



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Enni Kälviäinen

PIENJÄNNITEKESKUKSEN
SYÖTTÖKENTÄN VAKIOINTI

Tekniikka ja liikenne
2013

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoulun sähkötekniikan koulutusohjelmassa. Työn tilasi ABB Oy:n Prosessiteollisuuden Electrification-yksikkö.

Opinnäytetyön ohjaajina toimivat pääsuunnittelija Pasi Kaarto ABB:n Prosessiteollisuudesta ja lehtori Timo Männistö Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikan ja liikenteen yksiköstä.

Haluan Pasi Kaarron ja Timo Männistön lisäksi erityisesti kiittää projektinsinöörejä Anssi Mäkystä ja Matias Puskaa kaikesta avusta ja opastuksesta. Haluan kiittää myös muuta Prosessiteollisuuden väkeä mukavasta työilmapiiristä.

Vaasassa 16.4.2013

Enni Kälviäinen

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Enni Kälviäinen
Opinnäytetyön nimi	Pienjännitekeskuksen syöttökentän vakiointi
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	64
Ohjaaja	Timo Männistö

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vakioida pienjännitekeskuksen syöttökenttä, jonka jännite on 690 V ja jakelujärjestelmänä IT-jakelujärjestelmä. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada syöttökentästä malliratkaisu, joka palvelee sekä myyntiä että projektin toteutusta. Työssä haluttiin laitevalintojen lisäksi vakioida riviliitintunnukset sekä tarkastaa piirikaaviossa käytettävät kojettunnukset ja piirrosmerkit.

Työssä tutustuttiin pienjännitekojeistoon ja sen syöttökenttään. Laitevakiointi edellytti syöttökentän laitteisiin ja niiden toimintaan perehtymistä. Tutkimusaineistona käytettiin valmistajien laitemanuaaleja ja Prosessiteollisuuden sisäisiä ohjeita. Syöttökentän piirikaaviot suunniteltiin vakioituja laitteita käyttäen. Suurin osa suunnittelutyöstä tehtiin E³-suunnittelujärjestelmällä. Syöttökentän kokoonpanokuvat tehtiin AutoCADilla.

Lopputuloksena syntyi syöttökentän dokumentaatio, johon kuului piirikaavioiden ja pääkaavion lisäksi kokoonpanokuvat ja laiteluettelo. Piirikaavioiden pohjalta laadittiin myös kytkentä- ja riviliitintaulukot. Dokumentaatiossa käytetyt kojettunnukset ja piirrosmerkit tarkastettiin ja korjattiin vastaamaan IEC-standardia. Riviliitintunnukset nimettiin uudelleen.

ABSTRACT

Author	Enni Kälviäinen
Title	Low voltage incoming standardization
Year	2013
Language	Finnish
Pages	64
Name of Supervisor	Timo Männistö

The purpose of the thesis was to standardize incoming of low voltage switchgear. The voltage of incoming was 690 V and the electrical distribution system was IT network. The aim of the thesis was to create a model solution that suits the sales and implementation of projects. In addition to equipment selection, the objective was to standardize the identification letters of electrical equipment and terminals and to make sure that the graphic symbols used in circuit diagrams were correct.

The thesis required familiarization of low voltage switchgear, incoming and devices and their purposes. The manuals of the manufacturers and internal instructions of Process Industry were used as a research material. The circuit diagrams of the incoming were engineered using the standardized equipment. Most designing work was made using the electrical design software E³. The layout drawings were created with AutoCAD.

The result of the thesis was the documentation of the incoming consisting of the circuit diagrams, a single line diagram, layout drawing and an equipment list. The connection and terminal lists were generated from the circuit diagrams. The graphic symbols and identification letters of electrical equipment and terminals were checked and repaired to meet the requirements of the IEC-standards.

SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIO-JA TAULUKKOLUETTELO

LYHENTEET JA MERKINNÄT

1	JOHDANTO	11
2	ABB OY	12
	2.1 ABB Oy yleisesti	12
	2.2 ABB Oy Prosessiteollisuus	13
3	MNS3.0 PIENJÄNNITEKESKUS	14
	3.1 Yleistä.....	14
	3.2 Kalustustavat.....	14
	3.3 Tekniset arvot.....	18
	3.4 Tekniset standardit ja koestukset	19
	3.5 Rakenne	20
	3.6 Sähkötila ja asennus	21
4	JAKELUJÄRJESTELMÄT	22
	4.1 Jännitteisten johtimien järjestelmä	22
	4.2 Jakelujärjestelmien maadoitus	22
5	PIENJÄNNITEKESKUKSEN SYÖTTÖKENTTÄ	27
	5.1 Syöttökenttä yleisesti.....	27
	5.2 Päälaitekenttä yleisesti	28
	5.3 Apulaitekenttä yleisesti	28
6	PÄÄLAITEKENTÄN LAITTEET	29
	6.1 Syöttöliitännät.....	29
	6.1.1 Kiskosiltajärjestelmä.....	29
	6.1.2 Suurvirtakaapelit.....	30
	6.2 Syöttöyksiköt	31
	6.2.1 Pääkytkin.....	31
	6.2.2 Pääkatkaisija	32

6.3	Virtamuuntajat	39
6.4	Maadoituskytkin.....	40
7	APULAITEKENTÄN LAITTEET	41
7.1	Mittaus.....	41
7.1.1	Taulumittarit	41
7.1.2	Monitoimimittarit	42
7.1.3	Maasulun valvonta ja etsintä	43
7.1.4	Eristystason valvonta	45
7.2	Suojaus	46
7.2.1	Ylivirtarele.....	47
7.2.2	Valokaarirele	47
7.3	Ohjaus- ja apusähkön jakelu	49
7.3.1	Ohjausjännitemuuntaja.....	49
7.3.2	Tasajännitelähde	51
7.4	Väylätoiminnot	52
7.4.1	Kenttäväylä.....	52
7.4.2	Kuitumuunnin.....	52
8	DOKUMENTOINTI YLEISESTI	54
8.1	Piirustusten laatu	54
8.2	Piirustusten laatimisohteet	54
9	SYÖTTÖKENTÄN DOKUMENTAATIO	56
9.1	Käyttäjän dokumentit	56
9.2	Syöttökentän piirikaavioiden suunnittelu ja toteutus	57
9.3	Kojetunnukset	58
9.4	Symbolit.....	58
9.5	Riviliittimet.....	58
9.6	Piirikaaviot.....	59
9.7	Muu dokumentaatio.....	59
10	YHTEENVETO	60
	LÄHTEET	61

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. ABB:n organisaation rakenne Suomessa vuonna 2012	s. 12
Kuvio 2. Kokonaistoimituksen sisältö projekteissa	s. 13
Kuvio 3. Ulosvedettävä kasetti	s. 16
Kuvio 4. Kiinteästi asennettu lähtöyksikkö	s. 17
Kuvio 5. Ulosotettava lähtöyksikkö	s. 17
Kuvio 6. Erään MNS-kojeiston arvokilpi sekä UpCode	s. 19
Kuvio 7. Kojeiston osastointi	s. 20
Kuvio 8. TN-S-järjestelmä nollajohtimella varustettuna	s. 23
Kuvio 9. TN-C-järjestelmä	s. 24
Kuvio 10. TN-C-S-järjestelmä	s. 25
Kuvio 11. IT-järjestelmä	s. 26
Kuvio 12. Syöttökentän päälaitte- ja apulaittekenttä	s. 27
Kuvio 13. MDY-kiskosilta	s. 29
Kuvio 14. MDY-kiskojärjestelmän liittyminen kojeistoon	s. 30
Kuvio 15. Yksijohdinkaapelin asennustavat	s. 30
Kuvio 16. Suurvirtakaapelien sidonta	s. 31
Kuvio 17. ABB:n valmistamia OT-kuormankytkimiä	s. 32
Kuvio 18. Rele PR121/P LSIG	s. 33
Kuvio 19. Työvirta- ja kiinniohjauskela sekä jousien viritysmoottori	s. 36
Kuvio 20. Alijännitekela	s. 37
Kuvio 21. Apu- ja asennonosoituskoskettimet	s. 37
Kuvio 22. Ristiinlukitus katkaisijoiden välillä	s. 38
Kuvio 23. ATS021	s. 38
Kuvio 24. SACIn valmistama virtamuuntaja	s. 39
Kuvio 25. ABB:n OETL-maadoituskytkin	s. 40
Kuvio 26. Apulaitteentän mittauslaitteet	s. 41
Kuvio 27. Monitoimimittarit Diris A40 ja M2M	s. 43
Kuvio 28. Maasulun valvonta IT-järjestelmässä	s. 45
Kuvio 29. Eristystason valvontarele Bender A-Isometer	s. 46
Kuvio 30. REF615-rele	s. 47
Kuvio 31. Valokaarirele REA 101 ja laajennusyksiköt	s. 48

Kuvio 32. Ohjausjännitemuuntaja	s. 51
Kuvio 33. ABB:n CP-S -teholähde	s. 51
Kuvio 34. Väylän kokoonpano	s. 53
Kuvio 35. Siemensin OLM-kuitumuunnin	s. 53
Taulukko 1. Ulosvedettävän kasetin väänninasentojen kuvaus	s. 15
Taulukko 2. MNS3.0-kojeiston tekniset arvot	s. 18
Taulukko 3. Jakelujärjestelmän maadoitustapojen kirjaintunnukset	s. 23
Taulukko 4. Releen PR121 suojaustoiminnot ja asetusten arvot	s. 34
Taulukko 5. Katkaisijan lisävarusteilla aikaansaattavat toiminnot	s. 35
Taulukko 6. Diris A40/41 – mittariin saatavat toiminnot	s. 42

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ABB	Asea Brown Boveri
ATS021	Automatic Transfer Switch, ABB:n valmistama syötönvaihtoautomaatiikkalaite
Bender A-Isometer	Eristystason valvontarele
CAD	Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CP-S	ABB:n valmistama hakkuriteholähde
DIP-kytkin	Heikkovirtakytkin, joka yleensä sisältää useampia kytkimiä
Diris A40	Socomecin valmistama monitoimimittari
E ³	Suunnittelujärjestelmä
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
IEC 60617	Standardi sähköpiirustuksissa ja kaavioissa käytettävistä piirrosmerkeistä ja niiden soveltamisesta
IEC 61850	Standardi sähköasema-automaatiosta
IEC 81346-2	Standardi kojettunnuksista
L1, L2, L3	Vaihejohtimet
M2M	Made to Measure, ABB:n valmistama monitoimimittari
MDY	ABB:n valmistama kiskosiltajärjestelmä
MNS	ABB:n valmistama pienjännitekojeisto
N	Neutral, nollajohdin

OETL	ABB:n valmistama maadoituskytkin
OLM	Optical Link Module, Siemensin valmistama kuitumuunnin
OT	ABB:n valmistama kuormankytkin
OZD	Hirschmannin valmistama kuitumuunnin
PE	Protective earth, suojamaadoitus
PEN	Yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin
PR121/P	Emax-ilmakatkaisijan ylivirtarele
Profibus DP	Profibus Decentralized Peripherals, Profibus-väylän protokolla hajautetuille kenttälaitteille
REA	ABB:n valmistama valokaarireletuoteperhe
REF	ABB:n valmistama reletuoteperhe
SACE Emax	ABB:n valmistama ilmakatkaisijatuoteperhe
SFS	Suomen standardisoimisliitto
THD	Total Harmonic Distortion, särökerroin
Token passing	Valtuuden välitys väylässä, kommunikoiva laite voi hallita verkkoa omalla vuorollaan
UMC	Universal Motor Controller, ABB:n valmistama älykäs moottorinhjain
UPS	Uninterruptible Power Supply, keskeytymätön virransyöttö

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin ABB Oy:n Prosessiteollisuudelle, joka halusi toteuttaa pienjännitekeskuksen syöttökentän vakioinnin suunnittelussa ja käyttöönotossa tehtyjen huomioiden pohjalta. Suunniteltaessa syöttökenttää uuteen projektiin, käytettiin hyväksi vanhojen projektien muokattuja piirikaavioita. Projektin aikana tehdyt muutokset eivät kuitenkaan päivittyneet mallikuviin asti.

Syöttökentästä oli olemassa jo erilaisia tyyppikuvia riippuen verkon jännitteestä (400 V, 690 V) ja jakelujärjestelmästä (TN-S, IT). Tyyppikuvat eivät kuitenkaan vastanneet senhetkistä tarvetta. Tässä työssä päädyttiin tekemään uusi tyyppiratkaisu 690 V:n IT-järjestelmästä REF615-releellä varustettuna. 690 V:n IT-järjestelmä kuuluu myydyimpiin ratkaisuihin. Tyyppiratkaisun tuli muodostua Prosessiteollisuuden suosituksista eli laitteista, joita halutaan käyttää tuotteissa. Tyyppiratkaisun tarkoitus on palvella paremmin sekä myyntiä että toteutusta. Laittevakioinnin lisäksi tarkoituksena oli standardisoida dokumentaatio sekä piirikaavioissa esiintyvät riviliittimet, kojatunnukset ja piirrosmerkit.

Opinnäytetyön alussa perehdytään yleisellä tasolla ABB:n valmistamaan MNS-pienjännitekojeistoon. Tämän jälkeen tutustutaan tarkemmin kojeiston syöttökenttään ja sen laitteisiin. Työn kannalta tärkein lopputulos on syöttökentän dokumentaatio, joka pitää sisällään pääkaavion, tyyppikuvat, kokoonpanokuvat, osaluettelon sekä kytkentä- ja riviliitintaulukot. Suurin osa dokumentaatiosta toteutettiin tietokantapohjaisella E³-suunnittelujärjestelmällä. Syöttökentän malliratkaisu tallennettiin tietokantaan, josta se on helppo hakea uutta projektia aloitettaessa.

