

**KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIikka**

Niemelä Jarmo

20 kV kojeiston suunnittelu sähkövoimalaboratorioon

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Kemi 2010

ALKUSANAT

Haluan kiittää Kemi-Tornion ammattikorkeakoulua mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja DI Jaakko Ettoa erinomaisesta opastuksesta. Lisäksi haluan kiittää muita työn valmistumiseen vaikuttaneita henkilöitä.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Jarmo Niemelä
Opinnäytetyön nimi	20 kV kojeiston suunnittelu sähkövoimalaboratorioon
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	5.10.2010
sivumäärä	87 + 21 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	DI Jaakko Etto
Yritys	Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	DI Jaakko Etto

Työn lähtökohtana toimi Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun sähkölaboratorioiden kehittämishanke, jonka tarkoituksena on täydentää opetuskalustoa mm. sähkölaitostekniikan saralla. Tehtävänä oli opetuskäyttöön hankittavan keskijännitekojeiston suunnittelu siten, että työn tuloksena syntyy toteutusehdotus sisältäen tarvittavat dokumentit hankittavaksi ehdotettavasta laitteistosta. Mikäli hankkeen rahoitus järjestyy, järjestelmän hankinta tarjouskilpailuineen tehdään myöhemmin projektin edetessä. Työn on siten tarkoitus toimia perustana varsinaiselle hankinnalle.

Työssä tutustuttiin kojeistoihin, kojeisiin, relesuojaukseen, apusähköjärjestelmään sekä sähkölaitosautomaation liittyvään teoriaan ja määriteltiin kojeistoon liittyvät opetustavoitteet yhteistyössä sähkötekniikan opettajien kanssa. Tämän jälkeen valittiin opetuskäyttöön soveltuva kojeiston kennovalikoima sekä tehtiin laitteiston tekninen määrittely. Seuraavassa vaiheessa luotiin kolme pääkaaviovaihtoehtoa valitulla kennovalikoimalla eri käyttöjännitteille sekä vertailtiin vaihtoehtoja keskenään. Vertailun tuloksena työssä tehtiin toteutusehdotus. Lisäksi työssä suunniteltiin kojeistoon liittyvä tasasähköjärjestelmä.

Aihepiirin laajuuden vuoksi työtä oli rajattava. Pois jätettiin relesuojausjärjestelmän tarkempi tekninen määrittely. Lisäksi toteutusvaihtoehtoihin liittyvät käyttöjännitteet rajattiin kattamaan tarkastelu ainoastaan 400 V:n, 690 V:n ja 20 kV:n jännitteillä.

Työssä asetetut tavoitteet täyttyivät. Toteutusehdotuksena esitettiin viisi kennoa sisältävän kojeiston hankintaa. Käyttöjännitteeksi valittiin 20 kV. Esitettävä toteutusehdotus osoittautui vertailussa kustannuksiltaan muita vaihtoehtoja kalliimmaksi sekä haastavammaksi toteuttaa. Vaihtoehto on kuitenkin todellisuutta vastaava ja käyttämällä aitoa keskijännitettä laitoksen opetussuunnitelmaan saadaan lisättyä suurjännitekoulutusta, mitä aikaisemmin ei ole ollut tarjolla. Työn tuotoksiin lukeutuvat kojeiston sijoituspiirustus, tekninen määrittely, jokaisen toteutusvaihtoehdon pääkaaviot ja tekniset erittelyt sekä tasasähköjärjestelmän pääkaavio.

Asiasanat: sähkösuunnittelu, keskijännite, kojeisto, pääkaavio.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Jarmo Niemelä
Title	Design of Medium Voltage Switchgear in Electrical Engineering Laboratory
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	5 October 2010
Pages	87 + 21 appendices
Instructor	Jaakko Etto, MSc (El.Eng)
Company	Kemi-Tornio University of Applied Sciences
Contact Person/Supervisor from Company	Jaakko Etto, MSc (El.Eng)

The basis of this study was the development project of electrical engineering laboratories which aims to improve the equipment used in teaching power plant engineering among other things. The objective of this study was to design medium voltage switchgear in electrical engineering laboratory including all the necessary documents required for an acquirement. Provided that the financing of the project is arranged, the acquirement of the system including tender is carried out later as the project progresses. Thus the aim of this thesis is to serve as a basis for the actual acquirement.

In the study one became acquainted with theory involving medium voltage switchgears, components, relay protection, low voltage system and power plant automation. Teaching objectives were defined in co-operation with electrical engineering teachers. In the next stage a selection of cubicles that is suited for teaching purposes was chosen and a technical definition for the system was made. Three main circuit diagrams for three different operating voltages were then generated for the chosen cubicle selection and the alternatives were compared. As a result, an implementation suggestion was made. In addition, a low voltage system part of the switchgear was designed in the study. As a result from the width of the theme, the study had to be limited. A more precise technical definition of the relay protection system was dropped off. Additionally, operating voltages associated with the implementation alternatives were limited to cover the analysis only with voltages of 400 V, 690 V and 20 kV.

The goals set in the study were met. An acquirement suggestion of switchgear including five cubicles was made. An operating voltage of 20 kV was chosen. The presented implementation suggestion proved to be more expensive and more difficult to implement. However the suggested implementation is equivalent to a real world system and by using true medium voltage, high voltage education can be added to the school's syllabus, which has not been available before. The outputs of the study include placement drawing of the switchgear, technical definition, main circuit diagrams and technical specifications of each implementation alternative, and a main circuit diagram of the low voltage system.

Key words: electrical planning, medium voltage, switchgear, main circuit diagram.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
SISÄLLYSLUETTELO	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	VI
1. JOHDANTO	1
2. KESKIJÄNNITEKOJEISTOT	2
2.1. Yleistä	2
2.2. Kojeille asetettavat yleiset vaatimukset	2
2.3. Kojeistotyypit	3
2.4. Lukitukset	5
2.5. Sovitteet	5
2.6. Kokoojakiskojärjestelmät	6
2.6.1. Kiskostojen rakenteesta ja mitoittamisesta	9
2.7. Ylijännitesuojaus	9
3. KESKIJÄNNITEKOJEET JA -KAAPELIT	11
3.1. Erottimet	11
3.2. Katkaisijat	13
3.2.1. Katkaisutapahtuman pääpiirteet	14
3.2.2. Katkaisijan valinta	14
3.2.3. Katkaisijoiden ryhmittely	16
3.2.4. Vähäöljykatkaisija	16
3.2.5. SF6-katkaisija	17
3.2.6. Tyhjökatkaisija	19
3.3. Mittamuuntajat	20
3.3.1. Jännitemuuntaja	21
3.3.2. Virtamuuntajat	23
3.3.3. 20 kV:n virta- ja jännitesensorit	25
3.3.4. Mittamuuntajien sijoitus	28
3.4. Keski-jännitekaapelit	29
3.4.1. Kaapelityypit	29
3.4.2. 10:n ja 20 kV:n kaapelipäätteet	31
4. RELESUOJAUS	35
4.1. Yleistä tavoitteista ja periaatteista	35
4.2. Yleisimmät suojaretyypit	36
4.3. Tärkeimmät suojarelajit	39
4.3.1. Virtareleet	39
4.3.2. Jännitereleet	40
4.3.3. Muut suojaretyypit	41
4.4. Suojaustavat	43
4.4.1. Aikaselektiivinen suojaus	43
4.4.2. Aika- ja virtaselektiivinen suojaus	44
4.4.3. Aika- ja suuntaselektiivinen suojaus	44
4.4.4. Virta- tai impedanssiselektiivinen suojaus	44
4.4.5. Lukitussuojaus	44

4.4.6.	Differentiaalisuojaus	45
4.4.7.	Valokennosuojaus	45
4.4.8.	Moottorisuojaus	46
4.4.9.	Tahdistus- ja jälleenkytkentäreleistys	48
4.5.	Suojauksen koestus	49
5.	APUSÄHKÖJÄRJESTELMÄT	51
5.1.	Omakäyttöjärjestelmä	51
5.2.	Tasasähköjärjestelmä	52
5.3.	Apujännitteet	52
5.4.	Apusähkösuojaus	53
6.	VERKOSTOAUTOMAATIO	55
6.1.	Yleistä	55
6.2.	Jakeluverkon automaation tietojärjestelmät	56
6.3.	Sähköasema-automaatio	58
6.4.	Verkosto-automaatio	58
7.	KOJEISTON OPPIMISTAVOITTEET	60
8.	TOTEUTUSVAIHTOEHDOT	63
8.1.	Tarkoitus	63
8.2.	Pääkaavion sisältö	63
8.3.	Suunnittelun lähtökohdat	64
8.4.	Tekninen määrittely	64
8.4.1.	Käyttöolosuhteet ja sijoituspaikka	65
8.4.2.	Syöttö- ja maadoitustapa	65
8.4.3.	Käyttötapa ja rakenteeseen liittyvät seikat	65
8.4.4.	Kennoosvitteet ja -järjestys	67
8.4.5.	Katkaisijat	68
8.4.6.	Tasasähköjärjestelmä, suojaukset, ohjaukset ja hälytykset	68
8.5.	Pääkaaviovaihtoehdot	70
8.5.1.	20 kV:n pääkaaviovaihtoehdot	70
8.5.2.	400 V:n pääkaaviovaihtoehdot	73
8.5.3.	690 V:n pääkaaviovaihtoehdot	75
8.6.	Kustannusarviot	76
9.	TOTEUTUSEHDOTUS	77
10.	TASASÄHKÖJÄRJESTELMÄ	78
10.1.	Tasasuuntaajan kapasiteetti	79
10.2.	Pääkaavio	80
10.3.	Suojaus	81
10.4.	Kaapelointi	81
10.5.	Tasasähköjärjestelmän toteutus	82
11.	YHTEENVETO	83
12.	LÄHDELUETTELO	85
13.	LIITELUETTELO	87

