

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja laiteautomaatiotekniikka

Opinnäytetyö

Ville Suokas

ETHERCAT – HAJAUTETTU OHJAUSJÄRJESTELMÄ

Työn ohjaaja:
Työn teettäjä:
Tampere 2009

Laboratorioinsinööri Seppo Mäkelä
Tampereen ammattikorkeakoulu, konelaboratorio

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja laiteautomaatio

Ville Suokas

Opinnäytetyö

Työnteettävä

Työn ohjaaja

Maaliskuu 2009

Hakusanat:

ETHERCAT - HAJAUTETTU OHJAUSJÄRJESTELMÄ

48 sivua + 13 liitesivua

Tampereen ammattikorkeakoulu, konelaboratorio

Laboratorioinsinööri Seppo Mäkelä

EtherCAT, Beckhoff, hajautettu I/O

TIIVISTELMÄ

Yritysten paineet tuottavuuden parantamiseksi ovat ajaneet ne etsimään tehokkaampia keinoja tuotannon valvontaan ja ohjaukseen. Mittaus- ja säätökomponenttien helppon liitettävyyden ja irrotettavuuden parantamiseen varten, sekä johtimien ja liitosten määrää vähentämään on kehitetty erilaisia teollisuusväyliä. Teollisuusväylät ovat lisääntyneet rajusti teollisuuden automaattioratkaisuissa.

Tämän opinnäytetyön aiheena on hajautettu ohjausjärjestelmä EtherCAT, joka on Bechhoffin kehittämä Ethernetin reaaliaikaratkaisu. Tässä työssä selvitetään teollisuusautomaation ja Ethernetin peruskäsitteitä sekä perehdytään EtherCAT järjestelmään. Opinnäytetyön puitteissa tehtiin hajautettuun ohjausjärjestelmään digitaali-/analogia-yksikkö Tampereen ammattikorkeakoulun konelaboratorioon. Työn tavoitteena on luoda lukijalle käsitys tavallisesta tehdasautomaatiosta ja EtherCAT-järjestelmästä. Ensimmäisessä osiossa perehdytään tehdasautomaatioon ja Ethernetiin. Toisessa osiossa käsitellään EtherCAT-järjestelmää syvemmin, ja lopuksi esitellään tulo/lähtö-yksikkö ja tämän ylösajo.

TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering

Machine Automation

Ville Suokas

ETHERCAT - DISTRIBUTED CONTROL
SYSTEM

Engineering Thesis

48 pages + 13 appendices

Thesis Supervisor

Supervisor Laboratory Engineer Seppo Mäkelä

Commissioned by

Tampere University of Applied Sciences

March 2009

Keywords

EtherCAT, Beckhoff, distributed I/O

ABSTRACT

The pressure of companies to improve productivity has driven them to look for more efficient methods to the supervision and control of the production. Different industry fieldbuses have been developed to reduce the number of cables, joints and measuring components and to improve connecting of adjustment components. The industry fieldbuses have increased in the automation solutions of the industry.

The subject of this degree work is a distributed control system EtherCAT, a real-time solution of Ethernet, which is developed by Beckhoff. In this work the basic concepts of industrial automation and of Ethernet are clarified and the EtherCAT system is studied. Within the degree work the digital unit/an analogy unit was made to a distributed control system to the machine laboratory of Tampere University of Applied Sciences. The objective of the work is to create an idea of ordinary factory automation and to present the EtherCAT system to the reader. In the first part the factory automation and Ethernet are studied. In the second part the EtherCAT system is more deeply studied, and in the end the input/output unit and its start-up are presented.

Käytetyt lyhenteet:

ASIC	Kustomoitu integroitu piiri
CNC	PC numeerinen ohjaus (computerized numerical control)
CSMA/CD	Tietoliikenteen siirtotien varausmenetelmä (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection)
CRC	Tiedonsiirtovirheiden havaitseminen (Cyclic Redundancy Check)
DCS	Hajautettu ohjaus järjestelmä (Distributed Control System)
DPRAM	Jaettu muisti (Dual-Port RAM)
DSL	Digitaalinen tilaajayhteys (Digital Subscriber Line)
EEPROM	Haihtumaton/uudelleen kirjoitettava puolijohdemuisti (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
EMI(-vaikutus)	Sähkömagneettinen häiriö (Electromagnetic interference)
ESC	Elektroninen nopeudensäädin (electronic speed controller)
FPGA	Kenttäohjelmoitava muistipiiri (Field Programmable Gate Array)
FTP	TCP-protokollaa käyttävä tiedostonsiirtomenetelmä (File Transfer Protocol)
Hamming(-etäisyys)	Kahden samanpituisen merkkijonon toisistaan eroavien merkkien lukumäärä.
HTTP	Hypertekstinsiirto protokolla (Hypertext Transfer Protocol)
IEC	Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio (International Electrotechnical Commission)
I/O	Tulo/Lähtö
IPC	Teollisuus tietokone (Industrial PC)
LVDS	Elektroninen jännitteen siirto järjestelmä (Low Voltage Differential Signaling)
MAC	Verkon varausta ja liikennöintiä hoitava osajärjestelmä (Media Access Control)

MPS	Sähköistys-kytkin (Midspan Power Source)
NIC-kortti	Standardi Ethernet-kortti
OSI	Referenssimalli (Open Systems Interconnect)
PC	Tietokone
PDO	Prosessikappaletieto (process data objects)
PHY	Fyysinen Ethernet-kerros
PLC	Logiikka (programmable logic controller)
POE	Käyttöjännitteen syöttötekniikka (power over ethernet)
PPPoE	Protokolla, jolla muodostamaan suora yhteys verkkolaitteiden välillä. (Point-to-Point Protocol Over Ethernet)
RJ45	Kierretty parikaapeli
RTOS	Reaaliaikainen käyttöjärjestelmä (Real Time Operating System)
SDO	Kappaleen käyttöönottotieto (service data objects)
SNMP	TCP/IP-verkkojen hallinnassa käytettävä tietoliikenneprotokolla. (Simple Network Management Protocol)
SPI	Synkroninen, yksinkertainen sarjaliitäntä
TCP/IP	TCP=tietoliikenneprotokolla, jolla luodaan yhteyksiä tietokoneiden välille (Transmission Control Protocol), IP-mallin Internet-kerroksen protokolla (Internet Protocol)
TFTP	Yksinkertainen tiedon siirto protokolla(Trivial File Transport Protocol)
UDP	Tietokoneiden väliseen tiedonsiirtoon käytty protokolla (User Datagram Protocol)
VPN	Kaksi tai useampia verkkoja voidaan yhdistää julkisen verkon yli muodostaen näennäisesti yksityisen verkon. (Virtual Private Network)
XML	Merkintäkieli-standardi (eXtensible Markup Language)

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Tehdasautomaatio	8
1.2 Tehdasautomaatiojärjestelmä	9
1.3 Hajautettu ohjausjärjestelmä	10
2 TEOLLISUUS-ETHERNET	11
2.1 Ethernet-kehys	13
2.2 Teollisuusverkot	13
3 ETHERCAT	15
3.1 Esittely	15
3.2 EtherCAT-ohjauksen periaate	19
3.3 EtherCATin piirteet	20
3.3.1 Protokolla	20
3.3.2 Topologia	22
3.3.3 Hajautettu kellotahdistus	24
3.3.4 Suorituskyky	25
3.3.5 Vianmääritys	26
3.3.6 Helppo laajennettavuus	27
3.3.7 EtherCAT PC-ohjauksen sijasta	27
3.3.8 Laiteprofiilit	29
3.3.9 CANopen yli EtherCATin	29
3.3.10 Servo-ohjain profiili EtherCATissa	29
3.3.11 Ethernet yli EtherCATin	30
3.3.12 Tiedoston pääsy yli EtherCAT:n	31
3.4 EtherCATin turvallisuus	31
3.4.1 Turva- ja I/O-tekniikka samassa järjestelmässä (TwinSAFE)	31
3.4.2 EtherCATin turvallisuus	32
3.4.3 Turvaterminaalien liittäminen I/O-järjestelmään	34
3.5 Infrastruktuurikustannukset	34
3.6 Käyttöönnoton näkökulmat	34
3.6.1 Master-laite	35
3.6.2 Master-näytekoodi	36
3.6.3 Slave-laite	37
3.6.4 EtherCAT slave-laiteohjain	37
3.7 EtherCATin yhteenveto	39

4 BECKHOFF, HAJAUTETTU OHJAUSJÄRJESTELMÄ	41
4.1 Väyläterminaalit	41
4.2 Automaatiostandardi	42
4.3 I/O-väyläterminaali harjoituslaitteiston rakenne.....	43
4.3.1 EK1100- EtherCAT Coupler	44
4.3.2 EL1008-8xdigital input	44
4.3.3 EL2008-8xdigital output	44
4.3.4 EL3102-2xanalog input.....	45
4.3.5 EL4034-4xanalog output.....	45
5 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	47
LIITTEET	48

1 JOHDANTO

Jatkuvat paineet tuottavuuden kasvuun ovat ajaneet yritykset etsimään tehokkaampia keinoja tuotannon valvontaan ja ohjaukseen. Perinteisesti prosessien mittaus ja ohjaus suoritetaan viemällä jokaiselle anturille ja toimilaitteelle omat signaalijohtimet, ja komponenttien sähkönsaanti vaatii kaapeloinnin. Kun pyritään tuotannon mahdollisimman tarkkaan ohjaukseen, kasvaa mittaus- ja säätökomponenttien määrä, jolloin myös johtimien määrä kasvaa jatkuvasti. Tämä lisää paitsi asennusaikaa ja tilantarvetta, myös vikaantuvien antureiden, säätimien, johtimien ja liitosten määrää. Vikaantuvien kohteiden määrän lisääntyminen ja monimutkaistuvien johdotusten aiheuttama vianetsinnän vaikeutuminen lisää seisokkiaikoja ja vähentää tuottavuutta. Mittaus- ja säätökomponenttien helppoa liitettävyyttä ja irrotettavuutta sekä johtimien ja liitosten määrää vähentämään on kehitetty erilaisia teollisuusväyliä. Vanhaa järjestelmää ei tarvitse korvata kokonaan uudella, vaan väyläratkaisuja voidaan ottaa käyttöön halutussa laajuudessa vanhan järjestelmän rinnalle. Kenttäväylystä on tullut automaatioteknologiaan integroituja komponentteja ja ne ovat laajalti käytössä. Kenttäväyläteknologia on mahdollistanut laaja-alaiset PC-pohjaiset ohjausjärjestelmät.

Kenttäväyläteknologia on lyönyt itsensä läpi automaatiotekniikassa ja parantanut käyttäjien hyödyksi melkein kaikkia mahdollisia käyttöalueita. Johdottamisen määrä on laskenut, ja koneet ja laitteistot ovat muuttuneet modulaarisimmiksi ja pienemmiksi. Uudet tekniikat ja komponentit luovat yhä uusia käyttömahdollisuuksia.

Beckhoffin EtherCAT-järjestelmä perustuu teollisuus Ethernet verkkoon ja on siten joustava väyläratkaisu. EtherCATiin voidaan liittää kaikki yleisimmät väyläratkaisut kytkimien avulla. Beckhoffin väyläterminaali on avoin ja kenttäväylätyypistä riippumaton I/O-järjestelmä, joka koostuu väyläterminaaleista.

1.1 Tehdasautomaatio

Tehdasautomaatiolla tarkoitetaan prosessiteollisuuden käyttöön rakennettua automaatiota. Prosessiteollisuus käsittää kemian ja petrokemian teollisuuden sekä merkittävän osan metsä-, vuori-, metalli-, lääke- ja elintarviketeollisuudesta. Prosessiteollisuus yleisesti tarkoittaa virtaavia aineita, prosesseja ja kappaletavaran käsittelyä. Virtaavien aineiden käsittelyssä on runsaasti teollisuuden alasta riippumattomia yhteisiä piirteitä, minkä vuoksi niiden automaatiota ja muutakin tekniikka voidaan käsitellä samalla tavoin. Ensinnäkin niissä on useimmiten hallittavana samoja suureita, kuten virtausnopeus, paine, lämpötila, pinnankorkeus tai jokin pitoisuus. Toiseksi niissä pyritään hallitsemaan jotain fysikaalista (myös bioteknistä) ilmiötä tai kemiallista reaktiota. Ilmiön tai reaktion luonne voi olla luonnostaan stabiili tai epästabiili. Ensimmäisessä tapauksessa prosessiautomaation tehtäväksi jää lähinnä mittaustiedon esittäminen ihmiselle sopivassa muodossa sekä prosessin tavoitetilan muutosten ohjaus. Jälkimmäisessä tapauksessa automaation tulee lisäksi vakauttaa eli stabiloida prosessi niin, että se pysyy halutussa tilassa ja siirtyy hallitusti tilasta toiseen. Juuri näihin tapauksiin tarvitaan takaisinkytkettyjä säätöpiirejä.

Automaation näkökulmasta prosessiautomaatio koostuu perusautomaation tasolla erilaisten yksikköoperaatioiden hallinnasta ja tehdasautomaation tasolla koko tuotannon hallinnasta. Nykyisin prosessiautomaation tehtäväkenttää on laajennettu yhä suuremmissa määrin myös prosessilaitteiden kunnonvalvontaan ja tuotteiden laadunvalvontaan sekä ulotettu koko raaka-aineiden hankintaketjuun ja vastaavasti tuotteiden toimitusketjuun tehtaalta asiakkaille. /3/

1.2 Tehdasautomaatiojärjestelmä

Nykyaikainen prosessiautomaatiojärjestelmä koostuu useista kymmenistä tehtäväänsä erikoistuneista tietokoneista, jotka voivat ”keskustella” keskenään eritasoisten tietoverkkojen avulla. Tehtävien jakamista useammalle erikoistuneelle tietokoneelle kutsutaan hajauttamiseksi. Prosessiautomaatiojärjestelmä saa jatkuvasti mittaustietoa prosessista siihen kytkettyjen mittalaitteiden kautta sekä kykenee ohjaamaan prosessia toimilaitteidensa avulla. Mittalaitteet koostuvat ”tuntoelimistä” eli anturista ja mittalähtimestä, joka muuttaa anturin antaman mittaviestin paremmin siirrettävään ja muu laitteiston kannalta helpommin käsiteltävissä olevaan standardimuotoon. Toimilaitteet vaikuttavat prosessiin halutulla tavalla, esim. venttiili voi muuttaa virtausta jossakin putkessa tai lämmitysvastus voi muuttaa lämpötilaa jossakin säiliössä. Toimilaitteet koostuvat toimimoottorista ja toimielimestä. Nykyisin sekä mittalaitteet että toimilaitteet sisältävät usein oman erikoistuneen mikroprosessorinsa, joka kykenee myös keskustelemaan muiden laitteiden prosessoreiden kanssa. Tästä syystä näitä toimilaitteita on kutsuttu älykkäiksi kenttälaitteiksi. Älykkäät kenttälaitteet kommunikoivat sekä keskenään että muiden automaatiolaitteiden ja myös ihmisen kanssa alemman tason tietoverkon eli ns. kenttäväylän kautta.