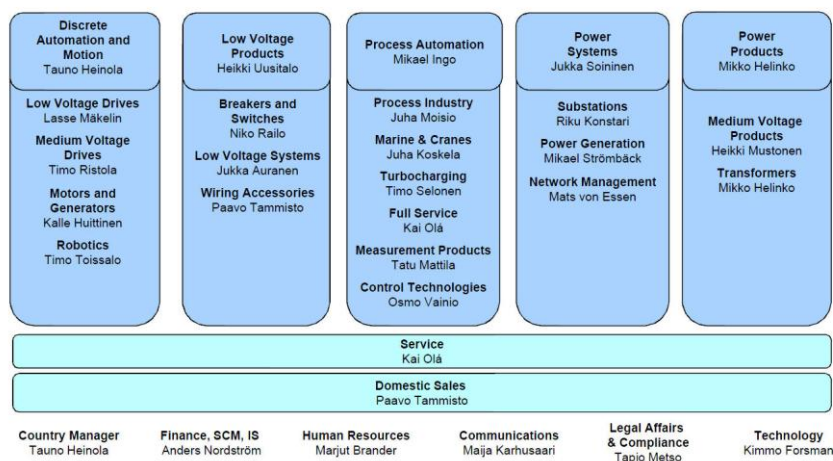
2 ABB OY

2.1 ABB Oy yleisesti

ABB on sähkövoima- ja automaatioyhtiö, joka tuottaa tuotteita, järjestelmiä ja palveluita teollisuus- ja energiayhtiöiden käyttöön. Tuotteiden, järjestelmien ja palveluiden avulla pyritään parantamaan muun muassa teollisuuden tuottavuutta ja sähköverkkojen luotettavuutta. ABB:lle tärkeää ovat myös ympäristövaikutukset, joita yhtiö pyrkii vähentämään energiatehokkailla tuotteillaan. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. Liikevaihto oli vuonna 2011 noin 38 MUSD. /2/, /3/, /4/

Suomessa ABB:n juuret ulottuvat 1800-luvun lopulle, jolloin Gottfrid Strömberg perusti sähköliikkeen Helsinkiin. Strömberg tuotti muun muassa tasavirtakoneita ja valaistuskeskuksia. Vuonna 1987 silloinen Oy Strömberg Ab myytiin ruotsalaiselle Asealle. Nykyinen ABB syntyi vuonna 1988, kun Asea ja sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät. Vuonna 2011 ABB:llä oli 134 000 työntekijää likimain 100 maassa. Henkilöstöstä vajaat 7000 työskenteli Suomessa yli 30 paikkakunnalla. Kuviossa 1 on esitelty organisaation rakenne Suomessa vuonna 2012. /1/, /2/

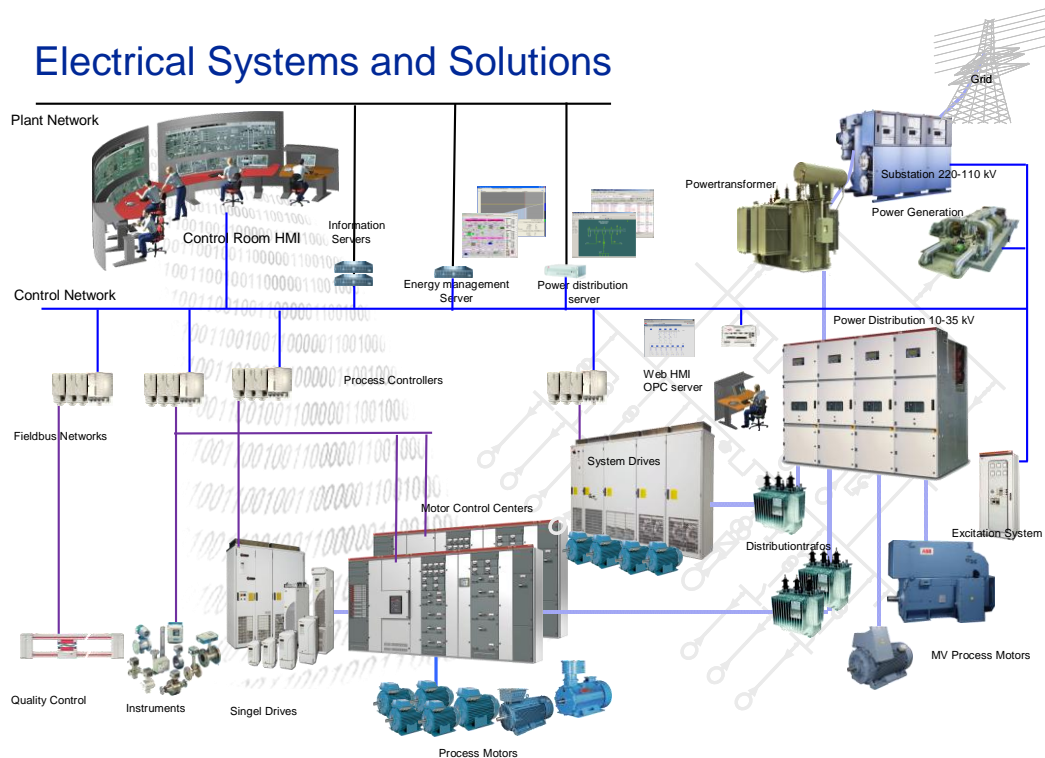
ABB Oy, organization



Kuvio 1. ABB:n organisaation rakenne Suomessa vuonna 2012. /6/

2.2 ABB Oy Prosessiteollisuus

Tämä opinnäytetyö tehtiin ABB Oy:n Prosessiteollisuuden Vaasan Electrification- yksikölle. Yksikkö toteuttaa maailmanlaajuisesti sähköistys-, instrumentointi- ja kokonaistoimitusprojekteja, pääosin paperi- ja selluteollisuudelle. Suomessa projekteja on tehty myös metalli- ja kaivosteollisuudelle. Kokonaistoimituksen laajuus voi sisältää sähköistyksen ja instrumentoinnin aina sähkönjakelun kantaverkosta moottoreille ja toimilaitteille asti (**Kuvio 2.**). Prosessiteollisuus kuuluu ABB:n prosessiautomaatiodivisioonaan yhdessä viiden muun osaston kanssa. Suomen yksikössä työskentelee 230 henkeä, jotka ovat sijoittuneet Vaasan lisäksi Helsinkiin, Ouluun ja Varkauteen. /5/, /7/



Kuvio 2. Kokonaistoimituksen sisältö projekteissa. /17/

3 MNS3.0 PIENJÄNNITEKESKUS

3.1 Yleistä

”Hyvä keskus on selväpiirteinen ja varustettu oikeaa asennusta, käyttöä ja huoltoa varten riittäväillä merkinnöillä. Keskuksen mukana toimitetaan sen asennuksessa, käytössä ja huollossa tarvittavat piirustukset ja muut dokumentit. Keskus on käyttäjän/tilaajan tilauksen ja valmistajan kuvauksen mukainen ja se voidaan asentaa tarkoitettuun käyttöpaikkaansa kohdemaan asennusmääräysten ja standardien sekä tilaajan vaatimusten ja ohjeiden mukaisesti.” /47/

ABB:n valmistaman MNS-kojeiston rakenne on modulaarinen eli kojeisto luokitellaan kennokeskukseksi. Kennokeskuksia käytetään, kun nimellisvirrat ovat suuria ja keskukselta vaaditaan suurta oikosulkukestoisuutta. Kojeistot valmistetaan projektikohtaisesti asiakkaan tarpeiden mukaan vakioituja ratkaisuja käyttäen. Riippuen teollisuuslaitoksesta ja sen jakelujärjestelmästä, kojeiston nimellisjännite on yleensä 400 VAC tai 690 VAC. /42/

MNS-kojeistoilla on laaja käyttöalue. Niitä voidaan käyttää sellu- ja paperiteollisuudessa, metalliteollisuudessa, voimalaitoksissa, petrokemian teollisuudessa ja marine- ja offshore – käytöissä. Kojeistot soveltuvat sairaaloihin ja lentokentille. Kojeiston toiminnan luotettavuus on tärkeää, koska sähkönjakelussa tapahtuvat keskeytykset tarkoittavat taloudellisia menetyksiä ja mahdollisia vaaratilanteita, prosessista riippuen. /42/

3.2 Kalustustavat

Kojeisto jaetaan numeroituihin kenttiin, jotka muodostuvat kennoista. Kennoihin asennetaan lähtöyksiköitä. Yleensä yhteen kennoon sijoitetaan yksi lähtö ja sen kaikki komponentit. Kennoja voidaan jättää myös varatiloiksi mahdollisia laajennuksia varten. /32/

Lähtöyksiköt jaetaan kolmeen erilaiseen kalustustapaan. Tällä hetkellä suositaan ulosvedettäviä kasetteja ja kiinteitä lähtöyksiköitä. Kolmas kalustustapa on ulosotettava lähtöyksikkö. /35/

Ulosvedettävästä kasetista voidaan käyttää nimitystä W-kalustus (withdrawable unit). Kaikki sähköiset liitynnät toteutetaan liukukoskettimien avulla. Tämän ansiosta yksiköiden vaihtaminen ja lisääminen on helppoa ja nopeaa kojeiston ollessa jännitteinen. Lähtöyksikkö on irrottavissa, kun etukojeen väännin käännetään siirtoasentoon (**Taulukko 1.**). Tällöin pää- ja ohjauspiirit kytkeytyvät irti. /35/

Taulukko 1. Ulosvedettävän kasetin väänninasentojen kuvaus. /39/

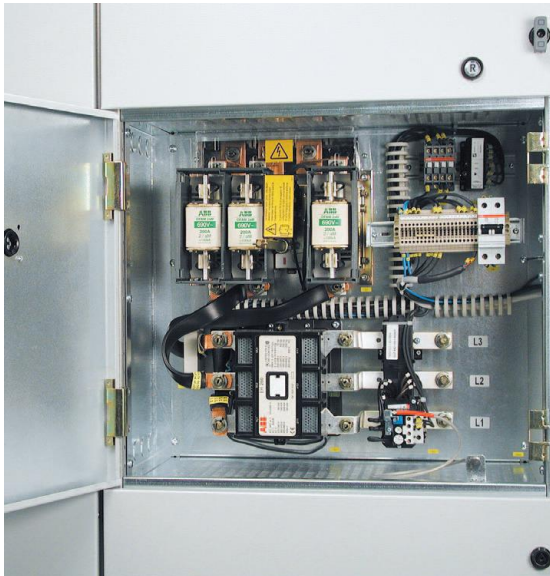
	Vääntimen asento	Modulin asento	Pää- ja apupiirit
	I (ON-asento)	Lukittuna tilassa	Pää- ja apupiirit ovat kytkettyinä
	0 (OFF-asento) Voidaan lukita 3 riippulukolla	Lukittuna tilassa	Pää- ja apupiirit ovat erotettuina
	TEST Voidaan lukita 3 riippulukolla	Lukittuna tilassa	Pääpiiri on erotettuna, apupiiri on kytkettynä
	Siirto Yksikkö voidaan poistaa tilasta	Tilassa - Erotusasento - Tilan ulkopuolella	Pää- ja apupiirit ovat erotettuina
	Erotusasento Voidaan lukita 3 riippulukolla	Lukittuna tilassa 30 mm ulosvedetyssä asennossa	Pää- ja apupiirit ovat erotettuina

Ulosvedettävillä kaseteilla saadaan maksimoitua tilankäyttö kojeistossa. Kasetteja on saatavilla eri levyisinä ja korkuisina moduuleina. Alla olevassa kuvassa on esitetty ulosvedettävä kasetti, jonka moduulikoko on 8E/4 (**Kuvio 3.**) /52/



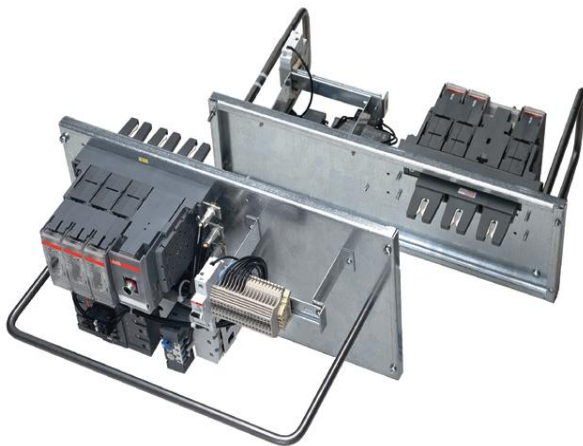
Kuvio 3. Ulosvedettävä kasetti. /40/

Kiinteästä lähtöyksiköstä voidaan käyttää nimitystä F-kalustus (fixed unit). Yksikön sähköiset liitokset on toteutettu kiinteillä ruuvi- tai pulttiliitoksilla (**Kuvio 4**). Yksikköä ei voi vaihtaa tai lisätä kojeiston ollessa jännitteinen. Yksikön ovi on erikoismenetelmin avattavissa, jolloin komponenttien toiminnan seuraaminen on mahdollista ilman käyttökeskeytystä. Ulosvedettävää katkaisijaa lukuun ottamatta pienjännitekojeiston syöttökentän lähtöyksiköt ovat kiinteästi asennettuja. Kojeston mittauskenttä toteutetaan niin ikään kiinteästi. /42/



Kuvio 4. Kiinteästi asennettu lähtöyksikkö. /42/

Ulosotettavasta lähtöyksiköstä voidaan käyttää nimitystä R-kalustus (removable unit). Yksikkö varustetaan kiinteillä vetokahvoilla (**Kuvio 5.**). Sähköiset liittynät pääpiiriin toteutetaan koskettimilla. Lähtevät piirit toteutetaan kiinteillä ruuvi- tai pulttiliitoksilla. Vain ammattihenkilö voi lisätä ja poistaa yksikön jännitteisestä kojeistosta. /35/



Kuvio 5. Ulosotettava lähtöyksikkö. /40/

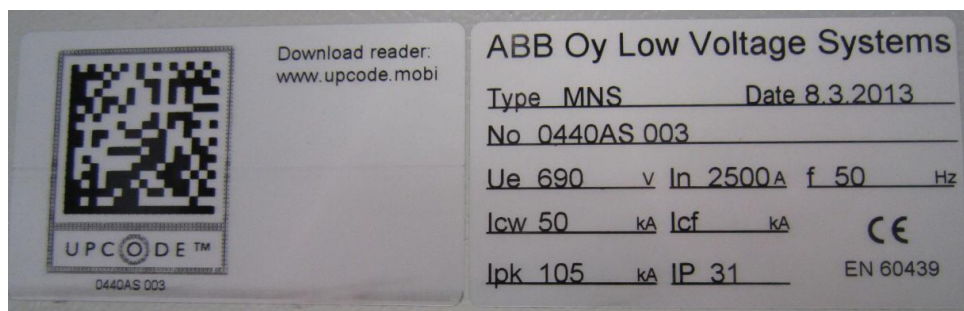
3.3 Tekniset arvot

MNS-kojeiston tekniset tiedot on esitetty alla olevassa taulukossa (**Taulukko 2**). Kojeiston nimellisjännite on 690 VAC ja nimellisvirrat kokoojakiskoissa ja pystysyöttökiskoissa ovat maksimissaan 6300 A ja 2000 A. Kojeistosta laaditaan tilausvaiheessa tarkka tekninen erittely, jossa määritellään muun muassa sähkötekniiset tiedot, jakelujärjestelmä, koestukset ja kojeiston laitteet ja komponentit.

