



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Roni Itämäki

Moottoriohjaus prosessiteollisuudessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

11.2.2019

Tekijä Otsikko	Roni Itämäki Moottoriohjaus prosessiteollisuudessa
Sivumäärä Aika	98 sivua + 7 liitettä 11.2.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Sampsa Kupari ryhmäpäällikkö Erkki Härö
<p>Insinööri työ esittelee prosessiteollisuuden yleisimmän moottorityypin, kolmivaiheisen oikosulkumoottorin ohjausta, sen yhdistystä automaatiojärjestelmään sekä luo katsauksen moottoriohjauksen suunnitteluun.</p> <p>Opinnäytetyön ensimmäisenä päämääränä oli luoda tutkielma, joka perehdyttää sekä kirjoittajansa että lukijansa edellä mainittuihin aihealueisiin. Tämän ohella erityisesti työssä suoritettulla kenttäväylä- ja teollisuus-Ethernet -tutkimuksella haluttiin tehostaa työn tilaajan, Sweco Industryn, kykyä palvella asiakkaitaan tulevaisuudessa.</p> <p>Tutkielma on kirjoitettu perehtymällä alan kirjallisuuteen, laitevalmistajien aineistoihin sekä erilaisiin teknisiin oppaisiin. Lukija kuulee tekstin rinnalla alan asiantuntijoiden äänen, sillä teoriaosuuksia ovat syventämässä työn aikana hankitut ammattilaisten kommentit ja haastattelut.</p> <p>Työn rakenne etenee siten, että johdannon jälkeen luku kaksi aloitetaan selostamalla moottorin käynnistystapojen ja nopeuden säädön teoria sekä esittelemällä automaatiojärjestelmän perusteet. Sen jälkeen kolmannessa luvussa tutustutaan yleisessä käytössä oleviin ohjainlaitteisiin, kuten älykkääseen moottoriohjaimeen, pehmokäynnistimeen sekä taajuusmuuttajaan. Jokaisen laitteen kohdalla teoria siirretään myös oikeaan elämään havainnollistavilla esimerkkituotteilla. Moottoriohjaimien käsittelyn jälkeen kuvaillaan perinteinen johdotettu tiedonsiirto sekä viestintä nykyaikaisissa Profibus- ja Profinet-väylissä. Seuraavassa luvussa jatketaan siitä, miten työn esimerkkilaitteet yhdistetään automaatiojärjestelmään aiemmin kuvatuilla tiedonsiirtomenetelmillä. Lopulta viimeisessä luvussa käydään läpi vielä moottoriohjauksen suunnittelua.</p> <p>Tuloksena on syntynyt teos, jota lukijat eri tahot voivat käyttää perehtyessään suomalaisen prosessiteollisuuden nykyaikaiseen moottoriohjaukseen. Tämän ohella työssä suoritettu tutkimus on tuottanut arvokasta taitotietoa ja tilaaja pystyy käyttämään sitä konkreettisesti hyväkseen mm. moottoriohjauksen toteutus suunnittelussa.</p>	
Avainsanat	Moottoriohjaus, prosessiteollisuus, oikosulkumoottori, kenttäväylä, teollisuus-Ethernet, Profibus, Profinet

Author Title	Roni Itämäki Motor Control in the Process Industry
Number of Pages Date	98 pages + 7 appendices 11 February 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical power engineering
Instructors	Sampsa Kupari, Senior Lecturer Erkki Härö, Team Leader
<p>This thesis introduces its reader to the control of the most common motor type in process industry – the three-phase induction motor. It also discusses how motor control devices are connected to automation system and how to plan the procedure in practice.</p> <p>The first objective of the study was to familiarize both its author and readers to the key-notes mentioned in the first paragraph. The second objective was to reinforce its commissioner's, Sweco Industry, ability to serve its customers in the future by conducting fieldbus and industrial Ethernet research.</p> <p>The study is based on technical literature, manufacturer manuals and technical guides along with comments and interviews gathered from the experts of their field during the writing process.</p> <p>After introduction, chapter two explains the basic theory behind motor starting and control techniques and takes overview on how automation system operates. The third chapter continues to present the following motor control devices: intelligent motor starter, soft starter and frequency converter with example products. Next, communication methods, such as traditional I/O, Profibus and Profinet, are discussed in chapter four. The fifth chapter explains how the motor controllers and automation system establish connection by methods described in the previous chapter. In the final chapter the reader is provided with an example case of practical motor control design.</p> <p>As a final product, this report can be used by multiple different parties to acquaint themselves with motor control in the Finnish process industry. In addition, the fieldbus study was successful, and the knowledge gained through it can thus be applied, for instance, in motor control design by the organization.</p>	
Keywords	Motor control, process industry, induction motor, fieldbus, industrial Ethernet, Profibus, Profinet

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Moottorihjauksen taustaa	2
2.1	Moottorin käynnistystavat	2
2.2	Moottorin nopeudensäätö	7
2.3	Automaatiojärjestelmä	9
3	Moottorihjaimet	11
3.1	Älykäs moottorihjain	11
3.2	Pehmokäynnistin	15
3.3	Taajuusmuuttaja	20
3.4	Ohjaustapojen vertailu	26
4	Moottorihjauksen tiedonsiirto	27
4.1	Perinteinen johdotettu I/O	29
4.2	Profibus	31
4.3	Profinet	39
5	Moottorihjaimen liityntä automaatiojärjestelmään	50
5.1	Älykäs moottorihjain	50
5.2	Pehmokäynnistin	60
5.3	Taajuusmuuttaja	64
6	Moottorihjauksen suunnittelu	71
6.1	Suunnittelun kulku	71
6.2	Ohjaustapojen vaikutus suunnitteluun	72
6.3	Profibus DP -väyläsuunnittelu	74
6.4	Profinet IO -verkon suunnittelu	77
6.5	Piirikaaviot ja signaalisirrot	85
7	Yhteenveto	88

Liitteet

Liite 1. ACS880-07:n oletusarvoinen I/O-kytkentäkaavio (runkokoot R6-R9)

Liite 2. ACS880-07:n oletusarvoinen I/O-kytkentäkaavio (runkokoot R10-R11)

Liite 3. Profibus-ohjatun DOL-lähdön piirikaavio

Liite 4. Profinet-ohjatun DOL-lähdön piirikaavio

Liite 5. Profibus-ohjatun taajuusmuuttajalähdön piirikaavio

Liite 6. Profinet-ohjatun taajuusmuuttajalähdön piirikaavio

Liite 7. Profinet-verkon IP-osoitteiden ja Profinet-nimien esimerkki

Lyhenteet

AC	Alternating current. Vaihtovirta.
ATEX	Atmosphere Explosible. Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita koskeva lainsäädäntö ja standardointi.
CC	Conformance class. Profinet-standardin tapa luokitella toimintojaan.
D/A	Digital/analog. Digitaalinen/analoginen.
DC	Direct current. Tasavirta.
DCS	Decentralized/distributed control system. Hajautettu ohjausjärjestelmä
DOL	Direct on line. Moottorin suorakäynnistys.
DP	Decentralised peripherals. Hajautetut laitteet.
DTC	Direct torque control. Suoramomenttisäätö.
EIA	Electrification, instrumentation ja automation. Sähköistys, instrumentaatio ja automaatio.
EDD	Electronic Device Description. Tiedosto Profibus- ja Profinet-laitteiden konfigurointiin.
EMI	Electromagnetic interference. Radiotaajuushäiriöt.
FMS	Fieldbus message specification. Eräs Profibus-väylätyypeistä.
GSD	General station description. Tiedosto Profibus- ja Profinet-laitteiden konfigurointiin.
I/O	Input/output. Sisään- ja ulostulo.

IGBT	Insulated-gate bipolar transistor. Eräs moderni tehotransistorityyppi.
IRT	Isochronous real time. Isokroninen reaaliaikaisuus.
IMC	Intelligent motor controller. Älykäs moottorihjain.
IWLAN	Industrial WLAN. Teollisuuden langaton lähiverkko.
MRP	Media redundancy protocol. Profinet-standardin menetelmä rengasverkko- varmennukseen Ethernet-verkossa.
NRT	Non-real time. Ei-reaaliaikainen.
OLM	Optical link module. Optinen muunnin.
PA	Process automation. Eräs Profibus-väylistä.
PI	Profibus & Profinet International. Maailman suurin kenttäväyläjärjestö.
PLC	Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.
PoE	Power over Ethernet. Tekniikka, jolla laitteen virransyöttö saadaan toteu- tettua kuparista Ethernet-kaapelia pitkin.
POF	Plastical optical fibre. Muovivalokuitu.
PWM	Pulse width modulation. Pulssileveysmodulaatio.
RT	Real time. Tosiakainen tai reaaliaikainen.
STO	Safe torque off. Taajuusmuuttajan turvatoiminto.
UMC	Universal motor controller. ABB:n älykäs moottorihjain.
Y/D	Tähti/kolmio.

1 Johdanto

Insinööriyössä esitellään prosessiteollisuuden moottoriohjaimia, niiden tiedonsiirtoa automaatiojärjestelmän välillä sekä moottoriohjauksen suunnittelua. Työn aihe valittiin sellaiseksi, koska moottoriohjausta ei ole lähivuosina tarkasteltu perinteisten kenttäväylien ja teollisuus-Ethernetin yhteydessä ajantasaisena tutkielmana, vaikka opinnäytetöitä onkin tehty jokaisesta aiheesta omina kokonaisuuksinaan.

Työn tilaaja Sweco Industry on nimensä mukaisesti teollisuuteen erikoistunut asiantuntijayritys, joka kuuluu ruotsalaisomisteiseen Sweco-konserniin. Se tuottaa asiakkaan toiminnan, tuotteiden ja teknologian kehittämisessä, laitoshankkeissa sekä tuotannossa tarvittavia suunnittelu-, konsultointi- ja projektinjohtopalveluja. Opinnäytetyö on tehty osana noin 45 hengen automaatio-osastoa. Kaiken kaikkiaan koko Sweco Industryn palveluksessa työskentelee kirjoitushetkellä noin 500 henkilöä.

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä yleisluontoinen tutkielma suomalaisen prosessiteollisuuden moottoriohjauksesta käytännönläheisellä painotuksella, joka perehdyttää sekä kirjoittajan että lukijan aiheeseen. Lisäksi työssä jäsennellään sen tilaajan sisäistä taitotietoa yhdeksi kokonaisuudeksi sekä tehostetaan yrityksen sisäistä kenttäväylä- ja teollisuus-Ethernet -tuntemusta. Tutkimus keskitetään aihepiiriin sopivasti moottoriohjaukseen Profibus-väylässä ja Profinet-verkossa.

Vuosikymmenten 2010 ja 2020 taitteessa eletään murroksen aikaa, jossa teollisuus-Ethernet -pohjaiset tiedonsiirtomenetelmät ovat kehittyneet niin pitkälle, että niistä on tullut varteenotettavia ratkaisuja perinteisten kenttäväylien korvaajiksi. Tässä työssä tutkittavan Profinetin yleistymisen haasteena on ollut siihen liittyvän kokemuksen puute tehdashankkeiden tilaajien ja suunnittelijoiden parissa, vaikka standardi on ollut markkinoilla jo lähes 20 vuotta. Tehdashankkeiden tilaajien ja suunnittelutoimistojen kiinnostus Profinetiä kohtaan kasvaa alati, koska se on luonnollinen seuraaja tällä hetkellä valtaa pitävälle Profibus-kenttäväylälle. Tämän vuoksi insinööriyössä tehty selvitystyö on erityisen arvokasta, koska se ylläpitää Sweco Industryn osaamista alalla sekä parantaa yrityksen kykyä palvella asiakkaitaan tulevaisuuden projekteissa.

Lukijan on hyvä huomata, että moottorista puhuttaessa viitataan prosessiteollisuuden yleisimpään moottorityyppiin, kolmivaiheiseen oikosulkumoottoriin, ellei erikseen muuta mainita. Tämän ohella automaatiojärjestelmällä viitataan tekstissä erityisesti hajautettuun ohjausjärjestelmään eli DCS-järjestelmään. (decentralized/distributed control system) Moottoriohjaimesta puhuttaessa tarkoitetaan laitetta, jolla ohjataan moottorin käynnistystä ja pysäytystä sekä mahdollisesti sen pyörimisnopeutta. Työssä esiteltäviä moottoriohjaimia ovat taajuusmuuttaja, pehmokäynnistin ja älykäs moottoriohjain.

Viimeisenä huomautuksena mainittakoon, että tämä tutkielma on suunnattu sähkötekniikan perusteet omaavalle lukijalle. Siksi jotta opinnäytetyön pituus pysyisi kohtuuden rajoissa, ei aivan yksinkertaisimpia aihepiirejä avata kovin laajasti. Mikäli lukija haluaa hankkia tarvittavat lähtötiedot omatoimisesti, erinomaisia lähteitä tiedonhankintaan ovat Tonterin ja Auran kirjoittamat Sähkömiehen käsikirjat 1–3. Syvällisempää tietoutta janoavan lukijan kannattaa sen sijaan tutustua lähdeviitteiden kirjallisuuteen ja sähköiseen materiaaliin.

2 Moottoriohjauksen taustaa

Kolmivaiheinen oikosulkumoottori on käytetyin moottorityyppi suomalaisessa prosessiteollisuudessa. Tämän vuoksi työ rajataan käsittelemään kyseistä moottorityyppiä ja siihen liittyviä ohjausmenetelmiä. Mitä muihin moottoreihin tulee, käytössä on ollut myös liukurengaskoneita sekä erittäin suurta toimintavarmuutta vaativissa kohteissa DC-moottoreita. [1, s. 67; 2]

2.1 Moottorin käynnistystavat

Suorakäynnistys

Moottorin suorakäynnistys eli DOL-käynnistys (engl. direct on-line) on yksinkertainen ja edullinen vaihtoehto moottorin käynnistykseen. Tämän lisäksi se on käynnistystapana yksinkertainen huollettavuuden ja vianhaun kannalta.

Oikosulkumoottorin suorassa käynnistyksessä aiheutuu moottorin nimellisvirtaan nähden yleensä noin 2–12 -kertainen käynnistysvirta. [3, s. 122] Suuren käynnistysvirran seurauksena teollisuuslaitoksen sähköjakeluverkon sähkölaatu voi kärsiä ja ylivirtasuojaukset laueta aiheuttaen jakelunkeskeytyksen.

Käynnistyksen sysäysvirta aiheuttaa verkkoon jännitteenalenemaa, joka kasvaa sen mukaan mitä suurempi moottorin nimellisteho on ja mitä pienempi syöttävän verkon oikosulkuteho on. [3, s. 190] Käynnistysvirran suurin alkuarvo ei riipu sen sijaan moottorin kuormituksesta. Kuormitus vaikuttaa kuitenkin käynnistysajan pituuteen, joka on puolestaan yhteydessä jännitteenaleneman ajalliseen pituuteen sekä moottorin lämpenemiseen. [4, s. 175]

Jännitteenaleneman seurauksena [5; 4, s. 201]

- Releet ja kontaktorit voivat avautua.
- Moottorin oma liitinjännite voi pienentyä ja käynnistysaika täten hidastua.
- Valaistus voi himmetä ja välkkyä.
- Eräät kaasupurkauslamput voivat estyä uudelleenkäynnistymästä jopa 5–10 min ajaksi, mikäli ne sammuvat.
- IT-järjestelmät voivat häiriintyä.

Teollisuuslaitoksen tapauksessa voidaan usein olettaa syöttävän verkon olevan jäykkä, joten vaikutukset heijastuvat pienjännitemoottoreiden tapauksessa muuntajan alajännitepuolelle ja sinne kytkettyihin laitteisiin. [3, s. 191] Toisaalta pienitehoisten DOL-moottoreiden vaikutukset kiskojännitteeseen ovat vähäisiä ja kaikkien niiden yhtäaikainen käynnistäminen hyvin epätodennäköistä [6].

Suurtehoisten (>250 kW) moottoreiden tapauksessa verkkovaikutukset ovat suurempia ja ne voivat jopa heikentää yleisen jakeluverkon sähkölaatua. Siksi niiden käynnistysaikaisiin verkkovaikutuksiin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Hyvänä yleissääntöjä pyritään välttämään yli 10 %:n jännitteenalenemaa. Lisäksi usean suuritehoisen moottori käynnistyessä samaan aikaan moottorikeskuksen kiskovirta saattaa ylittää keskuksen termisen kestoisuuden. Tämän estämiseksi moottorikeskuksen ylivirtasuojaukset kuitenkin laukeavat ja aiheuttavat sähkökatkoksen koko keskukseseen. [6] Pahimmassa tapauksessa seurauksena on kymmenien moottorien putoaminen verkosta. Teknisesti on

kuitenkin mahdollista porrastaa moottorien käynnistys automaatiojärjestelmän kautta siten, että verkon sähkönlaatu säilyy hyvänä eivätkä suojalaitteet laukea. [6]

Kun yritetään ymmärtää oikosulkumoottorin suurta käynnistysvirtailmiötä, on tärkeää ensiksi muistaa, että oikosulkumoottori käyttäytyy periaatteellisesti samalla tavalla kuin muuntaja, jonka magneettipiirissä on ilmapäli. Käynnistuksen aikana vastasähkömotorinen jännite ei ole vielä indusoitunut ja siksi moottori näyttäytyy ulospäin kuin toisiostaan oikosuljettu muuntaja. [7, s. 71]

Käynnistuksen aikaisen syöksyvirran ohella pitkissä käynnistyksissä DOL-käytön haittana on moottorille syntyvät lämpörasitukset, joka voi johtaa eristyksen ennen aikaiseen kulumiseen ja lyhentää siten moottorin teknistä käyttöikä. Tämän lisäksi DOL-käytön käynnistysmomentti voi olla liian suuri joillekin kohteille. [8, s. 74]

Käynnistysvirtaa voidaan hillitä Ohmin lain mukaisesti jännitettä pienentämällä ja piirin impedanssia lisäämällä. [3, s. 185] Jännitettä voidaan pienentää muun muassa Y/D-käynnistimellä ja impedanssia voidaan kasvattaa käynnistyskuristimella. 2010-luvulla yleisimmät laitteet käynnistysvirran rajoitukseen ovat pehmokäynnistin sekä taajuusmuuttaja. [9] Tehoelektroniikkaan perustuvia käynnistystapoja käsitellään yksityiskohtaisemmin luvuissa 3.2 ja 3.3.

Tähti-kolmiökäynnistys

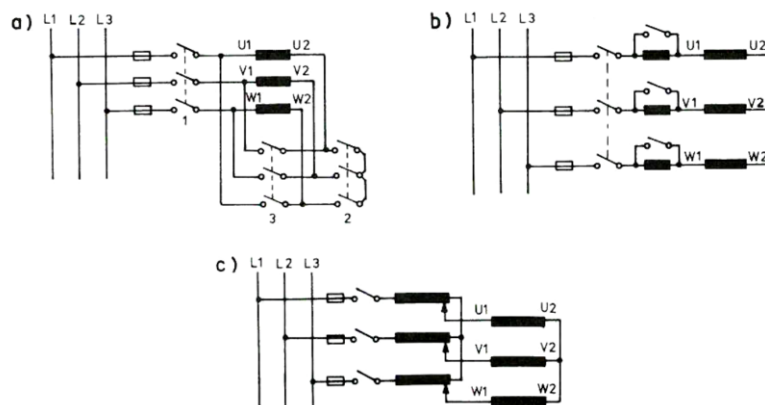
Kolmivaiheisen oikosulkumoottorin sysäysvirran rajoitukseen yksinkertainen ja edullinen tapa on tähti-kolmiökäynnistin eli Y/D-käynnistin, mutta menetelmä on menettänyt suosiotaan tehoelektroniikkaan perustuvien moottorihajaimien yleistyttyä. [10]

Tähti-kolmiökäynnistyksessä moottori kytketään ensiksi tähteen ja tietyn ajan kuluttua kytkentä muutetaan kolmioon (moottorin nimellisjännitteeseen). Menetelmä perustuu siihen, että staattorijännite on aluksi $1/\sqrt{3}$ nimellisestä. Koska moottorin vääntömomentti on neliöllisesti verrannollinen sen syöttöjännitteeseen, on vääntömomentti tällöin kolmasosa nimellisestä. Tähteen myös virta pienenee kolmanteen osaan kolmiokytkentään verrattuna. [4, s. 188] Y/D-käynnistys ei ole kuitenkaan täysin ongelmaton, sillä myös kytkennän vaihto voi johtaa haitalliseen virtapiikkiin.

Kytkeäntä on mahdollista toteuttaa releillä ja kontaktoreilla tai erityisesti tarkoitukseen suunnitelluilla Y/D-käynnistimillä. Y/D-käynnistysten ratkaisut voidaan lisäksi luokitella toimintaperiaatteensa mukaan käsikäyttöisiin, puoliautomaattisiin tai täysin automaattisiin käynnistimiin. [8, s. 73] Toimintaperiaatteesta riippumatta näissä sähköinen kytkentä on kuvan 1 kohdan a mukainen.

Käynnistysmuuntaja, -kuristin ja -vastus sekä osakäämikäynnistys

Käynnistyskuristimen tapauksessa puhutaan usein virta- tai sarjakuristimesta, jolloin virranrajoitus perustuu piirin impedanssin lisäämiseen ja erityisesti kuristimen induktiivisen reaktanssin taipumukseen hidastaa nopeita virranmuutoksia. [4, s. 134] Käynnistysvastukset lisäävät piiriin resistanssia eivätkä siten hidasta nopeita virranmuutoksia samalla tavoin kuin kuristimet. [11, s. 287–290] Yleensä piirin impedanssia lisätään jokaiseen vaiheeseen, mutta suuri impedanssi voidaan myös kytkeä vain yhteen syöttövaiheeseen, jolloin moottori käyttäytyy kuin yksivaiheinen moottori. [12, s. 35] Kuvan 1 kohdassa b on havainnollistettu tyypillisen käynnistyskuristimen kytkentää ohituksella.



Kuva 2.53 a) Oikosulkumoottorin Y/D-käynnistys. b) Oikosulkumoottorin kuristinkäynnistys. c) Oikosulkumoottorin muuntajakäynnistys.

Kuva 1. a) Oikosulkumoottorin Y/D-käynnistys, b) Oikosulkumoottorin kuristinkäynnistys, c) oikosulkumoottorin muuntajakäynnistys. [4, s. 201]

Mikäli teollisuuslaitoksessa on käytössä keskijännitemoottoreita, niitä syöttää jonkinlainen tehomuuntaja. Näin ollen tällaisen moottorin käynnistysvirtasysäys rajoittuu jonkin verran myös muuntajan impedanssilla. [2] Käytännössä tämä harvoin riittää virtapiikin hillitsemiseen ja moottorin etukojeeksi tarvitaan vähintään kuristin. [6]

Käynnistykseen voidaan myös käyttää osakäämikäynnistystä. Tällöin moottoriin on rakennettu kaksi eri käämistä ja ne kytketään normaalikäytössä rinnan. Käämitykset voivat olla valmistajasta riippuen tähti- tai kolmiokytkennässä. Käynnistuksen aikana niistä vain toinen on kytketty, minkä vuoksi puhutaan osakäämikäynnistyksestä. Yhden käämin kytkennässä virta on noin kaksi kolmasosaa rinnankytkennän käynnistysvirrasta ja puolet sen vääntömomentista. [11, s. 311]

Käynnistysmuuntajalla käynnistysvirta on mahdollista saada pienemmäksi kuin Y/D-käynnistimellä, mutta samalla moottorin käynnistysmomenttikin pienenee. Käynnistysmuuntajan virranrajoitus perustuu ennen kaikkea pienentyneeseen syöttöjännitteeseen, vaikka se lisää myös piiriin impedanssiakin. Tyypillisesti käynnistysmuuntajassa on säästömuuntajan rakenne useammalla väliotolla. (ks. kuva 1, kohta c) [4, s. 94] Moottorille voidaan esimerkiksi syöttää 50 %, 65 % sekä 80 % pääjännitteestä [11, s. 294].

Sekä käynnistysmuuntaja, -kuristimen että -vastuksen tapauksessa käynnistyskojeet on yleensä järkevää ohittaa käynnistuksen jälkeen vähentämään häviöitä. [4, s. 201; 11, s. 290–291; 12, s. 33]

Kolme edellä mainittua ratkaisua virran rajoitukseen eivät ole täysin ongelmattomia. Niiden haittapuolena ovat muun muassa tilankäyttö ja käytön aikaiset häviöt. Kaikki teollisuuslaitoksessa käytetty tila maksaa paljon, joten tilankäytöllä on suuri merkitys suunnittelussa. Lisäksi kaikki induktiivista reaktanssia lisäävät komponentit myös vääristävät verkon tehokerrointa ja tehomuuntaja aiheuttaa itse kytkentävirtasäyksen. Kuristimen ongelmana on koordinoitavuudet muiden laitteiden kanssa. Tämän ohella laitteistot ovat yleensä ottaen kalliita sekä ohituskytkennät vaativat verkkoon ylimääräisen katkaisijan. [6; 11, s. 287; 13, s. 66]

Historiallisesti puhuttuna Suomessa käynnistyskuristimen ja käynnistysmuuntajan käyttö on ollut yleistä lähinnä suurjännitemoottoreiden etukojeina. Muiden menetelmien käyttö ei ole sen sijaan ollut suuressa suosiossa taajuusmuuttajakäyttöjen yleistyttyä. [2; 4, s. 201]

2.2 Moottorin nopeudensäätö

Oikosulkumoottori kuuluu epätahtimoottoreihin ja epätahtimoottorin pyörimisnopeuden muuttaminen perustuu seuraaviin perusyhtälöihin 1 ja 2:

$$n_s = \frac{f \cdot 120}{p}, n_m = n_s(1 - s), s = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad (1)$$

Näin ollen

$$n_m = \frac{f \cdot 120 \cdot (1 - s)}{p} \quad (2)$$

joissa f on moottorin syöttöjännitteen taajuus, n_m on moottorin (akselin) todellinen pyörimisnopeus, n_s on moottorin magneettikentän pyörimisnopeus (synkroni- eli tahtinopeus), s on moottorin (suhteellinen) jättämä ja p on moottorin napaparien lukumäärä. [4, s. 151, 177.]

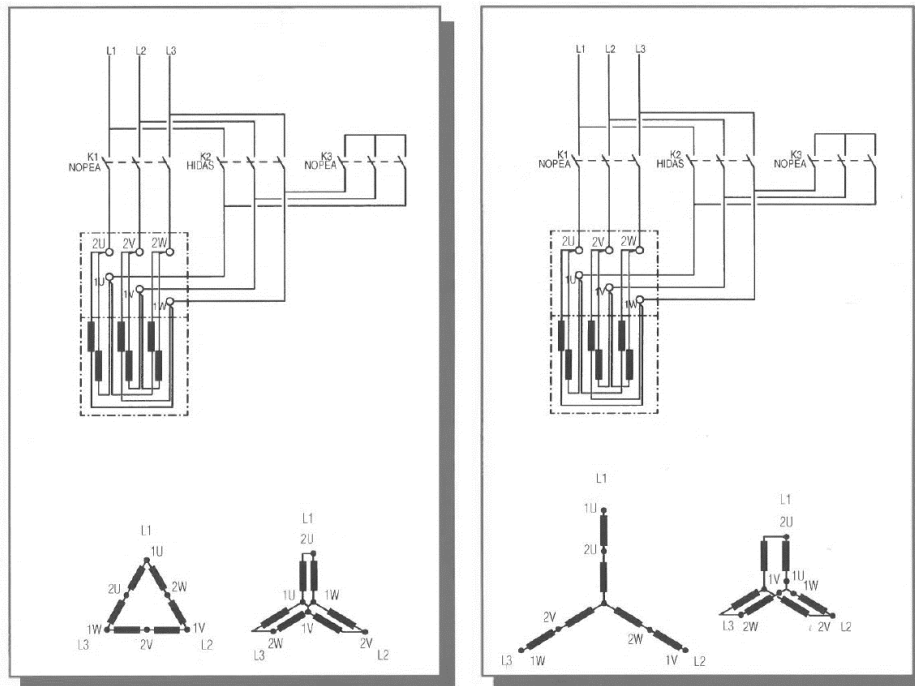
Yhtälöstä 2 nähdään, että epätahtimoottorin nopeus on säädettävissä sen kolmella eri muuttujalla. Nämä ovat moottorin napaluku, jättämä sekä syöttöjännitteen taajuus. [3, s. 134.]

Napalukua muutetaan rakentamalla kaksi eri napaluvun staattorikäämitystä samaan moottoriin ja/tai käyttämällä vaihtonapaista staattorikäämitystä, eli niin sanottua Dahlander-kytkentää. Molemmat menetelmistä ovat sellaisenaan suorakäynnistyksiä verkkoon. [14, s. 135] Yleensä moottorit valmistetaan joko vakioiselle vääntömomentille tai siten että vääntömomentti muuttuu pyörimisnopeuksien neliöiden suhteessa [4, s. 224; 7, s. 79].

Kahden erillisen käämityksen tapauksessa vain toinen käämityksistä on yhtä aikaa käytössä ja moottorin nopeutta muutetaan vaihtamalla ulkoisesti kytkentää käämitykseltä toiselle. Tällöin napaluku voi olla esimerkiksi kahdeksan hitaalla nopeudella ja kaksi nopeammalla. Dahlander-kytkennässä yksi sama käämitys erotellaan ryhmiksi moottorin ulkopuolelle tulevilla liittimillä (kuvassa 2 liittimet 1UVW ja 2UVW). Nopeuden

muuttamiseksi ryhmien kytkentää muutetaan esimerkiksi kontaktoreilla (kuvassa 2 K1, K2 ja K3) kolmiosta tai tähdestä rinnan kytkettyyn tähteen. [8, s. 82; 14, s. 137]

Molemmissa tapauksissa moottorin nopeutta voidaan säätää hyvin karkeasti ja varsinkin Dahlander-kytkennässä rajoituksena on napalukujen vakiosuhde $\frac{1}{2}$. Usean eri käämityksen haittapuolena on puolestaan se, että menetelmä kasvattaa moottorin kokoa, heikentää vuon jakaantumista sekä lisää materiaalikustannuksia. [7, s. 79.]



Kuva 2. Erilaiset Dahlander-kytkennät (D/YY ja Y/YY). [14, s. 137]

Normaalisti kaksinopeuksinen moottori on Dahlander-kytketty. Moninaparakenteita ja Dahlander-kytkentöjä voidaan myös yhdistellä sillä tavalla, että moottori on kolmi- tai nelinopeuksinen. Ensimmäisessä tapauksessa moottorilla on kaksi eri käämitystä ja toinen niistä on Dahlander-kytketty. Jälkimmäisessä tapauksessa moottori on kaksinapainen ja molemmat navoista ovat Dahlander-kytkettyjä. [3, s. 255] Suomalaisessa prosessiteollisuudessa on käytetty etupäässä vain kaksinopeuksisia Dahlander-moottoreita. [2]

Jättämää muutetaan muuttamalla roottorin resistanssia. Moottorin vääntömomentti on suoraan verrannollinen jättämään ja täten pyörimisnopeuteen. [3, s. 156, 160]

Liukurengaskoneiden tapauksessa nopeudensäätö perustuu jättämän säätöön ulkoisella resistanssilla tai jännitelähteellä. Toisaalta koska oikosulkumoottorin roottoriin ei ole sähköistä yhteyttä moottorin ulkopuolelta, menetelmää ei voida soveltaa sen nopeudensäädössä. [3, s. 157, 188]

Taajuutta säädetään taajuusmuuttajalla, koska tavallisen jakeluverkon taajuus on likimain vakio. [15, s. 16] Taajuusmuuttajan toimintaa käsitellään tarkemmin luvussa 3.3.

Tämän ohella epätahtimoottorin pyörimisnopeutta voidaan teoriassa säätää staattorijännitettä muuttamalla, mikäli roottorivastus on suuri. Normaalirakenteiset epätahtomoottorit suunnitellaan kuitenkin pieniresistanssisiksi, joten menetelmä ei koske tavallisia oikosulkumoottoreita. Menetelmää haittaavat myös sen epäedullinen hyötysuhde ja säätötarkkuus. [3, s. 163]

Moottorin sähköisten ominaisuuksien muuttamisen sijaan voidaan muuttaa kuormalle välittyvää vääntömomenttia ja nopeutta myös mekaanisin ratkaisuin erilaisilla vaihteistoilla. Haittapuolena vaihteistoa käytettäessä huollettavien ja vikaantuvien osien määrä lisääntyy koko järjestelmässä. Tämän lisäksi vaihteistossa syntyy aina häviöitä, jotka heikentävät kokonaishyötysuhdetta. [7, s. 197]

2.3 Automaatiojärjestelmä

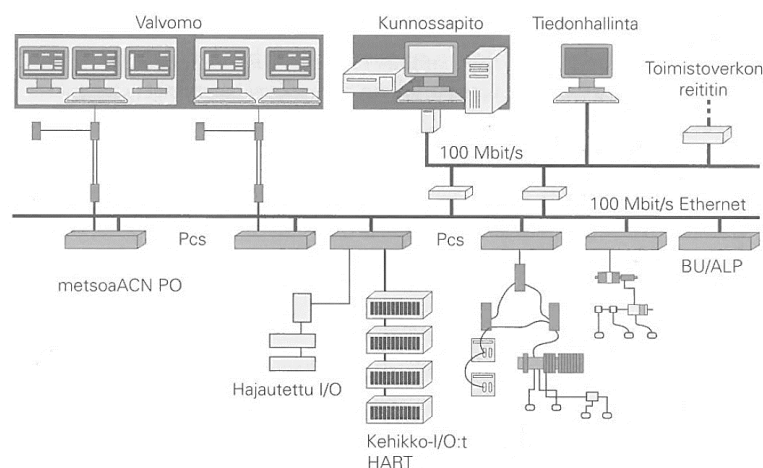
Pelkästään moottoriohjausta suunnittelevan puolesta automaatiojärjestelmän syvälinen tunteminen ei ole ehdotonta, mutta kokonaisuuden hahmottamiseksi on eduksi ymmärtää järjestelmän perusteet. Oleellisinta suunnittelussa on aikaansaada automaatiojärjestelmää hallitsevan operaattorin ja moottorin välillä on toimiva tiedonsiirtokanava. Tässä kanavassa viestit liikkuvat molempiin suuntiin, siten että automaatiojärjestelmän kautta annetaan komentoja moottorille päin ja prosessin läheltä palaa tietoa moottorin suunnasta. [9; 14, s. 219.]

Prosessiteollisuuden automatisointi voidaan toteuttaa suuremmissa kohteissa ohjelmoitavalla logiikalla (engl. programmable logic controller, PLC) tai hajautetulla automaatiojärjestelmällä. Myös näiden erilaiset yhdistelmät ovat mahdollisia. [14, s. 212]

Moderni prosessiteollisuuden automaatiojärjestelmä toimii hajautetusti, eli sen tiedonkäsitteily ja eri toiminnot on hajautettu usealle itsenäisesti toimivalle tietokoneelle. Siksi englanninkielisessä kirjallisuudessa kutsutaan tällaisia järjestelmiä nimellä DCS (decentralized/distributed control system), joka suomennetaan hajautetuksi ohjausjärjestelmäksi. Hajautetun rakenteen vuoksi järjestelmä kestää häiriöitä paremmin kuin perinteinen keskitetty automaatio. [14, s. 156] Käytännössä DCS-järjestelmä jaetaan esimerkiksi tehtaan tuotantoalueiden mukaan, jolloin yhden prosessiaseman vikaantuessa muut tuotantolinjat pysyvät toiminnassa eikä koko tuotanto pysähdy. [16] Lisäetuina tehtaan kaapelointi vähenee sekä huollettavuus ja vianhaku helpottuvat perinteiseen keskitettyyn järjestelmään verrattuna. Toisaalta laitteistojen hinta on kallis ja ne voivat monimutkaisina kokonaisuuksina siksi esimerkiksi vaatia paljon suunnittelutyötä. [17, s. 156.]

