

## Teollisuuden moottorikeskukset

Eero Paananen

Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala  
Sähkövoimatekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö  
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

## ALKUSANAT

Haluan kiittää ohjaajaani DI Jaakko Ettoa saamastani tuesta ja neuvoista tämän opin-  
näytetyön kirjoittamisen aikana.

Kemissä 28.5.2014

Eero Paananen

## TIIVISTELMÄ

## LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Eero Paananen
Opinnäytetyön nimi:	Teollisuuden moottorikeskukset
Sivuja (joista liitesivuja):	71 (5)
Päiväys:	28.5.2014
Opinnäytetyön ohjaaja:	DI Jaakko Etto
<p>Opinnäytetyön aiheena oli teollisuuden moottorikeskusten rakenteet ja ominaisuudet. Tavoitteena oli perehtyä keskusten toteutustapoihin ja esitellä piirikaavio- ja komponenttitasojen erilaisia ratkaisuja. Tavoitteena oli myös esitellä moottorilähtöjen kokeiden mitoitusperusteita.</p> <p>Moottorikeskuksista esitellään välireleillä toteutettujen ja älykkäiden moottorikeskusten komponentteja ja suojausratkaisuja. Komponenteista esitellään moottorilähtöjen pää- ja ohjauspiirien komponentit. Suojauksen osalta työssä käydään läpi erilaiset ratkaisut ja suositeltavat tavat toteuttaa keskuksen ja moottorilähdön suojaus joko sulakkeellisena tai sulakkeettomana järjestelmänä.</p> <p>Valmistajien esitteet ja dokumentit olivat tärkeitä lähteitä tiedon saamiseksi viimeisimmistä tuotteista. SFS-16 -käsikirja ja toimialastandardi PSK 1801 tarjosivat tietoa suunnitteluun liittyen perustuen standardien vaatimuksiin. Standardiratkaisujen avulla on helppo muodostaa käsitys perinteisistä, nykyisistä ja tulevista moottorilähtöjen toteutustavoista.</p> <p>Työssä esitellään perinteisten moottorilähtöjen osalta kattavasti piirikaavioita ja komponenttien mitoitusperusteita. Esiteltävät piirikaaviot ovat SFS-16 käsikirjan esimerkki piirikaavioita vakiosovelluksiin, joita on sovellettu opetukseen käytettävissä moottorikeskuksissa. Älykkäiden moottorilähtöjen piirikaaviot ovat Lapin AMK:n sähkövoimalaboration moottorikeskuksen dokumentteja. Esiteltävät keskuksen lähdöt ovat ABB:n vakiolähtöjä.</p>	
Asiasanat: kytkentäkaavio, sähkökäytöt, prosessinohjaus	

## ABSTRACT

## LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Electrical engineering
Author:	Eero Paananen
Thesis title:	Industrial Motor Control Centers
Pages (of which appendixes):	71 (5)
Date:	28 May 2014
Thesis instructor:	Jaakko Etto, MSc (El. Eng.)
<p>The subject of this thesis was to introduce the properties and structures of the industrial motor control centers. The aim was to study framework of motor centers and to present different solutions at component and circuit diagram levels. The aim was also to present designing aspects of outgoing motor circuits device selection.</p> <p>Motor centers, including interface relay implementations and smart motor centers, components and protection solutions are introduced. Components are presented including main- and control circuits components. Protection is introduced, holding different solutions and recommended ways to carry out motor center and outgoing unit protection either done as fused or fuseless system.</p> <p>Manufacturers' brochures and documents were main sources offering information latest products and systems. SFS Handbook -16 and industry standard PSK 1801 provided knowledge in designing being based on requirements of standards. Standard solutions make it easy to form picture implementations of traditional, present and future motor control centers.</p> <p>This Thesis presents widely traditionally implemented motor centers circuit diagrams and component design criteria. Featured circuit diagrams are examples from SFS Handbook -16 holding standard applications which have been applied in teaching used motor centers. Featured smart motor centers circuit diagrams are used in Lapland University of Applied Sciences electrical laboratory. Presented outgoing units are ABB standard solutions.</p>	
<p>Keywords: circuit diagram, electric drives, process control</p>	

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	3
ABSTRACT .....	4
SISÄLLYS .....	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	7
1 JOHDANTO .....	8
2 TEOLLISUUDEN MOOTTORIKESKUKSET .....	9
2.1 Teollisuuden jakelujärjestelmät .....	9
2.1.1 Teollisuusverkkojen maadoitus.....	10
2.1.2 Jakelujärjestelmien rakenteet .....	11
2.2 Pääkojeet .....	13
2.3 Syötön apulaitteet.....	16
2.4 Keskusten rakenteet .....	17
2.4.1 Lähtöyksiköt .....	17
2.4.2 Kennokeskus .....	18
2.4.3 Kotelokeskus.....	19
2.4.4 Kaappikeskukset .....	20
2.5 Lähtöyksiköiden kojeet .....	20
2.5.1 Kytkinvaroke.....	20
2.5.2 Moottorinsuojakatkaisija.....	21
2.5.3 Kontaktori .....	21
2.5.4 Ylikuormitusrele .....	23
2.5.5 Taajuusmuuttaja .....	24
2.5.6 Releet .....	26
3 MOOTTORILÄHDÖN SUUNNITTELU .....	29
3.1 Sulakkeellinen suojaus .....	29
3.2 Sulakkeeton suojaus .....	31
3.3 Ohjauspiirin suunnittelu .....	33
3.4 Ohjaukset .....	34
3.5 Moottorilähtöjen piirikaaviot .....	35
3.5.1 Suorat moottorilähdöt .....	35
3.5.2 Suunnanvaihtokytkentä.....	39
3.5.3 Taajuusmuuttajakäytöt.....	43

4 VÄYLÄOHJAUS .....	46
4.1 Kenttäväylät .....	46
4.1.1 CAN-väylä .....	47
4.1.2 Modbus .....	48
4.1.3 Profibus .....	49
4.1.4 Fieldbus .....	49
4.1.5 Ethernet .....	50
5 ÄLYKKÄÄT MOOTTORILÄHDÖT .....	52
5.1 SIMOCODE pro .....	52
5.2 Schneider TeSys .....	53
5.3 ABB UMC 22 .....	54
5.4 ABB MNS iS .....	56
5.5 Älykkäiden moottorilähtöjen piirikaaviot .....	61
6 POHDINTA .....	63
LÄHTEET .....	64
LIITTEET .....	66

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

MEB	Main Earth Bar, päämaadoituskisko
EB	Earthing Bar, maadoituskisko
I/O	Input/Output, tulo/lähtö
I <sub>cs</sub>	Nimellinen katkaisukyky
EMI	Electro Magnetic Interface
EMC	Electro Magnetic Compatibility
PES-moodi	Paikallisohjauspaikan valinta, ohjausjärjestelmä
MCC-moodi	Paikallisohjauspaikan valinta, kenttäkytkin
OKE-kytkin	Odottamattoman käynnistyksen estokytkin

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli perehtyä teollisuuden pienjännitekojeistojen ominaisuuksiin ja rakenteisiin. Työssä esitellään moottorikeskusten suunnitteluun liittyvien standardien ohjeita, määräyksiä ja suosituksia keskusten rakenteisiin, suojaukseen ja komponenttien valintaan liittyen. Erilaisten ratkaisujen vaikutukset komponenttien valintaan ja täten piirikaavioihin esitellään kattavasti käyttämällä SFS-16 käsikirjan havainnollisia esimerkkejä vakiosovelluksiin. Perinteisten välireleillä toteutettujen moottorilähtöjen lisäksi työssä syvennyttään eri valmistajien tarjoamiin älykkäiden moottorilähtöjen komponentteihin.

Edellä mainittuihin liittyen työssä perehdyttään erilaisiin kenttäväyläratkaisuihin ja niiden protokoliin. Kenttäväylistä työssä esitellään muun muassa Profibus DP, Fieldbus ja CAN- väylä. Näiden lisäksi esitellään teollisuudessa yleistyviä real-time Ethernet ratkaisuja. Reaaliaikaisista Ethernet -ratkaisuista esitellään Ethernet Powerlink ja Siemensin Profinet.

Aihe valittiin yhdessä työn tekijän ja ohjaavan opettajan kanssa. Aiheen valintaan vaikutti työn sopiva laajuus, aiheen kiinnostavuus ja nopea työn aloitusmahdollisuus. Aiheen laajuus osoittautui sopivaksi tarjoten riittävästi haasteita. Teollisuuden moottorikeskusjärjestelmien suunnittelu ja kunnossapitotehtävät olisivat mieluisia työtehtäviä tulevaisuudessa.



## 2 TEOLLISUUDEN MOOTTORIKESKUKSET

### 2.1 Teollisuuden jakelujärjestelmät

Teollisuudessa käytetään usein kahta eri jakelujärjestelmää: TN-S-järjestelmää sekä IT-järjestelmää. TN-S-järjestelmässä muuntajan tähtipiste on maadoitettu ja verkossa on N- ja PE-johdin. Järjestelmä toimii myös ilman nollajohdinta, mikäli verkkoon liittyy ainoastaan symmetrisiä kolmivaiheisia kuormia. (SFS-16, 13.)

TN-S-järjestelmän pääkeskuksessa käytetään pääkojeena kuormankytkintä tai katkaisijaa. Jännitetasona on yleensä 400 V. Kuormankytkintä käytettäessä, keskus ohjataan jännitteettömäksi keskijännitepuolen katkaisijalla. Pääkeskuksen työmaadoitukseen käytetään pääkytkimeen mekaanisesti tai sähköisesti lukittua työmaadoituskytkintä. Katkaisijaa käytettäessä on pääkojeen huoltaminen ja vaihtaminen yleensä helppoa niiden ollessa ulosvedettäviä. Työmaadoitus tehdään sähköisellä lukituksella, eli katkaisijaa ei voida ajaa kiinni työmaadoituksen ollessa kiinni. Pääkeskuksen nimellisvirran ollessa alle 1000 A, voidaan työmaadoitukseen käyttää siirrettäviä työmaadoitusvälineitä. (Hietalahti 2013, 9 - 11.)

TN-S-järjestelmässä valvotaan N-johtimen ja siihen liittyvien laitteiden N-piirien eristystä maadoitusjärjestelmään. Vikavirtajärjestelmä valvoo myös vuotovirtoja vaiheiden ja maan välillä. Valvonta voidaan toteuttaa vikavirtaan perustuvalla valvontajärjestelmällä, jossa suojajohtimesta palaavaa virtaa mitataan PE-kiskosta. Vikavirta voidaan myös mitata summamittauksena keskuksen syöttökentässä tai summamittaukseen perustuvilla ilmasinlaitteilla lähtöyksiköistä ja alakeskuslähdoistä.

IT-järjestelmässä muuntajan tähtipiste maadoitetaan vastuksen kautta. Järjestelmässä jännitetasot ovat joko 500 V tai 690 V. Vikapaikan ja tähtipisteen kautta kulkevan resistiivisen maasulkuvirran tulee olla vähintään yhtä suuri kuin kaapeliverkon maapasitanssin aiheuttama kapasitiivinen virta. Tähtipisteen maadoitukseen käytetään yleensä 250  $\Omega$  resistanssin arvoa. (Hietalahti 2013, 9 – 11.)

IT-järjestelmässä maasulun valvonta voidaan toteuttaa myös eristystason valvontareleen avulla. Tässä tapauksessa verkon tähtipistettä ei kytketä vastuksen kautta suojamaan. Valvontarele syöttää pienitaajuisia virtaa verkon ja suojamaan välille jatkuvasti mitaten

eristysvastusta. Rele kytketään tyypistä riippuen yhden vaiheen, vaiheiden tai tähtipisteen ja suojaamaan väliin. Yhteen muuntopiiriin asennetaan yksi valvontarele valvomaan koko verkon eristysvastusta. Suositeltavaa on myös vian rajauksen takia asentaa tärkeisiin lähtöihin oma rele. Lopulliseen vianetsintään piiristä tarvitaan erityinen vianetsintälaitte, jolla vika voidaan paikantaa. Valvontareleen ja verkon tähtipisteen välille voidaan valmistajan ohjeiden mukaisesti asentaa ylijännitesuoja. Valvontarele asetellaan tapauskohtaisesti verkon kunnan, laajuuden ja relevalmistajan ohjeiden mukaisesti. Releen asettelu liian lähelle verkon normaalia vuotovirtaa aiheuttaa turhia hälytyksiä. (PSK-1801 2000, 12.)

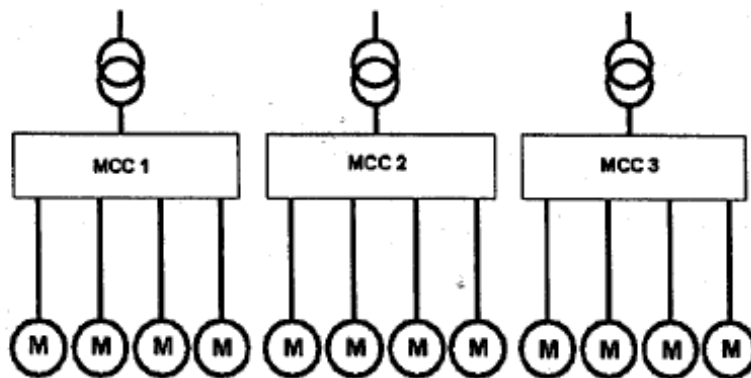
### 2.1.1 Teollisuusverkkojen maadoitus

Maadoituksen ensisijainen tarkoitus sähköturvallisuuden osalta on rajoittaa vikatapauksissa kosketus- ja askeljännitteitä. Vika voi liittyä verkon sähköasennuksiin tai sitä syöttävään järjestelmään. Teollisuusverkoissa maadoitukset tehdään standardien SFS-EN-6000 ohjeita noudattaen alle 1000 V asennuksissa ja vastaavasti SFS-EN-6001 mukaan yli 1000 V asennuksissa. Maadoituksen toteutus riippuu käytössä olevasta järjestelmästä, eli käytetäänkö TN-S- vai IT-järjestelmää. Maadoitus toteutetaan maadoituselektrodilla ja siihen liitetyllä potentiaalintasausjärjestelmällä. Elektrodi on usein maahan sähköisesti yhteydessä oleva kuparijohtimesta tehty rengas. Se upotetaan rakennuksen perusteiden alle tai kaapelikaivantoihin. Maadoituselektrodi voi myös olla maahan upotetuista putkista tehty erillinen elektrodi, maadoituslevy, rakennusten betoni-raudoitus tai edellisten yhdistelmä. (Hietalahti 2013, 15 - 16.)

Potentiaalintasausjärjestelmään kuuluu päämaadoituskisko, maadoitusjohtimet, suoja- maadoitusjohtimet jakokeskusten suojakiskoilta ja pääpotentiaalintasausjohtimet. Päämaadoituskisko (MEB) sijaitsee yleensä pääkytkinlaitoksella. Päämaadoituskiskoon liitetään PE-kiskot, mahdolliset maadoituskiskot (EB), päämaadoitusjohtimet, metalliset putkistot ja rakennuksen rungon metalliset osat, häiriöttömän maan kiskot (TE) sekä antenni ja puhelinlaitteiden maadoitusjärjestelmät. Lisämaadoituskiskot asennetaan muuntamoihin ja jakokeskustiloihin. Häiriöttömän maan kiskot asennetaan tarvittaessa esimerkiksi automaatiotiloihin häiriöiltä suojattavien elektronisten laitteiden suojajohdinta varten. (Hietalahti 2013, 15 - 16.)

## 2.1.2 Jakelujärjestelmien rakenteet

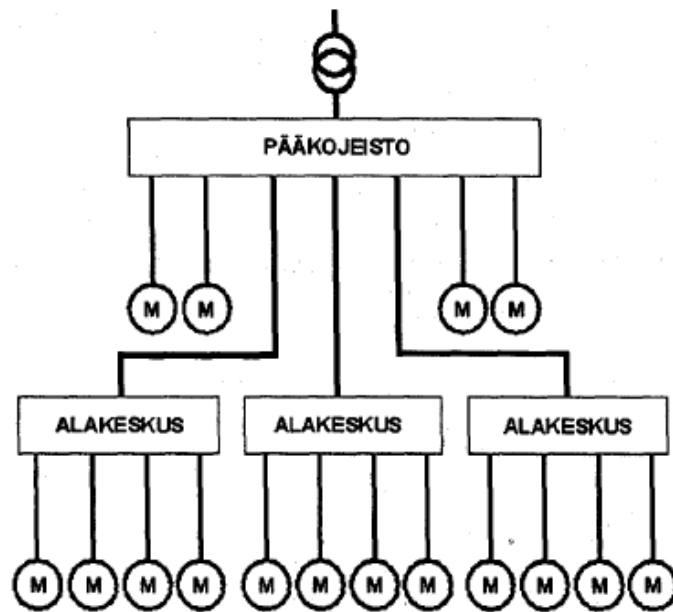
Teollisuuden pienjänniteverkkojen rakenteet toteutetaan yleensä seuraavilla kolmella tavalla tai näiden yhdistelmillä. Keskitetyssä jakelussa moottorilähdöt keskitetään moottorikeskuksiin. Kuvassa 1 on keskitetyn verkon rakenne. Huonona keskitetyssä jakelussa on verkon suurten oikosulkuvirtojen asettamat rasitukset ja täten vaatimukset oikosulkukestoisuuden osalta keskuksen komponenteille. Lisäksi häiriöitä ei rajata erillisillä alakeskuksilla, joten verkon häiriöt vaikuttavat laajasti prosessin laitteisiin. (SFS-16, 14 – 15.)



Kuva 1 Keskitetty jakelu (SFS-16, 14 - 15.)

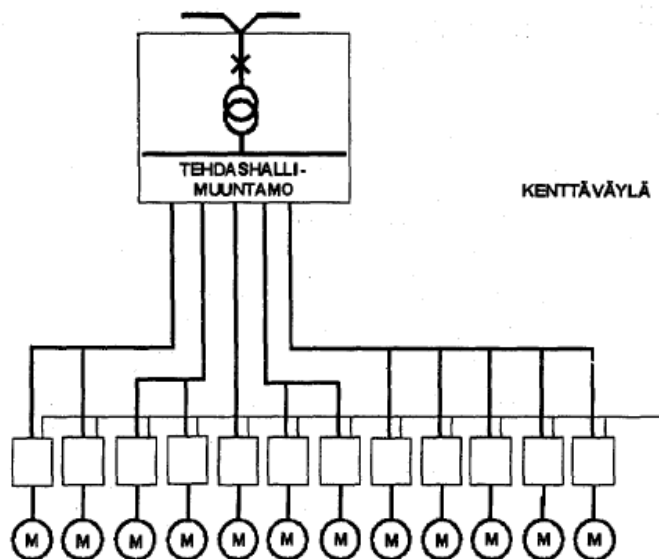
Porrastetussa jakelussa (kuva 2) pääkojeiston ja moottoreiden välille sijoitetaan alakeskuksia. Tällä pyritään porrastamaan oikosulkuvirtoja siten, että alakeskusten komponenttien ei tarvitse olla oikosulkukestoisuuksiltaan pääkojeiston komponenttien vertaisia. Mitoituksessa pystytään mahdollisuuksien mukaan myös pitämään alakeskusten nimellisvirrat alle 1000 A, jolloin keskusten oikosulkusuojina voidaan käyttää sulakkeita. Etuna lisäksi porrastetussa jakelussa on se, että keskusten fyysisen sijoituspaikan valinnalla pystytään vaikuttamaan moottorikaapeleiden pituuksiin.

Sulakkeina käytetään gG-tyyppin sulakkeita, jotka reagoivat herkästi ylivirtoihin. Selektiivisyys sulakkeilla toteutetussa suojauksessa saavutetaan, kun edeltävä sulake on vähintään 1,6-kertainen. Katkaisijoita käytettäessä saadaan sulakkeita tarkempi ylikuormitussuojaus ja verkon vikatilanteissa kaikki napainen laukaisu. Katkaisijat valitaan niiden oikosulkukestoisuuden, katkaisukyvyyn ja suojauksen selektiivisyyden perusteella. (SFS-16, 27, 15.)



Kuva 2 Porrastettu jakelu (SFS-16, 14 - 15.)

Hajautetussa jakelussa pyritään käynnistimet sijoittamaan moottoreiden läheisyyteen. Jakeluverkko toteutetaan standardirakenteisilla tehdashallimuuntamoilla. Kuvassa 3 on verkon rakenne. Tällaisen verkkorakenteen edullisuus perustuu standardiratkaisuihin ja kenttäväylöohjaukseen. Käynnistimien kautta saadaan I/O tietoja ja kenttäväylään voidaan liittää kenttäinstrumentteja. (SFS-16, 15.)



Kuva 3 Hajautettu jakelu (SFS-16, 15.)

## 2.2 Pääkojeet

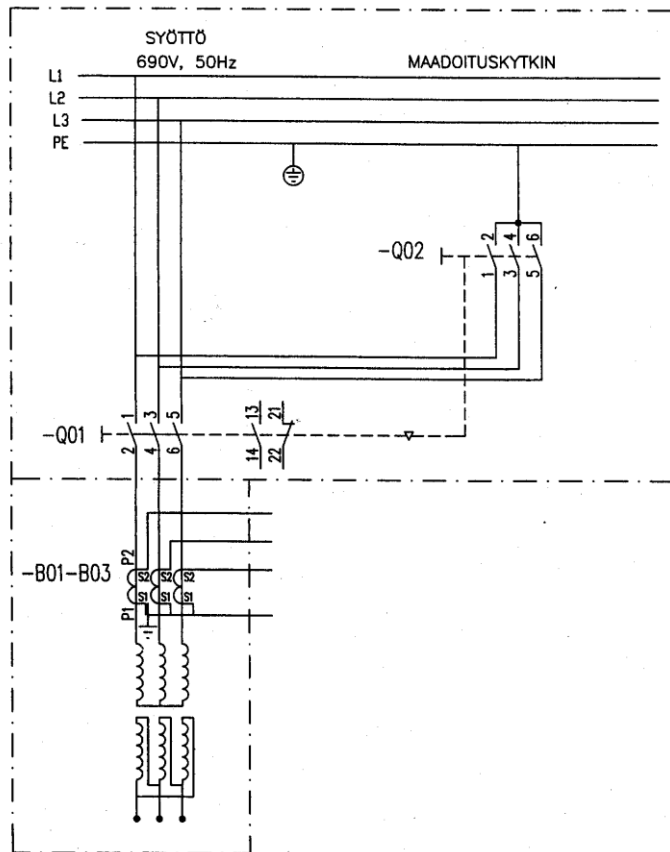
Syöttökenttä pitää sisällään syöttävät kaapelit, pääkojeen ja keskukseen päin lähtevät kiskot. Mittauskenttään sijoitetaan apulaitteita kuten jännite-, virta-, energia- ja sähkönlaatumittarit. Syötön pääkojeina käytetään joko kuormankytkintä tai katkaisijaa. Kuormankytkimiä käytetään usein pienivirtaisissa moottorikojeistoissa. Kuormankytkimien mitoituksessa tulee huomioida niille määritellyt käyttöluokat ja niihin liittyvät kuormitettavuudet. Kuormankytkin mitoitetaan kestäväksi piiriin virrat kytkentä- ja katkaisuhetkellä. Käyttöluokkien oikealla valinnalla saadaan kojeet mitoitettua oikein. Eri käyttöluokissa voivat kuormankytkimien todelliset sallitut käyttövirrat olla huomattavasti kytkimien nimellisvirtoja alempia. Taulukossa 1 on eri käyttöluokkien tyypillisiä sovelluksia. Teollisuudessa käytettävien pääkytkimien mitoitus on suositeltavaa tehdä luokan AC-23 mukaisesti ja varsinkin mikäli kojeiston kuorma on puhdasta moottorikuormaa.

Taulukko 1 Kuormankytkimien käyttöluokat (Mäkinen & Kallio 2004, 118.)

Käyttöluokka	Tyypilliset sovellukset
AC-20	kytkeminen ja katkaiseminen virrattomana
AC-21	resistiivisten kuormitusten kytkeminen
AC-22	resistiivisten ja induktiivisten sekakuormien kytkeminen
AC-23	moottorikuormitusten ja induktiivisten kuormitusten kytkeminen

Oikosulkusuojaukseen kehoitetaan käyttämään pienjännitekojeistoon sijoitettavaa ylivirtarelettä, joka laukaisee katkaisijan keskijännitekojeistossa. Pienjännitekojeistoon asennetaan lisäksi kytkin, jolla kojeisto on mahdollista tehdä jännitteettömäksi katkaisemalla muuntajan keskijännitepuolen syötto. Kojeiston pääkytkimeen liitetään mekaanisesti tai sähköisesti lukittu työmaadoituskytkin. (SFS-16, 16; Mäkinen & Kallio 2004, 118 - 119.)