Taulukko 2. MNS3.0-kojeiston tekniset arvot. /42/

Nimelliseriistysjännite	U_i	1000 VAC
Nimellisjännite	U_e	690 VAC
Nimellinen syöksykestoajännite	U_{imp}	8 kV
Ylijänniteluokka		III
Likaantumisaste		3
Nimellistaajuus		0/50/60 Hz
Nimellisvirrat	I_n	
Kokoojakiskot		Maksimi 6300 A
Pystysyöttökiskot		Maksimi 2000 A
Terminen nimelliskestovirta	I_{cw}	
Kokoojakiskot		Maksimi 100 kA
Pystysyöttökiskot		Maksimi 86 kA
Dynaaminen nimelliskestovirta	I_{pk}	
Kokoojakiskot		Maksimi 250 kA
Pystysyöttökiskot		Maksimi 165 kA
Valokaarioikosulkukestoisuus		50 kA, 300 ms, 760 V
EMC-ympäristö		2
Eristysvastus		>10 MΩ
Kotelointiluokka		IP 31...IP 54 (IEC 60529)
Mitat		
Korkeus		2200 mm
Kenttälevyydet		400, 600, 800, 1000, 1400 mm
Syvydet		400, 600, 800, 1000, 1200 mm
Moduulimitta		E = 25 mm
Pintakäsittely		
Esikäsittely		Sinkkifosfointi 1-2 g/m ²
Runko		Kuumasinkitty teräslevy
Kojeiston sisällä olevat osat		Kuumasinkitty teräslevy
Katto- ja takalevyt		Kuumasinkitty teräslevy
Ovet ja sivuseinät		Maalattu RAL 7035, vaaleanharmaa
		Elektrostaattinen polyesteripinnoite, paksuus 60 μm
Sisäinen osastointi		Internal separation form 4 (Osastointimuoto 4), IEC 61439-1
Kalustustavat		F tai W
		Vapaasti lattialla seisova

Oleelliset tekniset tiedot esitetään kojeiston arvokilvessä (**Kuvio 6**). Arvokilven yhteyteen on liitetty myös UpCode. Tulevaisuudessa koodin avulla päästään käsiksi esimerkiksi kojeiston dokumentaatioon. /26/



Kuvio 6. Erään MNS-kojeiston arvokilpi sekä UpCode. /32/

3.4 Tekniset standardit ja koestukset

MNS-kojeistojen turvallisuus taataan IEC-standardien mukaisilla rakenne- ja kapale tarkastuksilla, tyyppitesteillä sekä valokaarioikosulkukokeilla. Kojeistolle tehdään myös tärinäkestoisuus- ja iskutestejä, joilla varmistetaan kojeistojen soveltuvuus ääriolosuhteisiin, kuten seismisille alueille, väestönsuojiiin ja meritekniisiin kohteisiin. /35/

MNS-kojeistoa koskevat standardit ja koestukset:

- Pienjännitekeskukset. Osa 1: Yleiset säännöt. IEC 61439-1: 2011, EN 61439-1
- Jakokeskukset. Osa 1: Tyyppitestattujen ja osittain tyyppitestattujen keskusten vaatimukset. BS EN 60439-1, SFS-EN 60439-1: 2000
- Pienjännitekytkinlaitteiden kokoonpanot. DIN VDE 0660, osa 500
- Sähkölaitteiden kotelointiluokat. IEC 60529, EN 60529
- Pienjännitekeskuksen valokaaritestit. IEC 61641 (tekninen raportti)
- Prosessiteollisuuden jakokeskus. PSK 1801: 2001
- FI Sertifikaatti 19335, SGS Fimko Oy
- Tärinäkestoisuus. IEC 60068-2-6
- Iskutesti. IEC 60068-2-27. /35/

3.5 Rakenne

Laitteet sijoitetaan kojeistoon siten, että niitä on helppo ja turvallista huoltaa ja käyttää. Kojeisto on jaettu erillisiin koje-, kiskosto- ja kaapelitiloihin. Rakenteen avulla on voitu vähentää vahinkojen syntymistä. Mahdollisessa valokaarioikosulussa vahingot rajoittuvat vain tilaan, jossa valokaari saa alkunsa. Vahvan rakennusmateriaalin avulla kojeistosta on saatu valokaaren paineiskua kestävä. /42/

Alumiininen tai kuparinen kokoojakisko sijaitsee kojeiston takaosassa. Kokoojakiskot yhdistetään jokaisen kentän kohdalla pystykiskostoon, johon lähtöyksiköt liitetään joko liitoskiskoilla tai johtimilla. Kiskoliitosten tulee olla helposti lämpökuvattavissa ja jälkikiristettävissä. Lähdön komponentit sijoitetaan vasemmalle kojetilaa ja kaapelointi oikealle erilliseen kaapelitilaan (**Kuvio 7.**). Lähtöyksiköiden usein tarvitsema PE-kisko sijoitetaan kaapelitilan alaosaan. /11/



Kuvio 7. Kojeiston osastointi. /40/

3.6 Sähkötila ja asennus

Kojeistot ja niiden lisälaitteet tulee asentaa tilavaan ja ilmastoituun sähkötilaan. Sähkötilasta on päästävä poistumaan helposti. Sisäänkäyntiovet tulee varustaa avaimella toimivilla lukoilla. Ovet on voitava kuitenkin avata sisäpuolelta ilman avainta. Ovien pitää avautua ulospäin. /49/

Tilaan ei saa asentaa lämpö-, vesi- ja viemärintijärjestelmään kuuluvia osia. Sammutus- ja palovaroitinjärjestelmien asentaminen on sallittua. Sileillä ja maala-
tuilla sähkötilan sisäpinnoilla vähennetään pölyn irtoamista ja kerääntymistä. /18/,
/38/

Kojeistot toimitetaan asennuskohteeseen noin 3 metrin pituisina kuljetusyksikköinä, jotka asennusvaiheessa liitetään toisiinsa pulttiliitoksilla. Asennuskohteen perustukset tulee olla tasaiset, koska kojeiston rungon vaakapoikkeama ei saa ylittää ± 1 mm yhden metrin matkalla. /39/, /44/

4 JAKELUJÄRJESTELMÄT

4.1 Jännitteisten johtimien järjestelmä

Jakelujärjestelmät koostuvat jännitteisten johtimien järjestelmästä sekä jakelujärjestelmien maadoitustavoista.

Vaihtosähköjärjestelmät voivat olla yksi-, kaksi- tai kolmivaihejärjestelmiä. Useimmissa vaihtosähköpiireissä on käytössä jännitteiset johtimet sekä maan potentiaalissa oleva virallinen paluujohdin eli nollajohdin. Suojaukseen käytetään suojamaadoitusjohdinta. Yksivaihejärjestelmää voidaan käyttää esimerkiksi pistorasias- ja valaisinasennuksissa. Esimerkkeinä kaksivaihejärjestelmän käytöstä voidaan mainita ohjausjännitemuuntajan kytkeminen ja kolmivaihejärjestelmästä sähkömoottorin kytkentä. Tasasähköjärjestelmät ovat joko kaksi- tai kolmijohtimisia järjestelmiä. /30/

4.2 Jakelujärjestelmien maadoitus

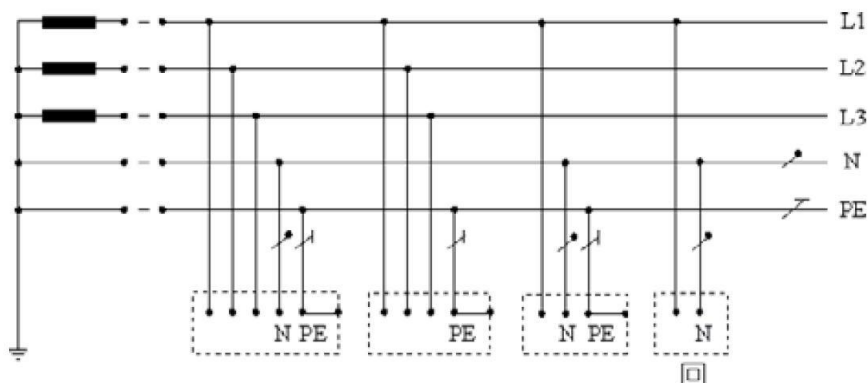
Jakelujärjestelmän maadoitustapa ilmoitetaan kahden kirjaimen yhdistelmällä sekä mahdollisella lisäkirjaimella. Ensimmäinen kirjain järjestelmän tunnuksessa kertoo järjestelmän maadoitustavan jakelumuuntajan alajännitepuolella. Tunnuksen toinen kirjain kertoo tavan, jolla sähkölaitteiston jännitteelle alttiit osat on maadoitettu. Lisäkirjaimet kertovat nollajohtimen ja suojamaadoitusjohtimen keskinäisen järjestyksen. Jakelujärjestelmän kirjaintunnusten selitykset on koottu seuraavaksi esiteltävään taulukkoon (**Taulukko 3.**). /25/

Taulukko 3. Jakelujärjestelmän maadoitustapojen kirjaintunnukset. /25/

Ensimmäinen kirjain	Toinen kirjain	Lisäkirjain
T = Yksi piste on yhdistetty suoraan maahan.	T = Jännitteelle alttiit osat on yhdistetty galvaanisesti suoraan maahan järjestelmän maadoitustavasta riippumatta.	S = Järjestelmässä erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet (N ja PE).
I = Kaikki jännitteiset osat on eristetty maasta tai yksi piste on yhdistetty suoraan maahan.	N = Jännitteelle alttiit osat on yhdistetty järjestelmän maadoitettuun pisteeseen (esim. tähtipiste).	C = Järjestelmässä nolla- ja suojamaadoitusjohtimet on yhdistetty yhdeksi johtimeksi (PEN).

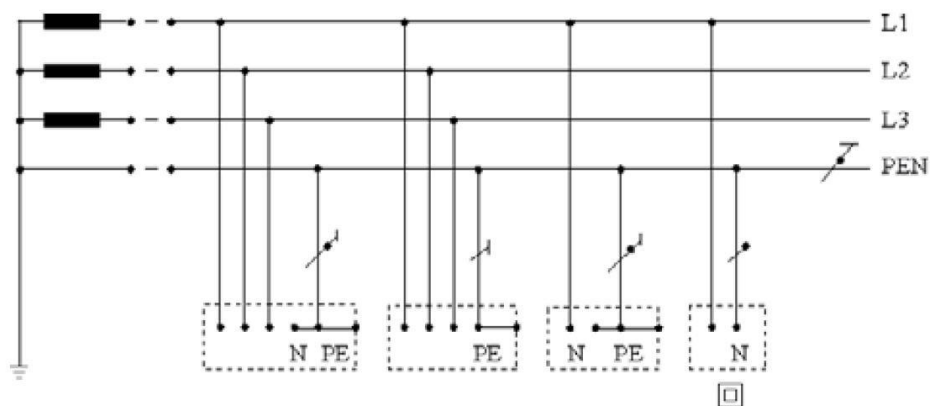
TN-järjestelmässä yksi virtapiirin piste on suoraan maadoitettu. Tähän pisteeseen yhdistetään suojajohtimella sähkölaitteiden ja – laitteistojen jännitteelle alttiit osat. Maadoitettu piste on tavallisesti kolmivaihejärjestelmän tähtipiste. TN-C-, TN-S- ja TN-C-S-järjestelmät kuuluvat TN-järjestelmään. /30/

TN-S-järjestelmässä käytetään erillistä suoja- ja nollajohdinta koko järjestelmässä (**Kuvio 8**). Nollajohdinta käytetään yleisesti rakennusten sähköasennuksissa. Teollisuudessa nollajohdinta ei käytetä, mikäli liitettävät kuormat ovat kolmivaiheisia symmetrisiä kuormia. Kolmivaihejärjestelmässä on siis joko viisi tai neljä johdinta: vaihejohtimet L1, L2, L3, suojajohdin PE ja mahdollisesti nollajohdin N. Yksivaihejärjestelmässä on vaihe-, nolla- ja suojajohdin. /30/

**Kuvio 8.** TN-S-järjestelmä nollajohtimella varustettuna. /13/

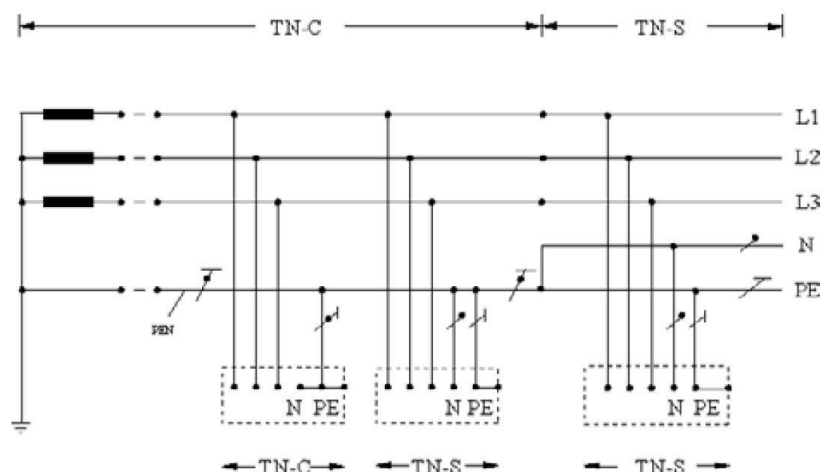
Käytettäessä TN-C-järjestelmää kolmivaiheverkossa, tarvitaan vaihejohtimet L1, L2, L3 sekä suojajohdin PEN. Järjestelmässä nolla- ja suojajohdin on yhdistetty PEN-johtimeksi koko järjestelmässä (**Kuvio 9**). TN-C-järjestelmässä PEN-johtimen katkeaminen aiheuttaa jännitteen pääsyyn laitteen kuoreen, josta seuraa sähköiskun vaara. Tätä vaaraa pyritään pienentämään määräämällä johtimille minimi poikkipinta. Kuparijohtimilla poikkipinta on 10 mm^2 ja alumiinilla 16 mm^2 .

/30/



Kuvio 9. TN-C-järjestelmä. /13/

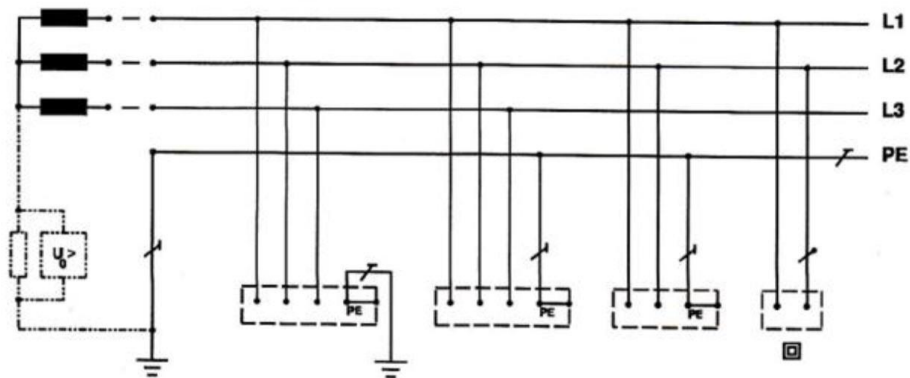
TN-C-S-järjestelmässä syöttävän verkon puolella on käytettävä TN-C-järjestelmää, koska jaettaessa PEN-johdin nolla- ja suojajohtimeksi, johtimia ei saa enää kytkeä uudelleen PEN-johtimeksi (**Kuvio 10**).



Kuvio 10. TN-C-S-järjestelmä. /13/

IT-järjestelmässä mitään jännitteistä osaa ei ole yhdistetty suoraan maahan. Muuntajan tähtipiste on maasta erotettu tai yhdistetty suuriohmisen vastuksen kautta maahan. Yhdistäminen voidaan toteuttaa myös asentamalla maasulkuja indikoiva maasulkurele tähtipisteen ja PE-kiskon väliin. Sähkölaitteistojen ja –laitteiden jännitteelle alttiit osat on kytketty joko suojajohtimilla erillisiin maadoituselektrodeihin tai yhteiseen maadoituselektrodiin (**Kuvio 11.**).

Järjestelmän etuna on, ettei yksivaiheinen maasulku aiheuta heti käyttökatkoa, vaan vika voidaan korjata myöhemmin. Järjestelmässä on kuitenkin oltava maasulun hälytys- ja vianetsintälaitteet, jotta vikakohta voidaan paikantaa. Järjestelmä on toinen teollisuudessa yleisesti käytetyistä jakelujärjestelmistä. IT-järjestelmän jännite on yleensä 690 VAC. /25/



Kuvio 11. IT-järjestelmä. /13/

Teollisuudessa käytetään tavallisesti TN-S-järjestelmää turvallisuuden ja häiriösuojauksen takia. Myös IT-järjestelmä on yleisesti käytetty.

Edellä mainittujen jakelujärjestelmien lisäksi on vielä TT-järjestelmä. TT-järjestelmässä ei ole yhteistä maadoituspistettä. Kaikki jännitteelle alttiit osat on paikallisesti yhdistetty maahan maadoituselektrodilla. Järjestelmä ei ole käytössä Suomessa.

5 PIENJÄNNITEKESKUKSEN SYÖTTÖKENTTÄ

5.1 Syöttökenttä yleisesti

Tässä opinnäytetyössä keskitytään MNS-pienjännitekojeiston syöttökenttään ja sen laitteisiin. Seuraavaksi käydään yleisellä tasolla läpi, mikä syöttökenttä on ja mitä se pitää sisällään.