Automaatiojärjestelmä voidaan toteuttaa kahdella tapaa. Ensimmäinen näistä on integroitu automaatiojärjestelmä. Se on kokonaisuus, johon kuuluvat prosessiasemat sekä valvomoasemat ohjelmistoinen. Toinen toteutustapa on käyttää ohjelmoitavia logiikkoja ja/tai yksikkösäätimiä ohjelmistoinen ja hankkia valvomolaitteisto erikseen. [14, s. 212]

Automaatiojärjestelmä voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: valvomoasemiin (engl. operator station) ja prosessiasemiin (engl. process station, process control station tai controller). Lisäksi mukaan voidaan laskea muun muassa järjestelmäväylä, liityntäasemat sekä erikoisasemat. [18, s. 4] Kuvassa 3 esitellään hajautetun automaatiojärjestelmän esimerkkirakenne.



Kuva 3. Prosessiautomaatiojärjestelmän esimerkkirakenne. (Metso automation) [1, s. 45]

Prosessiasemat (kuvassa 3 process control station, pcs) keräävät prosessista saatua tietoa ja tekevät sen perusteella itsenäisiä ohjauspäätöksiä. Saatu tieto sisältää mittaus- ja tilatietoja, joiden perusteella hallitaan säätöjä sekä sekvenssi- ja moottorihjauksia. Automaatiojärjestelmä esittää prosessiasemilta saadun tiedon valvomoasemalla työskentelevälle operaattorille, joka voi myös osallistua prosessin kulkuun ja ohjaukseen.

Automaatiojärjestelmän tiedonsiirtoon käytetään nykyään standardoituja kenttäväyliä ja/tai teollisuus-Ethernetiä, joilla voidaan yhdistää valvomo ja prosessiasemat sekä järjestelmään liitetyt laitteet. Perinteistä johdotettua I/O:ta käytetään edelleen esimerkiksi kenttälaitteiden ja prosessiasemien välillä sekä turvatoiminnoissa. [9] Tiedonsiirtotapoja esitellään lisää luvussa neljä.

Mitä kenttäväyliin ja teollisuus-Ethernetiin tulee, suomalaisen prosessiteollisuuden tiedonsiirrossa suositetaan joko Profibusia tai Profinetiä. Tehtaiden DCS-järjestelmien osalta on sen sijaan enemmän vaihtelua. Vaihtoehtoja ovat muun muassa Valmet DNA, Siemens Simatic PCS7 sekä ABB Ability 800xA. [10; 16]

3 Moottorihjaimet

Tässä luvussa käsitellään yleisluontoisesti moottorihjaimien ominaisuuksia ja toimintoja sekä esitellään muutamia esimerkkituotteita.

3.1 Älykäs moottorihjain



Kuva 4. ABB UMC100.3 ja SIMOCODE Pro V (PN). [24] [79]

Älykkäät moottoriohjaimet (engl. intelligent motor starter, IMC) ovat uuden sukupolven monitoimilaitteita, joilla voidaan yhdellä kojeella toteuttaa moottorin ohjaus-, suojaus- sekä valvontatoimintoja. [19, s. 8] Ne ovat edullisia, vievät vähän tilaa ja niiden yhteensovittaminen on helppoa vanhempienkin oikosulkumoottorien kanssa.

Älykäs moottoriohjain ei tee itse moottorikytkentöjä vaan se antaa pelkästään ohjauskomentoja tai hälytyksiä muille laitteille. Se asennetaan moottorin syöttökaapelin kanssa sarjaan kuten vaikkapa perinteinen ylivirtarele. Laite mittaa piiriä virtamuuntajan välityksellä ja ylivirtareleen tapaan ohjauskomennot annetaan kontaktorille tai kontaktoreille, jotka tekevät varsinaiset sähköiset kytkennät päälle ja pois.

Esimerkiksi nopeaa suoritusta vaativat poiskytkennät, kuten moottorin ylivirtasuojaus on tarkoituksenmukaista suorittaa itsenäisesti moottoriohjaimen älyn toimesta. Ulkoisesti ohjattuna älykäs moottoriohjain voi olla esimerkiksi yhdistetty kenttäväylän kautta automaatiojärjestelmään. Automaatiojärjestelmän komennosta laite pystyy vaikkapa suorittamaan Y/D-käynnistyksen ohjelman, jolla se ohjaa erillisiä kontakteja. [19, s. 80] Valmiiden ohjelmien ohella käyttäjät voivat itse räätälöimillään ohjelmilla automatisoida yksinkertaisia toimintoja. [20, s. 32–34]

Älykkäiden moottoriohjaimien käyttöönotto ja parametointi tapahtuu esimerkiksi yhdistämällä laite PC:hen yhteensopivalla liitäntäkaapelilla ja suorittamalla toiminnot valmistajan ohjelmiston kautta. Tämän lisäksi parametointiin on mahdollista käyttää kenttäväylää tai ohjauspaneelia. [19, s. 34; 21, s. 5.]

Seuraavaksi esiteltävät älykkäät moottoriohjaimet ovat suomalaisessa prosessiteollisuudessa kaksi yleisimmin käytettyä tuotetta. [22] Niistä voidaan räätälöidä laajennusosia käyttämällä entistä monipuolisempia kokonaisuuksia ja laitteiden toiminnallisuutta voidaan kasvattaa muun muassa laajennettavilla tietoliikenneliitännöillä.

Esimerkkituotteilla (ks. kuva 4) voidaan suojata moottori tyypillisiltä vikatilanteilta sekä suorittaa monipuolisia valvontatoimintoja. Tässä työssä tarkastelu keskittyy ennen kaikkea laitteiden ohjausominaisuuksiin. Laitteiden liittämistä automaatiojärjestelmään käsitellään luvussa viisi.

Esimerkkilaitte ABB UMC100.3

ABB UMC100.3 (universal motor controller) on ensimmäinen insinööriyössä käsiteltävä älykäs moottorihjain. Seuraavaksi on lueteltu muutamia perusyksikön avainominaisuuksia [19, s. 8–9, 19, 25; 20, s. 24–32]:

- Ohjaus voidaan tehdä yksi- tai kolmevaiheisille moottoreille
- Laitteissa on sisäänrakennettuna kuusi digitaalista sisääntuloa, kolme relelähtöä, yksi 24 V lähtö sekä PTC-sisääntulo.
- Perusyksikön syöttöjännitteeksi voidaan valita joko 24 V DC tai 110–240 V AC/DC.
- Suurin ohjatun moottorin käyttöjännite on 1000 V AC.
- Sisäänrakennettuja moottorinohjaustoimintoja ovat DOL-, suunnanvaihto-, Y/D-, navanvaihto-, Dahlander-ohjaus sekä pehmokäynnistimen etukojekytkentä. Lisäksi käyttäjä voi ohjelmoida omia toimintojaan.
- Saatavilla erillinen malli ATEX-hyväksyttynä.

Moottorin ohjaukseen voidaan käyttää digitaalisia sisääntuloja, käyttöpaneelia, huoltolaitetta tai tiedonsiirtomodulin komentoja. Näistä digitaaliset sisääntulot ovat käytettävissä perusyksiköllä ilman laajennuksia. [19, s. 61, 63]

Laajennuksien osalta ABB toimittaa UMC100.3:een mm. IO-, analogi- ja lämpötilan mittausta -moduuleja. Laitteen 63 A:n nimellisvirran ylittävälle syötölle tulee lisäksi käyttää erikseen hankittavaa ulkoista virtamuuntajaa. [19, s. 26]

Tuotteen yksityiskohtaiset tiedot ovat saatavilla valmistajan verkkosivuilta. [19] Tämän ohella Ville Hirvelä [20] ja Anssi Mäkynen [23] ovat tutkineet laitteen toimintaa opinnäytetöissään.

Esimerkkilaitteet Siemens Simocode Pro C ja V

Simocode Pro on jaettu kolmeen luokkaan suorituskyvyn mukaan. Perussuorituskyvyn luokkaan BP (basic performance) kuuluu Simocode Pro C. Yleissuorituskyvyn luokka GP (general performance) sisältää mallin Simocode Pro S sekä mallin Simocode Pro V PN GP. Korkean suorituskyvyn luokkaan HP (high performance) kuuluvat Simocode Pro V PN ja Pro V PB. [24, s. 20]

Siemens Simocode Pro C (compact) on tuoteperheen yksinkertaisin malli, jolla voidaan käyttää DOL-lähtöjä suunnanvaihtokäynnistimellä. Pro V (variable) lisää C:n ominaisuuksiin mm. Y/D-, navanvaihto- ja Dahlander-ohjauksen, pehmokäynnistimen etukojekytken sekä venttiilien ohjaustoiminnot. [25.]

Malli Pro V GP PN on tuoteperheen uusin karsittu malli, jossa on Pro V:tä vähemmän I/O-liitäntöjä sekä ohjaus-, mittaus- ja suojaustoimintoja. [24, s. 55–57; 26, s. 200] Malleja Pro S ja Pro V PN GP ei tässä työssä käsitellä koska niitä ei ole omaksuttu laajaan käyttöön suomalaisessa prosessiteollisuudessa. [22]

Siemens Simocode Pro C/V avainominaisuudet ovat seuraavat:

- C:llä ja V:llä on yksi D-liitinpaikka Profibus DP:lle. Pro V PN mallissa on kaksi RJ-45-liitinpaikkaa Profinetille.
- Laitteissa on sisäänrakennettuna liitäntä binääriselle PTC-anturille, neljä binäärituloa sekä kolme monostabiilia relelähtöä.
- Perusyksikköjä on saatavissa 24 V DC tai 110–240 V AC/DC apujännitteelle.
- Kaikilla Simocode Pro malleilla on ATEX-hyväksyntä. [2; 25.]

Molemmat perusyksiköt C ja V vaativat rinnalleen erillisen virranmittausmoduulin, joka valitaan käytettävän moottorin nimellisarvojen perusteella. Mikäli ohjaustoimintoja halutaan tehdä suoraan moottorikeskukselta, voidaan lisävarusteena hankkia erillinen käyttöpaneeli keskuksen oveen. Sekä virranmittausmoduulit että käyttöpaneeli toimivat eri mallien välillä yhteensopivasti. (C, S, V) [25]

Simocode Pro V -mallin kanssa voidaan lisäksi käyttää virta/jännitteenmittausmoduulia (690 V maksimissaan), jolloin laitteen ominaisuudet laajenevat teho-, tehokerroin- ja energiankulutusmittauksilla. Pro V malli on myös laajennettavissa digitaali-, maasulku-, lämpötilan mittaus-, analogi- ja turvamoduulein. [24, s. 62–68]

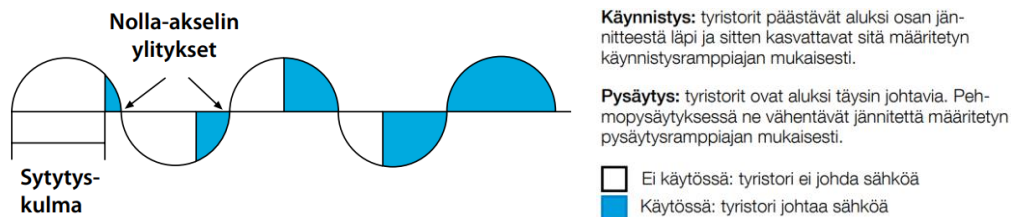
Simocode Pron perusyksiköt määräävät yhteensopivan tiedonsiirtomenetelmän kiinteillä liitännöillä, eikä niihin siten asenneta erillistä tiedonsiirtomoduaalia, kuten ABB:n UMC100.3 tapauksessa. Esimerkiksi Simocode Pro V PB on tarkoitettu liitettäväksi yksinomaan Profibus-väylään. Pro V PN -malli tukee puolestaan vain Profinetiä. [24, s. 10.]

Tuotteen yksityiskohtaisemmat tiedot ovat saatavilla valmistajan verkkosivuilta [25]. Lisäksi Teemu Haapala [27] on tehnyt laitteesta tutkielman opinnäytetyössään vuonna 2011.

3.2 Pehmokäynnistin

Pehmokäynnistin (engl. motor soft starter tai soft starter), jota puhekielessä myös usein kutsutaan pehmoksi, on yksinomaan moottorin käynnistykseen ja pysäytykseen tarkoitettu laite. Sitä ei voi siis käyttää moottorin pyörimisnopeuden säätöön. Se on kustannustehokas etukojie vähentämään verkon jännitekuoppia, moottorin käynnistysvirtaa ja kuormalle välittyviä nytkähdyksiä mm. sellaisille kohteille, joille ei tarvita tarkkaa nopeudensäätöä. [14, s. 147] Osa laiteista on myös integroitu moottorinsuojaustoimintoja ja edistyneitä momentinsäätötoimintoja (esim. ABB PST(B)) [28, s. 4]. Nämä lisätoiminnot saattavat sisältää mm. alikuorman suojauksen, jolloin esimerkiksi kuljetinhihnan katketessa moottori pysäytetään automaattisesti [15, s. 28].

Pehmokäynnistimen toimintaperiaate



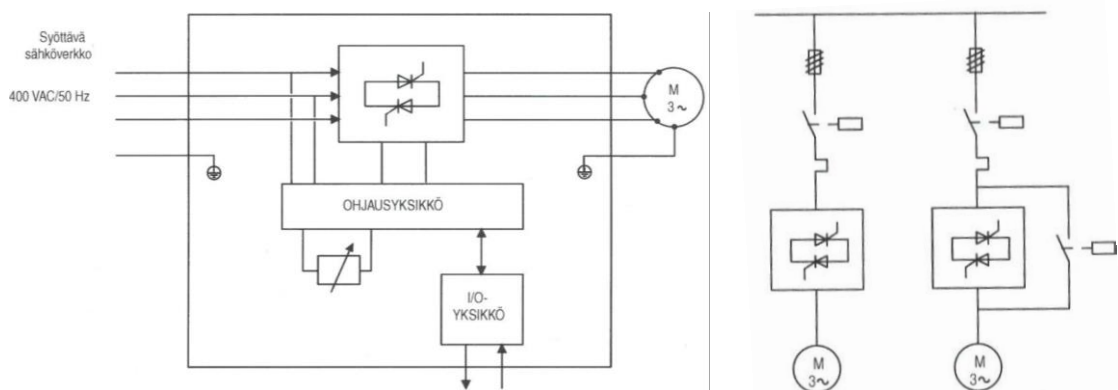
Kuva 5. Havainnekuva tyypillisestä tyristorin liipaisusta moottoria käynnistäessä pehmokäynnistimellä. Pehmokäynnistimen ohjausyksikkö kasvattaa tyristorin johtoaikaa vaihteittain, jolloin myös kuormalle välittyvä jännite kasvaa vähitellen. [15, s. 22]

Pehmokäynnistin toimii yksinkertaistaen siten, että moottorin syöttöjännitettä nostetaan vaihteittain ylöspäin, kunnes moottori toimii nimellisnopeudellaan. Moottorin syöttöjännitteen kasvatus tapahtuu siten, että laitteen puolijohdekomponentit (kuvassa 6 tyristorit) ”leikkaavat” moottorin siniaaltomaista syöttöjännitettä. Tarkkaan ottaen tämä perustuu vastarinnan kytkettyjen tyristorien syttymiskulman (engl. firing angle) ohjaukseen. Pehmokäynnistyksessä tyristorien syttymistä aikaistetaan vähitellen, kunnes kuormalle välittyy täysi syöttöjännite. Yllä oleva kuva 5 esittää edellä selostetun toimintaperiaatteen

graafisesti. [15, s. 22.] Tyristorien sijaan jännitteen pilkkomiseen voidaan käyttää myös esimerkiksi IGBT:itä (insulated-gate bipolar transistor).

Pehmopysäytyksessä toimitaan puolestaan päinvastaisesti kuin pehmokäynnistyksessä, eli moottorin syöttöjännitettä lasketaan vähitellen. [15, s. 22]

Pehmokäynnistimen toimintaa tarkastellessa on oleellista muistaa syöttöjännitteen neliöllinen yhteys vääntömomenttiin. Näiden kahden suureen välisen yhteyden vuoksi moottorille syötettyä jännitettä ei käytännössä aloiteta nollasta, vaan jännitteen alkuarvo on esimerkiksi 50 % nimellisestä. Tällöin vääntömomentti on neljäsosa nimellisestä käynnistysmomentista. Syöttöjännitteen alkuarvon yhteydessä puhutaan pehmokäynnistimen lähtöjännitteestä. Lisäksi pienentyneen vääntömomentin seurauksena moottorin kiihdytysaika pitenee DOL-käynnistykseen verrattuna. [15, s. 22–23]



Kuva 6. Tyristoreihin perustuvan pehmokäynnistimen yksinkertaistettu rakenne sekä taajuusmuuttajan ohituskytkentä. [14, s. 147–148]

Kuvan 6 laitteistossa esiintyvä ohjausyksikkö hallitsee käynnistystapahtumaa antamalla syttymiskäskyjä tyristoreille sen perusteella, miten pehmokäynnistin on parametroitu. Laitteen säädettävyyden tarkkuudesta riippuen yksikkö voi myös mitata käynnistykseen vaikuttavia suureita, kuten virtaa ja jännitettä. [15, s. 24] Lisäksi on laitekohtaista, millä tavoin laite on parametroitavissa. Parametointi voidaan suorittaa ohjausyksiköstä käsin, käynnistimeen yhdistetyllä tietokoneella sekä suoraan automaatiojärjestelmästä. [14, s. 149; 29, s. 144–145]

Parametroinnin yhteydessä määritellään muun muassa käynnistys- ja pysäytysramppi sekä lähtö- sekä loppujännite (ks. kuva 8). Käynnistysrampista puhuttaessa tarkoitetaan aikaa, joka kuluu lähtöjännitteen nostosta täyteen jännitteeseen ja pysäytysrampin tapauksessa aikaa, joka kuluu täyden jännitteen laskusta loppujännitteeseen. Lisäksi eräillä pehmokäynnistimillä voidaan rajoittaa käynnistysvirtaa ja käynnistysmomenttia. [15, s. 54, 56]

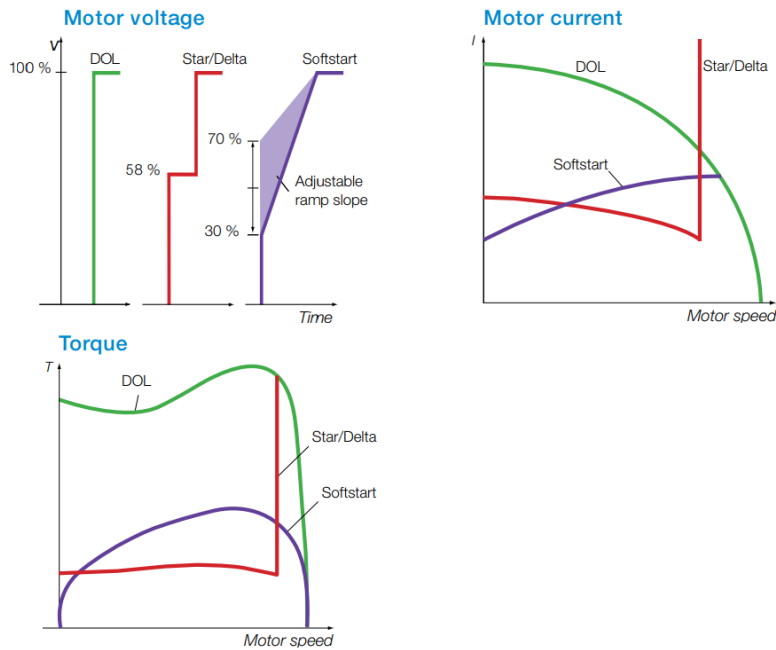
Automaatiojärjestelmä ja pehmokäynnistin voidaan yhdistää toisiinsa I/O- tai tiedonsiirtoyksikön kautta. Kuvan 6 I/O-yksikön tapauksessa signaalit kuljetetaan perinteisesti johdotetusti, väyläliitynnän kautta väyläkaapelilla ja Ethernet-liitännän kautta Ethernet-kaapelia pitkin. Näitä tiedonsiirtokanavia pitkin voidaan esimerkiksi antaa käynnistyskomento ohjausyksikölle sekä tuoda automaatiojärjestelmälle tieto rampin loppuun suorituksesta.

Kun moottorin nimellisaika on saavutettu, on järkevää vaihtaa kuvan 6 tapaiseen ohituskytkentään, jotta vältetään sen puolijohdekomponenteista aiheutuvat lämpöhäviöt. Ohituksen ansiosta voidaan myös tehdä useampia peräkkäisiä käynnistystuntia kohden. [28, s. 9] Ellei laitteessa ole sisäänrakennettua ohituspiiriä, erillinen ohituspiiri voidaan rakentaa kontaktorilla [30, s. 190]

Pehmokäynnistin voidaan rakentaa kytkemään yhdestä kolmea vaihetta. Kolmivaiheisen moottorin kahden vaiheen ohjaus säästää tilaa ja kustannuksia, mutta se rajoittaa moottorin kytkentää siten, että moottorin kolmiokytkentä ei ole mahdollinen. Lisäksi tekniikka kasvattaa yhden vaiheen käynnistysvirtaa ja voi heikentää käynnistysmomenttia. Muun muassa eräät ABB:n pehmokäynnistimien kompaktimallit (insinööriyön esimerkkituote PSR) käyttävät kaksivaiheista ohjausta. [28, s. 52–53] Tämän ohella siniaalto voidaan pilkkoa vain puolen jakson ajan, jolloin aktiivisten puolijohteiden rinnalle kytketään diodi. [31, s. 63]

Pehmokäynnistimellä saavutettavat edut

Pehmokäynnistimellä on kolme arvokasta etua: se vähentää käynnistykseen haitallisia verkkovaikutuksia ja mekaanisia rasituksia sekä parantaa prosessin tai tuotannon laatua. [29, s. 145; 30, s. 187–188]

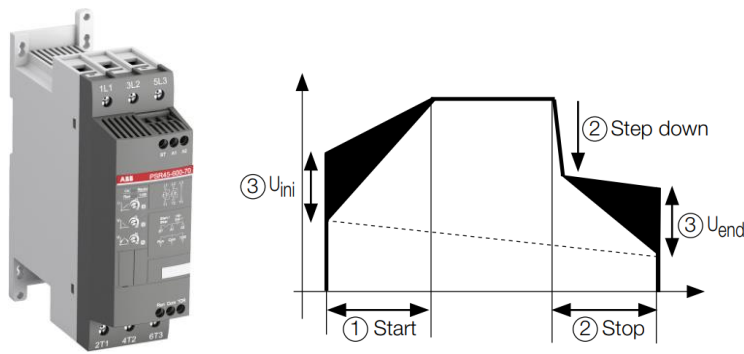


Kuva 7. Moottorin jännite, virta ja vääntömomentti DOL-, Y/D- ja pehmokäynnistyksellä. [28, s. 4]

Kuva 7 havainnollistaa, kuinka pehmokäynnistimen rajoitetulla syöttöjännitteellä moottorin kytkentävirtasysäys on pienempi kuin DOL- tai Y/D-käytöllä. Sama kuva osoittaa myös, kuinka käytettävälle kuormalle välittyy pehmeämpi vääntömomentti. Tällä tavalla vältetään äkkinäiset käynnistykset ja pysähdykset, jolloin käytännössä voidaan estää esimerkiksi paineiskut pumppukäytöissä sekä kiilahihnojen ennenaikainen kuluminen kuljetinkäytöissä. [30, s. 187]

Eräät modernit IGBT-teknologiaan perustuvat pehmokäynnistimet käyttäytyvät käynnistysominaisuuksiltaan kuten taajuusmuuttajat ja niiden edut (ks. luku 3.3) ovat entistä laajempia kuin perinteisten tyristori-pehmokäynnistimien. Viimeiseksi pehmokäynnistimellä saavutettavaksi eduksi voidaan mainita keskijännitepehmokäynnistimen vaikutus verkon huipputeho mitoitukseen. Keskijännitemoottorien parissa teholuokat ovat niin suuria, että pehmokäynnistinhjauksen ansiosta verkko voidaan mitoittaa huipputehon osalta pienemmäksi kuin DOL-käytöllä. [32, s. 8–9]

Esimerkkilaitte ABB PSR



Kuva 8. ABB PSR ja pehmokäynnistimen säätöalue. [28, s. 8]

ABB PSR (ks. kuva 8) kuuluu ABB:n pehmokäynnistimien pienikokoisimpaan luokkaan. Laitteissa ei ole moottorinsuojaustoimintoja, joten ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus tulee järjestää muilla etukojeilla. [28, s. 9–10]

PSR-malleissa säädetään kahta vaihetta, niissä on kaikissa sisäänrakennettu ohituskytkentä ja ne parametroidaan laitteen kolmella potentiometrillä. Erillinen tuuletin voidaan hankkia lisälaitteena ja siten kasvattaa käynnistyskertoja tuntia kohden. Sen ohella pehmokäynnistimille voidaan hankkia tuki seuraavien väylien tiedonsiirrolle: Profibus DP, Modbus, DeviceNet tai CANopen. [28, s. 8]

Eräs yleisessä käytössä oleva PSR-malli on PSR45 [22] ja sen tekniset ominaisuudet esitellään seuraavaksi lyhyesti.

PSR45:n tekniset ominaisuudet (luettelossa viitataan kuvaan 8) [28, s. 9–10]:

- nimellisvirta 45 A
- moottorin nimellisjännite 208–600 V
- apujännite 24 V AC/DC tai 100–240 V AC
- nimellisteho 22 kW kolmivaiheisena tai 11 kW yksivaiheisena
- alkujännite (U_{ini}) 40–70 %, loppujännite (U_{end}) 30–60 %
- käynnistysramppi (start) 1–20 s
- pysäytysramppi (stop) 0–20 s ja jännitteen pudotus (step down) 2 % jokaista pysäytysramppin sekuntia kohden
- viimeinen luokkansa DIN-kiskokiinnitteinen malli.

Tuotteen yksityiskohtaiset tiedot sekä muut mallit ovat saatavilla valmistajan verkkosivuilla [28].

Esimerkkilaitte Solcon DriveStart



Models | Up to 6.6KV, 750A

Mains Voltage (kV)	Rated Current (A)	Unit Dimensions (cm)			Weight (kg)
		H	W	D	
3.3	150	230	202	132	2,000
	300				
	400				
4.16	150	230	310	120	3,000
	300				
6.6	150	230	310	120	3,000
	300				
	400				
	500	260	440	120	4,000
	600				
750					

Kuva 9. Solcon DriveStart IGBT-tekniikkaan perustuva pehmokäynnistin keskijännitteelle ja sen tuotevalikoima. [32, s. 9]

Solcon DriveStart (ks. kuva 9) on keskijännitteelle tarkoitettu pehmokäynnistimien tuoteperhe, joka perustuu IGBT-tekniikkaan. Tuotteilla on sisäänrakennetut ohituskytkennät sekä pehmokäynnistys- ja pysäytystoiminnot. Lisäksi ne on saatavilla laajalle jännitealueelle sekä 50:n tai 60 Hz:n nimellistaajuudelle. Solcon lupaa tuotteille täyden käynnistysmomentin ja korkeimmillaan jopa 160 % moottorin nimellisestä vääntömomentista sekä käynnistysvirran rajoituksen 10–120 % moottorin nimellisestä. [32, s. 8–9]

3.3 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajan käyttötarkoitus

Taajuusmuuttajan ensisijaisena tarkoituksena on kolmivaiheisen oikosulkumoottorin nopeuden säätö syöttöverkon taajuudesta riippumatta ja siinä tarkoituksessa se on markkinoiden valtaapitävä laite. Tarkalla ja portaattomalla nopeudensäädöllään sillä saadaan moottorille jopa ihanteellisempi käynnistys- ja pysäytys kuin pehmokäynnistimellä.

Lisäksi nykyaikaiset tuotteet ovat moottorisuojauksen, -ohjauksen ja -valvonnan monitoimilaitteita jopa ilman lisämoduuleja.



Kuva 10. Esimerkituotteet ACS880-01 ja ACS880-07. [34, s. 20, 24]

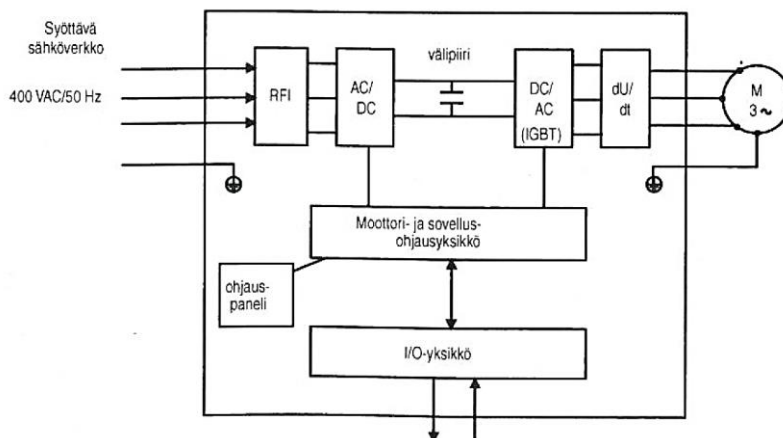
Taajuusmuuttajia saa seinälle, keskuksiin sekä lattialle asennettavina malleina, ja laitteita voi räätälöidä mitä monimuotoisempiin käyttöympäristöihin. Suomalaisessa prosesseollisuudessa suosittuja laitevalmistajia ovat erityisesti ABB (ks. kuva 10) ja Danfoss Drives (entinen Vacon), mutta Suomen ulkopuolella myös esimerkiksi Siemensiä suositetaan erityisesti keskusasenteisissa malleissa. [22]

Englanninkielisessä kirjallisuudessa taajuusmuuttajaan viitataan muun muassa nimellä AC drive, inverter (drive), variable speed drive (VSD), variable frequency drive (VFD) tai pelkästään drive. [33] Suomeksi taajuusmuuttajaa kutsutaan yleisesti puhekielessä tammuksi tai invertteriksi. [29, s. 136]

Taajuusmuuttajan toimintaperiaate

Taajuusmuuttajat voidaan jakaa kahteen eri luokkaan: suoriin taajuusmuuttajiin ja välipiirillisiin. Suoria taajuusmuuttajia ovat matriisimuuttaja sekä syklokonverterti. Välipiirilliset puolestaan jakautuvat virta- ja jännitevälipiirillisiin taajuusmuuttajiin. Useimmat käytössä olevista taajuusmuuttajista ovat jännitevälipiirillisiä, ja siksi vain niiden toimintaperiaatetta tarkastellaan tässä työssä lyhyesti.

Kuvassa 11 nähdään välipiirillisen taajuusmuuttajan neljä pääkomponenttia: tasasuuntaaja (AC/DC), välipiiri, vaihtosuuntaaja (DC/AC) sekä ohjausyksikkö. [34, s. 17] Tämän lisäksi taajuusmuuttajiin on tapana sisällyttää lähtö- ja tulosuotimia (kuvassa 11 RFI- ja dU/dt-komponentit). Laitteen paikallishojaus tapahtuu ohjauspaneelilla ja ulkoiset ohjaukset kytketään I/O- tai muuhun tiedonsiirtoyksikköön.



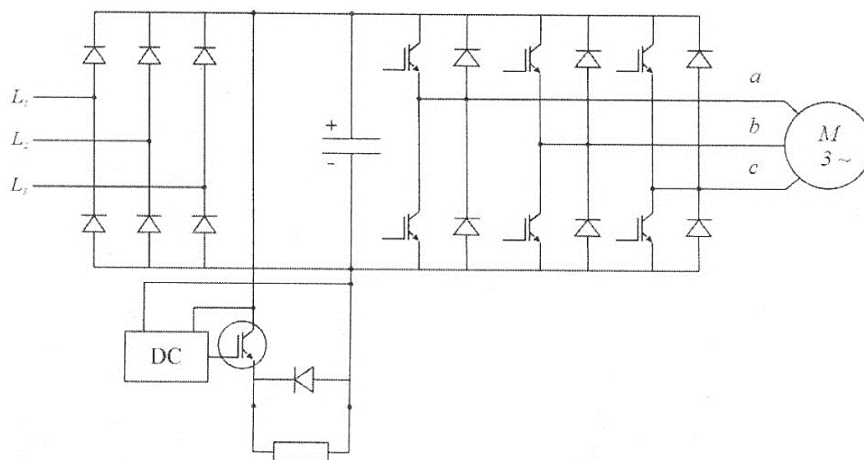
Kuva 11. Välijännitepiirillisen taajuusmuuttajan periaatteellinen lohkokaavio. [14, s. 139]

Tasasuuntaajan tasasuuntaussilta on rakennettu joko aktiivisilla tai passiivisilla puolijohdeilla, joilla verkosta otettava jännite tasasuunnataan välipiiriin. Passiivisilla komponenteilla toteutettu tasasuuntaussilta rakennetaan tehodiodein ja aktiivisilla joko tyristorein tai tehotransistorein (nykyään IGBT:illä). [30, s. 76] Edellä mainittujen komponenttien yhdistelmällä voidaan rakentaa ohjaamattomia, puoliohjattuja tai täysin ohjattuja tasasuuntaajia.

Tasasuuntauksen jälkeen sykkivä tasajännite suodatetaan välipiirissä mahdollisimman lähelle tasajännitettä. [34, s. 17] Välipiiriin toimii pienenä energiavarastona, josta saadaan lisäksi käyttöjännite laitteen omalle ohjauselektronikalle. [35, s. 159] Yleisen tavan mukaan tuodaan kuitenkin erillinen pienenjännitesyöttö taajuusmuuttajan ohjauspiirille, jotta laite voidaan parametroida sen pääpiiriin ollessa jännitteetön. [10]

Seuraavassa vaiheessa ohjausyksikkö lähettää parametroidun ja saamiensa mittaustietojen perusteella sytytysignaaleja vaihtosuuntaajan puolijohdekytkimille ja moottorille päin alkaa siirtyä energiaa. Tasajännitteen vaihtosuuntausta ohjataan esimerkiksi

pulssileveydmodulaatiolla (engl. PWM), jossa kuormalle lähetetään suurella taajuudella eri pituisia jännitepulsseja vakioamplitudilla. [36]



Kuva 12. Jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan jarruvastuksen havainnekuva. [30, s. 76]

Moottorin jarrutustilanteessa moottorista tulee generaattori, jolloin välipiirin jännite alkaa nousta. Tällöin ohjausyksikkö sammuttaa tasasuuntauksen ja moottorin tuottama ylimääräinen energia voidaan syöttää jarrukatkojan kautta jarruvastukselle, jossa se muuttuu hukkalämmöksi (ks. kuva 12). Tämä on hyödyllinen ominaisuus, mikäli esimerkiksi suuren hitausmomentin omaava kappale täytyy saada nopeasti hidastettua. Mikäli tasasuuntaus on toteutettu aktiivipuolihoiteilla, välipiirin tehoa voidaan myös syöttää takaisin verkkoon päin (engl. regenerative drive).

Jarruttamisen ohella roottori voidaan haluta myös kokonaan lukita. Tässä tapauksessa moottorin staattorikäämeille syötetään tasajännitettä. Ominaisuus ei kuitenkaan poista mekaanisen jarrun tarvetta, sillä sähkökatkoksen yhteydessä roottori vapautuu ja esimerkiksi nosturikäytössä tästä voi aiheutua huomattava vaara. [30, s. 75–76; 35, s. 160.]

Nopeudensäätö taajuusmuuttajalla

Taajuusmuuttajien nopeudensäädön kolme menetelmää ovat skalaari-, vektori- ja suoramomenttisäätö (engl. DTC, direct torque control). Säättötapa vaikuttaa merkittävästi säädön tarkkuuteen, ja sen tarpeen määrittää täysin käyttökohde. Mikäli nopeudensäädön tarkkuudelle ei ole erityisvaatimuksia (esim. pumpuilla ja puhaltimilla), voi jo skaalarisäätö olla tarpeisiin nähden riittävä. Vektorisäätö on skaalarisäätöä tarkempi

menetelmä, jota voidaan käyttää, mikäli taajuusmuuttajan tulee vastata paremmin vastamomentin muutoksiin erityisesti pienillä kierrosnopeuksilla. DTC-säätöä käytetään puolestaan kaikista vaativampiin kohteisiin, joissa säädön tulee vastata dynaamisiin muutostiloihin kaikista suurimmalla tarkkuudella (esim. leikkurit paperiteollisuudessa). [10; 34, s. 23–26]

Taajuusmuuttajalla saavutettavat edut

Moottorin nopeuden säätäminen voi olla prosessin tai kuormatyypin vuoksi välttämätön toiminto, mutta sen ohella nopeudensäätö on energiatehokasta ja säästää käyttökustannuksia. Säädettävyyden merkitys korostuu erityisesti pumppu- ja puhallinsovelluksissa, jolloin kulutettu teho kasvaa pyörimisnopeuden kuutiossa. [29, s. 137] Taajuusmuuttajan energiatehokkuus on siis ylivoimainen verrattuna säätämättömään käyttöön, jossa esimerkiksi moottori pyörii nimelliskoepudellaan ja virtausta kuristetaan venttiilillä. Taajuusmuuttajan hyötysuhdetta voidaan kasvattaa entisestään verkkoon jarrutuksella, mutta ominaisuuden käyttö ei ole mahdollista kaikissa kohteissa. Lisäksi muista ohjaustavoista poiketen jarrutukset voidaan taajuusmuuttajalla tehdä ulkoisilla jarruvastuksilla. Tämä on hyödyllinen ominaisuus esimerkiksi tilanteessa, jossa suuren hitausmomentin kappale pitää hidastaa nopeasti.