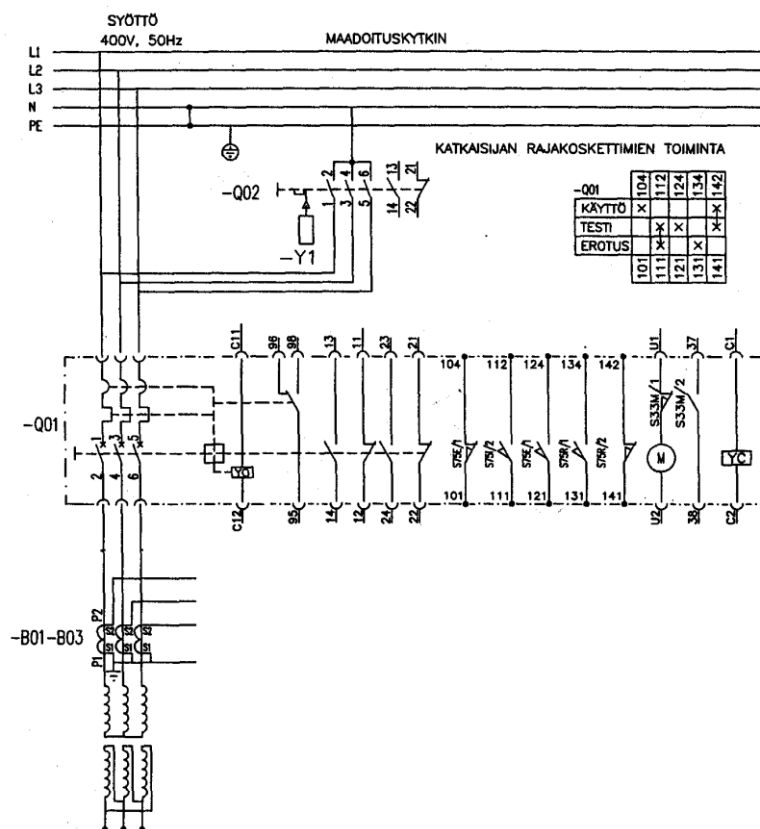
Kuvassa 4 on IT-jakelujärjestelmä, jonka pääkytkimenä on kuormankytkin -Q01. Kuvassa oleva -Q02 kytkin kuvaa työmaadoituskytkintä, joka on mekaanisesti lukittu pääkytkimeen. Kuvassa -B01, -B02 ja -B03 ovat syöttökentän mittamuuntajia.



Kuva 4 IT-jakelujärjestelmä, pääkytkimenä kuormankytkin (SFS-16, 16.)

Suositteluin tapa on toteuttaa moottorikojeiston erotus pääkatkaisijalla. Tähän tarkoitukseen käytetään yleensä ilma- tai kompaktikaisijoita. Tällöin katkaisijan ja releistyksen avulla voidaan hoitaa keskuksen ja muuntajan ylikuormitus- ja oikosulkusuojaus. Katkaisijat pystyvät avaamaan ja sulkemaan virtapiiriin nimellisvirtaa suuremilla vikavirroilla oiko- ja maasulkutapauksissa. Teollisuuden moottorikeskusten katkaisijat mitoiteetaan nimellisen katkaisukyvyyn ( $I_{CS}$ ) mukaan. Keskuksen maadoittamiseen käytetään kuten kuormankytkimenkin tapauksessa pääkytkimeen sähköisesti tai mekaanisesti lukittua maadoituskytkintä. (SFS 16, 17; Mäkinen & Kallio 2004, 115 – 116.)

Kuvassa 5 on katkaisijan käyttö syötön suojana TN-S-järjestelmässä. Katkaisijan apukoskettimilla voidaan viedä tieto mahdollisesta laukaisusta tai laukaista katkaisija. -Q02 kuvaa katkaisijaan liitettyä maadoituskytkintä.



Kuva 5 TN-S järjestelmän syöttö katkaisijalla (SFS-16, 15.)

Ilmakatkaisijoita asennetaan pienjännitteisten kojeistojen pääkatkaisijoiksi tai suurten moottoreiden käynnistimiksi. Ilmakatkaisijan katkaisukärjet ovat normaalipaineisessa ilmassa tulenkestävällä materiaalilla eristetyssä kammiossa. Ilmakatkaisijat sisältävät ylivirtareleen. Niitä valmistetaan 3- tai 4-napaisina 690 V - 1000 V nimellisjännitteelle ja 800 A - 10 kA nimellisvirroille. Katkaisukyky on 150 kA luokkaa.

Kompaktikatkaisijoita käytetään pienjännitteisten jakeluverkkojen ylivirtasuojaukseen, moottorien käynnistimien suojaukseen ja piirien erottamiseen. Kompaktikatkaisija rakentuu katkaisijarungosta ja suojareleestä. Lisävarusteena saa alijännittekelan, työvirtalaukaisimen, vikavirtasuojakytkimen, apukoskettimia ja moottoriohjaimen. Kompaktikatkaisijoita valmistetaan 2 - 4 -napaisina rakenteina, 240- 690 V nimellisjännitteelle ja 125- 1600 A nimellisvirralle. Katkaisukyky on 150 kA luokkaa. (Mäkinen & Kallio 2004, 115 - 116.)

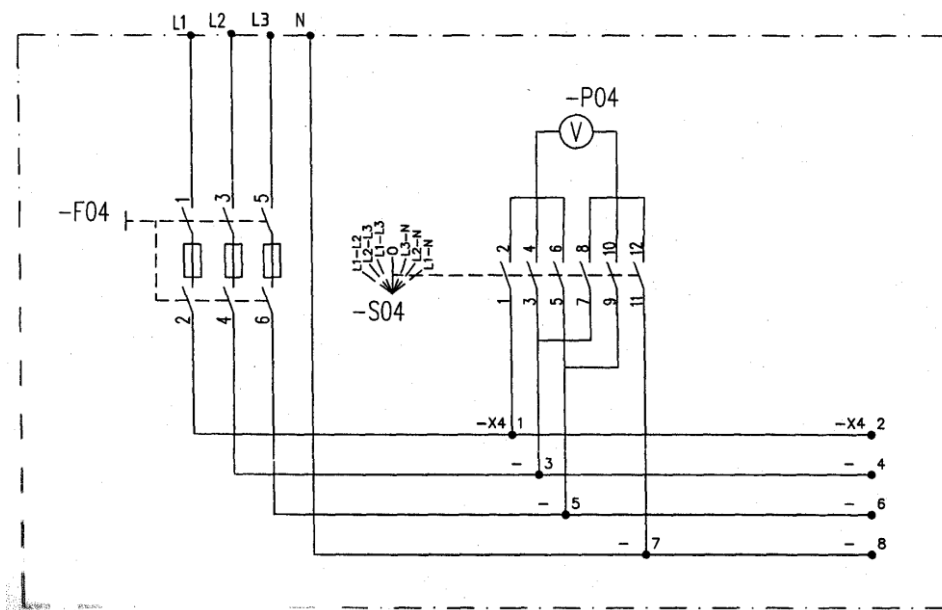
Alakeskuksen oikosulkusuojaus toteutetaan joko sulakkeilla tai katkaisijoilla. Käytettäessä erillistä ylivirtarelettä katkaisijan kanssa, sijoitetaan virtamuuntajat syöttökiskoihin. Ylivirtarele sijoitetaan mittareiden tavoin apulaitekenttään. Releeseen asetellaan stan-

dardin IEC-60947-1 mukainen virta-aika ominaiskäyrä selektiivisyyden saavuttamiseksi. Keskusvaurioiden minimoimiseksi tulee suojauksen olla riittävän nopea. Ylivirtareleessä tulee myös olla momenttilaukaisu kiskoston oikosulkua varten. (PSK-1801 2000, 20.)

### 2.3 Syötön apulaitteet

Syöttöyksikköön liittyvät apulaitteet kuten virta- ja jännitemittarit sijoitetaan mieluiten erilliseen apulaitekenttään. Syöttökentässä on yleensä paljaita jännitteisiä osia ja mittauslaitteita häiritsevät magneettikentät suuria.

Kuvassa 6 on jännitteenmittaus toteutettuna vaihtokytkimellä -S04. Kytkimen eri asennoilla voidaan valita, mitataanko vaiheiden välistä jännitettä vai vaiheen ja nollan välistä jännitettä. Kuvassa -F04 kuvaa pääkojetta ja -P04 jännitemittaria. (SFS-16, 18.)



Kuva 6 V-mittaus TN-S järjestelmässä (SFS-16, 18.)



## 2.4 Keskusten rakenteet

Keskukset voidaan jakaa niiden toteutustapojen mukaan erilaisiin keskustyyppeihin: kennokeskuksiin, kotelokeskuksiin ja kaappikeskuksiin. Tässä työssä perehdytään pääasiassa kennokeskuksiin eli kojeistoihin ja niiden rakenteisiin. Keskukset pitävät sisälleen syöttökentän, mittauskentän, kaapelikentän ja kojekentän. Kaapelikentässä sijaitsevat kojekentästä lähtevät kaapelit. Kojekentässä sijaitsevat keskuksen kiskoihin liittyvät lähtöyksiköt.

### 2.4.1 Lähtöyksiköt

Keskuksien lähtöyksiköiden rakenteet voidaan jakaa kolmeen eri tapaan, kiinteä lähtöyksikkö, ulosvedettävä lähtöyksikkö ja ulosotettava lähtöyksikkö. Kiinteä lähtöyksikkö voidaan vaihtaa ainoastaan keskuksen ollessa jännitteetön. Sen sähköiset yhteydet on tehty lähtöyksikön syötön ja lähtevien kaapeleiden osalta kiinteillä liitoksilla. Kiinteäkalustustapa toteutetaan yksikkölähtöperiaatteella. Kiinteässä lähdössä etukojeen syötön puoleiset navat ovat kosketussuojattu ja riviliittimet ja ohjauspiirin johdonsuojakatkaisijat ovat helposti käsiteltävissä. Kalustuksen tulee täyttää vähintään osittaisen kosketussuojauksen vaatimukset standardin SFS-6002 mukaisesti.

Ulosotettava yksikkö voidaan vaihtaa keskuksen muiden yksiköiden ollessa jännitteisiä. Työn voi suorittaa vain sähköalan ammattihenkilö. Tässä yksikössä on liittynyt kojeiston kiskoihin tehty koskettimien avulla mutta lähtevien kaapeleiden liitokset kiinteästi. Pystysyöttökiskoston läheisyydessä työskenneltäessä tulee noudattaa standardin SFS-6002 asettamia jännitetyön vaatimuksia. Ulosotettavat lähtöyksiköt varustetaan veto-kahvoin ja oviin tulevat kojeet kytketään riviliittimille tai pistokkeella. Ohjausjännitepiirissä suositellaan kiinteästi keskukseen asennettavaa kiinteäpistokeliitintä. (PSK-1801, 23 - 24; SFS-16, 62.)

Ulosvedettävissä yksiköissä kaikki sähköiset yhteydet niin kojeiston kiskostoon, kuin lähteviin kaapelihin on toteutettu koskettimin. Vaihdaminen onnistuu muun keskuksen ollessa jännitteinen ja työn voi suorittaa perehdytetty henkilö, ei siis välttämättä sähköalan ammattilainen. Lähtöyksikön liikuttaminen jännitteisenä on estetty mekaanisin rakentein ja sen ulosvetäminen on mahdollista vasta lähtöyksikön pääkytkimen ollessa

0-asennossa. Yksikön ollessa poistettuna, on kojeympäristön pölysuojitus kosketussuojattu IP XXB luokkaan. Ohjauspiirin ja apujännitepiirin johtimet kytketään pistokeliittimillä lähtöyksikköön. (PSK-1801 23 - 24; SFS-16, 62.)

#### 2.4.2 Kennokeskus

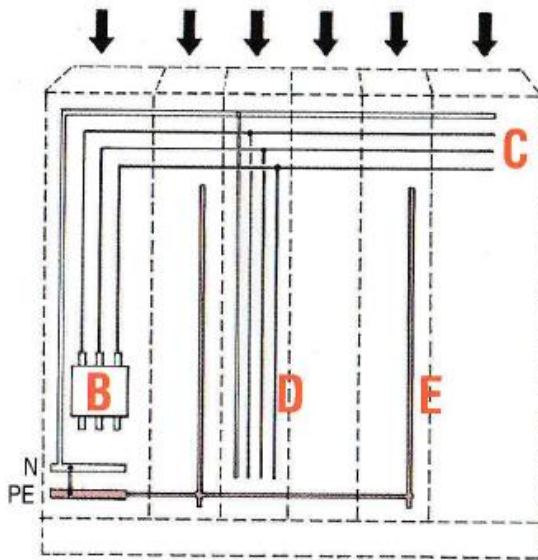
Kennokeskuksia eli kojeistoja käytetään pää-, nousu-, ja alakeskuksina sekä moottorien ohjauskeskuksina tai näiden yhdistelminä. Ne valmistetaan yleensä teräslevystä, useista eri kennoista kasaten. Teollisuudessa käytettävät keskusten nimellisjännitteet ovat usein joko 400 V tai 690 V. Nimellisvirrat voivat olla tuhansia ampeereja.

Kuvassa 7 on esimerkkikuva kennokeskuksesta. Kennokeskuksen sisäinen sähkönjakelu ja sen pääpiiri toteutetaan alumiinisilla tai kuparisilla virtakiskoilla. Kuvassa 7 vasemmalla on pääkatkaisija ja vasemmassa yläosassa on mittauskentän jännite- ja virtamittarit.



Kuva 7 Kennokeskus (UTU 2014.)

Pääkytkimeltä lähtevät pääkiskot (L1, L2, L3, N ja PE) kulkevat vaakasuunnassa keskuksessa. Kennoyksiköiden välissä pystysuunnassa olevat haarakiskot liittyvät pääkytkimeltä tuleviin pääkiskoihin. Haarakiskoihin liitetään lähtöyksiköt eli ja lähtevät kaapelit kulkevat kojekenttien välissä olevaa kaapelikenttää pitkin joko ylös tai alaspäin kohti moottorikäyttöä. (Mäkinen & Kallio 2004, 108 – 110.)



Kuva 8 Kennokeskuksen kiskostot (Mäkinen & Kallio 2004, 109.)

Kuvassa 8 on osoitettu kiskostojen sijainti kennokeskuksessa. Kirjaimen B laite kuvaa pääkytkintä, jolle syöttö voi tulla ala- tai yläkautta. Pääkytkimeltä lähtevät vaihekiskot ylöspäin. Kirjain D kuvaa haara- eli pystysyöttökiskoja ja Kirjain E kaapelikenttää ja siellä yleensä olevaa PE-kiskoa. (Mäkinen & Kallio 2004, 108 – 110.)

### 2.4.3 Kotelokeskus

Kotelokeskukset ovat kosketussuojattuina metallista tai muovista valmistettuja jakokeskuksia ja niiden suojausluokka voi olla jopa IP65. Niitä käytetään teollisuudessa prosessitiloissa ala- ja ryhmäkeskuksina. Keskuksien nimellisjännite on yleensä 400 V ja niitä valmistetaan enintään 630 A nimellisvirroille. Kotelokeskukset muodostuvat moduuleista, jotka liitetään toisiinsa pulttiliitoksilla. Erikokoisista moduuleista kasataan haluttu keskuskokonaisuus. Pääkytkimenä käytetään yleensä kuormankytkintä.

Keskuksen sisäinen sähköjakelu toteutetaan virtakiskoilla tai eristetyillä johtimilla. Sisälle tulevat komponentit kiinnitetään metallisiin asennuslevyihin. Releet ja riviliitit kiinnitetään asennuskehikoissa oleviin DIN-kiskoihin. Jännitteiset osat suojataan kosketussuojalevyillä. Lähtöyksiköt ovat kiinteitä ja ne kalustetaan joko yksikkölähtö- tai yhtenäiskenttäkalustuksella. Yksikkölähtökalustuksessa jokaisella yksikkölähdöllä on oma kotelo. Yhtenäiskenttäkalustuksessa kotelossa on useita lähtöjä. (Mäkinen & Kallio 2004, 112.)

#### 2.4.4 Kaappikeskukset

Kaappikeskukset ovat maalatusta teräspelistä valmistettuja yleensä lattialla seisovia keskuksia. Ne sisältävät yhden tai useamman kentän. Niitä käytetään ohjauslaitteiden kotelointiin. Kotelokeskusten tapaan, sähköiset kalusteet kiinnitetään irrotettaviin asennuslevyihin.

Kaapelointi tehdään usein keskuksen alakautta käyttäen hyväksi tiiviitä pohjalevyjä ja sokkelitilaa. Keskuksien oviin voidaan asentaa merkkilamppuja, kytkimiä, näyttöjä jne. Kaappikeskus voikin toimia jonkin prosessiosan valvontatauluna tai paikallisohjauspaikkana. (Mäkinen & Kallio 2004, 13.)

#### 2.5 Lähtöyksiköiden kojeet

Yksittäisissä moottorilähdöissä on paljon komponentteja joilla toteutaan suojaus-, ohjaus- ja valvontatoimintoja. Moottorilähdön pääpiiri muodostuu oikosulkusuojasta, käynnistimestä ja ylikuormitussuojasta.

##### 2.5.1 Kytkinvaroke

Kytkinvarokkeiden avulla erotetaan moottorien pääpiirit syöttävästä verkosta. Kytkinvaroke on kuormankytkimen ja varokealustan muodostama kokonaisuus, joita käytetään moottorikäynnistimien oikosulkusuojauksessa sekä alakeskuslähtöjen pääkojeena.

Varokkeen väännin kiinnitetään lähtöyksikön kanteen. Lähdön ollessa jännitteinen eli kytkimen ollessa kiinni, ei yksikön kantta saa auki. Avaamalla kytkimen, erottaa kytkimeen kytketty mekanismi sulakkeet, veitsikoskettimet ja lähtöliittimet jännitteettömäksi. Kennon kannen saa sen jälkeen auki ja sulakkeen voi vaihtaa. Kytkinvarokkeita valmistetaan 16 - 800 A sulakkeille ja kahvasulakkeille. Lisäominaisuuksina on saatavilla apukoskettimilla ja sulakevahdeilla varustettuja kytkinvarokkeita. Sulakevahtien avulla virtapiirin toiminta kahdella vaiheella estetään. (Mäkinen & Kallio 2004, 119 – 120.)

### 2.5.2 Moottorinsuojakatkaisija

Moottorinsuojakatkaisijoita (moottorinsuojakytkin) käytetään moottoripiirien sulakkeetomaan suojaamiseen ylikuormitukselta sekä moottorien käynnistämiseen ja pysäyttämiseen. Toiminta perustuu bi-metalliliuskaan, jossa on kaksi erilaiset lämpöpienemisominaisuudet omaavaa metalliliuskaa. Tämän liuskan ympäri on kierretty vastuslanka, jonka läpi kulkee moottorin virta. Virran kasvaessa tarpeeksi, lämpeää bi-metalliliuska laukaisten jousivirritteen mekaanisen kytkimen. Laite tulee laukaisun tapahduttua virittää käsin. Teollisuudessa käytetään moottorinsuojakytkimen ja kontaktorin yhdistelmää. Suoraa käynnistystä ilman kontaktoria käytetään pääasiassa koti- ja maatalouksien moottorilähdöissä.

Moottorinsuojakytkimet asetellaan moottorin nimellisvirran mukaan. Se laukeaa herkästi pienestäkin ylivirrasta suojaten moottoria palamasta ja ylikuormittumasta. Laitteen oikeaan toimintaan vaikuttaa myös ympäristön lämpötila. Yleensä laitteet suunnitellaan +20 asteen lämpötilalle. Mikäli tila on lämpimämpi, on säädettävää nimellisvirta-arvoa lisättävä valmistajan ohjeen mukaan. Osa kytkimistä on myös lämpötilakompensoitu eli kytkin itse mukautuu ympäristön lämpötilaan. (Mäkinen & Kallio 2004, 117.)

### 2.5.3 Kontaktori

Kontaktoreiden avulla ohjataan pääpiirissä kulkevia suuria virtoja ja jännitteitä. Toimintaperiaate on samanlainen kuin releillä. Erona yleensä on se, että avausvälejä on kaksi jokaista vaihetta kohden. Kontaktoreissa on yleensä kolme päävirtapiiriin kosketin sarjaa (L1-L2-L3) sekä muutamia apukoskettimia mutta myös nelinapaisia kontaktoreja on saatavilla. Niin kuin kuormankytkimille, myös kontaktoreille on olemassa käyttöluokkia, jotka määrittelevät eri sovelluksiin sopivat kontaktorit. Kontaktoria valittaessa tulee tietää onko kuormitus induktiivista, jolloin kytkettäessä syntyy itseinduktion vaikutuksesta kipinäintiä. Resistiivisellä kuormalla ei kipinäintiä juuri synny. (Mäkinen & Kallio 2004, 122 - 123.)

Taulukossa 2 on kontaktorien käyttöluokkia ja niiden kuormitusperusteita. Standardit IEC 60947-4-1 (SFS-EN) ja 60947-4-2 (SFS-EN) määrittelevät oikosulkumoottoreiden käynnistimien rakenne- ja suorituskykyvaatimukset. Kontaktoreille oikosulkumoottorikäytössä määritellyt käyttöluokat ovat AC 3 ja AC 4. AC 3 -luokassa käynnistin joutuu

kytkemään käynnistysvirran ja katkaisemaan nimellisvirran. AC 3 -luokka vastaa normaalikäyttöä ja kontaktorin koskettimilta vaaditaan  $10^6$  toimintajakson käyttöikä. AC 4 -käyttö vastaa nykäyskäyttöä eli kontaktori joutuu kytkemään ja katkaisemaan käynnistysvirtaa. Koskettimien ikä jää tällöin lyhyemmäksi kuin AC 3 -luokan käytössä. Valmistaja ilmoittaa tuoteluetteloissa odotetun kosketiniän nimellisjännitteen, katkaistavan virran ja käyttöluokan mukaan. AC 4 käytössä on kosketinikä selvitettävä tapauskohtaisesti. (SFS-16, 64.)

Taulukko 2 Kontaktorien käyttöluokat (Mäkinen & Kallio 2004.)

Käyttöluokka	Kuormitus
AC 1	Helpot kytkentäolosuhteet: resistiivisten - tai heikosti induktiivisten kuormien kytkentä
AC 2	Normaalit kytkentäolosuhteet
AC 3	Vaikeat kytkentäolosuhteet: oikosulkumoottorin käynnistimenä, kun kiinnikytkentävirta on sama kuin moottorin käynnistysvirta
AC 4	Erittäin vaikeat kytkentäolosuhteet: oikosulkumoottorin käynnistimenä, kun kytketään ja katkaistaan moottorin käynnistysvirtaa, tehdään vastavirtajarrutuksia ja suunnanvaihtoja.

Kontaktorien jälkeisessä piirissä tapahtuva oikosulku aiheuttaa suuret hetkelliset avausvoimat kontaktorin koskettimiin ja ne pyrkivät aukeamaan. Tästä seuraa valokaari, joka hitsaa kärjet toisiinsa kiinni. Seurauksena voi olla maasulku tai vaiheiden välinen oikosulku ja kennon tuhoutuminen. Ennen kontaktoria tuleekin asentaa oikosulkusuojaukseksi etusulakkeet tai katkaisija. (Mäkinen & Kallio 2004, 123.)

Kontaktori ja ylikuormitusrele muodostavat käynnistimen. Näiden valinnassa ja yhteensopivuudessa käytetään suojauskoordinaatio käsitteitä. Suojauskoordinaatio-luokassa 1 mitoitetaan komponentit usein kustannussyistä siten, että käynnistin katkaisee oikosulkuvirran luotettavasti aiheuttamatta ympäristölle vaaraa. Oikosulun jälkeen on käynnistin uusittava eli luokassa 1 on kontaktorin ja lämpöreleen vaurioituminen sallittua. Suojauskoordinaatioluokassa 2 käynnistin katkaisee oikosulkuvirran luotettavasti, niin ettei ympäristölle tapahdu aiheudu vaaraa. Käynnistin on käyttökelpoinen tarkastuksen jälkeen kojeiden oikean valinnan ansiosta. (SFS-16, 64.)

#### 2.5.4 Ylikuormitusrele

Suojaukseen moottorin ylikuormitusta vastaan käytetään ylikuormitusreleitä eli lämpöreleitä. Lämpöreleet toimivat kuten moottorinsuojakytkimet mutta niissä ei ole avautuvia pääkoskettimia. Rele kiinnitetään kontaktoriin ja sen ohjaukset yhdistetään sähköisesti kontaktorin kelaan. (Mäkinen & Kallio 2004, 118.)

Ylikuormitusreleitä valmistetaan mekaanisina ja elektronisina. Mekaaniset releet sisältävät moottorinsuojakytkimien tapaan bi-metalliliuskan, joka lämpenee moottorin ottaman virran avulla. Ympäristön lämpötila tulee ottaa huomioon, mikäli rele ei ole lämpötilakompensoitu. Avautuva apukärki on liitetty kontaktorin kelan ohjauspiiriin ja lauetessaan lämpörele avaa kontaktorin ohjauspiiriin ja kontaktorin ohjaus loppuu. Sulkeutavalla apukoskettimella saadaan hälytystieto eteenpäin. Releet tulee mallista riippuen laukaisun jälkeen kuitata käsin tai sallimalla automaattinen jälleenkytkentä. (Hietalahti 2013, 163 – 166.)

