittynnän merkitys tulee vastaan muun muassa erillisiä työkaluja käyttävissä sovelluksissa. FHC laitteet toimivat ainoastaan keskenään ja niiden liityntäportit on merkitty katkoviivoin. EK1101-0080 väyläterminaali toimii EK1122-0080- liityntäterminaalin jatkeena.



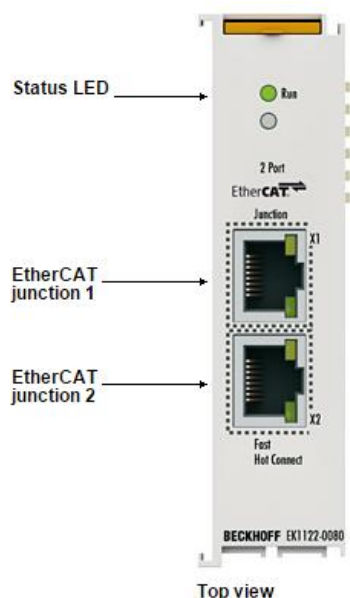
KUVA 17. EK1101-0080 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 17 nähdään komponentin kytkentä sekä liittimien tiedot ja tunnuksset. Johtimien kytkemiseen laitteeseen tarvitaan pieni tasapäinen ruuvinväännin. EtherCAT-liittimet ovat rajattu katkoviivoin FHC- toiminnon merkiksi. FHC- laitteistot voidaan kytkeä yhteen vain yhteen toisen FHC- laitteen kanssa.

EK1122-0080

EK1122-0080 on EtherCAT FHC liityntäterminaali kahdella portilla.

EK1122-0080 mahdollistaa EK1101-0080 FHC- väyläliittimen yhdistämisen EtherCAT väylään.



KUVA 18. EK1122-0080 (Beckhoff 2015. c)

Kuvassa 18 nähdään FHC-liityntäterminaali merkkivaloineen. EtherCAT-liittimet ovat rajattu katkoviivoin FHC- toiminnon merkiksi. FHC- laitteistot voidaan kytkeä yhteen vain yhteen toisen FHC- laitteen kanssa.

TAULUKKO 4. EK1122-0080 Datasheet (Beckhoff 2015. c)

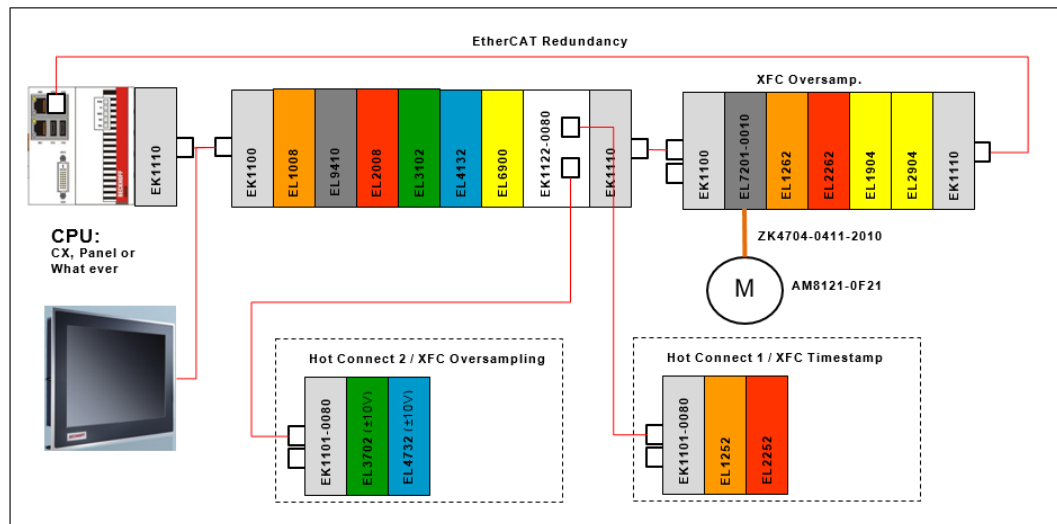
Technical data	EK1122-0080
Task within EtherCAT system	coupling of EtherCAT junctions
Data transfer medium	Ethernet/EtherCAT cable (min. CAT 5), shielded
Distance between stations	100 m (100BASE-TX)
Protocol	EtherCAT
Delay	approx. 1 μ s
Data transfer rates	100 Mbaud
Configuration	not required
Bus interface	2 x RJ 45

Taulukossa 4 nähdään EtherCAT-väyläliittimen perustiedot sekä etherCAT-väylän toimintanopeus.

7 SÄHKÖSUUNNITTELU

Sähkösuunnittelu koulutuslaitteistoprojektissa toteutettiin pääsääntöisesti ennen mekaanista suunnittelua mutta komponenttien valinta vaikuttaa kuitenkin sekä laitteiston mekaaniseen- että sähköiseen toteutukseen.

HARDWARE TOPOLOGY



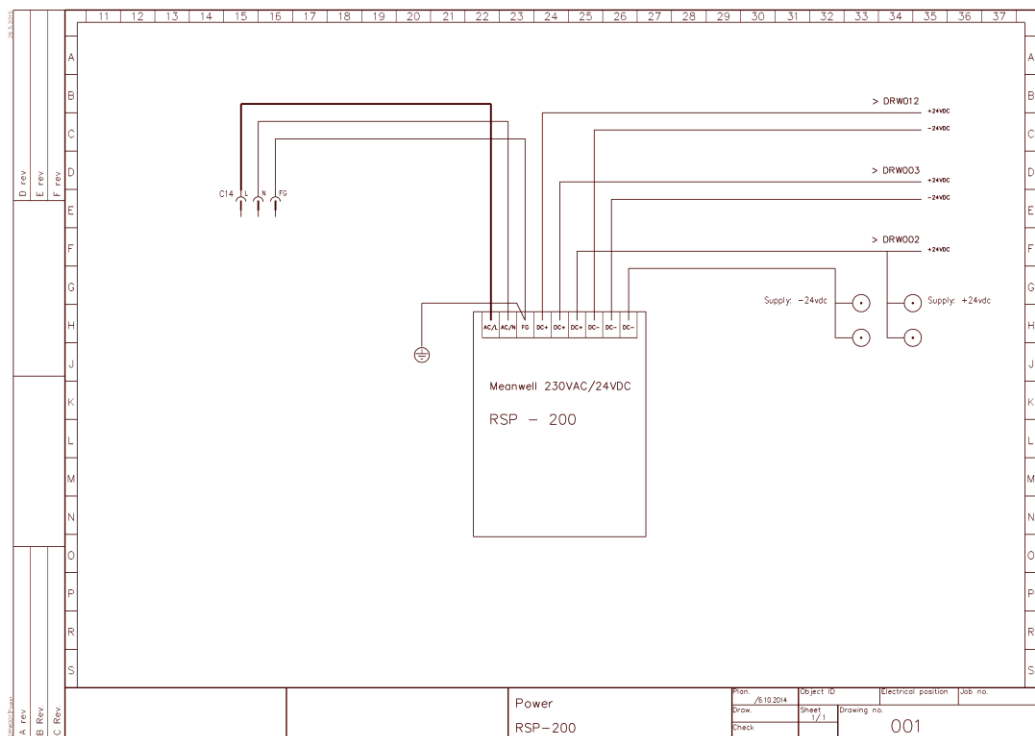
KUVIO 1. Laitteistotopologia

Laitteiston käytöstä toteutettiin ensin toimintakuvaus, joka toimii pohjustuksena sähkösuunnittelutyölle. Suunnittelutyökalu kuitenkin toimii myös apuna havainnollistamassa laitteiston lopullista toimintaperiaatetta, ja usein suunnitteluvaihe tuo vielä muutoksia lopulliseen toteutukseen. Tämän laitteiston sähkösuunnittelu on toteutettu CADs- ohjelmiston ympäristössä käyttäen apuna toimintakuvausta, laitteistotopologiaa sekä suunnittelijan yleisiä muistiinpanoja mukaanlukien käsimallinnukset ja ostaulukointi.

Laitteiston kokoonpanosta piirrettiin laitteistoioopologia joka havainnollistaa koulutuslaitteiston toimintaa, asettelua sekä väylän rakennetta. Kuvassa punaisella piirretyt viivat kuvastavat EtherCAT- väyläjohtimia (KUVIO 1).

7.1 Tehonlähde

Koulutuslaitteistoon valittiin tehonlähteeksi Meanwell RSP-200-jännitelähde. Jännitelähteen valinnassa tärkeintä oli lähteen ulkoprofiilin matala muoto. Koulutuslaitteisto suunniteltiin mahdollisimman kapeaprofiiliseksi ja profiilin paksuuden määrittäminen tehonlähteen paksuus.



KUVA 19. Tehonlähde, RSP-200 (sähkökuvat)

Jännitesyöttö laitteistolle on mitoitettu väylään kytkettyjen laitteiden kokonaisvirran kulutuksesta. Laitteistossa huomattavasti suuritehoisin yksittäinen komponentti on AM8010-servomoottori. Moottorin ominaisteho on 0,16 kW, mutta koska moottoria ei koskaan ajeta kuormallisena, voidaan sen tehontarve huomioida murto-osana moottorin nimellistehosta.