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ATJ	Asiakastietojärjestelmä
AC	Alternating Current, Vaihtovirta
ajk	Aikajälleenkytkentä
DC	Direct Current, Tasavirta
DA	Distribution Automation, Jakeluautomaatio
EJH	Energianhallintajärjestelmä
EMI	Electromagnetic Interference, Sähkömagneettinen häiriö
EMC	Electromagnetic Compatibility, Sähkömagneettinen yhteensopivuus
IP	International Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
ind.	Induktiivinen
kj	Keskijännite
KVJ	Käytönvalvontajärjestelmä
KTJ	Käytöntukijärjestelmä
KTM	Kauppa- ja teollisuusministeriö
LAN	Local Area Network, Paikallisverkko
SA	Substation Automation, Paikallisautomaatio
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
STM	Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, käytönvalvontajärjestelmä
pjk	Pikajälleenkytkentä
pj	Pienjännite
VTJ	Verkkotietojärjestelmä

1. JOHDANTO

Tämä työ on annettu Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun toimeksiantona osana tekniikan koulutusyksikön sähkölaboratorioiden kehittämishanketta. Rakentaminen alkoi toukokuussa 2010 ja saneerauksen on määrä olla valmis laboratorioiden osalta syyskuussa 2011. Uudistuksen kohteena on koko tekniikan koulutusyksikkö. Sähkövoimatekniikan opetustiloja ja kalustoa uudistetaan kahdella sähkövoimatekniikan laboratoriotilalla. Työn lähtökohtana toimi tavoite täydentää oppilaitoksen opetuskalustoa sähkölaitostekniikan saralla. Sähkölaitostekniikkaa voidaan pitää hyvin keskeisenä aihepiirinä sähkövoimatekniikan opetussuunnitelmassa.

Työn aiheeksi valittiin useista vaihtoehdoista opetuskäyttöön hankittavan keskijännitekojeiston suunnittelu. Kojeisto sijoitetaan Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun sähkövoimatekniikan laboratorioon 1. Aiheen valintaan vaikutti mielenkiintoiselta ja toisaalta haastavalta tuntuva alue. Keskijännitekojeistot ovat hyvin keskeinen osa sähköjakeluverkkoa niiden sijaitessa sähköjakeluverkon solmupisteissä. Nykyaikaisella automatisoidulla ja kaukokäyttökelpoisella keskijännitekojeistolla pystytään opettamaan monipuolisesti sähköjakeluun ja käyttöön liittyviä asioita.

Työn ensimmäisenä tavoitteena toimii keskijännitekojeistoon liittyvien opetustavoitteiden määrittely. Seuraavassa vaiheessa tavoitteena on tehdä kojeistoon liittyvä tekninen määrittely sekä laatia toteutusvaihtoehtoja eri käyttöjännitteille pääkaaviotasolla. Pääkaavioiden sekä teknisen määrittelyn perusteella laaditaan kaikista vaihtoehdoista yksityiskohtainen tekninen erittely, jossa määritellään mm. kojeiston sähkötekniiset tiedot ja laitteet. Tavoitteena on myös suunnitella kojeistoon liittyvän sähkölaitosautomaation toteutus yleiskaaviotasolla. Järjestelmän toteutuksen vaatimien komponenttien valinta rajataan työn ulkopuolelle.

Tekninen määrittely, pääkaaviot sekä tekniset erittelyt esitetään kojeistovalmistajalle tarkoituksena saada suuntaa antava toteutuksen kustannusarvio jokaisesta vaihtoehdosta. Vaihtoehtojen vertailun jälkeen tavoitteena on tehdä toteutusehdotus. Työssä myös suunnitellaan kojeistoon liittyvä tasasähköjärjestelmä pääkaaviotasolla sekä laaditaan suhteellisen laajaan aihepiiriin sopiva teoriaosuus.

Kojeiston varsinainen hankintasuunnitelma kilpailutuksineen tulee ajankohtaiseksi myöhempänä ajankohtana, ja sen laatiminen rajataan työn ulkopuolelle. Työn tuloksena luodun toteutusehdotuksen on siten tarkoitus toimia lähtökohtana lopulliselle hankemäärittelylle ja tarjouspyynnölle. Lopullinen jännitevalinta ja mahdolliset muutokset kennojen järjestykseen määritellään alan ammattiaineopettajien toimesta oppimisympäristöjen kehittämishankkeen edetessä. Laboratorioiden oppimisympäristöjen kehittämishanke riippuu rahoituksen saamisesta ja valmistuu vuonna 2012 tai alkuvuodesta 2013.

2. KESKIJÄNNITEKOJEISTOT

2.1. Yleistä

Sähköasemalla tarkoitetaan sellaista sähköenergian siirto- tai jakeluverkon osaa, jossa voidaan suorittaa kytkentöjä, jännitteen muuntamista tai sähköenergian siirron keskittämistä tai jakoa eri johdoille. Muuntajien ja kiskostojen lisäksi sähköasemilla on runsaasti erilaisia kojeita ja laitteita, jotka voidaan hankkia myös tehdasvalmisteisina valmiina kojeistoina. Kojleistolla tarkoitetaan siis rakennekokonaisuutta, jossa on sähkön tuottamisessa, siirrosta, muuntamisessa tai muuttamisessa tarvittavia kytkin-, suoja-, ohjaus- tai valvontalaitteita. Tärkeimmät laitteet ovat katkaisijat, erottimet ja mittamuuntajat. Näiden lisäksi käytetään suojaustarkoituksissa releitä ja varokkeita sekä ylijännitesuojauksessa venttiilisuojia tai kipinävälejä. /9/

Kytkinlaitoksen keskijännitekojeiston päätehtävänä on päämuuntajan tehon jakaminen johtolähdöille. Yhdessä suojausjärjestelmän kanssa toteutetut kojeistot muodostavat jakeluverkossa toimivan kokonaisuuden. Päävaatimuksena edellytetään kojeistoilta käyttövarmuutta, henkilöturvallisuutta, riippumattomuutta ympäristötekijöistä, kokonaistaloudellisuutta, hyvää käytettävyyttä ja huoltovapautta. /15/

2.2. Kojelle asetettavat yleiset vaatimukset

Kojelle asetettavien vaatimusten takana ovat Suomessa sähkölaki ja sähköturvallisuusmääräykset. Vaatimukset ilmoitetaan yleensä erilaisissa standardeissa ja ne pohjautuvat käytössä esiintyviin erilaisiin rasituksiin. Standardit määräävät myös, miten todetaan, että kojeet täyttävät niille asetetut vaatimukset (koestus). Suomessa käytetään IEC:n standardeja tai niiden pohjalta laadittuja kotimaisia SFS-standardeja. Joissakin tapauksissa voidaan muiden maiden kansallisia standardeja soveltaa sellaisiin kojeisiin, joihin ei ole ilmestynyt IEC:n standardeja. /9/

Nimellis- ja koestusarvot muodostavat kojeen tärkeimmät tekniset tiedot. Nimellisarvot määritellään tavallisesti kojeiden jatkuvan normaalin käyttötilanteen mukaisina. Koestusarvoilla pyritään takaamaan kojeen moitteeton toiminta sekä normaalissa käyttötilanteessa että poikkeuksellisissa tilanteissa. /9/

Tässä työssä käsitellään tehdasvalmisteisia, sisälle asennettavia vaihtojännitekojeistoja, joiden nimellisjännitteet ovat 1- 52 kV ja taajuudet 60 Hz:iin saakka. Näitä kojeistoja koskevat vaatimukset on määritelty seuraavissa IEC:n (International Electrotechnical Commission) standardeissa:

- IEC 62271–200: High-Voltage Switchgear and Controlgear Part 200: AC Metal-Enclosed Switchgear and Controlgear for Rated Voltages Above 1 kV and up to and Including 52 kV

- IEC 60529: Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code)
- IEC 60694: Common Specifications For High-Voltage Switchgear and Controlgear Standards. /1/

Edellä mainitut standardit eivät käsittele kojeistoissa käytettäviä kojeita, joille löytyvät erilliset standardit.

2.3. Kojestotyypit

Kojestot ryhmitellään ulkokuoren materiaalin perusteella metallikuorisiin (metal-enclosed) ja eristysainekuorisiin (insulation-enclosed) kojeistoihin. Valtaosa jakelukojestoista on kuitenkin metallikuorisia kojeistoja. Tämän vuoksi tässä työssä keskitytään metallikuoristen kojeistojen tarkasteluun. Metallikuoriset (metal-enclosed) kojeistot jaotellaan SFS-EN 62271 -standardin mukaan seuraavasti:

1. kennokoteloitu (cubicle)

- Kojesto on metallikuorinen, mutta osastointia ei ensiökojeiden osalta vaadita, ei edes eri kennojen välillä, vaan koko kojeiston ensiöpuoli voi olla samaa tilaa ilman tiiviitä läpivientejä.
- Yleensä kuitenkin kennokoteloituista puhuttaessa kokoojakiskot, toisiokojeet ja katkaisija/mittamuuntajat/kaapelipäätte ovat kennoittain omiin osastoihin erotettuina kokoojakiskoston ollessa silti yhtenäinen tila koko kojeiston osalla.