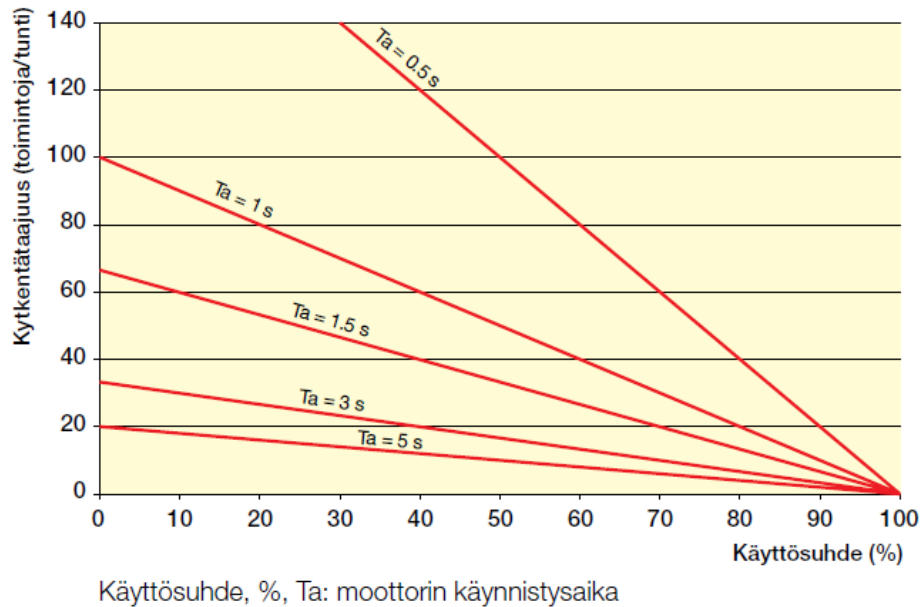
Elektroniset ylikuormitusreleet perustuvat virran mittaukseen ja kuormatilan määrittämiseen. Releet mittaavat moottorin ottamaa virtaa joko suoraan pääpiiristä tai virtamuuntajien välityksellä. Elektroniset releet tarjoavat laajan mittausalueen tarkalla kuormituksen valvonnalla. Ylikuormitusreleet jaetaan laukaisuluokkiin laukaisuajan perusteella. Taulukossa 3 laukaisuaika  $T_p$  on sekunneissa.

Taulukko 3 Ylikuormitusreleen laukaisuluokat (Hietalahti 2013, 163)

Laukaisuluokka	Laukaisuaika $T_p$ sekunneissa
10A	$2 < T_p \leq 10$
10	$4 < T_p \leq 10$
20	$6 < T_p \leq 20$
30	$9 < T_p \leq 30$

Bi-metallisilla ylikuormitusreleillä tulee ottaa huomioon kytkentätaajuus. Suoraan kytkettäessä moottori ottaa 5-10 kertaisen käynnistysvirran sen nimelliseen verrattuna eikä käytön kytkentätaajuus saa olla liian suuri bi-metallisen liuskan lämpenemisen takia. Kuvassa 9 on ABB TF42 bimetallisen, laukaisuluokaltaan 10 olevan lämpöreleen kytkentätaajuus esitettynä moottorin käynnistysajan sekä käyttösuhteen funktiona. Käyt-

tösuhteen kasvaessa prosentteina x-akselilla, laskevat sallitut kytkentätaajuudet. Pitkillä käynnistysajoilla on käynnistysten välissä annettava releen jäähtyä ennen seuraavaa käynnistystä. (ABB, Tekninen esite STAR, 5, 26.)

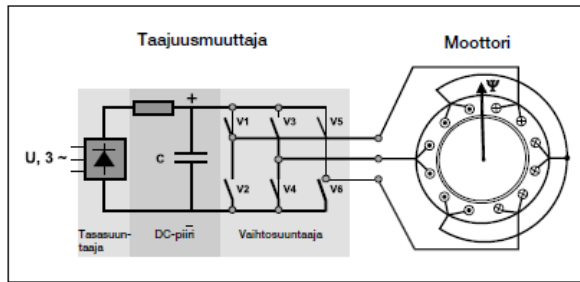


Kuva 9 Erään ylikuormitusreleen kytkentätaajuus (ABB, Tekninen esite STAR, 26.)

### 2.5.5 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajalla pystytään säätämään moottorin pyörimisnopeutta. Säätäminen tapahtuu nimensä mukaisesti taajuutta muuttamalla. Taajuusmuuttaja koostuu 3 osasta. Ensiksi vaihtojännite tasasuunnataan tasajännitteeksi. Suunnattu tasajännite suodatetaan DC-välipiirissä tasaisemmaksi. Vaihtosuuntausyksikkö syöttää moottorille muunnettua jännitettä. Kuvassa 10 on taajuusmuuttajan rakenne. Oikealla olevan vaihtosuuntajan eri kytkentöjen avulla, saadaan moottori pyörimään halutulla nopeudella haluttuun suuntaan. (ABB, Tekninen opas nro 4, 12.)





Kuva 10 Taajuusmuuttajan toimintaperiaate (ABB Tekninen opas nro 4, 12.)

Taajuusmuuttajilla pystytään säätämään moottorin käynnistystä ja pysäytystä. Oikosulkumoottorin käynnistysvirta on suoraan käynnistettäessä 5-10 kertainen nimellisvirtaan verrattuna. Käynnistysvirran suuruuteen vaikuttaa myös moottorin teholuokka. Taajuusmuuttajan avulla, pystytään moottorin käynnistys suorittamaan mahdollisimman tasaisesti, rasittamatta nykäyksillä ja äkillisillä momenteilla mekaanisia laitteistoja. Näin pystytään ehkäisemään esimerkiksi pumppukäytössä ilmenevät paineiskut putkistoissa sekä hihna- ja kuljetinkäytöissä kiilahihnojen mekaaniset rasitukset käynnistyksissä. Pysäytyksen osalta voidaan suuret massat pysäyttää jarrukatkojan avulla, joka vastukseen syöttäen muuttaa jarrutusenergian lämmöksi. Taajuusmuuttajiin on saatavilla myös jarrutusyksiköitä, jotka syöttää jarrutusenergian syöttävään verkkoon. (Mäkinen & Kallio 2004, 138.)

Taajuusmuuttajakäytöissä on huomioitava pienillä kierrosluvuilla pyörivien moottoreiden jäähtyminen, sillä moottorin oma akselipuhallin ei välttämättä jäähdytä moottoria tarpeeksi. Mikäli moottorin pyörimisnopeus voi olla alhainen pitkiäkin aikoja, tulee moottorin jatkuvan kuormitettavuuden parantamiseksi asentaa erillinen tuuletin. Taajuusmuuttajien käyttö aiheuttaa verkkoon erilaisia häiriöitä, jotka ovat usein ongelmallisia käyttäjällä ollessa paljon. Suuritaajuiset häiriöt voivat häiritä verkon muita sähkölaitteita kuten herkkiä mittauslaitteita ja tiedonsiirtoväyliä. Häiriöiden minimoimiseksi tulee taajuusmuuttajakäyttäjällä suunniteltaessa ja asennettaessa noudattaa valmistajien ohjeita ja tarvittaessa käyttää häiriösuojaukseen tarkoitettuja lisälaitteita kuten aktiivisia suodatimia. Taajuusmuuttajakäytöissä voi esiintyä myös niin sanottuja laakerivirtoja, jotka aiheutuvat suuritaajuisista virtapulsseista. Pulssin ollessa riittävän suuri, siirtyy metallia laakerista ja vierintäpinnasta voiteluaineeseen tehden niin sanotun kipinätyöstö -ilmiön. Kipinätyöstön kerätessä lisää pulsseja, poikkeama voi muodostua kipinätyöstökuopaksi ja laakeri joudutaan vaihtamaan lyhyessäkin ajassa. Laakerivirtojen ja häiriöiden ehkäisyyn pyritään oikeanlaisella maadoitus- ja kaapelointijärjestelmällä, laakerivirtapiirien

katkaisemisella tai suuritaajuisten yhteismuotoisen virran vaimentamisella. (Mäkinen 6 Kallio 2004, 138; ABB, Tekninen opas nro 5, 6 - 7.)

Taajuusmuuttajien verkkoon aiheuttamat häiriöt tulee olla EMI-standardin mukaisissa rajoissa. EMC yhteensopivuus (Electro Magnetic Compatibility) tarkoittaa, että laitteen tai järjestelmän tulee toimia siinä ympäristössä mihin se on tarkoitettu häiritsemättä muita laitteita ja ympäristöä, sekä toimia häiriintymättä muiden laitteiden ja ympäristön aiheuttamista häiriöistä. EMC yhteensopivuus liittyy EMI (Electro Magnetic Interface) standardiin, joka pohjautuu laitteiden ja ja järjestelmien ominaisuuksiin synnyttää, siirtää tai kytkeä ja häiriintyä verkon häiriöistä. Häiriöiden siirtyminen laitteesta toiseen tapahtuu galvaanisen yhteyden avulla johtamalla sekä induktiivisesti- tai kapasitiivisesti kytkeytymällä. Induktiivinen kytkeytyminen tapahtuu magneettikentän välityksellä. Tämä voi tapahtua johtimien ollessa lähellä toisiaan. Kapasitiivinen kytkeytyminen tapahtuu hajakapasitanssien vaikutuksesta. (Hietalahti 2013, 83.)

EMI-standardi on julkaistu EN50081 standardina ja siinä määritetään johtuvien ja säteilevien häiriöiden rajat kahdessa eri luokassa. Luokka-A käsittää teolliseen ja kaupalliseen käyttöön tarkoitettuja laitteita. Luokka-B on käsittää kuluttajakäyttöön tarkoitettuja laitteita. B-luokan laitteilla on yleensä teollista A-luokkaa tiukemmat vaatimukset häiriöiden sietoon ja aiheuttamiseen, sillä kuluttajat altistuvat niille ja kuluttajilla on pienemmät mahdollisuudet vaikuttaa EMI asioihin. (Hietalahti 2013, 83.)

### 2.5.6 Releet

Releitä käytetään moottorikeskuksissa ohjaamiseen, suojaukseen ja valvontaan. Valvontareleillä valvotaan käytön tilaa ja parannetaan täten käyttövarmuutta. Virranvalvontareleitä käytetään yli- ja alivirran valvontaan. Ylivirtareleillä valvotaan äkillisiä ylivirtoja, jotka voivat johtua kuormalaitteen mekaanisesta ongelmasta kuten ruuvien tai kuljetinhihnan jumittuminen. Moottorin nopealla erottamisella verkosta voidaan suojata laitteistoja. Alivirtaa mitattaessa saadaan selville edellisen tapaan muutoksia kuorman käyttämisessä. Mikäli moottorin kuormitus pienenee, pienenee myös moottorin ottama virta. Kuormituksen väheneminen voi johtua esimerkiksi pumppukäytössä pumpattavan nesteen loppumisesta tai kuljettimen hihnan katkeamisesta kuljetinkäytössä.

Moottorin termistä valvontaa voidaan suorittaa termistorireleellä. Rele saa mittaustiedon moottorin käämitykseen asennettujen PTC-termistorien avulla. Moottorin lämmitessä releelle asetettuun yläarvoon, laukaisee termistorirele käytön. Erona ylikuormitusreleen toimintaan on releen saama todellinen moottorin ololämpötila tieto, johon vaikuttaa ympäristön lämpötila ja moottorin jäähtytys. Mikäli moottorin akselituuletin tukkeutuu eikä tarjoa moottorille tarvittavaa jäähtytystä, lämpenee moottori ja termistorirele katkaisee kontaktorin ohjauspiirin.

Jännitteenvalvontaa suoritetaan yli- tai alijännitereleillä. Sähkökäytöissä erityisesti alentunut jännite vaikuttaa moottorin kuormitettavuuteen ja lämpenemään. Tämä johtuu saman tehon siirtämisestä kuormalle suuremmilla virroilla ja häviöillä. Laukaisu verkon hetkellisissä alijännitetapauksissa estetään alijännitteen suuruuden ja sen vaikutusajan mittaamisella. (Hietalahti 2013, 170.)

Vaiheseurantareleellä seurataan vaihejärjestystä ja vaihekatkoksia. Vaihejärjestyksen seuraaminen on tärkeää sellaisissa sovelluksissa, mitkä eivät saa pyöriä väärään suuntaan siitä aiheutuvien vaurioiden takia. Tällaisia sovelluksia voisivat olla esimerkiksi pumppu- ja kuljetinkäytöt. Vaihekatkon seuraamisella estetään moottorin pyöriminen kahdella vaiheella.

Nopeutta mittaamalla voidaan huomata käytön alinopeus. Alikierrosvahtireleellä voidaan tunnistaa ylikuormittumisesta johtuva nopeuden alentuminen tai akselin jumitilanne. Ylinopeus ei epätahtikoneilla ole merkittävä ongelma, sillä kuorman tippuessa äkillisesti pois, ei epätahtikone ryntää momentin laskiessa nolnaan kun nopeus nousee tahti-nopeuteen. (Hietalahti 2013, 170.)

Moottorin kuormitusreleillä valvotaan moottorin alikuormitusta mittaamalla moottorin ottaman jännitteen ja virran vaihesiirtokulmaa eli tehokerrointa  $\cos \varphi$ . Tehokerroin määräytyy moottorin nimellistehon ja kuormitustehon suhteen. Tyypillisesti suurempi teholla moottoreilla on parempi tehokerroin. Kuormitustehon ollessa lähellä nimellistehoa, on tehokerroin hyvä. Kuormitusreleitä käytetään alikuorman havaitsemiseen johtuen esimerkiksi kuljetinhihnan katkeamisesta. (Mäkinen & Kallio 2004, 131.)

Aikareleitä käytetään yksinkertaisissa ohjaustekniikan sovelluksissa. Releitä käytetään tähti-kolmio käynnistys sovelluksissa ja erilaisissa vaiheistamis tarkoituksissa. Aikare-

leitä on erilaisia riippuen halutusta toiminnasta. Vetohidastetun aikareleen koskettimet vaihtavat tilaansa säädetyn ajan kuluttua releen ohjauksesta alkaen. Esimerkiksi moottorin tähti-kolmio käynnistyksessä, vetohidastetulla aikareleellä ohjataan määritetyn käynnistysajan jälkeen tähti-kytkennän kontaktori auki ja kolmio-kytkennän kontaktori kiinni. Päästöhidasteisessa releessä, koskettimet vaihtavat tilaansa ohjauksen päätyttyä vasta säädetyn ajan jälkeen. (Mäkinen & Kallio 2004, 125 -126.)

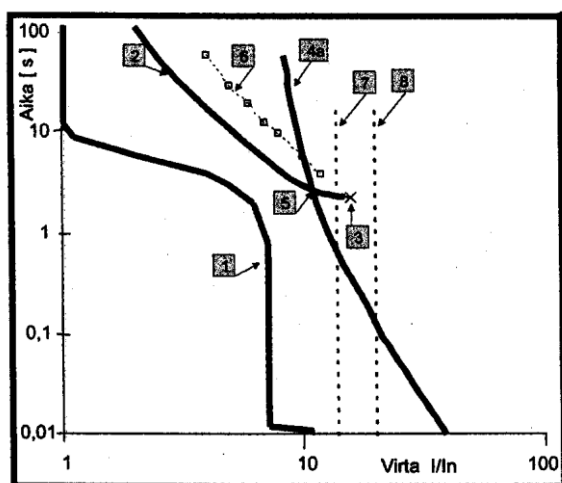
### 3 MOOTTORILÄHDÖN SUUNNITTELU

#### 3.1 Sulakkeellinen suojaus

Sulakkeellisen moottorilähdön pääpiirin komponentteja ovat etukojeena käytettävät sulakkeet tai kytkinvaroke sekä kontaktori-lämpörele yhdistelmä eli käynnistin. Sulakkeet toimivat piirin oikosulkusuojana ja lämpörele moottorin ylikuormitussuojana. Sulakkeellisen suojauksen etuja on sulakkeiden virtaa rajoittavat ominaisuudet, joiden takia kontaktori ja lämpörele voidaan mitoittaa verkon maksimioikosulkuvirtaa pienemmiksi. Moottoripiirin suojana käytetään yleensä kahvasulakkeita. Niiden katkaisukyky on tyypillisesti yli 100 kA. gG-tyypin sulakkeet, niin sanotut yleissulakkeet, reagoivat nopeasti ylikuormitukseen ja niitä käytetään pääasiassa johdonsuojaukseen. AM-tyypin sulakkeet eivät reagoi tai reagoivat hitaasti pieniin ylivirtoihin. Ne toimivat vasta moininkertaisella nimellisvirran arvolla. Tällöin tarvitaan lämpörele huolehtimaan piirin ylikuormitussuojauksesta. (Koskinen 1996, 87)

Kytkinvarokkeen tulee pystyä katkaisemaan ja kytkemään moottorin käynnistysvirta. Sulakkeen ollessa virtaa rajoittava, ei keskuksessa tarvitse olla erityistä lisätilaa katkaisualokaarta varten. Suojauksen selektiivisyys saavutetaan kun syötön puolella olevan sulakkeen sulamisaikaa vastaava  $I^2T$ -arvo on suurempi kuin kuorman puolella olevan sulakkeen kokonaistoiminta-aikaa kuvaava  $I^2T$ -arvo.  $I^2T$  -arvolla määritetään energian määrä, jolla suojaksen tulee toimia ja estää piirin vaurioituminen. (PSK-1801, 31; Hietalahti 2013, 183.)

Sulakkeellisen järjestelmän ylikuormitussuojan tulee toimia moottorin ylikuormitus- ja jumitilanteissa. Oikosulkusuojan tulee sen sijaan toimia mahdollisimman nopeasti piirin oikosulkutilanteessa. Suojauksen toimiessa edellä mainitulla tavalla on suojaus selektiivinen. Kuvassa 11 on SFS-16 käsikirjassa oleva hyvin havainnollinen esimerkki suojauksen periaatteellisesta toiminnasta. Kuvassa 11 numeron 5 kohdalla, on ylikuormitussuojan- ja sulakkeen toiminta-aikakäyrien leikkauspiste. Sen pisteen yläpuolella on kontaktorin terminen kesto- käyrä (numero 6), eli suojiin tulee suojata kontaktori termisesti. Mitoituksessa lisäksi huomioitavaa on, että oikosulkusuojan tulee toimia ennen ylikuormitussuojan termistä kestorajaa (numero 3).



1. moottorin käynnistysvirta
2. ylikuormitussuojan toiminta-aikakäyrä
3. ylikuormitussuojan termien kesto
- 4a. sulakkeen toiminta-aikakäyrä
- 4b. katkaisijan toiminta-aikakäyrä
5. toiminta-aikakäyrien leikkauspiste  $I_{co}$
6. kontaktorin termien kesto
7. kontaktorin katkaisukyky (AC3 tai AC4)
8. kontaktorin testivirta  $I_{cd}$

Kuva 11 Suojauksen koordinaatio, sulakkeellinen (SFS-16, 64.)

Kojevalmistajat ilmoittavat kojevalintaulukoissa sopivia komponentteja eri moottoritehoille. Käynnistimien ja sulakkeiden lisäksi, taulukoissa yleensä esitetään suositellut kaapelit, kaapelien rajapituudet ja suositus turvakytkimeksi. (SFS-16, 65 – 66.)

Taulukko 4 Kojevalintataulukko (ABB, Pienjännitekojeet. Teollisuuskäyttöjen kojevalinnat, 4.)

Moottorit ABB				Keskuksen kojeet				Kaapeli			Turvakytkin <sup>2)</sup>			
P [kW]	In / [A]	400V 50Hz / Moottorin kierr. [r/min]		Kontak- tori- tyyppi <sup>2)</sup>	Lämpörele		Asettelualue / Moottorin kierr. [r/min]	Kytin- varoke <sup>2)</sup>	Sulake OFA_ [A]	MCMK <sup>2)</sup>	AMCMK <sup>2)</sup> *AXCMK	[m] <sup>1)</sup>		
		750	1000		1500	3000								
0,09	0,53	-	-	A9	TA25DU	-	-	OS	2aM	3x1,5+1,5			OTP16T3M	OTP16T3M
0,12	0,63	0,59	-			0,4-0,63	0,4-0,63	32 D12	2aM					
0,18	0,9	0,75	0,72			0,63-1,0	0,63-1,0		2aM					
0,25	1,18	0,92	0,83			1,0-1,4	0,63-1,0		2aM					
0,37	1,6	1,25	1,12			1,3-1,8	1,0-1,4		2aM			370		
0,55	2,4	1,78	1,45			1,7-2,4	1,3-1,8		2aM			270		
0,75	2,7	2,4	1,9			2,2-3,1	1,7-2,4		4aM			210		
1,1	3,35	3,3	2,55			2,8-4,0	2,2-3,1		4aM			140		
1,5	4,5	4,1	3,4			3,5-5,0	2,8-4,0		6aM	3x2,5+2,5		180		
2,2	5,9	5,4	4,8			4,5-6,5	3,5-5,0		10aM			110		
3,0	7,8	6,9	6,5			6,0-8,5	6,0-8,5		10aM	3x6+6		180		
4,0	10	8,7	8,6		A12	7,5-11	7,5-11		16aM			140		
5,5	13,4	11,9	11,1		A16	13-19	10-14		16aM			120		
7,5	18,1	15,4	14,8		A26	13-19	13-19		20aM	3x10+10		130	OTP25T3M	OTP25T3M
11	25	23	22		A30	18-25	18-25		32aM			120		
15	29	31	29		A40	22-32	22-32		OS			80	OTP36T3M	OTP36T3M
18,5	36	36	37		A50	29-42	29-42		63 D12	3x16+16		120	OTP75T3B	OTP75T3B
22	45	43	42		A63	36-52	36-52		63aM		3x70+21	130		
30	60	59	56		A75	45-63	45-63		OS	3x35+16		160	OT90ALCC3TZ	OT90AAUC3TZ
37	74	69	68		A95	65-90	65-90		125 D12	100aM		130		
45	90	82	83		A110	65-90	65-90		125aM	3x70+35	3x120+41	170	OT125ELCC3TZ	OT125EAUC3TZ
55	104	101	98		A145	E200DU	60-200		OESA	160aM	3x120+70	150	OT160ELCC3TZ	OT160EAUC3TZ
									250D3PL					
75	140	140	135		A185				200aM		3x185+57	140	OT200KLCC3TZ	OT200KAUC3TZ
90	167	163	158		A210	E320DU	100-320		200aM	3x185+95	2x (3x120+41)	180	OT250KLCC3TZ	OT250KAUC3TZ
									OESA	250aM		150		
110	202	199	193		A260				400D3PL					
132	250	238	232		A300				315aM	2x (3x120+70)	2x (3x185+57)	170	OT315KLCC3TZ	OT315KAUC3TZ
160	305	280	282		AF400	E500DU	150-500		OESA	355aM	2x (3x240+72)	180	OT400DLCC3TZ	OT400DAUC3TZ
									630D3PL					
200	395	355	349		AF460				500aM	2x	*2x (3x300+88)	150	OT630KLCC3TZ	OT630KAUC3TZ
250	470	450	430		AF580	E800DU	250-800		630aM	3x (3x185+95)		130		
315	605	565	545		AF580				800aM			110		
355	680	635	610		AF750				800D3PL	800aM				

Taulukosta 4 on helppo valita haluamalleen moottorille komponentit. Taulukko on 400 V järjestelmälle, sulakkeelliselle suojauskelle ja käynnistimien suojauskoordinaatioluokan 2 mukaan. Mitoitus on riittävä seuraavalle tehoportaalle 200 kW asti, eli valitut komponentit käyvät myös seuraavan tehoportaan moottorille. Jos esimerkiksi valitaan moottori, nimellisteholtaan 11 kW ja pyörimisnopeudeltaan 1500 rpm, valitaan kontaktoriksi A30 tyyppin kontaktori.

Taulukko 4 on kuitenkin osaltaan vanhentunut. 18,5 kW tehoportaaseen asti on taulukossa esiteltyt tuotteet korvattu uudella AF-tuotesarjalla. Uusi tuotesarja pitää sisällään uusia ratkaisuja suojaukseen ja eri komponenttien integrointiin. Taulukon 4 A30 kontaktori on korvattu AF26-30-00-13 kontaktorilla, jota on mahdollista ohjata sekä AC-että DC-jännitteellä. Kela on myös häiriösuojattu. Näissä kontaktoreissa suojaus toteutetaan joko moottorinsuojakytkimellä tai lämpöreleellä. Taulukossa 5 on pieni osa AF-sarjan kontaktoreiden valinnasta ja suojauksesta. Sarjan MS-132 moottorinsuojakytkimet sisältävät oikosulkusuojausten lisäksi myös ylikuomitussuojausten ja vaihevikalaukaisun. Nykyinen trendi onkin, että moottorilähtöihin suunnitellaan integroitua moottorikäynnistimiä laajoilla säätö- ja suojausmahdollisuuksilla. (ABB. Tekninen esite STAR, 5 - 6, 17.)

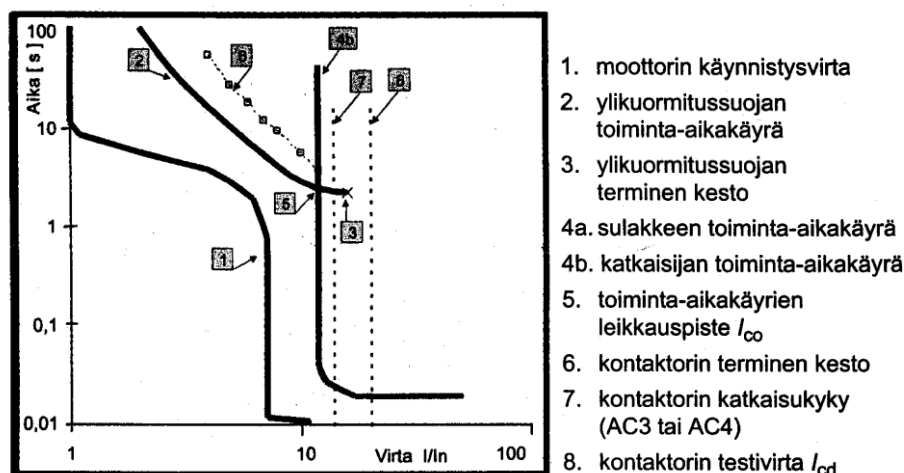
Taulukko 5 Pieni osa AF-kontaktoreiden valintataulukosta (ABB. Tekninen esite STAR, 17.)