Toinen merkittävä etu on se, että taajuusmuuttajalla saadaan moottorilta nimellinen tai jopa nimellistä suurempi vääntömomentti jo pysähdyksistä ja tällä tavoin moottorimitoituksessa voidaan säästää, jos esimerkiksi kuorman käynnistysmomentti on suuri ja taajuusmuuttajaohjauksen ansiosta voidaan valita luokkaa pienempi moottori.

Kolmanneksi PWM-taajuusmuuttajat ottavat verkosta lähes pelkästään pätötehoa, [34, s. 18] joten kompensoinnin suunnittelu ja toteutus helpottuu tältä osin. Toisaalta vaihtokaupassa tilalle voi tulla tarve suodattaa verkon yliaaltoja.

Modernilla taajuusmuuttajalla voidaan tämän ohella helpottaa suunnittelua ja vähentää laitehankintoja, sillä taajuusmuuttajat ovat usein todellisia monitoimilaitteita. Niihin on yleensä yhdistetty toimintoja suojaamaan moottoria mm. ylikuormitukselta ja jumitilanteilta. [30, s. 75] Lisäksi tietyillä taajuusmuuttajilla voidaan jopa korvata laitteen omalla ohjelmoitavuudella yksinkertaisia PLC-sovelluksia. [38]

Kuten pehmokäynnistimiäkin käyttäessä, taajuusmuuttajilla suojaavat etusulakkeet voidaan mitoittaa pienemmäksi kuin DOL-käytöillä. Taajuusmuuttajalla voidaan kuitenkin mitoittaa sulakkeet jopa pienemmiksi [2] sekä säätää kiihdytys ja pysäytysrampit pidemmiksi ja joustavammiksi. [2; 37, s. 18] Vikatilanteissa taajuusmuuttaja rajoittaa myös verkon sysäysoikosulkuvirtaa, sillä se kuluttaa ohjaamansa epätahtimoottorin generaattoritehon lämpöhäviöinä moottorin käämityksissä. [30, s. 228] Tällaista ominaisuutta ei ole ohituskytkentää käyttävissä pehmokäynnistimissä. [2]

Viimeinen etu ei ole merkittävä, mutta siitä voi olla hyötyä saneerauskohteissa. Yksivaihesyöttöisellä taajuusmuuttajalla voidaan nimittäin ohjata kolmivaiheista moottoria. Yksivaihemootoreita ei ole kuitenkaan perinteisesti tapana ohjata taajuusmuuttajalla. [29, s. 136]

Esimerkkilaitte ABB ACS880

Seinään asennettava ACS880-01 -taajuusmuuttaja nähdään kuvassa 10 vasemmalla. Sen tehoalue on 0,55–250 kW, ja laite on saatavilla 230 V:n, 400 V:n, 500 V:n ja 690 V:n jännitteille. Kotelointiluokaltaan 01-malli on IP21 ja lisävarustettuna IP55. Lisäksi kaappiin asennettavan mallin saa IP20 luokituksella. Vakiona siihen on sisäänrakennettu muun muassa verkkokuristin yliaaltojen suodatukseen, EMC-suodin sekä osaan malleista jarrukatkoja. Sisäisesti siinä on I/O- ja tiedonsiirron laajennuspaikat sekä optio pulssianturille ja vahinkokäynnistyksen estolle. Ulkoisesti siihen voidaan liittää jarruvastus sekä lähtösuotimet. [39, s. 20]

Kuvassa 10 oikealla nähdään ACS880-sarjan kaappiin asennettava 07-malli. Laitteen tehoalue on 45–2800 kW ja se on saatavilla 400 V:n, 500 V:n ja 690 V:n jännitteille. Taajuusmuuttajan tasasuuntaussillan saa joko 6- tai 12-pulssisena. Kotelointiluokitukseltaan 07-malli on IP22 ja lisävarustettuna IP42 tai IP54. Sisäänrakennetun verkkokuristimen ohella laitteeseen saa lisävarusteena muun muassa EMC- ja lähtösuotimet, jarrukatkojan sekä I/O-sekä tiedonsiirtomoduuleja. [39, s. 20] 07-mallista on myös saatavilla nestejäähdytteinen malli 07CLC. [39, s. 40]

Tuotteen yksityiskohtaiset tiedot sekä muut mallit ovat saatavilla valmistajan verkkosivuilta [39].

3.4 Ohjaustapojen vertailu

Taulukossa 1 vertaillaan eri moottorihjaustapojen hyötyjä ja haittoja. Ohjaimen lopullinen valinta riippuu käyttökohteesta sekä tilaajasta. Tiivistetysti sanottuna taajuusmuuttajan edut ovat vakuuttavia älykkääseen moottorihjaimeen ja pehmokäynnistimeen verrattuna, mutta jokaiseen kohteeseen sen asennus ei ole tarkoituksenmukaista taajuusmuuttajan suuren koon ja hinnan vuoksi.

Taulukko 1. Moottorihjaustapojen vertailu. [15, s. 17, 20; 29, s. 175; 37, s. 15–16]

Laite	Hyödyt	Haitat
Älykäs moottorihjain	<ul style="list-style-type: none"> – yksinkertainen ja edullinen rakenne – voidaan käyttää vakio moottoreita – pienikokoisin – moottorinsuojatoiminnot 	<ul style="list-style-type: none"> – suuri käynnistysvirta – ei momentin rajoitusta käynnistäessä – ei nopeudensäätöä – vaatii isot etusulakkeet
Pehmokäynnistin-	<ul style="list-style-type: none"> – asettuu kokonsa ja hintansa puolesta älykkään moottorihjaimen ja taajuusmuuttajan välimaastoon – käynnistysaikaa ja -virtaa voidaan säätää – moottorinsuojatoiminnot – parempi energiansäästö kuin DOL-käytöllä – rajoittaa oikosulkuvirran arvoa (ei ohituskytkennässä) – verkon sähkönlaatu pysyy hyvänä 	<ul style="list-style-type: none"> – ei nopeudensäätöä – käynnistysmomentinsäätö rajallinen – taajuusmuuttajaa suurempi kytkentävirtasysäys (perinteisillä malleilla)
Taajuusmuuttaja	<ul style="list-style-type: none"> – portaaton nopeudensäätö – käynnistysaikaa ja -virtaa voidaan säätää parhaiten – moottorinsuojatoiminnot – rajoittaa oikosulkuvirran arvoa – paras energiansäästö koko järjestelmälle – mahdollisuus saada moottorilta nimellinen tai suurempi vääntömomentti nimellispoeutta pienemmillä kierrosnopeuksilla – tarkin momentinsäätö – hyvä ohjelmitavuus – mahdollisuus verkkoon jarrutukseen tai jarruvastukseen sekä roottorin lukitukseen 	<ul style="list-style-type: none"> – suurikokoisin – kallein – suurimmat lämpöhäviöt – sähkön laadun heikkeneminen verkossa (hyvä sähkönlaatu saavutettavissa mm. erilaisin suotimin mutta tämä lisää laitteiston yhteishintaa)

4 Moottorihjauksen tiedonsiirto

Tässä luvussa esitellään yleisimmät tiedonsiirtomenetelmät suomalaisten prosessiteollisuuslaitosten automaatiojärjestelmissä. Perinteisten kenttäväylien osalta tämä tarkoittaa Profibusia sekä teollisuus-Ethernet -pohjaisen tiedonsiirron osalta Profinetiä. [10] Muita maailmalla suosiota saavuttaneita standardeja ovat muun muassa Modbus-RTU, DeviceNet, Ethernet/IP, Modbus TCP ja EtherCAT.

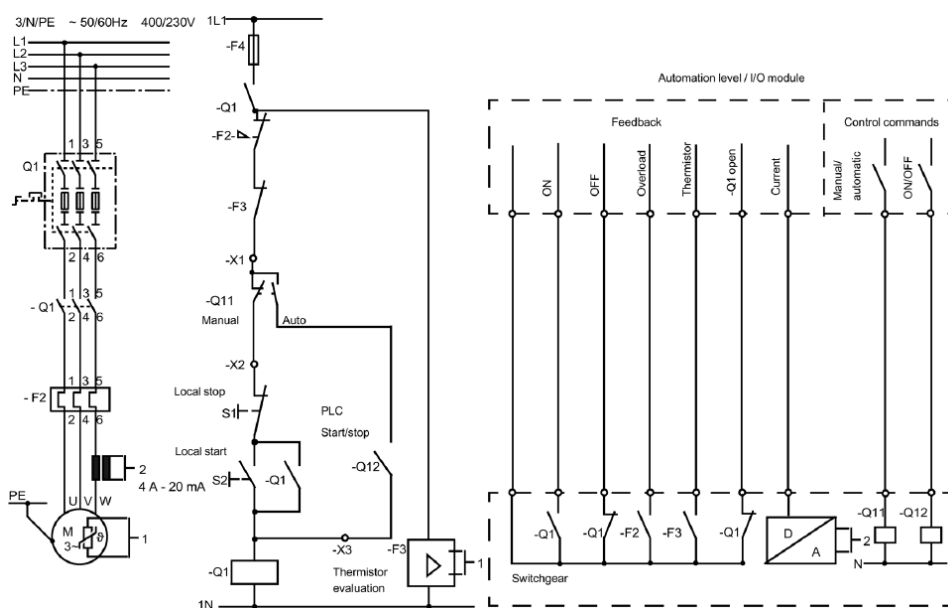
Automaatiojärjestelmän perinteinen tiedonsiirto toteutetaan kuljettamalla standardiviestejä tasavirralla ja jännitesignaaleja tasajännitteellä siten, että jokaiselle viestille käytetään omaa johdinparia. [14, s. 157] Kenttäväylien soveltaminen tiedonsiirrossa on kuitenkin yleistynyt 1980-luvulta lähtien ja korvannut perinteisen johdotetun I/O:n useimmissa uusissa kohteissa suuressa mittakaavassa. Merkittävin ero perinteisen standardiviestijärjestelmän ja kenttäväylän tai teollisuus-Ethernetin välillä on tiedonsiirtokapasiteetti, sillä väylä- ja Ethernet-kaapelissa voidaan kuljettaa lukuisia eri viestejä. Tämä seikka vähentää merkittävästi kaapelointia ja asennustyön määrää. Erno Hakala [40, s. 7] listaa opinnäytetyössään muiksi lisäeduiksi muun muassa säädön tarkkuuden sekä vikadiagnostiikan yksinkertaistumisen. Lisäksi Ethernet-pohjaisissa väylissä voidaan Risto Silvolan [41, s. 27–28] mukaan yhdistää koko tehtaan tiedonsiirtojärjestelmä toisiinsa helposti, yksinkertaistaa laitteiden asettelua sekä kasvattaa tiedonsiirtokaistaa entisestään.

Profibus-väylän useat referenssikohteet ovat osoittaneet sen hyväksi ja varmaksi vaihtoehdoksi prosessiteollisuudessa, ja siksi sekä suunnittelijat että tilaajat ovat mieltyneet siihen. Tällainen vakiintunut tekniikka on jalostunut luotettavaksi ja sen mahdolliset rajoitukset on voitu löytää todellisissa kohteissa. [16] Suunnittelijan osalta työ nopeutuu niin ikään, kun käytössä on pitkään käytetty kenttäväylä, jonka suunnitteluun hän on harjaantunut. Työ on tehokasta, sillä aikaa ei kulu ylimääräisiin selvityksiin ja uudelleen opetteluun. Pitkään markkinoilla olleista laitteista ovat toisaalta myös karsiutuneet niin sanotut lastentaudit pois.

Toisaalta myös tilaaja tiedostaa kokemuksen merkityksen sekä saattaa olla todennut Profibusin kokemusperäisesti toimivaksi muissa laitoksissaan. Vakiintuneen tekniikan hyödyt heijastuvat tilaajan osalta myös laitteiden huoltoon ja ylläpitoon, sillä uuden

tekniikan omaksumisen taakka koskee suunnittelevan tahon lisäksi myös suunniteltavan kohteen haltijaa.

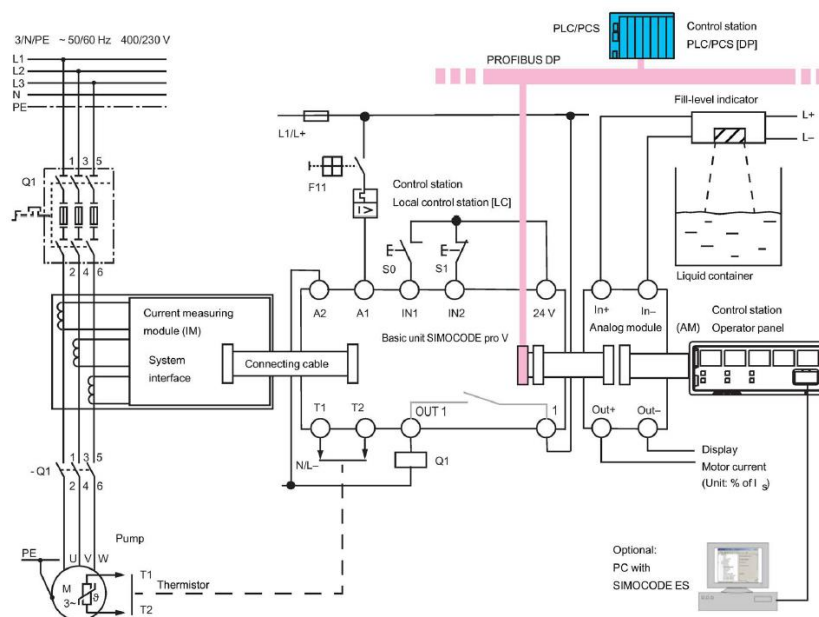
Kun perinteistä DOL-ohjausta ja älykkäällä moottorihjaimella toteutettua DOL-ohjausta verrataan (ks. kuva 13 ja kuva 14), nähdään että IMC-ohjauksen piiri yksinkertaistuu huomattavasti, koska älykkään moottorihjaimen piiristä jää pois ylimääräisiä komponentteja ja toimintoja voidaan rakentaa monipuolisemmiksi ja joustavammiksi. Seurausena myös suunnittelutyö yksinkertaistuu ja tehostuu.



Kuva 13. Perinteisellä I/O:lla toteutettu DOL-lähtö. [24, s. 28]

Perinteiseen DOL-lähtöön verrattuna (ks. kuva 13 ja kuva 14) IMC-piiristä voidaan jättää pois ylimääräiset termistorireleet, ylivirtareleet, automaatiojärjestelmän suuntaan tietoa vievät virtamuuntajat sekä D/A-muuntimet. Lisäksi saadaan aikaan yksinkertaisempi johdotus ohjauspiirille eikä erillistä pitopiiriä tarvitse rakentaa.

Älykkään moottorihjaimen yhdistys ylempään automaatiotasoon helpottuu väyläliityntän ansiosta ja vaikka johtimien määrä automaatiojärjestelmän suuntaan vähenee, dataa voidaan siirtää huomattavasti runsaammin eikä uusien ohjaustietojen siirto piirissä vaadi lisäkaapelointia. Toisaalta laitteen laajennus- ja lisätoiminnot ovat monipuolisempia modulaaristen lisälaitteiden ja ohjelmoitavuuden ansiosta.



Kuva 14. Älykkäällä moottoriohjaimella (Siemens Simocod Pro V) toteutettu DOL-lähtö. [24, s. 29]

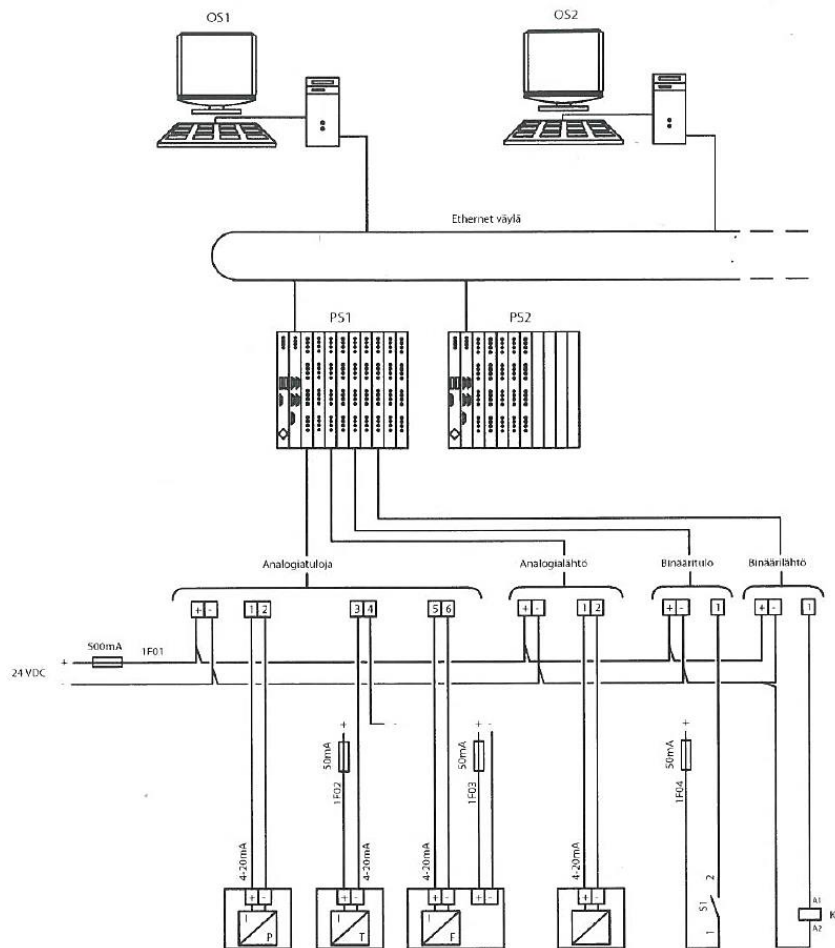
4.1 Perinteinen johdotettu I/O

Moottoriohjaimissa on yleensä neljä erilaista I/O-liitäntää perinteisille johdotetuille viesteille: digitaaliset tulot ja lähdöt sekä analogiset lähdöt ja tulot. Analogisten lähtöjen ja tulojen välillä kulkee analogisia viestejä. Digitaalisiin tuloihin yleensä tuodaan binäärisiä viestejä ja digitaalisilla lähdöillä lähetetään niitä. Siksi digitaalisten lähtöjen ja tulojen sijaan valmistajat saattavat käyttää myös termejä binäärinen tulo tai lähtö. [1, s. 51, 53; 17, s. 34–35; 42]

Analogiset signaalit voivat saada laajasti erilaisia arvoja signaalin raja-arvojen sisällä. Digitaaliset signaalit kuljettavat puolestaan vain täsmällisiä arvoja tietyn määrän. Binäärinen signaali on digitaalisista signaaleista yleisin ja se kuljettaa vain kahta erilaista arvoa. Binäärinen viesti voi olla esimerkiksi 1/0, tosi/epätosi tai on/off. [43] Tyypillinen jännitetaso ohjauspiireissä on 24 V DC, mutta myös 48 V DC:n jännitetasoa on käytetty aiemmin. [1, s. 51; 2; 29, s. 29]

2010- ja 2020-luvun taitteessa perinteistä I/O:ta rakennetaan suomalaisessa prosessiteollisuudessa enää vain pienissä laajennuksissa. Ennen kaikkea virtaviestien käyttö on

lähes kokonaan syrjäytynyt kenttäväylien yleistyttyä. Poikkeuksena tähän binäärisiä signaaleja käytetään edelleen mm. kontaktoriyhteyksissä, tilatietojen siirrossa sekä turvasignaaleissa. [2]



Kuva 15. Standardiviesteillä toteutettu hajautettu ohjausjärjestelmä (DCS). [14, s. 219]

Analogiselle tiedonsiirrolle vakiintunut tapa on lähettää 4–20 mA:n viesti virtatietona, jossa signaali voi saada teoriassa äärettömän määrän erilaisia arvoja välillä 4 mA ja 20 mA. Tämän lisäksi 0–20 mA alue on myös mahdollinen, muttei suositeltava, koska 4 mA–20 mA:n alue on hyödyllisempi vianhaussa. Tämä johtuu siitä syystä, että mikäli piirissä kulkee alle 4 mA:n virta, tällöin voidaan olettaa piirissä olevan jokin vika, kuten kosketushäiriö tai johdinkatkos. [2; 29, s. 29–30]

Analogisilla lähdöillä esimerkiksi ohjataan laitteita edellä kuvatuilla standardivirtaviesteillä. Viesti voi olla osoitettu vaikkapa prosessiasemalta taajuusmuuttajan nopeussäätöön ja

silloin se kulkee prosessiaseman analogilähdöstä taajuusmuuttajan analogiseen tuloon. Analogisia tuloja käytetään puolestaan mm. vastaanottamaan mittaustietoa. [1, s. 49, 70]

Analoginen viesti olla myös tasajännitesignaali, vaikka sen käyttö ei olekaan yhtä yleistä kuin virtasignaalin. Analogisilla jänniteviesteillä voidaan vaikkapa osoittaa ja valvoa moottorin yli- tai alikierroslukua tai ohjata kierrosnopeutta. [2; 29, s. 31] Yleisin jännite-taso 0–10 V on edelleen suosittu mm. LVI-käyttöjen ohjauksessa. [1, s. 51; 2]

Digitaalisilla tuloilla vastaanotetaan esimerkiksi binäärisiä on-off -tilatietoja esim. koskettimilta tai ulkoisia päälle/pois komentoja moottorinohjaimille. Digitaalisilla lähdöillä ohjataan puolestaan päälle ja pois kytkentöjä, kuten kontaktorin kytkentää älykkäältä moottorinohjaimelta tai lähetetään tilatietoja. Toisinaan valmistajat puhuvat kuitenkin digitaalisten lähtöjen sijaan erikseen relelähdistä, koska laitteisiin on sisäänrakennettu releet ulkoisia ohjauksia varten. Relelähstöjen perustavana erona voidaan ohjata transistoreilla toteutettuja digitaalilähtöjä suurempia kuormia pienois- tai pienjännitepiireissä. [2; 44, s. 14, 105]

Tasavirtasignaalin kaapelina käytetään tyypillisesti vähemmän häiriöalttiissa ympäristöissä Nomakia ja erittäin häiriöalttiissa ympäristöissä Jamakia. Häiriösuojamaadoitukset tehdään pääsääntöisesti vain lähtöpäässä ja niitä jatketaan kaikissa välillä olevissa kenttäkoteloissa. [29, s. 29] Esimerkiksi releillä lähetettyjä binääri viestejä/kosketintietoja voidaan sen sijaan siirtää tavallisilla asennuskaapeleilla, kuten MMJ:llä tai MMO:lla. [29, s. 32]

4.2 Profibus

IEC 61158:n ja IEC 61784:n mukainen Profibus on toimittajasta riippumaton avoin kenttäväylästandardi, jolla eri valmistajien laitteiden tiedonsiirto saadaan yhteensovitettua ilman suuria rajapintamuutoksia. [45, s. 4, 17; 46, s. 7] Standardia ylläpitää maailman suurin kenttäväyläorganisaatio Profibus & Profinet International, lyhyemmin PI. [45, s. 2] Kaiken kaikkiaan noin 60 miljoonaa asennettua Profibus-laitetta (2018) tekee Profibusista maailmanlaajuisesti yhden suosituimmista kenttäväylästä. [47]

Profibusiin kuuluu kolme eri väylää FMS, PA ja DP. Näistä FMS-väylässä (fieldbus message specification) esim. PLC ja PC voivat viestiä keskenään. [1, s. 75; 48, s. 15]

Profibus PA (process automation) on tarkoitettu kenttälaitteiden ja automaatiojärjestelmän väliseen tiedonsiirtoon erityisesti prosessiautomaation parissa. PA-väylän kautta voidaan syöttää kenttälaitteita luonnollisesti vaarattomasti ja näin ollen se soveltuu myös räjähdysvaarallisiin, eli niin kutsuttuihin atex-tiloihin. [49] PA-väylän käyttö ei ole kuitenkaan saavuttanut yhtä suurta suosiota alalla kuin suosituin DP-väylä. [9]

Väylistä yleisimmässä käytössä on DP (Decentralized periphery) ja sitä käytetään nopeaan tiedonsiirtoon automaatiojärjestelmän ja hajautetun I/O:n välillä. DP-väylä on kiinnostava tämän työn kannalta erityisesti, koska se on saavuttanut menestystä moottorihjauksen parissa. [1, s. 75–76; 49]

Viestintä Profibus DP -väylässä

Profibus DP -väylän toiminnan ytimenä on isäntä-orjatieidonsiirto (master-slave). Isäntälaitte voi olla esimerkiksi prosessiasema ja orjalaitte taajuusmuuttaja. Peruseriaatteena orjalaitte kerää prosessista tietoa ja/tai lähettää ulostulotietoa. Isäntä pyytää tietoa passiiviselta orjalaitteelta, joka vastaa kyselyyn vain isännän pyynnöstä. [48, s. 35]

Profibus DP -väylässä isäntälaitteita on kahta eri luokkaa. Lyhyesti sanottuna luokat eroavat toisistaan siten, että luokan 1 isännät voivat viestiä orjalaitteiden kanssa syklistä ja luokan 2 asyklisesti. [1, s. 76]

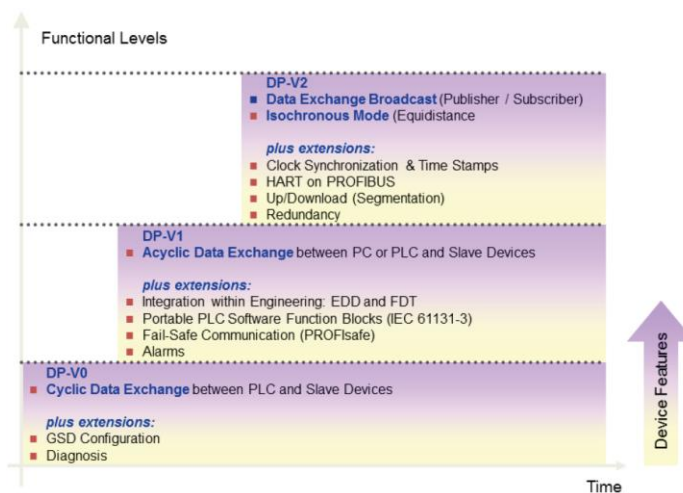
Luokan 1 isäntä käyttää syklistä eli jaksoittaista tiedonsiirtoa orjalaitteidensa välisessä tiedonsiirrossa. Isäntä pyytää orjalaitteiltaan tietoa vuoron perään ja orjalaitteet vastaavat järjestyksessä. Käytännön esimerkkinä luokan 1 isäntä voi olla vaikkapa prosessiasema, joka pyytää orjataajuusmuuttajilta nopeusmittauksen tietoa, jolloin ne vastaavat sen hetkisillä nopeusmittauksillaan. [48, s. 36–37.]

Luokan 2 isäntälaitteilla on kyky asykliseen tiedonsiirtoon sekä tuki luokan 1 toimintoihin. Asyklisessä eli jaksottomassa tiedonsiirrossa isäntä viestii orjiensa kanssa epäsäännöllisesti vain tarpeen mukaan. [45, s. 10; 48, s. 37] Tämä voi olla esimerkiksi parametrinti-

tiedonvaihtoa moottorihjaimen ja PC:n välillä. [1, s. 77; 48, s. 43] Siksi onkin luontevaa, että luokan 2 isäntien ei ole pakko olla pysyviä verkonosia.

Verkko ei ole rajoittunut yhteen isäntään, vaan niitä voi olla useita yhtä aikaa. Tällöin ne vuorottelevat toimintaansa kiertävällä valtuutuksella (engl. token-passing). Laitteilla ei ole myöskään pakko olla yhtä luokkaa, vaan ne voivat kuulua useampaan luokkaan samanaikaisesti. [45, s. 10–11; 57, s. 110]

Profibus DP -väylästä on olemassa kolme eri versiota: V0, V1 ja V2. DP-väylän ominaisuudet laajenevat versioluvun kasvaessa (ks. kuva 16). Perusversio V0 pitää sisällään muun muassa syklisten tiedonsiirron datalle ja diagnostiikalle. V1 lisää mukaan asyklisen tiedonsiirron datalle sekä hälytysten käsittelyn. Kaikista kehittynein versio V2 mahdollistaa tarkan isokronisen tiedonsiirron sekä orja-orja -viestinnän. [45, s. 11; 49]



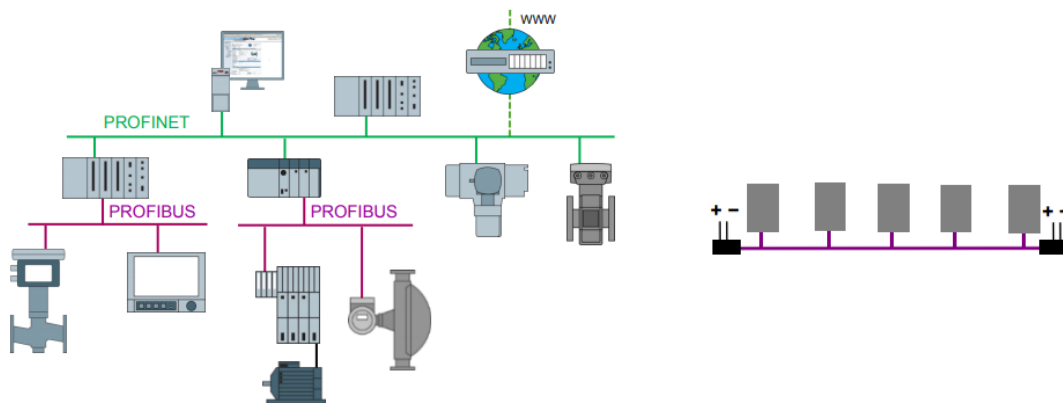
Kuva 16. Profibus DP -väylän eri versiot ja niiden ominaisuudet. [45, s. 10]

Profibusin yhteydessä puhutaan toisinaan sovellusprofiileista (engl. application profile). Niiden tarkoituksena on luoda ikään kuin yhteinen kieli kenttäväylän solmupisteiden välille, jotta laitteiden välinen toiminta olisi mahdollisimman saumatonta ja standardoitua valmistajasta riippumatta. Profiili määrittelee mitä ominaisuuksia kunkin profiilin mukaisilla laitteilla on oltava, ja se voi olla kohdennettu tietyn laiteryhmän sovelluksiin (engl. special application profiles) tai yleisesti eri laiteryhmiin sovelluksien välille (general application profiles). Yleiset profiilit voivat siis kuvata esimerkiksi Profibusin turvaväylätointoja niin kuin Profisafe tai vaikkapa erityisesti taajuusmuuttajien toimintaa väylässä

kuten Profidrive (mm. esimerkkituote ACS880 on Profidrive-yhteensopiva). [45, s. 13–14]

Orjalaitteiden asettelu tapahtuu laitevalmistajan toimittamilla tekstipohjaisilla GSD-tiedoilla (general station description). GSD kuvaa laitteen viestintäominaisuudet syklistä kommunikointia varten orjalaitteen ja isäntälaitteen välillä sekä antaa tarpeelliset lähtötiedot Profibus-verkon konfigurointia varten. [45, s. 18] GSD-tiedoston ohella valmistajat voivat toimittaa laitteille tekstipohjaisen EDD-tiedoston (Electronic device description) monimutkaisemmille laitteille asykliseen tiedonsiirtoon. [45, s. 19]

Kenttäväyliä käsittelevissä lähdeeteoksissa tavataan usein käyttää termejä segment ja node. Ne eivät juurikaan anna tietoa suomenkieliselle lukijalle, ja sen vuoksi on tärkeää ymmärtää käsitteiden merkitys.



Kuva 17. Väylän rakenne ja yhdistyminen tehtaan laitteisiin. [50, s. 106]

Segmentin muodostaa yksi väyläkaapeli, jonka molemmissa päissä on päätevastukset (ks. kuva 17). Näin ollen kaikki kyseisen kaapelin varrella olevat laitteet kuuluvat samaan segmenttiin. Esimerkiksi valokuitu- ja kupariverkon yhdistävään OLM-laitteeseen kytetty Profibus-kaapeli muodostaa yhden segmentin. [48, s. 20, 241]

Solmut (engl. node) ovat väyläkaapelin varrella olevia laitteiden kytkentäpisteitä. Solmuille annetaan omat osoitteensa väylässä, jotta tiedonsiirto voidaan kohdentaa ja yksilöidä. Solmupisteisiin lasketaan isäntä- ja orjalaitteet (esim. moottoriohjain). Siten vaikkapa yksi älykäs moottoriohjain muodostaa väylässä oman solmunsa, jolle annetaan Profibus-osoite väliltä 0–125. [14, s. 162; 50, s. 35; 51]. Sekä Profibus DP:n että Profibus

PA:n segmentissä voi olla maksimissaan 32 solmua sekä 126 solmua yhdessä verkon väylässä. [45, s. 4; 50, s. 32] Käytännön kokemus on kuitenkin osoittanut, että laitteita kannattaa yleensä liittää väylään vähemmän kuin teoreettinen raja on [10].

Profibus DP-väylän kaapelit ja liittimet

Profibus DP-väylässä liikennöidään joko sähköisesti, optisesti tai näiden yhdistelmällä. Sähköinen ja optinen DP-väylä yhdistetään toisiinsa tavallisesti OLM-laitteilla. [52, s. 28] Sähköisessä tiedonsiirrossa käytetään kuparista Profibus-parikaapelia ja optisessa valokuitua. Näistä sähköisessä tiedonsiirrossa sovelletaan RS-485 -sarjaliikennöintiä. Optisen ja sähköisen viestinnän eroja vertaillaan seuraavassa taulukossa 2.