Lasketaan koulutuslaitteiston terminaalien tehontarve. Terminaaleissa virrantarve E-bus-väylässä on ilmoitettu tyypillisen virrantarpeen arvona.

TAULUKKO 3. Terminaalien tehontarve

Terminal	Qty	Typ. Current/mA	
EL1008	1	90	
EL2008	1	110	
EL3102	1	130	
EL4132	1	210	
EL3702	1	200	
EL4732	1	180	
EL1252	1	110	
EL1262	1	90	
EL2252	1	130	
EL2262	1	70	
EL6900	1	188	
EL1904	1	200	
EL2904	1	221	
EL7201	1	120	
EK1110	3	130	
EK1100	2	70	
EK1101	1	70	
EK1122	1	220	
		Total (mA)	Power: P=U*I (W)
		2779	67

Luettelosta ei ole listattuna PLC-ohjainyksikköä, sillä tämä on koulutuslaitteistossa tarkoituksella vaihteleva komponentti. Koulutuslaitteistoa onkin tarkoitus pystyä operoimaan useammalla eri laitteistolla.

Lisätään tehontarpeeseen PLC-yksikön maximi tehohäviö. Valitaan tehokkaan Embedded PC- sarjan CX5100 PLC, 12 W:n maksimihäviöllä. Kerrotaan häviö kahdella rinnakkaiskäyttöä ajatellen ja lisätään se väylän terminaalien tehontarpeeseen (kaava 1).

(KAAVA 1)

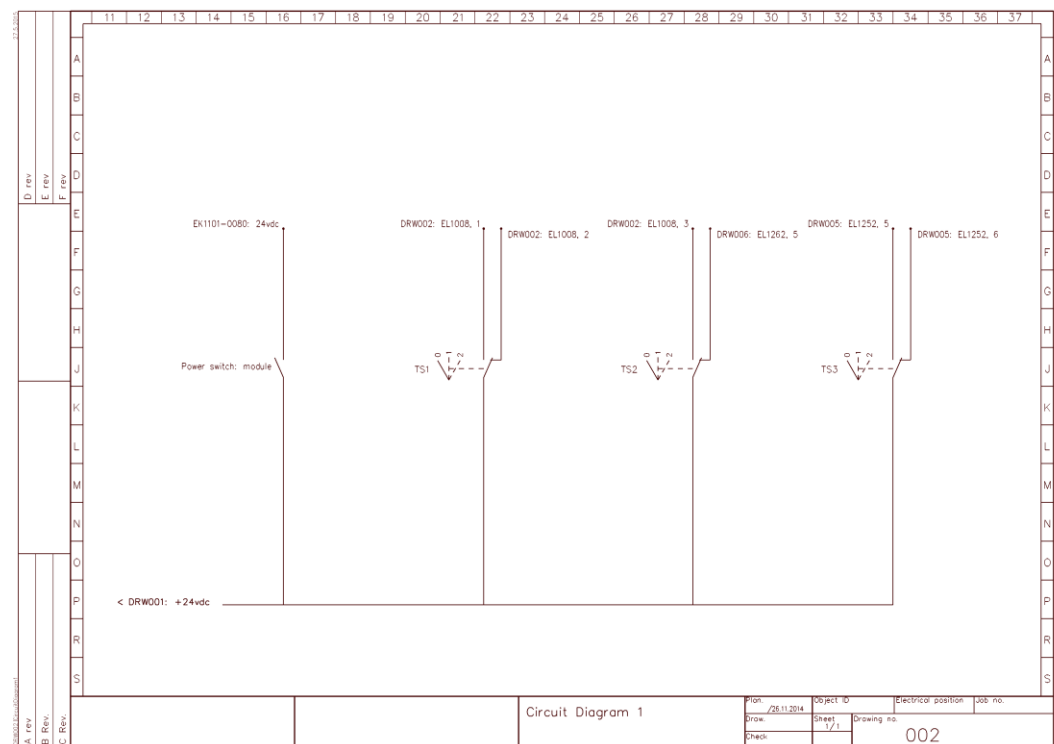
$$12 \text{ W} * 2 + 61 \text{ W} = 85 \text{ W}$$

Laitteistoon valitaan MeanWell RSP-200-24 jännitelähde 200W, 8.7A. Jännitelähteen valinta perustui RSP- sarjan matalaan, vain 30mm paksuiseen profiiliin, joka täten mahtui koulutuslaitteiston kapeaan kytkentätilan sisään. Meanwell tarjoaa RSP- sarjastaan myös tehokkaampia malleja, mutta vaikka valittavan jännitelähteen tehollisarvo

jää lasketun tehon alapuolelle, todetaan nimellisteho riittäväksi, sillä koulutuslaitteiston servomoottorin akselilla ei ole lainkaan kuormaa ja näin myös tehontarve jää murto-osaan moottorin nimellistehosta.

7.2 Ohjauskaavio 1

Ohjauskaavio 1 sisältää käyttäjän operoimien painikkeiden ja keinuvipukytkimien kytkentäkuvat.

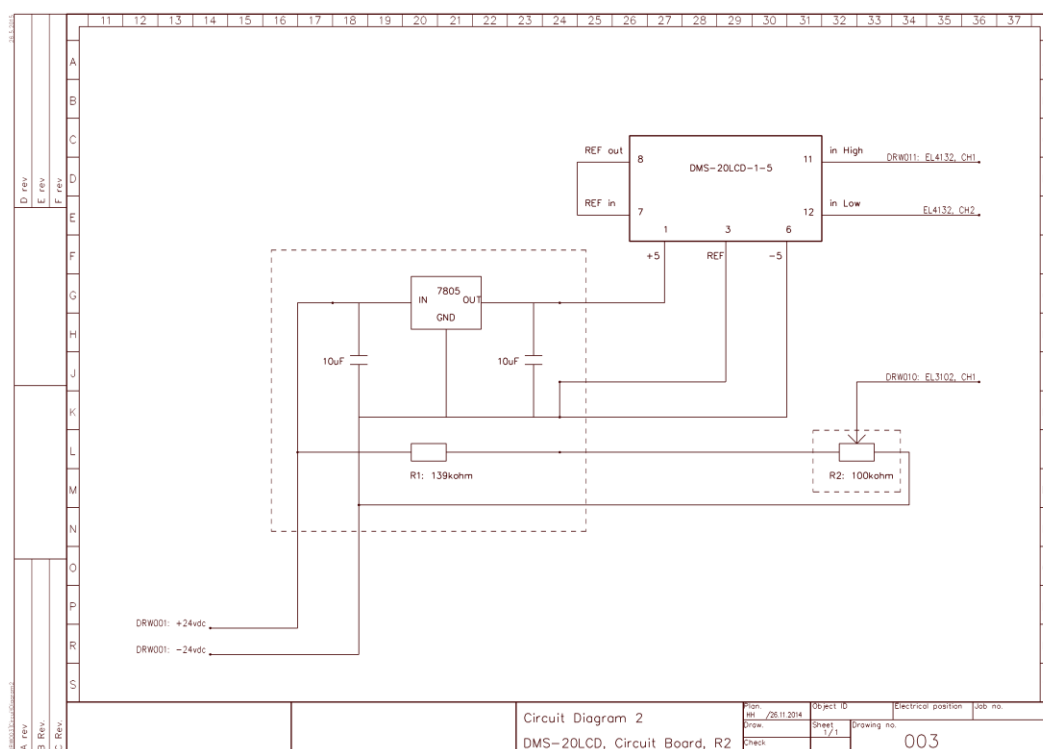


KUVA 20. Ohjauskaavio 1 (sähkökuvat)

Kuvassa 20 nähdään kolmen kolmitilaisen keinuvipukytkimen TS1-TS3 ohjaukset tulokorteille sekä XFC-väyläliittimen EK1101-0080 syöttöjännitteen kytkin. Tulokortille EL1008 on varattu kaksi tuloa kytkimeltä TS1 sekä yksi tulo TS2- ja TS3- kykimiltä. Toinen koskettimista kytkimiltä TS2 ja TS3 on varattu XFC- tulokorteille. Keinuvipukytkimet ovat mallia on-off-(on), eli toinen tiloista on jousipalautteinen. Kytkimien toinen tila valittiin jousipalautteiseksi helpottamaan pulssillisten tulojen simulointia.

7.3 Ohjauskaavio 2

Ohjauskaavio 2 sisältää DMS-20LCD jännitemittari jolla mitataan lähtökortin EL4132 analogista -10...+10 Vdc jänniteviestiä, sekä vastus R2, joka ohjaa analogisen tulokortin EL3102 tulokanavan syöttöjännitettä alueella 0 - 10 vdc.