Prosessiautomaatiojärjestelmä sisältää myös ns. ylemmän tason tietokonelaitteita eli alaseamia, joissa voidaan suorittaa vaativampaa laskentaa ja tietojen käsittelyä ja joissa tietoa voidaan paremmin prosessia valvovan ihmisten käyttöön sopivaksi. Ala-aseamat voivat vaihtaa tietojaan ns. järjestelmäväylän avulla, joka on käytännössä samanlainen paikallinen tietoverkko (ns. lähiverkko) kuin toimistoissa käytetyt verkot. Niitä prosessiautomaatiojärjestelmän laitteita, jotka on rakennettu palvelemaan prosessia ohjaavaa ja valvovaa ihmistä, kutsutaan valvomolaitteiksi. Merkittävä osa prosessiautomaatiojärjestelmästä onkin rakennettu ihmisen tarvitsemaa käyttöliittymää varten. Sen kautta osaava henkilöstö kykenee hallitsemaan laajoja tehdaskokonaisuuksia suurissa valvomoissa. Prosessiautomaatio yksinkertaistaa toimintaa. Tuhansiin kohtiin eri puolille laitosta asennetut anturit keräävät tietoja mm. lämpötiloista, paineista ja sähkövirroista. Tiedot tallentuvat tietokoneelle, ja ne analysoidaan. Koko tehdasta ja jokaista laitetta voidaan tarkkailla valvomosta. /3/

1.3 Hajautettu ohjausjärjestelmä

Nykyaikainen automaatiototeutus sisältää lähes aina lähtö- ja tulopiirejä, jotka on viety prosessiaseman luota lähemmäs toimilaitteita. Tällaista toteutusta kutsutaan hajautetuksi I/O:ksi. Prosessiautomaatiojärjestelmät ovat tyypillisesti hajautettuja ohjausjärjestelmiä (DCS = Distributed Control Systems). DCS- järjestelmään kuuluu tyypillisesti prosessiasemia, valvomoasemia, järjestelmäväylä, ohjelmointilaitteita ja tiedonhallinta/raportointiasema. Tiedonhallinta-asema tarvitaan tavallisesti vain keskikokoisissa tai suurissa sovelluksissa. Prosessiohjauksen reaaliaikainen tietokanta hajautetaan viemällä prosessiasemat lähelle prosessia. Hajautetun automaatiojärjestelmän prosessiasemat kykenevät hoitamaan mittaustiedon käsittelyn, ohjausten laskennan ja ohjausten tekemisen paikan päällä. Tällöin ei tarvitse lähettää mittaustietoja kuin jollekin keskustietokoneelle laskentaa varten ja sitten palauttaa ohjausarvoja. Tästä seuraa, että järjestelmä voidaan rakentaa prosessi layoutin mukaan. Kenttäväylän avulla voidaan säästää kaapelointikustannuksissa. Hajautetut I/O-yksiköt viedään lähelle prosessia, jolloin kaapelointi mittaus- ja toimilaitteilta I/O-yksiköille on mahdollisimman lyhyt. Kommunikointi hajautetun I/O-yksikön ja prosessiaseman keskusyksikön välillä tapahtuu keskitetysti kenttäväylän kautta. Nykyisin järjestelmissä painottuvat helppokäyttöisyys, avoimuus ja liityntä perinteisiin tehtaan PC- verkkoihin ja tietohallintajärjestelmiin. /4/

2 TEOLLISUUS-ETHERNET

Teollisuuden käytössä on Ethernet-verkolla lähes yhtä pitkä historia kuin toimistoverkkojen puolella, tosin käytön luonne ja laajuus ovat kokemassa suuren muutoksen. Esimerkiksi tehtaiden ohjaustason verkkojen väyläratkaisuna on Ethernetiä hyödynnetty jo pitkään, mutta alimmalla kenttälaitetasolla, eli perinteisten kenttäväylien maaperällä, on Ethernetin käyttö vielä suhteellisen uutta. Koska Ethernet on lähiverkkotekniikkana tullut alun perin tunnetuksi toimistoverkkojen puolelta, on samaista tekniikkaa teollisuuden puolella sovellettuna alettu kutsua teollisuus-Ethernetiksi. /6/

Teollisuus-Ethernet on käsite, joka pyrkii kattamaan automaation vaateet niin ohjaus- kuin myös kenttätasolla. Ethernet tarjoaa toimittajakohtaisiin verkkoihin nähden paremman liitettävyyden muihin järjestelmiin, enemmän kaapelointivaihtoehtoja, työkaluja ja alhaisemmat kustannukset. Muut verkkoratkaisut FDDI, ATM, High-Speed Token Ring, USB, FireWare eivät pysty uhkaamaan Ethernetin suhteen tapahtuvaa voimakasta kehitystyötä automaatioympäristössä. Laajeneva toimittajien yhteistoimintaverkko ja tehdyt ratkaisut mm. kenttäväyläympäristössä Ethernet TCP/UDP/IP:n suhteen tuovat jatkuvasti uusia sovelluskelpoisia ratkaisuja. Deterministisyys Ethernet-verkoissa paranee suuremman nopeuden, tiedonsiirron kaksisuuntaisuuden ja kytkentäisen verkkotopologian ansiosta. Lisäksi deterministisyyden parantamisessa on kaksi suuntausta: toinen perustuu viestiin liitettävään aikaleimaan, toinen protokollassa tapahtuvaan viestin priorisointiin. Käytettävyyden kannalta ja Ethernetin kenttätason ratkaisujen kannalta kenttäkelpoisuus koskien kaapelointi- ja liitintekniikkaa on avainasemassa.

Jokainen yleinen standardoitu kenttäväylä on liitettävissä Ethernet TCP/IP-verkkoon, jolloin käytettävissä ovat kaikki yleiset ja tunnetut työkalut ja tiedonsiirtomenetelmät aina laitetasolle asti. Ethernetistä puuttuu kuitenkin sovellustason profiili, joten automaatio-sovellusten välinen tiedonsiirto vaatii vielä kehitystyötä. /6/

Kenttäväylien valmistajien keskuudessa on ollut voimistuva trendi tuoda Ethernet-pohjaisia sovelluksia alemmille automaation tasoille niin ohjaus- kuin kenttäväylätasolle. Näiden teollisuus-Ethernetejen trendin taustalla ovat alhaisemmat laitekustannukset, parempi liitettävyys muihin järjestelmiin ja yksinkertaisempi verkon

hallinta. Teollisuus-Ethernetejä voidaan käyttää kaikilla organisaation tiedon siirron tasoilla, mikä mahdollistaa merkittävästi helpommin huollettavan ja yksinkertaisemman verkon rakentamisen. Vaativaksi saman tiedonsiirtotekniikan käytön kaikilla tasoilla tekevät tasojen erilaiset vaatimukset ja niiden yhteen sovittaminen kenttätason reaaliaikaisuudesta toimistotason suurten data määrien siirtämiseen. /9/

Teollisuus-Ethernetistä puhuttaessa tarkoitetaan tavallista paremmin suojattuja Ethernet verkkolaitteita, liittimiä ja kaapeleita, jotka ovat valmiita kestämään niitä tehtaissa mahdollisesti koettelevat rankemmat olosuhteet.

Ensimmäiset syyt kokeilla toimistoympäristössä laajasti käytössä ollutta Ethernet-tekniikkaa myös teollisuuden tiedonsiirtoon olivat tekniikan suuri tiedonsiirto-nopeus ja komponenttien halpa hinta. Myöhemmin kuitenkin huomattiin tekniikan tarjoavan yhden vielä edellisiäkin suuremman edun: tiedolle katkeamattoman kulun läpi koko organisaation. Ethernet mahdollistaa teollisuuslaitosten ja -yritysten verkkojen yhtenäistämisen alimalta kenttälaitetasolta aina ylimmälle johdon päätöksenteon tasolle asti käyttämään yhtenäistä, avoimaa ja standardia teknologiaa. Tällaisessa vaativassa tehtävässä suoriutuakseen Ethernetin täytyy tilanteen mukaan kyetä muun muassa kovaan reaaliaikaisuuteen, ja samanaikaisesti verkon täytyy olla avoin kaikenlaiselle muullekin liikenteelle. Etenkin TCP/IP-protokollaperheen tuominen kenttälaitteille ja TCP/IP-liikenteen salliminen reaaliaikaisen liikenteen seassa on hyvin olennaista. Laitteiden TCP/IP-kykyisyyden myötä esimerkiksi konfigurointi ja vikadiagnostiikka voidaan haluttaessa suorittaa tavallisella web-selaimella. /5/

2.1 Ethernet-kehys

Ethernetissä kulkevia sanomia kutsutaan kehyksiksi. Kehyksiä on kolmea päätyyppiä: Unicast, Multicast ja Broadcast. Unicast-kehykset sisältävät tietyn kohdeosoitteen. Multicast-kehykset lähetetään rajatulle joukolla ja Broadcast-kehykset lähetetään koko verkon levitysalueelle.

Taulukko 1: Ethernet-kehysten sisältö IEEE 802.3:n mukaan. /8/

Tavua	7	1	6	6	2	< ≈1500	<64	4
	Tahdistusosa	Kehyksen alkuerote	Kohdeosoite	Lähdeosoite	Pituus-/tyyppikenttä	Data	Täyte(optio)	Tarkistussumma

2.2 Teollisuusverkot

Teollisuusverkot voidaan jakaa kolmeen kerrokseen: toimistoverkot, ohjausverkot ja laitetason verkot. Ethernet on toimistoverkko. Sen yleisyyden ja tätä myöten laajan valmistuksen ansiosta hinnat ovat pudonneet reilusti. Tämä on johtanut siihen, että sitä pyritään ottamaan käyttöön myös ohjaus- ja laitetasolla. Monet valmistajat ovat kehittäneet omia Ethernet-pohjaisia versioitaan alemmille tasoille: automaatioon ja tuotantokoneiden ohjaukseen. Näitä järjestelmiä kutsutaan teollisuus Etherneteiksi. Aiemmin PLC (programmable logic controller) olisi kommunikoinut käyttäen yhtä lukuisista avoimista tai patentoiduista protokollista, kuten esimerkiksi Profibus, CANopen, Foundation Fieldbus, DeviceNet, Sinec H1 tai Modbus.

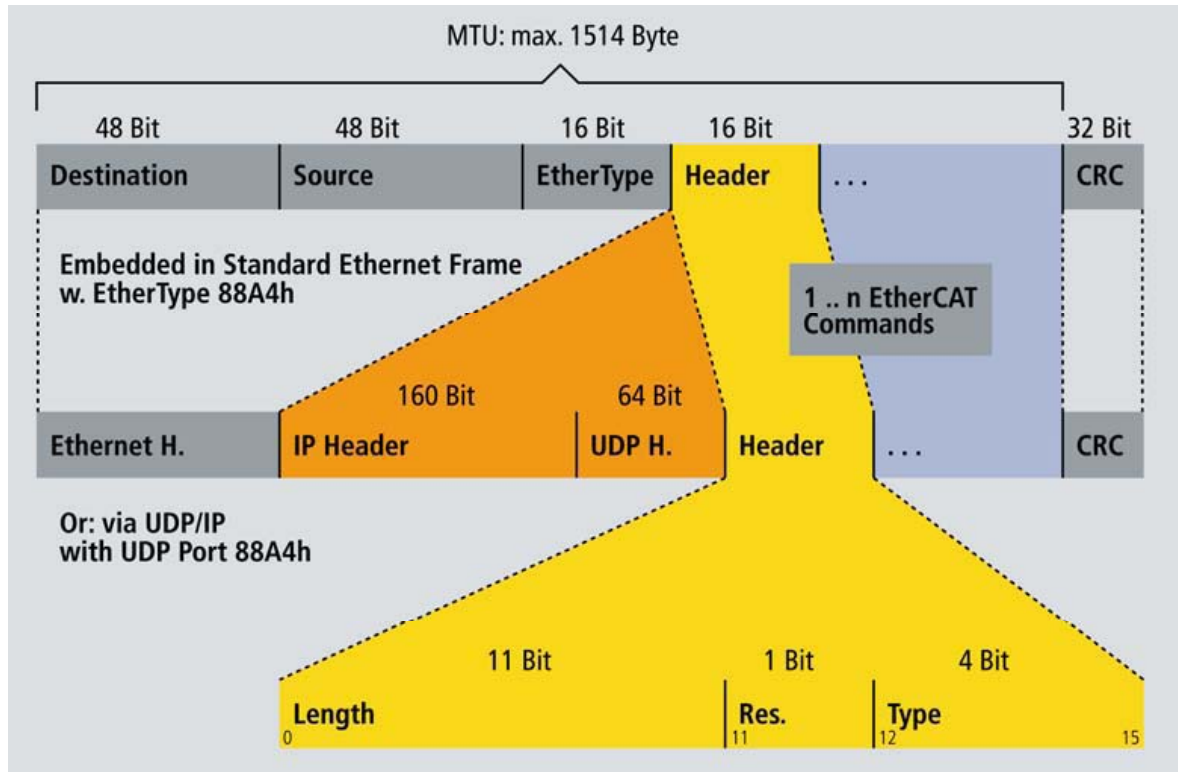
Yhteistä teollisuus Etherneteissä on, että ne pohjautuvat Ethernetiin ja käyttävät samalla tavoin hyödyksi OSI-mallin kerroksia yhdestä neljään. Lisäksi niillä on yhteneviä ei-aika kriittisiä toimintoja seitsemännessä kerroksessa. Tällaisia ovat HTTP (Hypertext Transfer Protocol), FTP (File Transfer Protocol) ja SNMP (Simple Network Management Protocol).

Ethernetin käyttö kaikilla tasoilla tuo monia mahdollisuuksia, mutta myös haasteita. Aiemmin epäiltiin Ethernetin mahdollisuuksia toimia tiedon välityskanavana reaaliaikaisissa teollisissa sovelluksissa ja prosesseissa, koska se ei ole deterministinen. Tästä syystä suurimmalla osalla teollisuus-Etherneteistä onkin laajennus reaaliaikaisen kommunikaation mahdollistamiseksi. Teollisuus-Etherneteillä on pitkällä aikavälillä mahdollisuus korvata perinteiset kenttäväylät. Tällä hetkellä isona jarruna on virran saanti laitteisiin, koska monet mittaus- ja ohjauslaitteet ovat saaneet virtansa kenttäväylältä, mutta teollisuus-Ethernetit eivät yleensä kykene välittämään virtaa näille laitteille. Ethernetille on jo standardoitu vuonna 2003 Power over Ethernet (PoE) -ratkaisu virran syöttämiseksi laitteille. Tällä ratkaisulla virta syötetään tietyn tyyppistä Ethernet-väylää pitkin laitteille. Jo olemassa olevissa väylissäkin voidaan virtaa tarvitsevia laitteita sähköistää, lisäämällä virtaa tarvitsevan laitteen ja kytkimen väliin Midspan Power Source (MPS). Tarjolla on myös kytkimiä, joihin on yhdistetty MPS, joten erilaisia ratkaisumahdollisuuksia on paljon. /4/

3 ETHERCAT

3.1. Esittely

EtherCAT (Ethernet Control Automation Technology) on Beckhoff:n vuonna 2003 kehittämä Ethernetin reaaliaikaratkaisu. EtherCAT soveltuu erittäin pienten vasteaikojen ansiosta kaikenlaiseen automaatioon, eritoten liikkeenohjaukseen ja I/O:hon. EtherCATin taustalla on EtherCAT Technology Group -ryhmittymä. EtherCATin protokollaratkaisu on täysin standardi-Ethernetistä poikkeava. Verkossa on yksi master-laite, ja verkon loput laitteet ovat slave-laitteita. Reaaliaikainen suorituskyky on toteutettu niin, että master-laite lähettää yhden kehyksen, joka kuljetetaan kaikkien slave-laitteiden läpi ja lopuksi viimeinen slave-laite lähettää kehyksen jälleen takaisin master-laitteelle. Slave-laitteet lukevat kehyksestä niille tarkoitetun datan ja vastaavasti kirjoittavat kehykseen sen kulkiessa niiden lävitse eli ikään kuin "lennossa". Tällaisella menettelyllä säästetään Ethernet-kehysten vastaanottamiseen ja prosessointiin tavallisesti kuluva aika, ja kehys viivästyy ainoastaan muutamia nanosekunteja. Lähettämistä suoraan Ethernet-kehyksessä (reaaliaikakanava) käytetään tilanteissa, joissa master-laite on samassa aliverkossa slave-laitteiden kanssa. Kaikkiin slave-laitteisiin on integroitu EtherCAT Slave Controller, joka on ASIC- tai FPGA-piiri. Tämä piiri hoitaa kommunikoinnin laitteen osalta kokonaan. /6/

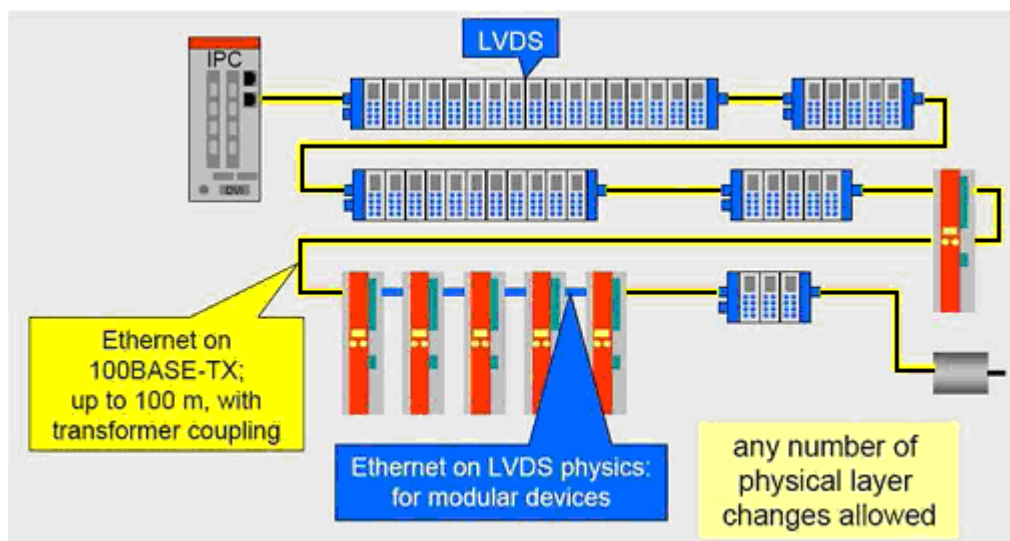


Kuva 1: EtherCATissa data paketoidaan joko suoraan Ethernet-kehyykseen (reaaliaikakanava) tai UDP-kehyykseen. /2/

Master-laite, joka tekee aloitteen kaikkeen tiedonsiirtoon, voidaan toteuttaa vakio-Ethernet-ohjaimella. Käytetty kehys on standardi Ethernet-kehys. Reaaliaikakanavan käyttö tunnistetaan tyyppikentän arvosta 88A4h. Kehyksen dataosiossa kuljetetaan prosessidata yhdessä tai useammassa EtherCAT- telegrammissa (Kuva 1). Telegrammit palvelevat kukin tiettyä loogisen prosessikuvan (engl. logical process image) muistialuetta. Kuljettamalla useampi telegrammi yhden standardikehyksen sisällä ja kierrättämällä tämä kehys kaikissa segmentin laitteissa edestakaisin saadaan kaistanleveys tehokkaaseen käyttöön.