Taulukko 2. Profibus-tiedonsiirtotapojen vertailu. [52, s. 19–22; 59, s. 58]

	Hyödyt	Haitat
RS485 (kuparinen pari- kaapeli)	<ul style="list-style-type: none"> – asennus ei vaadi erityiskoulutusta – yksinkertainen ja edullinen rakenne 	<ul style="list-style-type: none"> – alttiimpi sähkömagneettisille häiriöille kuin valokuitu – johtopituuksien kasvaessa tiedonsiirto hidastuu – toistimien käyttö suurissa verkoissa – verkkoa ei voida varmentaa rengasrakenteella – päätevastukset pakollisia – kaapelit voivat tarvita ylijännitesuojauksen
Optinen (valokuitu)	<ul style="list-style-type: none"> – sähkömagneettiset häiriöt eivät siirry valokuitukaapeliin – varmennettu rengastopologia käytettävissä – asennettavissa hyvin pitkille etäisyyksille ilman että tiedonsiirtonopeus muuttuu – sähköinen erotus 	<ul style="list-style-type: none"> – kalliimpi kustannuksiltaan – valokuitukaapelin käsittely vaatii erikoiskoulutuksen – verkon viive kasvaa suurissa verkoissa – solmun jännitekatkoksesta signaalin eteneminen pysähtyy

Profibus DP-väylän nopeusalue tavallisella, RS-485:n mukaisella sarjaliikennöinnillä voidaan valita väliltä 9,6 ja 12,000 kbit/s. [45, s. 4] Verkon suurin nopeus riippuu kuitenkin ennen kaikkea kaapelointien pituuksista (ks. taulukko 3). Pitkillä johtopituuksilla tulee huomata, että verkon hitain laite määrää koko verkon maksiminopeuden. [53, s. 10] DP-väylästä poiketen Profibus PA noudattaa aina vakionopeutta 31,25 kbit/s. [45, s. 4–5; 49]

Taulukko 3. Segmentin pituuden vaikutus tiedonsiirtonopeuteen kuparisella Profibus-kaapelilla. [50, s. 52]

Transmission rate [kbits/s]	maximum transmission distance [in m]
9.6	1 200
19.2	1 200
45.45	1 200
93.75	1 200
187.5	1 000
500	400
1 500	200
3 000	100
6 000	100
12 000	100

Lisäksi sähköisessä tiedonsiirrossa segmentin alkuun ja loppuun tulee asentaa aktiiviset päätevastukset signaalin heijastumisen estämiseksi. Aktiivinen päätevastus laite, jonka sisäänrakennettu jännitteensäädin pitää päätevastuksen jännitteen vakiona. [54] Profibusissa vaihtoehtoina päätevastuksille ovat päätevastukset liittimissä sekä erilliset päätevastukset. Liittimeen asennettu aktiivinen vastus saa jännitesyöttönsä laitteelta, joten liittimen irrotuksen yhteydessä vastuksen jännitesyöttö katkeaa. Erillisen päätevastuksen etuna väylän solmuja voidaan sammuttaa, poistaa tai korvata vaikuttamatta verkon tiedonsiirto-ominaisuuksiin. [50, s. 104; 52, s. 81]



Kuva 18. Vasemmalta alkaen: valokuitukaapeli BFOC-liittimellä, kuparinen Profibus-kaapeli, päätevastus sekä D- ja M12-liittimet. [52, s. 224, 82, 140, 187]

IP20-tilojen parikaapeloinnissa laiteliittimenä käytetään yleensä VGA-kaapelia ulkoisesti muistuttavaa 9-pinnistä D-liitintä, joka on saatavilla erilaisiin kulmiin taivutettuna. Liittimen kytkentää käsitellään edempänä luvussa 5. Kosteisiin ja likaisiin tiloihin on puolestaan saatavilla mm. M12-liittimiä IP65-luokituksella. [52, s. 140, 154, 164] Kuvassa 18

esitellään Profibusin sähköisen väylän esimerkkikaapeli ja -liittimet sekä aktiivinen päätevastus.

Standardin mukaan optinen valokuitukaapeli voi olla lasista yksi- (single-mode) tai monimuotokuitua (multi-mode) tai muovikuitua (plastic fibre). Lisäksi voidaan käyttää näiden yhdistelmää (HCS). Kaapelien ominaisuuksia esitellään seuraavassa taulukossa 4.

Taulukko 4. Profibusin parissa käytettävät valokuitukaapelityypit. [50, s. 181]

Fiber type	Transmission distance
Single-mode glass fiber (9/125 μm)	up to 15 km
Multi-mode glass fiber (50-62,5/125 μm)	up to 3 km
PCF or HCS fiber* (200/230 μm)	up to 500 m
Plastic fiber (980/1 000 μm)	up to 100 m
* PCF and HCS are trademarks	

Optisessa väylässä kaapelointipituus ei vaikuta tiedonsiirtonopeuteen [52, s. 86], mutta sallittu johtopituus riippuu verkossa käytettävästi kaapelityypistä ja muuntimesta, joka yhdistää sähköisen ja optisen verkon toisiinsa. Muunnin vaikuttaa ennen kaikkea liitännämahdollisuuksiensa kautta, eli sen mukaan minkä tyyppisiä kaapeleita siihen voidaan liittää. Käytettävä laite myös määrittelee mahdolliset topologiat liitännämahdollisuuksilansa. Esimerkiksi rengastopologiassa tarvitaan OLM-laite kahdella optisella liitännällä. [55, s. 57] Valokuitukaapelien liitoksiin käytetään esim. BFOC- ja Simplex-liittimiä. [52, s. 222]

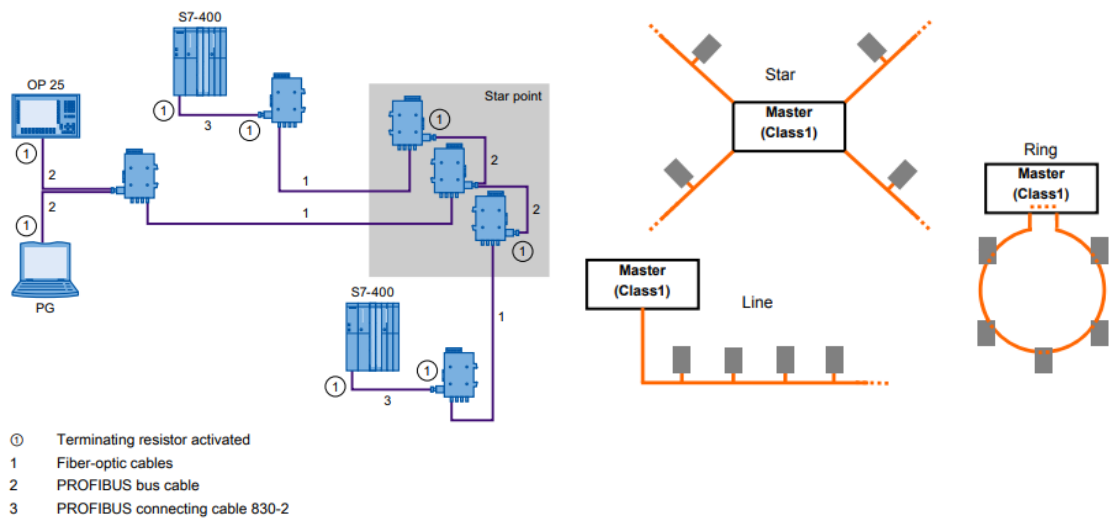
Profibus DP-väylän laitteet ja topologiat

Seuraavassa kuvassa 19 nähdään eräitä Profibus-väylän laitteita. Näistä yleisin ja eniten käytetty on optinen muunnin OLM (engl. optical link module). [9]



Kuva 19. Vasemmalta alkaen: OLM, DP/DP-toistin sekä PB/PN- ja PB/IWLAN-linkkilaitteet. [52, s. 86, 89, 100, 102]

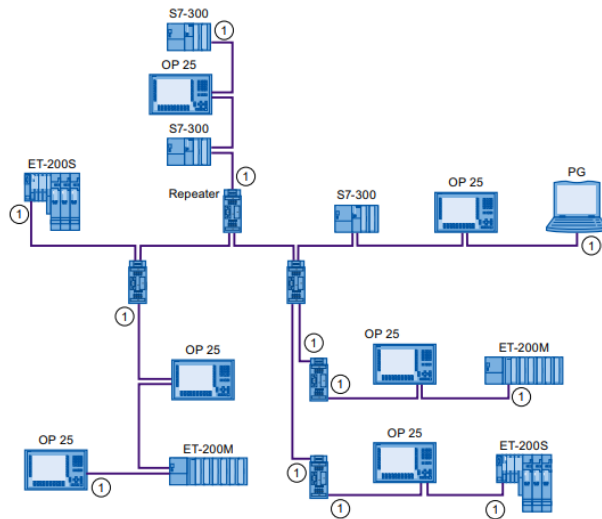
OLM toimii rajapintana Profibus DP -verkon optiselle ja sähköiselle tiedonsiirrolle. OLM toisin sanoen muuttaa sähköiset signaalit valokuituverkkoon sopiviksi ja toisin päin. Tämän ohella OLMia voidaan käyttää rakentamaan kuituverkkoon väylä-, tähti- tai rengas-topologioita kuvan 20 esittämällä tavoilla. Näistä rengastopologialla saadaan varmennettu yhteys. [55, s. 13]



Kuva 20. Esimerkitopologiat valokuituverkon optisilla muuntimilla. [50, s. 45; 52, s. 31]

Toistimilla (engl. repeater) voidaan yhdistää neljästä kahdeksaan sähköistä segmenttiä toisiinsa (ks. kuva 21). [48, s. 231; 52, s. 73; 53, s.10] Toistimia ei lasketa verkon kokonaissolmupisteiden lukumäärään, mutta toistimien väliin voidaan asentaa korkeintaan 30 solmupistettä. [51; 52, s. 41; 56, s. 44] Lisäksi toistimet mahdollistavat tähtitopologian Profibus DP -väylässä. [52, s. 67] Suunniteltaessa verkkoa on huomioitava, että useiden

toistimen käyttö saattaa johtaa pidentyneisiin siirtoaikoihin. Lisäksi toistimen tähtitopologiassa tulee päätevastuksien kytkentöihin kiinnittää erityishuomiota.



Kuva 21. Toistimen esimerkkipotologiat. [52, s. 47]

Erilaisia linkkilaitteita käytetään yhdistämään esimerkiksi Profibusin ja Profinetin sekä Profibusin ja IWLANin. Lisäksi DP-verkossa voidaan käyttää mm. DP/PA-muuntimia ja erilaisia diagnostiikkalaitteita. [52, s. 77, 91] DP/DP-yhdistimellä (engl. DP/DP coupler) yhdistetään kaksi Profibus DP-verkkoa toisiinsa. OBT (engl. optical bus terminal) yhdistää sähköisen ja optisen väylän kuten OLM, mutta on rajoitetumpi kytkennöiltään. [52, s. 89; 57, s. 155]

4.3 Profinet

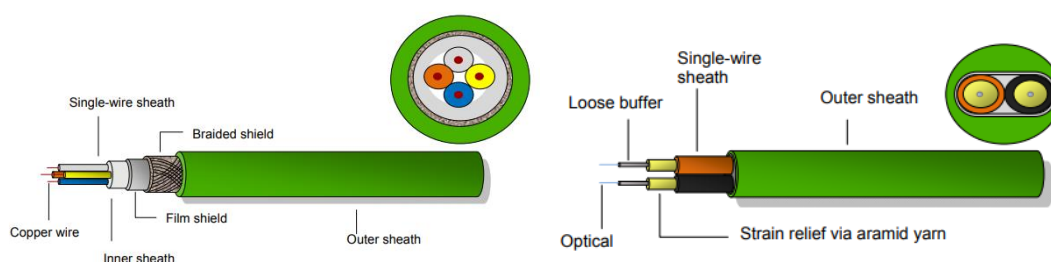
Profinet on avoin teollisuus-Ethernet -standardi, joka perustuu kaksisuuntaiseen viestintään kytketyssä 100 Mbit/s Fast Ethernet-verkossa. Kuten Profibus-kenttäväylän tapauksessa, Profinetin ylläpidosta ja kehityksestä vastaa PI-järjestö ja se sisältyy samalla tavalla standardeihin IEC 61158 ja IEC 61784. [58, s. 11, 57]

Profinetin kaapelit, liittimet ja langaton tiedonsiirto

Profinetissä siirretään tietoa sähköisesti kuparista Ethernet-kaapelia pitkin tai optisesti valokuidulla. Sovellettavan kytkinteknologian ansiosta kupariverkossa ei tarvita erillisiä

toistimia, mutta laitteiden välistä kaapelointipituutta rajoittaa kuitenkin sadan metrin maksimipituus. [58, s. 17; 59, s. 8] Profinetin käyttämä Fast Ethernet on yhteensopiva CAT5-kaapelien ja sitä suurempien luokkien kanssa. [60; 61; 62; 63, s. 48] Lisäksi nykyään Gigabit Ethernet on tuettu Profinet-verkossa mahdollistaen Fast Ethernetiä nopeamman tiedonsiirron esimerkiksi PC:ille ja kameroille. Näin ollen tavallisesti kaapelointiin käytetään yhtä luokkaa korkeampaa CAT6-kaapelointia. [64, s. 23]

Tiedonsiirron ohella kuparista Ethernet-kaapelia voidaan käyttää laitteiden virransyöttöön Power over Ethernet -tekniikalla (PoE), mikäli syöttävä ja syötettävä laite tukevat tätä ominaisuutta. [56, s. 135]



Kuva 22. A-luokan kuparinen Profinet-kaapeli ja Profinet-valokuitukaapeli. [56, s. 161, 170]









Profinet-kaapelit (ks. kuva 22) luokitellaan standardin mukaan luokkiin A, B, C ja R. Näistä A on kiinteäasenteinen kaapeli, jota ei liikutella asennuksen jälkeen. B on taipuisa kaapeli, johon kohdistuu satunnaista liikuttelua ja tärinää. C on erittäin taipuisa asennuskaapeli jatkuvaan liikutteluun. R on puolestaan tarkoitettu robottien johdotukseen. Kaapelityypistä riippuen suurin sallittu kaapelointipituus saattaa olla vähemmän kuin normaalin kaapeloinnin sadan metrin raja-arvo. [64, s. 24]

Profinet-standardin mukaan valokuitukaapeli voi olla lasista yksi- (single-mode) tai monimuotokuitua (multi-mode) tai muovikuitua (POF). Lisäksi voidaan käyttää näiden yhdistelmiä (HCF/PCF). Taulukossa 5 esitellään edellä mainittujen ominaisuuksia. Valokuitukaapelit ovat erityisen sopivia pitkille etäisyyksille suojaamaan sähkömagneettisilta häiriöiltä sekä aikaansaamaan sähköisen erotuksen. PI-järjestön suunnitteluoppaan mukaan yleensä vain yhtä kuitutyyppiä kannattaa käyttää samassa tehtaassa. [50, s. 64, 69]

Taulukko 5. Profinetin valokuitukaapelien ominaisuudet. [56, s. 66]

Fiber type	Core diameter	Sheath diameter	Transmission path (typ. values)
POF	980 μm	1 000 μm	up to 50 m
HCF / PCF	200 μm	230 μm	up to 100 m
Multi-mode	50 or 62.5 μm	125 μm	up to 2 000 m
Single-mode	9 to 10 μm	125 μm	up to 14 000 m

Standardi määrittelee sekä kupari- että valokuitukaapelille liittimiä sisätiloihin IP20-luokituksella ja pölyisiin ja/tai kosteisiin tiloihin IP67-luokituksella (ks. kuva 23). Liitintyyppinä kuparisen Ethernet-kaapelin kanssa käytetään RJ-45 -liitintä. PI-järjestön Profinet-kaapelointioppaassa kerrotaan, että LC on ensisijainen liitin lasisille yksi- ja monimuotokuiduille ja että SC-RJ on tarkoitettu POF- ja PCF-kuiduille. [65, s. 31]

	Copper	Fiber Optic
IP 20 Inside	 RJ45 plug connector	  SCRJ plug connector LC Duplex plug connector
IP 65/67 Outside	  RJ45 Push-Pull plug connector M8 D-coded plug connector   M12 D-coded plug connector M12 X-coded plug connector	 SCRJ Push-Pull plug connector

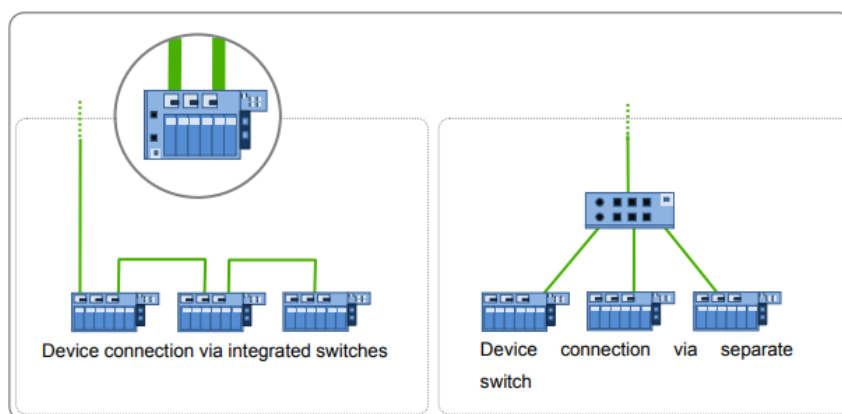
Kuva 23. Profinetin standardiliittimet. [64, s. 25]

Profinet mahdollistaa myös langattoman tiedonsiirron verkossa toimien teollisuuden langattomassa lähiverkossa (industrial WLAN, IWLAN) vuorosuuntaisesti 11 Mbps:n tai 54 Mbps:n nopeudella. IWLAN on WLAN-standardista jatkojalostettu versio teollisuuskäyttöön, joka on suunniteltu kestävään teollisuusympäristön häiriötekijöitä.

Eräitä sopivia käyttökohteita IWLANille ovat ATEX-tilat sekä vaikeapääsyiset sijainnit. Mitä IWLAN-tukiasemien ulottuvuuteen tulee, teorettinen maksimi on sata metriä.

Toisaalta esimerkiksi Siemensin Scalance W:llä suurimmaksi kantamaksi sisätiloissa määritellään kolmekymmentä metriä. [52, s. 37–38] Kantavuutensa ohella IWLAN-tukiasema rajoittaa verkon suorituskykyä siten, että tukiasemaan kytketyt laitteet eivät ole tue verkon nopeimman vasteajan kanavaa (IRT). [52, s. 40]

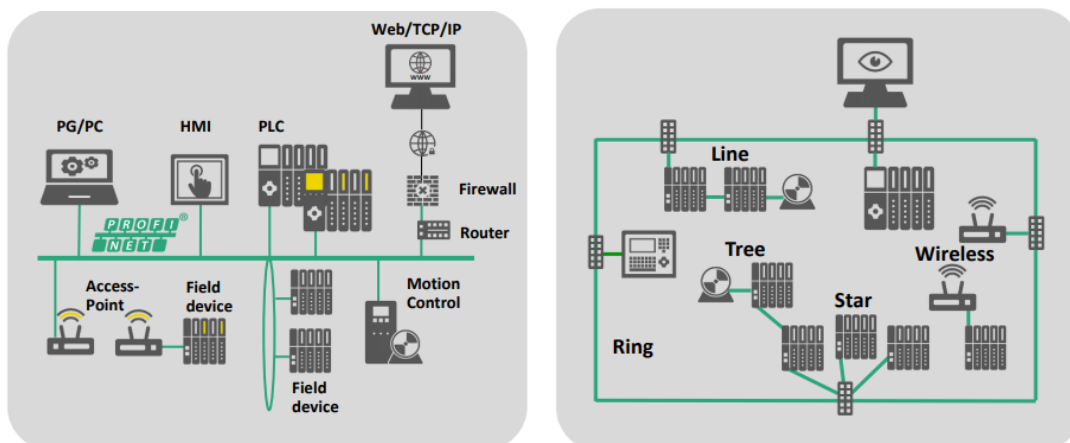
Profinet-verkon laitteet



Kuva 24. Profinetin laitteet yhdistyvät verkkoon kytkimin. [56, s. 43]

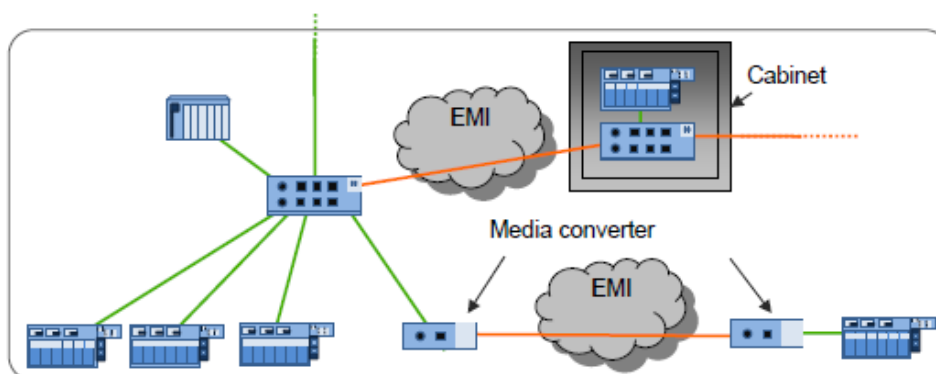
Eräitä verkon tärkeimpiä komponentteja ovat kytkimet, (engl. switch) sillä laitteet yhdistyvät toisiinsa niillä. Kytkin suodattaa vastaanotettuja signaaleja siten, että signaali lähetetään eteenpäin vain sen kohteelle tai kohteen suuntaan verkossa. [58, s. 34–35]

Kytkin voi olla laitteen sisäinen tai erillinen, kuten kuva 24 havainnollistaa. Sisäisillä (kuvassa vasemmalla) kytkimillä varustetut laitteet sisältävät yleensä kaksi liityntää eli porttia väylätopologiaa varten, mutta portteja voi olla useampiakin. Kahdella sisäisellä portilla varustetut laitteet voidaan kytkeä väylätopologiaan, ja useammilla porteilla varustetut mahdollistavat esimerkiksi puutopologian. [21; 58, s. 14] Ellei laitteessa ole sisäistä kytkintä, kuten tyyppillisen IP-kameran tapauksessa usein on, laite ei voi kuljettaa liikennettä lävitseen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että laite yhdistetään päättävänä kytkimen haarana verkkoon, kuten kuvan 24 oikeanpuoleisessa tapauksessa on tehty.



Kuva 25. Profinet-verkon rakenne ja mahdolliset topologiat. [59, s. 15, 18]

Erilliset kytkimet ovat sisäisiä monipuolisempia toiminnoiltaan sekä liitännöiltään, ja ne ovat verkon tärkeimpiä solmupisteitä muodostaen monipuolisia topologioita (ks. kuva 25). Erillisiin Profinet-kytkimiin voidaan myös liittää valokuituja (ks. kuva 26) sekä vikaantumisen tapauksessa ne voidaan korvata uusilla laitteilla, toisin kuin sisäiset kytkimet. Esimerkkilaitteista Siemens Simocode Pro PN sisältää sisäänrakennetun kytkimen. ABB UMC100.3 sisältää myös sisäisen kytkimen, mutta kytkin kuuluu modulaariseen tiedon siirtoyksikköön, joka voidaan tarvittaessa vaihtaa. Kuvassa 25 nähdään minkälaisia topologioita Profinetissä voidaan muodostaa kytkimillä. [21, s. 11] Kytkimet voidaan lopuksi vielä erotella hallittuihin ja hallitsemattomiin. [56, s. 193–194] Niiden perustavana erona hallittu on nimensä mukaisesti paremmin hallittavissa sekä valvottavissa.



Kuva 26. Profinet mahdollistaa valokuitujen yhdistyksen suoraan kytkimeen tai mediamuuntimiin. [56, s. 64]

Reititin (engl. router) toimii muuten samalla periaatteella kuin kytkin, mutta se on tarkoitettu yhdistämään eri verkkoja toisiinsa. Prosessiteollisuudessa voidaan esimerkiksi yhdistää tehtaan automaatioverkko ja ylemmän tason toimistoverkko reitittimellä. [58, s. 35]

(Media)muuntimilla (engl. media converter) voidaan muuttaa kuparisen Ethernet-kaapelin signaali valokuituverkkoon sopivaksi esim. haastavien EMI-ympäristöjen läpi, mikäli ei tarvita kytkimen monipuolisia liitännöitä laitteiden varten (ks. kuva 26).

Lisäksi verkossa käytetään mm. palomureja (engl. firewall) verkon tietoturvan varmistamiseksi sekä erilaisia välityspalvelimia mm. Profibusin ja Profinetin välillä (ks. kuva 25).

Profinet-verkon liikennöinti ja ominaisuudet

Profinet alle kuuluu kaksi eri osa-aluetta: Profinet IO sekä Profinet CBA (component based automation). [64, s. 3] Näistä Profinet IO kuvaa hajautettujen IO-laitteiden välistä tiedonsiirtoa, diagnostiikkaa ja parametointia. Niinpä Profinet IO:n voidaan siis ajatella olevan Profibus DP -väylän jatkumoa teollisuus-Ethernet -pohjaiseen verkkoon. Profinet CBA on taas tarkoitettu hajautetun älykkyyden sovelluksiin ja machine-to-machine -viestintään. [41, s. 40] Tässä työssä keskitytään erityisesti Profinet IO:hon, koska se on näistä kahdesta oleellisempi moottorien ohjausta ajatellessa.

Profinet IO määrittelee kolme eri laitetyppiä, ja niiden luokittelu muistuttaa Profibus DP:n tapaa erotella laitteet. Profinet IO -valvoja (engl. IO supervisor) vastaa luokan 2 isäntälaitetta Profibusissa. Tällainen laite on yleensä vain väliaikainen verkonosa, jota käytetään käyttöönotossa ja vianhaussa. Käytännön esimerkkinä Profinet IO -valvoja voi olla vaikkapa PC. Profinet IO -ohjain (engl. IO controller) on taas rinnastettavissa luokan 1 isäntälaitteeseen ja sen roolissa toimii esimerkiksi PLC tai prosessiasema. Profinet IO -laite (engl. IO device) vastaa puolestaan Profibus DP:n orjalaitetta, ja se voidaan yhdistää yhteen tai useampaan IO-ohjaimeen. [58, s. 14] IO-laite voi olla esimerkiksi älykäs moottoriohjain tai taajuusmuuttaja.

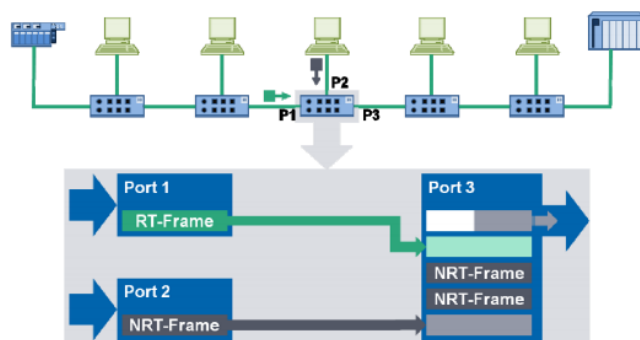
Profinet IO:n vahvuutena ovat sen kolme eri tiedonsiirtokanavaa, jotka on suunnattu erilaisten aikavaatimusten käyttökohteisiin. Näistä yksi kattaa ei-reaaliaikaisen viestinnän ja kaksi muuta reaaliaikaisen viestinnän eri tasot.

Ei-reaaliaikaisessa (engl. non-real-time, NRT) viestinnässä käytetään yleensä TCP/IP- tai UDP -protokollia esimerkiksi asettelun, parametroidin ja muun jaksottoman viestinnän kiireettömiin tarkoituksiin. [66, s. 6] Dataa siirretään vain silloin kun reaaliaikaista liikennettä ei ole. [54, s. 96]

Kiireellinen data siirretään reaaliaikakanavia pitkin syklisesti, eli ennalta määritellyin aikaväleihin. Tällainen tieto voi sisältää ohjaustiedon ohella mm. hälytyksiä. Reaaliaikaviestintä perustuu kahteen eri kanavaan. Niistä ensimmäinen on RT-kanava (engl. real-time communication) ja toinen IRT-kanava (engl. isochronous real-time communication).

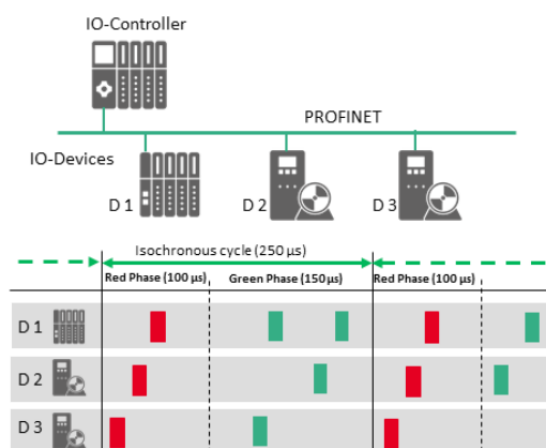
Profibusista poiketen Profinet toimii syklisessä reaaliaikaliikenteessään tuottaja/kuluttaja -mallin mukaisesti (engl. provider/consumer) eikä hitaammalla isäntä-orjatekniikalla. [67] Tuottaja/kuluttaja-mallin mukaisesti laitteet viestivät samanlaisilla oikeuksilla, joten sekä IO-ohjain että IO-laite lähettävät molemmat syklistä dataa itsenäisesti ja omaehtoisesti. Mallin mukaisesti esimerkiksi IO-laite vastaanottaa prosessiasemaltatietoa kuluttajan roolissa sekä lähettää sitä tuottajana. [41, s. 40; 58; 64, s. 6; 66, s. 10.]

RT-liikennöinti perustuu ”varastoi- ja välitä” -menettelyä käyttävien kytkimien VLAN-priorisointiin, ja sitä käytetään normaalissa syklisessä tiedonsiirrossa muun muassa työn esimerkkitaajuusmuuttaja ACS880:n FENA21-moduulissa. [63, s. 362] Yksinkertaistetuna VLAN-priorisoinnissa kytkin luokittelee välitettävät viestit niille annettun tärkeysjärjestyksen mukaan ja ikään kuin päästää tärkeimmät viestit ohituskaistalle (ks. kuva 27).



Kuva 27. RT-liikennöinnin toimintaperiaatteena RT-kehyykset asetellaan ei-reaaliaikaisten kehysten (NRT, non-real-time) ohi kytkimen välitysjonossa. [56, s. 96]

IRT-liikennöinti eroaa RT-liikennöinnistä isokronisuudellaan. Tällaisessa viestinnässä tapahtumien tulee tapahtua tietyn aikaikkunan sisällä. Käytännössä IRT-liikennöinti takaa nopeamman tiedonsiirron IO-ohjaimen ja IO-laitteen välillä ja siksi se soveltuu aikakriittisemmille kohteille, kuten liikkeensäätöön. [41, s. 36] IRT-kanavan toiminta perustuu siihen, että tiedonsiirtokaistasta varataan osa pelkästään IRT-liikenteelle (ks. kuva 28). [58, s. 62]



Kuva 28. IRT-liikennöinti perustuu tarkasti ajoitettuun kaistan varaukseen. Punaisessa vaiheessa 100 μs:n ajan viestit on varattu isokronisesti liikkuvalla reaaliaik tiedolle. Niiden välissä voidaan 150 μs:n ajan kuljettaa vapaasti vähemmän aikakriittistä vihreää dataa (esim. TCP/IP ja RT), kunnes kaista varataan taas IRT:lle. [64, s. 13.]

Profinet IO on jaettu toimintojensa osalta CC-luokkiin (conformance class). Nämä luokat kuvaavat minimiominaisuuksia, jotka niihin kuuluvien laitteiden tai kaapeleiden tulee täyttää. Luokat ovat kasvautuvia, eli B-luokka sisältää luokan A vaatimukset ja C-luokka näiden molempien. Tiivistäen sanottuna Luokat CC-A ja CC-B sisältävät RT-viestinnän ja CC-C IRT-viestinnän. CC-A sisältää Profinetin perustoiminnot on suunnattu tavallisen taloautomaation tarpeisiin. CC-B lisää ominaisuuksiin muun muassa verkon diagnostiikkatoimintoja ja on suunnattu prosessi- ja tehdasautomaatioon. Luokka CC-C soveltuu erityisen hyvin liikkeensäätöön, koska se sisältää IRT-tuen. [64, s. 6; 68, s. 6.] Seuraavassa taulukossa 6 esitellään CC-luokkien sovelluksen erilaisille verkkokomponenteille.

Taulukko 6. Verkkokomponentit ja kaapelointi erilaisilla CC-luokilla. [64, s. 23]

Network cabling and infrastructure components	Solution	Conformance Class
Passive network components (connectors and cables)	RJ45, M12 and M8	A, B and C
Copper and fiber-optic transmission systems	TX, FX and LX	A, B and C
Wireless connections	WLAN and Bluetooth	A
IT switch	With VLAN tag according to IEEE 802.x	A
Switch with device function	PROFINET with RT	B
Switch with device function and bandwidth reservation	PROFINET with IRT	C

Kaikilla Profinetin laitteilla on yksilöintiä varten Profinet-laitenimi (engl. Profinet device name), IP-osoite sekä MAC-osoite. MAC-osoitteen laite on saanut tehtaalla, ja se on ainutlaatuinen maailmassa. Ethernet-laitteet käyttävät viestintäänsä aina MAC-osoitetaan eikä sitä ei voi yleensä vaihtaa. Lisäksi laiteelle annetaan käyttöönotossa nimi helpottamaan osoitteiden käsittelyä. Vaihe vastaa DP-osoitteen määrittelyä Profibus-väylän käyttöönotossa. Lisäksi kaikki Profinet-laitteet tarvitsevat oman IP-osoitteensa, jotta niitä voidaan käyttää Ethernet-verkossa. IP-osoitteen määrittely tapahtuu yleensä kuitenkin automaattisesti, mutta annettu osoite voidaan muuttaa manuaalisesti toiseen jälkeensä. [58, s. 15, 110, 114–115; 64, s. 9.]

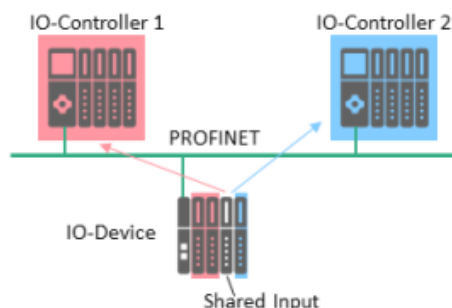
Muilla verkkokomponenteilla vaatimus nimeämisestä riippuu laitteen CC-luokasta. Esimerkiksi kytkimen tapauksessa nimeäminen vaaditaan, mikäli sen CC-luokka on vähintään CC-B. [56, s. 137–138.]

Profinetin parissa käytetään GSD-tiedostoja Profibusin tapaan IO-laitteiden asennuksessa kuvaamaan laitteen toimintoja ja ominaisuuksia. Profibusista poiketen Profinet käyttää kuitenkin XML-pohjaista GSD-tiedostoa ASCII-tiedostojen sijaan. Tämän ohella Profinetissäkin käytetään sovellusprofiileja ja ne ajavat samaa tarkoitusta: saada eri valmistajien laitteille yhteinen kieli kommunikointiin. [58, s. 161]

CC-luokkien määrittelemien standardiominaisuuksien ohella Profinet mahdollistaa valinnaisia lisäominaisuuksia laitteille. Seuraavaksi kuvataan vain muutama niistä, jotka koskettavat työn esimerkkituotteita.

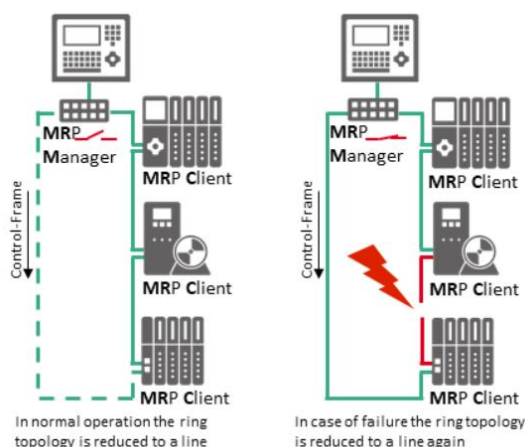
Esimerkkinä IO-laitteen käyttö voidaan jakaa rinnakkain tai kokonaan yhdelle tai useammalle IO-ohjaimelle Shared Device -lisätoiminnolla (ks. kuva 29). Toimintoa voidaan

käyttää hyväksi vaikkapa turvatoiminnoissa. Tällöin turvalogiikka voidaan määrittellä ohjaamaan taajuusmuuttajan turvatoimintoja (esim. STO-toiminto, ks. luku 5.3) ja prosessiasema normaalitoimintoja. [63, s. 338; 64, s. 15–16] Työn esimerkkituotteista Simocode Pro V PN sekä ACS880:n FENA-21 -tiedonsiirtomoduuli tukevat toimintoa.



Kuva 29. IO-Laite voidaan jakaa IO-ohjaimien kesken Shared Device -lisätoiminnolla. [64, s. 16]

MRP (media redundancy protocol) mahdollistaa varmennetun verkon rengasyhteyden. Kuvassa 30 nähdään, miten MRP-tekniikalla varmistettu yhteys toimii normaalissa tiedonsiirrossa väylätopologiassa, mutta vian sattuessa rengasverkon molemmat päät otetaan käyttöön kytkimen toimesta, jolloin verkko jakaantuu kahteen erilliseen väylärakenteeseen. Tekniikka perustuu siihen, että kytkin tutkii jatkuvasti verkon toimintaa lähettämällä testikehyksiä (kuvassa 30 control frame) rengastopologiassa. Niin kauan kuin testikehykset saapuvat takaisin perille kytkimeen, voidaan olettaa, että verkko toimii normaalisti.