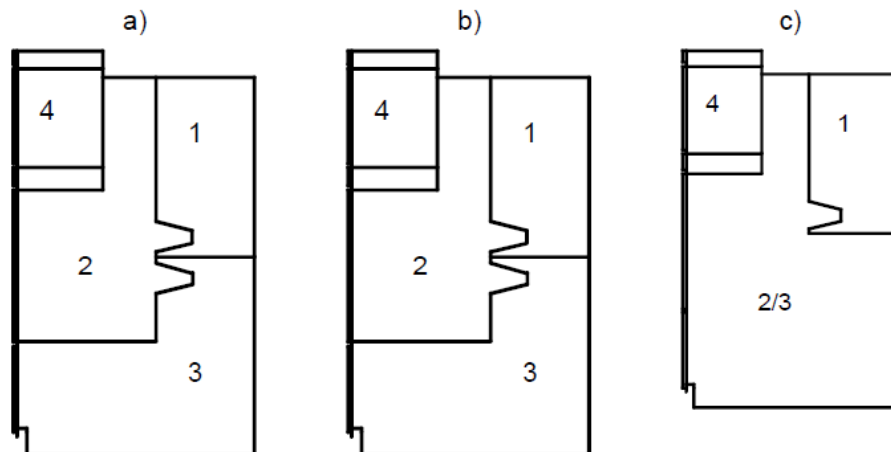
2. metallikoteloitu (metal-clad)

- Kokoojakiskot, toisiokojeet, katkaisija ja mittamuuntajat/kaapelipäätte ovat eri osastoissa.
- Läpivienneissä katkaisijalta kiskoihin ja lähdön mittamuuntajille/kaapelipäätteelle on sulkulevyt, jotka ohjautuvat automaattisesti esim. vaunun liikkeestä.

3. tilakoteloitu (compartmented)

- Kuten metallikoteloitu, mutta osastointi on tehty joko kokonaan, tai osittain eristävästä materiaalista.
- Kojesto on aina varustettava metalliovellalla. /17/

Em. kojeistotyypit on esitetty kuvassa 1 rakenteellisen toteutusperiaatteen mukaan jaoteltuna. Kuva havainnollistaa kokooja-, katkaisija-, lähtö-, ja toisiokojetilojen sijoittelua läpivienteineen. Kuvasta havaitaan, että kennokoteloitujen kojeistojen toteutus on rakenteeltaan yksinkertaisiin. Oletettavasti kennokoteloitujen kojeistojen hinta on tällöin muita vaihtoehtoja alhaisempi.



Kuva 1. Kojeistotyypit a) metallikoteloitu b) tilakoteloitu c) kennokoteloitu; 1 kokoojatila, 2 katkaisijatila, 3 lähtötila, 4 toisiokojetila /1/

SFS-EN 50187 käsittelee kaasueristeisiä (gas-insulated) keskijännitekojeistoja. Tällaisissa suljetuissa kojeistoissa kokoojakiskot, erottimet, virtamuuntajat, jännitemuuntajat ja katkaisija on tilan säästämiseksi sijoitettu SF₆-kaasulla täytettyyn kotelointiin. Kaasueristeiset kojeistot ovat kustannuksiltaan ilmaeristeisiä kalliimpia, eivätkä ne palvele opetuskäyttöä suljetun rakenteensa vuoksi. Tämän vuoksi työssä keskitytään ilmaeristeisten kojeistojen tarkasteluun. /17/

Mikäli kojeistojen pääasiallisena eristysaineena toimii normaali ilma, käytetään kojeistoista nimitystä ilmaeristeinen kojeisto. Käytettäessä eristysaineena eristyskaasua, joka on eri paineessa kuin normaali ilmanpaine, puhutaan kaasueristeisistä kojeistoista. Kojeistojen kalustustavan perusteella ryhmitellään kojeistot:

1. ulosvedettävillä (withdrawable) kojeilla varustetut kojeistot eli vaunukojeistot
 - Näissä kennon kytkinlaite on sijoitettu liikuteltavaan vaunuun, jota siirtämällä aikaansaadaan virtapiiriin luotettava avausväli. Vaunukojeistoja esiintyy kaikkina kojeistotyypeinä.
2. kiinteällä kalustuksella varustetut kojeistot
 - Näissä kojeet, kuten katkaisijat, kuormanerottimet, mittamuuntajat jne. on asennettu kiinteästi kennorakenteisiin ja kiskostoihin. Nämä kojeistotyypit ovat usein rakenteeltaan kennokoteloituja kojeistoja. /1/

Kojeistot on suunniteltu siten, että käyttö-, tarkastus- ja huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa turvallisesti.

2.4. Lukitukset

Kojeiden keskinäisillä lukituksilla varmistetaan turvallinen ja oikea toiminta. Ulosvedettävillä kojeilla varustetussa kojeistossa on oltava vähintään seuraavat lukitukset:

- Vaunussa olevan kytkinlaitteen siirto voidaan suorittaa vain sen ollessa aukiasennossa.
- Kytkinlaitetta voidaan ohjata vain, kun vaunu on käyttö-, erotus-, maadoitus- tai koestusasennossa.
- Kytkinlaitteen kiinniohjaus on estetty, mikäli apupiirejä ei ole kytketty.
- Vastaavasti kiinteästi kalustetuilla kojeilla varustetussa kojeistoissa on oltava seuraavat lukitukset:
 - Ohjaustoimenpiteet, joihin erotin ei ole tarkoitettu, estetään lukituksin.
 - Erottimia voidaan ohjata vain, kun virtapiirin kytkinlaite on aukiasennossa.
 - Jos katkaisija on sarjassa maadoituskytkimen kanssa, on katkaisijan tahaton avaaminen estettävä. /1/

2.5. Sovitteet

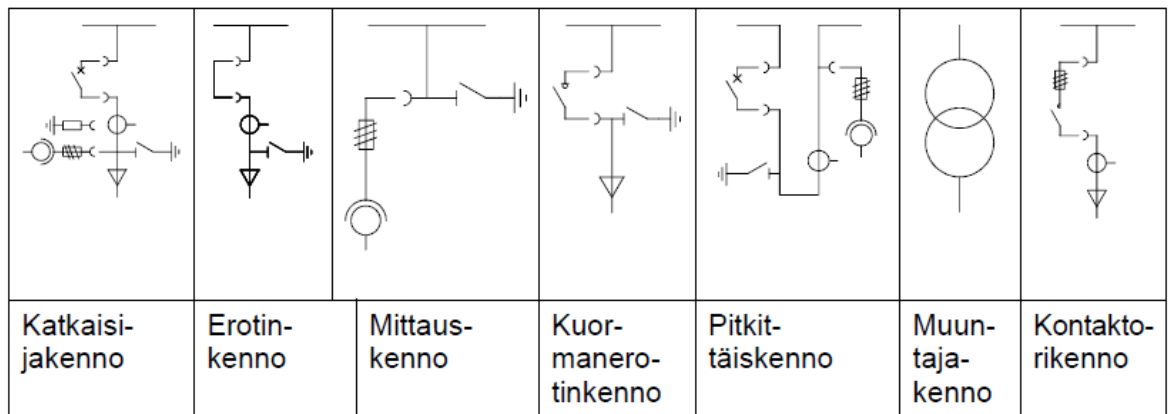
Kojeistotuoteperheet ovat modulaarisia. Jokaiseen moduuliin on suunniteltu vaihtoehtoratkaisuja, jota yhdistämällä voidaan toteuttaa erilaisia kennosovitteita ja -rakenteita. Kiinteällä kalustuksella varustetuissa kojeistojärjestelmässä käytetään seuraavia kytkinlaitteita:

- SF₆- kuormanerotin ja varokekuormanerotin
- SF₆- tai tyhjökatkaisija. /1/

Vaunukatkaisijakojeistoissa käytetään seuraavia kytkinlaitteita:

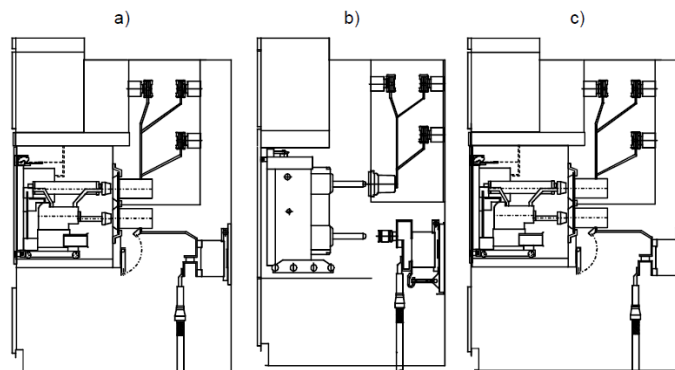
- SF₆- tai tyhjökatkaisija
- kuormanerotin- ja varokekuormanerotin
- tyhjökontaktori 3,6 kV...12 kV. /1/

Kuvassa 2 on esitetty yleisimpiä vaunukatkaisijakojeiston kennoratkaisuja.



Kuva 2. Vaunukatkaisijakojeiston vakiokytkentäesimerkkejä /1/

Kuvassa 3 on esitetty poikkileikkausesimerkkejä ABB:n valmistamista kennosovitteista. Kuvasta on edelleen havaittavissa kojeistojen tilajaottelu läpivienteineen. Huomionarvoinen seikka on kennokoteloidun katkaisijakennon rakenteellinen yksinkertaisuus verrattuna muihin toteutustapoihin. Katkaisijatila on yhdistetty lähtötilaan, jolloin ainoaksi läpivienniksi jää kokoojakisko- ja katkaisijatilan yhdistävä läpivienti.