KUVA 21. Ohjauskaavio 2 (sähkökuvat)

Kuvassa 21 on katkoviivoilla rajattu piirilevy, jolla on toteutettu jännitteen alennukset DMS-20LCD:n syöttöjännitteelle, sekä analogisen tulokortin EL3102 tulokanavan jännitealueelle. Syöttöjännitteen alennus DMS-20LCD mittarin 5vdc käyttöjännitteeseen on toteutettu 5vdc toisiojännitteen regulaattorilla. Regulaattorin ensiö- ja toisiopuolelle on asetettu kondensaattorit regulaattorin toisiojännitteen vakauttamiseksi sekä hetkellisten piikkivirran tarpeen tyydyttämiseksi. Potentiometrille R2 jännitteenalennus on toteutettu vastusten sarjakytkennällä.

Potentiometrin R2 jännitealueen mitoitus:

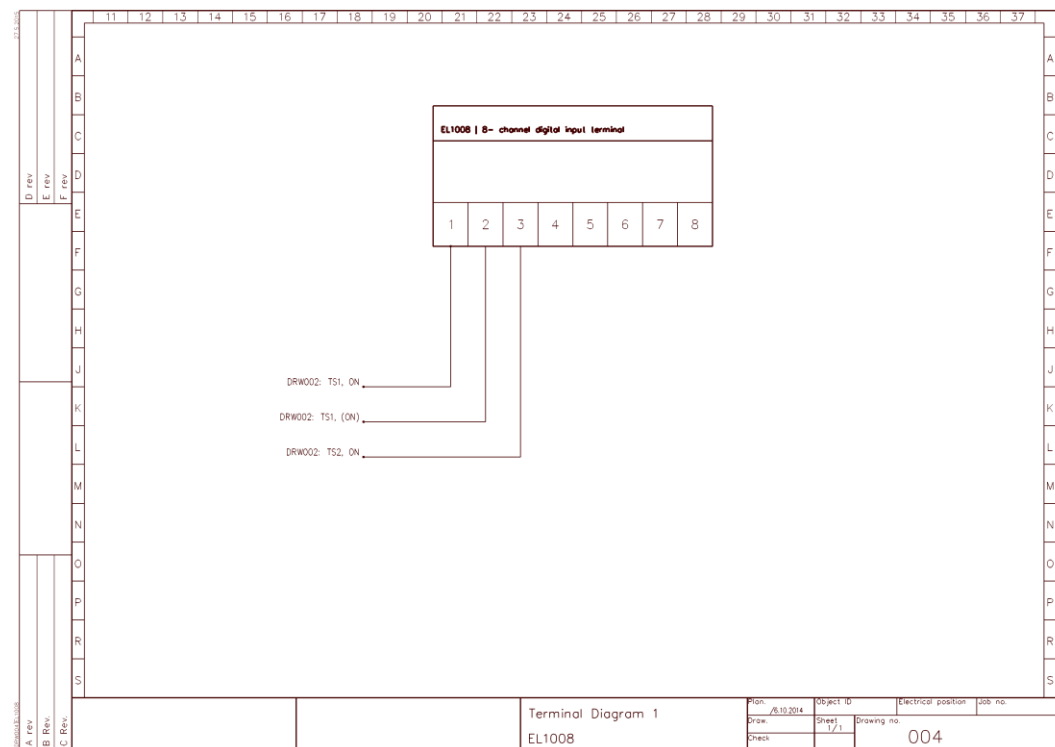
(KAAVA 2.)

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \rightarrow$$

$$R_1 = \frac{U_1}{U_2} \times R_2 = \frac{14\text{vdc}}{10\text{vdc}} \times 100\text{k}\Omega = 140\text{k}\Omega$$

7.4 Digitaaliset tulot: EL1008

EL1008 tulokortin kytkentä.



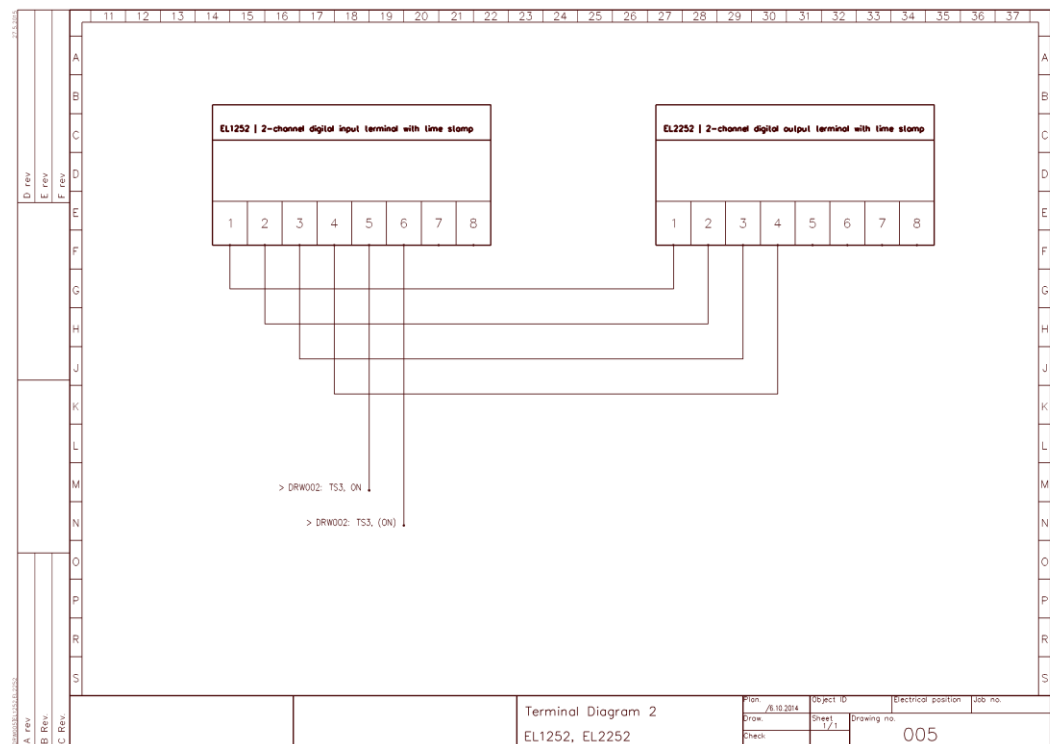
KUVA 22. Terminaalikaavio 1, EL1008 (sähkökuvat)

Kuvasta 22 nähdään EL1008-tulokortin kanavien ohjaus kolmella keinuvipukyttimeen tulolla. Kaksi tuloista on pysyviä ja yksi jousipalautteinen. Kolme fyysistä tuloa on todettu riittäväksi ohjelmointiharjoituksissa ja onkin useimmiten käytössä ohjelmassa käynnistyspainikkeena tai raja-arvon simulointina. Useamman tulon

ohjelmointiharjoituksessa tuloja voidaan simuloida ohjelman sisäisesti, käyttää XFC-korttien tulotietoja tai ohjata kortin viittä reservipaikkaa ulkopuolisilla tilatiedon lähteillä.

7.5 XFC aikaleimalla

EL1252-tulokortin sekä EL2252-lähtökortin kytkentä.

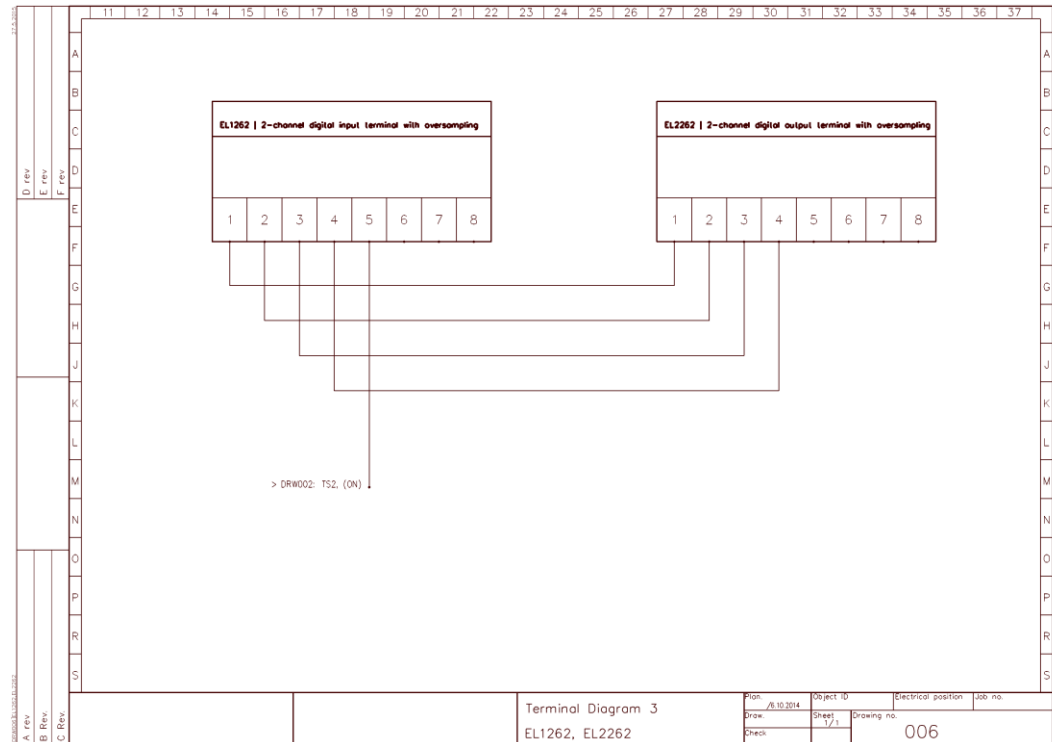


KUVA 23. Terminaalikaavio 2, EL1252, EL2252 (sähkökuvat)

Kuvassa 23 nähdään XFC EL1252-tulokortissa kytkettynä neljä lähtöä XFC EL2252-lähtökortilta. XFC Harjoituksissa tarkoituksena onkin tutkia nopean vasteajan XFC-korttien toimintatarkkuutta. Aikaleimallisilla XFC-korteilla voidaan saavuttaa kenttäväylän kiertosyklistä riippumattomia, tarkasti synkrointuja ohjaustoimintoja. TwinCAT- harjoituksissa tilatietojen muuttumisen tarkkuutta voidaan tarkastella Scopeview-työkalulla. Tulokorttiin EL1252 tuodaan myös yksi kiinteä ja yksi jousipalautteinen tilatieto TS3- keinuvipukytkimeltä.