		Moottorinsuojakytkimet				Kontaktorit				Lisävarusteet		
IEC		Tyyppi (1)	Snro	Virran asetusalue	Magneettinen laukaisuvirta	Ohjausjännite U <sub>väh.</sub> ... U <sub>enint.</sub> (2)		Tyyppi	Snro	Sallittu laukaisuvirta	Tyyppi	Snro
AC-3, 400 V	Nimellis- teho kW	Nimellis- virta A		A	A	V 50/60Hz	V DC			A		
11	22	MS132-25	37 059 98	20,0-25,0	375	24-60	20-60	AF26Z-30-00-21	37 062 73	25	BEA38-4	37 065 57
						100-250	100-250	AF26-30-00-13	37 062 64		+	+
15	29	MS132-32	37 059 99	25,0-32,0	480	24-60	20-60	AF30Z-30-00-21	37 062 94	32	CA4-10	37 065 00
						100-250	100-250	AF30-30-00-13	37 062 85			

### 3.2 Sulakkeeton suojaus

Sulakkeettomissa moottorilähdöissä on sulakkeet korvattu moottorinsuojakatkaisijalla (moottorinsuojakytkin). Etuna on tarkkuus ja nopeus oikosulkutilanteessa ja 1- tai 2-vaiheisten vikojen 3-vaiheinen laukaisu. Katkaisijoita saa myös varustettuna sisäisellä

ylikuormitussuojalla ja apukoskettimilla. Kuvassa 12 on suojausten periaatteellinen toiminta sulakkeettomassa suojaustavassa. Käyrä 4b kuvaa katkaisijan toiminta-aikakäyrää. Katkaisijan toiminta-aika käyrän ja ylikuormitussuojan toiminta-aikakäyrän leikkauspisteen yläpuolelle tulee jäädä ylikuormitussuojan terminen kesto (numero 3), kontaktorin katkaisukyky (numero 7) ja kontaktorin terminen kesto (numero 6).



Kuva 12 Suojauskoordinaatio, sulakkeeton (SFS-16, 64.)

Katkaisijan käytössä oikosulkusuojana on varmistettava, että katkaisija pystyy katkaisemaan suurimman piirissä esiintyvän oikosulkuvirran. Magneettinen laukaisu-virta on yleensä 8-13 -kertainen moottorin nimellisvirtaan verrattuna. (Koskinen 1996, 90)

Katkaisijan valinnassa on katkaisukyvyyn riittävyyden lisäksi huomioitava back-up-suojaus, suojausten selektiivisyys ja katkaisijan läpäisemän virran huippuarvo. Sulakkeettoman suojausten selektiivinen toiminta perustuu mahdollisimman rajattuun osaan piiriä. Laitteet kuorman puolella tulee suojata oikosulkua ja ylikuormitusta vastaan siten, että kuorman puoleinen katkaisija toimii ennen syötön puoleista katkaisijaa. Standardi EN 60947-2 määrittää kaksi käyttöluokkaa, käyttöluokka A ja käyttöluokka B. Käyttöluokka B on aikaselektiivinen. Käyttöluokassa B edessä oleva katkaisija varustetaan hidastetulla oikosulkulaukaisimella. Katkaisija jonka perässä vika on, toimii ainoastaan. (PSK-1801, 32.)

Käyttöluokka A perustuu virtaselektiivisyyteen. Sarjaan kytkettyjä katkaisijoita joista vain vikapaikkaa lähempi katkaisija toimii, kutsutaan ylikuorma- ja oikosulkuselektiiviseksi. Jos kahden peräkkäisen katkaisijan välinen oikosulku-vaimennus on riittävä, voi-



daan käyttää hidastamattomia oikosulkulaukaisijoita. Peräkkäisten katkaisijoiden asettelussa käytetään kerrointa 1,5 selektiivisyyden saavuttamiseksi. Mikäli katkaisijoiden oikosulkuvirrat ovat lähes yhtä suuret, voidaan selektiivisyys toteuttaa asetelujen porrastuksella vain tiettyyn vikavirran arvoon asti. Tätä virtaa kutsutaan selektiivisyysrajaksi. Perättäisten katkaisijoiden valintaan vaikuttavat selektiivisyyden raja-arvot, ovat saatavilla kojevalmistajien taulukoista. (PSK-1801, 32.)

Back-up-suojaus tarkoittaa edessä olevan katkaisijan toimivan virtaa rajoittavana, sallien näin jälkimmäisen katkaisijan katkaisukykyyn olevan pienempi kuin oikosulkuvirran arvo kyseisessä kohdassa. Back-up-suojauksen mitoitus eri katkaisijoille perustuu niiden katkaisukykyyn ja laitteiden yhteensopivuus on esitetty valmistajien taulukoissa. Back-up-suojausta voidaan käyttää, mikäli selektiivisyys ei ole ehdoton vaatimus. Tällä koordinaatiolla saavutetaan usein säästöjä kuormanpuoleisen katkaisijan valinnassa. (PSK-1801, 32; ABB. Pienjännitekojeet, SACE FI 00-08 esite, 20.)

### 3.3 Ohjauspiirin suunnittelu

Verkon oikosulkutehon ollessa pieni, voidaan ohjauspiirien jännitesyöttö ottaa suoraan keskuksen syöttökiskoista. Ohjauspiirien syöttö on kuitenkin suositeltavaa toteuttaa ohjausjännitemuuntajalla, vaikka moottorikeskuksen nimellisjännite olisikin 400 V ja jakelujärjestelmä TN-S. Käytettäessä ohjausjännitemuuntajaa, saadaan oikosulkutehoa ohjauspiirissä rajoitettua. Muuntaja suojataan ensiöpuolelta sulakkeilla ja varustetaan kytkimellä ohjauspiirin erottamiseksi pääpiiristä. Toisiopuolen toinen napa maadoitetaan ja toinen varustetaan oikosulkusuojalla, joka on selektiivinen lähdön suojan kanssa. Ensiöpuolen suojaksi 1,4 -1,8 x ensiön nimellisvirta ja toisiopuolen suojaksi 1,0 x toison nimellisvirta. Sulakkeiksi valitaan gG-tyypin sulakkeet. (PSK-1801, 22)

Muuntaja tulee mitoittaa niin, että kontaktoreiden kiinniohjausteho on riittävä. Näin vältetään koskettimien hitsaantumiselta. Karkea mitoitusääntö on: kaikkien ohjattavien kontaktoreiden pitoteho + kahden suurimman kontaktorin yhteenlaskettu vetoteho. Mikäli ohjattavia suuria kontakteita on paljon, on mitoitus-tehoa suositeltavaa pyöristää ylöspäin. Kontaktoritehojen lisäksi ohjauspiiriin liittyvät muut laitteet kuten moottoreiden seisontalämmitystehot, tulee ottaa mitoituksessa huomioon. Ohjausjännitemuuntaja voidaan valita myös keskuksen nimellisvirran mukaan, mikäli ei tarkempia ohjeita ole

saatavilla. Taulukon 7 toision ylivirtasuoja valitaan haluttaessa suojata muuntaja erikseen. (SFS-16, 59; PSK-1801, 22.)

Taulukko 6 Ohjausjännitemuuntajan ja suojen valinta (PSK-1801, 23.)

Keskuksen In/A	Ohjausmuuntajateho VA	Ensiön ylivirtasuoja A			Toision ylivirtasuoja A	Lähtöyksikön suurin ohjausjännitepiirin ylivirtasuoja	Suoja-automaatin pikalaukaisu	
		400 V	500 V	690V			B	C
					230 V	Nopea tulpasulake		
	2500	10	10	6	10	4	-	1-2
	3150	16	10	10	16	6	-	2
<b>800</b>	4000	20	16	10	20	6	6	3
<b>1000</b>	5000	25	20	16	25	10	6	4
<b>1250</b>	6300	25	20	16	35	10	10	6
<b>1600</b>	8000	35	25	20	35	16	10	6
<b>2000</b>	10000	50	35	25	50	20	16	8
<b>2500</b>	12500	50	35	25	50	25	20	10
<b>3150</b>	16000	63	50	35	63	35	25	16

Mitoituksessa on myös huomioitava kontaktoreilla avautumiseen ja sulkeutumiseen menevä aika. Yleensä suoraan vetävillä kontaktoreilla tämä on 20 -50 ms. Avautuessaan kontaktorin koskettimien välille syntyy valokaari ja kontaktorin virtapiiri on sulkeutunut valokaaren sammumiseen asti. Mikäli ohjauspiiri antaa kiinni-auki käskyjä hyvin lyhyellä aikavälillä, tulee kontaktorin kytkennässä käyttää apurelettä -K11 hidastusta varten. Näin kontaktorin kiinni- ja aukiohjaus on sallittua vasta koskettimien ollessa täysin ääriasennoissaan. Suuritehoisissa suorissa- ja tähti-kolmio-moottorilähdöissä käytetään aina ohjauspiirissä apurelettä. (SFS-16 2000, 59.)

### 3.4 Ohjaukset

Moottorin käynnistysperiaate jakaantuu kahteen ryhmään ohjaustavasta riippuen. Jatkuvassa ohjauksessa ohjausjärjestelmän ohjausvälirole on jatkuvasti vetäneenä. Väliroleen apukosketin pitää kontaktorin kelan vetäneenä, kunnes ohjaus lopetetaan. Jatkovaa ohjausta käytetään yleensä prosessiteollisuudessa. Tässä ohjaustavassa moottoreiden ohjaus katkeaa, mikäli esimerkiksi automaatiojärjestelmän tulo- tai lähtökorttien jännite katkeaa.

Pulssiohjauksessa ohjausjärjestelmä antaa lyhyen pulssin välireleelle. Välirele on vetäneenä ainoastaan pulssin ajan ja kontaktori saa pidon omien apukoskettimien välityksellä. Ohjausjärjestelmän auki-ohjaus ohjaa omaa välirelettä, joka aukaisee kontaktorin ohjauspiirin. Pulssiohjattua tapaa käytetään silloin, mikäli prosessin moottoreiden äkkinäinen pysähtyminen ohjauspiirin häiriöstä johtuen aiheuttaisi vaaratilanteen tai vahinkoa prosessille. (SFS-16, 68 - 69.)

Käynnistysperiaatteen lisäksi, voidaan myös moottorilähtöjen paikallisohjaus toimintatavoista tunnistaa 2 ryhmää. PES-moodissa on automaatiojärjestelmä määrävässä asemassa ja järjestelmä antaa luvan paikallisohjaukselle. MCC-moodissa paikallisohjaus on määrävässä asemassa. Paikallisohjaukskytkimen on oltava pulssiohjattu ohjausjärjestelmän OKE-kytkimen takia. Pulssiohjauksella vältetään moottorin uudelleen käynnistyminen kytkimen sulkemisen yhteydessä. (SFS-16, 68 - 69.)

### 3.5 Moottorilähtöjen piirikaaviot

Kohdissa 3.5.1, 3.5.2 ja 3.5.3 on esitelty SFS-16 käsikirjasta löytyviä esimerkkejä moottorilähtöjen piirikaavioista. Piirikaavioiden esittelyllä havainnollistetaan erilaisten ohjaustapojen ja komponenttivalintojen vaikutukset piirikaavioihin.

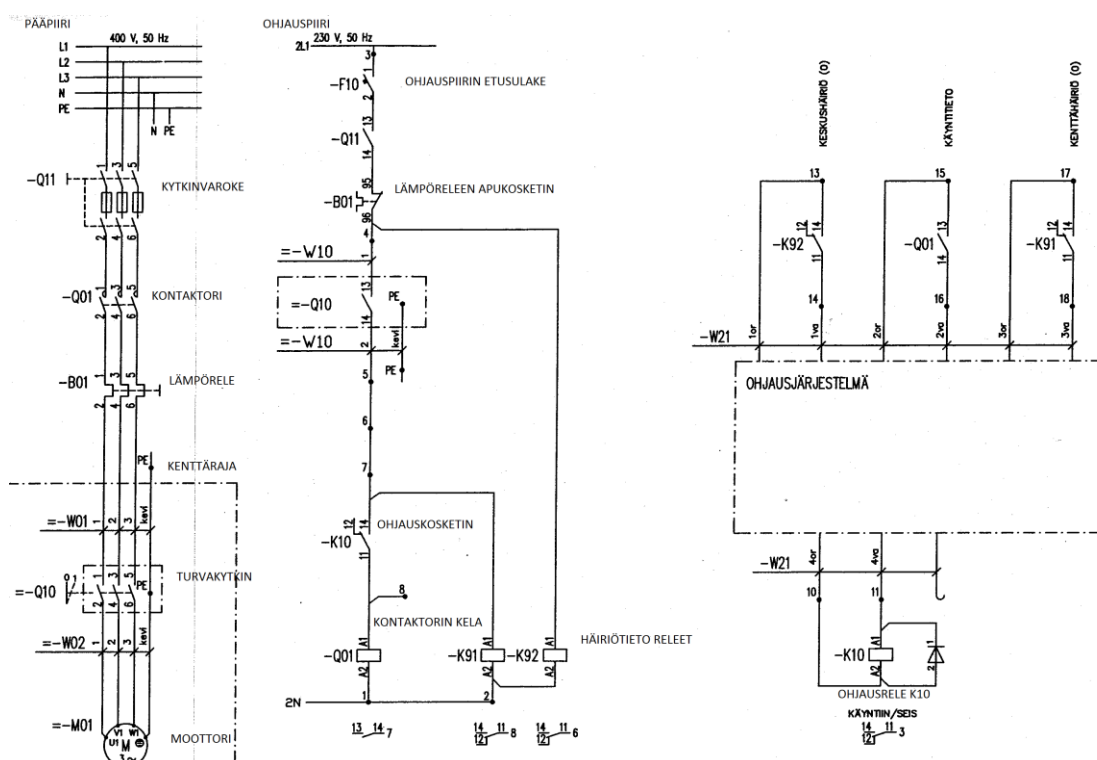
#### 3.5.1 Suorat moottorilähdöt

Kuvassa 13 on esimerkki piirikaaviosta SFS-16 käsikirjasta. Esimerkki on jatkuvalla ohjauksella toteutettu suora moottorilähtö. Moottorilähtö on myös paikallisohjauksen osalta PES-moodinen. Moottoripiirikaaviota piirretään eri tavalla suunnittelu- ja yritysten toimintatavoista riippuen.

Kuvan vasemmassa laidassa on pääpiiri. Pääpiirissä on etukoje, kontaktori, ylikuormitussuoja, turvakytkin ja moottori. Kuvan alalaidassa on katkoviivalla rajattu kenttäraja, jonka sisäpuolella olevat laitteet ovat kentällä. Pääpiirin oikealla puolella on ohjauspiiri ja edelleen sen oikealla puolella ohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmän ohjatessa välirelettä -K10 (kuvan oikeassa alalaidassa), sen apukosketin ohjaa pääpiirin kontaktorin vetäneeksi ja moottori käynnistyy. Ohjausjärjestelmään tuotavia tietoja on moottorin

käyntitieto, keskushäiriö ja kenttähäiriö. Käyntitieto saadaan kontaktorin -Q01 apukoskettimelta. Kuvan 13 kytkennässä on kyseessä jatkuva ohjaus pienellä moottoriteholla ilman apureletta -K11, eli ohjausjärjestelmä pitää ohjausvälireleen jatkuvasti vetäneenä.

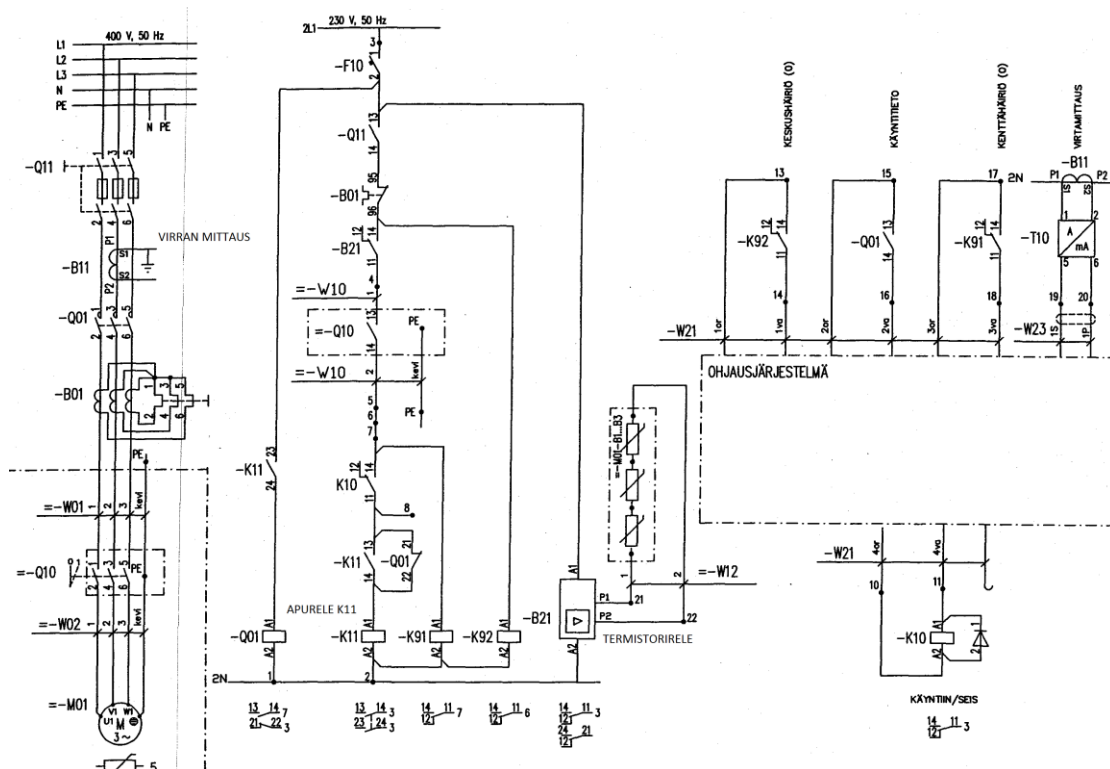
SFS-16 malli piirikaaviossa on vakioitu ohjauspiirin riviliittimet. Kuvien johtimissa näkyvät numeroidut pisteet kuvaavat riviliittimiä ja niiden vakioituja käyttötarkoituksia. Esimerkiksi ohjauspiirin ylälaidassa, ennen etusulaketta näkyvä piste 3, kuvaa ohjausjännitettä, 230 VAC. Piste 8 kontaktorin kelan yläpuolella kuvaa paikallisohjausta käyntiin. Piste 5 kuvaa turvakytkimen lukitusta ja pisteet 6 ja 7 ulkoisia lukituksia.



Kuva 13 Suora moottorilähtö, jatkuva ohjaus, PES-moodi (SFS-16, 112.)

Kuvassa 14 on suoran moottorilähdön kytkentä, jossa on käytetty kontaktorin ohjaukseen apureletta -K11. Apureleen käyttö on suotavaa mikäli kontaktoria auki- ja kiinniohjataan lyhyellä aikavälillä tai mikäli ohjauspiirin jännite on pieni, ohjattavan kontaktorin vetovirta suuri ja ohjauspiiri pitkä. Apureleen käyttöä suositellaan myös aina suurien moottorilähtöjen yhteydessä, kontaktorin nimellisvirran ollessa yli 200 A. Kuvan 14 kytkentään on myös lisätty termistorirele -B21, jolla valvotaan moottorin lämpötilaa. (SFS-16. s. 59)

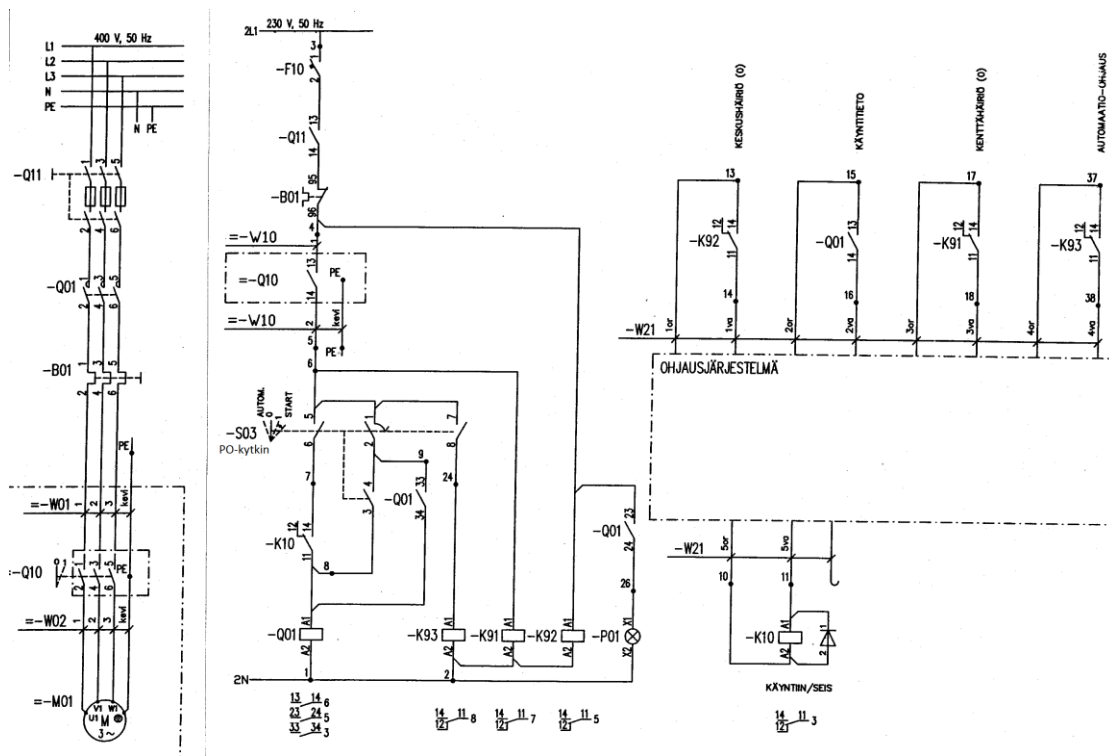
Ohjausjärjestelmä ohjaa välirelettä -K10. Välirele -K10 ohjaa apureleen -K11 kiinni. Apurele -K11 tekee pitopiirin muodostaa koskettimensa välityksellä ja ohjaa kontaktorin -Q01 kiinni. Moottori pysähtyy ohjausjärjestelmän ohjauksen loppuessa, syötön puolen suojan lauetessa, pääpiirin etukojeen -Q11 toimiessa pääpiirin oikosulussa, ohjauspiirin sulakkeen -F10 toimiessa ohjauspiirin oikosulussa, lämpöreleen -B01 toimiessa moottorin ylikuormitustilanteissa, termistorireleen -B21 toimiessa moottorin liiallisen lämpenemisen seurauksena tai turvakytkimen -Q10 avautuessa.



Kuva 14 Suora moottorilähtö, jatkuva ohjaus, PES-moodi, isoteho (SFS-16, 113.)

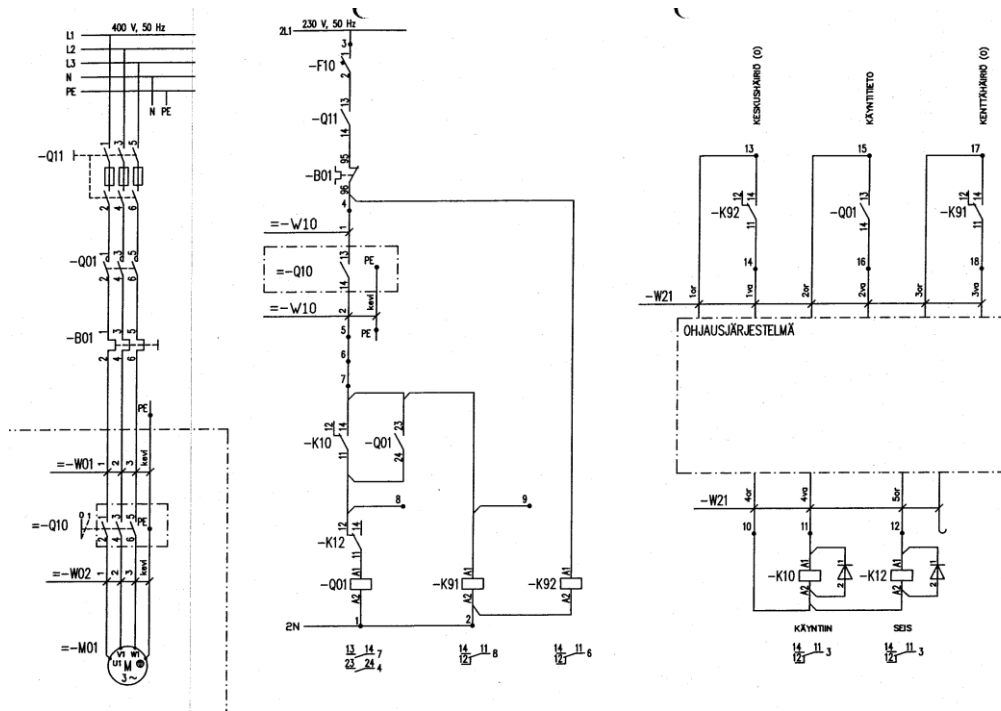
Kuvassa 15 on MCC-moodin mukainen, jatkuva ohjauksinen suora moottorilähtö. Kuvassa keskellä olevalla -S03 kytkimellä valitaan ohjaus joko automaatio- tai paikallisohjaukseksi. Esimerkin kytkin sijaitsee keskuksessa. Tällaisen moottorilähdön keskus voi olla niin sanottu ohjauspulpetti, josta voidaan ohjata prosessin moottoreita paikallisesti laitteen läheltä. Käännettäessä kytkin -S03 automaatio -asentoon, kytkimen koskettimet 5-6 ja 7-8 sulkeutuvat. Koskettimet 7-8 ohjaavat välirelettä -K93, jolla ohjausjärjestelmä saa tiedon automaatio-ohjauksesta ja voi ohjata ohjausvälirelettä -K10. Moottorin käydessä, kontaktorin apukoskettimet 23-24 ohjaavat merkkivalon -P01 päälle, joka merkitsee ”moottori käy” funktiota.