Kuva 3. Esimerkkejä kennosovitteista. a) metallikoteloitu katkaisijakenno, b) kennokoteloitu katkaisijakenno, c) metallikoteloitu kontaktorin-kenno /1/

2.6. Kokoojakiskojärjestelmät

Kokoojakiskojen tehtävänä on energian jakaminen kytkinlaitoksessa mahdollisimman tarkoituksenmukaisella tavalla. Kokoojakiskosta käytetään nimitystä pääkisko, kun siihen liitytään katkaisijalla ja apukisko, kun liittyminen tapahtuu pelkästään erottimella. Kiskojärjestelmien valinta riippuu monista tekijöistä. Huomioon otettavia seikkoja ovat mm:

- kytkinlaitokseen heti ja myöhemmin liitettävät johdot ja muuntajat
- mahdollisuus suorittaa laitoksessa normaaleja ja poikkeuksellisia kytkentöitä
- mahdollisuus suorittaa huolto- ja korjaustöitä
- kuormitusten ryhmittelymahdollisuus

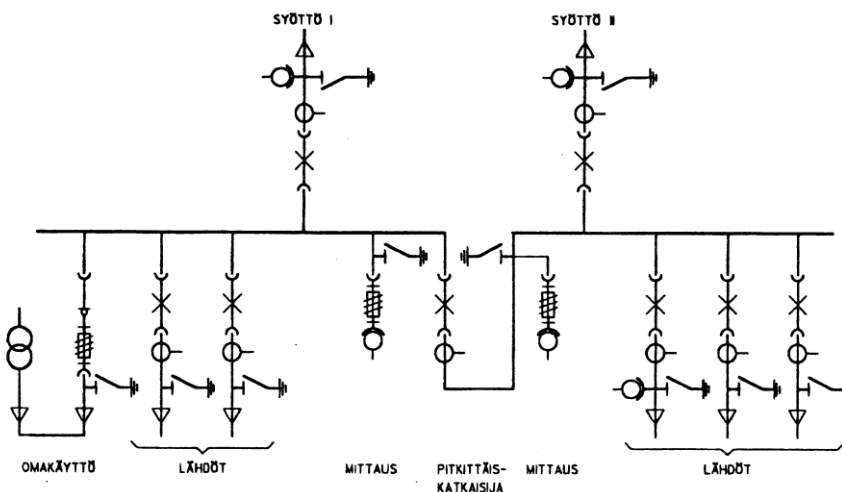
- laitoksen luotettavuus ja käytettävyys
- yksinkertaisuus
- kiskovian haitallisuus
- rakenteellinen toteutus, tilantarve ja kustannukset. /9/

Kokoojakiskojärjestelmien perustyyppiä ovat:

- kiskoton järjestelmä
- yksikiskojärjestelmä (K-järj.)
- kisko-apukiskojärjestelmä (KA-järj.)
- kaksoiskiskojärjestelmä (KK-järj.)
- kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä (KKA-järj.)
- 1½-katkaisijajärjestelmä (1½ K-järj.)
- kaksikatkaisijajärjestelmä (2K-järj., duplex)
- rengaskiskojärjestelmä. /9/

Kiskoton järjestelmä tulee kysymykseen yksinkertaisilla pääte- ja johdonvarsi-asemilla, joissa on vain yksi muuntaja. Käyttöä ei tässä ratkaisussa voi jakaa eikä katkaisijaa ohikytkeä. /9/

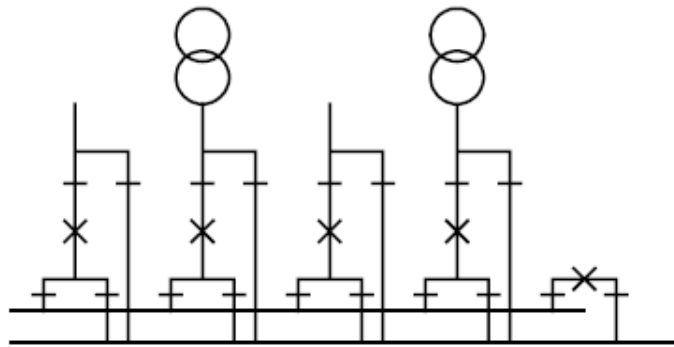
Yksikiskojärjestelmä muistuttaa perusominaisuuksiltaan kiskotonta järjestelmää. Joustavuutta saadaan jonkin verran lisää jakamalla kiskosto osiin pitkittäiskatkaisijalla tai erottimilla (kuva 4). Järjestelmä on halpa ja selväpiirteinen, mutta sen tarjoamat mahdollisuudet kuormitusten ryhmittelyyn, kiskoston huoltoon yms. ovat rajoitetut. Niinpä käyttökeskeytyksen pituus on sama kuin kojevaurion korjausaika. Yksikiskojärjestelmä on käyttökelpoinen esim. yhden muuntajan kautta syötetyssä 20 kV:n jakeluverkossa, jossa johdot on rakennettu suljetuksi renkaiksi. Tällöin järjestelmän pahimmat puutteet ovat vältettävissä johtorenkaiden avulla. /9/



Kuva 4. Yksikiskojärjestelmä pitkittäiskatkaisijalla /2/

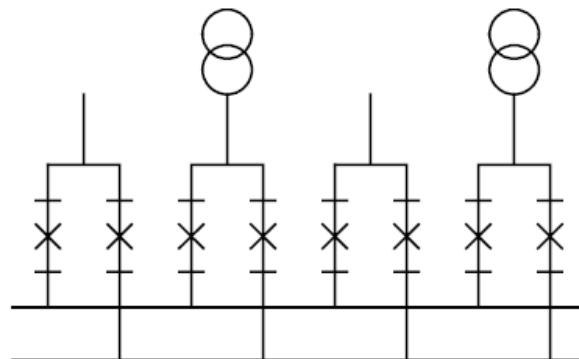
Kisko-apukiskojärjestelmässä jokin toinen katkaisija voidaan korvata huollon tms. ajaksi kiskokatkaisijalla. Myös kiskoston huollot ja kytkinlaitoksen muutostyöt on helpompi suorittaa kuin yksikiskojärjestelmää käytettäessä ja lisäksi ohikytkentätilanteessa suojaus on selektiivinen. Käyttö ei kuitenkaan ole jaettavissa. Kisko-apukiskojärjestelmä on yksikiskojärjestelmää huomattavasti käyttövarmempi, ja keskeytysaika lyhenee vain kytkentätoimenpiteiden vaatimaksi ajaksi. Järjestelmää sovelletaan kaikilla jännitetasoilla. /9/

Kaksoiskiskojärjestelmä (kuva 5) mahdollistaa johtojen ja muuntajien ryhmittelyn ja ryhmittelyn muuttamisen käytön aikana. Etuina tässä järjestelmässä ovat mm. mahdollisuus jakaa käyttö pysyvästi tai tilapäisesti kahteen ryhmään, jonka perusteluna voi olla esim. oikosulkutehojen rajoittaminen, nykivän kuorman pitäminen erillään muusta kuormituksesta, erisuuruiset syöttöjännitteet lähi- ja kaukosyötössä, käyttövarmuuden lisääminen ukkoskautena jne. Toinen kiskojärjestelmä on toisen varalla, jolloin huoltoa varten voidaan toinen kiskojärjestelmä tehdä jännitteettömäksi käytön häiriintymättä. /9/



Kuva 5. Kaksikiskojärjestelmä katkaisijan ohikytkennällä /1/

Duplex-järjestelmä (kuva 6) kilpailee lähinnä KKA-järjestelmän kanssa. Sen etuina mainittakoon mm. käytön ja huoltojärjestelyjen selväpiirteisyys, käyttövarmuus, helppo laajennettavuus ja käytön jaettavuus. Järjestelmän haittana on sen kallis hinta, sillä katkaisijoita ja mittamuuntajia tarvitaan KKA-järjestelmään verrattuna noin kaksinkertainen määrä. /9/



Kuva 6. Kaksoiskatkaisijajärjestelmä (duplex) /1/

2.6.1. Kiskostojen rakenteesta ja mitoittamisesta

Sisäkytkinlaitoksissa virtakiskot rakennetaan tavallisesti lattakiskosta, U-kiskosta tai putkista. Materiaalina on kupari, alumiini tai alumiiniseokset. Lattakiskot tulevat kysymykseen pienillä nimellisvirroilla. Suurilla virroilla käytetään muotoprofiileja (esim. U-kiskot). Kiskojen tukemiseen käytetään tukieristimiä, jotka ovat keskijännitteillä yleisimmin valmistettu valuhartsista. Kennorakenteisissa sisäkytkinlaitoksissa tarvitaan lisäksi ns. seinäläpivientieristimiä. /9/

Kiskojen poikkipintojen mitoituksessa on peruslähtökohtana normaali kuormitusvirta. Mikäli oikosulkuvirta ei ole epätavallisen suuri ja kuormituksen pysyvyyskäyrä on normaali, niin poikkipinta määräytyy taloudellisten näkökohtien mukaan. Lisäksi on tarkistettava kiskoston lämpeneminen kuormitus- ja oikosulkuvirroilla. /9/

2.7. Ylijännitesuojaus

Sähköverkkoihin vaikuttavat ylijännitteet voidaan syntymekanismin perusteella jakaa kolmeen ryhmään. Ne ovat pienitaajuiset, kytkentä- sekä ilmastolliset ylijännitteet. Pienitaajuiset ja kytkentäylijännitteet syntyvät tavallisimmin erilaisten kytkentäoperaatioiden seurauksena. Ne eroavat toisistaan ilmiön kestoajan perusteella. Kytkentäylijännitteiden kesto aika ei ylitä verkkotaajuisen jännitteen jakson aikaa. Ilmastolliset ylijännitteet syntyvät salamanpurkauksen seurauksena. Salama voi aiheuttaa sähköjohdon jännitelujuuden kannalta merkittävän ylijännitteen osuessaan suoraan johtimeen tai sen välittömään läheisyyteen. /8/