Kojeiston syöttökenttä on kokonaisuus, johon keskitetään sähkön kytkentään, mittaukseen, suojaukseen, ohjaukseen ja valvontaan liittyvät laitteet. Syöttökenttä jaetaan kahteen osaan, päälaittekenttään ja apulaittekenttään (**Kuvio 12.**). /43/

Päälaittekentän peruselementtejä ovat kojeiston sähkösyöttö, virtamuuntajat, pääkytkin sekä maadoituskytkin. Apulaittekenttään kuuluvat mittauslaitteet, suojareleet, hälytyslaitteet, teholähteet ja ohjausjännitemuuntaja. Syöttökentän laitteisiin perehdytään tarkemmin luvuissa 6 ja 7. /43/



Kuvio 12. Syöttökentän päälaitte- ja apulaittekenttä. /43/

5.2 Päälaitekenttä yleisesti

Päälaitekentässä tapahtuu sähkönkytkentä ja työmaadoittaminen. Pääkytkimen kautta syötetään kojeiston pääkiskoja. MNS-kojeistojen syötön pääkytkimeksi on vakiintunut kuormankytkin tai ilmakatkaisija pääpiirin erottamiseen ja luotettavan avausvälin muodostamiseen. /44/

Sähkön syöttö kojeiston päälaitekenttään tuodaan muuntajalta joko kiskosilta- tai suurvirtakaapelijärjestelmällä. Syöttö on mahdollista tuoda ylhäältä tai alhaalta tiiviiden läpivientien kautta. Tarvittavat liitynnät tehdään kojeiston sisällä. /43/

5.3 Apulaitekenttä yleisesti

Apulaitteiden määrä vaihtelee riippuen jakelujärjestelmästä, -jännitteestä ja asiakkaan tarpeista. Apulaitteet sijoitetaan mielellään päälaitetilasta erotettuun apulaitekenttään tai -tilaan, koska päälaitekentässä on paljaita jännitteisiä osia sekä apulaitteita häiritseviä magneettikenttiä. Apulaitekenttä sijaitsee päälaitekentän välitörmässä läheisyydessä. Apulaitteiksi luetaan kaikki pääpiirin ohjaukseen, suojaukseen, mittaukseen ja merkinantoon liittyvät laitteet. /43/, /51/

Mittaukset toteutetaan jännitteen ja virran taulumittareilla tai monitoimimittareilla. Monitoimimittareilla voidaan jännitteen ja virran lisäksi mitata muun muassa energiankulutusta ja sähkön laatua. /43/

6 PÄÄLAITEKENTÄN LAITTEET

6.1 Syöttöliitynnät

Liityntä kojeiston syöttökenttään tehdään kiskosillan, suurvirtakaapelijärjestelmän tai usean kolmivaihekaapelin avulla. /44/

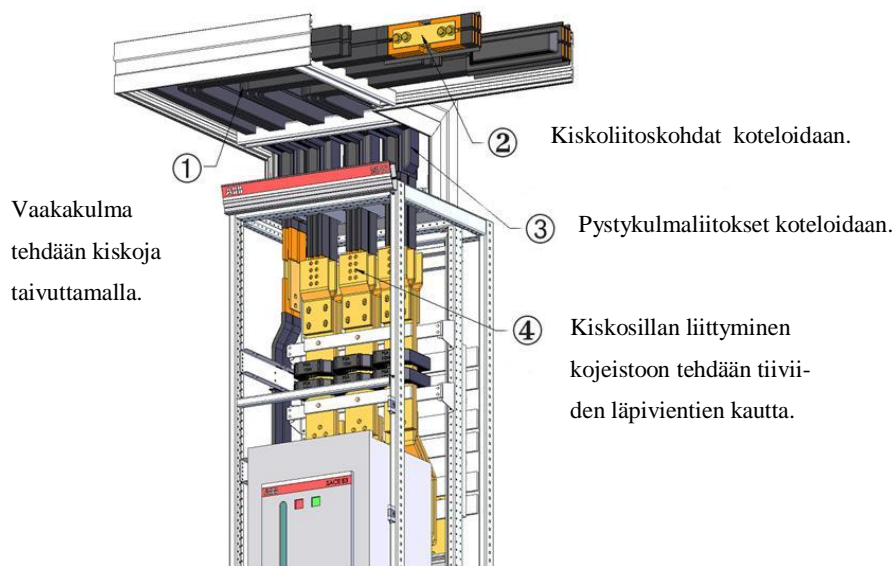
6.1.1 Kiskosiltajärjestelmä

Teollisuudessa tehonsiirto muuntajalta kojeistolle on mahdollista toteuttaa kiskosilloilla. Kiskosiltajärjestelmä on luotettavan sähkönjakelun kannalta turvallisin vaihtoehto. ABB:n tarjoama järjestelmä on MDY-kiskosilta (**Kuvio 13.**). Kiskosilta valmistetaan joko alumiini- tai kuparikiskoista, jotka päällystetään muovieristeellä. Oikosulkujen synty vaiheiden välille on pyritty estämään eristämällä vaiheet toisistaan. /37/



Kuvio 13. MDY-kiskosilta. /36/

Kiskosillat valmistetaan tehtaalla elementeiksi. Kiskosiltajärjestelmä suunnitellaan asiakaskohtaisesti liitospisteiden välille mahdollisimman optimaalisesti. Kiskojen asennus huonetilojen läpi toteutetaan palotiiviiden läpivientien avulla. Liityntä kojeistoon voidaan tehdä joko ylhäältä vai alhaalta tiiviiden läpivientien kautta (**Kuvio 14.**). Kiskosiltaliitynnät koteloidaan ja kiinnitetään kojeistojen rakenteisiin niin, että kotelointiluokka säilyy. Kojeiston syöttökentän kuormankytin tai katkaisija liittyy kiskoston kojeiston kokoojakiskoon. /37/



Kuvio 14. MDY-kiskojärjestelmän liittyminen kojeistoon. /37/

6.1.2 Suurvirtakaapelit

Vaihtoehtona kiskosillalle voidaan käyttää yksijohtimisia suurvirtakaapeleita. Johdinmateriaalina kaapeleissa käytetään alumiinia tai kuparia. Virranjako kaapeleissa on oltava tasainen. Kaapelien tulee olla samaa kaapelilajia ja yhtä pitkiä. Asennuksessa yksijohdinkaapelit voivat kulkea joko vierekkäin tasossa ilma-araon päässä toisistaan tai päällekkäin kolmiomaisessa muodostelmassa (**Kuvio 15.**). /33/



Kuvio 15. Yksijohdinkaapelin asennustavat. /15/

Yksijohtimisten suurvirtakaapeliin asennukseen liittyy oleellisesti myös kaapeleiden sidonta (**Kuvio 16.**). Kolmioasennuksessa yhden vaiheen kaapelit sidotaan yhteen kaapelitikkaiden kanssa. Sidonnan tarkoituksena on estää kaapeleiden liike, jota sähködynaamiset voimat aiheuttavat. Sidontakierrokset voidaan laskea virran ja kaapelin keskipisteiden välisen etäisyyksien avulla. Sidontaan voidaan käyttää polyesteristä sidontalankaa. /23/



Kuvio 16. Suurvirtakaapelien sidonta. /23/

Sähkönjakelu voidaan toteuttaa myös rinnankytketyillä tai monijohtimisilla kaapeleilla. Jos monijohdinkaapelia käytetään yksivaihekaapelina, tulee mahdolliset N-, PE- ja PEN-johtimet asentaa omina kaapeleinaan. Johtimet tulee myös kytkeä toisiinsa ja maadoittaa kaapelin toisessa päässä. /33/

6.2 Syöttöyksiköt

Päälaitteentässä käytetään syöttökojeena kuormankytkintä tai katkaisijaa pääpiirin erottamiseen ja luotettavan avausvälin muodostamiseen. /44/

6.2.1 Pääkytkin

Kuormankytkimiä käytetään yleisesti pienjännitekojeistojen pääkytkiminä (**Kuvio 17.**). Kuormankytkimet voivat normaalissa käyttötilanteessa sulkea, johtaa sekä katkaista virtapiirissä esiintyviä virtoja. Kuormankytkimet kestävät myös hetkellisesti oikosulkuvirtaa. Erottamiseen sopivat kuormankytkimet noudattavat sähköturvallisuusstandardia. Erotuskytkimessä on oltava näkyvä avausväli, luotettava mekaaninen asennonosoitus tai sen toimiminen on muuten luotettavasti todennettava. /50/



Kuvio 17. ABB:n valmistamia OT-kuormankytkimiä. /31/

Kuormankytkimen kanssa on käytettävä erillistä ylivirtarelettä oikosulkusuojuuksen toteuttamiseen. Ylivirtarele kytketään laukaisemaan muuntajan yläjännitepuolen katkaisija. Lisäksi pienjännitekojeiston syöttökenttään asennetaan erillinen kytkin avaamaan yläjännitepuolen katkaisija. Tällöin kojeisto saadaan kaikissa tilanteissa turvallisesti jännitteettömäksi. /51/

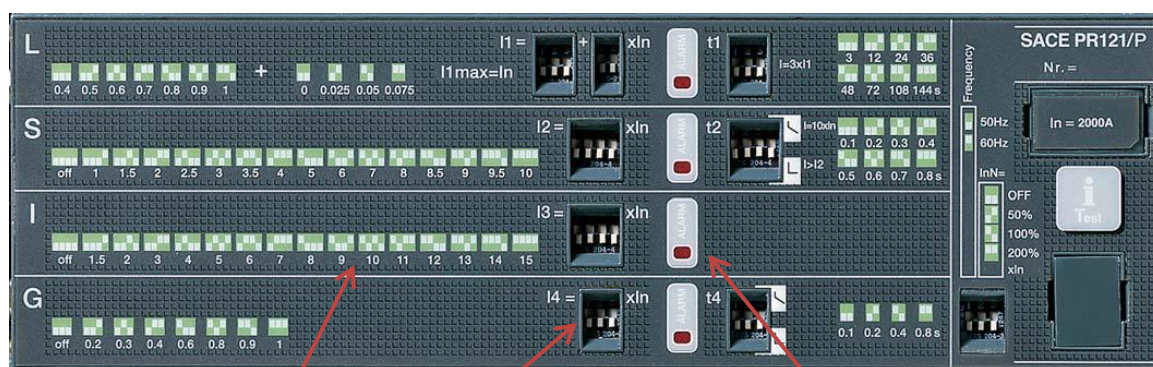
6.2.2 Pääkatkaisija

Syöttökentän syöttökojeena käytetään ilmakatkaisijaa kun ylivirtalaukaisu, katkaisijan kauko-ohjaus tai nopea laukaisu oikosulussa toteutetaan keskuskohtaisesti. Katkaisijalla on mahdollista avata ja sulkea virtapiiri nimellisvirralla sekä nimellisvirtaa moninkertaisesti suuremmilla oiko- ja maasulkuvirroilla. Virtapiiriä avattaessa katkaisijan koskettimien välille syntyy valokaari, joka pyritään sammuttamaan puhaltamalla se sammutuskammioon. Sammutuksen tulee olla nopea, jotta katkaisijan suojaamat komponentit eivät vioitu. /44/

Syöttökentän pääkatkaisijana voidaan käyttää ABB:n ulosvedettävää SACE Emax-ilmakatkaisijaa. Avaamalla katkaisija ja siirtämällä se erotusasentoon, saadaan muodostettua luotettava avausväli. Esimerkiksi ennen huoltotoimien aloittamista, on erotusasennossa oleva katkaisija lukittava. Tämän lisäksi suljetaan ja lukitaan vielä työmaadoituskytkin turvallisen työskentelyn takaamiseksi. /32/

Pääkatkaisijan ylivirtarele

Emax-ilmakatkaisijan kanssa käytetään Emax-sarjaan kuuluvaa ylivirtarelettä PR121/P. Ylivirtareleen tehtävänä on mitata suojattavan kohteen vaihevirtoja. Rele havahtuu, jos yksikin vaihevirroista ylittää sille asetellun rajan. Jos virta ei palaa normaaliin arvoonsa, eli vika ei poistu, rele aukaisee katkaisijan tietyn viiveen kuluttua. Releen toimintaparametrit asetellaan käyttöönottovaiheessa DIP-kytkimillä asentotaulukon mukaan (**Kuvio 18.** numerot 1 ja 2). Jokaista suojaus-toimintoa kohti on yksi merkkivalo (**Kuvio 18.** numero 3), joka palaa muun muassa silloin kun suojausajan laskenta on käynnissä, suojaus on aktivoitu tai katkaisija on auki. Releen suojaustoiminnot ovat ylikuormitussuojaus (L), selektiivinen oikosulkusuojaus (S), oikosulun pikalaukaisu (I) ja maasulkusuojaus (G). /19/



1. DIP-kytkimen
asentotaulukko

2. DIP-kytkin

3. Hälytyksen merkkivalo

Kuvio 18. Rele PR121/P LSIG. /19/

Ylikuormitussuojauksen tarkoitus on suojata johtoa liialliselta lämpenemiseltä. Ylikuormitussuojauksessa laukaisuvirraksi I_1 voidaan asettaa $0,4..1 \times I_N$. Laukaisu tapahtuu, kun virta on $1,05..1,2 \times I_1$ (**Taulukko 4.**). Toimintavirran tulee kuitenkin olla maksimissaan johdon kuormitettavuuden suuruinen. Suojaus toimii pitkällä käänteisaikahidastuksella. Tämä tarkoittaa, että rele aukaisee katkaisijan auki suurilla virroilla aikaisemmin kuin pienillä virroilla. /19/

Oikosulkusuojaus suojaa laitteistoa oikosulun lämpö- ja voimavaikutuksilta. Katkaisijan laukaisu releellä voidaan toteuttaa joko käänteisaikahidastuksella tai suo-

ralla aikahidastuksella, jossa virran suuruudella ei ole vaikutusta laukaisuaikaan. Virtapiiri voidaan katkaista myös hidastamattomalla pikalaukaisulla. /19/

Releeseen on aseteltavissa myös maasulkusuojaus. Teollisuudessa maasulku on yleensä hälyttävä, koska käyttökatkot tietyissä prosesseissa aiheuttavat taloudellisia menetyksiä. Lisää maasulun valvonnasta ja etsinnästä on kerrottu luvussa 7.1.3.