7.6 XFC oversampling

EL1262-tulokortin sekä EL2262-lähtökortin kytkentä.

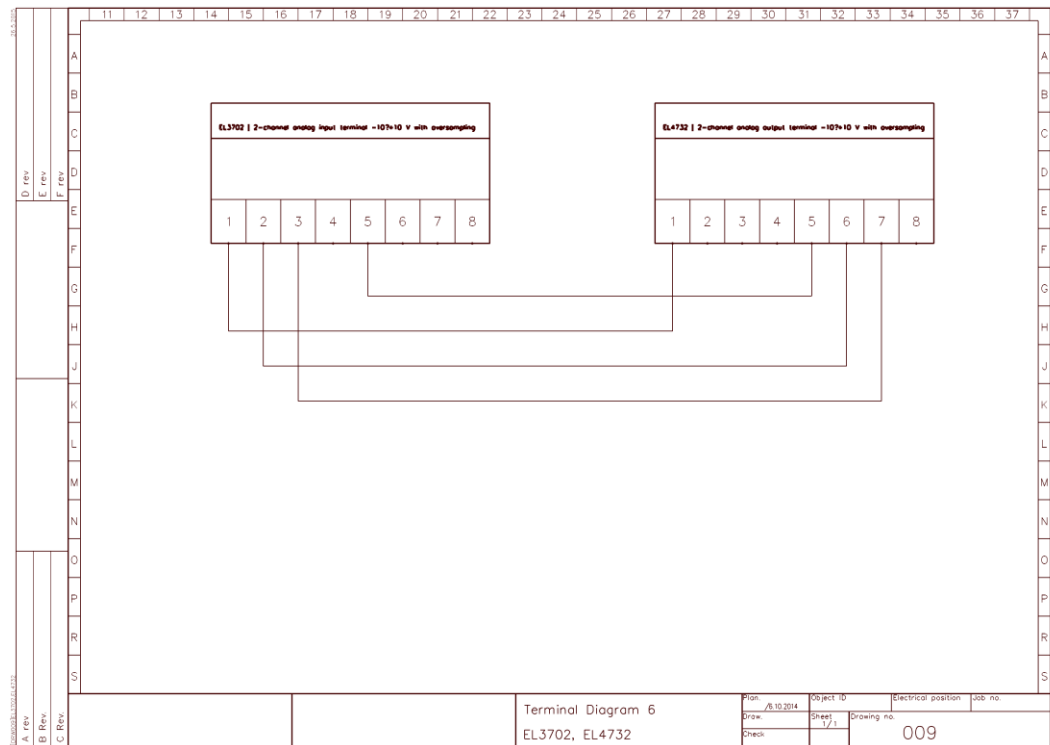


KUVA 24. Terminaalikaavio 3, EL1262, EL2262 (sähkökuvat)

Kuvassa 24 nähdään aikaleimattomat XFC kortit, joiden kytkentä ja toimintaperiaate vastaavat lähelle aikaleimallisin mallin kytkentää. Korteilla on toteutettuna neljä lähdön ja tulon ristivetoa sekä yksi ulkopuolinen tulopulssi TS2-keinuviipukytkimeltä. Harjoituksissa voidaan tarkastella EL1262- ja EL2262- kortin ristikommunikaation tarkkuutta yhdistettynä käyttäjän fyysiseen tilatietoon.

7.7 Analoginen XFC

Analogisten EL3702-tulokortin sekä EL4732-lähtökortin kytkentä.

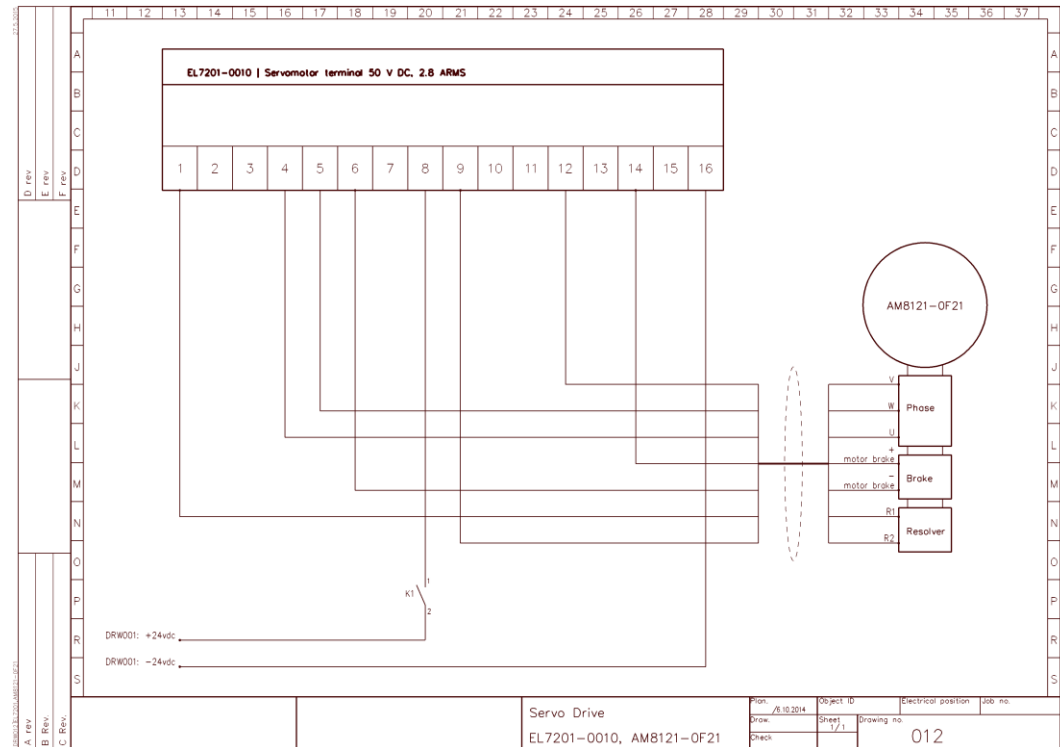


KUVA 25. Terminaalikaavio 6, EL3702, EL4732 (sähkökuvat)

Analogisen XFC- tulokortin EL3702 sekä lähtökortin EL4732 kaksi kanavaa on kytketty ristiin eikä ulkopuolisia analogisia viestejä kortteille tuoda. Analogisten XFC- korttien ristikytkentä mahdollistaa tarkan analogisen kommunikaation korttien välillä. Harjoituksissa on tarkoituksena tarkastella nopean vasteajan analogisten korttien toimintatarkkuutta.

7.8 Servokäyttö

Servokortin EL7201-0010 sekä servomoottorin AM8121-0F21 kytkentä.