Kuva 30. MRP-tekniikan toimintaperiaate. [64, s. 18]

Kytkein hallitsee renkaan varmennusta MRP-tekniikassa, ja siksi sitä kutsutaan englanniksi nimellä media redundancy manager (MRM). MRP-asiakas, media redundancy client (MRC), tarvitsee aina kaksi Ethernet-liitäntää rengasverkkoon, ja asiakas yleensä vain siirtää tietoliikennettä eteenpäin. Asiakas on MRP-yhteensopiva IO-laite, esimerkiksi älykäs moottoriohjain. MRP-verkon uudelleenkonfigurointiin menee tavallisesti aikaa alle 200 ms. [64, s. 18] Työn esimerkkilaitteista ABB:n ja Siemensin Profinet-yhteensopivat älykkäät moottoriohjaimet ovat myös MRP-tuettuja. Tämä pätee esimerkkilaitte ACS880:een myös.

Profibusin ja Profinetin erot

Taulukossa 7 nähdään Profibusin ja Profinetin erot pääpiirteittäin helposti havainnollistavassa muodossa. Moottoriohjauksen suunnittelijan kannalta merkittävimmät muutokset siirtyessä Profibusista Profinetiin ovat verkon solmupisterajoitusten poistuminen sekä monipuolisemmat topologiamahdollisuudet.

Taulukko 7. Profibusin ja Profinetin erot. [80, s. 2]

	PROFIBUS	PROFINET
Organization	PROFIBUS & PROFINET International	
Hardware definition	GSD files	
Application profiles	Same	
Physical layer	RS-485	Ethernet
Speed	12 Mbit/s	1 Gbit/s or 100 Mbit/s
Telegram	244 bytes	1440 bytes (cyclic) ¹
Address space	126	unlimited
Technology	master/slave	provider/consumer
Wireless	Possible ²	IEEE 802.11, 15.1
Motion	32 axes	>150 axes
Machine-to-machine	No	Yes
Vertical integration	No	Yes
Connectivity	PA + others ²	many buses

¹ with multiple telegrams: up to 232-65 (acyclic)

² not in specification, but solutions available

5 Moottoriohjaimen liityntä automaatiojärjestelmään

5.1 Älykäs moottoriohjain

Älykkäät moottoriohjaimet voidaan yhdistää perinteisellä I/O:lla toteutettuihin järjestelmiin digitaalisten ja analogisten liitäntöjensä kautta. Nykyisin älykkäät moottoriohjaimet liitetään kuitenkin kenttäväylän tai teollisuus-Ethernet -verkon kautta automaatiojärjestelmään, jolloin voidaan siirtää kaikki ohjaus- ja valvontatieto yhdessä ja samassa standardikaapelissa. Näiden rinnalla on kuitenkin toisinaan tapana käyttää digitaalisia liitäntöjä muun muassa turva- ja vikasignaaleissa (ks. piirikaaviot luvussa 6.5). [10]

ABB UMC100.3 ja sen perinteisesti johdotetut I/O-liitännät

Perinteinen I/O-järjestelmä voidaan yhdistää UMC100.3:een käyttämällä sen digitaalisia sisääntuloja, relelähtöjä sekä analogisia sisään/ulostuloja. Näistä tavallisimmat perustoiminnot saadaan toteutettua digitaalisilla sisääntuloilla ja relelähdöillä.

Perusyksikön kuuteen digitaaliseen sisääntuloon voidaan tuoda digitaalisia komentoja ja sen neljällä relelähdöllä voidaan tehdä ulkoisia ohjauksia esimerkiksi kontaktoreille. Lisäksi perusyksikössä on yksi 24 V lähtö ja PTC-sisääntulo. [19, s. 8]

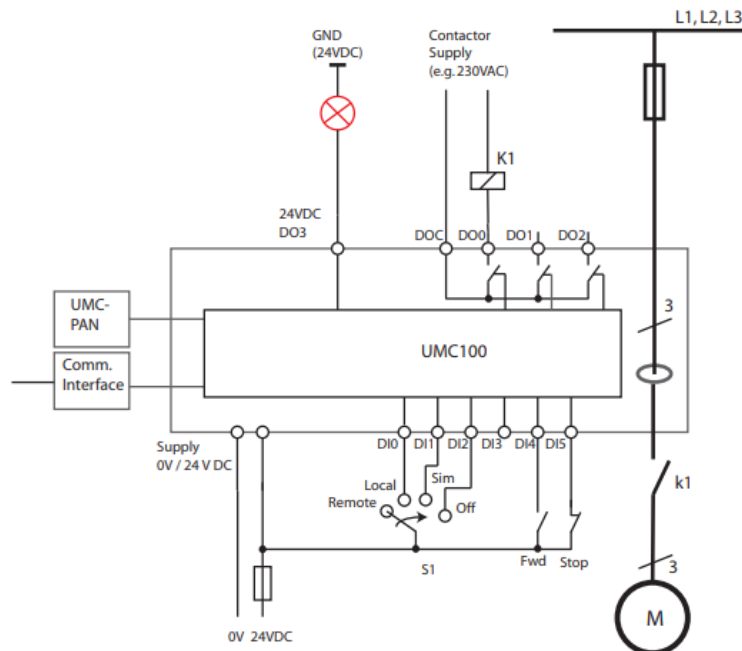
Lisämoduuleilla laajennetussa kokonaisuudessa I/O-rajoituksena on 14 digitaalista sisääntuloa, yksi PTC-sisääntulo, seitsemän relelähtöä, kuusi analogista sisääntuloa, yksi 24 V DC ulostulo sekä yksi analoginen ulostulo. [19, s. 8–9] Seuraavaksi esitellään digitaalisten ja analogisten lisämoduulien ominaisuudet. [19, s. 151–152; 21]

Digitaaliset lisämoduulit DX1xx

- kahdeksan digitaalista sisääntuloa, neljä relelähtöä ja yksi analoginen ulostulo
- digitaalisissa tuloissa 24 V DC signaalit tai 110–230 V AC signaalit.
- analoginen lähtö tukee seuraavia viestityyppejä: 0/4–20 mA, 0–10 mA ja 0–10 V.

Analoginen lisämoduuli AI111.0

- kolme analogista sisääntuloa
- voidaan parametroida lämpötilamittaukseen (esim. PT100, PT1000, NTC) tai standardiviesteille 0–10 V tai 0/4–20 mA.



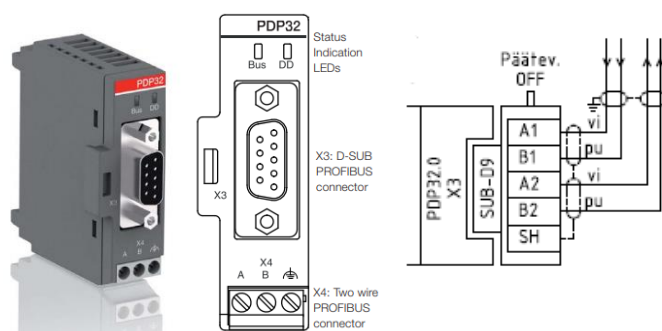
Kuva 31. DOL-käynnistystoiminnon kytkentä. [19, s. 63]

Esimerkiksi suoraikäytettyä moottoria voidaan ohjata UMC100.3-laitteen sisäänrakennetulla DOL-toiminnolla, jolloin ohjauskaapeli tuodaan älykkään moottoriohjaimen I/O-liitäntöihin vaikkapa käsikäyttöiseltä kytkimeltä. Tällöin kuvan 31 piirissä moottori voitaisiin käynnistää kytkemällä DI4-liittimeen 24 V DC:n jännite, jolloin perusrakenteisella ohjelmalla DO0-ulostulo lähettäisi käynnistyskomennon moottoria ohjaavalle kontaktorille K1.

ABB UMC100.3 ja sen liittyminen Profibus DP-väylään

UMC100.3:n liittäminen Profibus DP -väylään tapahtuu PDP32.0-lisämoduulilla (ks. kuva 32). Lisämoduulin kautta voidaan antaa käskyjä moottorille (esim. käynnistys, pysäytys, vian kuittaus), lukea tilatietoja sekä lukea ja kirjoittaa laitteen parametrejä. [53, s. 5]

Liittämiseen voidaan käyttää joko D-liitintä (X3, kuva 32) tai suoraa liitosta Profibus-kaapeliin (X4, kuva 32). Edellä mainittuja liittimiä ei voi kuitenkaan käyttää yhtä aikaa. [53, s. 9]



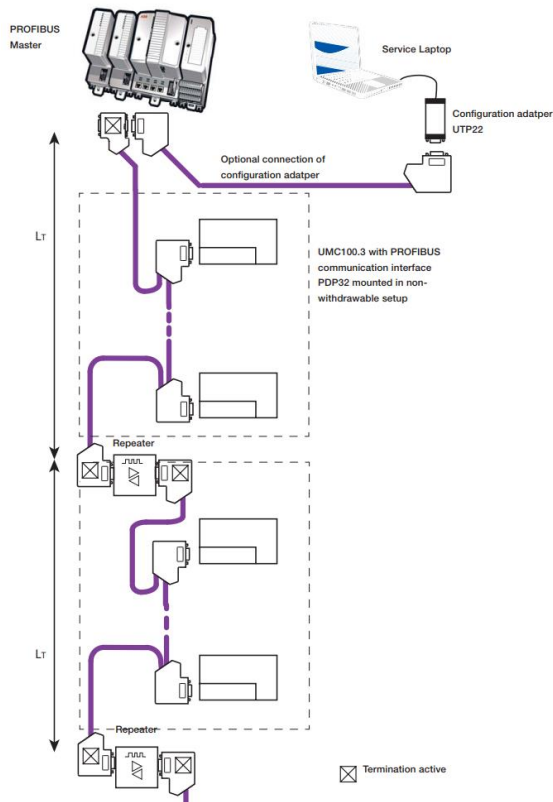
Kuva 32. PDP32.0-lisämoduuli, sen liitännöiden etuprofiilikuva ja ote piirikaaviokytkenästä. Piirikaavioista nähdään, miten D-liitin kytketään Profibus-kaapeliin. [53, s. 1, 5; 81]

PDR32.0-lisämoduulin avainominaisuudet ovat [19, s. 34, 96; 53, s. 13, 16]:

- syöttöjännite 24 V DC
- kotelointiluokka IP20
- voidaan yhdistää kasettiasenteeseen UMC100.3:een
- tuetut DP-versiot V0 ja V1
- laitteessa ei ole sisäänrakennettu päätevastusta
- mahdolliset väyläosoitteet välillä 2–125 ja suurin tiedonsiirtonopeus 12 Mbit/s.

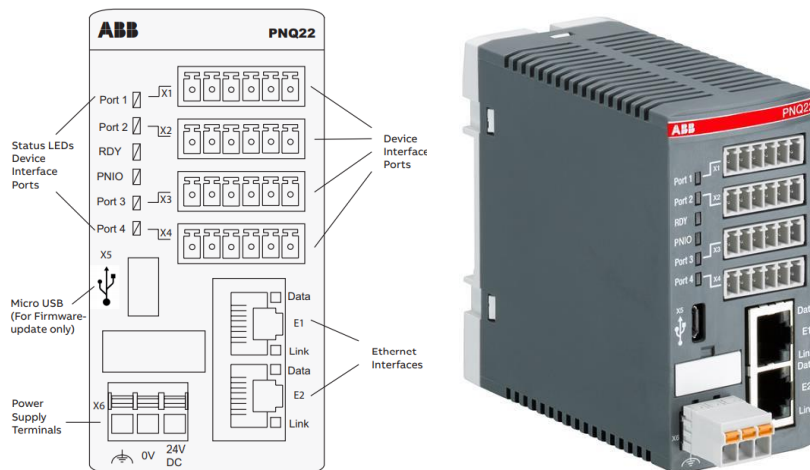
PDR32.0 voidaan kiinnittää suoraan UMC100.3:een tai lisävarusteena hankittavaan SMK3.0:aan. Lisäksi saatavilla on ABB:n oma aktiivinen päätevastus PDR31.0. [53, s. 6, 18]

Kuva 33 esittää seuraavaksi, miten UMC100.3 ketjutetaan Profibus-väylässä D-liittimin. Kuvassa L_T viittaa kaapelipituuteen, jonka vaikutus tulee huomioida tiedonsiirtonopeuteen (ks. taulukko 3, s. 36). Kuvasta nähdään myös toistimien kyky ylläpitää kaapelointipituudesta riippuvaa tiedonsiirtonopeutta



Kuva 33. Kiinteäasenteisten UMC100.3-laitteiden yhdistys Profibus-väylään. [53, s. 12]

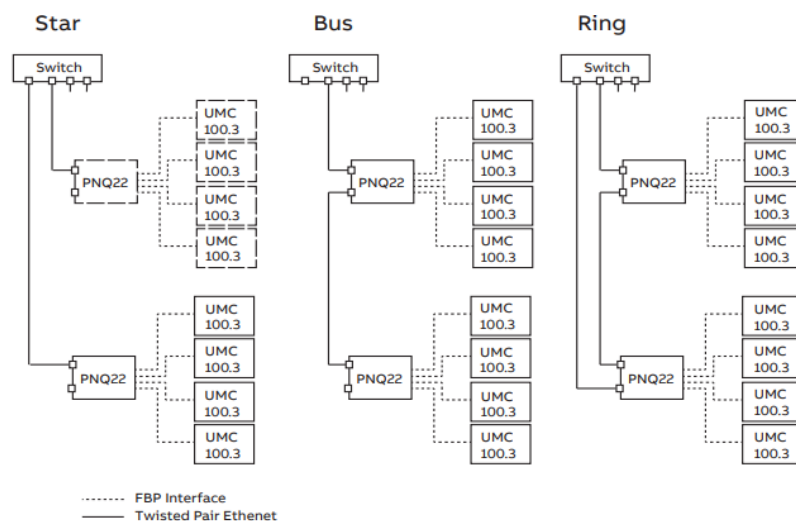
.ABB UMC100.3 ja liittyminen Profinet IO -verkkoon



Kuva 34. PNQ22-FBP.0-lisämoduuli ja sen liittämisen etuprofiili. [21, s. 7; 81]

UMC100.3 liitetään Profinetiin PNQ22-FBP.0-lisämoduulilla. Sen kautta voidaan tehdä samankaltaisia toimintoja kuin aiemmin esitellyllä Profibus-moduulilla (esim. käynnistää

ja pysäyttää moottori, kuitata vika, lukea ajantasaisia tilatietoja, lukea ja kirjoittaa laitteen parametreja). Moduuli voidaan kytkeä sen kahdella RJ-45-portilla väylään, tähteen tai renkaaseen. Väylä- ja tähtitopologiassa voidaan käyttää hallitsematonta kytkintä, mutta rengasrakenteella kytkimen tulee olla hallittu ja tukea Profinetin MRP-lisäominaisuutta. [21, s. 11] Enimmillään neljä älykästä moottoriohjainta on ohjattavissa yhdellä Profinet-moduulilla. (ks. kuva 35, paikat X1-X4).



Kuva 35. PNQ22-FBP.0 tukee tähti-, väylä- ja rengastopologiaa. Kaapelointiin käytetään CAT5 tai CAT6 Ethernet-kaapeleita. [21, s. 6]

ABB suosittelee lisämoduulin ja pääyksikön välille valmiita kaapeleitaan (pituus joko 1,5 tai 3 m). [21, s. 7, 9–10.] Lisäksi suositellaan, että kasettilaitteistoissa Profinet-moduuli asennetaan erikseen ja sen ja pääyksikön yhdistykseen käytetään valmistajan kaapelia. [21, s. 9, 23]

PNQ22-FBP.0-lisämoduulin avainominaisuudet ovat seuraavat: [21, s. 5, 22.]

- syöttöjännite 24 V DC
- kotelointiluokka IP20
- DIN-yhteensopiva
- voidaan asentaa kasettilaitteistoihin
- sisäänrakennetun kytkimen suurin tiedonsiirtonopeus 100 Mbit/s
- kaksi Profinet-liitäntää, joista toinen kerralla käytössä
- tuki mm. seuraaville: MRP, aikaleimatut tapahtumat ja SOE-tapahtumasekvenssi.

Siemens Simocode Pro C/V -mallit

Rinnakkaisia ohjauspaikkoja voi olla Simocode Prossa neljä kappaletta ja erilaisia ohjauskomentoja viisi kappaletta jokaista ohjauspaikkaa kohden. Ohjauspaikoista kolme on tarkoitettu paikallisohjaukseen ja yksi etäohjaukseen. Simocode Pron ohjaukseen voi käyttää esim. perinteistä johdotettua painikeohjausta digitaalituloihin, laitteen ohjauspaneelia ja väylän tai teollisuus-Ethernetin kautta PLC- tai DCS-ohjausta. Lisäksi OPC UA -protokollaa voidaan käyttää Profinet-mallin PC tai HMI-ohjaukseen. Esimerkkejä tyypillisistä ohjauskomennoista ovat päälle, pois ja suunnanvaihto. [26, s. 181, 69, s. 74–75] Simocode Pro C -mallia käyttäessä tulee huomioida, että sen ominaisuudet ovat rajallisia Pro V -malliin verrattuna. [24, s. 48]

Siemens Simocode Pro C/V -mallien perinteisesti johdotetut I/O-liitännät

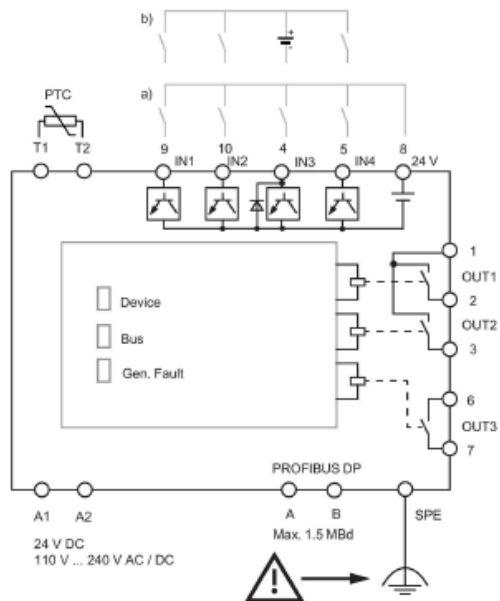
Simocode Pro C on sidottu sen perusyksikön I/O -määrään, kun taas malli V on laajennettavissa lisämoduuleilla. Taulukko 8 esittää Pro C sekä Pro V -mallien tulojen ja lähtöjen eroavaisuuksia. Kuvassa 36 nähdään puolestaan perusyksiköiden vakio-I/O-paikat. Perusyksiköiden vanhoja versioita käytettäessä moduulien suurimmassa määrässä ja moduuliyhdistelmissä on kuitenkin poikkeuksia. Esimerkiksi analogiyksikköä ei voida asentaa vanhimpiin laiteversioihin. [24, s. 132, 136–139] Perusyksiköt on saatavilla joko 24 V DC:n tai 110 V–240 V AC/DC:n apujännitteelle. Samoin digitaalimoduulien ulkoinen syöttöjännite voidaan mallista riippuen valita samalta alueelta. [24, s. 60, 65, 139]

Taulukko 8. Simocode Pron eri mallien I/O-vertailu. [24, s. 56]

Function/component		SIMOCODE pro		
		C	V PB	V PN
Number of inputs/outputs	Number of digital inputs of basic unit	4	4	4
	Max. number of digital inputs with expansion modules	4	12	12
	Number of outputs of basic unit	3	3	3
	Max. number of digital outputs with expansion modules	3	7	7

Taulukossa 8 esiteltujen perusliitännöiden ohella kaikissa C:n ja V:n perusyksiköissä on yksi liitäntä binääriselle PTC-anturille. V-mallissa yhteensopivuutta voidaan lisätä muille

anturityypeille lämpötilamittauksen lisämoduulilla. C ja V -mallit tarvitsevat molemmat virranmittausmoduulin, joka valitaan moottorin nimellisarvojen mukaan. Lisäksi V PB ja V PN -malliin on asennettavissa virranmittausmoduulin sijaan yhdistetty virran- ja jännitteen mittausmoduuli, millä saadaan entistä monipuolisemmat suojaus- ja valvontatoiminnot. [24, s. 62, 128.] Lisäksi V-malli on laajennettavissa yhdellä ohjausjärjestelmästä riippumattomalla paikallisturvareleellä DM-F Local tai Profibus-väylään yhdistetyllä PROFIsafe-turvareleellä. [24, s. 140]



Kuva 36. Simocode Pro C/V:n perusyksiköiden I/O-liitännät. [24, s. 196]

Digitaalinen lisämoduuli (Pro V PB/PN) [24, s. 65, 139]:

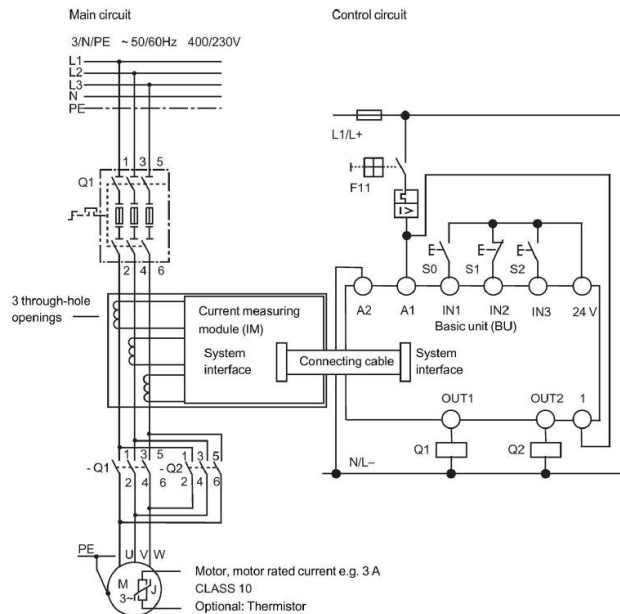
- digitaalimoduuleja voi asentaa maksimissaan 2 kpl perusyksikköä kohdin
- 4 binääristä sisääntuloa ja kaksi relelähtöä (ks. kuva 36)
- relelähdöt voidaan valita mallista riippuen monostabiileiksi tai bistabiileiksi.

Analoginen lisämoduuli (Pro V PB/PN) [24, s. 142]:

- 2 kpl analogisia sisääntuloja, joista molemmat joko 0–20 mA tai 4–20 mA
- 1 kpl analoginen ulostulo 0/4–20 mA
- V PB -mallissa maksimimäärä analogimoduuleja 1 kpl, V PN-mallissa 2 kpl

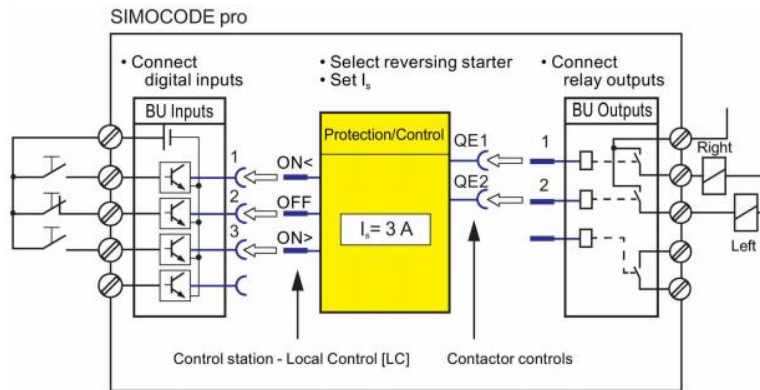
Lämpötilamittauksen lisämoduuli (Pro V PB/PN) [24, s. 144]:

- Yhteensopivat anturit PT100/PT1000, KTY83/KTY84 ja NTC
- 3 kpl liitäntöjä analogisille lämpötila-antureille 2- tai 3-johdinjärjestelmiin
- PB-mallissa maksimissaan 1 kpl lämpötilamittausmoduuleja, PN-mallissa 2 kpl
- antureiden korkein lämpötila on käyttäjän määritettävissä
- mittaustiedot voidaan lähettää eteenpäin automaatiojärjestelmälle.



Kuva 37. Simocode Pron suunnanvaihtokytkentä. [70, s. 13]

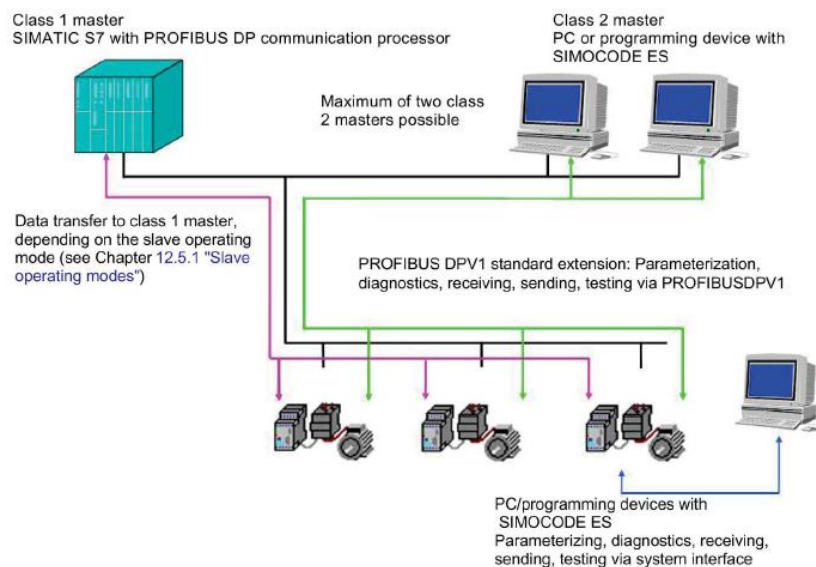
Kuvassa 37 nähdään esimerkkitapaus, jossa moottorin suunnanvaihtokytkentää ohjataan digitaalisilla tuloilla IN1–3 ja relelähdeillä OUT1–2 kytetään moottorin kontaktoreita Q1 ja Q2. Kytkimellä S0 moottoria käytetään eteenpäin ja S2 -kytkimellä taaksepäin. S1 on piirissä moottorin pysäytyksen kytkin. Kuvassa 38 jatketaan siitä, kuinka edellä kuvatut toiminnot parametroidaan Simocode ES-ohjelmassa. [70, s. 11, 16–21]



Kuva 38. Simocode Pro C/V -mallien ohjelmistopohjainen parametointi suunnanvaihtotoiminnolle. [70, s. 16]

Siemens Simocode Pro C/V -mallien liittyminen Profibus DP -väylään

Siemens Simocode Pro C PB ja V PB voidaan yhdistää fyysisesti Profibus-väylään laitteiden sisäänrakennetuilla liitäntöillä. Laitteiden kytkentä ja ketjutus D-liittimellä on nähtävissä mm. liitteen 5 piirikaaviossa. Pro C ja V -mallien perustana erona aikasykronointia ja Profisafe-profiilia ei voida käyttää ensiksi mainitun kanssa. [71, s. 15]



Kuva 39. Simocode Pro C/V:n viestintä Profibus DP-väylässä. [71, s. 15]

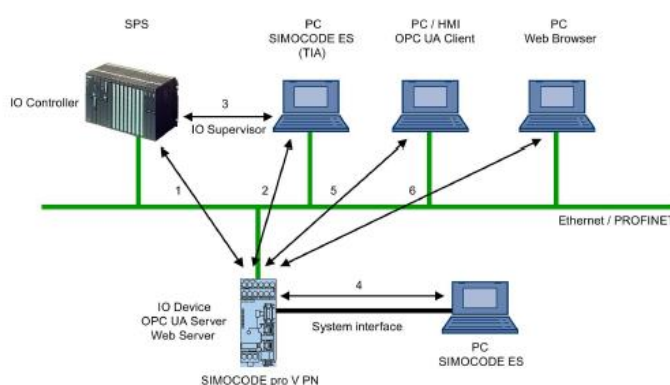
Siemensin aloitusoppaassa [70] selostetaan, miten kuvan 37 suunnanvaihtokäynnistykseen saadaan lisättyä Profibus-ohjaus. Opaskirjaan vaiheita seuraamalla voidaan

rakentaa paikallisojhaus edellä selostetulla tavalla painikkein sekä etäohjaus Profibusin kautta.

Laitteen fyysisen asennuksen jälkeen Simocode Pron tyypillinen yhteensovitus automaatiojärjestelmän kanssa alkaa asentamalla Siemensin toimittama GSD-tiedosto PC-ohjelmiston kautta. [71, s. 29, 31] Tämän jälkeen Simocode Pro on valmis väyläohjattavaksi, kun laitteelle on määritelty osoite sekä ohjaustoiminnot DP-väylässä. [70, 23–24.]

Siemens Simocode Pro V -mallin liityntä Profinet-verkkoon

Työssä käsitellyistä Siemens Simocode Pro malleista vain V PN tukee Profinetiä. Kuvassa 40 esitellään sen mahdolliset tiedonsiirtomenetelmät.



Kuva 40. Simocode Pro V PN -mallin tiedonsiirto. [71, s. 45]

Kuvan yhteys numero 1 on Profinet-yhteys PLC:n/DCS:n ja Simocode Pro V PN:n välillä. Numero 2 on Profinet-yhteys Simocode ES -sovelluksella varustetun PC:n ja Simocode Pro V PN:n välillä. Numero 3 on Profinet-yhteys PC:n Simocode ES Premium ohjelmiston ja Simocode Pro V PN:n välillä Simatic S7:n kautta. Numero 4 on RS 232/USB-yhteys Simocode ES ohjelmistolla varustetun PC:n ja Simocode Pro V PN:n välillä. Numero 5 on Ethernet-yhteys OPC UA-protokollalla PC:n/HMI:n ja Simocode Pro V PN:n välillä. Lopuksi numero 6 on Profinet-yhteys PC:n verkkoselaimen ja Simocode Pro V PN:n välillä. [71, s. 45.]

Laitteen nimen ja IP-osoitteen parametointi tehdään joko automaatiojärjestelmän omalla työkalulla (esim. Siemens STEP7) tai Simocode ES -ohjelmistolla. [71, s. 54]

Seuraavaksi esitellään Simocode Pro V PN -mallin avainominaisuudet [71, s. 45–46, 60, 120]:

- mahdollisia topologioita ovat väylä, tähti, ja rengas
- tuki seuraaville: MRP, PROFIenergy, Shared Device (lisämoduulin kanssa), laitteen vaihto ilman ulkoista muistia tai ohjelmointilaitetta sekä RT-tiedon siirtäminen eteenpäin
- tuki kahdelle S7-400H CPU:lle
- maksimissaan 256 laitetta yhdistetty laitteen kahteen Ethernet-liittimeen
- diagnostiikka voidaan tehdä verkkoselaimen kautta.

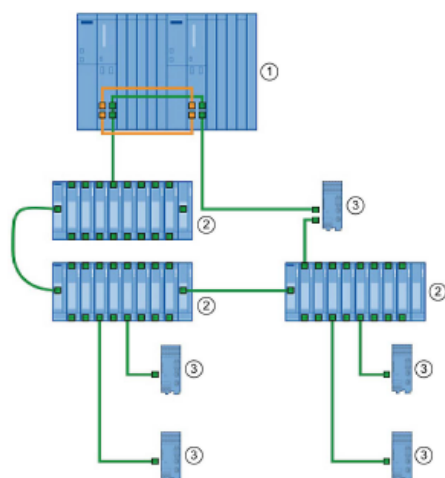


Figure 2-22 Sample configuration for system redundancy with MRP

- ① S7-400H system
- ② SCALANCE X400 (non-redundant IO device)
- ③ SIMOCODE pro V PN (GP) (non-redundant/redundant-system IO device)
- ④ SIMOCODE pro V PN (GP) (MRP, non-redundant/redundant-system IO device)

Kuva 41. Simocode Pro V PN -mallin verkkotopologiat sekä esimerkkejä varmentamisesta. [71, 64]

Kuvassa 41 nähdään, kuinka Simocode Pro V PN -mallilla saada aikaan eri tyyppisiä topologioita sekä esitellään verkon varmentamisen vaihtoehtoja.

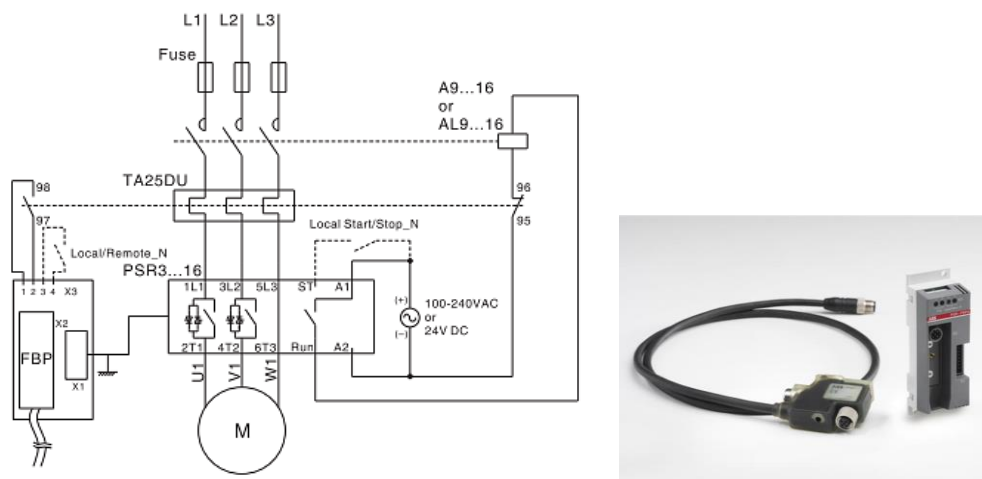
5.2 Pehmökäynnistin

Tässä osiossa tarkastellaan aiemmin esitellyn ABB PSR -pehmökäynnistimen yhdistämistä automaatiojärjestelmään.

ABB PSR -pehmokäynnistimen liityntä automaatiojärjestelmään

Tyypillisesti pienemmillä moottoriluokilla on tapana käyttää pehmokäynnistimen kanssa älykästä moottoriorhjausta, jolloin moottorin ohjaus, suojaus ja valvonta tapahtuu tämän kautta. [22]

Väyläliitäntä PSR-pehmokäynnistimeen tapahtuu lisälaitteella PS-FBPA, johon voidaan erikseen hankittavalla kaapelilla yhdistää erilaisia väyläliittäimiä. [28, s. 10] Insinööri-työssä tutkituista tiedonsiirtostandardeista yhdistys onnistuu vain Profibus DP -väylän kautta, jolloin tarvitaan Profibus DP FieldBusPlug (FBP) -kaapeli (ks. kuva 42). Pehmokäynnistintä voidaan valvoa, ohjata ja parametroida kenttäväylän kautta. [28, s. 5]



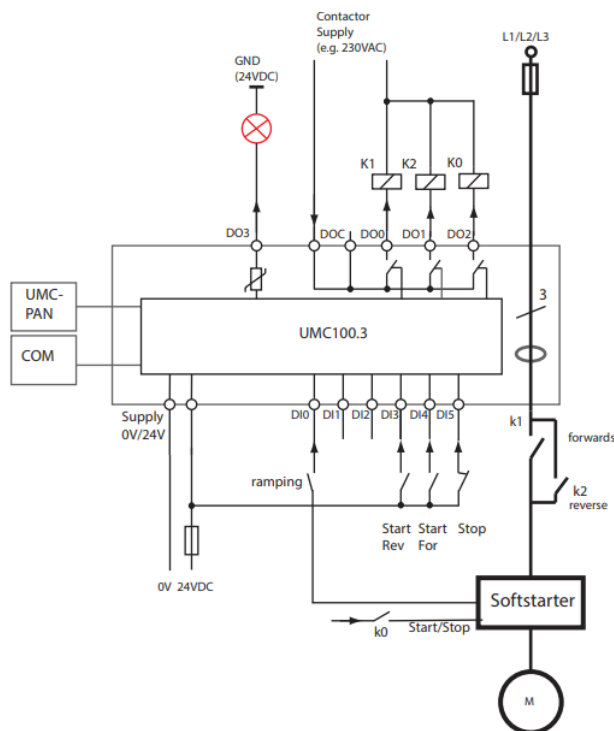
Kuva 42. Vasemmalla PSR-pehmokäynnistimen yhdistys Profibus-väylään PS-FBPA:n välityksellä, kun moottori on suojattu ylivirtareleellä. Oikealla FBPA-adapteri ja yhteensopiva kaapeli. [82, s. 4; 83]

PSR-sarja ei ole itsessään vielä Profinet-yhteensopiva, [62] mutta pehmokäynnistimellä ohjattu moottori saadaan käynnistettyä ja pysäytettyä älykkään moottoriorhjaimen avulla. Tällöin ABB UMC100.3 tulee laajentaa Profinet-moduulilla ja ottaa käyttöön sen pehmokäynnistinhjelma. Ohjelma antaa digitaalilähdöstä käynnistyssignaalin pehmokäynnistimelle ja vastaanottaa tiedon rampin suorituksesta digitaalituloonsa. Tällaisella ohjauksella ei kuitenkaan voida luonnollisesti käyttää pehmokäynnistimen omaa parametrointia.