Fyysisellä kerroksella EtherCAT hyödyntää 100 Mbps Fast Ethernetiä ja kierrettyä parikaapelia. Verkon modulaarisissa laitteissa, joita kutsutaan Bus Couplereiksi, muutetaan kierretty parikaapeli kuitenkin LVDS:ksi (Low Voltage Differential Signaling) (Kuva 2). LVDS tunnetaan myös nimellä E-bus ja se on vaihtoehtoinen fyysinen kerros Ethernetille. LVDS:ää voidaan käyttää muun muassa 10 Gigabit Ethernetissä. E-busissa kaapelin maksimipituus on 10 m, kun se Fast Ethernetissä on 100 m, näin valinta voidaan tehdä esimerkiksi etäisyysvaatimuksiin pohjautuen. Modulaarisen laitteen lopussa järjestelmä muunnetaan takaisin kierrettyyn parikaapeliin.

Verkossa ei tarvita lainkaan kytkimiä, jos kaikki laitteet ovat EtherCAT-laitteita. Tavalliset, standardin mukaiset Ethernet-laitteet voidaan liittää verkkoon kuitenkin ainoastaan kytkimen avulla. Kytkin voidaan asentaa verkossa minne tahansa, mutta master- ja slave-laitteiden väliin asennettuna verkon suorituskyky laskee kytkimestä aiheutuneen viiveen verran. Mieluiten kytkin on yksi terminaali modulaarisessa laitteessa. Tällöin sillä ja siihen liitetyillä laitteilla ei ole vaikutusta verkon suorituskykyyn, ja Ethernet-kehukset ainoastaan tunneloidaan EtherCAT-protokollan sisään. Kaistanleveydestä jää TCP/IP-liikenteelle noin 1 %. Jos EtherCAT-sovellusten tarvitsee liikennöidä aliverkosta toiseen tai jos liikennettä tarvitsee reitittää, kuljetetaan EtherCATia UDP-protokollan päällä. Lisäksi EtherCAT-laitteet voivat sisältää muita Ethernet-protokollia ja toimia ikään kuin standardin-Ethernet-laitteena. Tällöin master-laite toimii virtuaalisena kytkimenä ohjaten liikenteen osoitetiedon perusteella oikeille laitteille.



Kuva 2: Modulaarisissa laitteissa kierretty parikaapeli vaihtuu LVDS:ään. /1/

EtherCATilla päästään jopa 30 mikrosekunnin sykli-aikoihin. 100 servoakselia voidaan päivittää 100 mikrosekunnissa. Koska EtherCATissa kehys kiertää lenkin kaikkien laitteiden kautta, voidaan verkon minkä tahansa kahden solmun välinen etenemisviive laskea. Laitteet synkronoidaan tämän tiedon avulla, ja näin päästään alle 1 mikrosekunnin tarkkuuteen. Korkeammalla tasolla synkronointiin käytetään PTP-protokollaa. Verkkotopologian suhteen EtherCAT ei aseta rajoituksia. Laitteita voi olla verkossa enintään 65536 kappaletta. /1/

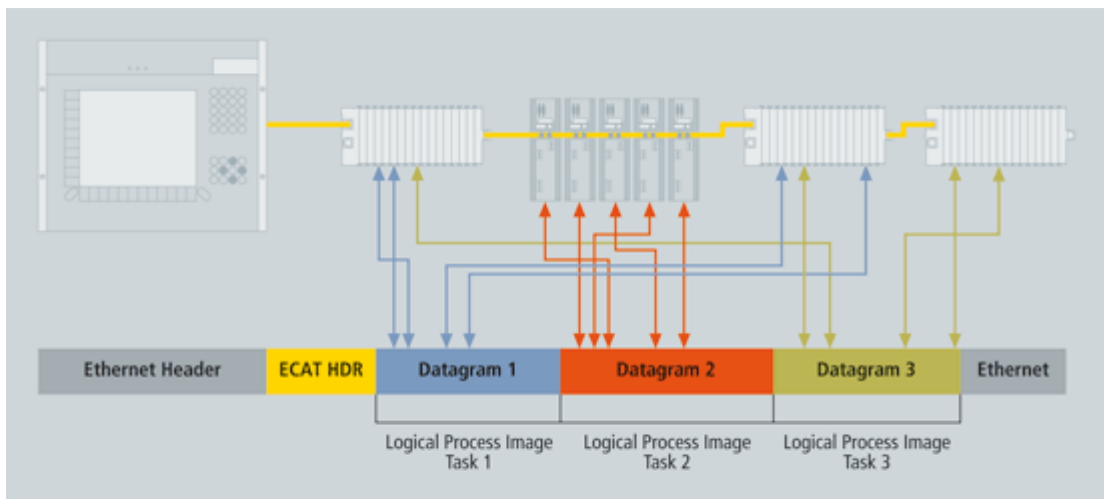
3.1.1 Ethernet ja reaaliaikainen kapasiteetti

On monia eri mahdollisuuksia tehdä ja hankkia reaaliaikaista kapasiteettia Ethernetille, esimerkiksi CSMA/CD menetelmän pääsy aliohjelmaan estetään korkeamman tason protokollalla ja se korvataan aikasiivumenettelyllä; muita esityksiä käytetään erikoiskytkimissä, jotka hajauttavat ohjautetusti ja tarkasti Ethernet-paketteja. Samaan aikaan on mahdollista siirtää nämä ratkaisut datapaketeiksi nopeasti, ja täsmällisesti yhdistää ne Ethernet-solmukohtaan. Uudelleenohjaus lähdöille tai ohjainkortteille tarvittava aika tai aika tulotiedon lukemiseen riippuu vahvasti toteutuksesta.

Jos yksittäinen Ethernet-kehys on käytössä jokaisella laitteella, on käytettävän tiedon määrä hyvin pieni periaatteessa: lyhyin Ethernet kehys on 84 bittiä pitkä (mukaan lukien inter-paketin väly IPG). Jos esimerkiksi ajon syklinen kierto lähettää todellisia arvoja 4 bittiä ja asema tieto siksi vastaanottaa 4 bittiä käskyarvoja ja ohjaa sanatietoa, 100 prosentin väylä kuormasta on käytössä vain $4/84=4.8\%$ (se on äärettömän lyhyt vastaus-aika ohjaukselle). 10 mikrosekunnin keskimääräiseen vastausaikaan pääsy tiputtaa käyttöasteen 1.9 %:iin. Nämä rajoitukset soveltuvat kaikille reaaliaikaisille Ethernet tuloväylille, jotka lähettävät Ethernet kehyksen jokaiselle laitteelle (tai odottavat kehystä jokaiselta laitteelta), riippumatta protokollista joita käytetään Ethernet-kehyksissä. /1/

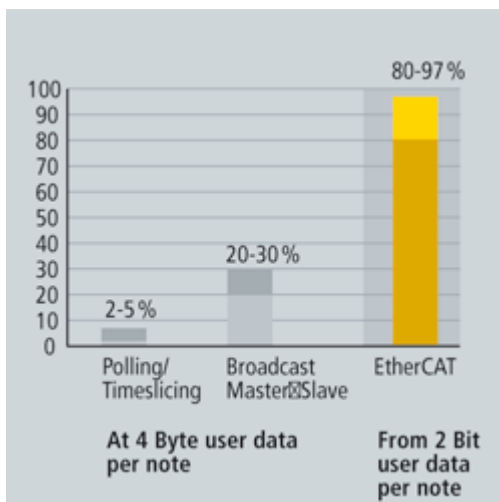
3.2 EtherCAT-ohjauksen periaate

EtherCAT-teknologia voittaa toisten Ethernet-ratkaisujen luontaiset rajoitukset: Ethernet paketit eivät enää ole yleisesti hyväksytyjä, joten tulkinta- ja prosessitieto on siten kopioitu jokaiselle laitteelle. EtherCAT-slave-laitteet lukevat osoitteet niille, samalla kehys pääsee läpi solmukohdille. Yhtälailla tulotieto on asetettu samalla kun sähke pääsee läpi (ks. kuva 3). Kehykset ovat vain viivytettyjä muutaman nanosekunnin.



Kuva 3: Prosessitieto on asetettu sähkeeseen. /1/

Koska Ethernet-kehys käsittää monien laitteiden tiedon, ja molemmat ovat lähetetty ja vastaanotettu suuntaansa, käyttökelpoinen tiedonsiirtonopeus nousee yli 90 prosenttiin. 100BASE-TX:n full-duplex-piirteitä voidaan käyttää täysin hyväksi, joten vaikuttavan tiedon määrä >100 Mb/s on saavutettavissa (ks. kuva 4). /10/



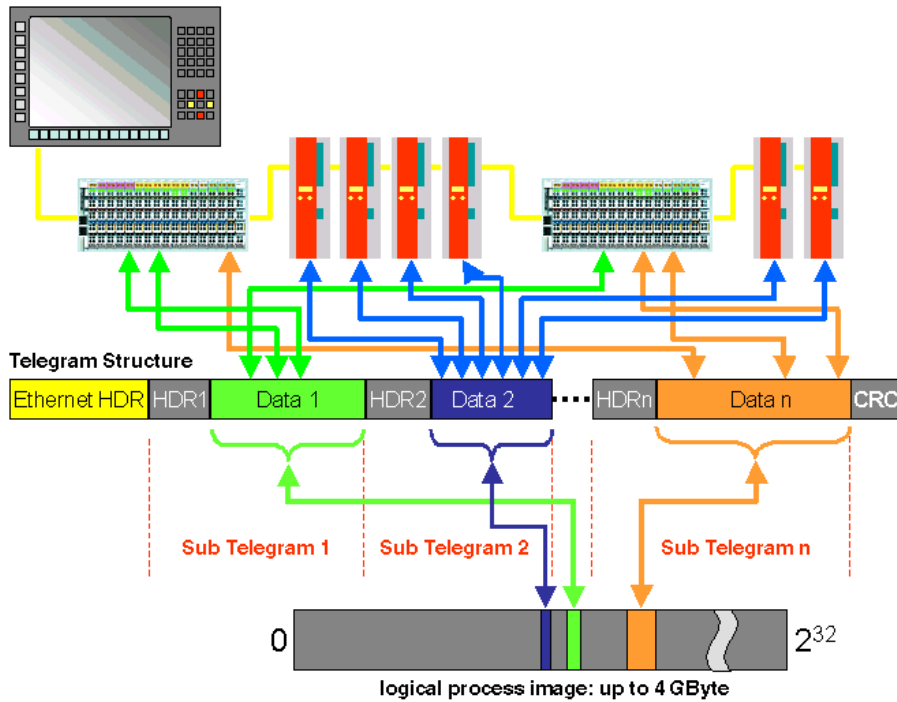
Kuva 4: Kaistanleveyden käytön vertailu /1/

IEEE:n 802.3 mukaan Ethernet protokolla pysyy koskemattomana suoraan yksittäiselle laitteelle, mitään ala-väylää ei vaadita. Moduuleista koostuvan laitteen järjestyksessä olevat vaatimukset ovat kuin elektroninen päätelohko, kytkinlaitteen fyysinen taso voi olla verrattavissa kierrettyyn parikaapeliin tai optiseen kuituun tai LVDS:ään (vaihtoehtoinen fyysinen Ethernet-taso). Näin ollen modulaariset laitteet ovat jatkossakin hyvin kustannustehokkaita. Jälkikäteen muunnos taustalevytason LVDS:stä 100BASE-TX:n tasoon on mahdollista milloin vain, myös yhtä useasti Ethernetin kanssa. /1/

3.3 EtherCATin piirteet

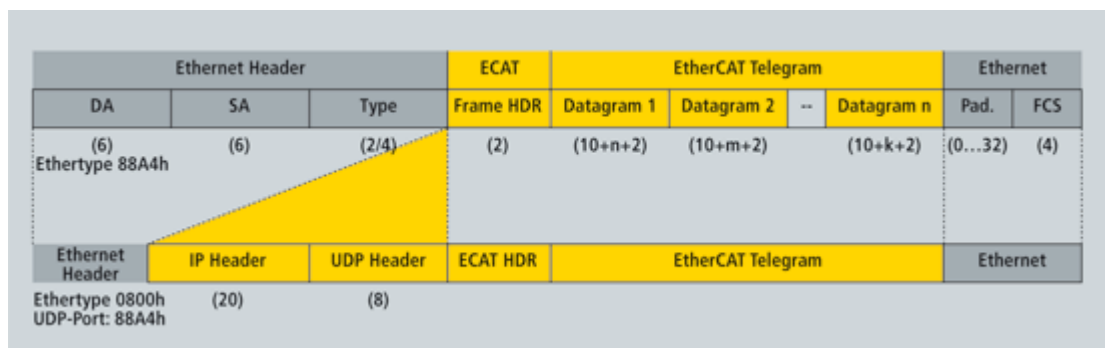
3.3.1 Protokolla

EtherCAT protokolla on optimoitu prosessitiedolle, ja se on kuljetettu suoraan Ethernet kehykseen käyttäen erikois-Ethernet-tyyppiä. Se voi koostua useista EtherCAT-viesteistä, joista jokainen palvelee loogisen prosessikuvakkeen tiettyä muistialuetta, joka voi olla jopa 4 gigatavun kokoinen. Datasarja on riippumaton Ethernet terminaalien järjestyksestä verkossa, osoitteet voivat olla missä järjestyksessä tahansa. Unicast-lähetys, multicast-lähetys ja kommunikoiminen slave-laitteiden välillä ovat mahdollisia. Suoran Ethernet-kehysten siirto on käytössä tapauksissa, joissa maksimaalista esitys tapaa vaaditaan ja EtherCAT komponentit ovat toiminnassa saman aliverkon kanssa kuin ohjain.



Kuva 5: Protokollan rakenne

Kuitenkaan EtherCAT sovellukset eivät rajoitu yksittäiseen aliverkkoon: EtherCAT UDP pakkaa EtherCAT protokollan UDP/IP tiedoksi (ks. kuva 5). Tämä mahdollistaa minkä tahansa Ethernet-protokollaohjaimen pinota osoitteet EtherCAT-järjestelmään. Kommunikoiminen reitittimen ja muiden aliverkkojen välillä on mahdollista. Tässä muunnelmassa järjestelmän suorituskyky riippuu ohjaimen ja sen Ethernet-protokollan toteutuksen reaaliaikaisista ominaispiirteistä. EtherCAT-verkon vastausaika itselleen on tuskin rajoitettu lainkaan: UDP-tiedon tarvitsee olla pakattu vain ensimmäisellä asemalla.