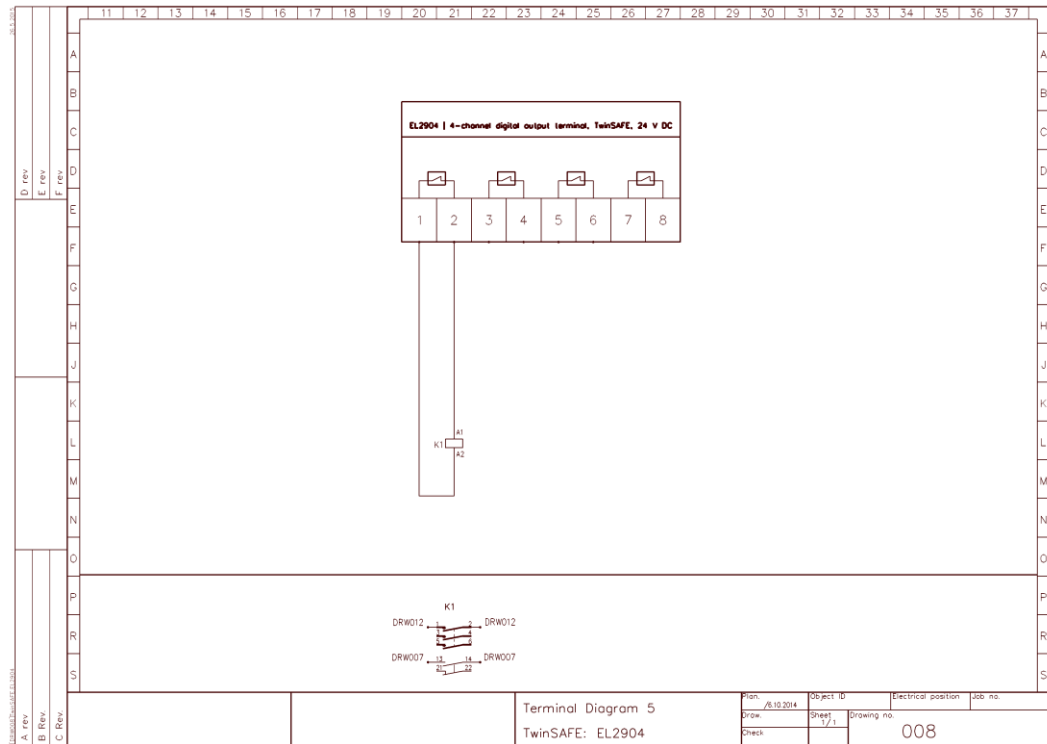


KUVA 26. Servokaavio, AM8121-0F21, EL7201-0010 (sähkökuvat)

Servomoottori AM8121-0F21 kytkettynä EL7201-servokorttiin. Moottorin vaihdesyötöt, resolveri sekä jarrujen johtimet tuodaan servokortille yhdellä kaapelilla. Laitteiston syöttöjännite tulee pääkontaktin K1 kautta, joka on katkaistavissa laitteiston turvaohjelman mukaisesti.

7.10 Turvalähdöt TwinSAFE

Turvalähtökortin EL2904 kytkentä.

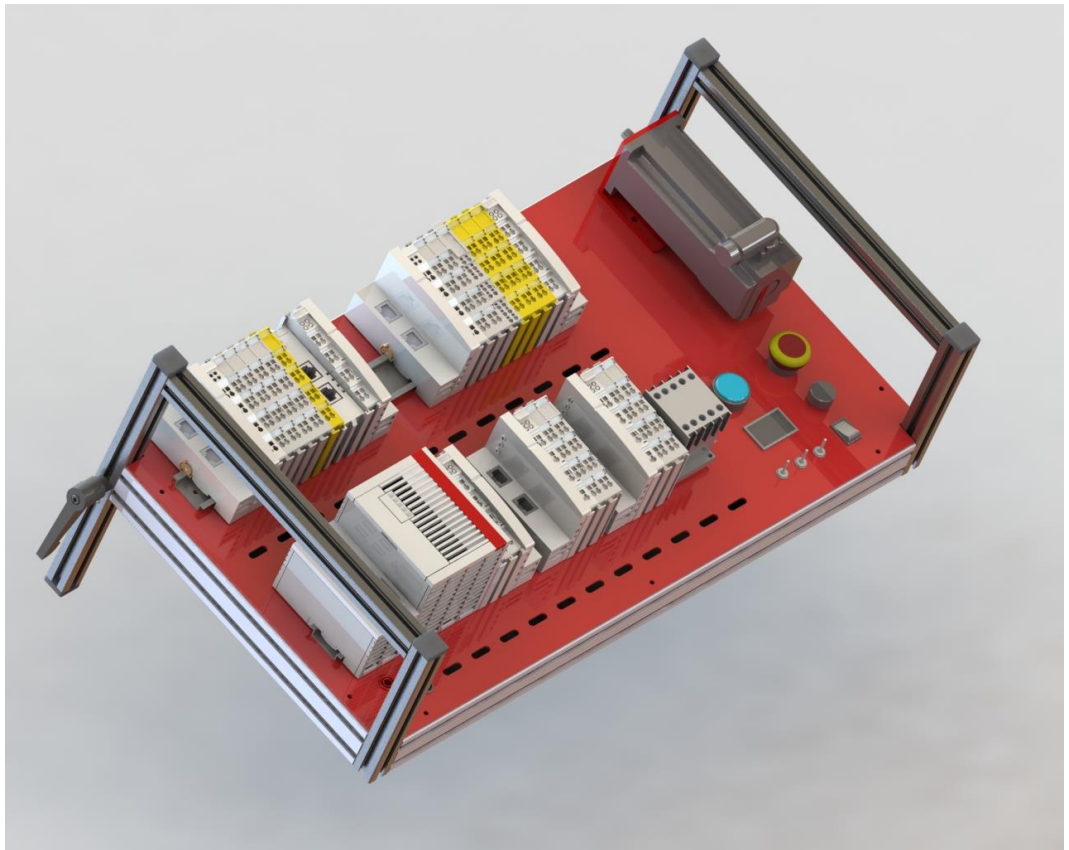


KUVA 28. Terminaalikaavio 5, TwinSAFE: EL2904 (sähkökuvat)

Turvalähtökortin EL2904-kanava on liitetty kontaktoriin K1, joka yhdistettynä moottorin AM8121-0F21 syöttökanavaan. Turvalähtökortti sekä turvaohjelma ei ole tarkoitettu pääsääntöisesti laitteiston turvakatkaisuun vaan käytettäväksi TwinSAFE- turvaohjelmisto harjoituksissa.

8 MEKANIKKASUUNNITTELU

Komponenttien valinnan jälkeen siirrytään koulutuslaitteiston mekaniikkasuunnitteluun. Suunnittelu aloitetaan mitoittamalla laitteiston tilantarvetta. Suunnittelussa laitteisto pyritään mahdollisimman yksinkertaiseen rakenteeseen joka ei vaadi laitteiston kytkijältä monimutkaista mekaanista toteutusta. Mallinnusta tehdään ensin käsin sketsaamalla.



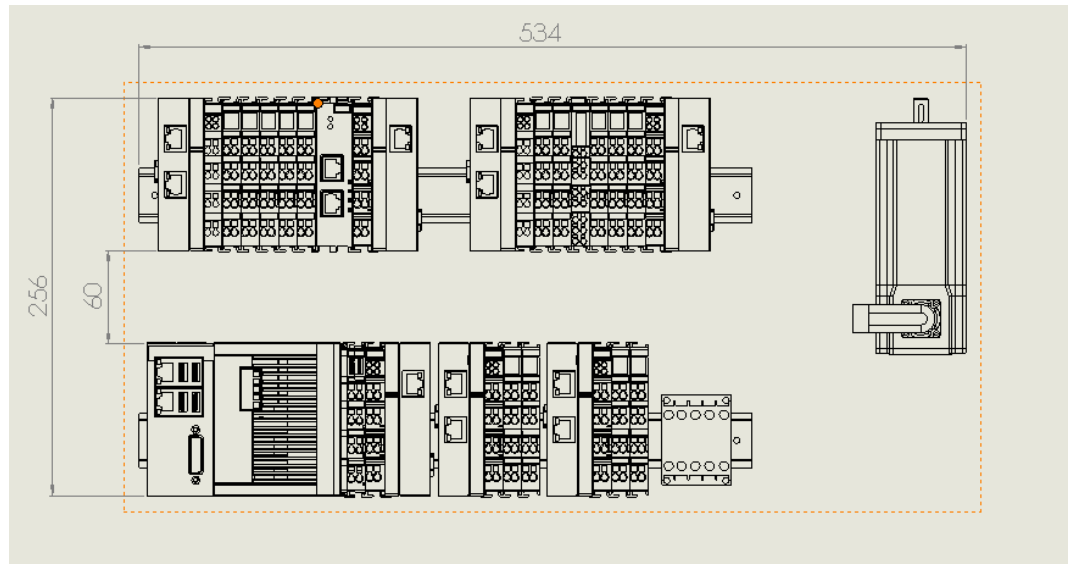
KUVA 29. Koulutuslaitteisto 3d (mekaniikkakuvat, Final render)

Ideana on toteuttaa laitteistolle ja komponenteille asennuslevy, joka kiinnitetään runkorakenteeseen. Laitteisto, komponentit ja kytkimet asennetaan levyn pintaan käyttäjän ulottuville, virtalähde ja muut tehokomponentit on eristettävä käyttäjästä ja maadoitettava.

Suunnittelussa käytin Solidworks 3D-mallinnusohjelmaa sekä Maytec Oy:n MayCAD-suunnitteluohjelmaa.

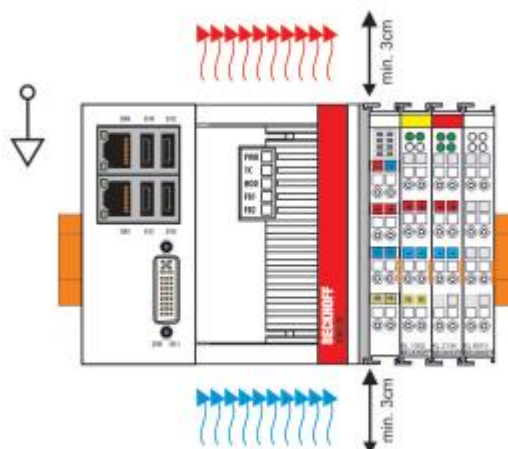
8.1 Komponenttien tilantarve

Mitoitetaan Beckhoff komponenttien tilantarve.