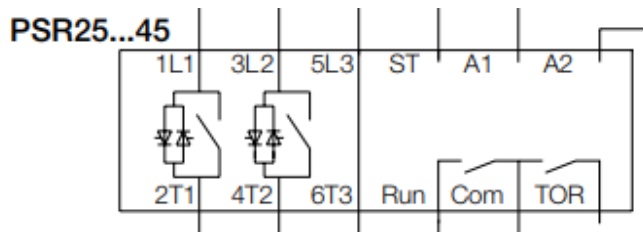
Pehmökäynnistinohjelmaa voidaan käyttää samalla tavalla myös UMC100.3:ssa, joka on yhdistetty Profibus-moduulilla kenttäväylään. Seuraavaksi selostetaan kuvaa 43 avuksi käyttämällä, kuinka edellä kuvattu ABB UMC100.3:n pehmökäynnistinohjelmatoimii käytännössä.

Kun esimerkin pehmökäynnistinohjelmatoiminta suoritetaan käynnistyskäskyllä väylän kautta, digitaalilähtö DO0 lähettää ohjaussignaalin moottorin kontaktorille ja DO2 pehmökäynnistimen ST-koskettimelle, jolloin kontaktori K1 vetää ja pehmökäynnistin aloittavat toimintansa yhtäaikaisesti. Älykkään moottoriohjaimen DI0 on yhdistetty pehmökäynnistimen TOR-liitäntään, josta pehmökäynnistin antaa tiedon UMC100.3:lle rampin loppuun suorituksesta. IO-liitäntöjen signaaleja on havainnollistettu kuvassa 45.

Pehmökäynnistimen ohjaus älykkäällä moottoriohjaimella UMC100.3



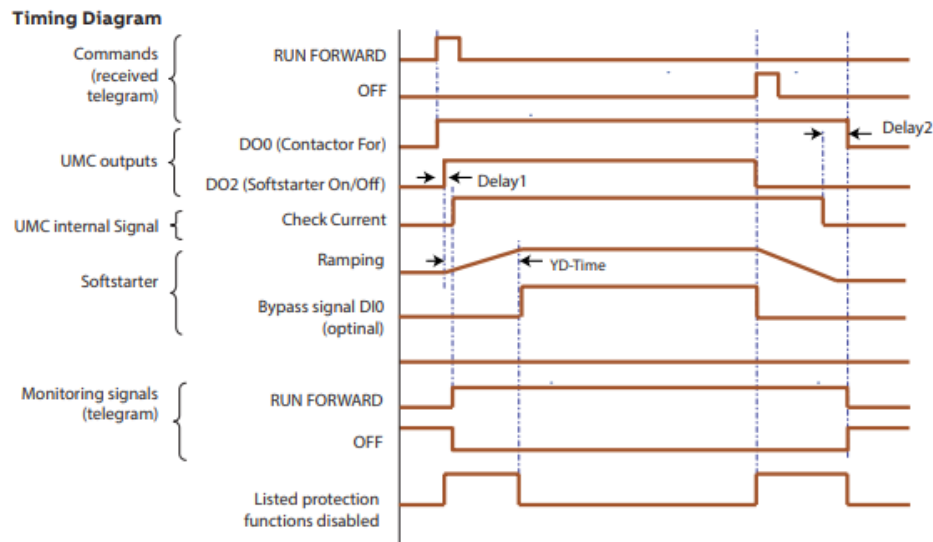
Kuva 43. UMC100.3:n pehmökäynnistintöiminto. [19, s. 94]



Kuva 44. PSR45-pehmoikäynnistimen perinteiset I/O-liitännät. [82, s. 4]

Yllä olevan kuvan 44 sisään- ja ulostulot selostetaan seuraavaksi [15, s. 50]:

- Com-liitin on tarkoitettu binääristen ulostulosignaalien syötölle.
- Run-kosketin sulkeutuu, kun käynnistysignaali on annettu ja pysyy suljettuna niin kauan kuin pehmoikäynnistin syöttää jännitettä moottorille.
- TOR-kosketin sulkeutuu, kun pehmoikäynnistin saavuttaa rampin huipun ja pysyy suljettuna, kunnes pysäytyssignaali on annettu.
- ST-liittimeen annetaan moottorin binäärinen käynnistysignaali.
- A1 jännitelähteen positiivinen napa (tai vaihe).
- A2 jännitelähteen negatiivinen napa (tai N).



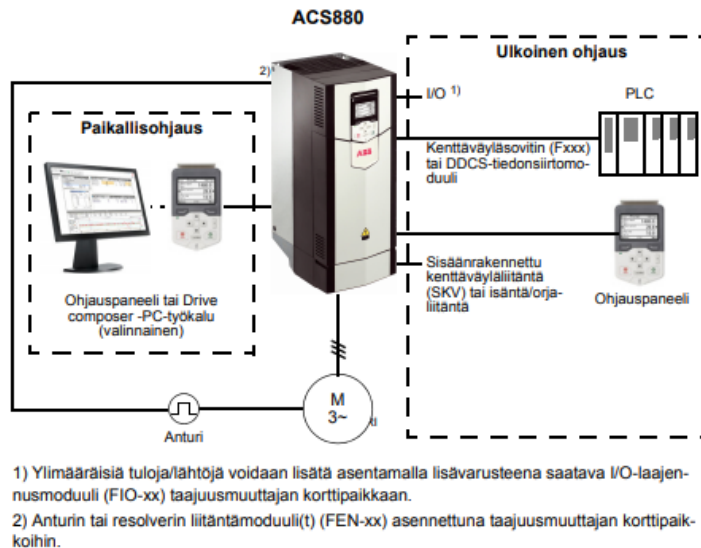
Kuva 45. Esitys UMC100.3:n tulo- ja lähtösignaaleista pehmoikäynnistinkytkenässä. [19, s. 93]

DI3–5 ovat vapaaehtoisia kytkentäpaikkoja, joihin voidaan kytkeä käsikäyttöinen ohjaus (eteen, taakse, seis). DO1-liittimeen voidaan lisäksi kytkeä suunnanvaihdon kontaktori K2.

5.3 Taajuusmuuttaja

Seuraavaksi tarkastellaan aiemmin esiteltyjen ACS880-01 ja -07 -taajuusmuuttajien ohjaustapoja luvussa neljä esitetyillä tiedonsiirtomenetelmillä.

ACS880-taajuusmuuttajan ohjaustavat



Kuva 46. ACS880-taajuusmuuttajan ohjaustavat. [44, s. 20]

ACS880-taajuusmuuttajat ovat ohjattavissa paikallisesti laitteen ohjauspaneelilla tai Drive Composer -PC-työkälulla sekä ulkoisesti ohjauspaneelilla, isäntä-orjaliitännällä, DDCS-liitännällä (ABB:n oma tiedonsiirtoprotokolla), I/O-tuloilla sekä sisäisellä tai ulkoisella kenttäväyläliitännällä (ks. kuva 46). [44, s. 20–21.]

Analogisille ja digitaalisille I/O-, takaisinkytkentäliitäntä- ja tiedonsiirtomoduuleille on käytävissä kolme lisäkorttipaikkaa. [72, s. 44, 138; 73, s. 33]

Edellä mainituista ohjaustavoista paikallisohtaus käytetään yleensä huollon ja käyttöönoton aikana ja sen käyttö voidaan estää parametroinnilla. Ohjaustoiminnot tehdään joko PC:n Drive Composer ohjelmalla tai suoraan ohjauspaneelistä. Tässä ohjaustilassa ohjauspaneeli ohittaa aina ulkoiset ohjauskomennot. [44, s. 20.]

Ulkoiseen ohjaukseen on käytettävissä kaksi ohjauspaikkaa ULK1 ja ULK2. Niille voidaan parametroida erikseen käynnistys- ja pysäytyskomentojen lähteet. [44, s. 21]

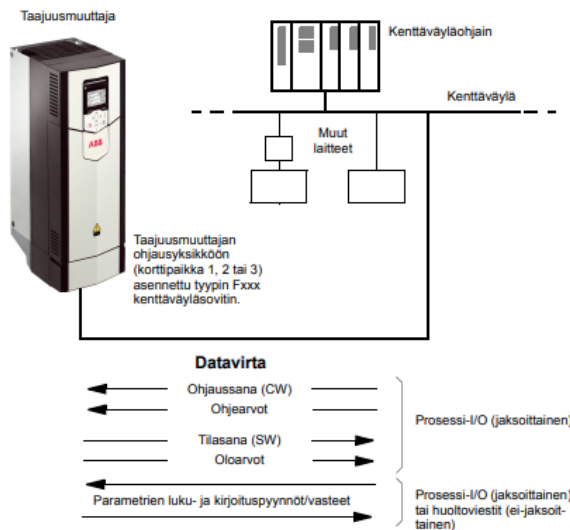
Taajuusmuuttaja voidaan määritellä ohjauspaikoilla vain kenttäväyläohjatuksi tai vaihtoehtoisesti jakaa sen ohjaus kenttäväyläliitännän ja muiden ulkoisten lähteiden kesken. Ohjaus voi siis olla toteutettu esimerkiksi ulkoisella moduulilla Profibus-väylästä sekä laitteen digitaalisten sisääntulojen kautta ulkoista ohjauskomentolähdettä vaihtelemalla. [44, s. 565.]

Lisäksi yhdellä ohjauspaneelilla voidaan ohjata useita taajuusmuuttajia ohjauspaneeliväylän kautta, siten että ohjauspaneelit ketjutetaan Ethernet-kaapelilla. Ohjauspaneelia voidaan käyttää ulkoisen ohjauksen käynnistys- ja pysäytyskomentojen ja ohjearvojen lähteenä. [44, s. 21; 72, s. 47.]

Isäntä-orjatoiminnolla voidaan liittää useita taajuusmuuttajia yhteen siten, että yksi isäntälaitte määrää tavallisesti pyörimisnopeuden ja jopa kymmenen orjalaitetta seuraavat sen nopeutta tai momenttia. Isäntä-orjatoiminnon suurimpana etuna kuorma jakaantuu tasaisesti moottoreiden välillä, ja siksi sitä suositetaan muun muassa kuljetinkäytöissä. Ulkoiset ohjauskomennot annetaan isännälle, joka ohjeistaa orjataajuusmuuttajiaan sähköisesti (liitin XD2D) tai valokuituyhteydellä. [44, s. 32–32, 363.]

ACS880 voidaan liittää automaatiojärjestelmän väyläohjaukseen kahdella tapaa, joko sen sisäisen kenttäväyläliitännän tai ulkoisten lisämoduulien kautta.

Sisäänrakennettu kenttäväyläliityntä tukee Modbus RTU -protokollaa, ja sen kytkentä tapahtuu samaan liittimeen kuin orjatoiminnon sähköinen liitos (XD2D). [44, s. 541–542] Ulkoiselle kenttäväyläliitynnälle on käytettävissä kaksi paikkaa: kenttäväyläsovitin A (KVS A) ja kenttäväyläsovitin B (KVS B). [44, s. 565.]



Kuva 47. ACS880-taajuusmuuttajan ohjaus kenttäväylän kautta. [44, s. 566]

Taajuusmuuttajaa ohjataan nimensä mukaisesti ohjaussanalla ja se palauttaa tilatiedon isäntään tilasanassa. Ohjaussana voi olla esimerkiksi käynnistyskäsky tai vian kuittaus. [44, s. 548] Lisäksi taajuusmuuttajalle syötetään ohjearvoja kuten pyörimisnopeus tai momentti, ja se palauttaa oloarvoilla tietoa taajuusmuuttajan toiminnasta. [44, s. 548, 568–569]

ACS880-taajuusmuuttajan I/O-liitännät

ACS880:n ja automaatiojärjestelmän välinen tiedonsiirto virta- ja jänniteviesteillä tapahtuu ohjausyksikön sisäänrakennetuilla I/O-liitännöillä sekä valinnaisilla I/O-moduuleilla. Liitäntöihin käytetään digitaalisia tuloja, relelähtöjä, analogiatuloja ja -lähtöjä sekä digitaalisia I/O-paikkoja. Digitaaliset tulot ja lähdöt toimivat 24 V DC:n jännitetasolla. [73, s. 199–200.] Taulukossa 9 on esitetty näiden liitäntäpaikkojen lukumäärät ohjausyksikössä sekä lisämoduulein varustettuna. [44, s. 28]

Ohjausyksikön (DI) kuudetta digitaalituloa käytetään PTC-termistoritulona. Lisäksi käytävissä on digitaalinen käynnistyksen lukitus (XD24). ACS880:n I/O-liitännät (DIO) ovat käyttäjän määritettävissä joko lähdöiksi tai tuloiksi. Näistä DIO1 voidaan käyttää taajuustulona ja DIO2 taajuuslähtönä. [44, s. 28.]

Analogiatulot (AI) voidaan määrittää erikseen virtatuloksi (0/4–20 mA) tai jännitetuloksi (0/2–10 V tai -10–10 V) ohjausyksikön siirtoliittimellä tai kytkimellä. [72, s. 140; 73, s. 114] Lisäksi ne voidaan suodattaa, invertoida tai skaalata sekä asettaa erityistoimintoja, mikäli tulon arvo on tietyn alueen ulkopuolella. [44, s. 28]

Taulukko 9. ACS880:n ohjausyksikön ja laajennusmoduulien I/O-paikat. [44, s. 29]

Sijainti	Digitaalitulot (DI)	Digitaaliset I/O-liitännät (DIO)	Analogiatulot (AI)	Analogialähdöt (AO)	Relelähdöt (RO)
Ohjausyksikkö	6 + DIIL	2	2	2	3
FIO-01	-	4	-	-	2
FIO-11	-	2	3	1	-
FAIO-01	-	-	2	2	-
FDIO-01	3	-	-	-	2

Analogialähdöt (AO) voivat sen sijaan lähettää 0–20 mA:n standardivirtaviestejä, joille voidaan suorittaa suodatus, invertointi tai skaalaus. [44, s. 28] Analogiatulon ja -lähdön välille voidaan kytkeä erilaisia lämpötila-antureita moottorin lämpötilanmittausta varten. [72, s. 140; 73, s. 115]

Relelähdön (RO) ilmaisemat signaalit voidaan valita parametreilla. [44, s. 28] Lähteviä signaaleja voivat olla esimerkiksi taajuusmuuttajan varoitukset tai vikailmoitukset. [44, s. 498]

Safe torque off (STO) -toimintoon käytetään ohjausyksikön XSTO-riviliitintä. STO-toimintoa hyödynnetään esimerkiksi luomalla sen avulla turva- tai valvontapiirit, jotka pysäyttävät taajuusmuuttajan vaaratilanteessa. [73, s. 235]

Ohjausyksikölle voidaan myös kytkeä ulkoinen 24V syöttö (riviliitin XPOW), jolloin ACS880:n ohjauskortti on toimintakykyinen myös virtakatkoksen aikana. [72, s. 140; 73, s. 115]

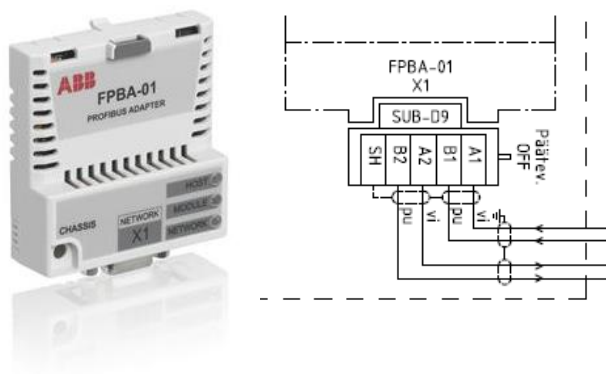
Sovellusmakrot ovat joukko oletusarvoisia taajuusmuuttajan parametreja (asetusarvoja), jotka sopivat tiettyyn sovellukseen. Makrot helpottavat ja nopeuttavat taajuusmuuttajan käyttöönottoa, koska käyttäjän ei tarvitse määritellä kaikkia mahdollisia parametreja yksi kerrallaan, vaan hän valitsee ensiksi sopivan makron sovelluksen perusteella ja

muokkaan sen jälkeen parametreja tarpeidensa mukaan. [44, s. 95.] Tämän jälkeen makro ja parametointi määrittelevät miten I/O-kytkennät tehdään, kuten ABB:n ohjelmointioppaasta otteesta selostetaan

Taajuusmuuttaja on nopeussäädetty ja ohjesignaali on liitetty analogiatuloon AI1. Käynnistys- ja pysäytyskomennot annetaan digitaalitulon DI1 kautta; pyörimissuuntaa ohjaa DI2-tulo. Tämä makro käyttää ohjauspaikkaa ULK1. Viat kuitataan digitaalitulon DI3 kautta. DI4 vaihtaa kiihdytys- tai hidastusajaksi asetuksen 1 tai 2. Kiihdytys- ja hidastusajat sekä ramppien muodot määritetään parametreilla 23.12...23.19. DI5 aktivoi vakionopeuden 1. [44, s. 98]

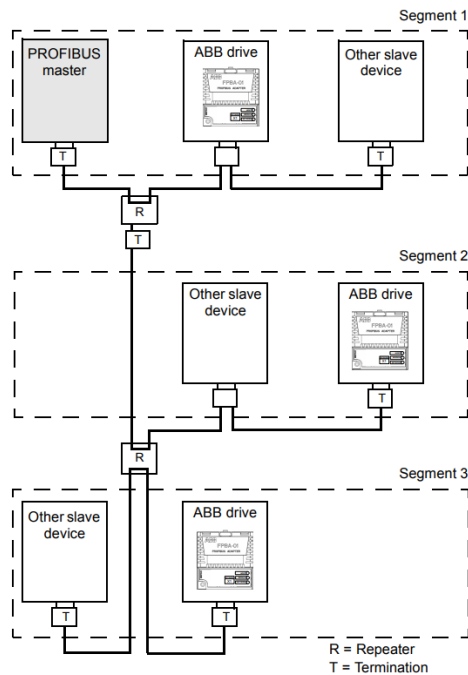
Käyttäjän valittavissa ovat seuraavat makrot: tehdas-, käsi/auto-, PID-säätö-, momenttisäätö- ja sekvenssisäätömakro. [44, s. 95–108] Valmiista makroista tehdasmakron I/O-liitännät on esitelty liitteissä 1–2.

ACS880-taajuusmuuttajan liityntä Profibus-väylään



Kuva 48. ACS880-taajuusmuuttajan Profibus-sovitinmoduuli FPBA-01 ja sen kytkentä piirikaaviossa. [81; 84]

ACS880 voidaan liittää Profibus-väylään FPBA-01-sovitinmoduulilla (ks. kuva 48), joka liitetään taajuusmuuttajan kenttäväyläsovitinpaikkaan A tai B. Sovitinmoduuli tukee Profibus versioita DP-V0 ja DP-V. [74, s. 121] Lisäksi isäntä- ja orjalaitteen välisen tiedonsiirron osalta profiilivaihtoehtoina on joko Profidrive tai ABB Drives. [74, s. 101]



Kuva 49. FPBA-01 ja sen esimerkkitopologiat. [74, s. 23]

Kuvan 48 piirikaavio-otteesta nähdään, miten ketjutettu Profibus-kaapeli on jaettu FPBA-01-moduuliin kytketylle D-liittimelle. Seuraavassa kuvassa 49 esitellään eräs mahdollinen topologia Profibus-väylässä oleville ACS880-taajuusmuuttajille.

FPBA-01-moduulin tukemat toiminnot ovat [74, s. 24]:

- ohjaukomentojen vastaanotto (muun muassa käynnistys ja pysäytys)
- nopeuden tai momentin ohjearvon määrittely
- taajuusmuuttajan tilatietojen ja todellisten arvojen lukeminen
- taajuusmuuttajan PID-säätimen ohjearvon asettelu ja prosessioloarvon syöttö
- parametrointi väylästä
- vikojen kuittaus.

ACS880-taajuusmuuttajan liityntä Profinet IO -verkkoon

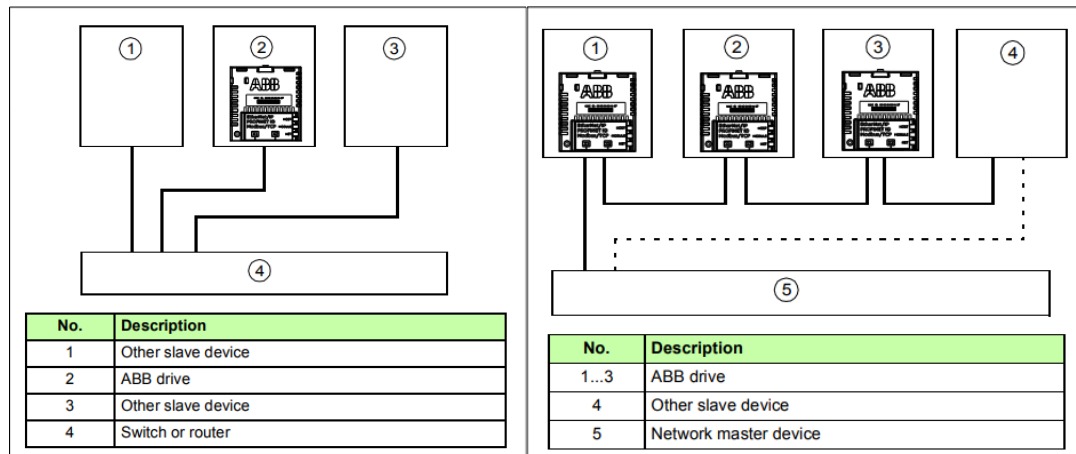
ACS880 voidaan liittää Profinetiin FENA-11 tai FENA-21 -sovitinmoduulilla (ks. kuva 50), jotka liitetään taajuusmuuttajan kenttäväyläsovitinpaikkaan A tai B. FENA-sovittimet tukevat Profidrive ja ABB Drives -profiileja, kuten Profibus-moduuli FPBA-01.



Kuva 50. FENA-21 -sovitinmoduuli. [85]

FENA-11 ja FENA-21 tukemat ohjaustoiminnot ovat [44, s. 63, 65]:

- ohjaukomentojen vastaanotto (muun muassa käynnistys ja pysäytys)
- nopeuden tai momentin ohjearvon määrittely
- taajuusmuuttajan tilatietojen ja todellisten arvojen lukeminen
- taajuusmuuttajan PID-säätimen ohjearvon asettelu ja prosessioloarvon syöttö.
- vikojen kuittaus.



Kuva 51. FENA-11/21-moduulien tähtitopologia (vasemmalla) sekä FENA-21-moduulin ketjutettu väylä- ja rengastopologia (oikealla). [63, s. 38–39]

FENA-11 ja FENA-21 avaintiedot [63, s. 329, 365, 416]:

- IP20 kotelointi
- virransyöttö taajuusmuuttajan kautta
- FENA-11-moduulissa yksi RJ-45 -liitin, ja FENA-21 -moduulissa kaksi RJ-45 -liitintä

- verkon kaapelointiin suositellaan CAT5- tai CAT6-kaapeleita UTP/FTP/STP-suojauksella
- FENA-11 kytketään tähteen ja FENA-21, tähteen väylään tai renkaaseen (ks. kuva 51), jolloin segmentin maksimipituus 100 m ja solmuja on maksimissaan 50 kpl.
- ACS880 saadaan FENA-11/21 kautta yhdistettyä Drive Composer ohjelman etähallittavaksi ja -valvottavaksi.
- tuki mm. seuraaville Profinet-ominaisuuksille: MRP, Shared Device, Network Diagnostics (SNMP), Topology information (LLDP).

6 Moottorihjauksen suunnittelu

Tässä luvussa kuvaillaan eräs esimerkkitapa toteuttaa moottorihjauksen tiedonsiirto työn aikana tehtyjen asiantuntijahaastattelujen perusteella. Profinet-ohjauksen suunnitteluosio on rakennettu PI-järjestön suunnitteluopasta mukailien sekä keräämällä Sweco Industryn asiantuntijoilta kommentteja ja kannanottoja aiheeseen. Lukijan kannattaa olla tietoinen siitä, että viime kädessä suunnittelutoimistojen sisäiset ohjeet, projektit sekä asiakkaiden rutiinit tai toiveet ovat aina erilaisia, joten toimintatavat sekä menetelmät vaihtelevat tapauskohtaisesti. Näin ollen edellä kuvatut selostukset eivät ole yksi ja ainut oikea tapa toimia.

6.1 Suunnittelun kulku

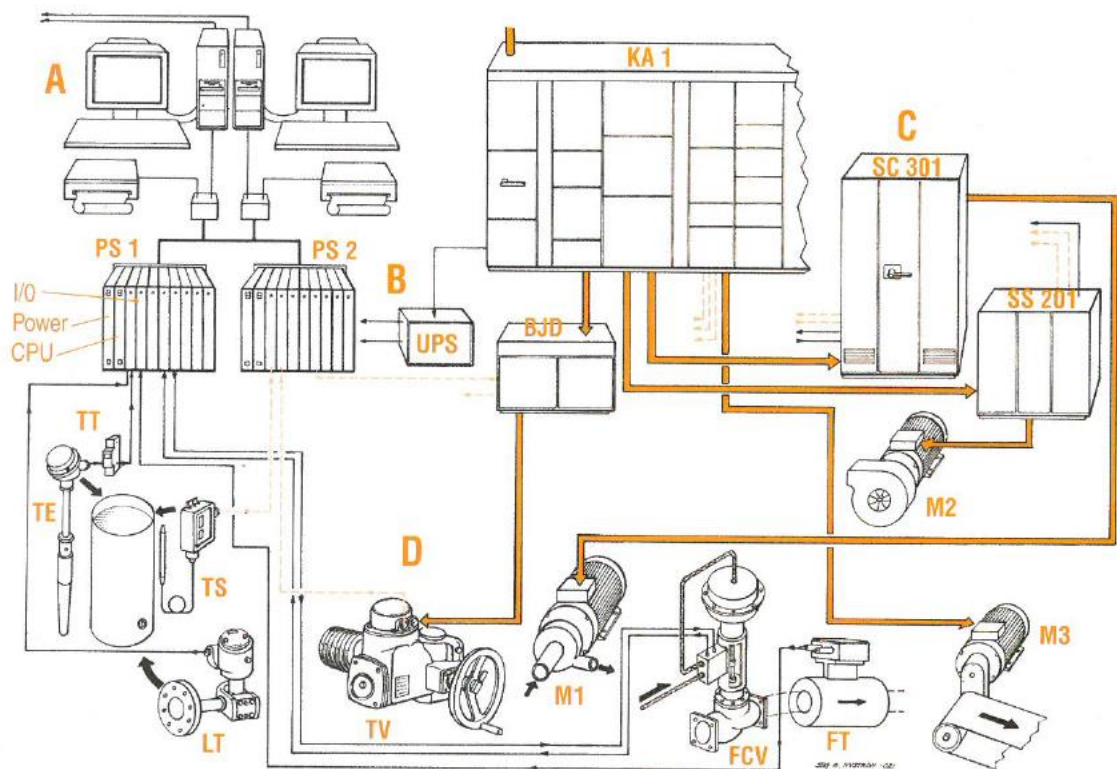
Esisuunnittelussa tehdään moottorihjauksen suunnittelu lähtee liikkeelle DCS-järjestelmän ja tiedonsiirtokanavan määrittelystä. Tässä työvaiheessa suunnittelua tekevä taho on vuoropuhelussa tilaajan kanssa päämääränään selvittää tehtaassa käytettävä automaatiojärjestelmä ja tiedonsiirtomenetelmät. Tehtävän voi suorittaa esimerkiksi automaatiosuunnittelu, joka antaa tarvittaessa konsultointiapua tilaajalle, ellei tilaajalla ole jo ennakkoon mieltymyksiä laitetuottajien tai standardien suhteen. [6.]

Uusissa kohteissa moottorihjauksen tiedonsiirtoon käytetään yleensä kenttäväylää, mutta myös perinteisesti johdotettu ohjaus on mahdollinen ratkaisu. Lisäksi voidaan tehdä näiden yhdistelmiä siten, että esimerkiksi turvatoiminnot toimivat perinteisen johdotuksen kautta ja normaalit ohjaustoiminnot annetaan väylästä. [6.]

Samaan aikaan kuin automaatio suunnittelu tekee automaatioon liittyvää esisuunnittelua, esimerkiksi laiteoimittaja tai prosessisuunnittelu määrittelevät yhdessä tilaajan kanssa tehtaan moottorien alustavat teho- ja ohjaustarpeet. Prosessisuunnittelun pohjalta päätetään, tarvitaanko moottorille taajuusmuuttajaohjaus, pehmokäynnistys vai riittääkö tarpeisiin pelkästään älykäs moottoriohjain (DOL-lähtö). Sähkösuunnittelu voi osallistua ohjaustavan valintaan oman erikoistumisensa osalta esimerkiksi ehdottamalla ohjaustavan muutosta, mikäli tekniset syyt sitä vaativat. Esisuunnittelun jälkeen työn eteneminen perussuunnitteluun ja toteutussuunnitteluun riippuu tiedonsiirtotavasta. [6.]

6.2 Ohjaustapojen vaikutus suunnitteluun

Alla olevaa kuvaa 52 käytetään seuraavaksi havainnollistamaan laitteiden fyysistä sijoittelua tehtaalla.



Kuva 52. Perinteisesti johdotettu DCS, siihen liittyneet laitteet sekä laitteiden sijoitus tehtaalla. A on tehtaan valvomotila, B on automaatiotila, C on sähkötila ja D on prosessitila tai "kenttä". Laitteista TV on moottoriventtiili, M1-3 ovat oikosulkumoottoreita, SS 201 on pehmokäynnistin ja SC 301 on kaappitaajuusmuuttaja. KA1 on sähkötilaan sijoitettu moottorilähtökeskus. [14, s. 28]

Moottoriohjaimen tyyppi ja teholuokitus määrittelevät laitteen fyysisen sijoituksen tehtaassa. Pienikokoinen IMC on helppo sijoittaa moottorilähtökeskukseen. Samoin pehmokäynnistin (kuva 52, SS 201) sijoitetaan yleensä moottorilähtökeskukseen, ellei kyseessä ole erikoistapaus kuten keskijännitepehmokäynnistin. Keskusasenteisia taajuusmuuttajia on saatavilla, mutta niitä käytetään harvemmin Suomessa. [9.]

Moottoriohjaimen sijoittaminen moottorilähtökeskukseen helpottaa keskuksen sähkö- ja automaatiokaapelointia, koska sen sisäisten kaapelien asennus voidaan tehdä jo tehtaalla. Toisaalta laitteiden sijoittaminen keskukseen ei ole ilmaista, sillä se lisää keskuksen kokoa ja siten myös keskuksen valmistuskustannuksia.

Taajuusmuuttajan teholuokka määrittelee laitteen mallin, joten laiteteho on sidoksissa taajuusmuuttajan sijoitukseen tehtaassa. Yleensä ottaen moottoriohjaimet on järkevää sijoittaa sähkötiloihin, mikäli mahdollista, koska se vähentää kaapelointia, selkeyttää suunnittelua ja helpottaa huollettavuutta. Samoista syistä pienet seinäasenteiset taajuusmuuttajat sekä suuret lattialle sijoitettavat kaappimallit (kuva 52, SC 301) sijoitetaankin useimmiten sähkötilaan, vaikka valmistajilta onkin saatavilla pölyisiin ja kosteisiin tiloihin sopivia malleja. Toisinaan taajuusmuuttajia asennetaan kentälle muun muassa laitetöimitusten yhteydessä tarkkaan nopeudensäätöön. [6; 16.]

Kaappitaajuusmuuttajan ja seinätaajuusmuuttajan automaatio- ja sähköjohdotukset tehdään urakoitsijan toimesta. Taajuusmuuttaja tarvitsee sähkötilassa syötön sähkökeskuksesta, lähdön moottorille sekä jonkinlaisen ohjauskaapeloinnin automaatiojärjestelmään.

Kentältä voidaan tuoda esim. turvakytkimen tilatieto sähkökeskukseen perinteisellä langoitettulla tekniikalla sekä lämpötilamittaus taajuusmuuttajalle moottorin PT100-anturilta.

Kaapeloinnin ohella rakennussuunnittelussa tulee huomioida, että moottorilähtökeskuksen ohella tilaa vieville kaappitaajuusmuuttajille ja pienikokoisemmille seinätaajuusmuuttajille on varattu sijoituspaikat sähkötilasta.

Taajuusmuuttajan sijoitus kentälle (kuva 52, alue D) voi hankaloittaa sähkö- ja automaatiokaapeloinnin suunnittelua ja asennustyötä. Sähköurakoitsija suorittaa laitteen kaapeloinnin aina kentälle ja tämä lisää väistämättä hankkeen kustannuksia. Hankalan

kaapeloinnin lisäksi ympäristöolosuhteet ja kiinnityspaikka voivat osoittautua haastaviksi lähellä prosessia. Asennuksen ohella kentälle sijoitus lisää suunnitteluun kuluvaan aikaa.

6.3 Profibus DP -väyläsuunnittelu

Moottoriohjauksen osalta prosessiasemien (kuva 52, PS1 ja PS2) lukumäärään verkossa vaikuttavat varmennuksen tarve sekä ohjattavien moottoriohjainten lukumäärä. Asemia käytetään niin ikään lisäämään ohjattavien laitteiden lukumäärää verkossa sekä varmentamaan kriittisiä ohjauksia. Jos järjestelmän käytettävyyttä halutaan kasvattaa entisestään, prosessiasemien suorittimetkin (CPU:t) voidaan kahdentaa. Moottorien ja moottoriohjaimien kahdennuksia voidaan tarvita esimerkiksi turvallisuussyistä, sillä laitteiden vikaantuminen voi tehtaassa saada aikaan materiaali- ja henkilövahinkoja. Tällaisia laitteita voivat olla mm. tietyt pumput. Varmennukseen liittyvät seikat tulee sopia ja selvittää asiakkaan kanssa tapauskohtaisesti. [16.]

Perinteisesti prosessiasemat on sijoitettu tehtaan automaatiotilaan (kuva 52, alue B), josta on Profibus-väylän tapauksessa rakennettu valokuidulla yhteys edelleen moottoriohjaimien luo sähkötilaan (kuva 52, tila C) Nykyisen trendin mukaan on kuitenkin alettu sijoittaa automaatio- ja IT-laitteita yhä useammin samoihin tiloihin moottoriohjaimien kanssa, koska moderneissa tehtaissa nämä kaikki kolme ovat tekemisissä keskenään (kuva 52 tilat B ja C yhdistettynä). Samaan tilaan asennetut laitteistot helpottavat siten muun muassa kaapelointityötä. Valinta kahden edellä kuvatun sijoitustavan välillä on lopulta täysin tilaajasta riippuva seikka eikä ratkaisuun ole yksiselitteisesti oikeaa tapaa. [16.]

Kun Profibus-väyläisessä kohteessa moottorilähtöjen määrä ja ohjaustavat on selvitetty, voidaan alkaa kartoittaa verkon jakoa. Prosessiasemalla on omat, valmistajasta riippuvat rajoituksensa laitemäärille, jotka on hyvä selvittää ennen kuin väyläsuunnittelussa edetään pidemmälle. Esimerkkitapauksessa automaatio-suunnittelu määrittää yhdessä laite-toimittajan kanssa kenttäväylälähtöjen maksimiarvot ja toimittaa tiedon sähkösuunnittelulle väylärakennepiirustuksina. [16.]

Prosessiaseman maksimilaitemäärä on sidoksissa laitteen kenttäväyläliitännöiden lukumäärään ja se riippuu valmistajasta. Tyypillisesti liitännöiden määrä on alle 10 kpl per

asema ja näistä jokaiseen voidaan teoriassa liittää 126 laitetta. Niinpä lähtöjen määrä kertoo prosessiaseman suurimman laitemäärän. Liitäntöihin voidaan yhdistää fyysisesti esimerkiksi Profibus-kaapeleita riippuen siitä mitä tiedonsiirtotapoja prosessiasema tukee. Ammattikielessä kenttäväyläliitäntöjä nimitetään toisinaan ”piipuiksi”. [16.]