Taulukko 4. Releen PR121 suojaustoiminnot ja asetusten arvot. /19/

Toiminto	Laukaisuvirta	Laukaisuaika	Voidaan poistaa	Suhde $t = f(I)$
L Ylikuormitus-suojaus	$I1 = 0,4 - 0,425 - 0,45 - 0,475 - 0,5 - 0,525 - 0,55 - 0,575 - 0,6 - 0,625 - 0,65 - 0,675 - 0,7 - 0,725 - 0,75 - 0,775 - 0,8 - 0,825 - 0,85 - 0,875 - 0,9 - 0,925 - 0,95 - 0,975 - 1 \times I_n$	$t1 = 3 - 12 - 24 - 36 - 48 - 72 - 108 - 144 \text{ s}^{(1)}$	–	$t = k/I^2$
Toleranssi ⁽²⁾	Laukaisu $1,05 - 1,2 \times I1$	$\pm 10 \% \quad I_g \leq 4 \times I_n$ $\pm 20 \% \quad I_g > 4 \times I_n$		
S Selektiivinen oikosulkusuojaus	$I2 = 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 3,5 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 8,5 - 9 - 9,5 - 10 \times I_n$	Virralla $I > I2$ $t2 = 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,8 \text{ s}$	■	$t = k$
Toleranssi ⁽²⁾	$\pm 7 \% \quad I_g \leq 4 \times I_n$ $\pm 10 \% \quad I_g > 4 \times I_n$	Parempi seuraavista: $\pm 10 \% \text{ tai } \pm 40 \text{ ms}$		
	$I2 = 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 3,5 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 8,5 - 9 - 9,5 - 10 \times I_n$	Virralla $I = 10 \times I_n$ $t2 = 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,8 \text{ s}$	■	$t = k/I^2$
Toleranssi ⁽²⁾	$\pm 7 \% \quad I_g \leq 4 \times I_n$ $\pm 10 \% \quad I_g > 4 \times I_n$	$\pm 15 \% \quad I_g \leq 4 \times I_n$ $\pm 20 \% \quad I_g > 4 \times I_n$		
I Oikosulun pikalaukaisu	$I3 = 1,5 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 \times I_n$	Hidastamaton	■	$t = k$
Toleranssi ⁽²⁾	$\pm 10 \%$	$\leq 30 \text{ ms}$		
G Maasulkusuojaus	$I4 = 0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 0,9 - 1 \times I_n$	Virralla $I = 4 \times I4$ $t4 = 0,1 - 0,2 - 0,4 - 0,8 \text{ s}$	■	$t = k/I^2$
Toleranssi ⁽²⁾	$\pm 7 \%$	$\pm 15 \%$		
	$I4 = 0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 0,9 - 1 \times I_n$	Virralla $I > I4$ $t4 = 0,1 - 0,2 - 0,4 - 0,8 \text{ s}$	■	$t = k$
Toleranssi ⁽²⁾	$\pm 7 \%$	Parempi seuraavista: $\pm 10 \% \text{ tai } \pm 40 \text{ ms}$		

(1) Lyhin mahdollinen laukaisu-arvo on 1 sekunti laukaisukäyrän tyypistä riippumatta (itsesuojaus)

(2) Nämä toleranssit ovat voimassa seuraavissa olosuhteissa:

- ilman ulkopuolista jännitelähdettä oleva rele nimellisjännitearvoilla (lukuun ottamatta käynnistystilannetta)
- kaksi- tai kolmivaiheinen jännitelähde
- laukaisuaika $\geq 100 \text{ ms}$.

Releestä on saatavilla versiot PR121/P LI, PR121/P LSI ja PR121/P LSIG. Versiosta riippuen releissä on vain tietyt suojaustoiminnot. LSIG tarkoittaa, että releessä on kaikki PR121:een saatavat suojaustoiminnot. PR121/P LI:ssä on puolestaan vain ylikuormitusuojaus ja oikosulun pikalaukaisu. /19/

Perusreleen lisäksi saatavilla on releet PR122 ja PR123. Releet voidaan kytkeä automaatiojärjestelmään, ja niiden suojausfunktioiden valikoima on laajempi. Koska kojeistossa varsinainen suojaus toteutetaan yleensä REF 615-releellä, on perusrele PR121 riittävä varasuojana. /27/

Pääkatkaisijan lisävarusteet

Katkaisijalta vaaditaan eri sovelluksissa erilaisia toimintoja. Tarvittavat toiminnot toteutetaan lisävarusteiden avulla, joita voi katkaisijassa olla useita (**Taulukko 5.**). Emaxin ulosvedettävässä katkaisijassa ovat seuraavat ominaisuudet vakiona:

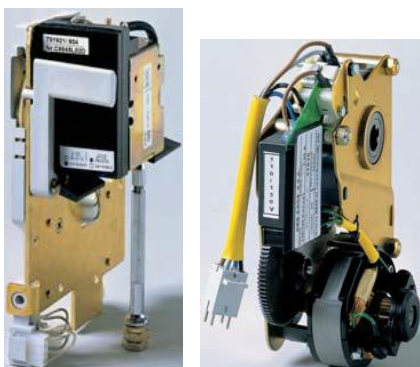
- ovikaulus
- vaunun siirtoveivi
- asennusalusta ohjauskeloille
- neljä apukosketinta (kaksi sulkeutuvaa ja kaksi avautuvaa)
- liukukoskettimet lisävarusteiden sähköiseen kytkentään
- vaakasuuntaiset liittimet takana
- nimellisvirraltaan väärän katkaisijan asennuksen esto
- levyt katkaisijan nostamista varten
- mekaaninen hälytyksen kuittaus. /19/

Taulukko 5. Katkaisijan lisävarusteilla aikaansaatavat toiminnot. /19/

Toiminto	Varusteet
Kauko-ohjaus	<ul style="list-style-type: none"> • Työvirtakela • Kiinniohjauskela • Jousien viritysmoottori
Automaattisten toimintojen ohjaus tai katkaisijan tilatietojen tai katkaisijan asennon valvonta	<ul style="list-style-type: none"> • Katkaisijan apukoskettimet (auki tai kiinni) • Katkaisijan käyttö-, testi- ja erotusapukoskettimet • Hälytyskosketin • Alijännitekelan jännitteisyyden indikointi • Kosketin jousien virityksen signaloimiseen
Katkaisijan aukaisu kauko-ohjauksella <ul style="list-style-type: none"> • Hätäseis-toiminto • Avautuminen on riippuvainen muiden järjestelmässä olevien suojalaitteiden laukeamisesta tai automaation vaatimuksista 	<ul style="list-style-type: none"> • Työvirtakela tai alijännitekela
Alijännitteestä aiheutuva katkaisijan avautuminen	<ul style="list-style-type: none"> • Hidastamaton tai hidastettu alijännitekela • Kosketin alijännitekelan jännitteisyyden ilmaisemiseen
Mekaaniset lukituslaitteet huoltoa varten	<ul style="list-style-type: none"> • Avainlukitus auki-asennossa

sekä kahden tai useamman katkaisijan ris- tiinlukitukseen	<ul style="list-style-type: none"> • Laitteen riippulukko auki-asennossa • Avainlukitus ja riippulukot käyttö-, testi- ja erotusasunnoissa
Automaattinen syötönvaihto	<ul style="list-style-type: none"> • Mekaaninen lukitus kahden tai kolmen katkaisijan välille • Automaattinen syötönvaihtokytkin ATS021

Ulosvedettävä katkaisija varustetaan työvirta- ja kiinniohjauskeloilla, joilla mahdollistetaan katkaisijan avaaminen ja sulkeminen kauko-ohjauksella (**Kuvio 19.**). Katkaisijan avaaminen on aina mahdollista, mutta sulkeminen onnistuu vasta kun katkaisijan toimintamekanismin jouset on viritetty. Jousien automaattista viritystä varten tarvitaan viritysmoottori (**Kuvio 19.**). /19/



Kuvio 19. Työvirta- ja kiinniohjauskela sekä jousien viritysmoottori. /19/

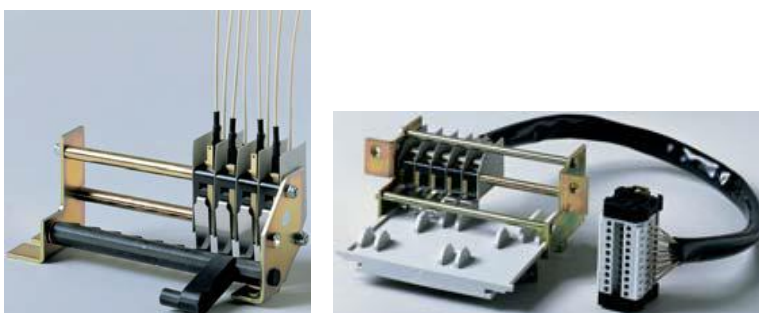
Yksi harvemmin käytetyistä lisävarusteista on alijännitekela (**Kuvio 20.**). Katkaisija avautuu, kun alijännitekelan jännite laskee huomattavasti tai apujännitettä ei ole. Kelan on oltava jännitteinen ennen kuin katkaisijan kiinniohjaus voi tapahtua. Tämän takia kelan tulee saada jännitteensä joko katkaisijan syötönpuolelta tai ulkoisesta jännitelähteestä. /19/



Kuvio 20. Alijännitekelä. /19/

Hälytyskoskettimista kosketinta S51 käytetään vakiona joidenkin apukoskettimien lisäksi. Kun ylivirtarele on lauennut, hälytyskoskettimelta saatava signaali on käytävissä. Koskettimen käyttö voidaan yhdistää releen mekaaniseen kuittaukseen ja indikointiin. Koskettimen kuittaus tapahtuu nappia painamalla. Painalluksen yhteydessä katkaisija palautuu alkutilaansa, jonka jälkeen katkaisija voidaan taas sulkea. /19/

Katkaisijan tilatiedot saadaan apukoskettimilta (**Kuvio 21.**). Katkaisijan auki- tai kiinni-tilatiedon voi saada käyttämällä joko 4, 10 tai 15 apukosketinta. Kosketintieto on mahdollista saada myös asennonosoituskoskettimilta (**Kuvio 21.**). Asennonosoituskoskettimet kertovat, onko katkaisija käyttö-, testi- vai erotusasennossa. Koskettimia on saatavilla ainoastaan ulosvedettäviin katkaisijoihin. /19/

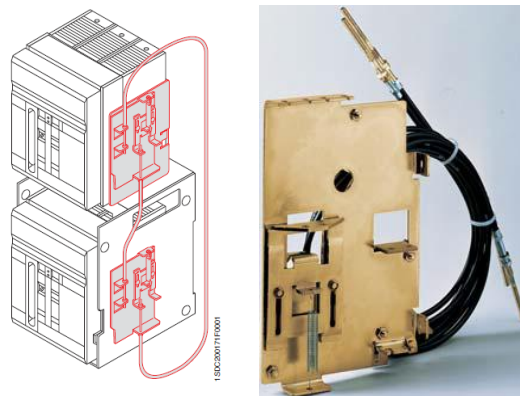


Kuvio 21. Apu- ja asennonosoituskoskettimet. /19/

Katkaisijan aukioasennon mekaaniset lukitukset voidaan toteuttaa eri tavoin. Vaihtoehtoina ovat esimerkiksi avaimella avattava pyöreä lukko tai riippulukot. Katkaisija on mahdollista lukita käyttö-, testi- ja erotusasentoon. Testi- ja ero-

tusasennon lukitus ilman käyttöasennon lukitusta on mahdollista. Katkaisijan käyttö voidaan estää myös riippulukolla lukittavalla painonappisuojalla, joka estää katkaisijan 0- ja 1-painonappien painamisen. /19/

Erikoisvarusteina käytetään ristiinlukitusta (**Kuvio 22.**) katkaisijoiden välillä sekä automaattista syötönvaihtoa ABB:n ATS021:llä (**Kuvio 23.**). Ristiinlukituksella voidaan esimerkiksi estää pääsyötön katkaisijan ja varasyötön katkaisijan yhtäaikainen kiinni-tila. ATS021 kytketään kahteen moottoriohjattuun ja ristiinlukittuun katkaisijaan. ATS021:llä voidaan toteuttaa automaattinen syötönvaihto normaalin syötön ja varasyötön välillä. /19/



Kuvio 22. Ristiinlukitus katkaisijoiden välillä. /19/



Kuvio 23. ATS021. /9/

6.3 Virtamuuntajat

Virtamuuntajia käytetään kojeistossa pääpiirin virran muuntamiseen sopivaksi suojauksessa ja mittauksessa käytettäville apulaitteille (**Kuvio 24.**). Virtamuuntajan on myös erotettava pää- ja apupiiri galvaanisesti toisistaan. Jos virtamuuntajaa halutaan käyttää sekä suojakseen että mittaukseen, tulee siinä olla useampi toisiokäämi. Sydämillä on sama ensiökäämi, mutta toisiokäämi on jokaisella erikseen. /8/



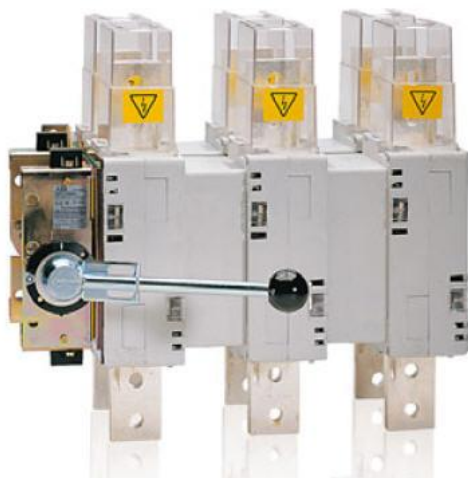
Kuvio 24. SACIn valmistama virtamuuntaja. /46/

Virtamuuntajan tärkeimpiä teknisiä arvoja ovat muun muassa terminen mitoitusvirta, dynaaminen mitoitusvirta, mitoitusensiö- ja mitoitustoisiovirta, nimellisjännite, mitoitustaajuus sekä mitoitustaakka. Terminen mitoitusvirta kertoo, mikä on suurin ensiövirta, jonka virtamuuntaja kestää 1 s ajan liikaa lämpenemättä. Dynaaminen mitoitusvirta on suurin ensiössä kulkeva virta, jonka voimavaikutukset virtamuuntaja kestää vaurioitumatta. Ensiön mitoitusvirralle on standardisoitu seuraavat nimellisarvot: 10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 A sekä näiden kymmenpotenssikerrannaiset ja -osat. Suositeltavat arvot ovat 10, 15, 20, 30, 50 ja 75 A. Toision mitoitusvirran standardiarvot ovat 1 A, 2 A ja 5 A. Suositeltavat arvot ovat 1 A ja 5 A. Suurin kuormitusimpedanssi määrää virtamuuntajan mitoitustaakan, jolla muuntaja pysyy vielä tarkkuusluokassaan. Nimellistaakka ilmoitetaan yleensä tehona (VA), joka saadaan kertomalla mitoitustaakka (Ω) nimellistoisiovirran (A) neliöllä. Mitoitustaakan standardiarvot ovat 2,5 - 5 - 10 - 15 ja 30 VA. /8/

6.4 Maadoituskytkin

Jos kojeiston nimellisvirta on suurempi kuin 1000 A tai on olemassa takajännitteen vaara, kojeisto on varustettava työmaadoituskytkimellä (**Kuvio 25.**). On suositeltavaa käyttää kiinteästi asennettua maadoituskytkintä. Maadoituskytkimen vääntimessä tulee olla maadoitusasentoa osoittava merkintä. Maadoituskytkin on lukittava syöttökojeen kanssa samanaikaisen toiminnan välttämiseksi. /44/

Maadoituskytkimellä tehtävän työmaadoittamisen tarkoitus on estää kojeiston tuleminen vaarallisesti jännitteiseksi. Mahdollisia vaaratilanteita voi syntyä esimerkiksi erottamiseen käytetyn kytkimen virheellisen käytön tai toiminnan takia. Työmaadoituksessa vaihejohtimet yhdistetään sekä toisiinsa että PEN-johtimeen tai PE-johtimeen riippuen käytössä olevasta jakelujärjestelmästä. Yksi työmaadoitus työkohteeseen tai sen läheisyyteen on riittävä. /50/



Kuvio 25. ABB:n OETL-maadoituskytkin. /31/

7 APULAITEKENTÄN LAITTEET

7.1 Mittaus

Syöttökenttään liittyvät mittauslaitteet sijoitetaan päälaitekentän läheisyydessä olevaan apulaitekenttään. Mittaukset voidaan toteuttaa analogisilla taulumittareilla tai digitaalisilla monitoimimittareilla. /32/

7.1.1 Taulumittarit

Esimerkiksi Cewe Instrument tarjoaa vaihtovirran ja – jännitteen mittaukseen kiertorautamittareita. Tasavirran ja – jännitteen mittaukseen on kiertokäämimittareita. Cewen tuotevalikoimaan kuuluvat myös huippuvirtamittarit, taajuusmittarit, tehomittarit, loistehomittarit ja tehokerroinmittarit. Trooppisiin olosuhteisiin on saatavilla korroosiolta suojattuja mittareita. /12/