KUVA 30. Komponenttien tilantarve (mekaniikkakuvat, drawing)

Mekaniikkasuunnittelu aloitettiin mallintamalla komponenttien tilantarvetta Solidworks- ohjelmistolla. Komponenteista löytyy 3D-mallit Beckhoffin kotisivuilta step- muodossa. Solidworks tukee step- tiedostoja, mutta koska mallinnukset ovat alun perin toteutettu toisessa suunnitteluohjelmistossa, pieniä korjauksia tiettyjen osien kohdalla joudutaan tekemään.

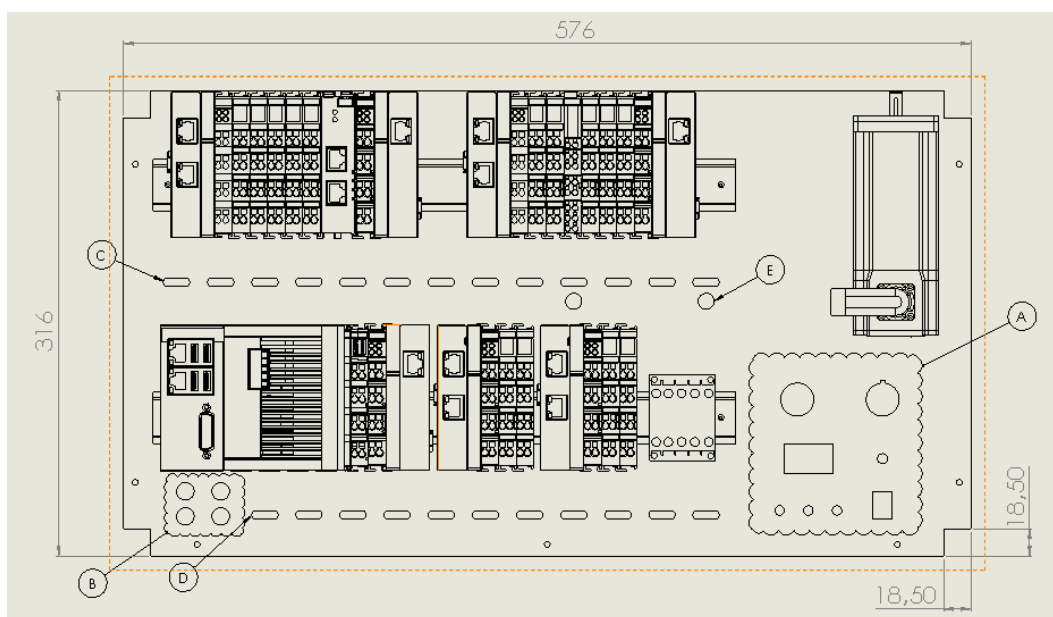


KUVA 31. CX5100, jäähdytystila, manual (Beckhoff 2015. c)

Komponenteille suositeltu jäähdytystila on 30 mm ylä- ja alapuolelle, ja asennussuunta vertikaali. Koulutuslaitteisto toimii laitteiston maksimikäyttölämpötilaa huomattavasti viileämmässä tilassa ja käyttö ei ole yhtäjaksoista, joten laitteiston asentaminen kulmaan käyttömukavuuden lisäämiseksi ei tuota ongelmia laitteiston jäähdytyksessä. Jäähdytystilaa laitteiston väliin jätetään kuitenkin suositusten mukaan 60 mm.

8.2 Asennuslevy

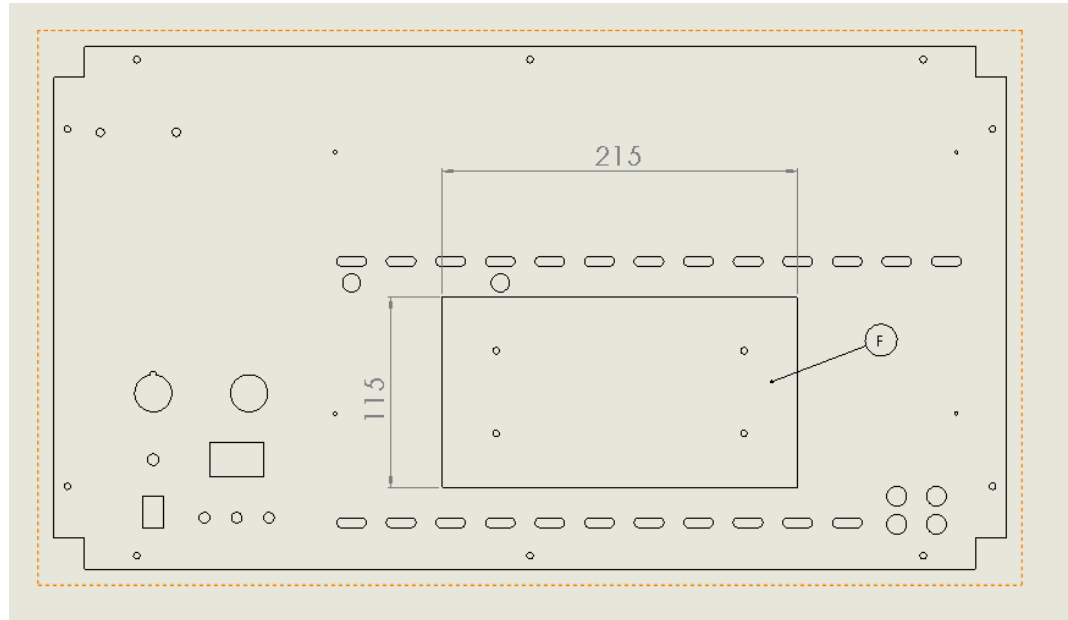
Asennuslevyihin mallinnettuna johdotusten läpiviennit sekä sähkökomponenttien asennusreijät.



KUVA 32. Asennuslevy, etu (mekaniikkakuvat, drawing)

Mallinnetaan asennuslevy komponenttien tilantarpeen mukaan. Korirakenne toteutetaan 20x30 alumiiniprofiilista, joka huomioidaan komponenttien ja laitteiden sijoittelussa. Asennuslevyn kulmiin tehdään lovet koulutuslaitteiston suojakaaria varten. Näyttölaitteille ja kytkimille varataan tila (kuva 32, A) laitteiston alareunasta, josta laitteisto ja kytkimet helposti käytettävissä oikeakätiselle. Varataan tila (kuva 32, B) lisälaitteiden jännitesyötöille. Johdotusten läpiviennit (kuva 32, C ja D)

sijoitetaan kiskojen suuntaisesti koko laitteiston asennusalueen mittaiseksi. Servomootorin kaapeli viedään erillisen läpiviennin (kuva 32, E) avulla kaapelointitilan kautta servokortille.

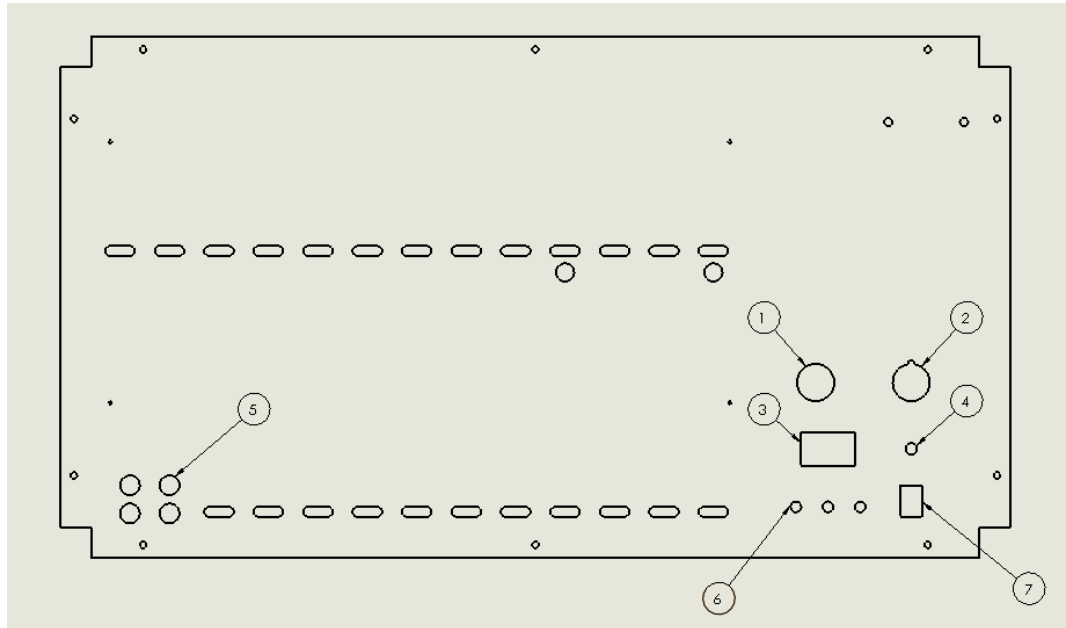


KUVA 33. Asennuslevy, taka (mekaniikkakuvat, drawing)

Laitteiston kotelon sisätila on mitoitettu mahdollisimman pieneksi, joten käytettävät komponentit on valittu myös syvyysuunnassa mahdollisimman vähän tilaa vieviksi. Asennuslevyn takapuolelle on huomioitu tila virtalähteelle (kuva 33, F), joka ei saa myöskään olla esteenä laitteiston johdotuksille.