Kuva 6: EtherCAT: Standardi kehykset IEEE802.3 mukaan. /1/

Tiedonvaihdon lisäksi master/slave periaatteen mukaan EtherCAT on myös hyvin sopiva kommunikointiin ohjainten (master/master) välillä. Vapaasti osoitettavissa

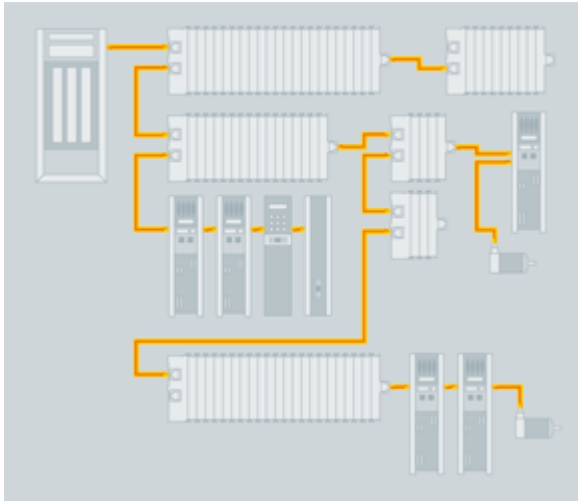
olevien verkkomuuttujien prosessitiedolle, palveluiden vaihtelevuus parametrisoinnille, diagnoosille, ohjelmoinnille ja kauko-ohjauksen peittämistä varten on olemassa laaja valikoima vaatimuksia. Datan solmukohdissa master/slave- ja master/master-kommunikaatiot ovat identtiset.

Slave-slave-kommunikaatiolle on olemassa kaksi mekanismia. Vastasuuntaan toimivat laitteet voivat kommunikoida myötäsuuntaan toimivien laitteiden kanssa, kunhan ne toimivat samassa syklistä ja näin ollen erittäin nopeasti. Koska tämä menetelmä on topologia-riippuvainen, on se erityisen sopiva slave-slave kommunikaatioon, tämän tyyppisiä sovelluksia käytetään esimerkiksi kirjapaino- tai pakkaus-sovelluksissa. Vapaasti muunneltavissa slave-slave-kommunikaatiossa, on toinen sovellettu mekanismi: data on linkitetty isäntälaitteelle. Tarvitaan kaksi sykliä poikkeuksellisen EtherCAT-esityksen käsittelemiseksi, tämä on silti nopeampi tapa kuin mikään muu lähestymistapa.

EtherCAT käyttää vain standardeja kehyksiä – kehykset eivät ole lyhennettyjä. EtherCAT-kehykset voidaan näin ollen lähettää mille vain Ethernet MACille, ja standardi-työkaluja (esim. monitoria) voidaan silti käyttää. /1/

3.3.2 Topologia

Väylä, rengas tai tähti: EtherCAT tukee melkein mitä vain topologiaa (ks. kuva 6). Väylän rakenne on tuttu kenttäväylistä, näin ollen se on myös käytettävissä Ethernet sovelluksilla, ilman määrällisiä rajoituksia jotka johtuvat epäsuorasti kaskadikytkimistä tai keskittimistä.



Kuva 7: Joustava topologia: väylä, rengas tai tähti /1/

Erityisen käytännöllinen väylä-topologia on pitkissä haarautuvissa tai lyhyissä kannoissa, tosin tällöin tarvitaan liittymäkohdille yhteys kytkimelle, lisäkytkimiä ei tarvita siltikään.

Johdotuksen joustavuus on enemmän riippuvainen kaapeleiden valinnasta. Joustava ja edullinen standardi-Ethernet-liitäntä kaapeli siirtää signaalin valinnaisesti Ethernet-moodille (100Base-TX) tai E-bus(LVDS)-signaaliesitykseksi. Optista lasikuitukaapelia (PFO) voidaan käyttää erityisissä sovelluksissa. Täydellistä kaistanleveyttä Ethernet-tietoliikenteessä, kuten erilaiset kuituoptyiset ja kuparikaapelit, voidaan käyttää erilaisissa yhdistelmissä kytkimien tai media muuntajien kanssa.

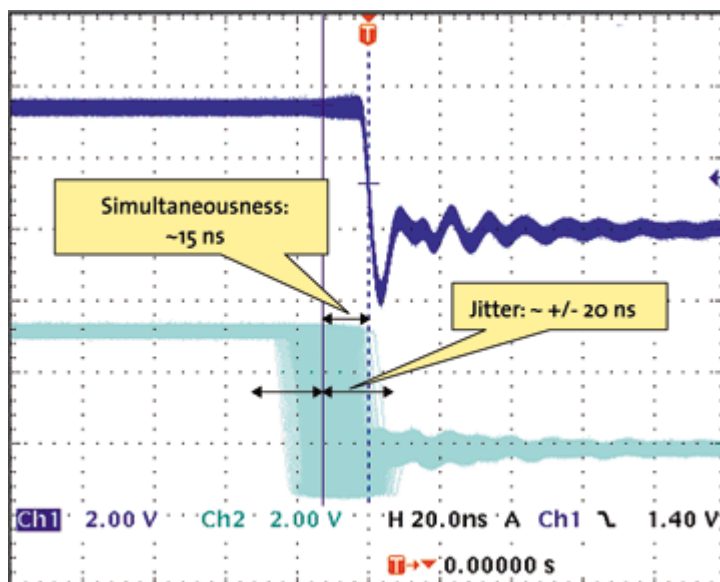
Fast-Ethernet tai E-bus voidaan valita perustuen etäisyyden asettamien vaatimusten mukaan. Fast-Ethernetin ominaisuudet mahdollistavat kaapelin pituudeksi 100 m laitteiden välille, kun taas E-bus kaapeli on tarkoitettu enimmillään 10 m etäisyyksille. Tietoliikenteen määrä on lähes rajoittamatonta, sillä 65535 eri laitetta voi olla kytkettynä. /1/

3.3.3 Hajautettu kellotahdistus

Tarkka synkronointi on erityisen tärkeää tapauksissa, joissa avaruudellisesti hajautettu prosessi vaatii samanaikaisia toimenpiteitä. Tämä voi olla tilanne, esimerkiksi sovelluksissa, missä useat servoakselit välittävät koordinoitua liikettä samanaikaisesti.

Kaikkein voimakkain lähestymistapa synkronoinnille on hajautetun kellotahdistuksen täsmällinen asettaminen, joka on kuvattu IEEE1588-standardissa. Täysin synkroniseen viestintään verrattuna, jossa tahdistuksen laatu kärsii heti viesti virheen sattuessa, kohdistetusti hajautettu kellotahdistus suvaitsee hyvin mahdollisia virheistä riippuvia viiveitä viestintäjärjestelmän sisällä.

EtherCATissa laitteiden täydellinen synkronisointi perustuu täysin puhtaasti laitteistoon. Koska viestintä hyödyntää loogista rengasrakennetta, näyte voidaan ottaa aikaleimoista kunkin laitteen sisältä saapuvista ja palautuvista kehyksistä. Näiden aikaleimojen kanssa master-laite voi määrittää etenemis-viiveen säätöpoikkeamista yksittäisille slave-kellotahdistukselle yksinkertaisesti ja tarkasti. Hajautetun kellotahdistuksen kalibrointi perustuu tälle arvolle, joka tarkoittaa erittäin tarkkaa koko verkon laajuista aika-akselia, jonka merkittävä huojunta on vähemmän kuin 1 mikrosekuntia (ks. kuva 7).



Kuva 8: Synkronoinen ja samanaikainen: kahden hajautetun laitteen scope view, joiden välissä on 300 solmua ja 120 metriä kaapelia. /1/

Kuitenkaan korkearesoluutista hajautettua kellotahdistusta ei käytetä vain tahdistusta varten, vaan se voi myös antaa tarkkaa tietoa paikallisesta ajoituksesta. Esimerkiksi liikeohjaimet laskevat tyypillisesti nopeuden perättäisistä mittauspaikoista. Erityisesti hyvin lyhyiden otanta-aikojen kanssa jopa pieni hetkellinen huojunta asemamittauksessa johtaa suureen askeleen muutokseen laskennallisissa nopeudessa. EtherCATissä aikaleima-datatyypit on esitetty kuten looginen laajennus. Korkearesoluutisen järjestelmän aika on linkitetty mitattavaan arvoon, mikä on mahdollista Ethernetin laajan kaistanleveyden vuoksi. Nopeus laskennan tarkkuus ei enää riipu kommunikointijärjestelmän heilunnasta. Se on järjestetty kooltaan paremmin kuin mittaustekniikka, joka perustuu vapaaseen heiluntakommunikointiin. /1/

3.3.4 Suorituskyky

EtherCAT tavoittaa uusia ulottuvuuksia tietoverkon suorituskyvyssä. Slave-laitteissa tapahtuvan laitteiston integrointi ja oikosiirto verkko-ohjaimelle master-laitteissa on mahdollistanut prosessin koko protokollankäsittelyn tapahtumisen laitteistossa ja se on näin ollen täysin itsenäinen protokollanipusta, CPU:n suorittamisesta tai ohjelmiston toteutuksen ajoajoista. Päivitysaika 1000 hajautetulle I/O:lle on vain 30 mikrosekuntia – mukaan lukien syklin aika (ks. taulukko 2). 1486-bittisten prosessien data voidaan vaihtaa yhdeksi Ethernet-kehykseksi; tämä vastaa lähes 12000 digitaalista tuloa ja lähtöä. Näin suuren datan siirtäminen vie noin 300 mikrosekuntia.

Taulukko 2: EtherCATin suorituskyky tiivistettynä /1/

Process Data	Update Time
256 distributed digital I/O	11 μ s = 0,01 ms
1000 distributed digital I/O	30 μ s
200 analog I/O (16 bit)	50 μ s ↔ 20 kHz
100 Servo Axis, with 8 Bytes input and output data each	100 μ s
1 Fieldbus Master-Gateway (1486 Bytes Input and 1486 Bytes Output Data)	150 μ s

Kommunikoiminen sadan servoakselin kanssa on myös todella nopeaa: joka sadas mikrosekunti kaikki akselit ovat varustettuja käskyarvoilla ja ohjaustiedolla, ja ne raportoivat niiden sen hetkisen aseman ja tilan. Hajautetut kellotahdistus teknisesti mahdollistaa akseleiden synkronisointi poikkeaman huomattavasti pienemmässä ajassa kuin 1 mikrosekunti. Tällä nopeudella tahdistamattomalle kommunikaatiolle kuten TCP/IP, parametrien lataus tai vianmääritys tiedon siirrolle kaistanleveys on riittävä.

EtherCAT-teknologian erittäin korkea suorituskyky mahdollistaa sellaisten ohjauksen käsitteistön käytön, joka ei ole ollut yhteensopiva klassisten kenttäväylä-järjestelmien kanssa. Teollisuus-tietokoneissa löytyy jo nykyään sellaisia sovelluksia joiden teho riittää EtherCATin tarpeille. Väylä-järjestelmä ei ole enää ongelmakohta ohjauksen konseptille. Hajautettu I/O tallentuu nopeammin kuin on mahdollista useimmilla paikallisilla I/O-yhtymäkohdilla. EtherCAT-teknologian periaate on skaalattavuus, ja se ettei sitä ole sidottu 1 bittiä/sekunnissa-100 Mbittiä/sekunnissa välille – laajennus gigabittiseen ethernetiin on mahdollista. /1/

3.3.5 Vianmääritys

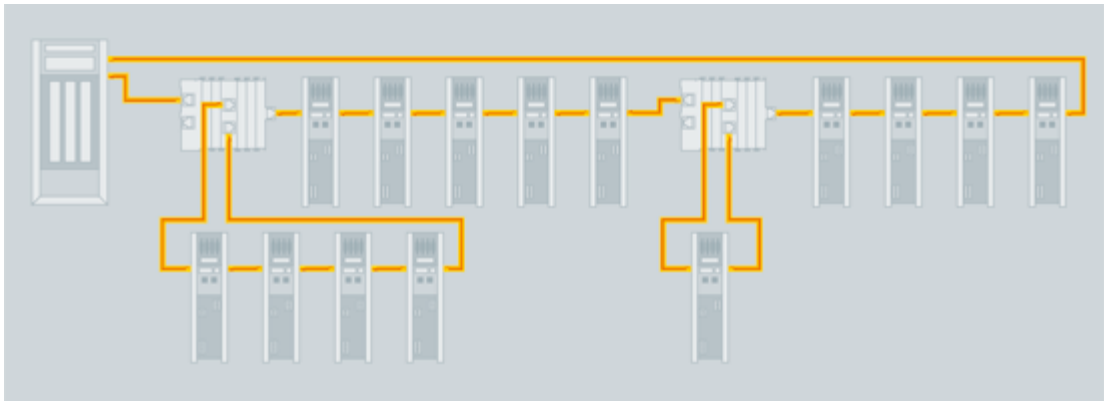
Kokemus kenttäväyläjärjestelmistä on osoittanut, että käytettävyys ja käyttöönotto-kerrat ovat kriittisesti riippuvaisia vianmääritysohjelman kapasiteetista. Vain viat, jotka ovat havaittu nopeasti ja tarkasti sekä paikannettu yksiselitteisesti, voidaan korjata nopeasti. Siitä syystä EtherCATissa on erityisesti keskitytty mallikelpoisen vianmääritysohjelman kehitykseen. Käyttöönoton mukaan todellisen solmujen kokoonpanon (esimerkiksi ohjaimet tai I/O-terminaali) pitäisi olla tarkastettuna, että se on yhtenäinen ennalta määritetyn kokoonpanon kanssa. Topologian pitää myös sopia kokoonpanoon.

Bittiviati tiedonsiirron aikana ovat luotettavasti havaittavissa arvioinnilla CRC tarkistussummasta: 32-bittisellä CRC-polynomilla on minimi-Hamming-etäisyys 4. Lukuun ottamatta vioittuneen kaapelin havaitsemista ja paikantamista, protokolla, fyysinen taso ja EtherCAT järjestelmän topologia mahdollistavat yksittäisen laatu-tarkkailun jokaiselle yksittäiselle lähetysohloille. Automaattiseen arviointiin liittyvä virhelaskuri mahdollistaa täsmällisen paikallistamisen kriittisissä verkko-osissa. Asteittainen virhe tai virhelähteiden muuttuminen, kuten EMI-vaikutus, viallinen liitin

tai kaapelivaurio, on havaittavissa ja paikannettavissa, vaikka se ei vielä rasittaisi verkkoa liikaa, mikä parantaa verkon kapasiteettia.