Taulumittareita käytettäessä tarvitaan jokaista mitattavaa suuretta kohti oma mittari. Alla olevassa kuviossa on esitetty erään apulaitekentän ovi taulumittareilla toteutettuna (**Kuvio 26.**). Oveen on asennettu jokaiselle vaiheelle oma virran mittaus. Jännitemittarin alla olevalla nokkakäytimellä valitaan joko vaihejännitteen (L1-N, L2-N, L3-N) tai pääjännitteen mittaus (L1-L2, L2-L3, L3-L1). /32/



Kuvio 26. Apulaitekentän mittauslaitteet. /33/

7.1.2 Monitoimimittarit

Käytettäessä digitaalista monitoimimittaria voidaan useampia suureita mitata yhdellä mittarilla. Virran ja jännitteen lisäksi mittareilla voidaan mitata muun muassa energian kulutusta ja laatua. Toisin kuin taulumittarit, monitoimimittarit voidaan liittää myös automaatioon väylän avulla. Seuraavaksi esitellään lyhyesti monitoimimittarit Diris A40 ja M2M. /32/

Diris A-monitoimimittarit ovat Socomecin valmistamia ja ne on suunniteltu pien- ja suurjänniteverkkojen mittauksiin, valvontaan ja analysointiin (**Kuvio 27.**). Diris A40 pystytään ohjelmoimaan kohteessa olevan jännite- ja virtamuuntajan mukaan. Mittarin asennus on mahdollista niin 1-, 2- tai 3-vaiheverkkoon. /14/

Käyttäjä voi koska tahansa päivittää laitteen toimintoja vaihtoehtoisten moduulien avulla. Lisätoiminnot voivat liittyä esimerkiksi energian tai yliaaltojen mittaukseen. Mittarin avulla käyttäjä voi säästää käyttö- ja tuotantokustannuksissa sekä optimoida huoltokuluja ja parantaa tehtaan tehokkuutta. Diris A40/41 sisältämiä toimintoja on listattu alla olevaan taulukkoon (**Taulukko 6.**) /14/

Taulukko 6. Diris A40/41 – mittariin saatavat toiminnot. /14/

Mittaukset	Energian hallinta	Mittaukset ja tapahtumahistoria
<ul style="list-style-type: none"> - Virrat - Jännitteet - Taajuus - Pätöteho - Loisteho - Näennäisteho - Tehokerroin - Lämpötilan mittaus 1-4 vaihtoehtoa - Virran, jännitteen ja taajuuden keskiarvo - Keskimääräinen teho 	<ul style="list-style-type: none"> - Energiamittaukset - Kuormituskäyrät 	<ul style="list-style-type: none"> - Kuormituskäyrät (valittavissa) - Hälytykset - Maksimi keskimääräinen teho ja virrat

ABB:n vastaavanlainen tuote on M2M (**Kuvio 27.**). Se soveltuu pien- ja keskijännitteelle 1- ja 3-vaiheverkkoon. M2M:ssä on verkon analysointitoimintoja, joilla

voidaan mitata jännitettä, virtaa, taajuutta, tehokerrointa, pätö- ja loistehoa sekä pätö- ja loisenergiaa. Analysointin THD-mittausten avulla on mahdollista tarkkailla myös energian laatua. Energiankulutus voidaan esittää näytöllä reaaliajassa sekä hiilidioksidipäästöissä ja euroissa. M2M:llä voidaan toteuttaa kaksisuuntainen energianmittaus. Tämä tarkoittaa sitä, että mittari seuraa sekä verkosta otettua ja verkkoon takaisin syötettyä tehon määrää. /34/



Kuvio 27. Monitoimimittarit Diris A40 ja M2M. /14/, /34/

Tällä hetkellä käytetään Diris A40:tä, koska sen jännitteenmittaus voidaan asentaa 690 V:n verkossa suoraan vaiheiden väliin. M2M ei kestä kyseistä jännitettä ja tarvitsee sen takia muuntajan. Muuntajan käyttö aiheuttaa epätarkkuutta mittaus tuloksiin. /27/

7.1.3 Maasulun valvonta ja etsintä

Maasuluksi sanotaan tilannetta, jossa yksi tai useampi jännitteinen johdin on yhteydessä maahan suoraan tai valokaaren kautta eristysvian seurauksena. Vika saa aikaan virtapiirin, jossa vikavirta eli maasulkuvirta siirtyy viallisesta johtimesta maahan. Maasulkutilanteen seurauksena viallisen johtimen jännite putoaa nolnaan ja terveiden vaiheiden jännitteet maata vasten kasvavat maksimissaan pääjännitteen suuruiseksi. /45/

Seuraavaksi käydään läpi Electrification-yksikön sisäistä ohjeistusta siitä, miten maasulun valvonta ja etsintä toteutetaan resistanssin kautta maadoitetussa IT-järjestelmässä.

”Muuntajan tähtipiste kytketään kojeiston PE-kiskoon resistanssilla R1 - R5 (yhteensä 500 Ω), joka kestää yhtäjaksoista täyttä maasulkua (**Kuvio 28.**). Maasulun indikaattorina toimii jännitemittari P6. Täydessä maasulussa jännitemittari P6 näyttää 100 V, joka asetellaan resistanssilla R2. Hälytys tulee asetella alle 30 V:n, jotta maasulkutestissä jännitemittari P6 antaa hälytyksen. Aikaviive tulee olla noin 10 s.

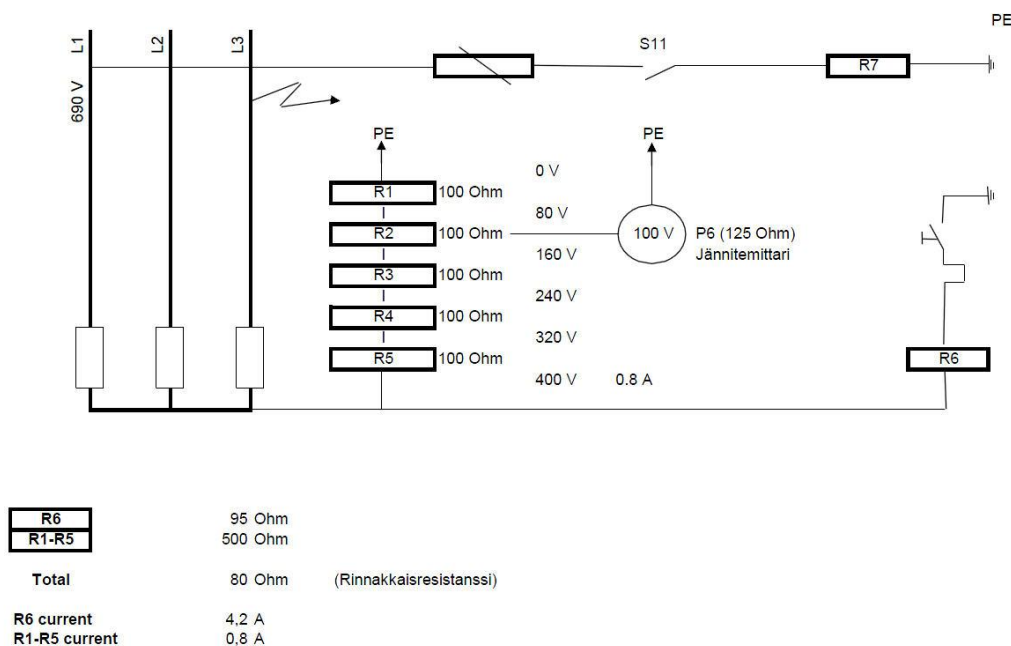
Maasulun testaus tehdään kytkimellä S11, joka kytkee resistanssin R7 (1000 Ω) vaiheesta L1 PE-kiskoon. Testi saa aikaan 33,35 V jännitteen jännitemittarissa P6, kun järjestelmän nimellinen jännite on 690 VAC.

Maasulun etsintä tehdään kytkemällä jokainen syöttö irti yksi kerrallaan. Samalla tarkistetaan, onko maasulku kadonnut. Jos maasulku on kadonnut, se tarkoittaa, että vika on viimeiseksi irtikytketyllä syötöllä.

Tietyillä teollisuudenaloilla jännitekatkos voi aiheuttaa suuria taloudellisia vahinkoja ja menetyksiä, joten jokaisen syötön irtikytkeminen yksitellen ei ole aina mahdollista. Maasulun etsintä tulee tehdä tällöin pihtiampeerimittarilla. Mittari kytketään syötön vaiheiden ympärille yksitellen ja samalla tarkastellaan, havaitseeko se vuotovirtaa. Vuotovirta on hälytysrajalla (33,35 V) noin 0,266 A.

Joskus on vaikea löytää pientä vuotovirtaa pihtiampeerimittarilla. Tällöin vuotovirtaa on kasvatettava siirrettävän painonapin avulla. Painonappi on kytketty pistorasiaan X2. Painonappia painettaessa on samalla seurattava pihtiampeerimittarilla, kasvaako virta syötön vaiheissa. Jos virta kasvaa samalla, kun painonappi painetaan, maasulku on kyseisellä lähdöllä.

Maasulkuvirtaa kasvattava painonappi kytkee resistanssin R6 muuntajan tähtipisteen ja PE-kiskon väliin. Resistanssin R6 asettelu on tehty siten, että täysi vuotovirta on 4,2 A. Resistanssi ei kestä jatkuvaa kuormaa, joten lämpörele suojaa sitä. Lämpöreleen asettelu on 0,63 A, joten yksi painonapin painallus tulisi kestää maksimissaan 4 s, muuten rele laukeaa. ”



Kuvio 28. Maasulun valvonta IT-järjestelmässä. /16/

7.1.4 Eristystason valvonta

690 V:n maasta erotetun verkon eristystason valvonta voidaan toteuttaa eristystason valvontareleellä. Valvontarele syöttää virtaa, joka on pienitaajuisempaa kuin verkon taajuus, verkon ja suojamaan välille. Rele mittaa koko ajan kyseisen välin eristysresistanssia. Valvontarele asennetaan valmistajan ohjeista riippuen joko yhden vaiheen, vaiheiden tai tähtipisteen ja suojamaan välille. Jos rele kytketään tähtipisteen ja suojamaan välille, releen rinnalle voidaan asentaa ylijännitesuoja suosituksen mukaan. /10/, /44/

Periaate on, että yhteen muuntopiiriin kytketään yksi valvontarele. Rele valvoo koko verkon eristysvastusta. Tärkeimpiin ja virraltaan suurimpiin lähtöihin on suositeltavaa asentaa oma ilmaisin. Tämä helpottaa mahdollisen vian paikannusta. Lopullinen vianpaikannus tehdään siirrettävällä vianetsintälaitteella. /44/

Bender A-Isometerin (**Kuvio 29.**) mittaussykli perustuu positiivisiin ja negatiivisiin pulsseihin, joiden amplitudit ovat samansuuruisia. Eristysvika järjestelmän ja maan välillä sulkee mittauspiirin. Laitteen mikroprosessori laskee mitatusta virrasta eristysresistanssin, jota indikoidaan laitteen näytöllä tai ulkoisella k Ω -

mittarilla. Jos eristysresistanssin arvo on pienempi, kuin asetetut hälytysrajat, hälytysreleet reagoivat ja hälytysledit syttyvät. Turhilta hälytyksiltä vältytään, kun hälytysrajaa ei aseteta liian lähelle verkon normaalia vuotovirtaa. /10/



Kuvio 29. Eristystason valvontarele Bender A-Isometer. /43/

7.2 Suojaus

Kojeistoa pyritään suojaamaan suoralta ja epäsuoralta koskettamiselta, lämpövaikutuksilta, ylivirralla, vikavirralla ja ylijännitteeltä. Kattavaa suojausta ei voida toteuttaa yksinomaan kojeiston mekaanisen rakenteen avulla, vaan tarvitaan myös relesuojausta. /32/

Relesuojaus perustuu halutun suureen mittaamiseen ja sen vertaamiseen releeseen aseteltujen laukaisurajojen kanssa. Kun mitattu arvo on aseteltua arvoa pienempi tai suurempi, rele havahtuu. Jos mitattu arvo ei palaudu normaalille tasolle, rele antaa katkaisijalle laukaisukäskyn tietyn ajan kuluttua. Relettä, jonka toiminta-aika ei ole riippuvainen mitattavan suureen suuruudesta, kutsutaan vakioaikareleeksi. Käänteisaikaisessa suojauksessa releen toiminta-aika on sitä lyhyempi, mitä suurempi mitattu suure on. Tärkeintä relesuojauksessa on saada vian kesto-aika mahdollisimman lyhyeksi. Mitä lyhyempi vian vaikutusaika on, sitä vähemmän vahinkoa ja vaara se ehtii aiheuttaa. /32/

Erilaisilla releillä voidaan toteuttaa monenlaisia suojausfunktioita. Seuraavaksi käsitellään tarkemmin ylivirta- ja valokaarirelettä, jotka ovat tämän työn kannalta oleellisimpia.

7.2.1 Ylivirtarele

Ylivirtareleellä mitataan yhtäjaksoisesti suojattavan kohteen vaihevirtoja. Rele havahtuu, jos yksikin vaihevirta ylittää asetellun arvon. Kuormankytkimellä varustettua keskusta, keskusta syöttävää kaapelia tai kiskosiltaa suojataan yleisesti erillisellä ylivirtareleellä. Ylivirtasuojaukseen käytetään ABB:n valmistamia REF541-, REF543-, REF610- ja REF615-releitä. Näistä REF615 on myydyin ratkaisu (**Kuvio 30.**). /32/, /43/



Kuvio 30. REF615-rele. /43/

615-sarjan releet ovat johdonsuojareleitä keskijänniteverkon sähköasemien ja teollisuuden sähköjärjestelmien suojaukseen, hallintaan, mittaukseen ja valvontaan. Releet kommunikoivat muita standardeja tukevien suojareleiden ja automaatiojärjestelmien kanssa IEC 61850-standardin mukaisesti. Releen pääsuojausfunktiot ovat oikosulkusuojaus, ylivirtasuojaus ja terminen ylikuormitussuojaus. Releessä on lisäksi maasulkusuojaus. REF615:llä voidaan ohjata kuormankytkintä sekä paikallisesti että väylän kautta. Lisäkortin avulla REF615:llä voidaan toteuttaa valokaarisuojaus, johon on myös tarjolla oma reletuoteperheensä. /24/

7.2.2 Valokaarirele

Kojeiston valokaarisuojaus on tärkeää, koska valokaaren aiheuttamat vahingot ovat yleensä kaikkein suurimpia. Valokaari aiheuttaa muun muassa korkean lämpötilan vikakohdassa, myrkyllisiä kaasuja sekä paineen, joka voi rikkoa kojeiston rakenteen. Valokaaren seurauksena voi olla laiterikko tai jopa taloudellisia menetyksiä aiheuttava seisokki. Valokaari aiheuttaa myös todellista vaaraa ihmisille.