On tärkeää huomata, että suunnittelussa ei tulisi milloinkaan mitoitaa kenttäväylälähtöjä Profibus DP:n maksimilaitemäärän perusteella. Käytännössä on järkevää pysyä aina alle teknisen raja-arvon, esimerkiksi 80 laitetta per lähtö. Tällä tavoin verkkoon jää varauksia lisäyksien varalle ja sen tiedonsiirto pysyy luotettavampana ajatellen DCS:n hajautusperiaatetta. [16.]

Mikäli väylä on alimitoitettu täyttämällä sen maksimiosoitteimäärää ja uusi moottorilähtö halutaan lisätä jälkeempään, ääritapauksessa joudutaan asentamaan kokonaan uusi ja mahdollisesti kymmenien metrien pituinen kaapelointi prosessiasemalta sähkötilaan. [16.]

Optinen muunnin, eli OLM, toimii verkossa rajapintana optisen ja sähköisen tiedonsiirron välissä. Esimerkkitapauksessa OLM toimii myös rajapintana moottori ohjauksen suunnittelun suhteen. Niinpä OLMista eteenpäin verkon suunnittelua jatkaa sähkösuunnittelu. Kun automaattiosuunnittelu on toimittanut sähkösuunnittelulle prosessiasemien suurimman OLM-lähtöjen määrän ja osoitteellisten laitteiden määrän, voi sähkösuunnittelu alkaa määrittää OLMien lukumäärää moottorikeskuksilla ja kenttäkoteloissa sekä jakaa moottoreita optisille muuntimille. Viimeistään tässä vaiheessa voidaan alkaa puhua moottoriohjauksien osalta toteutussuunnittelun työvaiheesta. [6; 16.]

Optinen muunnin sijoitetaan yleensä joko omaan kennonsa moottorilähtökeskuksessa (kuva 52, KA1) tai kentälle kenttäkoteloihin. OLMien 24 V:n sähkönsyöttö on tapana varmentaa (kuva 52, UPS) siten, että sähkökatkoksen sattuessa vaihdetaan syöttö automaattisesti yleisestä jakeluverkosta UPS-syöttöön ja tehtaan varavoimalle. [6.]

Tavallisesti moottoriohjaimet pyritään sijoittamaan sähkötiloihin, mutta tarpeen mukaan päästään hyvinkin lähelle prosessimoottoreita asentamalla OLMit ja ohjauslaitteet kenttäkoteloihin. Näin toimitaan muun muassa eräiden moottoriventtiilien tapauksessa (kuva 52, TV). [75.]

Yleensä saman väylän OLMit kaapeloidaan renkaaseen, jolloin varayhteys kuljetetaan ihanteellisessa tilanteessa eri reittiä prosessiasemalta moottoriohjaimien luo kuin pääyhteys. Toisaalta samaa reittiäkin pitkin kuljetetut kaapelit suojaavat järjestelmää vähintään liitinviolta ja toisen kaapelin katkeamiselta. Yksi varmennettu rengasverkko vaatii vähintään kaksi liitäntää OLMilta (kaksi lähtöä ja kaksi tuloa). [16.]

Ketjuttamalla OLMeja samassa moottorilähtökeskuksessa vältetään yleensä toistimien tarve, sillä kunkin OLMin taakse muodostuu oma parikaapelisegmenttinsä. Käytännössä tavataan sijoittaa alle 20 laitetta segmenttiä (OLMia) kohden, jotta jäljelle jää osoitevarauksia uusille laitteille, mikäli muutoksia tulee. [16.]

Useiden moottorilähtöjen ryhmittely eri OLMeille voi olla tarkoituksenmukaista myös luotettavuuden kasvattamisen vuoksi, sillä monisolmuudessa väylätopologiassa verkossa riski tuotantokatkokseen kasvaa. Esimerkiksi useilla toistimilla yhdistetyissä segmenteissä riski laitevaurioihin kasvaa laitteiden lisääntyessä ja toisaalta myös katkoksesta kärsivien laitteiden määrä on runsaslukuisempi kuin lyhyessä segmentissä. [16.]

Sähköinen Profibus-kaapelointi alkaa kultakin OLMilta esim. segmentin ensimmäiselle moottoriohjaimelle. Tämä jälkeen moottoriohjaimet ketjutetaan moottorilähtökeskuksessa (kuva 52, KA1) ohjaimelta toiselle, kunnes segmentin viimeiseltä laitteelta viedään kaapelointi aktiiviselle päätevastukselle samaan tilaan OLM-laitteen kanssa moottorilähtökeskukseseen. Käyttämällä erillistä päätevastusta laitteiden lisääminen, poistaminen ja vaihtaminen ei häiritse väylän toimintaa (ks. s. 36). [16.]

Hyvän suunnittelutavan mukaisesti erilaiset moottoriohjaimet ryhmitellään omille OLM-laitteilleen, jos se on vain mahdollista. Esimerkiksi älykkäät moottoriohjaimet jaetaan yhdelle OLMille ja taajuusmuuttajalähdöt toiselle. Suunnittelutapa selkeyttää verkon rakennetta mutta se helpottaa ennen kaikkea kaapelointia, mikäli samantyyppiset moottoriohjaimet sijaitsevat fyysisesti toistensa läheisyydessä. Esimerkkinä huonosta suunnittelusta voidaan karrikoida tapaus, jossa DOL-lähtöjä ja sähkötilan seinälle asennettavia taajuusmuuttajia ketjutetaan mielivaltaisesti perä jälkeen. Tällöin fyysinen kaapelointi joudutaan tekemään useaan kertaan seinäasenteisen taajuusmuuttajien ja keskusasenteisten DOL-lähtöjen välillä. Seurauksena asennustyön tehokkuus laskee ja kustannukset kasvavat. [6; 16.]

Ryhmittelyn ohella hyvän suunnittelun tunnusmerkkinä on tulevaisuuden huomioon ottaminen. Kokemus on osoittanut, että muutoksia tulee aina ja siksi ennakointi on kaukaa viisasta. Ennakointi tarkoittaa esimerkiksi moottorilähtöjen varauksia. Varaukset voivat olla pelkästään osoitteiden varauksia väylässä tai oikeita fyysisiä laitevarauksia moottorilähtökeskuksessa. [16.]

Fyysiset laitevaraukset koskevat lähinnä DOL-lähtöjä, sillä niiden hankinta-arvo on suhteellisen pieni ja ne on helppo kaapeloida tehtaalla etukäteen. Se, miten paljon varauksia tarvitaan ja mille lähdöille, riippuu tilaajasta. Lopuksi suunnittelussa on yleensä ottaen järkevää soveltaa yhdenmukaisuutta, jotta työ on tehokasta ja johdonmukaista. [6.]

Kun moottoriohjaimien paikat, määrät ja tyypit ovat varmistuneet sähkökeskuksessa, voidaan alkaa määrittää niille osoitteita. Toisinaan tilaajalla on oma tapansa osoitteiden määrittelyyn, mutta useimmiten numeroavaruus on suunnittelijan päätettävissä, jolloin voidaan aloittaa numerointi vaikkapa esim. nousevasti osoitteesta viisi. [16.]

6.4 Profinet IO -verkon suunnittelu

Ensi näkemältä selkein ero Profinetin ja Profibusin välillä on tiedonsiirtoon käytetty kytketty Ethernet, joka lisää verkkoon kytkinkomponentit sekä poistaa verkosta erillisten toistimien tarpeen. Lisäksi osaan Profinet-kytkimistä on sisäänrakennettu optiset muuntimet ja näin ollen erilliset OLM-laitteet eivät ole verkossa enää tarpeellisia. Toisaalta Profinet mahdollistaa myös Profibusia monimuotoisemmat topologiamahdollisuudet kuparikaapeloinnin osalta ja lisäetuna samassa Ethernet-kaapelissa voidaan kuljettaa tavallisessa lähiverkossakin käytettävää TCP/IP-liikennettä. Yhtäläisyytenä Profinetin ja Profibusin välillä mm. kytkin sijoitetaan usein moottorilähtökeskukseen samalla tavalla kuin OLM.

Seuraavaksi selostetaan Profinet-liikennöidyn moottoriohjauksen suunnittelua käyttäen apuna PI-järjestön kirjoittamaa Profinet-suunnittelun opasta. Oppaassa annetaan yleiskuvaus myös tehtaan isomman mittakaavan Profinet-suunnittelulle, mutta tässä insinööriyössä ei tutkita näistä jokaista vaihetta yksityiskohtaisesti, sillä moottoriohjauksen suunnittelun kannalta ne eivät ole kaikki oleellisia tekijöitä.

Oppaan luku 2 kuvailee suunnittelun alkuvaiheet edellä esiteltyä Profibus-väylän suunnittelutapaa muistuttavasti siten, että aluksi suunnittelussa määritellään muun muassa laitemäärät, niiden tyypit sekä fyysiset sijoitukset tehtaassa.

Moottoriohjauksen osalta laitevalinnat määritetään ohjattavan kuorman mukaan ja ohjainlaitteet sijoitetaan lähtökohtaisesti sähkötilaan, jossa ympäristöolosuhteet ovat suhteellisen suotuisat. Ohjekirja suosittelee huomioimaan laitteiden liitettävyyden jo suunnittelun alussa. Työn Profinet-yhteensopivissa esimerkkiohjaimissa on kaikissa mahdollisuus ketjuttaa laitteita kahdella RJ-45 -portilla (huom. paitsi FENA-11:ssa). Lisäksi sähkötilassa kytkimen ja moottoriohjaimen tiedonsiirtoon pyritään käyttämään ensisijaisesti kuparista Ethernet-kaapelia. [56, s. 41.]

Suunnittelun alkumetreillä on oppaan mukaan myös järkevää määrittellä laitteille karkeat CC-luokat, jotka kuvaavat mm. aikakriittisyyttä ja Profinet-ominaisuuksia, kuten verkon varmennusta. [56, s. 34] Insinööriyön esimerkkilaitteiden viestintäominaisuudet ovat seuraavanlaiset [63, s. 362; 21, s. 6; 71, s. 46]:

- ACS880:n tiedonsiirtomoduuli FENA-21 käyttää RT-kanavaa (hälytykset).
- UMC100.3:n tiedonsiirtomoduuli PNQ22-FBP.0 käyttää RT-kanavaa (hälytykset).
- Simocode Pro V PN ei käytä RT-kanavaa, mutta se voi siirtää RT-dataa eteenpäin.
- Mikään laitteista ei käytä IRT-kanavaa (CC-C).

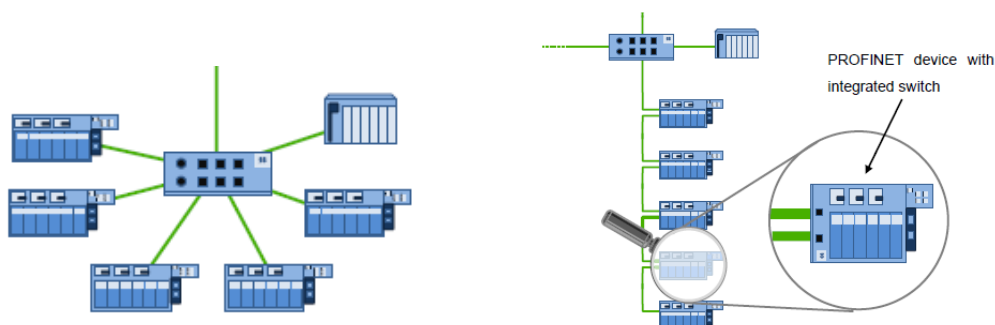
Taulukko 10. CC-luokkien sisältämät ominaisuudet. [68, s. 6]

	CC-A	CC-B	CC-C
Basic function	PROFINET IO with RT communication <ul style="list-style-type: none"> • Cyclic I/O • Parameters • Alarms • Topology information (LLDP) 	PROFINET IO with RT communication <ul style="list-style-type: none"> • Cyclic I/O • Parameters • Alarms • Network diagnostics via IP (SNMP) • Topology information (LLDP) with LLDP-MIB • System redundancy (only for CC-B(PA)) 	PROFINET IO with IRT communication <ul style="list-style-type: none"> • Cyclic I/O • Parameters • Alarms • Network diagnostics via IP (SNMP) • Topology information (LLDP) with LLDP-MIB • Hardware-supported bandwidth reservation • Synchronization
Certification	<ul style="list-style-type: none"> • Controller/devices with certificate • Infrastructure via manufacturer declaration 	<ul style="list-style-type: none"> • Controller/devices with certificate • Infrastructure with certificate 	<ul style="list-style-type: none"> • Controller/devices with certificate • Infrastructure with certificate
Cabling	<ul style="list-style-type: none"> • IEC 61784-5-3 and ISO/IEC 24702 (CC-A Cabling Guide) • Copper, fiber-optic • Wireless 	<ul style="list-style-type: none"> • IEC 61784-5-3 • Copper, fiber-optic 	<ul style="list-style-type: none"> • IEC 61784-5-3 • Copper, fiber-optic
Typical application	<ul style="list-style-type: none"> • Infrastructure • Building Automation 	<ul style="list-style-type: none"> • Factory Automation • Process Automation 	<ul style="list-style-type: none"> • Motion Control

Figure 2: Contents of Conformance Classes

Taulukossa 10 nähdään, että luokka CC-A riittää täyttämään pelkästään RT-kanavan ja hälytysten tiedonsiirron. PI-järjestön conformance class -ohjeen mukaan esimerkiksi varmennetun rengasverkon lisäominaisuus MRP kuuluu luokkaan CC-B. [68, s. 12.]

Seuraavassa suunnitteluoppaan luvussa käsitellään verkon topologiaa. Alkusuunnittelussa kerättyjen tietojen perusteella rakennetaan verkon alustava topologia. Topologia-suunnittelu koskettaa moottoriohjausta lähellä moottoriohjaimia ja redundanttisuusvaatimusten puolesta. Topologiaosuudessa käsitellään myös mm. kaapelointia, josta on poimittu muutamia huomionarvoisia seikkoja kuparikaapeloinnin osalta.



Kuva 53. Tähtitopologia ja väylätopologia [56, s. 52, 54]

Tähtitopologiaa harkitessa on muistettava, että se on haavoittuvainen kytkimen vialle ja runkokaapelin vialle, mutta yksittäisten laitteiden vika ei haittaa verkon toimintaa. [56, s. 52] Väylätopologiassa yhden laitteen vikaantuminen tai irtoaminen ketjusta katkaisee sen jälkeisen verkon toiminnan (ks. kuva 53). [56, s. 54]

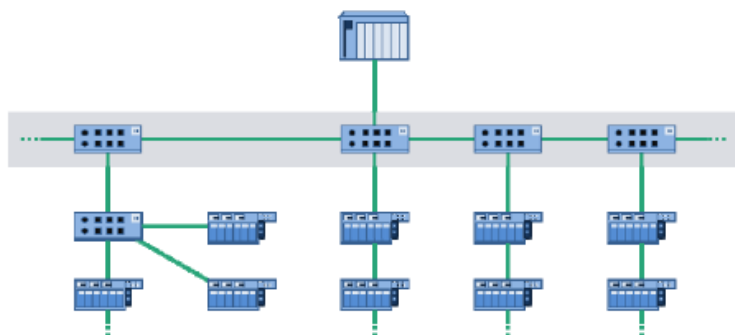
Sen vuoksi sisäisellä kytkimellä varustetut moottoriohjaimet voi olla järkevää asentaa varmennettuun renkaaseen, jotta huoltotöistä ei aiheudu katkosta. [56, s. 75] Työn esimerkituotteet ovat MRP-yhteensopivia, joten rengasverkon rakentaminen ei vaikuta moottoriohjaimien laitevalintoihin. Rengasverkon sulkeva Ethernet-kaapeli ei ole itsessään suuri menoerä, mutta MRP:tä tukevien kytkimien hintaero saattaa kasautua useiden laitteiden verkossa. MRP-varmennusta suunniteltaessa on kuitenkin huomioitava, että renkaassa on maksimissaan 50 solmua. [76, s. 5–6.]

Taulukko 11. Profinet-kaapelien minimietäisyydet. [56, s. 61]

Conduits used for information technology cables and mains power cables			
Separation without electromagnetic barriers	Open metallic conduits a	Perforated metallic conduits b, c	Solid metallic conduits d
10 mm	8 mm	5 mm	0 mm
<p>^a Shielding effect (0 MHz to 100 MHz) equivalent to welded meshed steel basket with mesh size 50 mm x 100 mm. The same shielding effect can be achieved using steel cable trays (cable bundles, without cover) with a wall thickness of less than 1.0 mm and/or an evenly perforated surface of more than 20%.</p> <p>^b Shielding effect (0 MHz to 100 MHz) equivalent to a steel cable tray (cable bundles, without cover) with a minimum wall thickness of 1.0 mm and an evenly perforated surface of not more than 20%. This shielding effect can also be achieved with shielded power cables which do not provide the features specified in footnote d.</p> <p>^c The top surface of the installed cables must be at least 10 mm below the top surface of the barrier.</p> <p>^d Shielding effect (0 MHz to 100 MHz) equivalent to a steel installation pipe with a wall thickness of 1.5 mm. The specified separation distance must be taken into account in addition to the separation distance required by dividers/barriers.</p>			

Kaapeloinnin puolesta PI ohjeistaa suunnitteluoppaassaan Profinet-kaapeleille etäisyysohjeita erilaisiin asennuksiin (ks. taulukko 11) sekä ohjeita mm. taivutussäteisiin. [56, s. 159] Lisäksi suunnitteluoppaassa painotetaan epäonnistuneen maadoituksen olevan yksi yleisimmistä syistä huonoon tiedonsiirtoon. Yleensä kaapelin maadoitus tapahtuu liittimillä, mutta tärkeää on muistaa maadoittaa myös itse laitteet asianmukaisesti ja laitetoimittajan ohjeistamana sekä toteuttaa perusteellinen potentiaalintaus. [56, s. 61–63] Kuparikaapelien välille voidaan tehdä väliliitoksia korkeintaan neljällä liitosparilla sadan metrin välimatkalle, mutta yleensä ottaen ylimäärisiä liitoksia suositellaan välttämään. [56, s. 72]

Mitä valokuitukaapeliin tulee, sen suhteen voisi olla järkevää soveltaa Profibusissa hyväksi todettua tapaa tuoda moottorilähtökeskukselle valokuitukaapelit prosessiasemalta ja rakentaa myös varmennettu rengasverkko tälle välille.



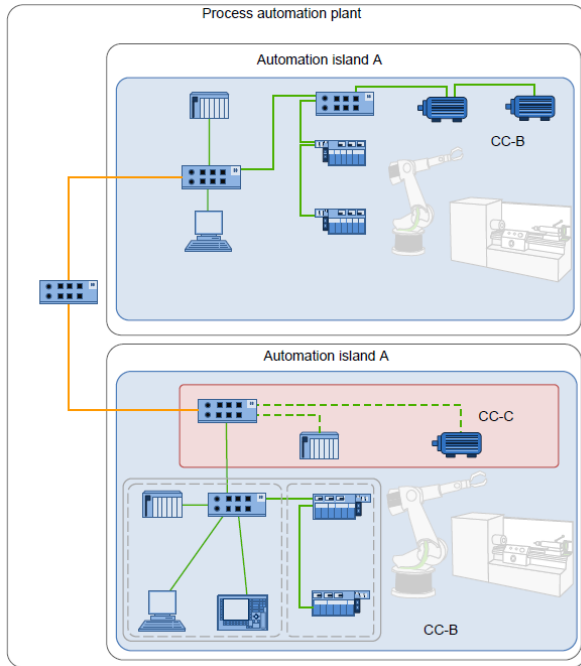
Kuva 54. Verkon kriittisimmässä pisteessä (harmaa alue) tulisi olla Profinet-sertifioituja kytkimiä. [56, s. 74]

Oppaan mukaan ensisijaisien siirtoteiden (kuvassa 54 harmaa alue) ja runsasta liikennettä siirtävien kytkinten tulisi olla Profinet-sertifioituja. Verkon kytkinten suositellaan olevan hallittuja, koska hallituissa kytkimissä on monipuolisen ominaisuudet mm. diagnostiikkaan (CC-B). [56, s. 74, 193]

Koska kytkin on merkityksellinen osa verkkoa, suunnittelun osalta on tärkeää ymmärtää minkälainen kytkin tarvitaan mihinkin käyttötärpeeseen, jotta laitevalinnat ovat kustannustehokkaita. Kytkimen valintaan vaikuttavat muun muassa

- verkon varmuuden tarve
- verkon topologia
- ohjattavat laitemäärät
- ohjattavien laitteiden CC-luokat
- liitäntöjen määrä ja laatu (valokuitu ja kupari).

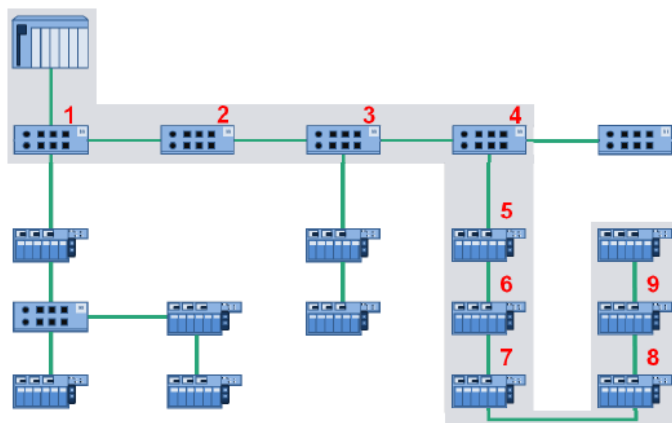
CC-luokan liittyy ennen kaikkea ohjattavan laitteen aikavaatimukseen. CC-A -verkoissa käytetään hallitsemattomia kytkimiä. Hallittuja kytkimiä tulee käyttää CC-B- ja CC-C-verkoissa. [56, s. 193–194]



Kuva 55. Verkon esimerkkirakenne suunnittelun tuloksena. [56, s. 82]

Lopputulos laitesijoittelusta, topologiasuunnitteluista, kaapelien valinnoista ja CC-luokittelusta voisi olla esimerkiksi kuvan 55 kaltainen.

Oppaan luku 4 käsittelee suunnitteluun liittyviä erikoisasioita, kuten yläverkkoon liittymistä, olemassa olevien kaapelointien käyttöä hyväksi sekä diagnostiikka-asemien sijoittelua. Näistä laiteohjelmistojen (engl. firmware) yhtenäisyydestä lienee hyvä muistuttaa ohi menen. Oppaassa neuvotaan, että laiteohjelmistot tulisi olla samaa versiota samoissa laitteissa, ja tälle voidaan todennäköisesti määrittellä jokin ohjearvo suunniteltaessa. [56, s. 89.]



Kuva 56. Väylän syvyys havainnollistettuna. Kuvassa on yhdeksän kytkintä ohjaimen ja laitteen välillä (syvyys 9). [56, s. 111]

Viidennessä luvussa käsitellään verkon suorituskykyä. Luvun tärkeimpänä viisautena moottoriohjauksen kannalta on väylän syvyys. Väylän syvyydellä tarkoitetaan IO-ohjaimen ja IO-laitteen välissä olevien kytkinten määrää (ks. kuva 56). Oppaassa suositellaan maksimissaan 45 solmun pituisia väyliä verkkoon parantamaan käytettävyyttä ja helpottamaan diagnostiikkaa. Samalla tämä mahdollistaa MRP-laajennuksen tulevaisuudessa. [56, s. 112.] Verkon suorituskyvyn kannalta on hyvä tiedostaa, että muu Profinetin kautta siirretty liikenne voi aiheuttaa ruuhkautumista. Tällainen liikenne voi olla esimerkiksi IP-kameroiden tai PC:iden lähettämä dataa. [56, s. 121.]

Kuudennessa luvussa kuvaillaan Profinetin lisäominaisuuksia, kuten verkon rengasvarmennusta (MRP), langatonta tiedonsiirtoa ja sähköistä syöttöä Ethernet-kaapelin kautta (PoE). Viimeisessä luvussa 7 ohjeistetaan laitteen yksilöivien IP-osoitteen ja Profinet-nimen määrittelyä.

Nimeämisen perussääntönä laitekohtaiset nimet voivat sisältää

- pieniä kirjaimia
- numeroita
- pisteitä ja yhdysmerkkejä (-).

PI:n suunnitteluoppaan mukaan muita merkkejä tai välilyöntejä ei voida käyttää. Profinetin asiantuntija Hunter Harrington lisää, että nimi ei voi myöskään alkaa tai loppua yhdysmerkkiin. Hänen mukaansa eräät laitevalmistajat sallivat toisaalta suuret kirjaimet

ohjelmistoissaan, mutta Profibus-verkossa käytössä on todellisuudessa vain pienet kirjaimet. Lisäksi hän toteaa, että laitteen nimen maksimipituus riippuu valmistajasta ja se tulisi tarkistaa tapauskohtaisesti. Joka tapauksessa Profinetin versiossa 2.3 nimen pituus voi olla korkeintaan 240 merkkiä. Pisteillä voidaan jakaa nimiä osiin — itse asiassa 63 merkin jälkeen täytyy seuraavana merkinä olla piste ja osien täytyy olla vähintään yhden merkin pituisia. [77; 78.]

PI:n suunnitteluopas ohjeistaa, että nimeämisen tulisi olla kuvaavaa ja johdonmukaista siten, että nimi kuvaa esimerkiksi laitteen sijaintia tehtaalla tai laitteen tyyppiä. Esimerkiksi älykkään moottoriohjaimen tapauksessa voisi esiintyä sanat ”imc” ja numeroilla voitaisiin erotella tehtaan osat. Niinpä ”imc-1-2” voisi kertoisi käyttäjälle, että kyseessä on älykäs moottoriohjain tehtaanosassa 1 ja moottorilähtökeskuksessa 2. [56, s. 139.]

Taulukko 12. Profinetin CC-luokkien vaikutus IP-osoitteiden valintaan. [56, s. 141]

No. of networks	Class	Address range	Network mask	Number of nodes per network
1	Class A	10.0.0.0 to 10.255.255.255	255.0.0.0	16.8 million
16	Class B	172.16.0.0 to 172.31.255.255	255.255.0.0	65534
256	Class C	192.168.0.0 to 192.168.255.255	255.255.255.0	254

Mikäli IP-osoitteet konfiguroidaan käsin, niin riippuu tapauksesta minkä tahon vastuulla on määrittellä laitteiden IP-osoitteet. Suunnitteluoppaassa muistutetaan nimittäin, että suurissa kohteissa koko IT-verkosta vastaavan osapuoli saattaa määrittellä osoitteet. [56, s. 142.] Moottoriohjauksen suunnittelijan on kuitenkin hyödyllistä ymmärtää osoitteiden määrittelyn perusteet.

IP-osoitteet suositellaan oppaassa määrittelemään loogisesti [56, s. 140], esimerkiksi laitteiden mukaan tai tehtaanosien mukaan. [56, s. 145] Tämän ohella osoitteiden suositellaan olevan yksityisiä, eli taulukon 12 luokkiin jaettujen osoitealueiden (address range) mukaisia. Verkon peite määritellään taulukon mukaan ja kuvassa lihavoitu teksti osoittaa verkon numeron ja normaali teksti sen jälkeen solmun osoitteen. [56, s. 141.]

Osoitteiden osalta suunnittelussa tulisi huomioida tarvittava solujen määrä verkkoa kohden sekä valita sopiva osoitealue. Seuraavassa työvaiheessa tulisi määrittellä laitteet luokitteleva osoitetaulukko luokituksensa mukaan ja lopuksi tarkistaa, että osoitteet ja nimet ovat yksilöiviä eli että ne eivät toistu muualla verkossa. [56, s. 141.]

Liitteessä 7 esitellään esimerkkiverkon nimeämistä ja osoitteiden jakoa esimerkin muodossa. Liitteestä kannattaa huomata, kuinka laitteet on nimetty edellä selostetulla tavalla siten, että ensiksi on määritelty laitetyyppi, sitten tehtaanosan ja lopuksi saareke. Suunnittelu on aloitettu laskemalla kunkin saarekkeen (island A ja B) laitemäärä ja laitetypit taulukkoon. (IO-laite, IO-ohjain, kamera, operaattoriasema ja kytkin) IP-osoitteet on jaettu laitteittain seuraavalla tavalla [56, s. 141]:

- 192.168.2.1 - 192.168.2.19 ohjaimille ja reitittimille
- 192.168.2.20 - 192.168.2.49 kytkimille
- 192.168.2.50 - 192.168.2.199 IO-laitteille
- 192.168.2.200 - 192.168.2.254 muille laitteille

Lisäksi IO-laitteiden osoitteet on jaettu vielä laitekohtaisesti esim. taajuusmuuttajille ja etä-I/O:ille. Etuliitteen 192.168.x.x jälkeen ensimmäinen numero kertoo osoitteessa verkonosan sekä seuraava numero solmun (numero kaksi on automation plant 2). [56, s. 146–147]

6.5 Piirikaaviot ja signaalsiirrot

Kun moottorihjauksen tiedonsiirron suunnittelu on valmis, piirretään piirikaaviokuvat sekä toimitetaan tiedot eteenpäin laitetoimittajille ja urakoitsijoille. Keskuksiin sijoitettavien laitteiden tiedot välitetään moottorilähtökeskuksen valmistajalle, joka toteuttaa laitteiden asennuksen, sijoituksen ja kaapeloinnin keskuksien sisällä. Lisäksi DCS-toimittaja tarvitsee tiedot moottorihjauksen määrästä sekä sähkö/automaatiourakoitsija keskuksen ulkopuolelle asennetuista laitteista. Esimerkin tapauksessa työnjako on tehty siten, että automaatiosuunnittelu kommunikoi DCS-toimittajan kanssa ja sähkösuunnittelu keskuksitoimittajan ja sähköurakoitsijan kanssa. [16]

Tavanomaisesti kun projekti etenee esisuunnittelusta perussuunnitteluun ja toteutukseen, moottorien määrät ja ohjaustarpeet voivat muuttua. Tämä tulee huomioida muun muassa mitoituksessa, osoitteiden jaossa, kaapeloinnissa sekä sähköpiirustuksissa.

Signaalisirrot

Koska kenttäväylät ja teollisuus-Ethernet mahdollistavat laajan kirjon mahdolliselle tiedonsiirrolle, tulee suunnittelussa määrittellä minkälainen tiedonsiirto on moottoriohjauksen kannalta tarpeellista. Suunnittelun aikana suunnittelija toimii toisinaan moottoriohjaintoimittajan ja automaatiojärjestelmän toimittajan välissä määrittelemässä minkälaista tiedonsiirtoa tarvitaan automaatiojärjestelmän ja moottoriohjaimen välillä.

Nämä signaalisirrot tehdään yhteistyössä esimerkiksi asiakkaan electrification, instrumentation & automation -asiantuntijan (EIA) kanssa. Kun moottoriohjaimelta vaaditut tiedot on päätetty, esimerkiksi sähkösuunnittelija välittää ne automaatiojärjestelmän toimittajalle. Samalla tavoin moottoriohjaimen ohjaussanat toimitetaan automaatiojärjestelmän toimittajalle. Edellä kuvatun työvaiheen valmistuttua moottoriohjaimen ja DCS:n välinen liikennöinti saadaan yhteensovitettua.

Tosielämän esimerkkinä taajuusmuuttajalle voidaan tarvita automaatiojärjestelmästä komennot eri moottorinopeuksille. Takaisin automaatiojärjestelmän suuntaan voidaan tarvita mittaustiedot kuorman momentista ja nopeudesta sekä tilatieto vikailmoituksille.

Piirikaaviot

Kuten jo aiemmassa luvussa mainittiin, yhdenmukaisuus suunnittelussa tehostaa työtä. Siksi tyypillisesti moottoriohjauksen piirikaaviot tehdään mallikuvien pohjalta eikä suunnittelijan tarvitse niin sanotusti ryhtyä keksimään pyörää uudestaan.

Piirikaavio on tärkeä dokumentti siinä mielessä, että tutkimalla sitä saadaan runsaasti informaatiota mm. moottoriohjauksesta. Siitä nähdään muun muassa turvakytkennät, apujännitetasot sekä liityntä automaatiojärjestelmään. Seuraavaksi selostetaan muutamia asioita, joihin lukijan kannattaa kiinnittää huomiota lukiessaan liitteisiin sijoitettuja piirikaavioita.

Liite 3 sisältää Profibus-ohjatun DOL-lähdön piirikaavion.

Profibus-ohjatun DOL-lähdön tapauksessa tilatieto turvakytkimen asennosta on kytketty DI0:aan. Vianhakua helpottamassa käytetään tilatietoja kenttäviasta ja keskusviasta digitaalisissa tuloissa.

Piirikaaviosta nähdään, että moottoriohjaimen syöttöjännite sekä digitaaliset tulot toimivat 24 V DC tasossa. Relelähdöt on puolestaan toteutettu 230 V AC jännitteellä. Lisäksi liitteen piirikaaviosta voidaan huomata ketjutetun Profibus-kaapeli kytkentäperiaate tiedonsiirron lisämoduuliin.

Liite 4 sisältää Profinet-ohjatun DOL-lähdön piirikaavion.

Profibus-ohjatun DOL-lähdön piirissä tilatietojen kytkennät on toteutettu hieman eri tavalla kuin Profinet-ohjauksen tapauksessa, mutta ne ajavat periaatteellisesti samoja toimintoja. Profinet-ohjatun DOL-lähdön piirikaaviosta nähdään, että moottoriohjain saa 230 V AC:n syöttöjännitteen, joka on UPS-varmennettu. Lisäksi laitteen kanssa käytetään luonnollisesti erilaista tiedonsiirtomodulia ketjuttamattoman Ethernet-kaapelin kera.

Liite 5 sisältää Profibus-ohjatun taajuusmuuttajalähdön piirikaavion.

Profibus-ohjatun taajuusmuuttajan piirikaaviosta huomataan muutamia eroja DOL-lähtiin nähden: piirissä ei käytetä kontaktoria moottorin kytkentään, ja kentältä tuodaan Profinet-ohjatulle taajuusmuuttajalle lämpötilamittaus XDI6:een. Lisäksi taajuusmuuttajan XPOW-liittimeen kytketään ulkoinen 24 V DC:n syöttöjännite. Tämän ansiosta taajuusmuuttaja voidaan parametroida, vaikka pääpiiri olisi jännitteetön.

Liite 6 sisältää Profinet-ohjatun taajuusmuuttajalähdön piirikaavion.

Liitteestä 6 huomataan, miten Profinet-ohjattu taajuusmuuttaja on ketjutettu Ethernet-kaapelilla ja sen tilatiedot ovat paljon yksinkertaisempia kuin muilla ohjaustavoilla toteutettuna.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä on esitelty prosessiteollisuuden moottoriohjaimia, niiden tiedonsiirtoa automaatiojärjestelmän välillä sekä moottoriohjauksen suunnittelua.

Insinööriyö voidaan erotella alkupäämääriltään kahteen osaan: ensimmäisenä päämääränä oli saada aikaan yleisluonteinen tutkielma suomalaisesta prosessiteollisuuden moottoriohjauksesta, jota useat eri tahot voisivat käyttää perehtyessään alaan. Tilaajan osalta työssä haluttiin jäsenellä sisäistä osaamista yhdeksi kokonaisuudeksi sekä kehittää Profibus- ja Profinet-osaamista erityisesti moottoriohjauksen näkökulmasta.

Työn tavoitteet olivat kunnianhimoisia jo alusta lähtien aikatauluun nähden, ja sen edessä havaittiin, että kompromisseja oli tehtävä, jotta se saataisiin valmiiksi kohtuullisessa ajassa. Tutkielmassa oli alun perin ajatuksena käsitellä pikaisesti muitakin teemaa sivuavia aihepiirejä, kuten esimerkiksi moottorin jarruttamista, mutta niiden pois jättäminen ei vaikuta sinällään lopputulokseen saada aikaan perusteet antava moottoriohjauksen tutkielma. Lisäksi viimeiseen lukuun sisältyvä katsaus moottoriohjauksen Profinet-suunnittelusta on jättänyt tilaa jatkojalostukselle ja se jatkuukin edelleen vielä tämän työn jälkeen.