Pienitaajuisien ylijännitteiden suuruuteen voidaan vaikuttaa verkon ja sen käytön huolellisella suunnittelulla. Varsinaisia suojalaitteita pienitaajuisia ylijännitteitä varten ei ole olemassa. Kytkentäylijännitteiden rajoittamiseen voidaan käyttää venttiilisuoja. Ilmastollisia ylijännitteitä vastaan suojaudutaan ukkosjohtimilla, venttiilisuojailla ja suojakipinäväleillä. /8/

Ukkosjohtimet asennetaan vaihejohtimien yläpuolelle estämään suoraan vaihejohtimeen kohdistuva salamanisku. Ukkosjohtimet on maadoitettava. Maadoitus tapahtuu pylväissä. Suomessa ukkosjohtimia käytetään kaikilla 400:n ja 220 kV:n johdoilla sekä lähes kaikilla 110 kV:n johdoilla. Suomen vaikeat maadoitusolosuhteet vaikeuttavat ukkosjohtimien käyttöä keskijänniteverkoissa. /8/

Suojakipinäväli on rakenteeltaan yksinkertainen ja halpa. Niitä käytetään avojohtojen eristinketjujen yhteydessä muuttamaan sähkökentän muotoa ja ohjaamaan siten valokaaren kulkua. Yleisesti myös keskijänniteverkon pylväsmuuntamot, joiden teho on alle 200 kVA, varustetaan myös suojakipinäväleillä. Suuremmat muuntajat suojataan yleensä venttiilisuojaavien avulla. Kipinävälän haittana on mm. sen toiminasta aiheutuva maasulku, josta puolestaan aiheutuu sähkökatkos. Kipinävälän ylilyöntijännitteen hajonta on suuri, mikä vaikeuttaa luotettavaa suojausta. /8/

Venttiilisuoja on tehokkain ylijännitteitä rajoittava suojalaite. Se kytketään normaalisti vaihejohtimen ja maan välille, mutta voidaan tarvittaessa kytkeä myös kahden vaiheen väliin. Venttiilisuoja pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle suojattavaa kohdetta. Venttiilisuojat voidaan rakenteensa perusteella jakaa kipinävälillisiin ja kipinävälittömiin suojiin. Kipinävälittömässä suojassa venttiilisuojan muodostaa metallioksidista (ZnO) valmistettu epälineaarinen vastus. Verkkoon asennettavat uudet suojat ovat lähes poikkeuksetta metallioksidisuoja. /8/

3. KESKIJÄNNITEKOJEET JA -KAAPELIT

3.1. Erottimet

Kojeistot varustetaan erottimilla verkosta erottamista varten. Kojeistojen erotointoiminto toteutetaan joko erillisillä erottimilla, kuormanerottimilla tai vaunuratkaisuna. Vaunuratkaisussa erotusväli aikaansaadaan siirtämällä vaunuun sijoitettua kytkinlaitetta siirtolaitteen avulla erotusasennosta käyttöasentoon ja päinvastoin. Varustamalla siirtovaunu moottoriohjaimella saadaan vaunuratkaisusta kaukokäyttöön soveltuva. Erottimen asennon on oltava todettavissa. Vaatimus voidaan täyttää, kun

- erotusväli on näkyvissä.
- vaunun asento on nähtävissä.
- erottimen asento on ilmaistu luotettavalla asennonosoituksella. /1/

Erottimien käyttötilanteet on määritelty sähköturvallisuusmääräyksissä, joiden perusteella erottimien tehtävänä on:

- turvallisen avausvälin muodostaminen erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille.
- laitoksen osan saaminen jännitteettömäksi turvallista työskentelyä varten. /8/

Edellä esitetyt turvallisuusvaatimukset ovat määränneet erottimien normaalit käyttötavat. Mikäli energian virtaussuunnalle on olemassa vain yksi vaihtoehto, riittää, että erotin sijoitetaan katkaisijan ja syöttävän kiskon väliin. /8/

Erottimien käyttötarkoitukset:

- laitteiden erotus käyttöjännitteestä (esim. katkaisija) huollon tai tarkastuksen ajaksi
- virtapiirin erotus sellaisesta kohdasta, josta se on voitava jakaa osiin
- näkyvän avausvälin aikaansaaminen, joka on tarpeen laitteen jännitteettömäksi tekemisessä. /12/

Em. lisäksi erottimia käytetään keskeytymättömän käytön mahdollistavina ohituserottimina sekä maadoituserottimina estämään vikavirtojen ja indusoituneiden jännitteiden vaaravaikutuksia verkossa työskenneltäessä. /12/

Erotin on mekaanisesti toimiva kytkinlaite, joka auki-asennossa saa aikaan luotettavan avausvälin ja kiinni-asennossa kykenee johtamaan kuormitus- ja oikosulkuvirran, mutta jolta ei yleensä vaadita katkaisu- eikä sulkemiskykyä virrallisena. /12/

Auki-asennossa erottimen avausvälin on oltava selvästi nähtävissä tai ilmaistu muulla luotettavalla tavalla. Kiinni-asennossa erottimen on yhdistettävä virtapiirin kumpikin osa luotettavasti ja sen on kestävä samat rasitukset kuin siihen liitetyn johdon tai kiskoston. Luotettavuus edellyttää myös erottimen käyttölaitteineen olevan sellainen, ettei erotin voi

avautua tai sulkeutua painovoiman, tuulen, värinän, iskun tai tahattoman kosketuksen kautta. Jotta erottimia ei vahingossakaan ohjattaisi virrallisina, ne voidaan lukita joko sähköisesti tai mekaanisesti ääriasentoihin mm. lukitusmagneetein. Erottimen ohjaukseen voidaan käyttää:

- käsiohjainta
- paineilmaohjainta
- moottoriohjainta. /12/

Kuormanerotin

Kuormanerotin on kytkinlaite, joka on sekä kytkin että erotin. Kytkin on kytkinlaite, joka pystyy katkaisemaan ja sulkemaan määrätyn virran sekä johtamaan kuormitus- ja oikosulkuvirran. /12/



Kuva 7. ABB NAL -kuormanerotin /4/

Sisään asennettava kuormanerotin (kuva 7) on rakenteeltaan täydennetty suurjännite-erotin. Varsinaisten kytkentäveitsien lisäksi kuormanerottimessa ovat kipinäveitset ja sammutuskammiot. /12/

Kuormanerotin avataan ja suljetaan ohjaimen avulla. Erottimen avaus- ja sulkemisnopeuden määrää kuormanerotin jousilaite. Avattaessa pääveitset avautuvat ensin, jolloin virta kulkee pääveitsien kautta. Hetkistä myöhemmin avautuvat kipinäveitset synnyttäen valokaaret sammutuskammioihin. Sammutuskammioiden vaikutuksesta valokaari sammuu ennen kuin veitset tulevat kammiosta ulos. Suljettaessa kuormanerotin sen pääveitset sulkeutuvat ennen kipinäveitsiä. /12/

Kuormanerotimia käytetään erottamaan kuormitusvirrallisia verkon osia toisistaan esim. rengasverkoissa ja haaroissa, joissa yhtenäisenä vikasuojana on katkaisija tai varokekuormanerotin. /12/

Varokekuormanerotin

Varokekuormanerotin (kuva 8) on vapaalaukaisulaitteella ja sulakkein varustettu kuormanerotin. Yhdenkin sulakkeen toiminta saa aikaan kuormanerotin auki-ohjauksen ja siten piirin kaikkinaisen erottamisen. Erotin estolaite estää erottimen sulkemisen, jos yksikin palanut sulake on vaihtamatta. Varokekuormanerotinta käytetään kytkinlaitteena ja oikosulkusuojana esim. ennen muuntajaa tai johtohaaraa. /12/



Kuva 8. ABB NALF -varokekuormanerotin /4/

3.2. Katkaisijat

Katkaisijat ovat kojeita, joita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Ne voivat toimia sekä käsinohjauksessa, kauko-ohjauksessa että automaattisesti suojauksen toimiessa. Tavallisin automaattinen katkaisijatoiminta on avautuminen ylivirran (esim. oikosulku- tai maasulkuvirta) vaikutuksesta. Avautumiskäskyn antaa katkaisijalle tällöin virtapiiriin kytketty rele. Myös sulkeutuminen voi tapahtua automaattisesti erityisen jälleenkytkentäreleistyksen käynnistämänä. /9/

Katkaisijalle on tyypillistä, että se kykenee vaurioitumatta sekä avaamaan että sulkemaan oikosulkupiiriin, ts. piiriin, jossa virta on moninkertainen katkaisijan nimellisvirtaan verrattuna. /9/

3.2.1. Katkaisutapahtuman pääpiirteet

Virtapiirin katkaisulle on luonteenomaista, ettei virta katkea heti katkaisijan koskettimien avautuessa, vaan virtapiiri pysyy suljettuna valokaaren välityksellä. Valokaaren syntyminen tapahtuu koskettimien avautuessa seuraavasti:

- Kosketinpaineen pienentyessä kosketusvastus kasvaa ja kosketinpinnat lämpenevät.
- Viimeiset kosketuspisteet sulavat ja koskettimien irtautuessa syntyy sula metallinen silta koskettimien välille.
- Metallisilta höyrystyy, ja sen johtavuus pienenee ja seuraa läpilyönti.
- Metallihöyry ja sitä ympäröivä väliaine (ilma, öljy tms.) ionisoituvat ja syntyy johtava kaasuplasma. Näin muodostuu valokaarikanava, jossa virta kulkee. /9/