Vahinkojen kannalta on tärkeää, ettei valokaari ehdi palaa kauan. 500 ms:n palo-aika aiheuttaa jo vakavia vaurioita, alle 100 ms:n vähäisempiä ja alle 35 ms:a kestävän valokaaren vaikutukset ovat lähes olemattomia. Nopea suojaus voidaan toteuttaa esimerkiksi ABB:n REA-tuoteperheen valokaarireleillä. /53/

Valokaarirele REA 101 ja laajennusyksiköt REA 103, 105 ja 107 on suunniteltu ilmaeristeisten pien- ja keskijännitekojeistojen suojaukseen (**Kuvio 31.**). Keskusyksikköä REA 101 voidaan käyttää ilman laajennusyksiköitä. Suojausaluetta saadaan kuitenkin laajennettua, kun käytetään useampia kuitukaapelisensoreita tai linssityyppisiä antureita laajennusyksiköiden avulla. Kuitukaapelisensoreiden ja antureiden tarkoituksena on havaita valokaaren synnyttämä valo. Kuitukaapelisensorissa valon havaitseminen tapahtuu koko kuidun pituudelta. Linssityyppisessä anturissa valo havaitaan kuidun päässä olevan linssin avulla. /53/



Kuvio 31. Valokaarirele REA 101 ja laajennusyksiköt. /43/

Valokaarirele voi laueta jopa kameran salamavalon välähdyksestä. Tällaiset virhelaukaisut vältetään kun valokaarireleeseen asetellaan virtaehto. Valokaaren synnyttämän valon lisäksi releen tulee havaita siis oikosulkua vastaava virta ennen havahtumistaan. /32/

7.3 Ohjaus- ja apusähkön jakelu

Apulaitekenttään sijoitetut laitteet tarvitsevat ohjaus- ja apusähköä. Tarvittava sähkönjakelu toteutetaan ohjausjännitemuuntajalla ja tasajännitelähteillä. /32/

7.3.1 Ohjausjännitemuuntaja

Jos verkon oikosulkuteho on pieni, voidaan ohjausjännitemuuntaja jättää pois. Tällöin tarvittava ohjausjännite otetaan lähdön vaihejännitteestä. Ohjausjännitemuuntajan käyttö on kuitenkin perusteltua, koska turvallisuussyistä ohjauspiirin täytyy olla galvaanisesti erotettu pääpiiristä. Lisäksi laitteet vaativat tietyn ohjausjännitteen, jonka ei haluta häiriintyvän heikossa verkossa jatkuvasti esiintyvistä alijännitteistä. /29/

Ohjausjännitemuuntaja valitaan ja mitoitetetaan tapauskohtaisesti. Muuntajan nimellinäennäistehon tulee, alla olevan kaavan mukaisesti, vastata kaikkien yhtä aikaa päälle kytkettyjen kontaktoreiden pitotehoa, merkkilamppujen tehoa ja suurimman kontaktorin vetotehoa. /29/

$$S_T = \sum S_H + S_A + \sum P_L \quad (1)$$

jossa:

S_T ohjausjännitemuuntajan nimellisteho (näennäisteho) [VA]

$\sum S_H$ kaikkien samanaikaisesti päällä kytkettyjen kontaktoreiden pito-näennäisteho [VA]

S_A suurimman kontaktorin veto-näennäisteho [VA]

$\sum P_L$ kaikkien merkkilamppujen pätöteho [W]

Yllä esitetty laskentakaava antaa likimääräisen tehon arvon. Tarkemmin teho voidaan laskea vektorimuotoisilla suureilla seuraavasti:

$$S_T = \sqrt{(\sum P_H + \sum P_L + P_A)^2 + (\sum Q_H + Q_A)^2} \quad (2)$$

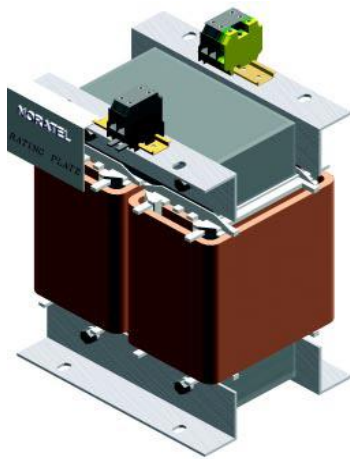
jossa:

S_T	ohjausjännitemuuntajan nimellisteho (näennäisteho) [VA]
ΣP_H	kaikkien samanaikaisesti päällä kytkettyjen kontaktoreiden pitoteho (pätöteho) [W]
ΣP_L	merkkilamppujen pätöteho [W]
P_A	suurimman kontaktorin vetoteho (pätöteho) [W]
ΣQ_H	kaikkien samanaikaisesti päällä kytkettyjen kontaktoreiden pitoteho (loisteho) [Var]
Q_A	suurimman kontaktorin vetoteho (loisteho) [Var]

Muuntajan alimitoitus saattaa johtaa jännitteen alenemiseen, joka voi aiheuttaa kontaktoreiden koskettimien kiinnihitsautumiseen, koska ohjaustehoa ei ole riittävästi. Liian pienellä kuormalla kuormitettuna, muuntajan ulostulojännite kasvaa nimellisjännitettä korkeammaksi. Tämä vanhentaa merkkilamppuja ja lyhentää niiden elinikää. /29/

Ohjausjännitemuuntajan ensiöpuoli suojataan sulakkeilla. Erotus pääpiiristä voidaan tehdä kytkimellä. Toisiopuolella toinen napa maadoitetaan ja toinen varustetaan lähdön selektiivisyyden säilyttävällä oikosulkusuojalla. /44/

Ohjausjännitemuuntajia (**Kuvio 32.**) on saatavilla 1- ja 3-vaiheisina. Muuntajan ensiö- ja toisiopuolella voi olla useita syöttöjännitteitä sekä toisiokäämejä voi olla kaksi tai enemmän. Muuntajia valmistetaan sekä pystymallisina että makaavina, sijoitettavasti tilasta riippuen.



Kuvio 32. Ohjausjännitemuuntaja. /43/

7.3.2 Tasajännitelähde

Kojeistossa käytetään ABB:n valmistamia CP-S-hakkuriteholähteitä tasajännitteen syöttämiseen (**Kuvio 33.**). Teholähteiden kiinteä lähtöjännite on 24 VDC. UMC-laitteiden, taajuusmuuttajien ja ilmakatkaisijoiden elektroniikka tarvitsee tasajännitesyötön toimiakseen. Tasajännitelähteiden toiminta varmennetaan UPS-laitteiden avulla. /27/



Kuvio 33. ABB:n CP-S -teholähde. /21/

7.4 Väylätoiminnot

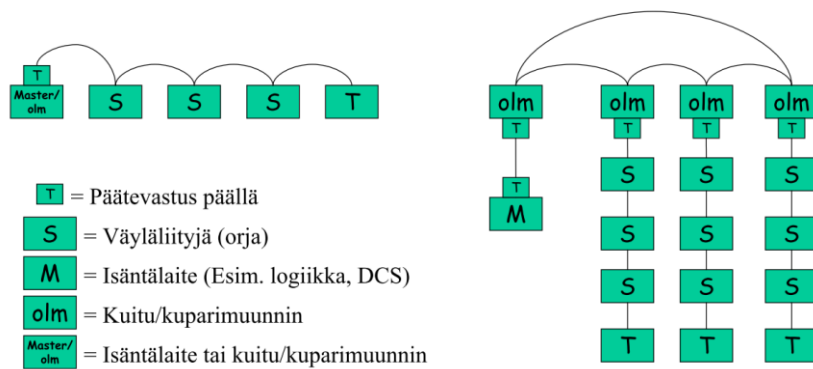
7.4.1 Kenttäväylä

Kenttäväylä on digitaalinen tiedonsiirtoratkaisu, jossa voidaan siirtää useita tietoja ohjausjärjestelmän ja kenttälaitteiden välillä. Kenttälaitteilla tarkoitetaan mitta- ja toimilaitteita, kuten taajuusmuuttajia ja UMC-moottorinohjaimia. Laitteita voidaan liittää useampi samaan väyläsegmenttiin. Kenttäväylä mahdollistaa mittaukset ja säädöt prosessitasolla. Väylän avulla ohjelmoitavien logiikoiden kytkeytyminen digitaalisiin automaatiojärjestelmiin ja kenttälaitteiden kytkeytyminen toisiinsa mahdollistuu. /22/

Profibus DP on tehdasautomaatiosovelluksissa yleisesti käytettävä kenttäväyläjärjestelmä. Standardisoinnin ansiosta järjestelmällä voidaan liittyä tunnetuimpien valmistajien logiikkaohjauksiin. Toiminta perustuu isäntä-orja – kommunikaatioon. Orjalaitteet lähettävät tietoa isäntälaitteelle ainoastaan silloin, kun isäntälaitte sitä niiltä kysyy. Isäntien vuoropuhelu tapahtuu Token passing – protokollan avulla. Orjalaitteet eivät kommunikoi keskenään. Profibus DP pystyy kommunikoimaan sekä ylempien (mm. operointiasemat) että alempien (mm. kenttälaitteet) ohjausjärjestelmien kanssa. /22/, /27/

7.4.2 Kuitumuunnin

Kuitumuuntimilla (esimerkiksi OLM tai OZD) muutetaan Profibus DP:n sanoma kuparista kuitutekniikkaan ja päinvastoin. Häiriösuojaus parantuu ja väyläsegmentit erottuvat toisistaan galvaanisesti (**Kuvio 34.**). Rengasväylärakenteella saadaan parannettua toimintavarmuutta. /27/



Kuvio 34. Väylän kokoonpano. /27/

Kuitumuuntimien (**Kuvio 35.**) sähkönsyöttö toteutetaan omilla tasajännitelähteillä. Näitä jännitelähteitä ei saa käyttää muihin tarkoituksiin. Jännitelähteet, kuitumuuntimet ja jakelu pyritään sijoittamaan omaan tilaansa syöttökentän läheisyyteen. /27/



Kuvio 35. Siemensin OLM-kuitumuunnin. /27/

8 DOKUMENTOINTI YLEISESTI

8.1 Piirustusten laatu

Hyvän piirustuksen tulee täyttää seuraavat kriteerit:

- Piirustuksessa on oikeita tietoja oikein esitettynä. Piirustuksessa ei ole tulkinnan ja arvailun varaan jätettyjä kohtia.
- Piirustuksessa on esitetty kaikki tarpeellinen ja tarpeeton jätetty pois. Samaa asiaa ei esitetä useassa piirustuksessa silloin, kun se ei ole tarpeellista.
- Piirustuksessa on käytetty sovittuja esitystapoja ja piirrosmerkkejä. Jos käytetään piirrosmerkkejä, joita ei ole standardisoitu, on niiden merkitys selitettävä.
- Piirustuksen otsikkotaulutiedot on täytetty selkeästi. Suunnittelijan ja tarkastajan nimet on kirjattu selvästi. Piirustuksesta löytyy esimerkiksi myös projektin ja asiakkaan tiedot, sähköiset ja mekaaniset positiot, piirustusnumero ja revisiomerkinä.
- Hyvä piirustus on siisti, selkeä ja helposti luettava. /28/

8.2 Piirustusten laatimisohteet

Piirustuksia laadittaessa tulee noudattaa seuraavia ohjeita:

1. Piirustuskoot ja lomakkeet

Piirikaaviot laaditaan ensisijaisesti ABB:n valmiille lomakkeille, joiden standardikoko on A3 tai A4. Isompia kokoja (A0, A1, A2) käytetään vain tarpeen vaatiessa. /28/

2. Piirrosmerkit, laitetunnukset, tekstit ja viivat

Ensisijaisesti käytetään IEC:n mukaisia merkkejä ja laitetunnuksia. Standardoimattomat merkit tulisi selittää piirustuksessa. Pyritään käyttämään sovittua

tekstin korkeutta (2,5-3,5-5-7-10-14-20-28-40-56-80 mm) ja viivan leveyttä (0,25-0,35-0,5-0,7-1-1,4-2-2,8-4 mm). /28/

3. Piirrosmerkkien sijainnin ilmaisu

Piirustuslomakkeissa käytetään koordinaatiojärjestelmää, jossa lomake on jaettu tasavälein alueisiin, jotka muodostuvat numeroiduista sarakkeista ja kirjaimin merkityistä riveistä. Koordinaatistoa käytetään piirrosmerkin sijainnin ilmaisemiseen. /28/

4. Toimitilan esittäminen

Piirustuksissa laitteet on yleensä esitettävä sähköttöminä, lepoasennossa tai –tilassa tai mekaanisen kytkennän edellyttämässä asennossa tai tilassa. Jos laitteella on kaksi tai useampi lepotila tai laite halutaan esittää muussa tilassa kuin yksikäsitteisessä lepotilassa, on piirustukseen lisättävä toimintatilaa koskevia tietoja. Muun muassa hätä-, hälytys- ja testauskytkimet on esitettävä normaalin käytön edellyttämässä asennossa tai tilassa. /28/

9 SYÖTTÖKENTÄN DOKUMENTAATIO

9.1 Käyttäjän dokumentit

Keskuksen käyttäjälle tulee keskustoituksen yhteydessä lähettää tarvittava dokumentaatio. Keskuksen koko ja käyttötarkoitus määräävät toimitettavan dokumentaation laajuuden. Dokumentaatioon luetaan kuuluvaksi seuraavat dokumentit:

1. Pääkaavio

Keskuksen pääkaaviossa esitetään tärkeimmät tekniset tiedot, keskuksen rakenne ja lähdöt. Kaaviossa esitetään lähtöjen pääkomponentit (esimerkiksi katkaisijat, kuormankytkimet, johdonsuojakatkaisijat, sulakkeet) ja tärkeimmät kytkennät. Lähdöt numeroidaan ja niiden käyttötarkoitus merkitään kaavioon. Kaaviossa esitetään myös keskuksen ohjaukset, mittaukset ja johtotyypit. /20/

2. Piirikaaviot

Piirikaavioiden tarkoituksena on esittää yksityiskohtaisesti järjestelmän, asennuksen, laitteen tai laiteyhdistelmän sähköpiirit ja toiminta. Kaavioihin tulee merkitä mahdolliset liittynät muihin piireihin. Piirikaaviosta saadaan tiedot johdotustaulukoihin ja – piirustuksiin. Piirikaavio antaa myös perustiedot koestusta ja vianetsintää varten. Piirikaaviota ei piirretä mittakaavassa. /20/

3. Kokoonpanokuvat

Yleensä keskusvalmistaja laatii keskuksen kokoonpanokuvat eli layout-kuvat. Kokoonpanokuvissa esitetään vähintään tärkeimpien komponenttien sijoitus ja tunnukset, maadoituspisteet sekä nolla- ja suojapiirin eriyttämiskohta. Keskus piirretään mittakaavassa. /47/

4. Osaluettelot

Osaluetteloon listataan kaikki keskuksessa käytetyt komponentit. /27/

5. Testiraportit

Keskusvalmistaja tekee keskukselle standardin mukaiset rutiinitestaukset. Testauksista tehdään pöytäkirja. /27/

6. Käyttö- ja huolto-ohjeet

Keskuksen mukana toimitetaan käyttö- ja huolto-ohjeet. /27/

7. Koulutusaineisto

Koulutusaineisto toimitetaan päälaitteiden osalta. /27/

8. Toimintaselostukset

Toimintaselostuksessa selvitetään laitteen toimintaa. Toimintaselostukset toimitetaan tarvittaessa. /27/

9.2 Syöttökentän piirikaavioiden suunnittelu ja toteutus

690 V:n IT-järjestelmän syöttökentän uusien piirikaavioiden pohjana käytettiin vanhoja projekteja. Projekteista poimittiin tarvittavat elementit, joita yhdistelmällä saatiin uusi haluttu kokonaisuus. Piirikaavioiden suunnittelutyö toteutettiin älykkään E³-suunnittelujärjestelmän E³.schematic-moduulilla. Suunnittelussa käytettiin äskettäin uusittua komponenttitietokantaa. Uudesta tietokannasta komponentit löytyivät englanninkielisillä nimillä. Uudet piirikaaviot tallennettiin tietokantaan tyyppikuvina, jolloin ne ovat kaikkien käytettävissä. Tarkoitus on, että projekteissa käytetään samaa mallipohjaa suunnittelun perustana. /32/

Uusissa piirikaavioissa haluttiin noudattaa kansainvälisiä standardeja IEC 60617 ja IEC 81346-2 sekä Suomen standardisoimisliiton SFS-käsikirjaa 16. IEC 60617 kokoaa yhteen piirikaavioissa käytettävät piirrosmerkit. IEC 81346-2 ja SFS-käsikirja 16 määrittelevät laitteiden kirjaintunnukset laitteiden tarkoituksen ja tehtävän perusteella. /32/