3.3.6 Helppo laajennettavuus

Laajennettavuus riippuu järjestelmän saatavuusehdoista, joten on annettu mahdollisuus valinnaiselle kaapelivarmennukselle, joka mahdollistaa laitteiden vaihdon ilman että verkkoa tarvitsee sulkea. Varmennuksen yhteenlasku on todella edullista: ainut lisälaitteisto on toinen standardisoitu Ethernet-portti (ei erikoiskortti tai liitäntä) master-laitteessa ja yksittäinen kaapeli, joka kääntää väylän rengas-topologiaksi (ks. Kuva 8). Ylikykentä laitetapauksissa tai kaapeliviassa kestää ainoastaan yhden syklin, joten jopa vaativan liikkeen ohjaussovellukset selviävät kaapeliviasta ilman ongelmia. EtherCAT myös tukee ylimääräistä master-laitetta, jolla on nopea toimintovalmius. Koska EtherCAT-slave-ohjaimet palautuvat heti automaattisesti kehykseltä, jos häiriö on tavattu, laitteen vika ei johda täydelliseen verkon sulkemiseen. Esimerkiksi jarruketju-sovellus (eng. Dragchain) voi näin ollen olla erityisesti varustettu järjestyksessä olevilla kannoilla, jotka ovat valmistautuneet kaapelirikkoon. /1/

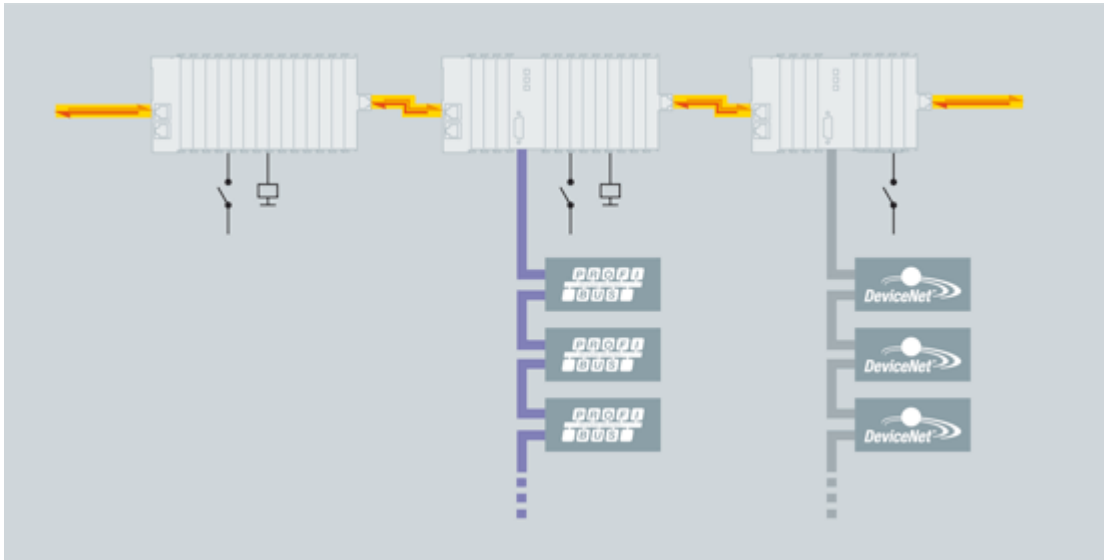


Kuva 9: Edullinen kaapelivarmennus standardi-slave-laitteilla /1/

3.3.7 EtherCAT PC-ohjauksen sijasta

Jatkuva PC-komponenttien pieneneminen ja teollisuustietokoneiden tarpeet ovat kasvattaneet määrätietoisesti tarvittavien korttipaikkojen määrää. Fast Ethernetin kaistanleveys yhdessä EtherCAT-kommunikointilaitteiston laajan datan kanssa

mahdollistaa uusia käyttöohjeita: käyttöliittymät, jotka ovat tavanomaisesti sijainneet teollisuustietokoneissa, on siirretty EtherCATin älykkääseen liitäntäterminaaliin (ks. Kuva 9). Hajautetusta I/O:sta erossa olevat ohjainkortit ja ohjausyksiköt täydentävät systeemiä, sellaiset kuin: kenttäväylä master-laitteet, nopeat sarjalliset käyttöliittymät, yhdysväylät ja muut kommunikointikäyttöliittymät voidaan tehdä osoitteiksi.



Kuva 10: Hajautetut kenttäväylä liitännät /1/

Jopa pidemmälle kehittyneet Ethernet-laitteet voivat olla yhteydessä hajautettuun kytkinporttilaitteeseen, ilman protokollamuunnoksen rajoituksia. Keskus-IPC tulee pienemmäksi ja siten myös kustannustehokkaammaksi. Yksi Ethernet-liitäntä on riittävä täydelliselle kommunikaatiolle myös reuna-alueille (ks. kuva10). /1/



Kuva11: EtherCATin vienti pienemmälle ohjaimelle /1/

3.3.8 Laiteprofiilit

Laiteprofiilit kuvaavat parametrisovelluksia ja laitteiden toiminnallista käyttäytymistä sisältäen laitteen luokka-määrittelytilan koneissa. Monissa laiteluokissa kenttäväylä teknologia tarjoaa luotettavia laiteprofiileja, esimerkiksi I/O-laitteissa, ohjaimissa tai venttiileissä. Käyttäjät ovat tulleet tutuiksi näiden profiilien kanssa ja niihin liittyvien parametrien ja työkalujen kanssa, joten EtherCAT ei ole kehittänyt luokiteltua laiteprofiilia näihin laiteluokkiin. Sen sijaan EtherCAT on pyrkinyt tarjoamaan yksinkertaisia laiteliitäntöjä olemassa oleville laiteluokille. Tämä auttaa suuresti käyttäjiä ja laitevalmistajia samalla lailla kuin olemassa olevan kenttäväylän muuttaminen EtherCAT-formaattiin. /1/

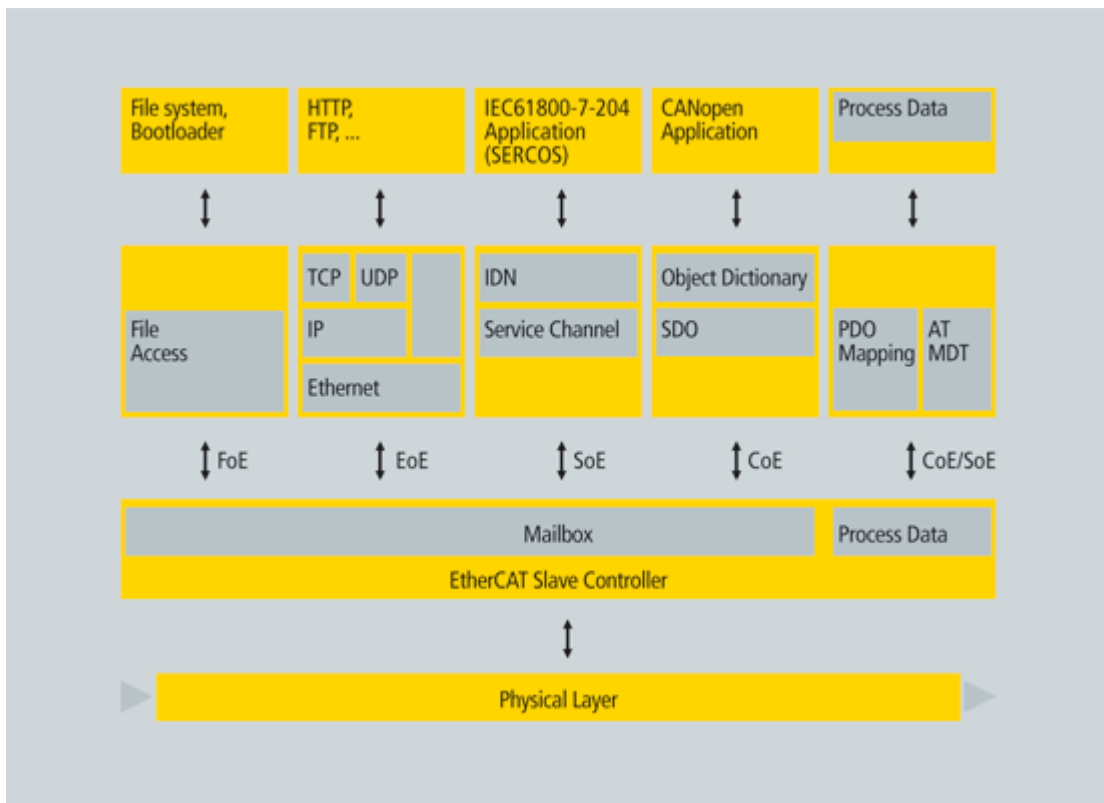
3.3.9 CANopen yli EtherCATin (CANopen over EtherCAT (CoE))

CANopen-laitteet ja profiili-sovellukset ovat tarjolla monipuolisesti laiteluokissa ja sovelluksissa, etäisyysmittaus-I/O-komponenteissa, ajureissa, digitaalimuuntimissa, proportionaaliventtiileissä ja hydraulikkasäätimistä sovelluksiin profiileissa, esimerkiksi muovi- tai tekstiiliteollisuuden koneissa. EtherCATin voi varustaa samalla kommunikointi mekanismilla kuin CANopen-mekanismiin: kappalehakemisto, PDO (process data objects/prosessi kappaleetieto) ja SDO (service data objects/kappaleen käyttöönottotieto). EtherCAT voi näin ollen olla toteutettavissa pienillä kustannuksilla laitevarusteissa CANopenilla. Suurimmaksi osaksi CANopen laiteohjelmistoa voidaan käyttää uudelleen. Järjestelmä voidaan laajentaa vapaavalintaisessa järjestyksessä EtherCATin tarjoamalle laajalle kaistanleveydelle. /1/

3.3.10 Servo-ohjain profiili EtherCATissa (Servodrive Profile over EtherCAT (SoE))

SERCOS interface^{TM*} on tunnettu maailmanlaajuisesti huipputehoisesta reaaliaikaisesta viestintäkäyttöliittymästä, erityisesti liikeohjaus-sovelluksista. SERCOSin profiloimat servo-ohjaimet ja kommunikointiteknologiat ovat suojattuja IEC61800-7-standardilla. Käyttöönottokanavan pääsy kaikkiin parametreihin ja ajossa oleviin funktioihin perustuu EtherCAT-postilaatikkosovellukseen (ks. kuva 11). Tärkeintä on olemassa olevien protokollien yhteensopivuus (pääsy arvoihin, attributteihin, nimiin, yksiköihin

jne...) ja laajennettavuus, mitä tulee datan pituusrajoitukseen. Prosessidata SERCOSin AT- ja MDT-datamallissa on siirrettävissä käyttäen EtherCAT slave-ohjain järjestelmiä. Linkitys näiden kesken on vastaavaa kuin SERCOS-linkityksessä. EtherCAT-slave-asema-laitteet voi myös olla helposti linkittää SERCOS-protokollan vaiheisiin. EtherCAT edellyttää kehittyntä reaaliaikaista teknologiaa tähän laiteprofiiliin, joka on erityisesti levinnyt laajalle CNC sovelluksissa. Hajautettu kellotahdistus takaa laajan, koko verkon levyisen, synkronoinnin. Valinnaiset asetusarvot asema-, nopeus- tai vääntö-käskyille on siirrettävissä. /1/

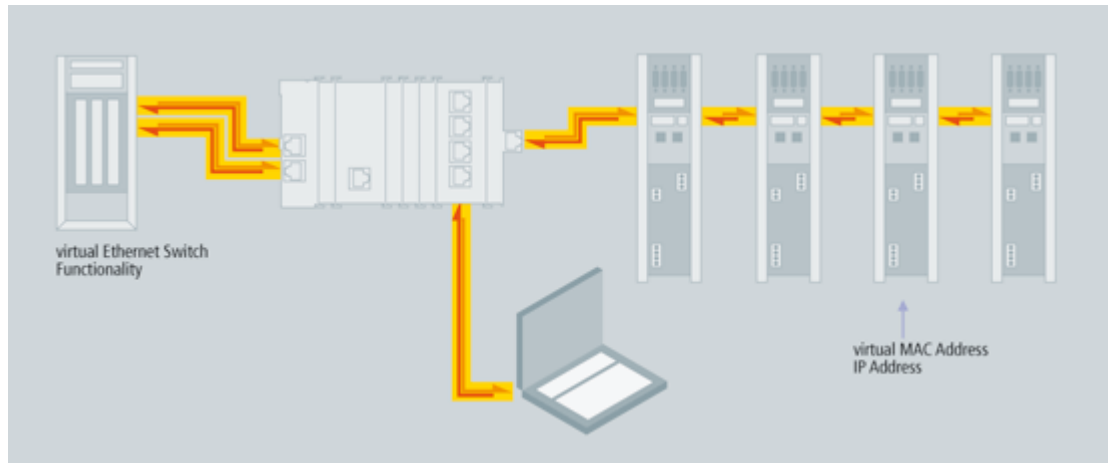


Kuva 12: Usean laitteen profiilit ja protokollat voivat esiintyä vierekkäin. /1/

3.3.11 Ethernet yli EtherCATin (Ethernet over EtherCAT (EoE))

EtherCAT-teknologia ei ole ainoastaan täysin Ethernet-yhteensopiva, vaan sille on myös luonteenomaista erityinen avoimuus: protokollatoleranssi toisissa Ethernetiin perustuvissa sovelluksissa ja protokollissa samassa fyysisessä verkossa – yleensä jopa pienellä häviöllä suorituskyvyssä. Ethernet-laitetyypit voivat olla yhteydessä EtherCAT-lohkon kautta vaihto porttiin, eikä sitä ole rajoitettu. Ethernet kehykset ovat kanavoitu EtherCAT protokollan kautta, joka on standardi-lähestymistapa internet-sovelluksille

(esimerkiksi VPN, PPPoE(DSL) jne.). EtherCAT verkko on täysin avoin Ethernet-laitteille ja reaaliaikainen (ks. kuva 12).



Kuva13: EtherCAT:n avoimuus kaikille Ethernet protokollille. /1/

EtherCAT-laitteilla voi lisäksi olla ominaisuuksia toisista Ethernet-protokollista ja ne voivat näin ollen toimia kuten standardi-Ethernet-laitteet. Master-laite toimii kuten tason 2 kytkin, joka suuntaa kehykset ohjaaville laitteille osoitetiedon mukaan. Kaikkia internet-teknologioita vahansaoi siten myös käyttää EtherCAT-ympäristössä: integroitu web-palvelin, sähköposti, FTP-siirto jne. /1/

3.3.12 Tiedoston pääsy yli EtherCAT:n (File Access over EtherCAT (FoE))

Tämä on hyvin yksinkertainen protokolla TFTP:hen, joka mahdollistaa pääsyn mihintahansa data rakenteeseen laitteessa. Standardisoitu laiteohjelmistosiirto laitteelle on sen takia mahdollisesti riippuvainen TCP/IP tuesta. /1/

3.4 EtherCATin turvallisuus

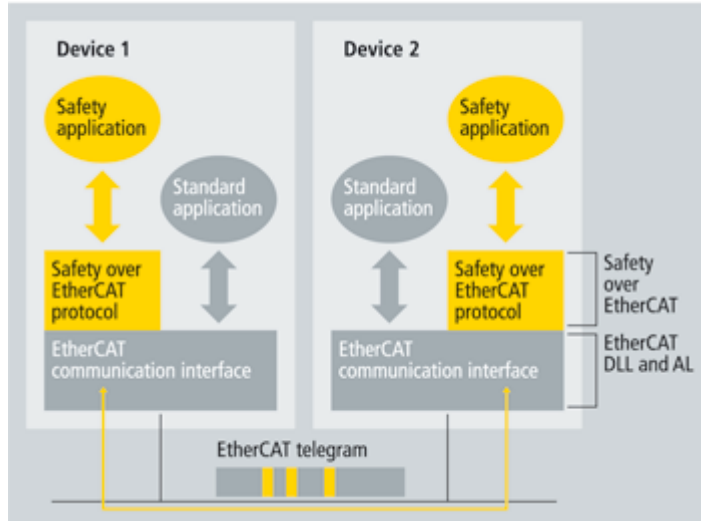
3.4.1 Turva- ja I/O-tekniikka samassa järjestelmässä (TwinSAFE)

Kenttäväylän mahdollistamien etujen myötä eri sovelluksissa korostuu erityisesti yksi ohjaustekniikan tärkeä osa: turvallisuustekniikka. Koneturvallisuuden takaavien hätäpysäytyskytkinten, valokennojen ja muiden komponenttien johdotus vaatii jo suuren osan kaapelikanavissa ja kytkentäkaapeissa käytettävissä olevasta tilasta.