Valokaarella on olennainen osa myös virran katkaisussa. Suuren virran aikana valokaaren johtavuus on nimittäin varsin hyvä, mikä sallii koskettimien avautumisen niin etäälle toisistaan, että syntynyt avausväli kestää täyden jännitteen valokaaren sammuttua. Virran pienetessä valokaaren vastus kasvaa. Erityisesti virran nollakohdassa valokaaren resistanssi kasvaa hyvin nopeasti, kun valokaarta jäähdytetään sopivasti. Valokaari toimii siten kytkimen tavoin, muutos johteesta eristeeksi tapahtuu vaihtovirralla virran nollakohdassa. /9/

Vaihtovirtakatkaisijoissa käytetään katkaisussa hyväksi virran luonnollisia nollakohtia. Katkaisun helpottamiseksi valokaarta pidennetään, se jaetaan useaan osaan ja sitä jäähdytetään tehokkaasti. Lisäksi valokaarta ympäröivä väliaine valitaan siten, että se edesauttaa valokaaren sammumista. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta valokaari muuttuu virran nollakohdassa erittäin lyhyessä ajassa johteesta eristeeksi. Tämä olotilan muutos pyritään aikaansaamaan riittävän joustavasti, jottei virta katkeaisi liian nopeasti (ylijännitevaara). /9/

Valokaaren pienentämiseen voidaan käyttää katkaistavan virran itsensä aikaansaamaa magneetikenttää. Tähän päästään jo koskettimien sopivalla muotoilulla. Suurilla katkaisutehoilla saattaa erillisen magneettipuhalluksen käyttö olla tarpeen. /9/

Tärkeimmät valokaaren ositus- ja jäähdytysmenetelmät katkaisijoissa perustuvat valokaarta ympäröivien seinärakenteiden ja sopivien väliaineiden käyttöön. Kiinteiden seinämien käytön tarkoituksena on, että valokaari niitä koskettaessaan jäähtyy tehokkaasti seinämien lämpökapasiteetin takia. Katkaisukammiossa käytettävät väliaineet taas hajoavat valokaaren vaikutuksesta kaasuiksi, jotka deionisoituvat ja jäähdyttävät itse valokaarta edesauttaen sen sammumista. /9/

3.2.2. Katkaisijan valinta

Katkaisijan toiminnan kannalta vaativin toimenpide on oikosulkupiirin katkaisu. Katkaisutapahtuman jälkeen katkaisijan koskettimien välille tuleva jännite eli palaava jännite on riippuvainen poiskytkettävän kuormituksen ominaisuuksista. Tästä johtuen

kuormituksen laatu vaikuttaa katkaisijan valintaan. Katkaisijan valinnassa on huomioitava seuraavat seikat:

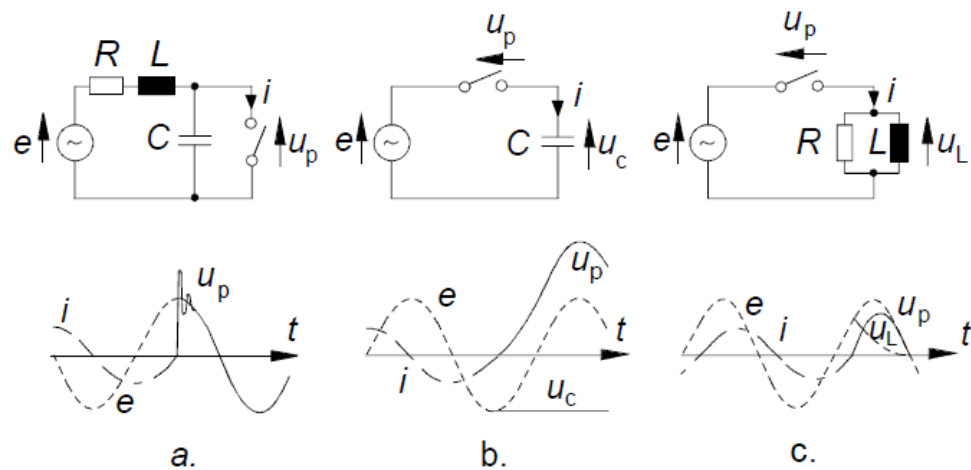
- kuormituspiirin suurin käyttöjännite, joka määrää katkaisijan nimellisjännitteen U_N
- kuormituspiirin suurin jatkuva virta, joka määrää katkaisijan nimellisvirran I_N
- kuormituspiirin suurin oikosulkuvirta
- oikosulkuvirran kestoaika
- kytkentätiheys
- käyttöjännitteen taajuus
- ympäristöolosuhteet
- mekaaniset mitat. /8/

Katkaisijan on pystyttävä katkaisemaan suurin sijoituspaikalla esiintyvä oikosulkuvirta. Normeissa määritellään katkaisukyky symmetrisellä ja epäsymmetrisellä oikosulkuvirralla.

- Katkaisukyky symmetrisellä oikosulkuvirralla ilmoitetaan tehollisarvona (kA).
- Standardoidut arvot ovat samat kuin kytkinaseman muidenkin kojeiden virta-arvot (I_{term}).
- Katkaisukyky epäsymmetrisellä oikosulkuvirralla ilmoitetaan antamalla sallittu oikosulkuvirran alkuarvo I_k tehollisarvona.
- Pika- ja aikajälleenkytkentää huomioiden tulee katkaisijan kestää myös oikosulun termiset rasitukset. Katkaisijoille ilmoitetaan yleensä yhden sekunnin termien oikosulkuvirtakestoisuus I_{term} .
- Lisäksi on katkaisijan luonnollisesti kestävä mekaanisesti epäsymmetrisen oikosulkuvirran hetkellinen alkuarvo i_{dyn} .
- Sulkemiskyky on oikosulussa olevan verkon suurin sallittu oikosulkuvirta, jonka katkaisija voi kytkeä jännitteeseen verkkoon koskettimien hitsautumatta. /8/

Katkaisijan rasitukset katkaisun aikana riippuvat katkaistavan virran suuruudesta ja vaihesiirrosta sekä ns. palaavan jännitteen ominaisuuksista, etenkin viimeksi mainitun jyrkkyydestä ja maksimiarvosta. Yleisesti ottaen induktiivisen virran katkaisu on vaikeampaa kuin resistiivisen. Tämän vuoksi esimerkiksi katkaisukokeet suoritetaan tehokertoimella $\cos \theta = 0,15$. /8/

Tärkeimmät katkaisutilanteet ja niihin liittyvät palaavat transienttijännitteet ovat kuvan 9 mukaiset.



Kuva 9. IEC standardin 60265-1 (1198) mukaiset sijaispiirit. a) induktiivisen virran b) kapasitiivisen virran c) kuormitusvirran katkaisu /1/

3.2.3. Katkaisijoiden ryhmittely

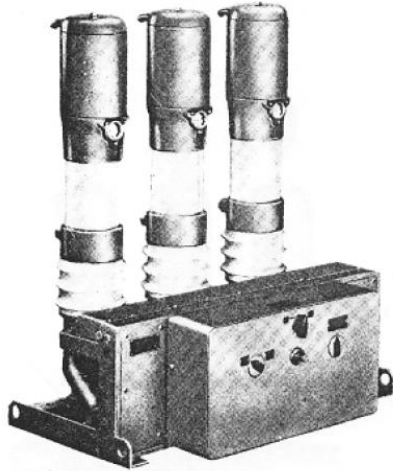
Virtapiirin katkaisussa virta ei katkea välittömästi katkaisijan koskettimien avautuessa, vaan virtapiiri pysyy suljettuna valokaaren välityksellä. Valokaari sammutetaan sitä ympäröivän sammutusväliaineen avulla. Käytetyn sammutusväliaineen perusteella katkaisijat voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF6-katkaisijat
- tyhjökatkaisijat. /8/

Näistä vähäöljy-, SF6- ja tyhjökatkaisimia käytetään yleisimmin. Erityisesti SF6-katkaisijat ovat vähitellen korvaamassa vähäöljykatkaisijoita. Tässä työssä käsitellään siten tarkemmin ainoastaan vähäöljy-, tyhjö- ja SF6-katkaisijoita.

3.2.4. Vähäöljykatkaisija

Vähäöljykatkaisija (kuva 10) on öljykatkaisija, jossa öljyn määrä on erittäin pieni. Katkaisijan navat on erotettu toisistaan ilmaväleihin ja kunkin navan öljymäärä on saatu pieneksi. Tällä rakenteella on saatu vaiheiden ulkoinen eristys paremmaksi. Valokaaren katkaisu perustuu öljyn höyrystyessään kehittämään paineeseen ja paineen aikaansaamaan öljyvirtaukseen. Höyrystyessään öljy sitoo lämpöä ja siten jäähdyttää valokaarta. Kun öljyn virtaus suunnataan sopivasti solakkojen avulla kohti valokaarta, saadaan kosketinkärkien välinen eristyslujuus kasvamaan nopeasti. /9/



Kuva 10. Vähäöljykatkaisija OSAP 20 W /14/

Paine saattaa nousta hyvin suureksi, jopa 10 MPa:iin. Öljyn virtauksen määräävät paineen ja kammion sisäisen muotoilun lisäksi erilaiset öljyn virtausta tehostavat pumppauslaitteet. Öljyn virtaus voidaan suunnata valokaaren suuntaan tai kohtisuoraan sitä vastaan. Pumpatun öljyn hyöty kasvaa katkaistavien virtojen pienetessä, jolloin valokaaren painevaikutus on vähäisempi. /9/

Vähäöljy-katkaisijan ohjaaminen tapahtuu jousimekanismin avulla. Ohjaimen kiinnikytöntäjousi viritetään moottorilla tai käsin. Aukiohjausjousi virittyy ohjattaessa katkaisija kiinni. Katkaisijaa ohjaamaan voidaan kytkeä joko päävirta- eli ensioreleet tai toisioreleet sekä pika- ja aikajälleenkytkentäreleistöt. /13/