9.3 Kojetunnukset

Electrification-yksiköllä oli käytössä oma kojettunnustaulukko. Päätettiin koota uusi taulukko, jossa on IEC 81346 – standardin, SFS-käsikirja 16:n ja yksikön omat vakiintuneet kojettunnukset yhdessä. Suurin osa yksikön jo käyttämistä tunnuksista oli standardien mukaisia eikä niitä tarvinnut korjata. Piirikaavioita suunniteltaessa tarkastettiin vielä, että käytetyt kojettunnukset vastaavat taulukoituja tunnuksia. Taulukkoon lisättiin muutamia uusia tunnuksia osoituksena siitä, että kyseistä tunnusta halutaan jatkossakin käyttää tietyn asian ilmaisemiseen. /32/

9.4 Symbolit

E³:n tietokanta on jaettu komponenttien osalta kahteen kategoriaan: Generic Components ja Real Components. Generic Components – valikon alta löytyy yleisiä ja standardin mukaisia komponentteja, kuten koskettimia ja keloja. Real Components – valikosta löytyy todellisia laitteita kuvaavia piirrosmerkkejä. Muun muassa Emax-ilmakatkaisijan, REF 615- ja REA 101-releiden ja Diris A40-monitoimimittarin piirrosmerkit löytyivät tästä kategoriasta. /32/

Uudessa tietokannassa olevia symboleja ja komponentteja ei tarvinnut päivittää. Ainoastaan maasulkusuojuuksessa käytettävä jännitemittari jouduttiin lisäämään. Malli komponenttiin saatiin vanhasta suomenkielisestä tietokannasta. Ohjeet maasulkusuojuukseen käytiin jo edellä läpi (kts. luku 7.1.3). Jatkokehitysvaiheessa on tarkoitus lisätä samankaltainen ohjeistus myös maasulkusuojuuksen piirikaavioon. Tällöin muun muassa jännitemittarin toiminta selittyy paremmin. /32/

Piirikaavioissa komponentit pyrittiin sijoittamaan siten, että kaikki sen tiedot on luettavissa. Kojettunnus sijoittui komponentin vasemmalle puolelle. Tekniset arvot (esimerkiksi vastusarvot) tai viittaukset sijoituivat kojettunnuksen alle. /32/

9.5 Riviliittimet

Riviliittimet haluttiin merkitä tunnuksilla, joista voidaan helposti jo silmämääräisesti päätellä esimerkiksi kyseisen liittimen jännite tai riviliittimeen liittyvä toi-

minto, kuten virran- tai jännitteenmittaus. Uusista riviliitintunnuksista merkityksineen laadittiin taulukko. /32/

9.6 Piirikaaviot

Piirikaavioiden suunnittelussa pyrittiin noudattamaan luvun 8 ohjeistusta selkeiden kuvien aikaansaamiseksi. Tärkeää oli myös, että piirikaavioissa käytettiin laitteita, joita tässä opinnäytetyössä on käsitelty (kts. luvut 6 ja 7). /32/

Piirikaavioiden sisältö on jäsennelty siten, että tietty syöttökentän osa, esimerkiksi maasulkusuojaus tai mittaukset, on sijoitettu omalle sivulleen. Otsikkotauluun on annettu osaa kuvaava nimi. Tämä ansiosta syöttökentän piirikaavoista on saatu selkeä ja helposti luettava dokumentaatio. /32/

Piirikaaviot laadittiin käyttäen tietokantaa. Myös kaikki tekstit tuli olla tietokannasta. Suurin osa teksteistä puuttui, joten ne tuli lisätä tietokantaan käännoiksi. Tämän ansiosta on mahdollista muuttaa koko projektin kieli esimerkiksi englannista suomeksi automaattisesti. /32/

Jatkokehitysvaiheessa tyyppikuviin on mahdollista lisätä optioita. Toiminnolla saadaan halutut laitteet käyttöön tai piilotettua projektin sisällöstä riippuen. Nyt tyyppikuvissa ei ole optioita eikä sen takia laitteita voida esimerkiksi piilottaa. Nyt laitteet joudutaan manuaalisesti poistamaan kuvista, jos niitä ei projektissa tarvita. /32/

9.7 Muu dokumentaatio

Syöttökentästä laadittiin tyyppikuvien lisäksi pääkaaviokuva, jossa esitettiin tärkeimmät komponentit. Kokoonpanokuvat ja osaluettelo laadittiin tyyppikuvien perusteella yhteistyössä ABB:n Low Voltage Systemsin kanssa. E³:lla generoitiin automaattisesti myös kytkentä- ja riviliitintaulukot. Taulukkojen sisällöt tarkastettiin. Tyyppikuvia korjattiin siten, että vain halutut kytkennät ja riviliittimet näkyivät taulukoissa. Esimerkiksi syöttökentän ulkopuoliset kytkennät jätettiin huomiomatta. /32/

10 YHTEENVETO

Prosessiteollisuuden Electrification-yksikkö työntekijöineen oli minulle entuudestaan tuttu. Ongelmatilanteissa oli helppoa kääntyä oikeiden henkilöiden puoleen. Alussa oli haastavaa hahmottaa aiheen laajuus, sisältö ja se mihin aiheen kannalta tulisi keskittyä. Työn alkuvaiheessa kävin ABB:n Low Voltage Systemsin tuotantotiloissa tutustumassa erään kojeiston syöttökenttään. Aihe oli tuolloin sen verran tuntematon, ettei kaikkea tietoa pystynyt sisäistämään. Vasta kun pääsin suunnittelemaan uusia piirikaavioita, kokonaisuus alkoi konkreettisemmin hahmottua. Loppujen lopuksi MNS-pienjännitekojeistoon ja syöttökentän laitteisiin tuli tutustuttua kattavasti.

Työn alkuvaiheelle (pienjännitekojeistoon ja syöttökentän laitteisiin tutustuminen) laadittiin tarkka aikataulu. Aikataulussa pysyttiin onnistuneesti, minkä ansiosta aikaa jäi riittävästi työn viimeistelyyn ja korjailuun. Työn tulos oli mielestäni sitä, mitä alussa lähdettiin tavoittelemaan. Lopputuloksena syntyi syöttökentän dokumentaatio. Dokumentaation todellinen hyöty ja toimivuus paljastuvat vasta, kun tyyppikuvat otetaan käyttöön seuraavassa projektissa. Jatkokehitysvaiheessa piirikaavioihin voidaan lisätä optioita (kts. luku 9.6). Lisäksi 400 V:n TN-S-järjestelmän syöttökentän malliratkaisu voidaan toteuttaa muokkaamalla 690 V:n IT-järjestelmän syöttökentän tyyppikuvia.

LÄHTEET

- /1/ ABB lehdistötiedotteet. Mies, jonka unelmasta kasvoi sähkötehdas. Viitattu 3.1.2013.
<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/fcf74f6cf6dc133ec125765e002c4cb4.aspx>
- /2/ ABB lyhyesti. Avainluvut. Viitattu 3.1.2013.
<http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/b23b1eb7a45bc7b3c2256b200045bd29.aspx>
- /3/ ABB lyhyesti. Kestävä kehitys. Ympäristö. Viitattu 3.1.2013.
<http://www.abb.fi/cawp/fiabb253/608680688e4b006fc125749600284b2f.aspx>
- /4/ ABB lyhyesti. Ydinliiketoiminnat. Viitattu 3.1.2013.
<http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/5b3b47abc1e9e75dc2256b20003f96db.aspx>
- /5/ ABB:n Prosessiteollisuus iloitsee vuoden projektista. Viitattu 3.1.2013.
<http://www.pohjalainen.fi/uutiset/talous/abb-n-prosessiteollisuus-iloitsee-vuoden-projektista-1.972199>
- /6/ ABB Organization in Finland. Viitattu 3.1.2013.
[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb251.nsf/0/db03ed8b94c8ecf1c1257979003a27e4/\\$file/ABB+Oy+organization+01_09_2012.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb251.nsf/0/db03ed8b94c8ecf1c1257979003a27e4/$file/ABB+Oy+organization+01_09_2012.pdf)
- /7/ ABB Oy. Process Industry. Viitattu 3.1.2013.
<http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/c6854499eded9f38c1257961003edcec.aspx>
- /8/ ABB TTT-käsikirja. Mittaus-, ohjaus- ja suojalaitteistot.
- /9/ Automatic transfer switchATS021. Installation and operating instructions. Viitattu 6.3.2013.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/fbe8616dbbf3e457c1257a6a004c1e5d/\\$file/New%20ATS021.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/fbe8616dbbf3e457c1257a6a004c1e5d/$file/New%20ATS021.pdf)
- /10/ Bender A-Isometer. Operating manual. Viitattu 18.2.2013.
http://www.bender.org/Product_PDF/IRDH375%20Manual%2011-2004.pdf
- /11/ Carini, A. MNS3.0. Product presentation. Viitattu 4.2.2013.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/38eebfa6375be7f8c12579ce00082767/\\$file/ABB%20MNS3%20%20Product%20presentation%20032012.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/38eebfa6375be7f8c12579ce00082767/$file/ABB%20MNS3%20%20Product%20presentation%20032012.pdf)

- /12/ Cewe Instruments. Esite. Viitattu 18.2.2013.
http://opisweb.oemautomatic.se/Navigate/Document.aspx?x&Catalog=productfi_kes&DbDocId=725049&Style=BasePacToPdf
- /13/ D1-2009. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2009.
- /14/ Diris A. Esite. Viitattu 18.2.2013. <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0ed4/0900766b80ed4978.pdf>
- /15/ Draka NK Cables Oy. Kaapelien oikosulkukesto. Oikosulkukesto.doc
- /16/ Earth Fault Protection (IT-system). Sisäinen ohje.
- /17/ EICP Industrial Handbook Training. Sisäinen materiaali.
- /18/ Electrical rooms. Sisäinen ohje. Electrical rooms.doc
- /19/ Emax-katkaisijat. Esite. Viitattu 11.2.2013.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6680bdb87dd2e5ebc12570730027e764/\\$file/1scc200005c1801.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6680bdb87dd2e5ebc12570730027e764/$file/1scc200005c1801.pdf)
- /20/ Esala, T. Luentomateriaali. SähköalanPIIRUSTUKSET.pdf
- /21/ Hakkuriteholähteet. Esite. Viitattu 8.3.2013.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/9bbb7e99eff13444c125782d002f415b/\\$file/CP1FI01_11.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/9bbb7e99eff13444c125782d002f415b/$file/CP1FI01_11.pdf)
- /22/ Harjula, M. 2005. Tutkintotyö. Profibus DP –kenttäväylän mittaaminen. Viitattu 8.3.2013.
<http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9888/TMP.objres.227.pdf?sequence=2>
- /23/ HCC-link. Kaapelien sidontaohje. Sisäinen ohje.
- /24/ Johdonsuojarele REF615 - Sähköjako- ja ohjaukseen. Esite. Viitattu 22.2.2013.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/16d986d2754c9e35c12574f300419948/\\$file/REF615_broch_756572_LRFib.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/16d986d2754c9e35c12574f300419948/$file/REF615_broch_756572_LRFib.pdf)
- /25/ Jokinen, K. Opintomoniste. Teollisuuden sähköverkon ominaisuudet. Viitattu 18.2.2013.
- /26/ Jonsson, R. 2013. Project Engineer. ABB Low Voltage Systems. Haastattelu 22.3.2013.
- /27/ Kaarto, P. 2013. Lead Engineer. ABB Process Industry. Haastattelu 8.4.2013
- /28/ Kaarto, P. Suunnittelun Laatu ja Perusteet. Suunnittelu_Laatu & Perusteet_16052012.ppt

- /29/ Kontaktorit, Käyttö ja valinta. Käsikirja. Oy Klinkmann Ab.
- /30/ Korpinen, L. 1998. Sähkövoimatekniikanopus. Sähköturvallisuus. Viitattu 4.3.2013.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/7sahkoturvallisuus.pdf
- /31/ Kuormankytkimet. Esite. Viitattu 5.3.2013.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/85750550ba727f4cc1257a94003810df/\\$file/1SCC301017C1801.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/85750550ba727f4cc1257a94003810df/$file/1SCC301017C1801.pdf)
- /32/ Kälviäinen, E. 2013. Viitattu 12.4.2013
- /33/ Lyytikäinen, H. 2011. Opinnäytetyö. Teollisuuden sähköjakeluverkon mallintaminen. Viitattu 15.2.2013.
http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38348/Lyytikainen_Heikki.pdf?sequence=1
- /34/ M2M - The measure of efficiency. Esite. Viitattu 18.2.2013.
[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/ca6a8423080ec5b265257ad3002303a9/\\$file/M2M+-+Efficiency+measurement+.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/ca6a8423080ec5b265257ad3002303a9/$file/M2M+-+Efficiency+measurement+.pdf)
- /35/ MDMNS Tulevaisuuden pienjännitekojeisto – suunnitteluopas. 1996.
- /36/ MDY-kiskosiltajärjestelmä. Esite. Viitattu 15.2.2013.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/bd0aeb1197f65ccec1257aa9003d1d7d/\\$file/MDY%20kiskosiltajarjestelma%20esite%20osuomi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/bd0aeb1197f65ccec1257aa9003d1d7d/$file/MDY%20kiskosiltajarjestelma%20esite%20osuomi.pdf)
- /37/ MDY-kiskosiltajärjestelmä. Internet-sivut. Viitattu 14.2.2013.
<http://www.abb.com/product/seitp329/d71e9d8117f67a51c1256ffe004bd1ec.aspx?productLanguage=fi&country=FI>
- /38/ Miettinen, K. 2007. Tutkintotyö. Keskussuunnittelun kehittäminen. Viitattu 7.3.2013. <http://theseus17-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/9855/Miettinen.Kati.pdf?sequence=2>
- /39/ MNS Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje.
- /40/ MNS Low Voltage Switchgear System. MNS Low Voltage Switchgear System.ppt
- /41/ MNS Low Voltage Switchgear. System Guide.
- /42/ MNS – modulaarinen pienjännitekojeistojärjestelmä. Esite. Viitattu 28.1.2013.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/04c0cc9633c5e151c1257aaa003a2d26/\\$file/MNS%20FI%201TFC902032N1801%20lowres_03102012.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/04c0cc9633c5e151c1257aaa003a2d26/$file/MNS%20FI%201TFC902032N1801%20lowres_03102012.pdf)

- /43/ Piikkilä, A. MCC syöttökentät. Syöttökentät.ppt.
- /44/ PSK 1801. Prosessiteollisuuden jakokeskus. Standardi.
- /45/ Rouhiainen, J. 2008. Diplomityö. Maasulkuvirtojen kehitys ja kompensointi Haminan Energia Oy:n pienjänniteverkossa. Viitattu 18.2.2013.
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/42480/nbnfi-fe200810152007.pdf?sequence=3>
- /46/ SACI Catalog. Viitattu 5.3.2013.
http://www.saci.es/i_4catalogo_4.cfm?id=245
- /47/ Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS käsikirja 154. 2002.
- /48/ Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS-käsikirja 6000. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus 2007.
- /49/ Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS 6001. Suurjännitesähköasennukset. 2009.
- /50/ Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS 6002. Sähköturvallisuus. 2005.
- /51/ Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS-käsikirja 16. 2003.
- /52/ Seppälä, J. MNS Modules Withdrawable technique. MNS Modules Withdrawable Module Design.ppt
- /53/ Valokaarirele REA. Ostajan opas. Viitattu 22.2.2013.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/aeb604545b3f35cbc2256f54004ce034/\\$file/rea101_tobFIa.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/aeb604545b3f35cbc2256f54004ce034/$file/rea101_tobFIa.pdf)