Käännettäessä kytkin asennon 0 kautta asentoon 1, aukeaa kytkimen koskettimet 5-6 ja 7-8 katkaisten ohjauksen ja ohjausjärjestelmän moottorille tekemät ohjaukset välireleen -K93 avatessa koskettimensa 11-14. Asennossa yksi sulkeutuu koskettimet 1-2. Start -asennossa moottori käynnistyy kytkimen koskettimien 3-4 sulkeuduttua. Kontaktori saa itsepidon omien koskettimiensa 33-34 kautta ja kytkimen koskettimet 1-2 jäävät sulkeutuneeksi.



Kuva 15 Jatkuva ohjaus, suora moottorilähtö, MCC-moodi (SFS-16, 119.)

Kuvassa 16 on esimerkki pulssiohjatusta suorasta moottorilähdöstä. Ohjausjärjestelmässä on erilliset kytkimet pysäytykselle. Käyntiin ajettaessa, ohjataan -K10 ohjausvälirelettä. Rele ohjaa jännitteen kontaktorin kelaan ja kontaktori saa pitopiirin omien koskettimiensa 23-24 välityksellä. Pulssiohjauksessa välirele -K10 käy päällä vain lyhyen. Moottori pysäytetään välireleen -K12 avulla, joka pulssin saadessaan avaa koskettimet 12-11, jolloin kontaktorin ohjauspiiri aukeaa.

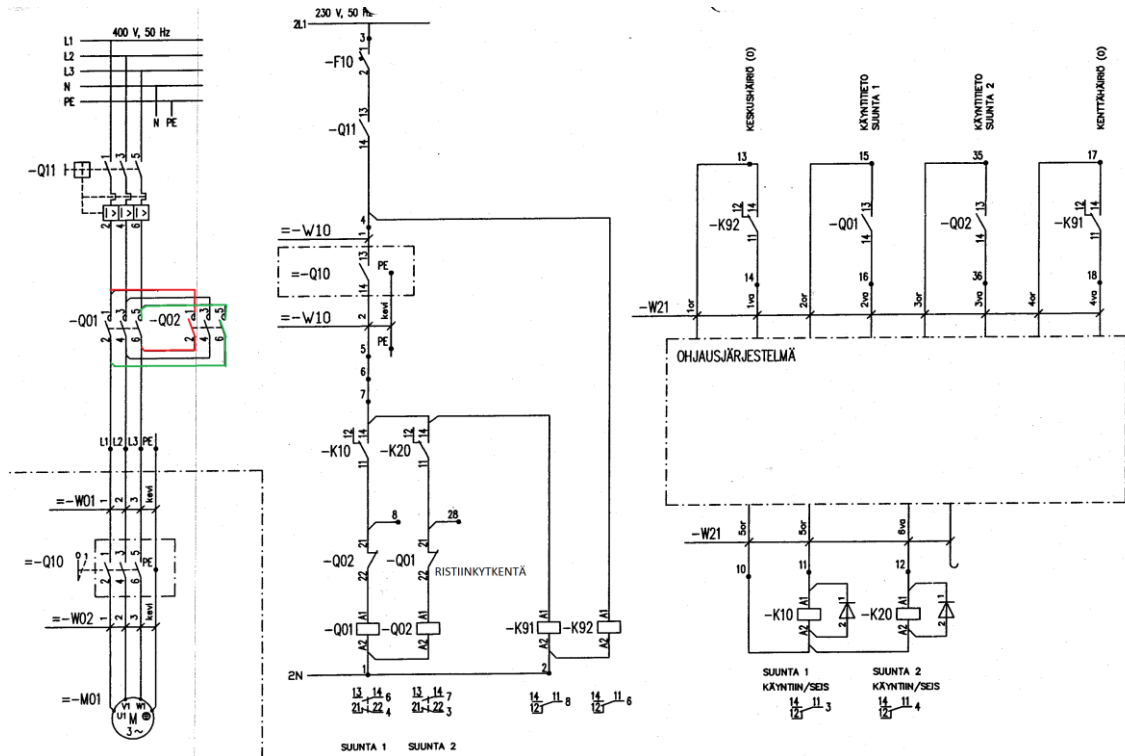


Kuva 16 Pulssiohjaus, suora moottorilähtö, PES-moodi (SFS-16, 122.)

### 3.5.2 Suunnanvaihtokytkentä

Suunnanvaihtokytkennässä moottorin pyörimissuunta muutetaan moottorin vaihejärjestystä muuttamalla, tarkemmin kaksi vaihetta vaihtaa paikkaansa. Kontaktorit ovat apukoskettimiensa välityksellä ristiinlukittuja, oikosulun ja päällekkäisohjauksen estämiseksi. (Hietalahti 2013, 209.)

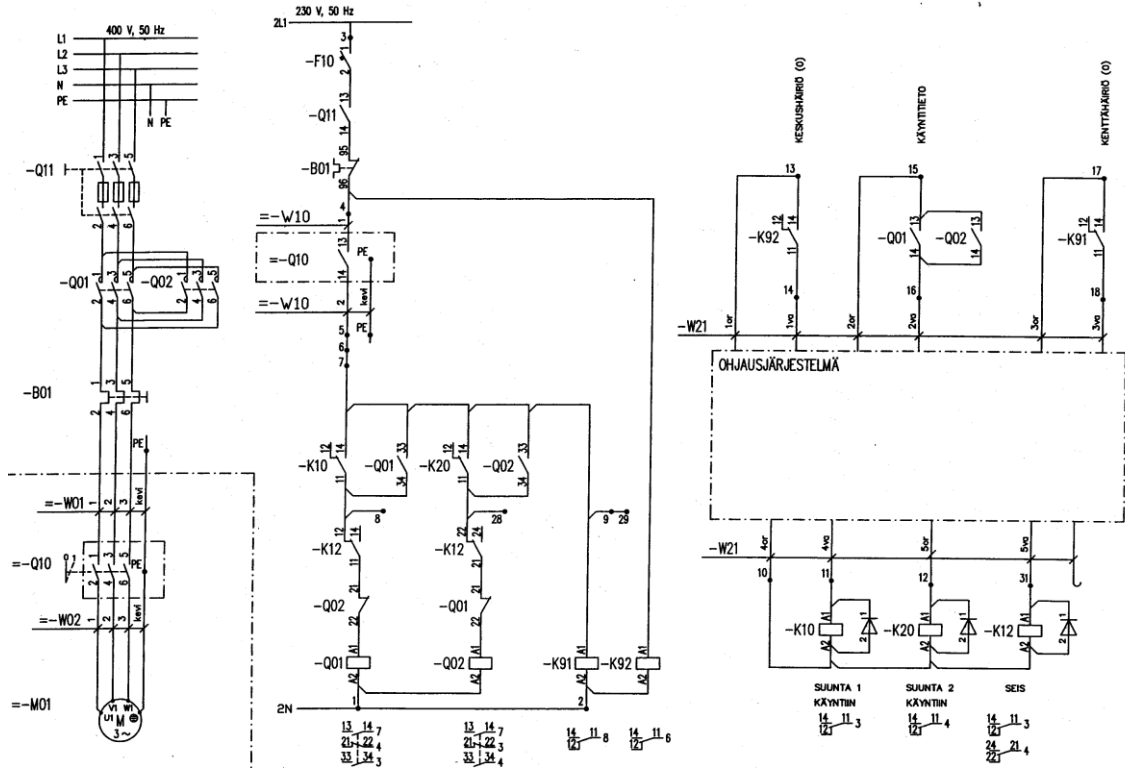
Kuvan 17 esimerkki tapauksessa, vaiheet L1 ja L3 vaihtavat kontaktori kytkennän ansiosta keskenään järjestystä. Kuvaan merkitty vaiheiden L1 väri punaisella ja L3 väri vihreällä vaiheiden järjestystä havainnollistamaan. Kontaktori -Q01 ohjaa moottoria esimerkiksi eteenpäin ja -Q02 taaksepäin. Kytkennän ollessa jatkuva ohjauksinen, ohjausjärjestelmä pitää ohjaavan välireleen vetäneenä. Välirele -K10 ohjaa kontaktoria -Q01 ja vastaavasti välirele -K20 kontaktoria -Q02. Kontaktoreiden välillä olevan ristiinkytkennän takia ainoastaan toinen kontaktori voi kerrallaan ohjata moottoria. Kontaktoreiden ohjausjännitteet kulkevat toisen kontaktorin avautuvan koskettimen kautta. Kontaktorin -Q01 ohjauspiiri kulkee kontaktorin -Q02 avautuvan koskettimen 21-22 kautta, katkaisien ohjauspiirin, mikäli -Q02 on vetäneenä. Ohjausjärjestelmään tuodaan pyörimissuunnan käyntitiedot kontaktoreiden apukoskettimista.



Kuva 17 Suunnanvaihtokytkentä, jatkuva ohjaus, PES-moodi (SFS-16, 114.)

Kuvan 18 pulssiohjattu PES-moodinen suunnanvaihtokytkentä on toteutettu edellisen tapaan, muutoksena ohjausjärjestelmän pulssiohjaus. Ohjausjärjestelmä ohjaa välirelettä -K10 haluttaessa ajaa suuntaan yksi. -K10 käy päällä antaen jännitteen kontaktorin -Q01 kelalle. Kelan vetäessä, kontaktori saa pitopiirin omien koskettimiensa 33-34 välityksellä. Pysäytys tapahtuu välireleen -K12 avulla, joka saadessaan jännitteen ohjausjärjestelmästä, avaa se avautuvat apukoskettimensa 12-11 kontaktorin -Q01 ohjauspiirissä ja koskettimet 22-21 -Q02 ohjauspiirissä. Näin ohjaus loppuu ja kontaktori aukeaa pysäyttäen moottorin. Ristiinkytkennän avulla on kontaktoreiden yhtäaikainen ohjaus estetty. Edellisen kytkennän tapaan, ohjausjärjestelmä saa moottorin pyörimissuuntatiedot kontaktoreiden apuskoskettimilta.

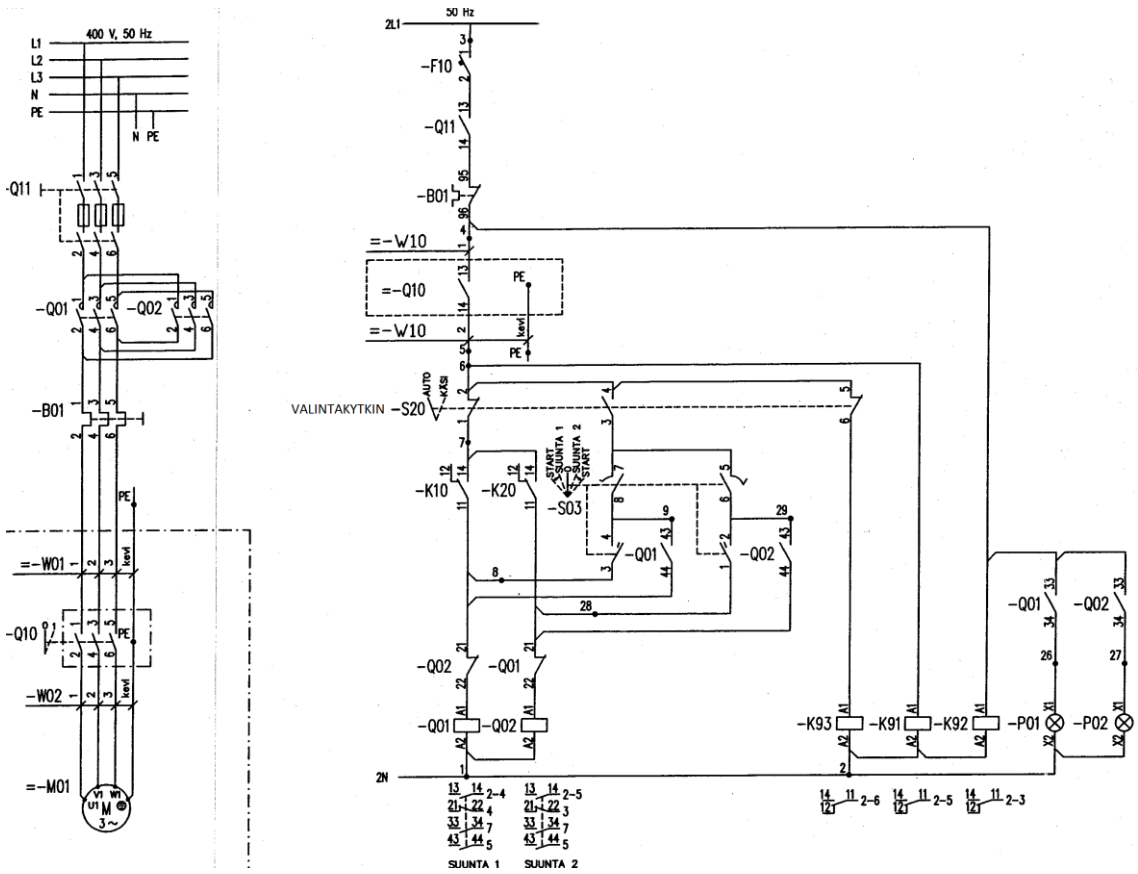




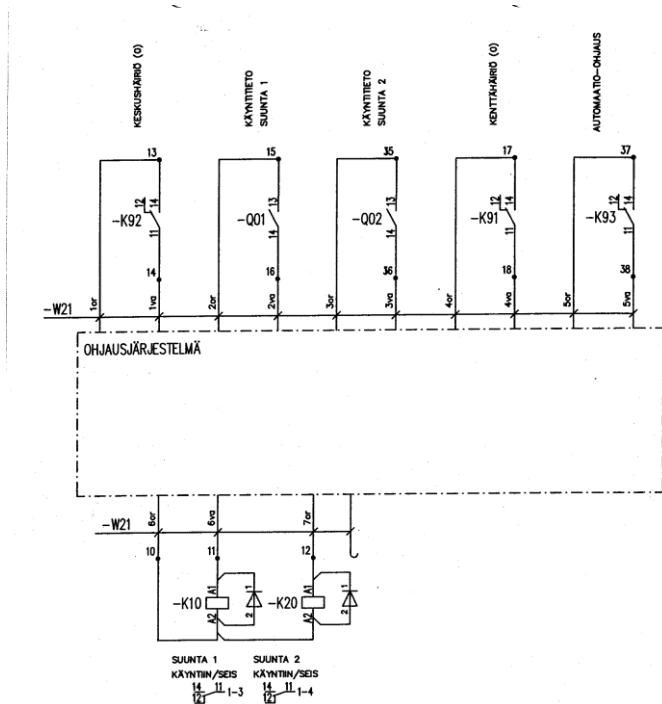
Kuva 18 Suunnanvaihtokytkentä, pulssiohjaus, PES-moodi. (SFS-16, 123.)

Kuvassa 19 on suunnanvaihtokytkentä MCC-moodilla ja jatkuvalla ohjauksella tehtynä. Keskellä kuvassa olevalla valintakytkimellä -S20 valitaan ohjaus joko ohjausjärjestelmälle (kuvassa 20) tai käsinohjaukselle. Ohjauksen ollessa automatiikalla, on kytkimen -S20 koskettimet 2-1 ja 5-6 kiinni. Koskettimet 5-6 ohjaavat välirelettä -K93, joka toimii ohjausjärjestelmän lupana ohjata laitetta. Koskettimet 2-1 ohjaavat jännitteen ohjausvälireleille -K10 ja -K20, joiden avulla kuvan 19 esimerkin mukaisesti ohjataan moottoria jatkuvalla ohjauksella suuntiin yksi ja kaksi. Ohjausvälireleet näkyvät kuvassa 20.

Käsinohjaukselle käännettäessä, kytkin -S20 avaa koskettimensa 2-1 ja 5-6, estäen ohjausjärjestelmän päällekkäisen ohjauksen. Samalla -S20 sulkee myös koskettimensa 4-3 ja ohjaus on mahdollista kytkimen -S03 avulla. Kytkimessä -S03 on 5 asentoa. Suuntaan 1 ajettaessa, kytkintä käännettäessä vasemmalle, sulkeutuu koskettimet 7-8. Käännettäessä vielä vasemmalle asentoon ”start”, joka ainoastaan antaa käynnistyspulssein, sulkeutuu kosketin 3-4 ja moottori pyörii suuntaan yksi kunnes kytkin käännetään asentoon 0. Kontaktori -Q01 saa pitopiirin omien apukoskettimiensa 43-44 kautta.



Kuva 19 Suunnanvaihtokytkentä, jatkuva, MCC-moodi. Pää- ja ohjauspiiri (SFS-16, 120.)

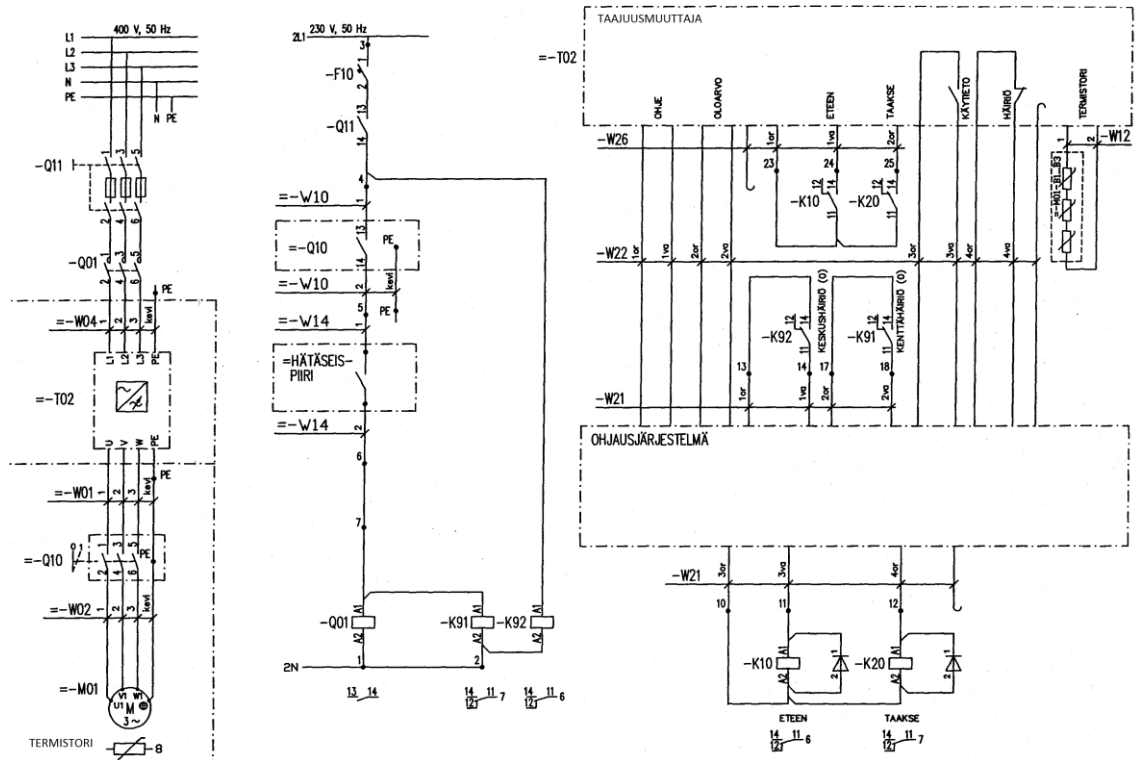


Kuva 20 MCC suunnanvaihtokytkentä, liittyntä ohjausjärjestelmään (SFS-16, 121.)

### 3.5.3 Taajuusmuuttajakäytöt

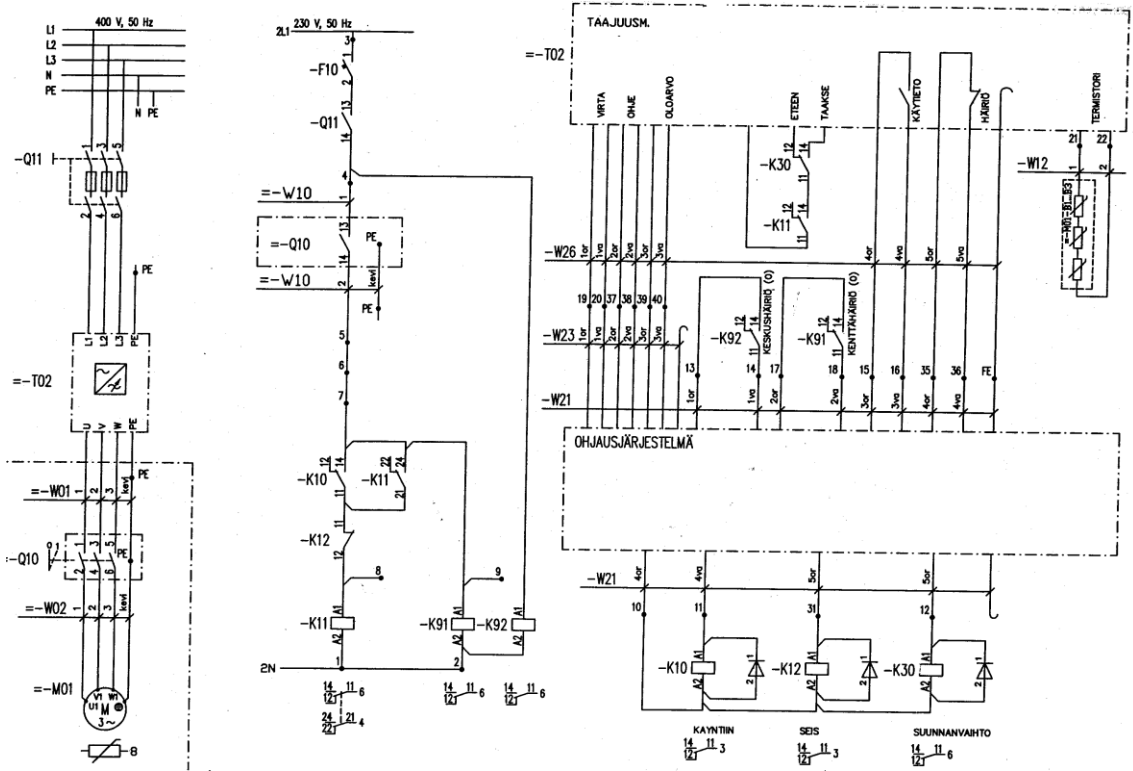
Taajuusmuuttajalähdöissä tulee etukojeiden täyttää tehoelektronikan laitteiden vaatimukset. Oikosulkusuojauksen tulee olla riittävän nopea taajuusmuuttajan verkkopuolen tehopuolijohteiden suojaamiseen. Taajuusmuuttajien tehotason kasvaessa, toimitetaan ne omissa kaapeissaan sisäänrakennetuilla suojauksilla ja erotuskytkimillä. Laitteen liittyminen ohjausjärjestelmään voidaan toteuttaa virta- ja jänniteviestien, kytkintietojen tai kenttäväylien avulla. (Hietalahti 2003, 212.)

Kuvassa 21 on esimerkki piirikaavio taajuusmuuttajalähdöstä. Pääpiiristä näkyy, että aikaisemmin käytetty -Q01, joka kuvasi kontaktoria, tulee ennen taajuusmuuttajaa -T02. Tässä tapauksessa kyseessä on kuitenkin turvapiirin kontaktori, sillä taajuusmuuttaja hoitaa moottorin kytkemisen, katkaisemisen ja suojauksen. Ohjauspiiriin kuuluu etusulake -F10, pääpiirin etukojeen -Q11 apukoskettimet, turvakytkimen apukoskettimet, hätäseis -piirin koskettimet, ulkoisten lukitusten koskettimet (pisteet 6 ja 7), keskus- ja kenttähäiriökelat sekä pääkatkaisija -Q01. Moottorilta tuodaan taajuusmuuttajalle sen lämpötilatiedot PTC-vastuksella. Ohjausjärjestelmä ohjaa välireleitä -K10 eteenpäin ja -K20 taaksepäin. Releiden sulkeutuvilla koskettimilla pyörimissuunnan tieto viedään taajuusmuuttajan riviliittimille. Taajuusmuuttaja ohjaa moottoria haluttuun suuntaan ohjausjärjestelmän antaman ohjearvon moottorin pyörimisnopeuden tai muun suureen mukaisesti.



Kuva 21 Taajuusmuuttaja, PES-moodi, jatkuva ohjaus (SFS-16, 118.)