Vähäöljykatkaisijan tyypillinen käyttöalue on 7,2 - 123 kV. Vähäöljykatkaisijoiden määrä on viime vuosina pienentynyt. Monet valmistajat ovat lopettaneet niiden valmistamisen, mutta niitä on kuitenkin edelleen runsaasti käytössä verkossa. Vähäöljykatkaisijoita on korvattu lähinnä SF6-katkaisijoilla ja keskijännitteellä myös tyhjö-katkaisijoilla. /8/

3.2.5. SF6-katkaisija

SF6-katkaisijan (kuva 11) etuina ovat palamattomuus, suuri valokaaren jäähdytyskyky, yhdellä katkaisuyksiköllä saavutettava suurempi palaavan jännitteen kestävyys ja tästä johtuva suurempi katkaisuteho kuin kilpailevilla periaatteilla. Harvemmistä katkaisupäistä johtuen SF6-katkaisija on yleensä taloudellisin katkaisijavaihtoehto jännitteillä 123...765 kV. Keskijännitteellä katkaisupäiden lukumäärä ei ole merkittävä tekijä, vaan keskeisiä ominaisuuksia ovat palamattomuus, vähäinen huollon tarve ja pienet katkaisuylijännitteet. Keskijännitteellä SF6-katkaisijan kuoret voidaan lisäksi valmistaa valuhartsista ja kaikki jännitteelliset osat suojata, mikä mahdollistaa erittäin pienet vaihevälit ja pienikokoiset kojeistot. /9/

SF6-katkaisijoiden huollontarpeesta voidaan mainita, että sen mekaaninen elinikä on yleensä luokkaa 5000...10000 toimintakertaa. Itse katkaisuelimet kestävät tyypillisesti 10...20 katkaisua täydellä oikosulkuvirralla ja useita tuhansia toimintakertoja

nimellisvirralla. SF6-katkaisijoiden ongelmia ovat olleet mm. valokaaren aiheuttamat myrkylliset ja kosteuden kanssa korroosiota aiheuttavat yhdisteet, kaasun nesteytyminen alhaisissa lämpötiloissa sekä suuri ohjausenergian tarve yli 100 kV:n jännitteillä. Myös tiivisteet ovat osoittautuneet ongelmallisiksi $-40...-50\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötiloilla. /9/



Kuva 11. ABB:n HD4 SF6 -keskijännitekatkaisija /5/

SF6-keskijännitekatkaisijan ohjaimet ovat moottori- tai käsiviritteisiä jousiohjaimia. Ensimmäiset kehittyneemmät SF6-katkaisijat toteutettiin kaksipainekatkaisijoina, joissa johdettiin katkaistaessa kaasua korkeapaineosasta matalapaineosaan. Järjestelmän haittoina olivat monet tarvittavat apulaitteet. SF6- ja seoskaasukatkaisijoiden yleistyminen alkoikin vasta, kun siirryttiin yksipainejärjestelmään. Siinä paine-ero ja kaasun virtaus saadaan aikaan avausliikkeen aikana liikkuvaan koskettimeen kytketyllä mäntä-sylinterijärjestelmällä (ns. autopneumaattinen periaate, pufferikatkaisija). Autopneumaattinen periaate edellyttää suurta ohjausenergiaa ja se rasitti katkaisijan kilpailukykyä erityisesti keskijännitealueella. Tästä syystä on keskijänniteverkkoihin kehitetty SF6-katkaisijoita, joissa valokaaren sammuttamiseen tarvittava energia otetaan katkaistavasta virrasta esim. pyörittämällä valokaarta virran itsensä aiheuttaman magneettikentän avulla. Lisäksi valokaaren aiheuttamaa SF6-kaasun paineenousua voidaan käyttää valokaarta jäähdyttävän kaasun virtauksen synnyttämiseen (ns. self-blast-periaate). Näin SF6-keskijännitekatkaisijoiden katkaisuenergia on saatu jopa pienemmäksi kuin vähäöljykatkaisijoilla. /9/

SF₆-katkaisijat soveltuvat lähes kaikkiin katkaisutilanteisiin, joskin palaavan jännitteen jyrkkyyteen tulee kiinnittää huomiota esim. muuntajan syöttämän vikavirran katkaisussa. Erinomaisen hyvin SF₆-katkaisija soveltuu kompensoimislaitteiden katkaisijaksi, sillä se pystyy katkaisemaan nimellisvirtansa huollotta tuhansia kertoja. /9/

3.2.6. Tyhjäkatkaisija

Tyhjäkatkaisijat (kuva 12) poikkeavat edellisistä katkaisijarakenteista siinä, että ne ovat rakenteeltaan hyvin yksinkertaisia. Periaatteessa tarvitaan vain kiinteä ja liikkuva kosketin, jotka molemmat sijoitetaan tyhjösäiliöön. Kun koskettimet erkanevat toisistaan, jää valokaari palamaan kosketinpinnoilla höyrystyneeseen metallipilveen eikä ionisoituneeseen kaasuun, kuten muissa katkaisijarakenteissa. Virran nollakohdassa ionisaatio katoaa ja itse höyry tiivistyy. Tämä prosessi tapahtuu hyvin nopeasti, mistä syystä tyhjäkatkaisijan katkaisukyky ei riipu juuri ollenkaan palaavan jännitteen muodosta ja jyrkkyydestä. Olennaisimmin valokaaren syntymiseen, palamiseen ja sammumiseen vaikuttavat kosketinpinnoilla käytettävät elektrodiaineet (höyrystymispiste, terminen johtavuus). Luonnollisesti myös kuorirakenteen on oltava ehdottoman tiivis. Tästä syystä käytetään mm. keraamisia eristimiä, jotka voidaan kovajuottaa metalliosien kanssa. /9/

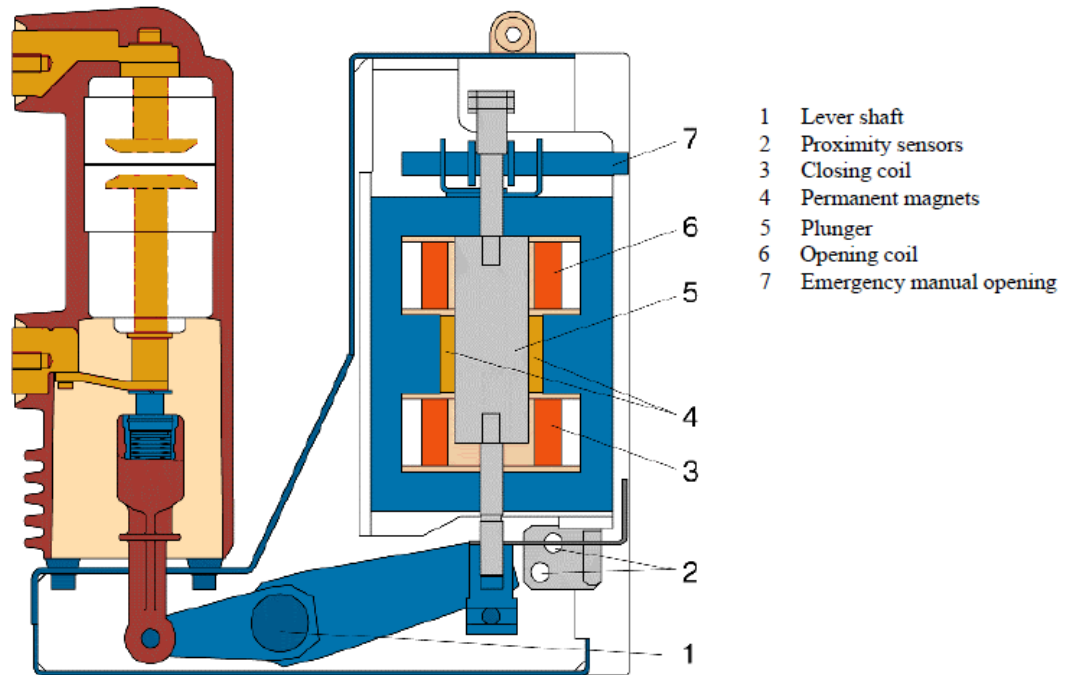
Katkaisukammio imetään noin 10⁻⁶ bar tyhjään, jolloin ollaan riittävän kaukana Pachenin käyrän minimistä. Katkaisijan toiminnan ehdottomana edellytyksenä on katkaisukammion tyhjän säilyminen. Toinen koskettimista on liikkuva ja sen liike on hyvin lyhyt (16 mm). Kammiossa käytetyt materiaalit ovat vähäkaasuisia sekä täysin puhtaita ja vapaita helposti höyrystyvistä aineista. Materiaalina käytetään hapetonta kuparia, kromi-nikkeliseosta sekä raudasta, nikkelistä ja koboltista valmistetusta metalliseoksista. Kosketinmateriaalin valintaan vaikuttavat lisäksi vaatimukset suuresta katkaisukykyväydestä, pienestä virran leikkaantumuksesta, vähästä hitsaantumisoimasta ja hyvästä johtavuudesta. /8/

Tyhjäkatkaisijassa katkaisuvalokaaren muodostaa elektrodeista höyrystynyt metalli. Alle 10 kA:n virroilla valokaari palaa koskettimien välillä liikkuen niiden pinnalla. Tästä johtuen koskettimien kulumisen on vähäistä. Yli 10 kA:n virroilla valokaari pyrkii keskittymään. Tämän estämiseksi koskettimiin muotoillaan vinoja uria. /1./