8.3 Sähkökomponentit

Koulutuslaitteiston kytkimet, paneeli ja muut sähkökomponentit on valittu mahdollisimman kompakteista komponenteista pienen tilankäytön saavuttamiseksi. Osa komponenteista on erityisesti suunniteltu käytettäväksi käsikäyttöisissä ohjaimissa. Komponenttien tarve on ollut tiedossa jo sähkösuunnitteluvaiheessa, mutta laitteen mekaanisen ja sähköisen suunnittelun yhdistyessä komponenttien lopullinen valinta tapahtuu vasta suunnittelutyön loppuvaiheilla.

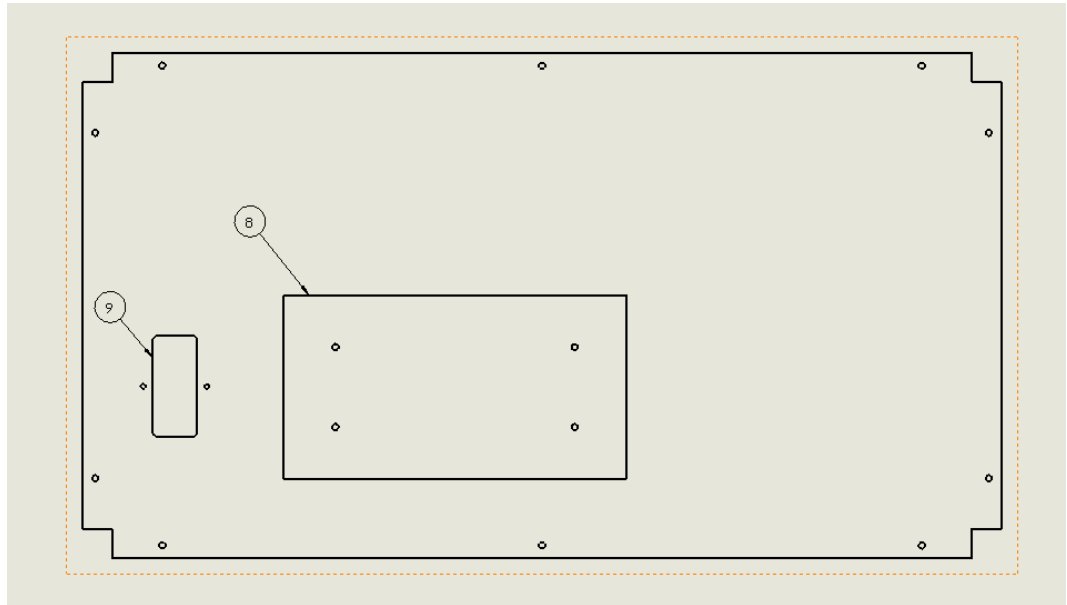


KUVA 34. Asennuslevy, etu (mekaniikkakuvat, drawing)

Kuvassa 34 nähdään sähkökomponenttien sijoittelu etupaneelille.

Painonapit ja kytkimet ovat sijoitettu laitteiston alareunaan yhden käden ulottuville.

- 1. Hätäseis kuittaus
- 2. Hätäseis painike
- 3. $\pm 24\text{vdc}$ paneelimitari
- 4. Potentiometri
- 5. Banaaniliitin $\pm 24\text{vdc}$
- 6. Dippikytkin on-off-(on)
- 7. Virtakytkin on-off



KUVA 35. Asennuslevy, taka (mekaniikkakuvat, drawing)

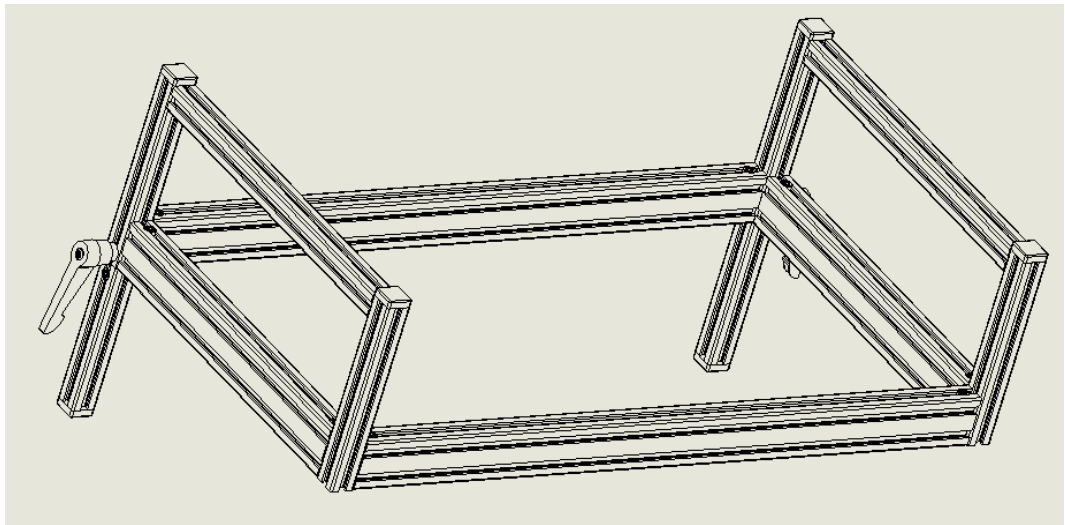
Kuvassa 35 nähdään laitteiston takapaneeliin kiinnitettävä virtalähde ja sen kiinnitysreijät sekä 230Vac virtasyötön liitin.

- 8. Jännitelähde, 24VDC/0-8,4ADC
- 9. Virtaliitin C14, (250VAC, 10A)

8.4 Runko

Laitteiston runko on suunniteltu MayCad- mallinnusohjelmalla. MayCad on Maytech-profiilijärjestelmävalmistajan oma ilmainen suunnitteluohjelmisto, joka on tarkoitettu erityisesti suunnitteluun valmistajan komponenteilla. MayCad- kirjastosta löytyy lähes kaikki komponentit MayTechin kattavasta valikoimasta. Ohjelmiston käyttäminen on yksinkertaista ja selkeää eikä tuota ongelmia käyttäjälle jolla on edes hieman kokemusta 3d mallinnusohjelmista. MayCadin suurin hyöty tulee ohjelmiston ominaisuudesta muodostaa liitoskohdat automaattisesti MayTech-komponenttien liitosmallien pohjaisesti. Liitostyyli on yhä käyttäjälle valittavissa, mutta paikoin monimutkaistenkin liitoskohtien mallinnukseen ei suunnittelijan tarvitse käyttää aikaa.

Ohjelmisto antaa jo suunnitteluvaiheessa käyttäjälle suuntaa-antavan arvion mallinnuksen komponenttien hinnasta ja valmis mallinnus on lähetettävissä suoraan MayTech- partnereille sopimuksen mukaan joko työstettäväksi tai tilattavaksi erillisinä komponentteina ilman työstöä. MayCad- ohjelmistossa piirretyt mallinnukset ovat myös ongelmitta tuotavissa SolidWorks- ympäristöön ja yhdistettävissä isompaan kokonaisuuteen.

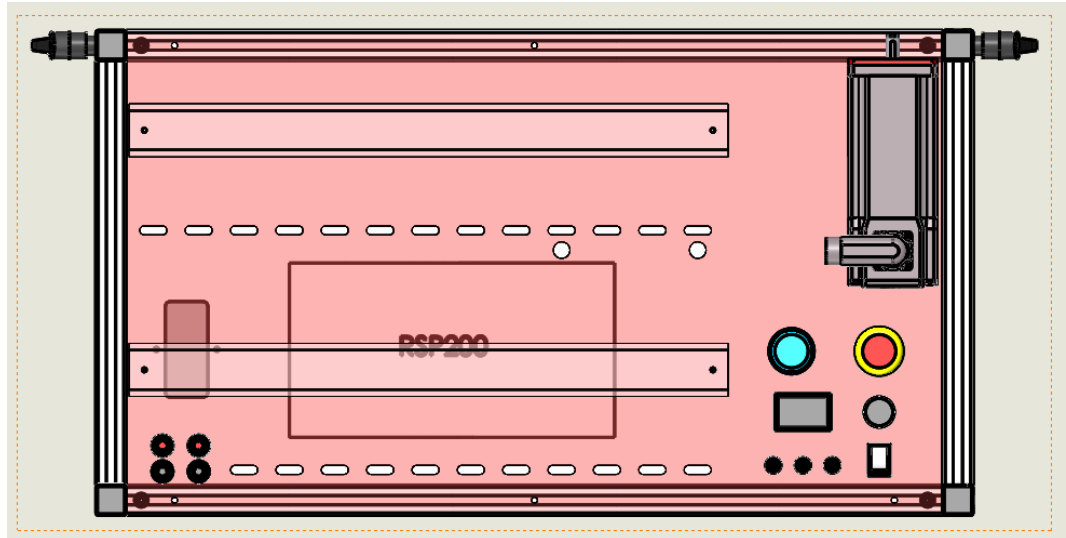


KUVA 36. Runko (mekaniikkakuvat, drawing)

Rungon kehikko (kuva 36) on valmistettu 30x20mm alumiiniprofiilista ja on sekä kevyt että tukeva. Laitteiston ympärille rakennetut suojakaaret ovat toteutettu 20x20mm profiilista ja toimivat myös kantokahvoina laitteiston liikuttelussa. Takana olevat korokejalat asettavat laitteiston 30°:n asteen kulmaan laitteiston käytön helpottamiseksi. Korokejalat ovat irrotettavissa pikakiinnikkeillä, jolloin paneelin pohjaan jäävät urat asettuvat limittäin laitteistoja päällekkäin pinottaessa. Laitteistot pystytään kokoamaan päällekkäin sekä ovat kuljetettavissa helposti esimerkiksi henkilöauton tavaratilassa.