Kuvassa 22 on pulssiohjattu taajuusmuuttajalähtö. Ohjausjärjestelmä antaa käyntiin tiedon syöttämällä pulssin ohjausvälireleelle -K10. Tämän jälkeen apurele -K11 vetää ja jää vetäneeksi saatuaan itsepidon koskettimiensa 21-24 välityksellä. Apureleen -K11 apukosketin 11-14 sulketuu antaen käyntiin käskyn taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttaja saa suuntatiedon ohjausjärjestelmän ohjaaman apureleen -K30 apukoskettimilta, 11-12 eteen ja 11-14 taakse. Ohjaus pysähtyy ohjausjärjestelmän -K12 apureleen avulla, jonka avautuva kosketin katkaisee ohjauspiirin. Taajuusmuuttaja antaa käyntitiedon, sisäisen häiriötiedon, oloarvon sekä virranmittauksesta saadun tiedon ohjausjärjestelmälle.

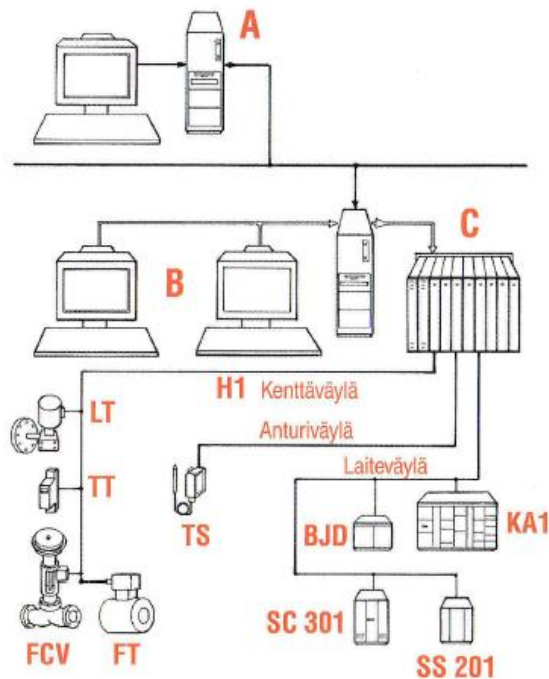


Kuva 22 Taajuusmuuttaja, PES-moodi, pulssiohjaus (SFS-16, 124.)

## 4 VÄYLÄOHJAUS

### 4.1 Kenttäväylät

Kenttäväylillä siirretään tietoa järjestelmien välillä. Väylät korvaavat vanhaa 4-20 mA virta- ja jänniteviestitekniikkaa. Kuvassa 23 on esimerkki teollisuuden automaatiojärjestelmästä. Ylimpänä kuvassa on hallinnon tietokone, joka on yhteydessä alempiin valvomon tietokoneisiin avoimella Ethernet-verkolla. Kirjain C kuvaa prosessiasemaa johon kuuluvat virransyöttökortti, liityntä automaatiöväylään, keskusyksikkö sekä input- ja output-liitynnät. I/O liityntöihin kuuluu kenttäväyläkortteja automaatiolaitteille, anturiväyläkortteja binääriantureille sekä laiteväyläkortteja moottorikeskuksille ja taajuusmuuttajille. Tarvittaessa I/O liityntöihin saa myös perinteisiä 4- 20 mA analogi-kortteja ja binäärikortteja. (Mäkinen & Kallio 2004, 32 - 35)



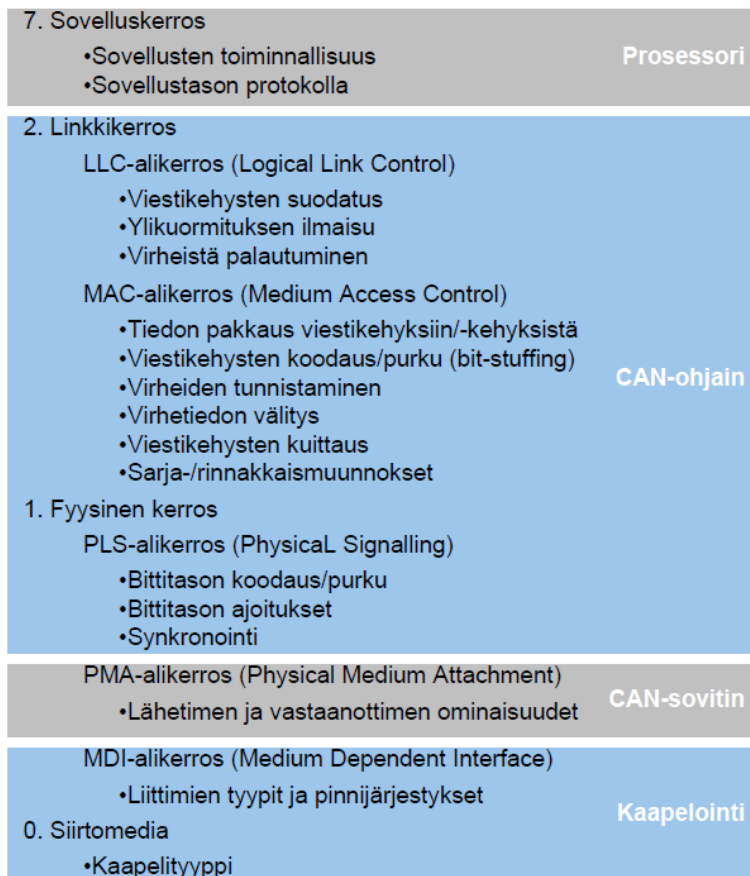
Kuva 23 Teollisuusautomaatiojärjestelmän periaatekuva (Mäkinen & Kallio 2004)

Kenttäväylään liitetään niin sanottuja älykkäitä kenttälaitteita. Näitä ovat muunmuassa lämpötila-, paine- ja virtauslähettimet sekä venttiilit. Älykäs laite pystyy kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon. Laitteilla pystytään esimerkiksi säätämään prosessia. Laitteet saavat ohjausjännitteensä kenttäväylän runkokaapelista tai erillisestä syötöstä. Kenttäväyliä yleistyminen johtuu niiden hyvistä ominaisuuksista. Kaapeloinnin väheneminen voitessa kytkeä laitteet yhteen väylään erilliskaapeloinnin sijasta, tuo säästöjä asennus-

kustannuksiin. Lisäksi käyttöönotto sujuu hyvin suunnitellun väylän avulla helposti, sillä konfigurointi ja parametointi voidaan tehdä valvomosta käsin. Kenttäinstrumenteissa olevan vikadiagnostiikan avulla voidaan ennakoida laitteiden huolto ja estää prosessin pysähtyminen. Lisäksi kenttäväylien käytössä on etuna kenttäinstrumentoinnin laajentamisen mahdollisuus. (Mäkinen & Kallio 2004, 32 - 35.)

#### 4.1.1 CAN-väylä

CAN-väylä (Controller Area Network) on suunniteltu Boschin toimesta alun perin autojen eri ohjausjärjestelmien väliseen kommunikointiin. CAN-väylällä on kuitenkin sovelluksia esimerkiksi robotiikan ja teollisuuden reaaliaikaisissa tiedonsiirtotarpeissa. Sitä käytetään prosessien anturi- ja toimilaitteväylänä. (Alanen 2000.)



Kuva 24 CAN-väylä OSI-mallin avulla kuvattuna (Saha 2005.)

Kuvassa 24 on kuvattu CAN-väylän rakennetta. CAN-väylän käyttö suoraan ohjausjärjestelmissä ei onnistu ilman sovelluskerroksen protokollan määrittämistä ja tähän löytyykin standardisoituja vaihtoehtoja. (Saha 2005.)

CAN-väylä on niin sanottu usean isännän väylä (multi master-bus), jossa solmut voivat lähettää sanoman itsenäisesti. Väyläkaapeli kulkee kaikkien asemien läpi ja se päätetään päätevastuksilla. Sanoma on yleinen eli solmut mitkä tarvitsevat kyseisen sanoman tietoa, vastaanottavat sen. Koska väylällä ei käytetä osoitetietoja, voi väylällä olla solmuja rajattomasti. Kuitenkin lähetin/vastaanotin-piirit rajaavat liitettävien laitteiden määrän siirtoviiveestä johtuen. Siirtoviiveen vaikutus johtuu CAN-väylän kilpavarauksen periaatteesta. Kilpavarauksen periaatteessa, solmujen on otettava näyte yksittäisestä bitistä samalla ajan hetkellä. CAN-protokollapiirit antavat mahdollisuuden hallita synkronointia. Näin voidaan sallia huonommat kellotoleranssit solmuilla tai kasvattaa väylän pituutta.

(Alanen 2000.)

#### 4.1.2 Modbus

Modbus protokollaa käytetään ohjelmoitavien logiikoiden ja toimilaitteiden välisenä väylänä. Laitteet kommunikoivat keskenään isäntä-orja tekniikalla tarkoittaen että yksi laite on isäntä ja muut orjia. Isäntä keskustele orjalaitteiden kanssa joko osoittaen kysymyksen tietylle orjalle tai broadcast-tyyppisesti yleisesti kaikille väylän laitteille. Jälkimmäisessä, orjalaitteet eivät vastaa isäntälaitteelle. Orjia voi väylällä olla 247. Hyväksyttäviä orjaosoitteita 1-247. 0 -osoite varataan tiedon lähettämiseen isännältä jokaiselle orjalle. Orjalaitteiden osoitteiden avulla isäntälaitteet tietää mikä laite kommunikoi sen kanssa, sillä orjan vastatessa se kertoo osoitteensa.

Isäntälaitteet muodostaa kyselyviestit asettamalla ensin, joko vastaanottavan orjalaitteen osoitteen tai broadcast -tunnuksen. Tämän jälkeen viestiin asetellaan funktiokoodi, lähetettävä data ja virheentarkistuskenttä. Orja muodostaa vastauksen samalla funktiokoodilla sekä lisäämällä mahdolliset palautusarvot ja virheentarkistuskentän. Mikäli orja ei pysty toteuttamaan isäntälaitteen pyyntöä tai huomaa virheen, palauttaa se virheilmoituksen. (Karttunen 2009, 14 - 15.)

Funktiokoodilla isäntä osoittaa kysymyksen orjalle koskien jotain tiettyä toimenpidettä. Osa funktiokoodista toimii samalla tavalla kaikissa Modiconin laitteissa ja osa vain tietyissä. Funktiokoodi on yhden tavun kokoinen luku väliltä 1-255. Funktiokoodit voivat käskä orjalaitteen lukemaan jonkin tulon tai lähdön tila. Orja lukee halutun tilatieto-



don tai muistiosoitteen ja palauttaa sen isännälle viestin datakentässä. (Karttunen 2009, 19.)

#### 4.1.3 Profibus

Profibus on hyvin yleinen käytössä oleva kenttäväyläteknikka. Profibus perustuu toimittajasta riippumattomaan standardiin EN 50 170. Profibus väylään voidaan liittää eri valmistajien laitteita ilman suurempia muutoksia rajapintoihin. Laitteiden liittämiseen väylään tarvitaan kuitenkin GSD-tiedosto (General Station Description). GSD-tiedoston avulla profibus-laitteelle saadaan määritettyä liitetyn laitteen perusominaisuudet. GSD-tiedosto saadaan yleensä laitevalmistajalta. (Mustonen 2011, 9.)

Profibus DP on nopeaan tiedonsiirtoon tarkoitettu väylä, jonka tarkoitus on yhdistää hajautetut kenttälaitteet ja automaatiojärjestelmä. Profibus DP jaetaan 3 eri kehitystasoon DP-V0, DP-V1 ja DPV2. Versiot tukevat erilaisia viestintätapoja. DP-V0 tukee isäntä-orja peruskommunkointia synkronisella tiedonsiirrolla. Myöhemmät versiot DP-V1 DP-V2 tuovat lisää ominaisuuksia kuten asyklisen tiedonsiirron ja parametroidin ajan aikana. Kehittynein väylä DP-V2 mahdollistaa orjalaitteiden välisen kommunikoinnin jolloin isäntälaitteen kuormitus pienenee ja väylän nopeus kasvaa. DP-signaali on kantiaaltoa noin 5 voltin amplitudilla. (Mustonen 2011, 9 - 10.)

Profibus PA on käytössä prosessitekniikan sovelluksissa yleensä Profibus DP:n rinnalla. PA-signaali tarjoaa kenttälaitteille syötön ja tiedonsiirron samassa kaapelissa, joten kenttälaitteet eivät tarvitse erillistä ohjausjännitettä. Väylän nopeus on 31.25 kbit/s. PA-datasignaalin tulisi olla välillä 800 mV - 1000 mV, jännite puolestaan välillä 9 - 32 VDC. (Mustonen 2011, 10.)

#### 4.1.4 Fieldbus

Foundation Fieldbus -kenttäväylä on digitaalinen, kaksisuuntainen ja sarjaliikenteinen kommunikointi protokolla prosessiautomaation tarpeisiin. Fieldbus sisältää alemman tason väylän H1 ja ylemmän prosessin säätö tason HSE. Foundation Fieldbus väylän kautta kommunikoida kenttälaitteita valmistavien yritysten on tarkistutettava yhteenso-

pivuus Foundation Fieldbus -korporaatiolla. Tällä tavalla pyritään varmistumaan eri valmistajien ja Fieldbus -väylän yhteensopivuudesta.

Alemman tason H1 – väylää käytetään kenttätason tiedonsiirtoon. H1-väylän tiedonsiirtonopeus on 31,25 kbit/s. HSE -väylän nopeus on 100 Mbit/s ja sitä käytetään prosessien ohjausosien väliseen tiedonsiirtoon. Väylät voidaan yhdistää toisiinsa joko linkillä (linking device) tai kytkimellä (coupler). Linkkiä käytettäessä, viestien puskurointi mahdollistaa viestien lähettämisen kahteen eri väylään eri suuntiin. Väylät yhdistäessä kytkimen avulla, ei viestien puskurointi ole mahdollista ja HSE-väylä toimii hitaammalla nopeudella. (Sorsanen 2009, 13 – 16.)

Väylään voi liittyä useampi isäntälaitte, mutta vain yksi voi olla kerrallaan aktiivinen. Aktiivinen isäntä hallinnoi väylän tiedonsiirtoa. Kenttäväyläsegmentin pituus voi olla 1900 metriä. Mikäli kenttälaitteiden syöttö tapahtuu runkokaapelin kautta, voidaan segmenttiin liittää enintään 12 laitetta. Ulkoisen syötön käytöllä, laitemäärä voidaan nostaa 32 laitteeseen. Verkon topologiaksi, Fieldbus Foundation suosittelee käytettäväksi puu- ja väylätopologioita. (Sorsanen 2009, 13 – 16.)

#### 4.1.5 Ethernet

Teollisuudessa on käytetty Ethernet ratkaisuja ohjaustasolla jo pitkään. Tekniikan kehityessä, on Ethernetin hyviä ominaisuuksia pyritty saamaan käyttöön myös kenttälaitetasolle. Perinteinen Ethernet ei pysty reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon sen väylän vasteaikojen takia. Kenttälaitetasolla tarvitaan nopeaa kommunikointia laitteiden välillä. Ethernetin hyötyjä ovat laaja käytettävyys ja standardisointi. Lisäksi nopea datanopeus ja yhtenäinen verkko kenttälaitetasolta hallinnolliselle tasolle, tekee tiedonkeruusta helpompaa verrattuna tasoittain erilaisilla väylillä rakennettuun verkkoratkaisuun.

Huonoja puolia Ethernetin käytössä kenttätasolla on teollisuudessa esiintyvät sähkömagneettiset häiriöt, jotka häiritsevät suurinopeuksisten väylien tiedonsiirtoa. Ratkaisuna käytetään paremmin suojattua parikaapelia tai valokuitukaapelia. Valokuidun ollessa parikaapelia kalliimpaa, usein päädytään ensimmäiseen vaihtoehtoon. Toinen huono puoli ethernetin käytössä on sen suuri ohjaustiedon määrä. Näin kaistanleveys ei ole yhtä tehokkaasti käytössä, kuten digitaalisilla kenttäväylillä. Lisäksi kenttälaitetason

antureiden ja laitteiden prosessoritehon tulee riittää TCP/IP ohjaustiedon käsittelyyn. (Silvola 2006, 24 - 28.)

Ethernetin käyttö teollisuuden väylänä on tutkittu useiden yritysten toimesta ja markkinoille on tuotukin jo valmiita ratkaisuja. Valmistajat ovat tehneet erilaisia ratkaisuja Ethernet -protokollan hyödyntämisessä reaaliaikaisessa väylässä. (Silvola 2006, 35)

Ethernet Powerlink nimisen yrityksen reaaliaikainen teollisuus ethernet -ratkaisu perustuu IEEE 802.3 standardiin. Reaaliaikaisuus saavutetaan kommunikointitavalla, jossa ainoastaan yksi laite puhuu kerrallaan. Yksi laite toimii isäntänä MN (managing node), joka johtaa keskustelua. Muut laitteet toimivat ohjattavina laitteina CN (controlled nodes). Keskustelusykli koostuu 3 vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa, isäntälaitte synkronoi muut väylän laitteet SoC -viestillä (start of cycle). Toisessa vaiheessa lähetään data ja kolmannessa vaiheessa ei aikakriittinen data, kuten TCP/IP data ja parametrien asetteludata. Ethernet Powerlink on standardisoinut sovelluskerroksen CANopen standardin mukaan ja siitä voidaan käyttää ”CANopen over ethernet” -nimitystä. (Ethernet Powerlink 2014.)

Profinet on Siemensin ja Profibus Internationalin kehittämä teollisuus -Ethernet. Profinetilla on käyttösovelluksia eri osa-alueilla. Profinet I/O on tarkoitettu hajautetun I/O:n liittämiseen Profinet -verkkoon. Profinet CBA on komponenttien väliseen kommunikointiin. Tiedonsiirto nopeus on Profinet 100 Mb/s ja aikakriittiselle ja kiirrettömälle datalle on omat kommunikointitavat. Reaaliaikainen dataliikenne on syklisiä, tuottaja/kuluttaja -tyyppistä tiedonsiirtoa. (Silvola 2006, 40.)

## 5 ÄLYKKÄÄT MOOTTORILÄHDÖT

### 5.1 SIMOCODE pro

Simocode on älykäs pienjännitemoottorin suojaus- ja ohjausjärjestelmä. Siemensin valmistama tuoteperhe pitää sisällään mallit Simocode pro C, Simocode pro S ja Simocode pro V voidaan liittää ohjausjärjestelmään Profibus DP -väylän avulla. SIMOCODE pro V PN liitetään Profinet- väylän avulla.

Pro C laite sisältää tarvittavat ohjaus- ja suojaustoiminnot moottorin suoraan- ja suunnanvaihtokäynnistykseen. Laite koostuu virtamuuntajasta ja perusyksiköstä ja mahdollisesti lisävarusteena saatavasta käyttöpaneelistä. Pro C perusyksikkö pysyy samana ja ohjattavan moottoritehon kasvaessa, vaihdetaan virtamuuntaja. Virtamuuntajia on valittavana 630 A sovelluksiin asti ja välimuuntajaa käytettäessä 820 A. Perusyksikössä on 4 binäärituloa, 3 monostabiilia relelähtöä ja 1 liitäntä binääriselle PTC-anturille. Perusyksiköitä saa joko DC 24 V tai AC/DC 110 -240 V käyttöjännitteelle. Tiedonsiirto nopeus Profibus DP -väylässä voi olla 12 Mbit/s. (Siemens Simocode 2014.)

Pro C laitteella voidaan moottori suojata ylikuormitukselta, vaihevialta, termisesti (PTC), epäsymmetriseltä kuormalta, jumitilanteilta ja maasululta. Monipuolisten suojaustoimintojen lisäksi, laitteella voidaan valvoa moottorilähdön käyttötunteja, pysähdysaikoja, pysähdyskertoja ylikuormasta johtuen ja käynnistyskertoja.

Pro S sisältää edelliseen verrattuna enemmän sovellusvaihtoehtoja. Sillä voidaan ohjata suoraa-, suunnanvaihto-, tähti-kolmio- tai pehmokäynnistyksiä. Laite koostuu perusyksiköstä, virtamuuntajasta ja monitoimilaajennusyksiköstä. Perusyksikkö sisältää 4 binäärituloa, 2 relelähtöä ja termistoriliitännän. Laajennusyksiköllä saadaan lisättyä 4 binäärituloa, 2 relelähtöä, 1 lämpötilan mittaustulo ja liitäntä summavirtamuuntajalle vikavirran valvontaa varten. Perusyksiköitä ja laajennusyksiköitä saa joko DC 24 V tai AC/DC 110 -240 V käyttöjännitteelle. Tiedonsiirtonopeus Profibus DP väylässä on 1,5 Mbit/s. (Siemens Simocode 2014.)

Pro V on laajennettavissa 5 laajennusyksiköllä. Pro V perusyksiköllä voidaan ohjata erilaisia sovelluksia kuten, suora-, suunnanvaihto-, tähti-kolmio-, kaksi-nopeusmoottori-

ja pehmokäynnistyksiä. Näiden lisäksi voidaan toteuttaa myös magneettiventtiili- ja venttiilitoimilaitteen ohjauksia. Pro V malliin on sisällytetty lisää valvonta- ja mittaus-tietoja. Laitteella voidaan valvoa kuorman tehoa ja vaihejärjestystä. Näiden lisäksi, moottorilähdön jännitteen ja tehokertoimen mittaus on mahdollista. (Siemens. Älykästä moottorin ohjausta, 28.)

Perusyksikön liitännät ovat samanlaiset kuten Pro C mallissa. Laajennusyksiköillä voi-daan Pro V ominaisuuksia kasvattaa sovelluksen vaatimalla tavalla. Laajennusyksiköis-tä voidaan valita digitaalimoduli, maasulkumoduli, lämpötilan mittausmoduli ja analo-gimoduli. Digitaalimoduli laajennusyksikkö sisältää 4 binäärituloa ja 2 relelähtöä. Mo-duleita sallitaan asennettavaksi 2 yhteen perusyksikköön. Analogimoduli sisältää 2 ana-logituloa ja 1 analogilähdön. (Siemens, Älykästä moottorin ohjausta, 25 - 27.)

Lisäksi perusyksikkö on laajennattavissa turvareleillä, joita ovat DM-F local ja DM-F PROFIsafe. DM-F local on paikallinen turvarele, joka on riippumaton ohjausjärjestel-mästä. Releeseen voidaan liittää hätäseis-painikkeita, turva-aitarajoja, kuittauspainikkei-ta jne. PROFIsafe -relettä käytetään turvalogiikan yhteydessä. Logiikan tai hajau-tusaseman turva I/O:hon kytketään digitaaliset- tai analogiset turva-anturit. Turvalogii-kan toimiessa, pysäyttää DM-F PROFIsafe moduli moottorin. Pro V PN tuo edellisiin lisänä mahdollisuuden liittyä ohjausjärjestelmään Profinet -väylän avulla. Profibus DP:tä käytettäessä tiedonsiirtonopeus on 12 Mbit/s. (Siemens Simocode 2014.)

## 5.2 Schneider TeSys

Schneider TeSys tuoteperhe sisältää monipuolisia vaihtoehtoja moottorin älykkääseen ohjaamiseen ja suojaamiseen. Nimellisvirraltaan alle 32 A moottorilähdöissä, yksi laite toimii erottimena, kontaktorina, oikosulkusuojana ja ylikuormitussuojana. Suurempiin lähtöihin tarvitaan lisäksi erillisiä laitteita kuten kontaktori ja oikosulkusuoja. Suojaus-ten ollessa elektronisia ovat releiden asettelualueet laajoja ja laukaisut tarkkoja. Releitä saa joko näytöllisinä tai ilman. Vakioreleisiin (ilman näyttöä), on mahdollista liittää valvontamoduleilla lisätoimintoja kuten kuormituksen valvonta, kaukokuittaus tai enna-koiva ylikuormitushälytys. Näytöllisestä monitoimireleestä voidaan seurata moottorin-kuormitusta, vikahistoriaa ja käyttökertoja. Käynnistin ja siihen liitettävät lisämodulit

kytkeytyvät plug-in-asennustavalla tarjoten helpon muokattavuuden. Kuvassa 25 on TeSys U -laite. (Schneider kotisivut, 2014.)



**Kuva 25 TeSys U. (Schneider TeSys-U esite)**

Käynnistin muodostuu perusrungosta, suojaruleestä ja mahdollisista lisämoduleista. Runko valitaan 12 tai 32 A virralle, joko suoraan- tai suunnanvaihtokäynnistykseen. Runko sisältää yhden sulkeutuvan ja yhden avautuvan apukoskettimen. Käynnistin täyttää täyden oikosulkukoordinaation vaatimukset (IEC 947-6-2). Schneider TeSys käynnistimet sisältävät laajat mahdollisuudet liittyä erilaisiin väylin ohjausjärjestelmiin. Kenttäväylämodulien avulla liityntä eri väyliin kuten CANopen-, Modbus-, Profibus- ja Ethernet-väyliin. (Schneider kotisivut, 2014.)