Eräs työn haasteista oli runsas teknisen materiaalin englanninkielinen käsittely, sillä se on raskasta luettavaa sujuvallekin kielen käyttäjälle. Niinpä välillä materiaaleihin perehtyessä oli käytävä samoja asioita läpi useista eri lähteistä väärinymmärrysten välttämiseksi. Aina kirjallinen tutkimus ei riittänyt tuomaan selvyttä, vaan tietoa jouduttiin varmistamaan asiantuntijalähteistä. Toiseksi haasteeksi muodostui insinööriyön laajuuden hallinta ja ytimekkyyden säilyttäminen. Kaikista haasteellisinta oli kuitenkin löytää ajantasaista kirjallisuutta työn aihealueesta – erityisesti suomenkielisenä. Suurin osa tuoreimmasta tiedosta saatiin niin ikään asiantuntijoilta sekä verkkomateriaalien muodossa.

Tämän yhteenvetoluvun takana on noin sata sivua tekstiä suomalaisesta prosessiteollisuuden moottoriohjauksesta, mitkä on koottu lukuisista kirjallisista teoksista, teknisistä oppaista ja ohjekirjoista. Tekstiä on jalustettu asiantuntijahaastatteluilla, sitä on uudelleenmuotoiltu ystävien ja kollegoiden oikolukemana ja sitä karsittu pois monien sivujen edestä. Lopputulos täyttää siis ensimmäisen alkutavoitteen epäilemättä, sillä teokseen

tutustumalla sähkötekniikan perusteet omaava lukija saa peruskäsityksen suomalaisen prosessiteollisuuden moottoriohjauksesta.

Jälkeenpäin katsottuna työn päämäärät jäsenellä yrityksen sisäistä osaamista sekä suorittaa Profibus- ja Profinet-tutkimusta tuottivat hedelmää mutta tutkielman laajuuden vuoksi kehitettävää jäi edelleen. Pelkästään Profinet-suunnittelusta olisi voinut syntyä sata sivua asiatekstiä. Työn tilaaja voi kuitenkin hyödyntää tutkimusta sellaisenaan esimerkiksi tulevien projektien suunnittelutyössä. Lisäksi selvitys on luonut pohjaa jatkotutkimukselle, jossa voidaan muun muassa määritellä entistä tarkemmat ohjeet suunnitellun.

Ensimmäisen tavoitteen mukaisesti insinööri-työ on myös perehdyttänyt allekirjoittaneen aihepiiriin syvällisemmin kuin yksikään kurssi tai opintojakso aikaisemmin. Insinööri-työssä kehittyivät huomasti oma kokonaiskuva ja ymmärrys prosessiteollisuudesta, automaatiotekniikasta sekä moottoriohjauksesta. Erityisesti hankittu kenttäväylätuntemus ja teollisuus-Ethernetin perusteisiin tutustuminen pitävät ajan hermoilla ja palvelevat omaa urakehitystä. Sen ohella työ on arvokkaana lisänä ollut omiaan kehittämään teknisen englannin osaamista – seikka, joka tukee erityisesti kansainvälisten projektien parissa työskentelyä.

Lopuksi voidaan nähdä, että työ on sivutuotteena edistänyt kirjoittajan omaa henkistä kasvua. Lukuisat työtunnit opinnäytetyön parissa ovat kehittäneet ajanhallintaa sekä kykyä kestää stressiä ja itsekritiikkiä. Täydellisyyttä tavoittelevalle luonteelle on ollut painokoitellen kivuliasta tehdä kompromisseja mutta samalla se on ollut myös perin opettavaista. Tästä koetuksesta on takuulla hyötyä nykyajan projektipohjaisessa ja tiukka-aikatauluisessa työelämässä.

Viimeiseksi haluan osoittaa aiheelliset kiitokset niille, jotka auttoivat ylittämään työssä kohdattuja ongelmia ja haasteita sekä heille, joita ilman insinööri-työ ei olisi voinut toteutua sellaisenaan.

Pasi Haravuorelle haluan osoittaa kiitoksen mahdollisuudesta toteuttaa työni yhteistyössä Sweco Industryn kanssa. Tässä työssä kohdattua kirjallisuuden puutetta auttoivat paikkaamaan Sweco Industryn asiantuntijoista erityisesti Pauli Aholainen, Roope Grönroos, Leevi Huttunen ja Ilpo Karhu. Heidän haastatteluillaan ja kommentteillaan saatiin

tutkielmaan arvokas kosketus työelämään. Edellä mainittujen asiantuntijoiden joukkoon tulee lukea työpaikkaohjaajani Erkki Härö, jonka ansiosta myös työn koko pysyi kohtuuden rajoissa. Lisäksi sain organisaation ulkopuolelta tukea vaikeiden aihepiirien käsitteilyyn mm. Anssi Mäkyseltä ABB:ltä. Lopuksi vielä kiitos kaikille Metropolian opettajille, ystäville sekä kollegoille, jotka tukivat minua läpi työn oikoluvulla, kommenteilla ja kannustuksella!

Lähteet

- 1 Kippo, Asko K & Tikka, Aimo. 2008. Automaatiotekniikan perusteet, Helsinki: Edita Prisma Oy.
- 2 Karhu, Ilpo. Projektipäällikkö, Sweco Industry, Helsinki. Keskustelu 7.12.2018.
- 3 Aura, Lauri & Tonteri, Antti J. 1986. Sähkämiehen käsikirja 3, tehoelektroniikka ja sähkökoneiden käyttö. Porvoo, Helsinki, Juva: Werner Söderström Osakeyhtiö.
- 4 Aura, Lauri & Tonteri, Antti J. 1986. Sähkämiehen käsikirja 2, sähkökoneet. Porvoo, Helsinki, Juva: Werner Söderström Osakeyhtiö.
- 5 Wikipedia, Metal-halide lamp. Verkkoaineisto. <https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-halide_lamp>. Päivitetty 27.11.2018. Luettu 10.1.2019.
- 6 Härö, Erkki.Härö. Ryhmäpäällikkö, Sweco Industry, Helsinki. Keskustelu Erkki. 11.1.2019.
- 7 K. C. Agrawal. 2001. Industrial Power Engineering Applications Handbook. Britannia: Butterworth-Heinemann.
- 8 Unitec Institute of Technology. 2017. Electrical Machine Dynamics (ENGG MG7011), Lecture 2: Induction Motors. Kurssimateriaali. Auckland.
- 9 Härö, Erkki. 2018. Ryhmäpäällikkö, Sweco Industry, Helsinki. Keskustelu 18.12.2018.
- 10 Härö, Erkki. 2018. Ryhmäpäällikkö, Sweco Industry, Helsinki. Keskustelu 22.11.2018
- 11 Stephen L. Herman. 2014. Industrial Motor Control. 7th Edition. Yhdysvallat: Delmar, Cengage Learning.
- 12 Unitec Institute of Technology. 2017. Electrical Machine Dynamics (ENGG MG7011), Lecture 8 AC Machine control. Kurssimateriaali. Auckland.
- 13 Karri, Tuomas. 2009. Valokaarisuojausmenetelmien vertailu. Opinnäytetyö. Vaasan yliopisto. Tritonia-tietokanta.
- 14 Mäkinen, Markku J.J & Kallio, Raimo. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Otava.

- 15 ABB. Pehmökäynnistinopas. Verkkoaineisto. <https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf>. Haettu 13.1.2019.
- 16 Aholainen, Pauli. Projekti-Insinööri, Sweco Industry, Helsinki. Keskustelu 14.1.2019.
- 17 Sharma, KLS. 2011. Overview of Industrial Process Automation. 1st edition. Elsevier.
- 18 Aalto yliopisto. 2015. Automaatio 1, ELEC-C1210, 3. Automaatiojärjestelmien rakenne. Verkkomateriaali. <https://mycourses.aalto.fi/plu-ginfile.php/293727/mod_resource/content/2/Automaatioj%C3%A4rjestelmien%20rakakenne.pdf>. Luettu 14.1.2019.
- 19 ABB. 2018. UMC100.3 Universal Motor Controller Manual. Verkkomateriaali. <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CDC135032D0204&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 1.10.2018.
- 20 Mäkynen, Anssi. 2012. UMC100 toiminnallisuus. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 21 ABB. 2018. PNQ22-FBP.0 Profinet IO interface manual (UMC100.3). Verkkomateriaali. <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2CDC192015D0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 11.1.2019.
- 22 Härö, Erkki & Huttunen, Leevi. Ryhmäpäällikköt, Sweco Industry, Helsinki. Keskustelu 8.11.2018.
- 23 Hirvelä, Ville. 2017. Älykäs moottoriohjain. Opinnäytetyö. Centria ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 24 Siemens. 2018. Simocode Pro System Manual. Verkkoaineisto. <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743957/Systemhandbuch_SI-MOCODE_pro_en-US.pdf?download=true> Haettu 13.1.2019.
- 25 Siemens. Simocode-moottorisuojaus. Verkkomateriaali. <http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/pienjannitekojeet/kytkenta_suojaus_ja_ohjaus/simocode_alykas_moottorisuojaus.htm>. Luettu 29.10.2018.

- 26 Siemens. 2018. Parameterizing Simocode pro. Verkkomateriaali. <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743958/SIMOCODE_pro_parameterieren_en-US.pdf?download=true>. Luettu 21.1.2019.
- 27 Haapala, Tero. 2011 Simocoden käyttöönotto. Opinnäytetyö. SAMK. Theseus-tietokanta.
- 28 ABB. 2013. Softstarters Type PSR, PSS, PSE, PST and PSTB. Verkkomateriaali. <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SFC132005C0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 20.1.2019
- 29 Mäkinen ym. 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.
- 30 Hietalahti, Lauri Teollisuuden sähkökäytöt., Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka, 2013, 1. painos.
- 31 Unitec Institute of Technology. 2017. Electrical Machine Dynamics (ENGG MG7011), Lecture 3: Motor Starting & Speed Control. Kurssimateriaali. Auckland.
- 32 Solcon. 2018. Product guide. Verkkomateriaali. <<https://www.solcon.com/solcon.com/originals/Solcon-Industries-Product-Guide-Online-2018.pdf>>. Luettu 13.1.2019.
- 33 Wikipedia. Variable-frequency drive. Verkkomateriaali. <https://en.wikipedia.org/wiki/Variable-frequency_drive>. Päivitetty 6.1.2019. Luettu 13.1.2019.
- 34 ABB. 2000. TTT-käsikirja 2000-07, Luku 18: sähkömoottorikäytöt.
- 35 Keinänen ym. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. 1. painos. WSOY Oppimateriaalit Oy.
- 36 Wikipedia. Pulssinleveysmodulaatio. Verkkomateriaali. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Pulssinleveysmodulaatio>>. Päivitetty 21.1.2017. Luettu 1.13.2019
- 37 Rockwell Automation. 2014. When to use a Soft Starter or an AC Variable Frequency Drive. Verkkomateriaali. <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/150-wp007_-en-p.pdf>. Luettu 13.1.2019.
- 38 Danfoss. Vacon programming. Verkkomateriaali. <<https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dds/vacon-programming/>>. Luettu 13.1.2019.

- 39 ABB. 2018. ACS880, single drives 0.55 to 3200 kW. Verkkomateriaali. <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000098111&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>>. Luettu 13.1.2019.
- 40 Hakala, Erno. 2009. Profibus PA-väylän liittäminen Metso-DNA -automaatiojärjestelmään. SAMK. Opinnäytetyö.
- 41 Silvola, Risto. 2006. Reaaliaikaiset teollisuus-Ethernet -ratkaisut automaatiojärjestelmissä. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.
- 42 Wikipedia. Digital signal. Verkkomateriaali. <https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_signal>. Päivitetty 16.1.2019. Luettu 17.1.2019.
- 43 Wikipedia. Digitaalisuus. Verkkomateriaali. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Digitaalisuus>>. Päivitetty 18.2.2018. Luettu 13.1.2019.
- 44 ABB. 2016. Ohjelmointiopas, ACS880-perusohjausohjelma. Verkkomateriaali <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000111131&LanguageCode=fi&DocumentPartId=1&Action=Launch>>. Luettu 13.1.2019.
- 45 Profibus & Profinet International. 2016. Profibus System Description, Technology and Application. Verkkomateriaali <<https://www.profibus.com/index.php?elD=dumpFile&t=f&f=52380&token=4868812e468cd5e71d2a07c7b3da955b47a8e10d>>. Luettu 14.1.2019.
- 46 Mustonen, Jukka-Pekka. 2011. Profibus-kenttäväylien testausympäristö ja mittauksien kehittäminen. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. 25.8 2011. Theseus-tietokanta.
- 47 Profibus & Profinet International. 2018. More than 20 million PROFINET devices on the market. Verkkomateriaali. <<https://www.profibus.com/newsroom/press-releases/more-than-20-million-profinet-devices-on-the-market/>>. Päivitetty 20.4.2018. Luettu 14.1.2019.
- 48 Weigmann, Josef & Gerhard Kilian. 2003. Decentralization with Profibus DP/DPV1. 2nd version. Erlangen: Publicis Corporate Publishing.
- 49 Wikipedia. Profibus. Verkkomateriaali. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Profibus>>. Päivitetty 4.12.2018, Luettu 14.1.2019.
- 50 Profibus & Profinet International. 2015. Verkkomateriaali. Profibus Design Guideline (Version 1.13).

- <<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=50537&token=50bb464a0154a8c6bbf612619a0910ce04f08953>>. Luettu 17.1.2019.
- 51 ProfineWS. 2015. Tech Tip: How Many Devices on a PROFIBUS Network. Verkkomateriaali. <<http://profineWS.com/2015/01/tech-tip-how-many-devices-on-a-profibus-network/>>. Luettu 27.1.2019.
- 52 Siemens. 2009. Profibus Network Manual, System Manual. Ohjekirja. <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/591/35222591/att_105793/v1/mn_pbnets_76.pdf>. Luettu 14.1.2019.
- 53 ABB. 2015. PDP32.0, Profibus DP-V1 Interface. Verkkomateriaali. <<https://library.e.abb.com/public/21421dc824d5b441c1257e000027494b/2CDC192016D0202.pdf>>. Luettu 15.1.2019.
- 54 Wikipedia. Electrical termination. Verkkomateriaali. <https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_termination>. Päivitetty 23.7.2018. Luettu 15.1.2019.
- 55 Siemens. 2015. Optical link module, Operating Instructions. Verkkomateriaali. <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/821/109476821/att_845961/v1/BA_OLM4_76.pdf>. Luettu 15.1.2019.
- 56 Profibus & Profinet International. 2014. Profinet Design Guideline (Version 1.14). Verkkomateriaali. <<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=49687&token=1cdfc1d097bf8888ed4e0ac00f8a49d63db34a84>>. Päivitetty 12.2014. Luettu 24.1.2019.
- 57 Suomen Automaatioseura ry. 2007. Teollisuuden laiteverkot, johdatus väylätekniikkaan. Helsinki.
- 58 Siemens. 2008. Profinet System Description, System Manual. Verkkomateriaali. <http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto/profinet/man_pnsystem_description.pdf>. Luettu 15.1.2019.
- 59 Profibus & Profinet International. 2018. Profinet, the leading communication system. Verkkomateriaali. <<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=74347&token=781db12c0cba1f89ba23b8b91aa4be7112eeab28>>. Luettu 15.1.2019.
- 60 Wikipedia. ISO/IEC 11801. Verkkomateriaali. <https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_11801>. Päivitetty 10.1.2019. Luettu 15.1.2019.

- 61 Wikipedia. Fast Ethernet, 100BASE-TX. Verkkomateriaali. <https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Ethernet#100BASE-TX>. Päivitetty 8.1.2019. Luettu 15.1.2019.
- 62 Mäkynen, Anssi. Lead Engineer, ABB. Sähköpostikirjeenvaihto 21.12.2018.
- 63 ABB. 2018. FENA-01/-11/-21 Ethernet adapter, user's manual. Verkkomateriaali. <<http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000093568&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>>. Luettu 16.1.2019.
- 64 Profibus & Profinet International. 2018. Profinet System Description, Technology and Application. Verkkomateriaali. <<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=82430&token=7cbb78f5ba6b3e17762ab594f803f1901eb24fdf>>. Päivitetty 11.2018. Luettu 15.1.2019.
- 65 Profibus & Profinet International. 2018. Profinet Cabling Guide. <<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=77300&token=eb8f9ecf7f653c554eb903ee30141dcbf2c785c5>>. Päivitetty 5.2018. Luettu 27.1.2019.
- 66 Siemens. 2008. Profinet, answers for industry. <http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto/profinet/br_profinet.pdf>. Luettu 15.1.2019.
- 67 Profibus & Profinet International. 2016. The Difference between Profibus and Profinet. <<https://us.profinet.com/the-difference-between-profibus-and-profinet/>>. Luettu 27.1.2019.
- 68 Profibus & Profinet International. 2011. Profinet IO Conformance Classes. Verkkomateriaali. <<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=44266&token=1d81c134b224334c62d388673080f12267581e62>>. Luettu 15.1.2019.
- 69 Siemens. 2018. Parameterizing SIMOCODE pro. Operating Manual. Verkkomateriaali. <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743958/SI-MOCODE_pro_parametrieren_en-US.pdf?download=true>. Päivitetty 11.2018. Luettu 13.1.2019.
- 70 Siemens. 2018. Simocode Pro, getting started. Verkkomateriaali. <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743956/Getting_Started_SI-MOCODE_pro_en-US.pdf?download=true>. Päivitetty 11.2018. Luettu 16.1.2019.

- 71 Siemens. 2018. Simocode Pro, communication. Verkkomateriaali. <https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743960/Kommunikation_SIMOCODE_pro_en-US.pdf?download=true>. Päivitetty 11.2018. Luettu 16.1.2019.
- 72 ABB. 2017. Laiteopas, ACS880-07-taajuusmuuttajat. Verkkomateriaali. <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000125118&LanguageCode=fi&DocumentPartId=1&Action=Launch>>. Päivitetty 11.12.2017. Luettu 16.1.2019.
- 73 ABB. 2017. Laiteopas, ACS880-01-taajuusmuuttajat. Ohjekirja. <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000103704&LanguageCode=fi&DocumentPartId=1&Action=Launch>>. Päivitetty 8.8.2017. Luettu 16.1.2019.
- 74 ABB. 2018. FPBA-01 PROFIBUS DP adapter module, user's manual. Verkkomateriaali. <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE68573271&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>>. Luettu 16.1.2019.
- 75 Grönroos, Roope. Projekti-insinööri, Sweco Industry, Helsinki. Keskustelu 10.1.2019.
- 76 Siemens. 2016. Setup of a Ring Topology Based on MRP. Verkkomateriaali. <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/614/109739614/att_891688/v3/109739614_MRP_DOKU_V10_en.pdf>. Luettu 27.1.2019.
- 77 ProfineWS. 2017. What's in a (Profinet Device) Name?. Verkkomateriaali. <<http://profineWS.com/2017/01/whats-in-a-profinet-device-name/>>. Luettu 28.1.2019.
- 78 Siemens. 2015. What are the rules for PROFINET device names in PROFINET specification V2.3?. <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479552/what-are-the-rules-for-profinet-device-names-in-profinet-specification-v2-3-?dti=0&lc=en-AR>>. Luettu 29.1.2019.
- 79 ABB. Universal Motor Controller 100.3. Verkkomateriaali. <<https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/moottorihjaimet/umc/umc100>>. Luettu 29.1.2019.
- 80 Profibus & Profinet North America. Profibus vs. Profinet, Comparison and Migration Strategies. Verkkomateriaali. <<https://www.profibus.ie/wp-content/uploads/2018/02/PB-vs-PN-and-migration-strategies.pdf>>. Luettu 29.1.2019.
- 81 Sweco Industry. 2018. Yrityksensisäiset piirikaaviot. Helsinki.

- 82 ABB. PS-FBPA, FieldBus Plug Accessory for PSR and PSE Softstarters. Verkkomateriaali. <<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SFC132033M0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 29.1.2019.
- 83 ABB. PS-FBPA. Verkkomateriaali. <<https://new.abb.com/products/en/1SFA896312R1002/ps-fbpa-fbpa>>. Luettu 29.1.2019.
- 84 ABB. FPBA-01. Verkkomateriaali. <<https://new.abb.com/drives/fi/liitettavyys/kenttavaylayhteydet/profibus/profibus-dp-fpba-01>>. Luettu 29.1.2019.
- 85 ABB. FENA-21. Verkkomateriaali. <<https://new.abb.com/drives/fi/liitettavyys/kenttavaylayhteydet/profinet/fena-21>>. Luettu 29.1.2019.

XPOW Ulkoinen syöttöjännite		
1	+24VI	24 V DC, 2 A
2	GND	

XAI Ohjejännite ja analogiatulot		
1	+VREF	10 V DC, R_L 1...10 kohm
2	-VREF	-10 V DC, R_L 1...10 kohm
3	AGND	Maa
4	AI1+	Nopeusohje 0(2)...10 V, $R_{in} > 200$ kohm ¹⁾
5	AI1-	
6	AI2+	Tehdasasetus, ei ohjelmoitu. 0(4)...20 mA, $R_{in} = 100$ ohm ²⁾
7	AI2-	
J1	J1	AI1 – virran/jännitteen valinnan siirtoliitin
J2	J2	AI2 – virran/jännitteen valinnan siirtoliitin

XAO Analogialähdöt		
1	AO1	Moottorin nopeus (rpm) 0...20 mA, $R_L < 500$ ohm
2	AGND	
3	AO2	Moottorin virta 0...20 mA, $R_L < 500$ ohm
4	AGND	

XD2D Taajuusmuuttajien välinen liitäntä		
1	B	Taajuusmuuttajien välinen liitäntä
2	A	
3	BGND	
J3	J3	Liitännän päätevastuksen valintakytkin

XRO1, XRO2, XRO3 Relelähdet		
11	NC	Valmis 250 V AC / 30 V DC 2 A
12	COM	
13	NO	
21	NC	Käy 250 V AC / 30 V DC 2 A
22	COM	
23	NO	
31	NC	Vika(-1) 250 V AC / 30 V DC 2 A
32	COM	
33	NO	

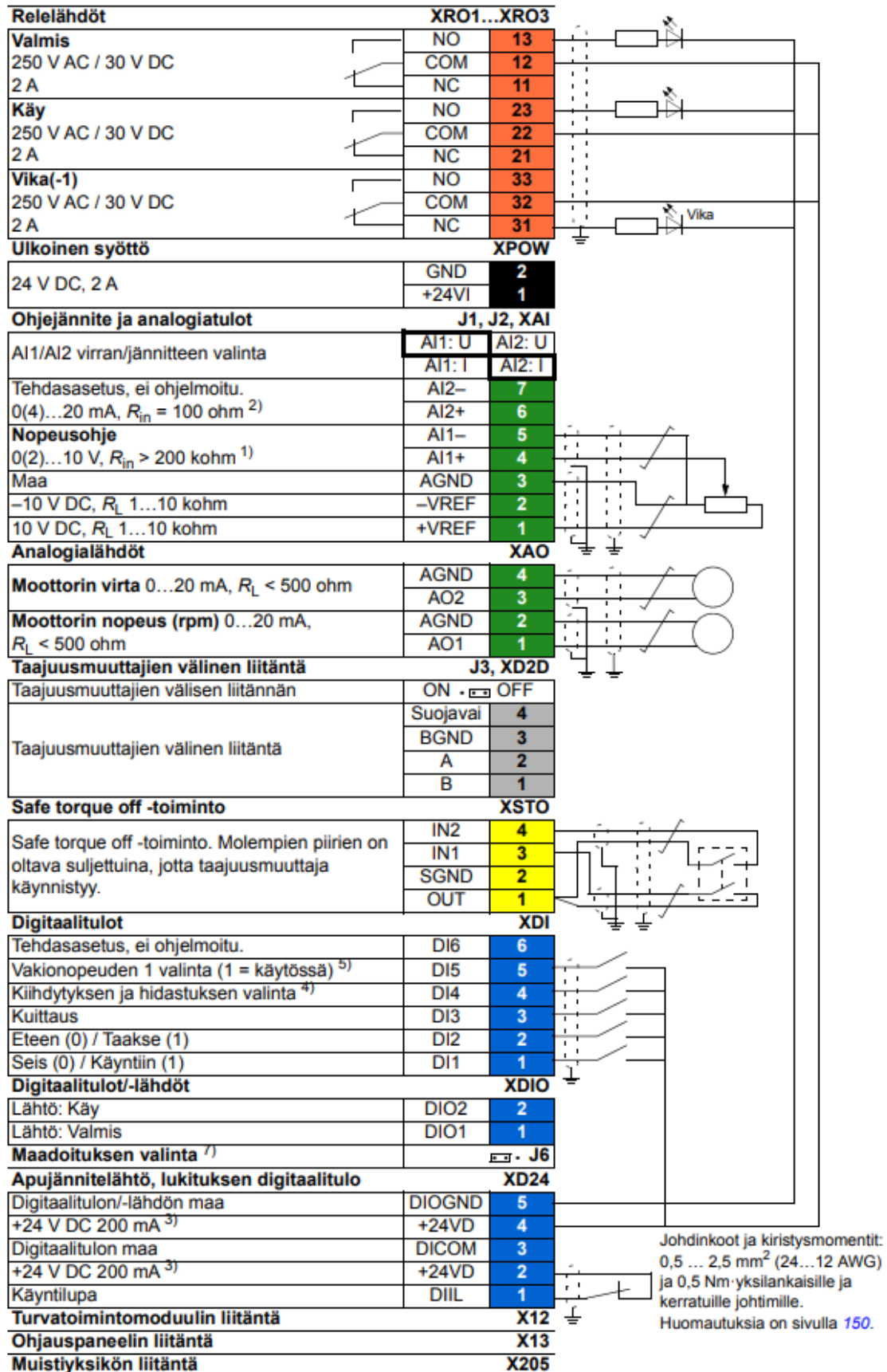
XD24 Digitaalinen lukitus		
1	DIIL	Käyntilupa
2	+24VD	+24 V DC 200 mA ³⁾
3	DICOM	Digitaalitulon maa
4	+24VD	+24 V DC 200 mA ³⁾
5	DIOGN	Digitaalitulon/-lähdon maa
J6		Maadoituksen valintakytkin

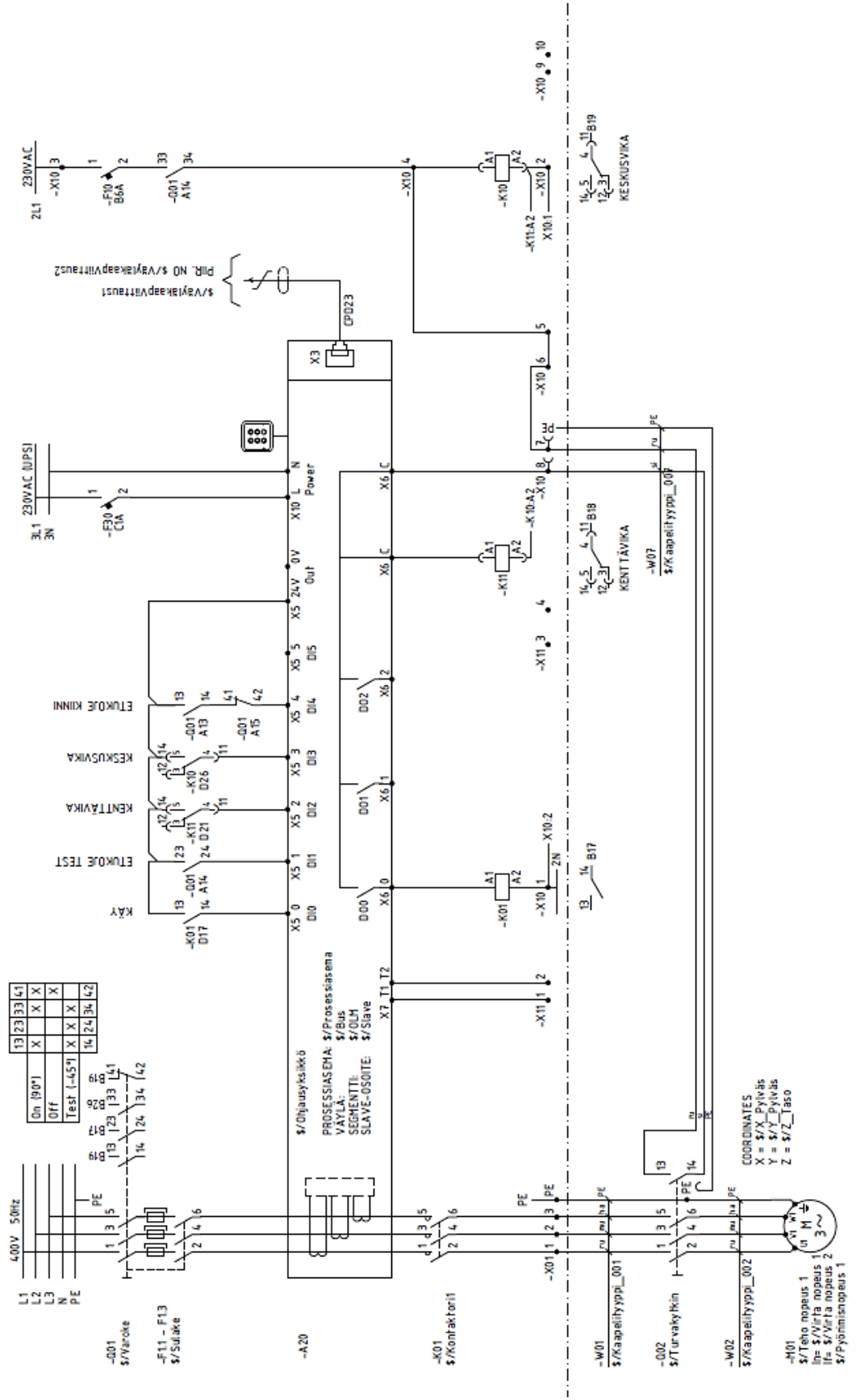
XDIO Digitaalitulot/-lähdet		
1	DIO1	Lähtö: Valmis
2	DIO2	Lähtö: Käy

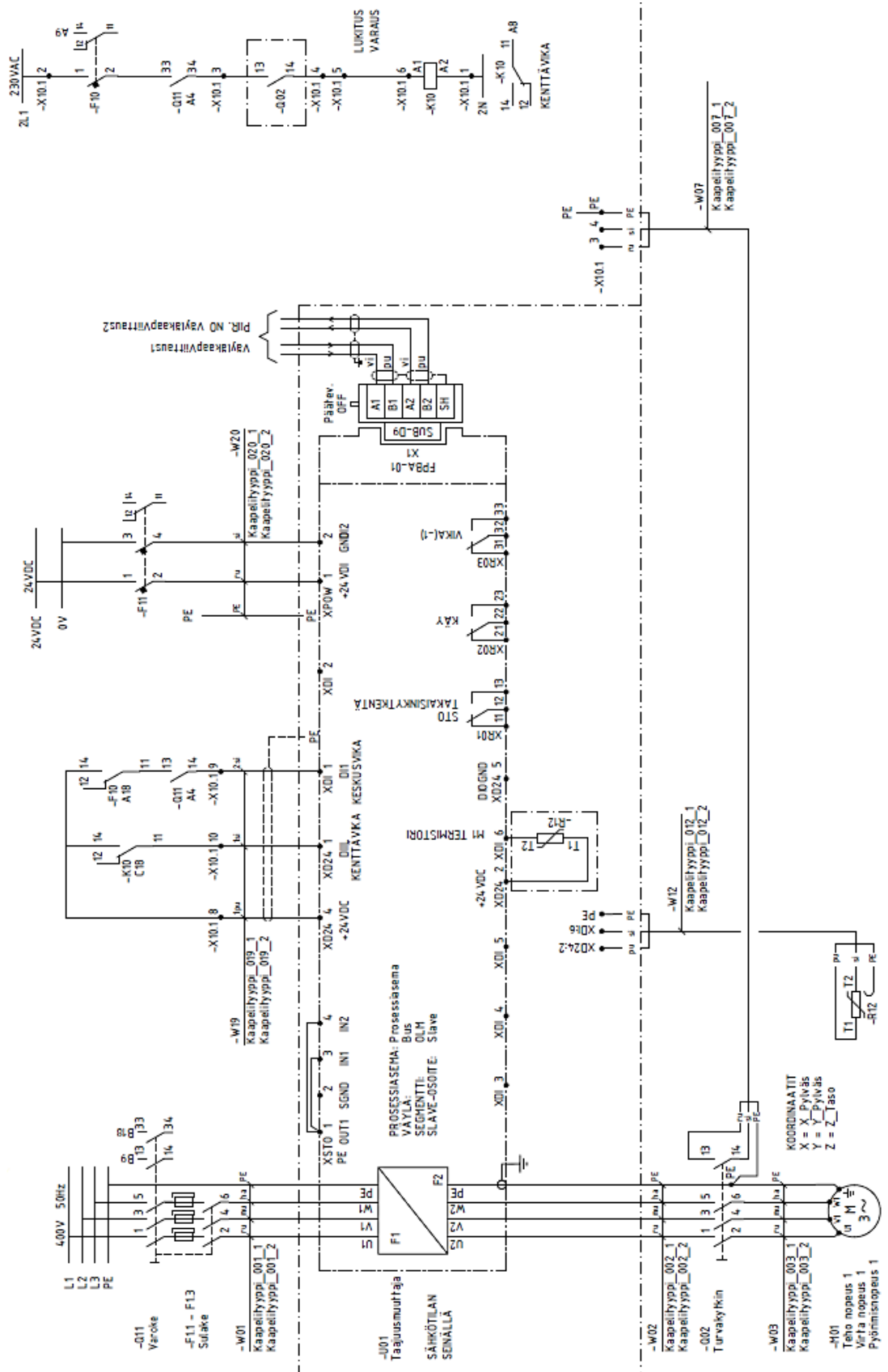
XDI Digitaalitulot		
1	DI1	Seis (0) / Käyntiin (1)
2	DI2	Eteen (0) / Taakse (1)
3	DI3	Kuittaus
4	DI4	Kiihdytyksen ja hidastuksen valinta ⁴⁾
5	DI5	Vakionopeus 1 (1 = Käytössä)
6	DI6	Tehdasasetus, ei ohjelmoitu.

XSTO Safe torque off -toiminto		
1	OUT1	Safe torque off -toiminto. Molempien piirien on oltava suljettuina, jotta taajuusmuuttaja käynnistyy.
2	SGND	
3	IN1	
4	IN2	

X12	Turvatoimintomoduulin liitäntä	
X13	Ohjauspaneelin liitäntä	
X205	Muistiyksikön liitäntä	







Type	Name according to planning	Device name	IP address:
Router	ROUT_V1	-/-	192.168.2.1
-/-	-/-	-/-	-/-
PN IO controller	CPU-123-AB	cpu-1-1-1	192.168.2.2
PN IO controller	CPU-345-CD	cpu-1-2-1	192.168.2.3
PN IO controller	CPU-678-EF	cpu-1-2-2	192.168.2.4
Switch	Switch-AB1	swi-1-0-1	192.168.2.20
Switch	Switch-CD2	swi-1-1-1	192.168.2.21
Switch	Switch-EF3	swi-1-1-2	192.168.2.22
Switch	Switch-GH3	swi-1-2-3	192.168.2.23
Switch	Switch-IJ4	swi-1-2-4	192.168.2.24
PN IO device	I/O device V3	io-1-1-1	192.168.2.50
PN IO device	I/O device V2	io-1-1-2	192.168.2.51
PN IO device	I/O device V6	io-1-2-1	192.168.2.52
PN IO device	I/O device-98	io-1-2-2	192.168.2.53
PN IO device	DRIVE_IRT	drv-1-1-1	192.168.2.100
PN IO device	DRIVE_V2	drv-1-1-2	192.168.2.101
PN IO device	DRIVE_V4	drv-1-2-1	192.168.2.102
PN IO device	IO_PANEL_1	hmi-1-2-1	192.168.2.150
Video camera	CAM_V1	-/-	192.168.2.200
Control station	STAT_1	-/-	192.168.2.201
Control station	STAT_2	-/-	192.168.2.202
PN IO Supervisor	IO_SUP_1	-/-	192.168.2.203
PN IO Supervisor	IO_SUP_2	-/-	192.168.2.204