8.5 Tilantarpeen tarkastus

Mekaniikkakuvien lopputarkastuksia ennen laitteiston komponenttien tilaamista.



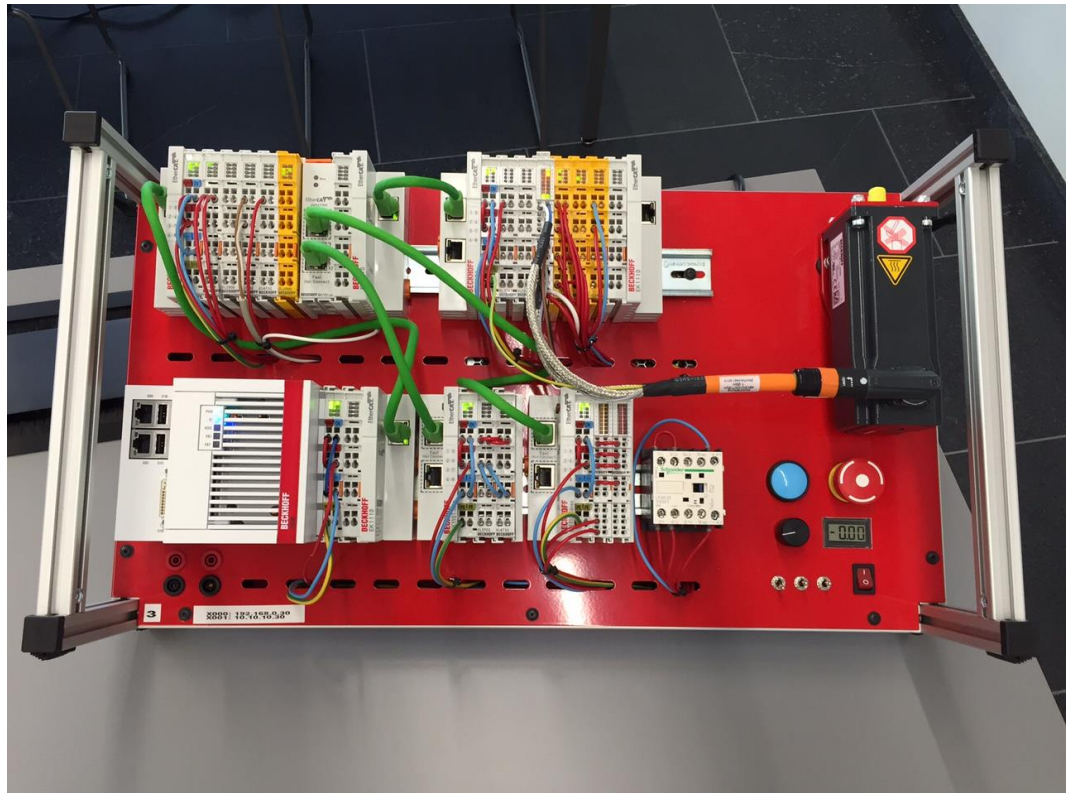
KUVA 37. Koulutuslaitteisto etu, transparent parts (mekaniikkakuvat, drawing)

Ennen komponenttien tilaamista on hyvä tarkastella mallinnettujen komponenttien tilantarvetta sekä asemaa kokoonpanossa (kuva 37). Solidworks tarjoaa tähän yksinkertaisena ratkaisuna mahdollisuuden säätää erikseen komponenttien läpinäkyvyyttä tai kokonaan piilottaa halutun komponentin. Tämä yhdistettynä Solidworksin mitoitustyökaluun antaa suunnittelijalle hyvän kuvan lopullisesta kokoonpanosta, komponenttien sijoittelusta sekä mahdollisista päällekkäisyyksistä kokoonpanossa.

Kun kokoonpano vaikuttaa toimivalta, tehdään osista erilliset piirustukset ja lähetetään tarjouspyyntö niiden työstämisestä komponenttien valmistajille.

8.6 Prototyyppi

Koulutuslaitteiston prototyypin testaaminen Beckhoff Automation Oy:n pääkonttorilla Hyvinkäällä.



KUVA 38. Koulutuslaitteisto, prototyyppi

Prototyypin (kuva 38) alumiiniprofiilinen runko tilattiin työstettynä osissa ja asennuslevyt vesileikattuna 2 mm:n alumiinista. Laitteiston huolellinen suunnittelu näkyi lopputuloksessa, ja mekaniikan kasaamiseen kului aikaa vain noin 30 minuuttia. Prototyypin tarkastelun pohjalta ainoa muutos koulutuslaitteistoon tehtiin potentiometrin sekä paneelimittarin sijoittelussa. Paneelimittarin sekä potentiometrin paikkaa vaihdettiin, jolloin potentiometriä säätäessä käyttäjän kämmen ei peitä paneelimittarin näkymää.

9 LAITTEISTON SUUNNITTELU JA YHTEISTYÖ

Laitteiston suunnittelu ja yhteistyö oli läpi projektin miellyttävä kokemus. Profiilijärjestelmiä valmistavan Maytech Oy:n Suomen tytäryhtiöltä SKS Oy:ltä tilatut komponentit suunniteltiin Maytechin omalla suunnitteluohjelmalla MayCadillä. MayCad- ohjelmistossa on yksinkertainen ja miellyttävä käyttöliittymän. Ohjelmisto antaa myös suuntaa antavan hinnoittelun käytettäville komponenteille sekä mahdollistaa kuvien tallentamisen moneen eri suunnitteluohjelmistojen tukemaan tiedostomuotoon. Sähkökomponenttien mitat saatiin vielä kaksiulotteisista kuvista. Komponenttien valmistajat joutuvat jokatapauksessa tuottamaan kuvat komponenteistaan sisältäen tarvittavat mitoitukset,

Tulevaisuuden suunnittelutyö yhtenäistyykin komponenttien valmistajien ja suunnitteluohjelmistojen välillä. Tähänkin projektiin useat kuvat ja materiaalit saatiin tarkkoina piirustuksina komponenttien valmistajilta, mikä helpottaa suunnittelijan työtä huomattavasti. Kuitenkin komponenttien siirtely useiden ohjelmistojen välillä ei aina suju huolettomasti vaan tässäkin projektissa aikaa kului laitteiden ja komponenttien yhteensopivuusongelmien korjaamiseen. Tulevaisuus näyttää, siirtävätkö komponenttien valmistajat tuotteidensa mallintamisen omien suunnitteluohjelmistojen ympäristöön vai laajennetaanko valmistajien komponenttikirjastoa soveltuvaksi kolmannen osapuolen suunnitteluohjelmistoille.

10 YHTEENVETO

Työn tuloksena prototyypin pohjalta rakennettiin kahdeksan kappaletta koulutuslaitteita, jotka ovat käytössä Beckhoffin uudella pääkonttorilla Hyvinkäällä. Koulutuslaitteiden toteutuksessa päästiin haluttuihin tavoitteisiin ja kokonaisuudesta tuli ulkoasullisesti miellyttävä sekä helposti kuljetettava.

Laitteiston valmistamiseen tarvittavat mekaniikka- ja sähkökuvat, komponentit ja osavalmistajien materiaalitiedot sekä osatoimitusten tarjouspyynnöt on arkistoitu Beckhoff Automation Oy:n käytettäväksi laitteiston jatkotuotantoa varten.

LÄHTEET

Beckhoff Automation Oy. 2015 a. Beckhoff: New automation technology [viitattu 1.5.2015]. Saatavissa: Beckhoff.fi

Beckhoff Automation Oy. 2015 b. Beckhoff infosys: EtherCAT [viitattu 1.5.2015]. Saatavissa Beckhoff infosys tietokannasta: infosys.beckhoff.com

Beckhoff Automation Oy. 2015 c. Beckhoff: komponentit ja datalehdet [viitattu 1.5.2015]. Saatavissa Beckhoff Automation Oy:n tietokannasta: Beckhoff.fi