### 5.3 ABB UMC 22

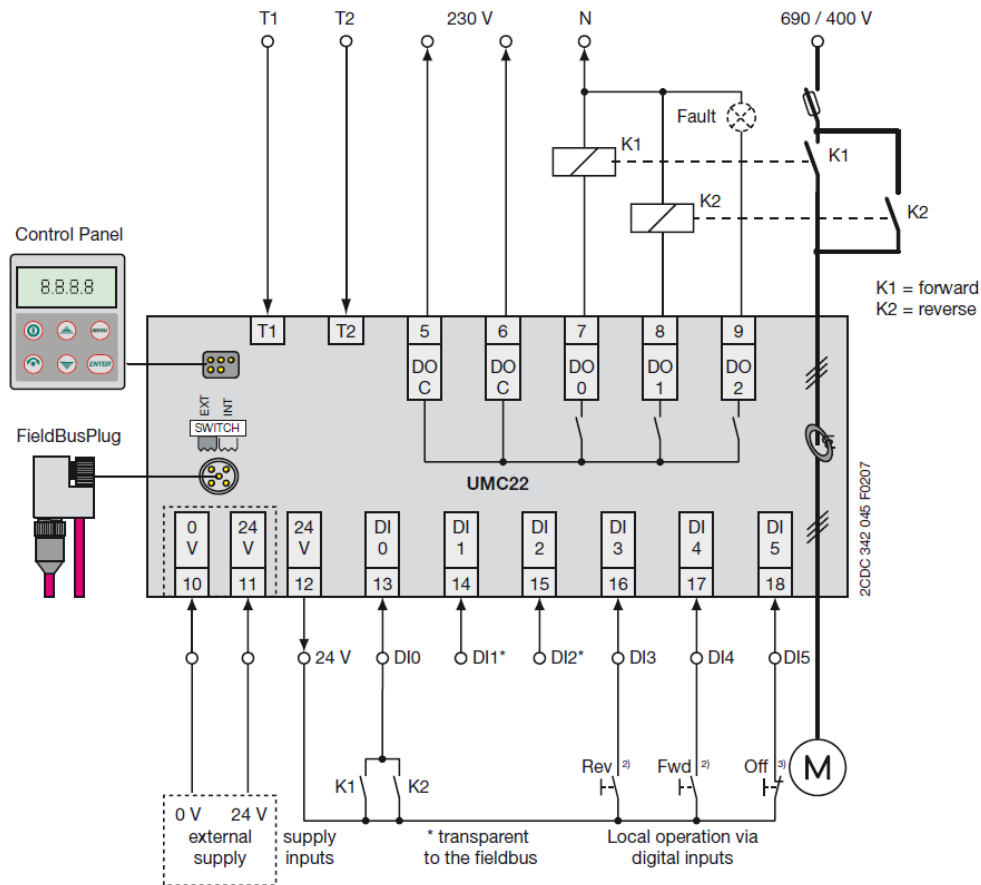
ABB:n UMC 22 on älykäs moottorinohjain 3-vaiheisille moottoreille. Laitteella voidaan ohjata suoria-, suunnanvaihto- ja tähti-kolmiokäynnistyksiä. Käynnistin muodostuu ohjainyksiköstä, virtamuuntajasta ja kontaktorista. Kiinnitys tapahtuu DIN-kiskoon tai ruuvikiinnityksellä. Kotelointiluokaltaan laite on IP20.

Ohjain pitää sisällään suojaus- ja ohjaustoimintojen lisäksi liittynät kenttäväyliin ja erilaisia vikadiagnostiikan sovelluksia. Suojaustoimintoihin kuuluu vaihevian, jumitilanteen, maavian ja laajasti säädettävän ylikuormituksen havaitseminen. UMC 22 suo-

jaus toimii ylikuormitussuojien laukaisuluokkien 5, 10, 20 tai 30 mukaan. Ohjaimessa on yksi PTC-termistori lähtö, 6 digitaalstatuloa ja 3 -lähtöä. Laitteen toimintavirta-alue 0,24 A- 63 A. Alue on laajennettavissa virtamuuntajilla jopa 850 A sovelluksiin.

Laitteen liittäminen erilaisiin kenttäväyliin toteutetaan muuntimella (FieldBusPlug). UMC 22 käyttö ”stand alone” – sovelluksissa ilman kenttäväylä plugia, on myös mahdollista. Laitteeseen erikseen saatavan etupaneelin avulla voidaan ohjata ja lukea käytön tietoja kuten moottorin käyttörekisteriä ja vikadiagnostiikan tietoja. Edellä mainitut voidaan lähettää myös kenttäväylää pitkin järjestelmään. Etupaneelia tarvitaan kenttäväylän osoitteen antamiseen laitteelle. (ABB. Universal Motor Controller, 5 - 6.)

Kuvassa 26 on käynnistimen kytkentä. Digitaalisilla lähdöillä DO-0 ja DO-1 ohjataan kontaktoreita K1 ja K2. Pääpiiri kulkee laitteen virtamuuntajan läpi moottorille. Laitteen alapuolella näkyy paikallisohjaus -painikkeet ja kenttäväylä ohjaus. Vian sattuessa DO2 sulkeutuu ja sisäinen vika tieto on päällä. (ABB. Universal Motor Controller, 92 - 95.)



Kuva 26 Suunnanvaihtokäynnistys, kytkentä UMC 22 (ABB. Universal Motor Controller, 93.)

Vuotovirtojen havaitsemiseen UMC 22 laitteeseen liitetään CEM 11 summavirtaan perustuva mittauselin. Laitetta syötetään 24 VDC syötöllä. Laitteesta vietään signaali UMC sisääntuloihin. Vuotovirran raja-arvon määritetään säätökytkimellä. (ABB. Universal Motor Controller, 25.)

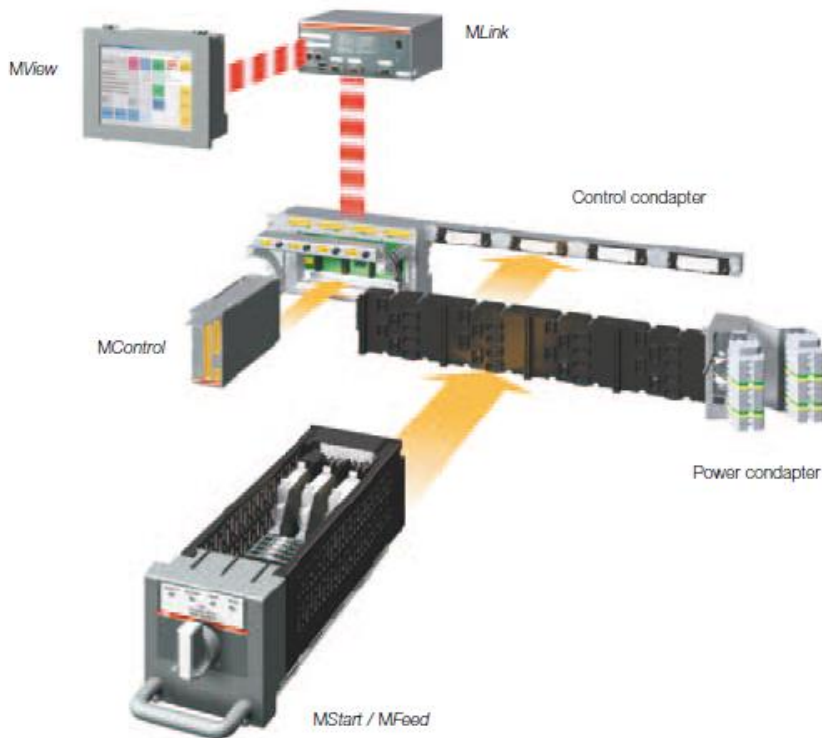
#### 5.4 ABB MNS iS

MNS iS on ABB:n kehittämä älykäs moottorinohjauskeskus. Se tarjoaa paljon standardisoituja ratkaisuja vähentäen näin muun muassa suunnittelusta, käyttöönotosta, varastoinnista ja kunnossapidosta aiheutuvia kuluja. Keskuksen hyötyjä ovat lähtöjen teho ja ohjauskomponenttien sijoitus, standardisoidut tehomodulit, joustavat käynnistin ratkaisut ja integroidut johdotukset käynnistimen ja ohjauslaitteen välillä. Ohjauskytkentöjä tehdään kentältä tuodessa I/O -tiedot keskuksen.



MNS iS tarjoaa moottorilähdölle tarvittavan suojauksen, ohjauksen ja käytön valvonnan. Aikasykronoinnilla mahdollistetaan hälytys- ja varoitustietojen tarkka rekisteröinti ohjausmodulin rekisteriin. (ABB. MNS iS, System Guide, 5.)

Kuvassa 27 on järjestelmän rakenne. Kuvassa alhaalla MStart kuvaa tehomodulia. Se toimii sähköisenä erottimena sisältäen sulakkeet tai katkaisijan, kontaktorin ja muita piirin ohjauskomponentteja sekä mittausmodulin. MControl toimii ohjausmodulina tarjoaten suojaus-, ohjaus- ja valvontatoiminnot. MControlin I/O kortti tarjoaa ulkoisten komponenttien liittämisen järjestelmään. MControlin ja MStartin välillä on sisäinen väylä tiedonsiirtoa varten. MLink moduli toimii tiedonvälittäjänä MControlin ja MViewin välillä. MView tarjoaa monitorointi mahdollisuuden käynnistimien ja käytön tilan valvontaan. (ABB. MNS iS, System Guide, 11.)



Kuva 27 MNS iS järjestelmä (ABB. MNS iS, System Guide, 11.)

MNS iS keskus on rakenteeltaan kennokeskus. Tehomodulien kummallekin puolelle sijoitetaan toisistaan erillään pidettävät teho- ja ohjauskaapelikentät. Kaapelit voidaan tuoda sekä ylä- että alapuolelta keskukseen. Keskuksen pääkiskot on sijoitettu keskuksen takapuolelle. Pääkiskoston rakenne on huoltovapaa rakenne kiskokiinnityksessä käytettävien ESLOK lukiteruuvien ja kierrealuslevyjen ansiosta. Kuvassa 28 on kuvat-

tuna kiskostojen rakenne. Pääkiskot kulkevat vaakasuunnassa ja haarakiskot pystysuunnassa. Keskuksat pystytään asentamaan joko seinä-asenteisina, back-to-back-asenteisena, jossa kahden keskuksen selät ovat vastakkain tai duplex -rakenteisena, jossa seläkkäin olevilla keskuksilla on yhteinen pääkiskosto. (ABB. MNS iS, System Guide, 19.)



Kuva 28 Kiskosto (ABB. MNS iS, System Guide, 18.)

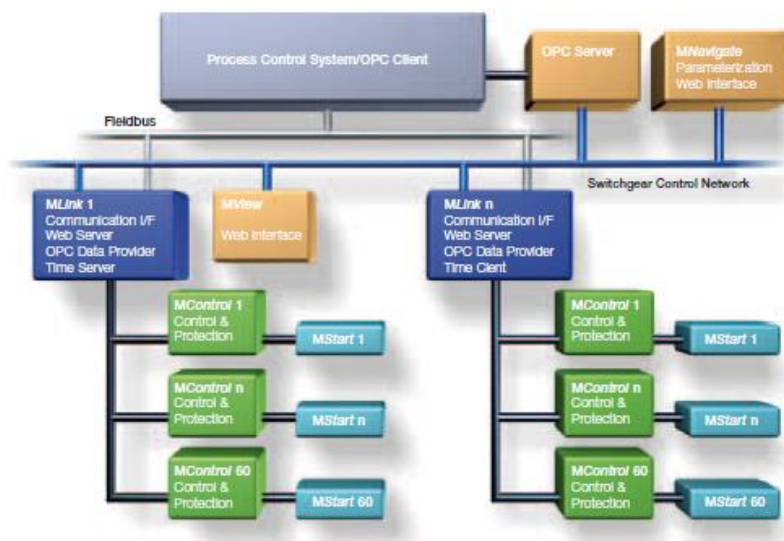
Keskuksen tehomodulit voidaan valita käyttötarkoituksen mukaan. Valittavana on suoraa- (Non Reversing Direct Online, NR-DOL), suunnanvaihto- (Reversing Direct Online, REV-DOL), raskaat- (Heavy Duty, HD), tähti-kolmio-käynnistimet (Star Delta, NR-S/D) sekä kontaktoriohjaus (Contactor Feeder, CF) ja pelkkä ohjaus energian jakeluun (Feeder). Kojetaulukoissa yleensä käytetään pelkkiä lyhenteitä kontaktorin tyypin määrittelyssä. Moduulien nimellisjännitteet ovat 400V, 500 V tai 690 V. Oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa sulakkeettomana tai sulakkeellisena. Modulit ovat ulosvedettäviä eli vaihto voidaan tehdä ilman erillisiä työkaluja. Modulit kiinnittyvät pikakoskettimin pystykiskokohiin.

Suurempi tehoisissa moottorilähdöissä, joissa ohjattavan moottorin teho on ylittää 200 kW, käytetään kiinteää kalustustapaa. Käynnistinkomponentit kuten kytkinlaite ja kontaktori sijoitetaan kaapin pääosaan. MControl laitteet sijoitetaan riippuen lähtevien tehokaapeleiden suunnasta joko kaapin ylä- tai alaosaan. Kuvassa 29 on kiinteä, yksikkölähtökalusteinen kaappi, jossa on MControl laitteet on sijoitettu kaapin yläosaan. (ABB. MNS iS, System Guide, 20 - 21.)



Kuva 29 MNS iS järjestelmä (ABB. MNS iS, System Guide, 21.)

MView näyttöpaneelilla pystytään tarkastelemaan ja lataamaan ohjaus- sekä suojauslaitteiden parametreja, tutkimaan hälytysrekisteriä, lukemaan erilaisia sähköisiä suureita ja tutkimaan laitteiston kuntoa esimerkiksi kontaktoreiden vaihtovälien osalta. MView on selainpohjainen ohjelma ja sen käyttö paneelin lisäksi onnistuu PC-laitteilta, jossa web-selain ja yhteys MNS iS järjestelmään kenttäväylän tai erillisen Ethernetin välityksellä. Kuvassa 30 on kuva viestiliikenteen toiminnasta MNS iS järjestelmässä. Kuvassa vihreät ja vaaleansiniset laatikot kuvaavat keskuksen teho- ja ohjauskomponentteja MStart ja MControl. Tummansininen laatikko kuvaa ohjausyksiköiden ja ohjausjärjestelmän välillä tietoa välittävää MLinkiä. MLink yhdistyy kenttäväylän avulla PCS (Process Control System), eli ohjausjärjestelmään. MLink toimii standardi ohjainlaitteena kenttäväylässä ja se tukee Profibus DP ja DP V1, Profinet I/O, Modbus RTU ja Modbus TCP protokollia. Kenttäväyläliittymän lisäksi, MLink sisältää ylimääräisen Ethernet portin, jonka avulla toteuttaa Ethernet pohjaisia sovelluksia kuten MNavigate selainpohjainen käyttöliittymä ohjauksen parametrisointiin ja tarkasteluun sekä liittymä mahdollisuuden OPC DA (data access) ja OPC AE (alarms and events) servereihin.



Kuva 30 Kommunikointikaavio (ABB. MNS iS, System Guide, 30)

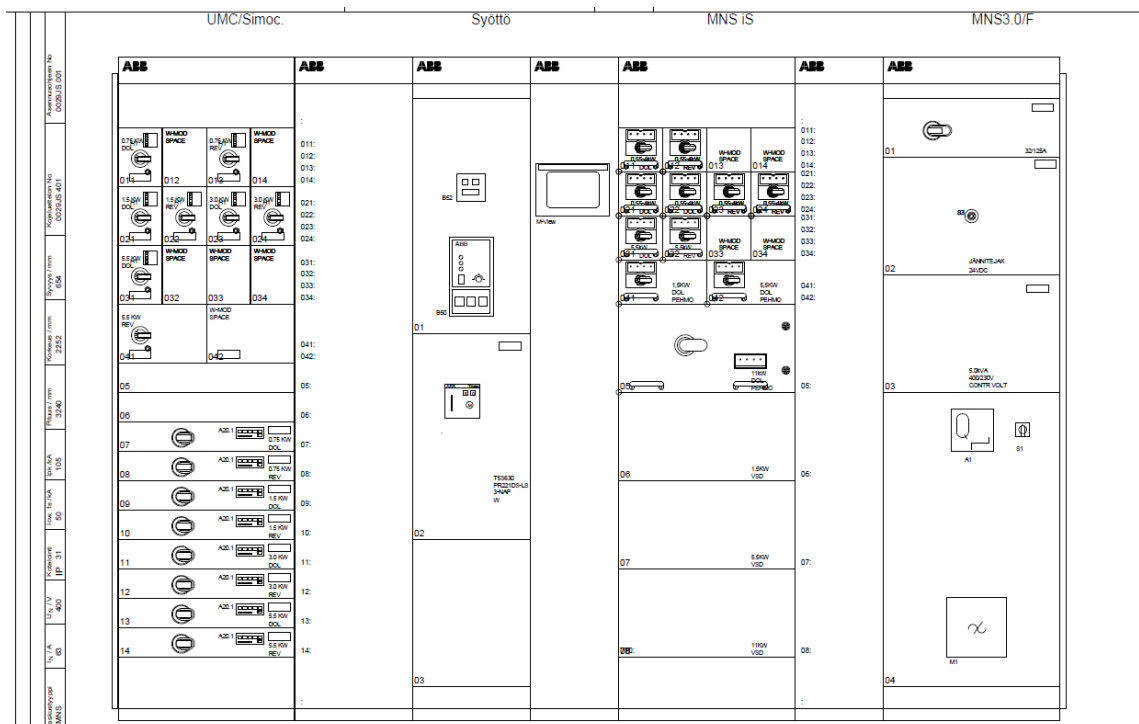
MStart moduulin sähköisten suureiden mittaus tapahtuu sensoreiden avulla ja se on erityisesti suunniteltu datan keräämiseen. Elektronisesti toteutettu mittaus sijaitsee lähdössä tarjoten tarkan virran -, jännitteen - ja lämpötilan mittauksen. Näillä tiedoilla pystytään määrittämään käytöntila tarkasti. (ABB. MNS iS, System Guide, 30 - 31.)

MControl ohjausyksiköllä toteutetaan moottorilähdön ohjaus-, suojaus- ja kunnossapidolliset diagnostiikka tarpeet. Toiminnallisuutta voidaan kasvattaa vastaamaan käyttäjän tarpeita lisäämällä I/O kortteja. MControl sisältää vakiona digitaalisia I/O 7 binääristä tuloa (24 VDC) ja 4 relelähtöä (230 VAC). Lisäkorteilla voidaan lisätä tulojen määrää joko 7 tulolla (110 VAC tai 230 VAC) tai vaihtoehtoisesti käyttäjän tarpeista riippuen lisätä kortti, jossa 4 tuloa ja 2 digitaalista lähtöä (230 VAC tai 24 VDC). Digitaalisten lisäkorttien lisäksi, on valittavana myös analogisia tuloja ja lähtöjä sisältäviä kortteja. Valittavana on 1 analogisen lähdön ja 1 tulon kortti tai 2 analogisen tulon kortti. Signaalitasoksi voidaan valita joko 4-20 mA tai 0-10 VDC.

Relekorteilla voidaan tuoda itsenäisesti toimivia koskettimia MControliin. Valittavana on 2 avautuvalla ja 1 yhdellä sulkeutuvalla koskettimella oleva kortti tai 1 avautuvalla - ja 1 sulkeutuvalla koskettimella oleva kortti. Relekortti tarvitsee kelaansa jännitteen 24 VDC. Lisäkorteilla pystytään myös mittaamaan moottorin tuuletus lämpötilaa joko PTC- tai PT100 -antureiden avulla. PTC- kortti sisältää yhden tulon sisältäen oikosulun ja piirin katkeamisen valvonnan. PT100 -kortiksi voidaan valita joko 1 kanavainen tai 3 kanavainen tulo. (ABB. MNS iS, System Guide, 36 - 37.)

## 5.5 Älykkäiden moottorilähtöjen piirikaaviot

Älykkäiden moottorilähtöjen piirikaavioiden esittelyssä käytetään Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun sähkövoimalaboratorion moottorikeskuksen dokumentteja. Kuvassa 31 on ABB:n asentaman kojeiston layout-kuva. Keskuksesta on ABB:n UMC - ja MNS iS -lähtöjä sekä Siemensin Simocode moottorilähtöjä. MNS iS lähdöt sisältää myös taa-juusmuuttaja- ja pehmokäynnistinlähden. UMC -lähdöt (8 kpl) ovat kuvassa vasemmas- sa ylälaidassa. Näiden alapuolella on kahdeksan Simocode -kasettilähtöä.



Kuva 31 Keskukseen layout-kuva (Lapin AMK 2014.)

Keskukseen UMC-lähtöjä on suoraikäynnisteisiä (DOL) ja suunnavaihtokäynnisteisiä (REV). Liitteessä 1 on UMC 22 lähden piirikaavio. Käyttö on suoraikäynnistys. Keskel- lä kuvaa on UMC 22 käynnistinlaite, joka liittyy virtamuuntajan avulla pääpiiriin. -Q11 kuvaa suojalettiä ja -Q01 kontaktoria. Laitteen DO2 ohjaa kontaktorin -Q01 kelan ve- täneeksi. Digitaalisia tuloja käytetään tilan valvontaan. Näihin tuloihin tulee muun muassa pääkytkimenä toimivan -Q11 kiinni/auki-tieto, ohjausjännitteen sulakkeen kiinni/auki-tieto, moottorin käyntitieto kontaktorin apukoskettimilta sekä erilaisia vika- tietoja. Kuvassa ylhäällä on FPB- muunnin jolla UMC 22 liittyy Profibus - kenttäväylään.

Liittessä 2 on Simocode lähdön piirikaavio koulun moottorikojeistoon. Lähtöjen toteutustavat ovat toimittajan eli ABB:n vakiolähtöjä. Simocode lähtöjä on UMC lähtöjen tapaan suora- ja suunnanvaihtokäynnisteisinä. Liitteen 2 piirikaavio on suunnanvaihtolähtö. Kuvassa vasemmassa laidassa on virtamuuntaja -B06, joka liittyy kaapelilla Simocode perusyksikköön. Pääpiirin suojana toimii suojarele -Q11 ja sulakkeet -F01. Perusyksikön OUT1 ja OUT2 outputeilla ohjataan kontaktoria -Q01 ja -Q02. Laite liittyy Profibus DP -kenttäväylään.

Liitteessä 3 on MNS iS ulosvedettävä kasettilähtö taajuusmuuttajakäytölle. Ylhäällä on koskettimin tehty liityntä keskuksen haarakiskoihin. -Q01 kuvaa suojarele-katkaisija yhdistelmää, jossa kytkimellä -S01 voidaan toteuttaa esimerkiksi piirin erotus. -K01 on hätäseis -piirin kontaktori. -B01 on termistorielementti moottorin lämpötilan seurantaan.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja perehtyä monipuolisesti teollisuuden pienjännitekojeistojen rakenteisiin, ominaisuuksiin ja suunnitteluperusteisiin. Aiheen rajaus pyrittiin pitämään maltillisena aikataulun kiireellisyyden vuoksi. Työn tärkeänä tuloksena valmiin tutkintotyön lisäksi voidaan pitää opinnäytetyöntekijän saamaa laajaa tietämystä teollisuuden verkkorakenteista, pienjännitekojeistojen suunnitteluperusteista suojaukseen ja kojemitoitukseen liittyen ja väyläohjattujen käyttöjen suunnittelusta. Myös työn viimeiseksi jäänyt kappale älykkäistä moottorilähdöistä tarjosi paljon mielenkiintoista ja uutta tietoa nykyaikaisista teollisuuden moottorikojeistoista.

Aihealueen rajaus osoittautui sopivaksi tarjoten riittävästi haastetta. Tiukaksi osoittautuneen aikataulun takia, osa käsiteltävistä aiheista jäi suppeiksi. Työssä oli tarkoitus esitellä kojeistojen suunnitteluperusteita tarkemmin käsittäen muun muassa mitoituksen ja kojevalinnan yksityiskohtaisemman esittelyn. Kojevalinnan osalta nykyään käytetään valmistajien tarjoamia kojevalintataulukkoita. Älykkäät moottorilähdöt -osio, jäi hieman toivottua suppeammaksi johtuen aikataulusta. Aiheeseen perehtyminen vei paljon aikaa aineistojen ollessa pitkälti englanninkielisiä.

Työssä on pyritty käyttämään mahdollisimman luotettavia lähteitä. Osa käytetyistä lähteistä oli englanninkielisiä, jotka tarjosivat haasteita kääntämisen suhteen. Laitteiden ja tekniikoiden osalta on työssä käytetty paljon valmistajien kotisivuja ja esitteitä lähteinä. Mainittakoon, että ABB tarjosi todella paljon lähteitä erilaisten teknisten oppaiden ja hyvien taulukoiden myötä. Kirjalähteistä SFS-16 käsikirja ja PSK 1801, olivat tärkeimpiä lähteitä.