Kenttäväyläteknikka on ottanut hoitaakseen myös tämän osalta turvallisuudelle tärkeiden signaalien siirron. Teknisesti tämä on ollut mahdollista jo pitkään. Ongelmana on tähän asti ollut se, että sellaista valmistajasta riippumatonta avointa liitäntää ei ole ollut, joka olisi varustettu riittävän turvallisuuden takaavalla sertifikaatilla. /7/

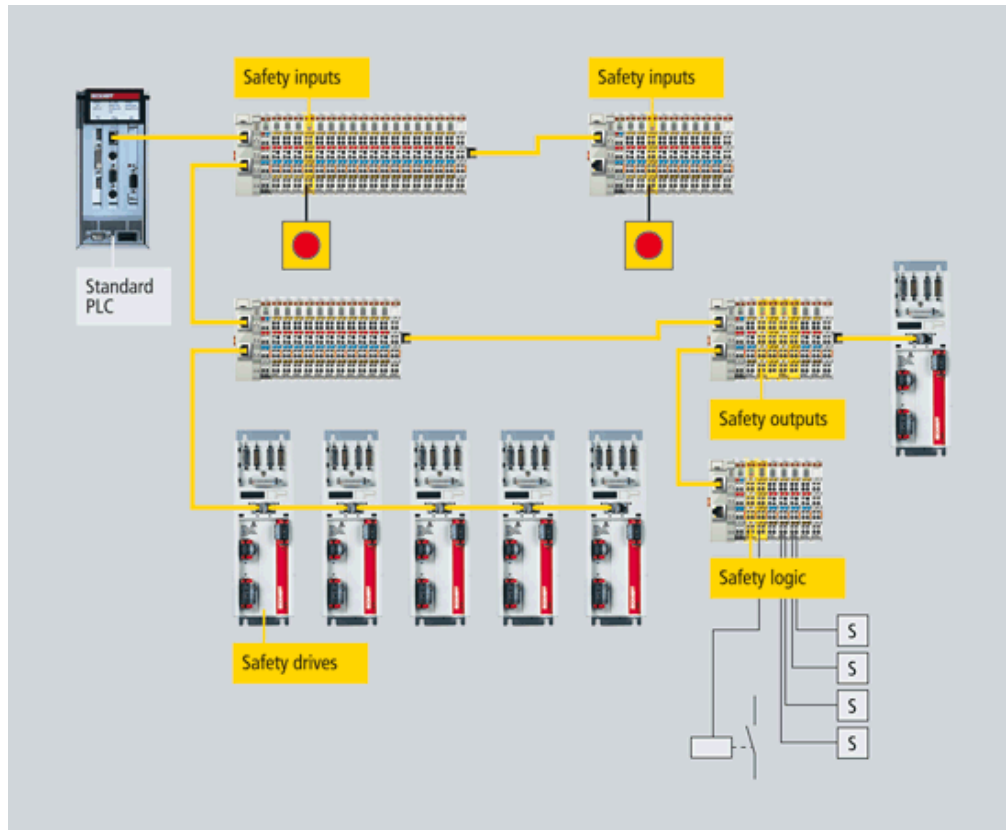
3.4.2 EtherCATin turvallisuus

Paras toteuttamiskelpoinen turvallisuustiedon kommunikoimiseen EtherCATissa on turvallisuus-EtherCAT-protokolla, jonka on julkistanut EtherCAT Technology Group. EtherCATia on käytetty niin kuin yksittäistä kanavakommunikointi-järjestelmää, siirtoon turvalliselle ja ei-turvalliselle tiedolle. Keskikokoista siirtoa on käytetty kuten ”mustaa kanavaa”, eikä sitä ole sisällytetty turvallisuus näkökohtiin (ks. Kuva 13). Turvallisuuskehys käsittää turvallisuusprosessitiedon ja vaadittava tieto varmuuskopiosta on sisällytetty EtherCAT-prosessitietoon. Tämä ”säiliö” on turvallisesti analysoitu laitteissa sovellustasolla. Kommunikoiminen muistuttaa yksinkertaista kanavaa.



Kuva 14: EtherCAT-turvallisuusohjelmiston rakenne ja mustan kanavan menettelytapa /1/

Turvallisuus-EtherCAT-protokollan on arvioinut German Technical Inspection Agency (TÜV). Se on sertifioitu kuten protokollasiirto prosessin tiedolle turvallisuus EtherCAT-laitteista SIL3:een mukailten IEC 61508 standardia. Turvallisuus-EtherCAT-protokollan käyttöönottolaitteissa pitää kohdata kohteen turvallisuusvaatimukset. /1/



Kuva 15: Turvallisuus EtherCAT-järjestelmässä /1/

Kuvan 14 sovellus hyödyntää EtherCAT-tekniikan etuja. Turvallisuuskomponentit on sijoitettu sinne, mihin automaatiojärjestelmä niitä vaatii. Skaalattavia paikallisia tulo- ja lähtökomponeentteja voidaan käyttää järjestelmässä. Täydentävät tulot tai lähdöt voidaan jatkaa joustavasti käyttämällä turva- ja ei-turva-väyläterminaaleja tarvittaessa.

Turvalogiikka on myös verkon sisälle rakennettu tekijä. Standardi-PLC voi näin ollen jatkaa jakamista ohjaustehtävissä ilman turvalaajennusta. Turva I/O-toiminnot on linkitetty paikalliseen logiikkaan älykkäässä muodossa, turvaväyläterminaalina. Tämä säästää kustannuksia ja mahdollistaa logiikan skaalauksen tehtävien mukaan heti alussa, muussa tapauksessa tarvitaan kallis turva-PLC. Vain viestit turva-EtherCAT master-laitteen ja käyttöön varatujen turva-slave-laitteiden välillä ovat reitti ei-turva-standardi-PLC:hen. /1/

- Protokollalla ei ole rajoituksia pitää turvassa prosessin tiedon pituutta, viestintäkeinoja tai siirron suuruusastetta.
- EtherCAT:a käytetään kuten “mustaa kanavaa”, eli viestintäjärjestelmällä ei ole mitään roolia turvallisuusnäkökohdissa.
- Protokolla on määritetty, tarkastettu ja se täyttää IEC 61508 SIL3:n vaatimukset.

3.4.3 Turvaterminaalien liitäntä I/O-järjestelmään

Beckhoff tarjoaa uusien TwinSAFE-väyläterminaalien myötä mahdollisuuden laajentaa luotettavaa väyläterminaalijärjestelmää yksinkertaisella tavalla ja siirtää koko turvallisuuspiirien johdotuksen olemassa olevaan kenttäväyläkaapeliin. Turvallisia signaaleita voidaan sekoittaa vakiosignaaleihin halutulla tavalla. Tämä säästää projektointiin liittyvää työtä, asennusta ja materiaalia. Nopeampi vianmääritys ja lukumäärältään vähäisten komponenttien helppo vaihdettavuus helpottavat merkittävästi huoltoa. /7/

3.5 Infrastruktuurikustannukset

Koska pääkeskusta tai kytkimiä ei tarvita EtherCATissa, liitäntöjen, virtalähteen, asennuksen jne. kustannukset ovat vältettävissä. Standardi-Ethernet kaapelit ja edulliset standardi-kontaktorit ovat käytössä, jos ympäristön olosuhteet sallivat tämän. Ympäristön vaatimukset kasvattavat turvasuojattuja kontaktoreja, jotka IEC-standardi on määritellyt. /1/

3.6. Käyttönoton näkökulmat

EtherCAT-teknologia on kehitetty edullisia laitteita silmällä pitäen, kuten I/O-terminaaleille, antureille ja sisäänrakennetuille ohjaimille. EtherCAT vain käyttää standardi-Ethernet-kehysä IEEE 802.3:n mukaan. Nämä kehykset on lähetetty master-laitteelle, slave-laitteen poisto ja/tai lisäys laittaa tiedon liikenteeseen. Näin ollen EtherCAT käyttää standardi-Ethernet MAC:keja, siellä missä niille on todella merkitystä eli master-laitteessa. Ja EtherCAT slave -ohjaimet ovat käytössä siellä missä senkaltaisilla lastuilla on todella tarkoitusta: slave-laitteissa jossa ne käsittelevät prosessin dataprotokollaa laitteistoissa ja mikä edellyttää maksimaalista reaaliaikaisuutta suorituskyvyssä riippumatta prosessoinnin tehosta tai ohjelmiston laadusta. /1/

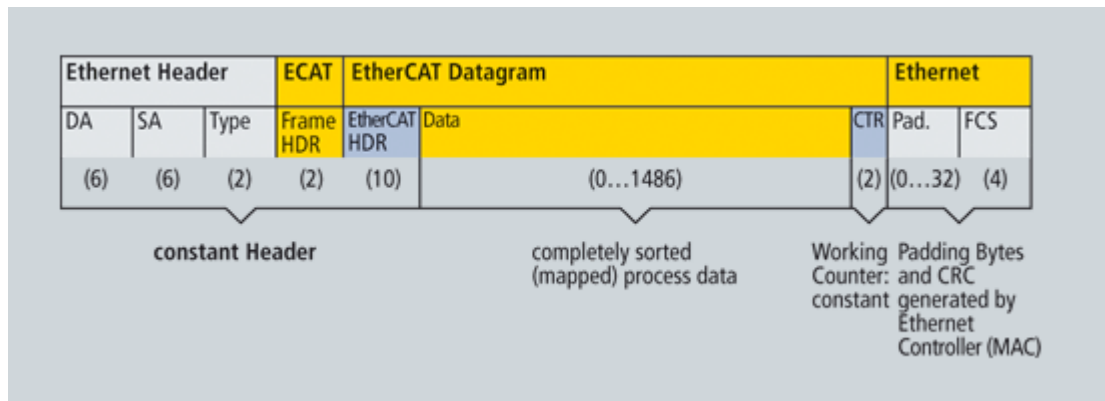
3.6.1 Master-laite

EtherCAT kommunikoi hajautetun prosessin datassa maksimissaan 1486 bitillä yhdessä Ethernet kehyksessä. Toinen erilainen ratkaisu, joissa master-laitteen jokaisessa verkkosyklissä pitää käsitellä, lähettää ja vastaanottaa kehyksiä jokaiselta solmukohdalta, EtherCAT-järjestelmä tarvitsee tyypillisesti vain yhden tai kaksi kehystä sykliä kohden koko kommunikaatiossa kaikissa solmukohtissa. Sen takia EtherCAT master-laite ei tarvitse sille omistautunutta kommunikaatioprosessoria. Master-laitteen toiminta ei laita juuri mitään kuormaa keskustietokoneelle, joka voi käsitellä tämäntyyppisiä tehtäviä helposti, lukuunottamatta sovellusohjelmien käsittelyä. Näin EtherCAT voi olla toteutettu ilman erikoisia ja kalliita aktiivisia liitin-kortteja, vain käyttämällä passiivisia NIC-korttia tai koneessa olevaa Ethernet MAC:ia. EtherCAT master-laitteen käyttöönotto on hyvin helppoa, erityisesti pienten ja keskikokoisten ohjaukslaitteiden järjestelmät ja selkeästi määritellyt sovellukset.

Esimerkiksi: PLC kommunikoi yksittäiselle prosessin kuvakkeelle ja jos se ei ylitä 1486 bittiä, lähettää sykli yksittäisen Ethernet kehyksen PLC:lle riittävässä sykli ajassa (ks. kuva 15). Koska tieto ei muutu ajon aikana, on kaikki vaadittava muuttumaton tieto lisättävä prosessin kuvakkeeseen ja siirrettävä tulokset Ethernet-ohjaimelle.

Prosessikuvake on jo etukäteen lajiteltu, koska EtherCAT-linkitystä ei esiinny master-laitteissa, mutta slave-laitteissa, oheislaitteet lisäävät niiden tiedon omalle paikalleen ohi kulkevaan kehykseen. Tämä edistää huojuntaa keskustietokoneelle. Se on perustunut siihen, että EtherCAT-master-laite toteuttaa kokonaan ohjelmistossa vähemmän käsittelyvaltaa käyttäen keskusyksikköä kuin paljon hitaammat kenttäväylä-järjestelmät, jotka on toteutettu aktiivisilla laajennuskortteilla.

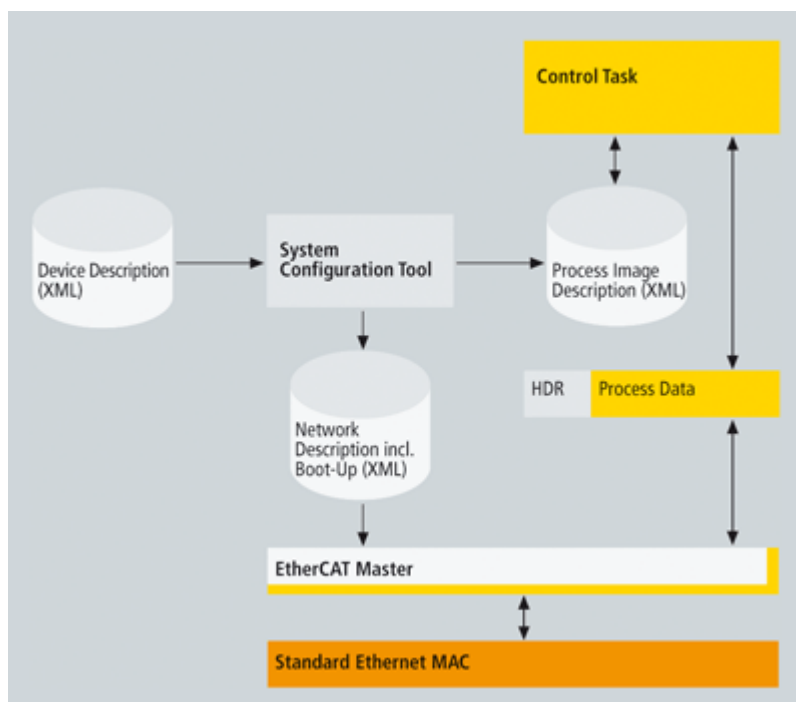
Järjestelmän kytkentätyökalut edellyttävät verkon ja laiteparametrien sisältävän vastaavan käynnistyssekvenssin standardoidussa XML-formaatissa. /1/



Kuva 16: Master-toteutus yhdellä prosessi kuvakkeella /1/

3.6.2 Master-näytekoodi (Master Sample Code)

Toinen mahdollisuus toteuttaa EtherCAT master on käyttää näytekoodia, joka on saatavilla nimellisillä kustannuksilla. Ohjelma on jaettu kuten lähdekoodi ja se koostuu kaikista EtherCAT-master-toiminnoista, sisältäen Ethernetin EtherCATissä (ks. kuva 16). Kaikkien ohjelmistonkehittäjien pitää tehdä tämä sopeutus koodille, joka on kehitetty Windows-ympäristölle, kohdelaitteistolle ja RTOS-käytölle. Tämä on tehty onnistuneesti useissa sovelluksissa. /1/



Kuva 17: Master-näytekoodin rakenne /1/

3.6.3 Slave-laite

Kustannustehokasta EtherCAT-slave-ohjainta käytetään slave-laitteissa. EtherCATissa slave-laite ei tarvitse mikro-ohjainta lainkaan. Yksinkertaiset laitteet, jotka toimivat I/O-käyttöliittymässä, voidaan toteuttaa vain ESC:n ja taustalla olevan PHY:n, magnetismin ja RJ45-kytkimen kanssa. Prosessidataliitännä slave-sovellukseen on 32-bittinen I/O-liitännä. Nämä slave-laitteet ilman muunneltavaa parametreja eivät tarvitse ohjelmaa tai postilaatikko-protokollaa. EtherCATin asemalaitteisto on käsitelty ESC:ssä. Käynnistys tieto ESC:lle tulee ulos EEPROM:lta, joka myös tukee samanlaista tietoa slave-laitteelle. Paljon monimutkaisemmilla slave-laitteilla, jotka ovat muunneltavia, on master CPU-taulu. Tämä CPU on yhteydessä ESC:hen 8- tai 16-bittisen rinnakkaisen liitännän kautta tai sarjaliitännän(SPI) kautta. Keskus-CPU:n suorituskyky on slave-sovelluksen ennalta määrämä – EtherCAT-protokollaohjelmistoa voidaan käyttää samalla. EtherCATin pino hoitaa EtherCAT:n asema laitetta ja yhteyskäytäntöä: tämä tarkoittaa yleisesti CoE (Canopen over EtherCAT)-protokollaa ja tukea laiteohjelmiston lataukselle FoE(File Access over EtherCAT) kautta. Vaihtoehtoinen EoE (Ethernet over EtherCAT) on myös mahdollista toteuttaa. /1/

3.6.4 EtherCAT slave-laiteohjain

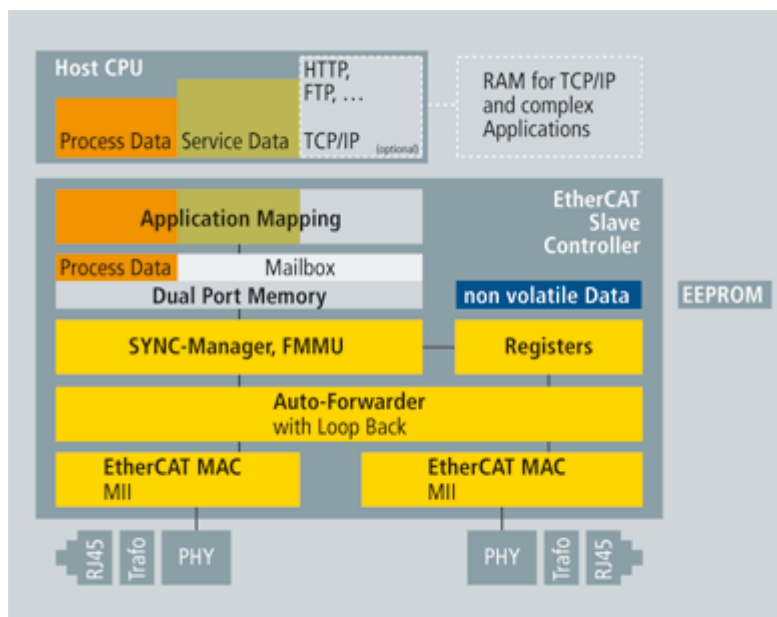
Useat valmistajat toimittavat EtherCATin slave-laiteohjaimia. Slave-laiteohjaimen toiminta voi myös olla toteutettu hyvin kustannustehokkaasti FPGA:lla, joissa binäärikoodi on saatavilla ulos-ostolisenssillä.

Slave-ohjaimet esittelevät tyypillisesti sisäistä DPRAM:ta ja tarjoavat valikoimaa käyttöliittymistä, joiden avulla pääsemisee käsiksi tähän sovellusmuistiin:

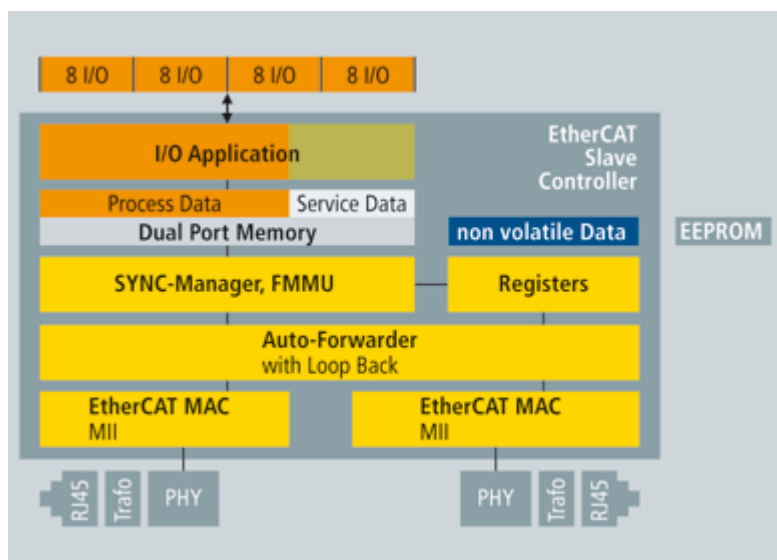
- Sarja-SPI (sarjan perifeerinen rajapinta) on tarkoitettu erityisesti laitteisiin, joilla on pieni prosessidata-määrä, kuten analogiset I/O-moduulit, anturit, digitaalimuuntimet tai yksinkertaiset ajot. Tämä rajapinta on tyypillisesti käytetty 8-bittisissä mikrosäätimissä.
- Yhtäläisyys 8- ja 16-bitisten mikrosäätimien rajapinnoissa vastaavat tavanomaisia käyttöliittymiä kenttäväylä ohjaimille, joilla on DPRAM:n

rajapinta. Se on erityisen sopiva monimutkaisempiin laitteisiin, joilla on suurempi datavolyymi.

- 32-bittinen yhdensuuntainen I/O:n rajapinta soveltuu lähes 32 digitaalisen tulo/lähtö yhteyteen, mutta myös yksinkertaisiin antureihin tai toimilaitteisiin, jotka operoivat 32 databitillä. Sellaiset laitteet eivät tarvitse master-keskusyksikköä lainkaan (ks. kuva 18). /1/



Kuva 18: Slave-laitteisto: FPGA-master CPU:n kanssa /1/

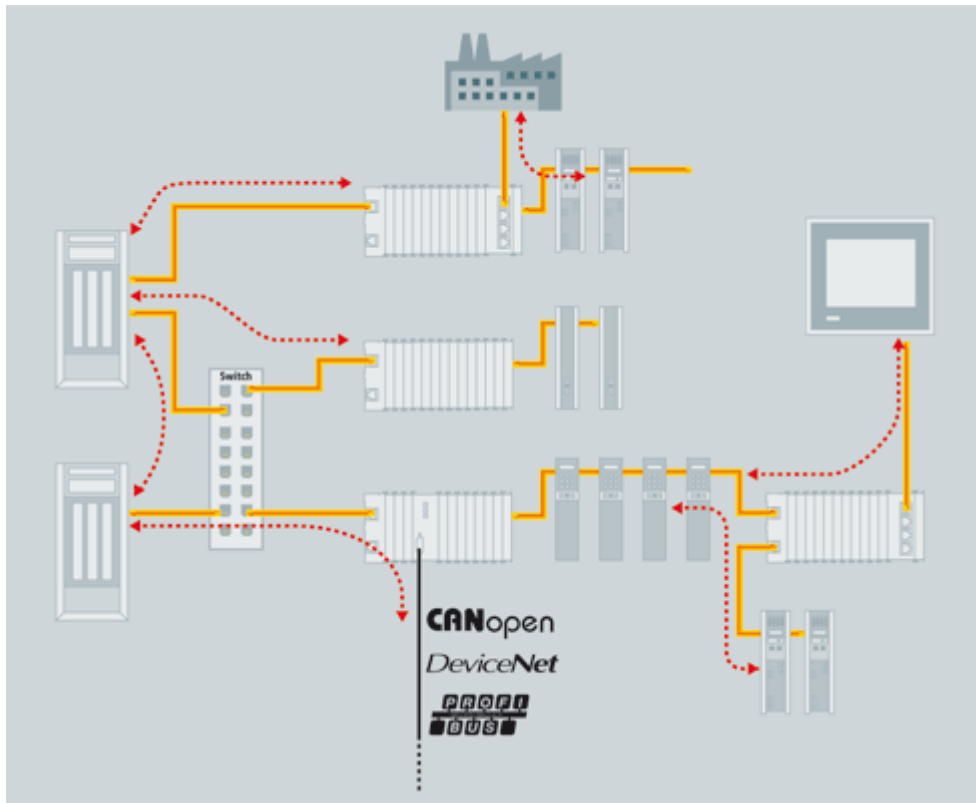


Kuva 19: Slave-laitteisto: FPGA suoraan I/O:lle /1/

3.7 EtherCATin yhteenveto

EtherCATille on tunnusomaista erinomainen suorituskyky, hyvin yksinkertainen johdotus ja avoimuus muille protokollille. EtherCAT asettaa uusia standardeja niihin tavanomaisiin kenttäväyläjärjestelmiin, joissa on rajoituksia: 1000 I/O:ta 30 mikrosekunnissa, valinnainen kierretty parikaapeli tai optinen kuitu, sekä Ethernetin ja internet-teknologian ansiosta optimaalinen pystysuora integrointi. EtherCATissa kallis tähtitopologia voidaan korvata yksinkertaisella väylärakenteella – kalliita perusrakennekomponentteja ei tarvita. vaihtoehtoisesti EtherCATin voi myös johdottaa klassisella tavalla käyttäen kytkimiä ja järjestyksessä integroitua muita Ethernet-laitteita. Missä muut reaaliaikaiset Ethernet-tulotiet vaativat erikoisliitintä ohjaimille, EtherCATille riittävät kustannustehokkaat standardi-Ethernet kortit (NIC).

EtherCAT on monipuolinen: master-laitteelta slave-laitteelle, slave-laitteelta slave-laitteelle ja master-laitteelta master-laitteelle kommunikoiminen on tuettua (ks. Kuva 19). EtherCAT tekee Ethernetistä I/O-tasoon asti teknisesti toteutettavissa olevan ja taloudellisesti järkevän ratkaisun. Full Ethernet-yhteensopivuus, internet-teknologiat jopa hyvin yksinkertaisissa laitteissa, suuren kaistanleveyden maksimaalinen käyttö jota, Ethernet tarjoaa, reaaliaikaiset ominaispiirteet matalissa kustannuksissa, ovat tämän verkon tunnusomaiset piirteet. /1/



Kuva 20: Monipuolinen verkkorakenne /1/

4 BECKHOFF, HAJAUTETTU OHJAUSJÄRJESTELMÄ

Beckhoff-väyläterminaalijärjestelmää käytetään liittämään anturit ja toimilaitteet hajautetusti ohjaukseen. Beckhoff-väyläterminaalijärjestelmään kuuluvia komponentteja käytetään pääasiassa teollisuus- ja rakennusautomaatiossa. Väyläasema koostuu minimaalisessa tapauksessa väyläliitimestä ja siihen liitetystä väyläterminaalista. Väyläliitin muodostaa viestintäliitännän sitä määräävään ohjaukseen, ja terminaalit muodostavat liitännän anturi- ja toimilaittejärjestelmään. Koko väyläasema kiinnitetään 35 mm:n DIN-kannatuskiskolle (DIN50022). Väyläaseman mekaaninen poikkiliitäntä väyläliittimeen ja väyläterminaaleihin muodostetaan ura-jousijärjestelmän avulla. Koska teollisuusautomaatiossa on useita eri vakiintuneita kenttäväylästandardeja, Beckhoff tarjoaa väyläliittimiä kaikkiin tavallisiin väyläjärjestelmiin. /7/

4.1 Väyläterminaalit

Modulaarisen väyläterminaalijärjestelmän I/O-signaalit on perinteisesti johdotettu hajautetusti kenttäväylälaitteisiin tai keskitetysti ohjaimiin. Saatavilla olevissa valmistajakohtaisissa kenttäväylälaitteissa on useimmiten kiinteä I/O-konfiguraatio ja rakenne, jonka vuoksi on jouduttu käyttämään useita samanlaisilla toiminnoilla varustettuja laitteita. Tämä on johtanut siihen, että järjestelmän materiaali-, asennus-, suunnittelu- ja dokumentaatiokustannukset ovat nousseet korkeiksi, samoin kuin myös myöhemmin tehtävien muutos- tai laajennustöiden kustannukset. Varastonhallintaa ja huoltohenkilöstöä on kuormitettu tarpeettomasti.

Beckhoffin väyläterminaali on avoin ja kenttäväylätyypistä riippumaton I/O-järjestelmä, joka koostuu väyläterminaaleista. Väyläterminaalien edessä on väyläohjain, jossa on liittynä kenttäväylälle. Väyläohjaimia on saatavana seuraaviin kenttäväyliin:

- EtherCAT, nopea reaaliaikainen Ethernet-kenttäväylä
- Lightbus, nopea valokuituväylä
- PROFIBUS DP/FMS, eurooppalaisen standardin EN 50170 mukainen
- Interbus, joka on ollut markkinoilla jo vuodesta 1987
- CANopen, nopeat vasteajat ja multimaster-rakenne
- DeviceNet, CAN-tekniikkaan pohjautuva väylä

- ControlNet, standardoitu kenttäväylä
- Modbus, avoin kenttäväylä
- Fipio, WorldFIP-standardin mukainen kenttäväylä
- CC-Link, Aasian markkinoiden kenttäväylä
- SERCOS interface, moottorinohjaukseen kehitetty kenttäväylä
- RS232/RS485, verkkoliitännät edullisiin ratkaisuihin
- Ethernet TCP/IP, verkkoväylä
- PROFINET, PNO:n teollisuus-Ethernet-ratkaisu
- USB nopea liitäntä laboratoriokäyttöön.

Käytettäessä master-moduulia voidaan kenttäväylätoimintoja käyttää normaalin perusväyläterminaalin tapaan. Tämä on hyödyllistä etenkin kenttäväylissä, jotka on integroitu yhden ohjausaseman ala-asemiksi. Näin tarvitaan vain yksi järjestelmä kaikkien ala-asemien ja ohjausjärjestelmän väyläliitettä varten. /2/

4.2 Automaatiostandardi

Beckhoffin väyläterminaalijärjestelmä mahdollistaa kojekaappien ja I/O-koteloiden kustannustehokkaan rakentamisen. Nelijohdinjärjestelmän ansiosta eri signaalityyppien anturit ja toimilaitteet voidaan kytkeä suoraan järjestelmään ilman lisäliittimiä. Näin erillinen johdotus kojekaapin tai I/O-kotelon liitäntöjen ja ohjauksen välillä ei enää ole tarpeen. Tämä kytkentätapa helpottaa järjestelmän suunnittelua sekä säästää tilaa, materiaaleja, työtä ja kustannuksia.

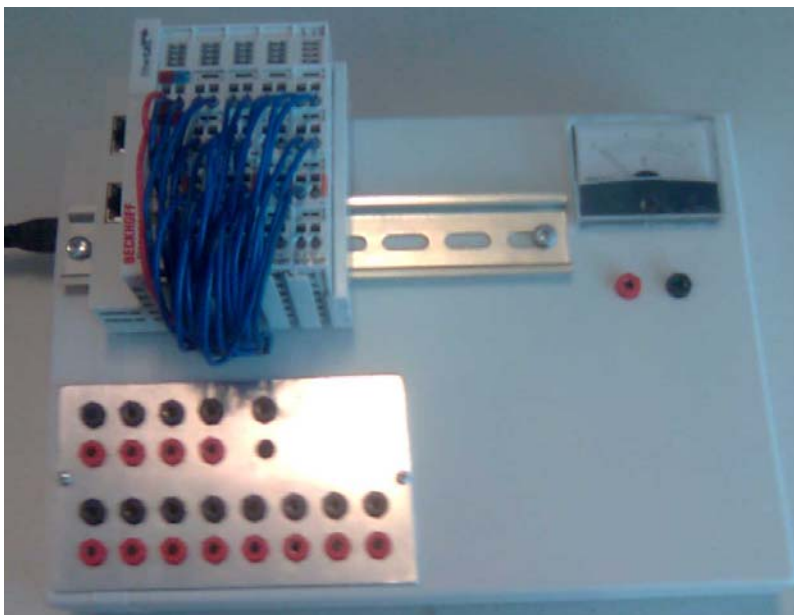
Beckhoffin väyläterminaalin asennus ja johdotus on yksinkertaista, kuten normaalien riviliitinten asennus. Väyläterminaali liitetään ohjaavaan järjestelmään väyläohjaimen ja kenttäväylän avulla. /2/

4.3 I/O-väyläterminaali harjoituslaitteiston rakenne

Tämän opinnäytetyön puitteissa rakennettiin myös väyläterminaali-harjoituslaitteisto. Harjoituslaitteistoa tarvitaan, koska koulutusympäristössä johdotukset muuttuvat jatkuvasti, toisin kuin teollisuudessa. Kenttäväyläkorttien pikaliittimiä ei ole tehty kestävästi jatkuvaa johdotuksien vaihtamista. Käyttämällä banaani liittimiä mahdollinen vikaantuminen siirtyy pikaliitimiltä banaani liittimille. Näin jatkuva johdotusten muuttumisesta tapahtuva mahdollinen liittimien hajoaminen ei tee kalliista kenttäväyläkorteista käyttökelvottomia, vaan vian sattuessa joudutaan vaihtamaan vain edullinen banaani liittin.

I/O-väyläterminaali on rakennettu muovikotelon päälle, jolloin johdotukset on saatu piiloon kotelon sisälle. Kotelon päälle on kiinnitetty D-kisko, johon on liitetty I/O-yksikkö. I/O-yksikkö koostuu Beckhoffin EK1100- EtherCAT Couplerista, johon on kiinnitetty EL1008-8xdigital input-, EL2008-8xdigital output-, EL3102-2xanalog input- ja EL4034-4xanalog output-kortit. Koteloon on myös kiinnitetty reikälevy, johon on asennettu 16 banaani liittinrunkoa digitaaliselle I/O:lle ja 8 banaani liittinrunkoa analogiselle I/O:lle. Kotelon oikeaan yläkulmaan on asennettu analogia-mittari yhdelle analogia tulolle.

Väyläterminaalin suunnittelussa on otettu huomioon laajennus mahdollisuus. D-kiskolle on mahdollista lisätä kortteja, sekä toisen reikälevyn lisäykselle on jätetty tilaa. Kytkentäkaavio ja tiedot komponenteista ovat liitteinä.



Kuva 21: I/O-väyläterminaali yksikkö

4.3.1 EK1100- EtherCAT Coupler

EK1100- EtherCAT Coupler on kytkin, joka yhdistää EtherCAT-väylän EtherCAT-terminaaleihin. Yksi kytkin sisältää EK1100-kytkimen ja rajattoman määrän EtherCAT-kortteja. Kytkin muuttaa läpimenevää tietoa Ethernet 100BASE-TX:stä E-väyläesitykseksi. EK1100-kytkin on kytketty verkkoon Ethernet-liitännän kautta. Alempi RJ45-kanta voidaan yhdistää kauempana olevaan EtherCAT-laitteeseen samalla kaapelilla. EtherCAT-verkossa EK1100-kytkin voidaan kytkeä mihin kohtaan vain Ethernet-signaalinsiirtosektioissa (100BASE-TX) – paitsi suoraan kytkimessä. /2/

4.3.2 EL1008-8xdigital input

EL1008-digitaali-input-terminaalikortti omaa binääri-ohjaussignaalin prosessitasolta ja siirtää signaalin korkeamman tason automaatioyksikölle elektronisesti suojatussa muodossa. EL1008-digitaali-input-kortissa on kahdeksan tulo-liitäntää. Digitaali-input-terminaaleissa on 3 millisekunnin tuloviive. EL1008 terminaalikortti ilmaisee tilansa LED-valoilla. EL1008-digitaali-input-kortti saa käyttöjännitteensä kortin sivuissa olevilta koskettimilta, jotka ovat yhteydessä EK1100 EtherCAT- kytkimeen. /2/

4.3.3 EL2008-8xdigital output

EL2008-digitaali-output-kortissa on täsmälleen samat tekniset ominaisuudet kuin EL1008-kortissa, paitsi että liitännät ovat lähtöliitäntöjä.