## LÄHTEET

- ABB. MNS iS Motor Control Center, System Guide, (pdf-tiedosto). Hakupäivä 9.5.2014.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/64ca4e3f0bdaaab2c12576d4001173d2/\\$file/1tgc910001b0204%20mnsis%20system%20guide.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/64ca4e3f0bdaaab2c12576d4001173d2/$file/1tgc910001b0204%20mnsis%20system%20guide.pdf)
- ABB. Pienjännitekojeet, SACE FI 00-08 esite, (pdf-tiedosto). Hakupäivä: 9.4.2014.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/88a62be737a9e66ac2256bf300447ad6/\\$file/sace%20fi\\_00\\_08.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/88a62be737a9e66ac2256bf300447ad6/$file/sace%20fi_00_08.pdf)
- ABB. Pienjännitekojeet, teollisuuskäyttöjen kojevalinnat, (pdf-tiedosto). Hakupäivä 24.4.2014.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/48fb5907da82a086c2256e0b00213525/\\$file/a30fi03\\_11pdf.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/48fb5907da82a086c2256e0b00213525/$file/a30fi03_11pdf.pdf)
- ABB. Tekninen esite STAR 1F11\_06. (pdf-tiedosto). Hakupäivä 24.4.2013.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/39f460672a724062c12578df0028d104/\\$file/Tekninen%20esite%20STAR%201F11\\_06.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/39f460672a724062c12578df0028d104/$file/Tekninen%20esite%20STAR%201F11_06.pdf)
- ABB. Tekninen opas nro 4. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas, (pdf-tiedosto). Hakupäivä 14.4.2014.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/\\$file/Tekninen\\_opas\\_nro4.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/$file/Tekninen_opas_nro4.pdf)
- ABB. Tekninen opas nro 5. Laakerivirrat uusissa vaihtovirtakäytöissä, (pdf-tiedosto). Hakupäivä 14.4.2014.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/\\$file/Tekninenopasnro5.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/$file/Tekninenopasnro5.pdf)
- ABB. Universal Motor Controller. UMC 22- FBP. pdf-tiedosto. Hakupäivä: 9.5.2014.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/e4ea6f4a53bd8843c12574cd003ec177/\\$file/2CDC135004D0206.PDF](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/e4ea6f4a53bd8843c12574cd003ec177/$file/2CDC135004D0206.PDF)
- Alanen, Jarmo 2000. CAN- ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä, (pdf-tiedosto). Hakupäivä 24.3.2014.  
[http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet\\_AlasenMateriaalia.pdf](http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet_AlasenMateriaalia.pdf)
- Ethernet Powerlink 2014. Valmistajan kotisivut. Hakupäivä 2.5.2014.  
<http://www.ethernet-powerlink.org/en/powerlink/technology/>
- Hietalahti, Lauri 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.
- Karttunen, Henri 2009. Kiinteistöautomaation etähallinta, opinnäytetyö, Lahden ammattikorkeakoulu, Lahti.
- Koskinen, Timo 1996. Teollisuuden sähköverkkojen suunnitelun perusteet, diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere.
- Lapin ammattikorkeakoulu, 2014. Sähkövoimalaboratorion keskuksien dokumentit. Kemi.
- Mustonen, Juha-Pekka 2011. Profibus-kenttäväylien testausympäristö ja mittausten kehittäminen, Opinnäytetyö, Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
- Mäkinen, Markku & Kallio, Raimo 2004. Teollisuuden sähköasennukset. Keuruu: Otava.
- PSK-1801 2000. Prosessiteollisuuden Jakokeskus, (pdf-tiedosto).
- Saha, Heikki 2005. CAN-väylä, (pdf-tiedosto). Hakupäivä 24.3.2014.  
<http://www.canopen.fi/artikkelit/CAN.pdf>
- Scheider TeSys 2014. Valmistajan kotisivut. Hakupäivä 4.5.2014.  
<http://ecatalogue.schneider->



elect-  
ric.fi/GroupPresentation.aspx?navoption=1&navid=24953&grouprowid=101483

Scheider TeSys 2014. Tuote-esite. Hakupäivä 4.5.2014.

[http://fi.snb.leon.se/Downloads/PCP/TeSysU\\_A4.pdf](http://fi.snb.leon.se/Downloads/PCP/TeSysU_A4.pdf)

Siemens, Simocode Pro 2014. Valmistajan kotisivut. Hakupäivä 4.5.2014.

[http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/pienjanniteko-jeet/kytkenta\\_suojaus\\_ja\\_ohjaus/simocode\\_alykas\\_moottorinsuojaus.htm?stc=fiiia300001](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/pienjanniteko-jeet/kytkenta_suojaus_ja_ohjaus/simocode_alykas_moottorinsuojaus.htm?stc=fiiia300001)

Siemens, Simocode Pro. Älykästä moottorin ohjausta ja suojausta. (pdf-tiedosto). Hakupäivä 16.5.2014.

[http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDAQ-FjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.provender.fi%2Fsiemens%2Fmanuals%2FSimocode\\_suomi.ppt&ei=Q8x1U4-fFYnyygO-ju4GoCA&usg=AFQjCNFSDV4vlzin7w6UlcWqVpImGufwDw&bvm=bv.66699033,d.bGQ&cad=rja](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDAQ-FjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.provender.fi%2Fsiemens%2Fmanuals%2FSimocode_suomi.ppt&ei=Q8x1U4-fFYnyygO-ju4GoCA&usg=AFQjCNFSDV4vlzin7w6UlcWqVpImGufwDw&bvm=bv.66699033,d.bGQ&cad=rja)

Silvonen, Risto 2006. Reaaliaikaiset teollisuus- Ethernet –ratkaisut automaatiojärjestelmissä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Sorsanen, Janne 2009. Teollisuuden mittaustiedon siirtojärjestelmät. Kandidaatintyö. Teknillinen korkeakoulu.

Suomen standardisoimisliitto 2003. SFS-käsikirja 16. Moottorikeskukset ja ohjelmoitavat ohjaukset. 5. Painos. Helsinki.

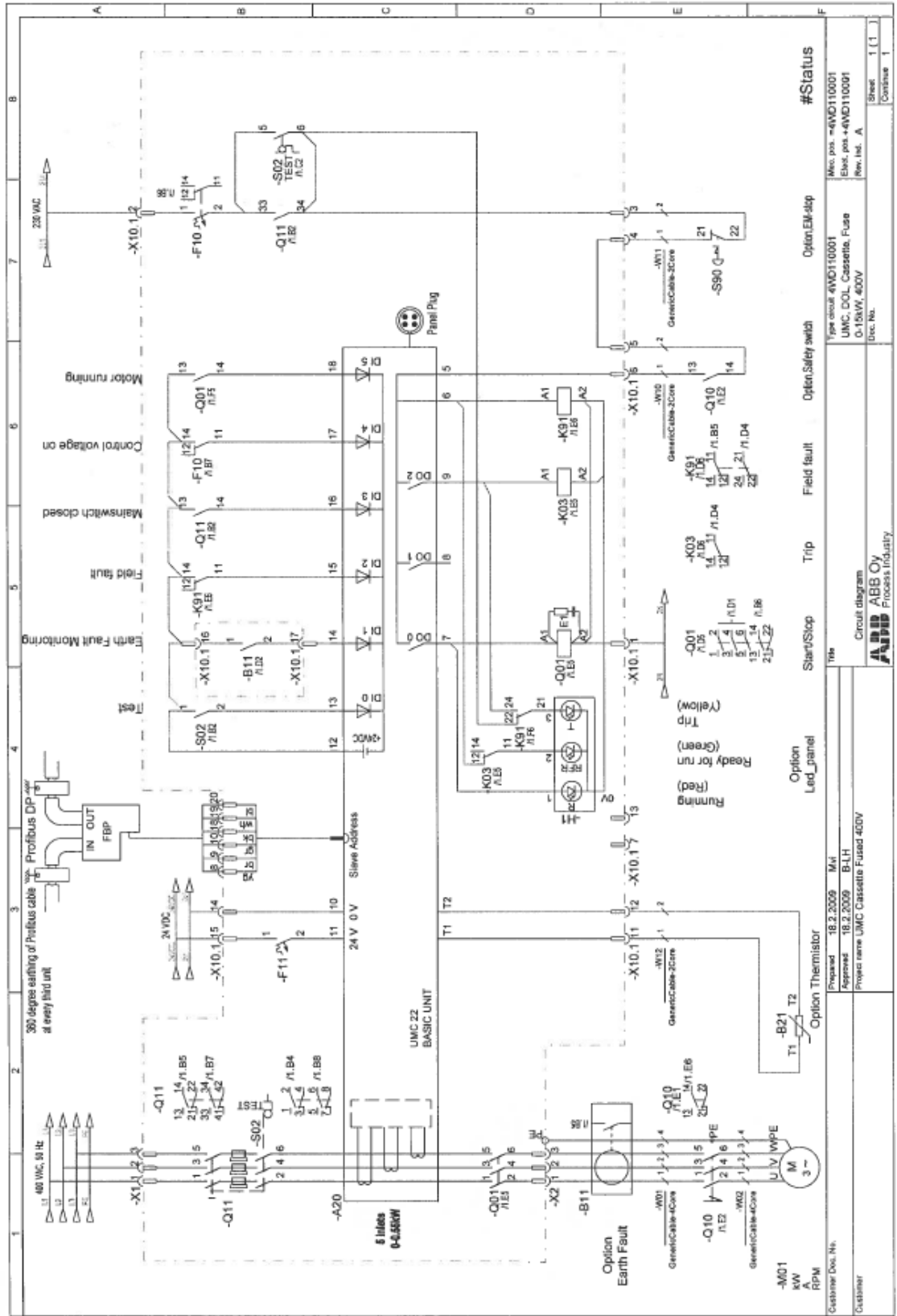
UTU 2014. Teollisuuden pienjännitekoneistot, N400. Tuote-esite, (pdf-tiedosto). Hakupäivä 28.3.2014.

[http://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/teollisuuskojeisto\\_n400.pdf](http://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/teollisuuskojeisto_n400.pdf)

## LIITTEET

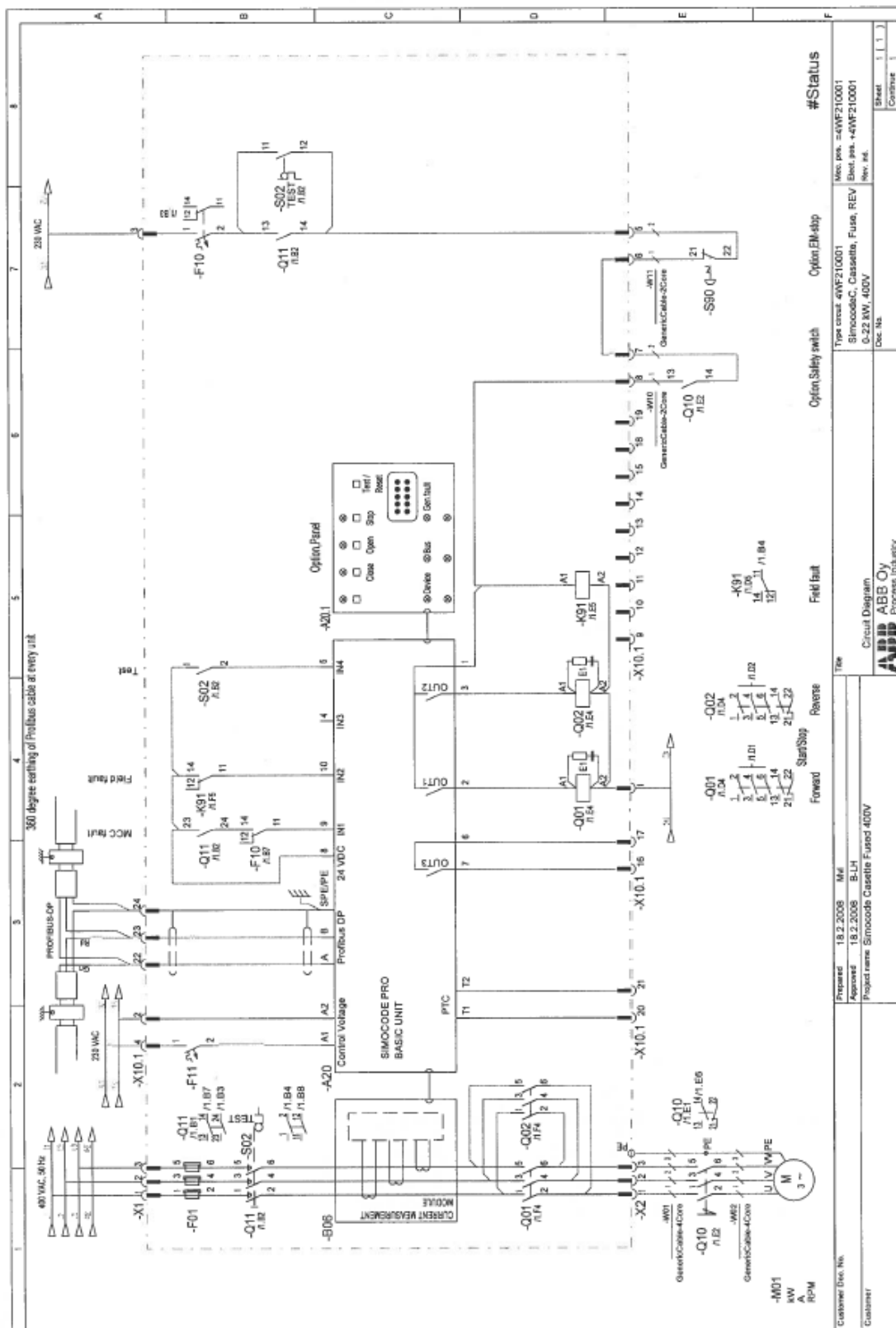
- Liite 1. UMC 22-DOL piirikaavio.
- Liite 2. Simocode REV piirikaavio
- Liite 3. MNS iS, taajuusmuuttajälähtö

Lite 1.

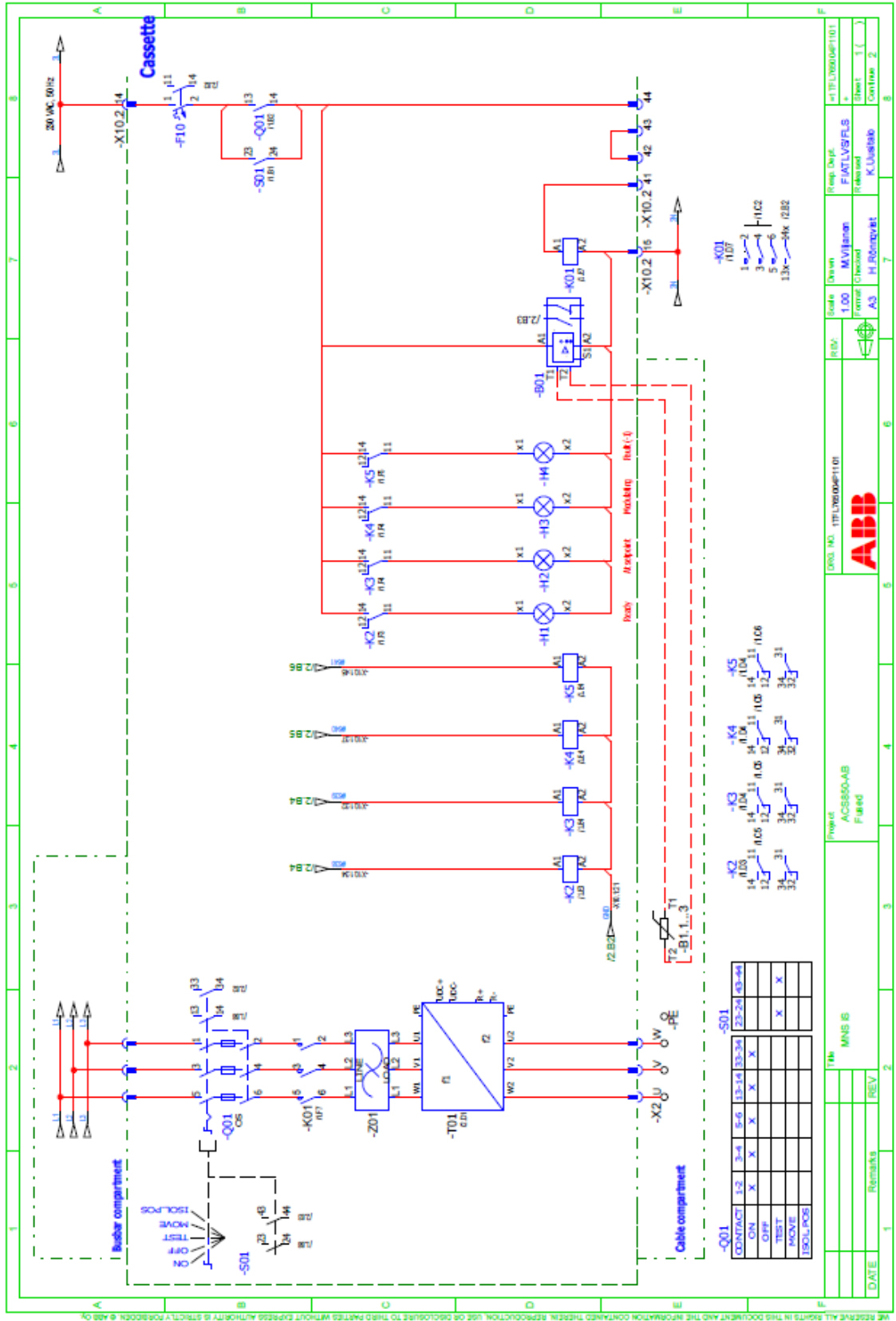


WE RESERVE ALL RIGHTS IN THIS DOCUMENT AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN. REPRODUCTION, USE OR DISCLOSURE TO THIRD PARTIES WITHOUT EXPRESS AUTHORITY IS STRICTLY FORBIDDEN. ©ABB

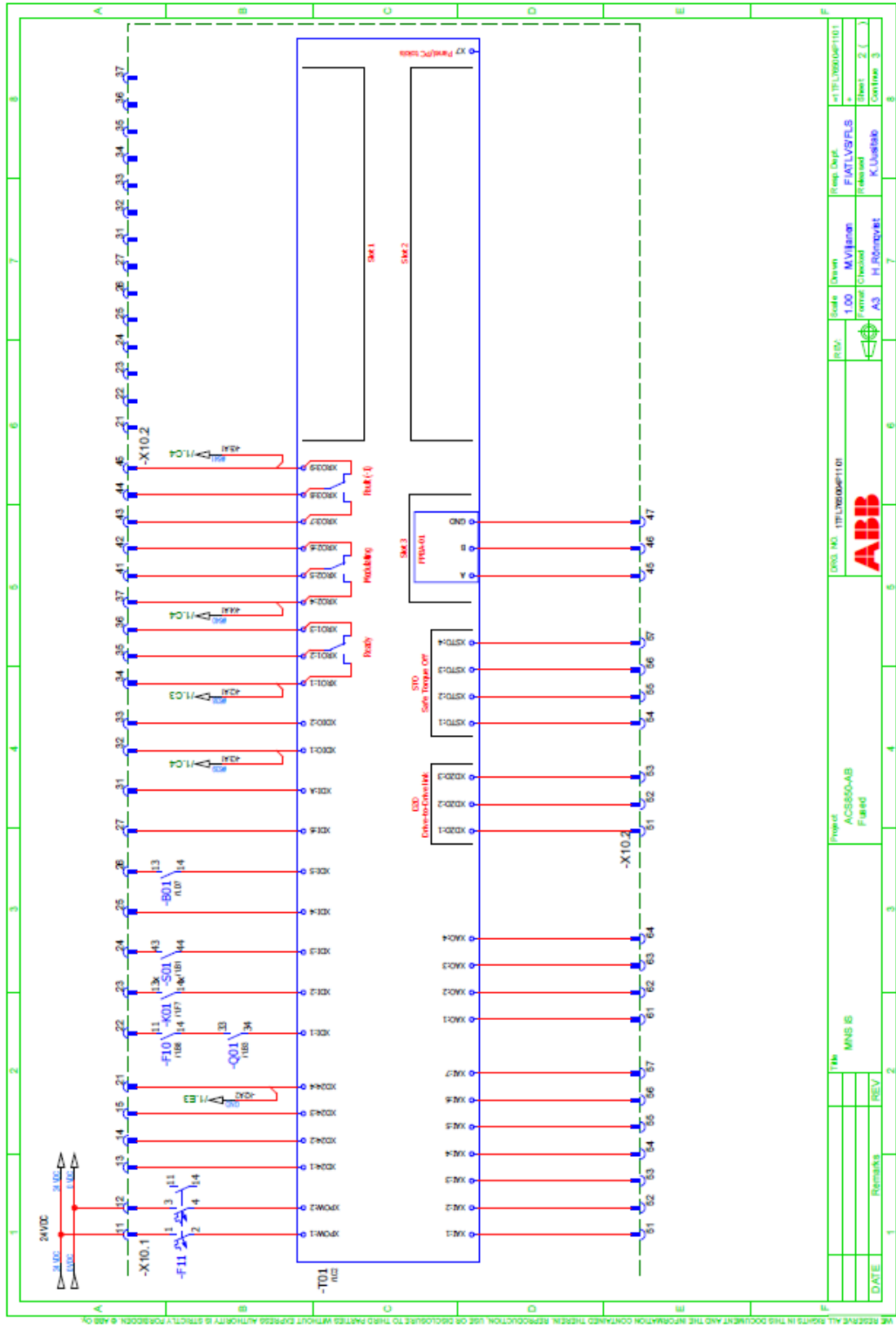
Lite 2.



Lite 3 1(3).



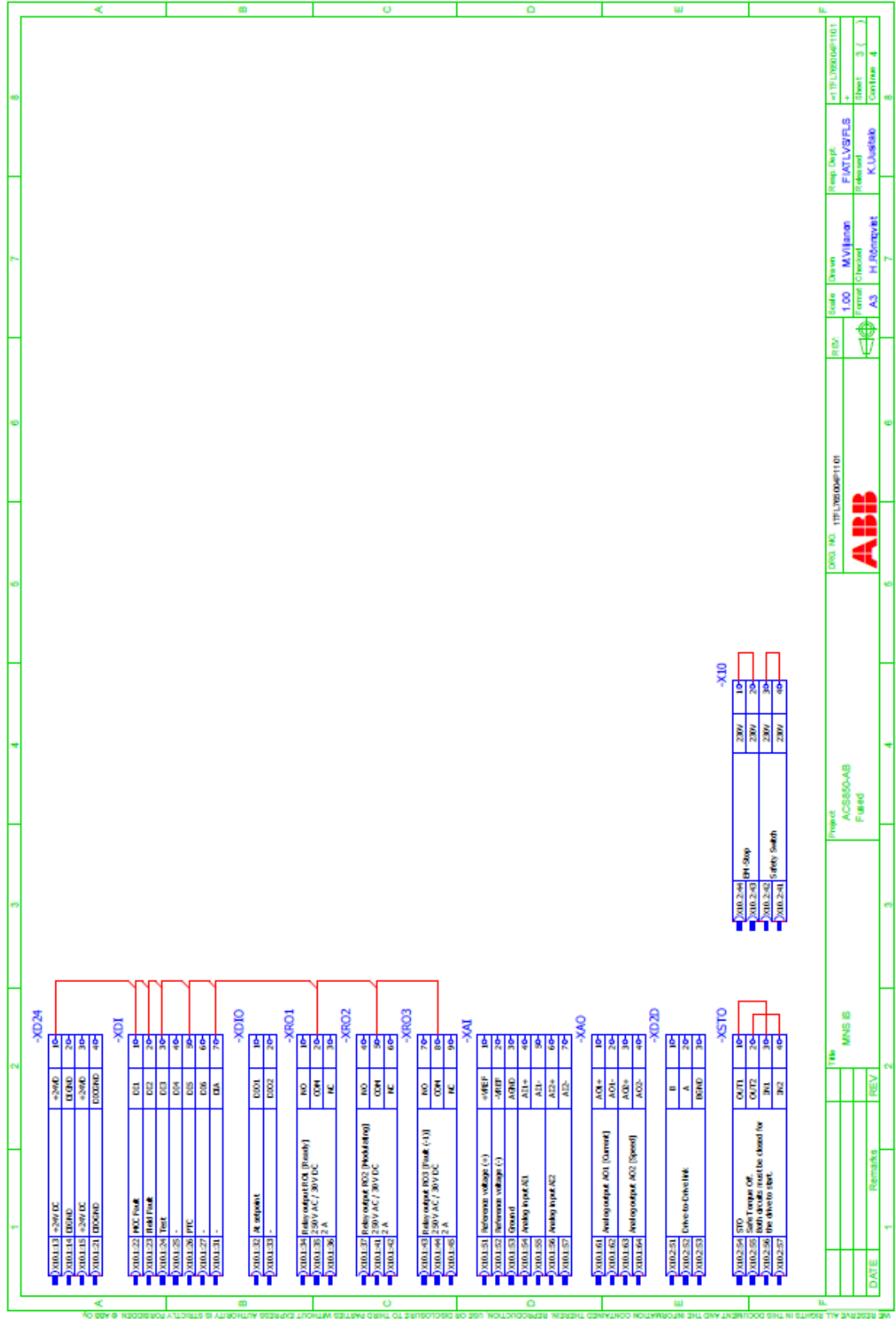
Lite 3 2(3).



DATE	REVISION	REMARKS	MNS IS	Project ACCESSAB Fiber	Order No. 1PFL0004E1101 <b>ABB</b>	Drawn M. V. J. J. J.	Checked K. U. J. J. J.	Released K. U. J. J. J.	Hi-TL0004E1101 Sheet 2 ( 1 ) Contin 3
------	----------	---------	--------	---------------------------	---------------------------------------	-------------------------	---------------------------	----------------------------	---

WE RESERVE ALL RIGHTS IN THIS DOCUMENT AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN. REPRODUCTION, USE OR DISCLOSURE TO THIRD PARTIES WITHOUT EXPRESS AUTHORITY IS STRICTLY PROHIBITED. © ABB Oy

Liite 3 3(3). MNS iS, taajuusmuuttajalähtö riviliittimet



RESERVE ALL RIGHTS IN THIS DOCUMENT AND THE INFORMATION CONTAINED THEREIN. REPRODUCTION, USE OR DISCLOSURE TO THIRD PARTIES WITHOUT EXPRESS AUTHORITY IS STRICTLY FORBIDDEN. © ABB 2014