4.3.4 EL3102-2xanalog input

EL3102-analogia-input terminaali kortti käsittelee signaaleja alueella: -10 V ja +10 V. Jännite on digitalisoitu 16-bittiseksi, ja signaali on siirretty korkeamman tason automaatioyksikölle, elektronisesti suojatussa muodossa. Terminaalintulo kanaville on erilliset tuloliittimet ja sisäinen maaliitäntä. Signaalin tila on osoitettu LED-valoilla. EL3102-kortissa on kaksi +10 V ja kaksi -10 V tuloliitäntää. /2/

4.3.5 EL4034-4xanalog output

EL4034-analogia-output-terminaalikortti käsittelee signaaleja alueella: -10 V ja +10 V. Jännite on jaettu prosessin tasolle 12-bittisenä, ja signaali on elektronisesti suojattu. Terminaalin lähtökanavilla on yhteinen maadoitus. EL4034-kortissa on neljä lähtöä. Terminaaleissa on 3 millisekunnin tuloviive. EtherCAT-terminaalit ilmaisevat tilansa LED-valoilla. EL4034-digitaali-input-kortti saa käyttöjännitteensä (24 V) kortin sivuissa olevilta koskettimilta, jotka ovat yhteydessä EK1100 EtherCAT-kytkimeen. EL4034-terminaalikortti osoittaa tilansa LED-valoilla.

5 YHTEENVETO

Tulevaisuuden suuntauksena teollisuusverkoissa on yhden ja saman verkkotekniikan käyttö läpi koko organisaation. Ethernet on maailman käytetyin toimistupuolen lähiverkkotekniikka ja ollut pidempään käytössä teollisuuslaitosten ohjaustason verkoissa. Reaaliaikaisia teollisuus-Ethernet -ratkaisuja voidaankin pitää uuden sukupolven kenttäväylinä. Beckhoffin Ethernetiin perustava EtherCAT on yksi ratkaisu reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon.

Työ oli haastava ja mielenkiintoinen, sillä EtherCAT-järjestelmä on suhteellisen uutta tekniikkaa, tästä johtuen tiedon keruu oli haasteellista. Kenttäväylä-, Ethernet- ja EtherCAT-järjestelmien tuntemus kasvoi huimasti työtä tehdessä, mistä on varmasti hyötyä tulevaisuudessa kenttäväylien parissa toimiessa.

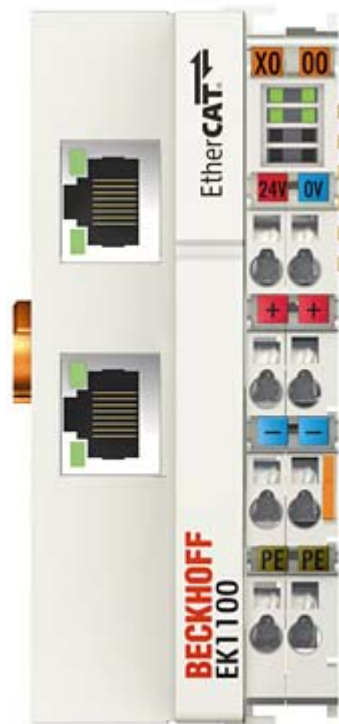
LÄHTEET

- /1/ EtherCAT Technology Group. Saatavissa: <http://www.ethercat.org/>
- /2/ Beckhoff Automation Oy. Saatavissa: www.beckhoff.com
- /3/ ABB Oy. Saatavissa: www.abb.fi
- /4/ Mäkelä, Mauri. Teollisuus-Ethernet verkkoratkaisut automaatio- ja kenttäväyläympäristössä. Enera Consulting Oy. Saatavissa: <http://ntsat.oulu.fi/tapahtumat/ap2001/AP107.doc>
- /5/ Kääriäinen, Tomi. Teollisuus-Ethernet. Teknillinen korkeakoulu. Saatavissa: <http://www.automationit.hut.fi/file.php?id=828>
- /6/ Silvola, Risto. Reaaliaikaiset teollisuus-Ethernet – ratkaisut automaatiojärjestelmissä. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Saatavissa: <http://ae.tut.fi/research/AIN/Publications/ThesisSilvola2006.pdf>
- /7/ EtherCAT Technology Group, TwinSAFE Logic-terminaali neljällä virhesuojatulla lähdöllä, käyttöohje.
- /8/ IEEE 802.3 Ethernet working group. Saatavilla: <http://www.ieee802.org/3/>
- /9/ Automaatioväylä. <http://www.automaatiovayla.fi/>
- /10/ PC Control, The New Automation Technology Magazine. Saatavilla: <http://www.pc-control.net/>

LIITTEET

- 1 EK1100 | EtherCAT Coupler
- 2 EL1008 8-channel digital input terminal
- 3 EL2008 8-channel digital output terminal
- 4 EL3102 2-channel analog input terminal
- 5 EL4034 4-channel analog output terminal
- 6 Analoginen mittari
- 7 Kytkäkaavio
- 8 Reikälevy
- 9 Suojakotelo

EK1100 | EtherCAT Coupler



The EK1100 coupler connects EtherCAT with the EtherCAT Terminals (ELxxxx). One station consists of an EK1100 coupler, any number of EtherCAT Terminals and a bus end terminal. The coupler converts the passing telegrams from Ethernet 100BASE-TX to E-bus signal representation.

The coupler is connected to the network via the upper Ethernet interface. The lower RJ 45 socket may be used to connect further EtherCAT devices in the same strand. In the EtherCAT network, the EK1100 coupler can be installed anywhere in the Ethernet signal transfer section (100BASE-TX) – except directly at the switch. The couplers EK1000 (for E-bus components) or BK9000 (for K-bus components) are suitable for installation at the switch.

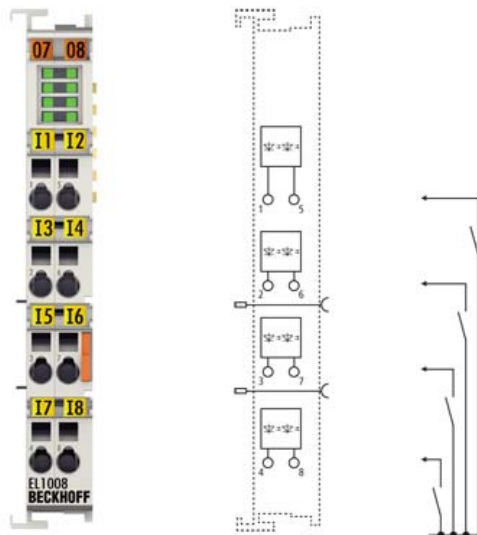
Technical data

EK1100

Task within EtherCAT system	coupling of EtherCAT Terminals (ELxxxx) to 100BASE-TX EtherCAT networks
Number of EtherCAT Terminals	up to 65,535
Type/number of peripheral signals	unlimited
Data transfer medium	Ethernet/EtherCAT CAT5 cable
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

Power supply	24 V DC (-15 %/+20 %)
Input current	70 mA + (total E-bus current)/4
Current consumption E-bus	up to 2 A
Power contacts	24 V DC max./10 A max.
Electrical isolation	500 Vrms (power contact/supply voltage/Ethernet)
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27/29
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable

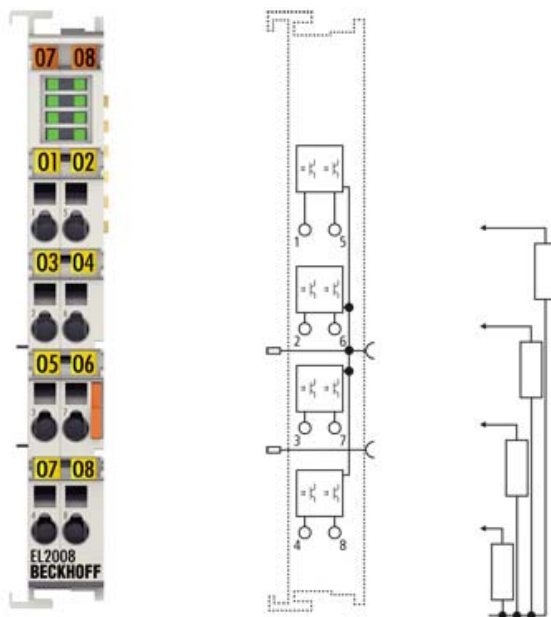
Digital Input EL1008 EL1008 | 2-, 4-, 8-channel digital input terminals 24 V DC, 3 ms



The EL1002, EL1004 and EL1008 digital input terminals acquire the binary control signals from the process level and transmit them, in an electrically isolated form, to the higher-level automation unit. The variants differ in terms of the number of channels and their connection type. Digital input terminals from the EL100x series have a 3 ms input filter. The EtherCAT Terminals indicate their state via an LED.

Technical data	EL1008 ES1008
Number of inputs	8
Nominal voltage	24 V DC (-15 %/+20 %)
“0” signal voltage	-3...+5 V (EN 61131-2, type 3)
“1” signal voltage	15...30 V (EN 61131-2, type 3)
Input current	typ. 3 mA (EN 61131-2, type 3)
Input filter	3.0 ms
Current consumption E-bus	typ. 90 mA
Electrical isolation	500 Vrms (E-bus/field potential)
Bit width in the process image	8 inputs
Configuration	no address or configuration setting
Weight	approx. 55 g
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27/29
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable
Pluggable wiring	for all ESxxxx terminals

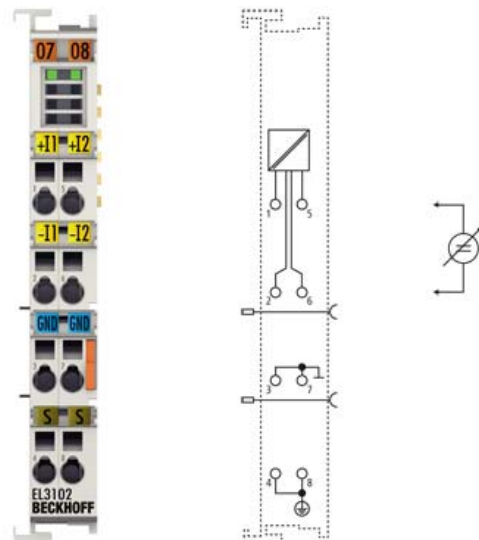
EL2008 | 8-channel digital output terminals 24 V DC, 0.5 A



The EL2002, EL2004 and EL2008 digital output terminals connect the binary control signals from the automation unit on to the actuators at the process level with electrical isolation. The variants differ in terms of the number of channels and their connection type. The EtherCAT Terminals indicate their signal state via an LED.

Technical data	EL2008 ES2008
Number of outputs	8
Rated load voltage	24 V DC (-15 %/+20 %)
Load type	ohmic, inductive, lamp load
Max. output current	0.5 A (short-circuit-proof) per channel
Reverse voltage protection	yes
Breaking energy	< 150 mJ/channel
Switching times	typ. TON: 60 µs, typ. TOFF: 300 µs
Current consumption E-bus	typ. 110 mA
Electrical isolation	500 Vrms (E-bus/field potential)
Current consumption power contacts	typ. 15 mA + load
Bit width in the process image	8 outputs
Configuration	no address or configuration setting
Weight	approx. 55 g
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27/29
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable
Pluggable wiring	for all ESxxxx terminals

EL3102 | 2-channel analog input terminals -10...+10 V, differential input, 16 bits



The EL3101 and EL3102 analog input terminals handle signals in the range between -10 and +10 V. The voltage is digitised to a resolution of 16 bits, and is transmitted, electrically isolated, to the higher-level automation device. The input channels of the EtherCAT Terminals have differential inputs and possess a common, internal ground potential. The signal state of the EtherCAT Terminals is indicated by light emitting diodes.

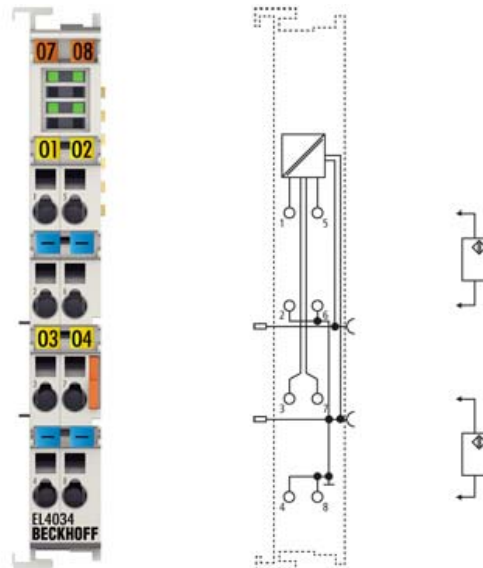
Technical data		EL3102 ES3102
Number of inputs		2
Power supply	via the E-bus	
Signal voltage	-10...+10 V	
Distributed clocks	yes	
Internal resistance	> 200 kΩ	
Input filter limit frequency	10 kHz	
Common-mode voltage UCM	35 V max.	
Conversion time		~ 60 μs (fast mode ~ 40 μs)
Resolution	16 bits	
Measuring error	< ±0.3 % (relative to full scale value)	
Electrical isolation	500 V _{rms} (E-bus/signal voltage)	
Current consumption E-bus	typ. 180 mA	
Bit width in the process image	1 x 16 bit input, 1 x 8 bit status	2 x 16 bit input, 2 x 8 bit status
Weight	approx. 60 g	
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C	
Relative humidity	95 %, no condensation	

Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27/29
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable
Pluggable wiring	for all ESxxxx terminals

EL3102: available

Product announcement EL3101, ES3101: estimated market release 2nd quarter 2009
ES3102: estimated market release 1st quarter 2009

EL4034 | 4-channel analog output terminals -10...+10 V, 12/16 bits



The EL4034, EL4038 and EL4134 analog output terminals generate signals in the range between -10 and +10 V. The voltage is supplied to the process level with a resolution of 12 bits (EL4034/EL4038) or 16 bits (EL4134) and is electrically isolated. The output channels of an EtherCAT Terminal have a common ground potential. The EL4034 and EL4134 versions have four channels. The EL4038 combines eight channels in one housing. The output stages are powered by the 24 V supply. The signal state of the EtherCAT Terminals is indicated by light emitting diodes.

Technical data

EL4034 | ES4034

Number of outputs	4
Power supply	24 V DC via the power contacts
Signal voltage	-10...+10 V
Distributed clocks	yes
Load	> 5 k Ω (short-circuit-proof)
Measuring error	< 0.1 % (relative to full scale value)
Resolution	12 bits
Electrical isolation	500 Vrms (E-bus/signal voltage)
Conversion time	~ 250 μ s
Current consumption E-bus	typ. 190 mA
Bit width in the process image	4 x 16 bit AO output
Weight	approx. 85 g
Operating/storage temperature	0...+55 $^{\circ}$ C/-25...+85 $^{\circ}$ C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27/29
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4

Protect. class/installation pos. IP 20/variable

Pluggable wiring for all ESxxxx terminals

Product announcement **EL4034, ES4034, EL4038, ES4038: available**
EL4134, ES4134: estimated market release 2nd quarter 2009



[[Print](#)]

[[Close](#)]

Analog Panel Meter

PM-2



PM-2 Analog Panel Meter

Classification	Operating Principle	Full Scale Deflection		Accuracy
DC Ammeter	Moving Coil Type	50 μ A	to 25A	2.5
DC Voltmeters		50mV up to 500V		2.5
AC Voltmeters	Moving Coil Type	10V up to 500V		2.5

Remark: Full scale value "50 μ A up to 30A" are corresponding to range 0-50 μ A,0-100 μ A, 0-200 μ A, ...,0-1mA,, 0-30A