Koska katkaisuaika on hyvin lyhyt, on katkaisuenergiakin pieni. Tästä on seurauksena, että tyhjäkatkaisija ei kuluta kuormituspiirin reaktanssiin varastoitunutta energiaa valokaareissa, kuten esimerkiksi SF₆-katkaisija, vaan aiheuttaa ns. repäisevän katkaisun. Koska tyhjäkatkaisijan jännitelujuus palautuu nopeasti, ei syntyvä ylijännitevaara vaikeuta katkaisijan toimintaan (jälleensyttymisvaara), mutta voi vahingoittaa kuormituspiiriin kytkettyjen laitteiden eristyksiä. Tyhjäkatkaisijan yhteydessä tulisikin käyttää kuormituspuolella sinkkioksidilyijänitesuojia. /8/

Itse katkaisuyksikköä ei yleensä tarvitse huoltaa. Katkaisijayksikön sähköinen elinikä on tyypillisesti 20...100 toimintaa täydellä oikosulkuvirralla ja 10000...20000 toimintaa nimellisvirralla. Mekaaninen elinikä on 10000...30000 toimintaa sekä katkaisijalle että ohjaimelle. Katkaisijan taloudellinen kilpailukyky syntyy sen huoltovapaudesta: ainoastaan ohjain tarvitsee voitelua määrävälein (n. 10 vuotta). /9/

Tyhjökatkaisija on perinteisesti jousiviritteinen ja se sisältää runsaasti mekaanisia osia. Jousiratkaisun rinnalle on kehitetty magneettinen laukaisija (kuva 12), joiden kestmagneettitoimielin on olennaisesti vähentänyt laitteen mekaanisten osien määrää ja parantanut luotettavuutta ja jämääkkyttä. Magneettilaukaisu on optimaalinen ratkaisu kohteissa, jossa kytkentöjen määrä on hyvin suuri.



Kuva 12. Magneettilaukaisuun perustuva tyhjökatkaisija /6/

3.3. Mittamuuntajat

Mittamuuntajat ovat virran tai jännitteen mittaukseen tarkoitettuja erikoisrakenteisia muuntajia, joiden tehtävänä on

- muuttaa mitta-alaa, jolloin mitta- ja suojalaitteiden standardointi on mahdollista.
- erottaa mittauspiiri päävirtapiiristä.
- suojata mittauspiiriä ylikuormituksilta.
- mahdollistaa mittalaitteiden sijoittaminen etäälle mittapaikasta. /13/

Idealisella muuntajalla impedanssit ovat nollia ja raudan permeanssi on ääretön. Todellisuudessa

- raudan permeanssi ei ole ääretön, mistä johtuu magnetoimisvirta.
- permeanssi riippuu epälineaarisesti kuormitusvirrasta.
- impedanssit aiheuttavat jännitehäviöitä. /13/

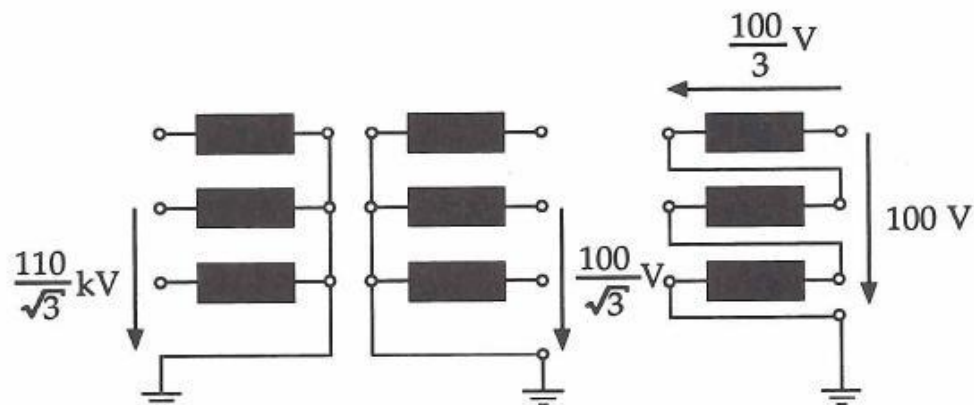
Nämä tekijät aiheuttavat virheitä ideaaliseen tilanteeseen nähden. Virtamuuntajan virtavirhe aiheutuu magnetoimisvirrasta, jonka suuruus riippuu sekä mitattavasta virrasta että virtamuuntajan toisiotaakasta. Jännitemuuntajalla jännitevirheen aiheuttaa muuntajassa tapahtuva jännitehäviö, joka riippuu sekä muuntajan impedansseista että kuormitusimpedansseista riippuvasta kuormitusvirrasta. Mittamuuntajien ominaisuuksia voidaan tutkia käyttäen tavallisille muuntajille sovellettua sijaiskytkentää. On vain muistettava, että virtamuuntajan toisiokäämi on käytännössä lähes oikosuljettu, ja jännitemuuntajan toisiokäämi lähes avoin. /13/

3.3.1. Jännitemuuntaja

Jännitteen mittaustapoja ovat:

- resistiivinen jännitteenjakaja (vain laboratorioissa)
- kapasitiivinen jännitteenjakaja
- magneettinen jännitemuuntaja
- kapasitiivinen jännitemuuntaja (kahden edellisen yhdistelmä). /13/

Jännitemuuntajien tehtävänä on jännitteen syöttö mittareille (mittaus) ja releille (suojaus). Tehtävät asettavat erilaisia vaatimuksia jännitemuuntajille. Käytännössä magneettiset jännitemuuntajat on yleensä tehty niin, että niissä on ainoastaan yksi rautasydän, joka palvelee sekä mittaus- että suojaustarkoitusta. Toision mahdollinen avokolmiokäämitys palvelee vain maasulkua, muuten yhteisellä rautasydämellä on useimmiten toisiossa yhteinen mittaus- ja suojauskäämi, joka täyttää sekä mittaus- että suojausvaatimukset. Ensiökäämitys on yhteinen. Jännitemittarit ja -releet kytketään rinnan jännitemuuntajan toisioon. Kuva 13 havainnollistaa jännitemuuntajaa, jossa on jännitekäämien lisäksi avokolmiokäämitys. /13/



Kuva 13. Jännitemuuntaja, jossa jännitekäämien lisäksi avokolmiokäämitys /13/

Jännitemuuntajan toisiopiirin yksi piste on maadoitettava toisioon siirtyvien vaarallisten ylijännitteiden estämiseksi, samoin kaikki kosketeltavissa olevat osat. Jännitemuuntajien toisiota ei saa koskaan oikosulkea. Toision vaiheet tulee varustaa ylivirta- ja oikosulkusuojauksella, jonka toimimisesta saadaan hälytys. /13/

Jännitemuuntajille asetetut vaatimukset on esitetty useissa kansainvälisissä ja kansallisissa standardeissa. Seuraava selostus perustuu standardiin IEC 60044-2 (1997).

Jännitemuuntajan tärkeimmät teknilliset arvot ovat:

- nimelliseristystaso, joka määritellään suurimman käyttöjännitteen, eristyskoejännitteen ja syöksyjännitekestoisuuden avulla (1,2/50 μ s).
- nimellisjännitekerroin, jonka tulo mitoitusensiöjännitteen kanssa ilmoittaa suurimman ensiöjännitteen, jolla muuntajaa on voitava käyttää tietyn ajan. Suojaustarkoituksiin valmistetulta jännitemuuntajalta edellytetään, että jännitemuuntaja pysyy tarkkuusluokassaan nimellisjännitekertoimen suuruiseen ylijännitteeseen asti.
- nimellisensiöjännite U_{pn} , joka on standardoitu IEC 60038 (1938) tai SFS 2664.
- nimellistoisiojännite U_{sn} , joka useimmin on 100 V tai 100:3 V.
- nimellistaakka S_n , joka ilmoittaa suurimman kuorman jolla jännitemuuntajaa voidaan kuormittaa sen pysyessä tarkkuusluokassaan. Mitoitustaakan standardiarvot ovat: 10 - 15 - 25 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 400 - 500 VA. Nimellistaakka on ilmoitettu $\cos \varphi$ arvolla 0,8 ind. Nimellistaakkaa valitessa on hyvä huomioida että mittamuuntaja on tarkimmillaan taakan ollessa (0,6...0,65* S_n).
- tarkkuusluokka, joka määrittää rajat joita mittausjännitemuuntaja ei saa ylittää ensiöjännitteen vaihdeltaessa 80...120 % nimellisjännitteestä (U_n) ja taakan vaihdeltaessa 25...100 % nimellistaakasta (S_n) (tehokerroin 0,8 ind).
- suojaustarkoituksiin valmistetun muuntajan on oltava luokissa 3P tai 6P.
- jännitevirhe, jolla tarkoitetaan toisiojännitteen ja toisioon redusoidun ensiöjännitteen prosentuaalista eroa. Jännitevirhe voidaan laskea kaavasta 1.
- kulmavirhe, joka on toisio- ja ensiöjännitteen välinen kulmaero, ja joka on määritelty positiiviseksi kun jännitteenosoitin on virtaosoitinta edellä. Kulmavirhe voidaan laskea kaavasta 2. /1/

Jännitevirheen laskentakaava:

$$f_u = \frac{u_2 - u_1}{u_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

missä

f_u on jännitevirhe [%]

u_2 on toisiojännite [V]

u_1 on toisioon redusoitu ensiöjännite [V]

Kulmavirheen laskentakaava:

$$\delta_u = \arg(u_2) - \arg(u_1) \quad (2)$$

missä

δ_u on kulmavirhe [rad]

Taulukossa 1 on esitetty mittausjännitemuuntajien tarkkuusvaatimukset (IEC 186).

Taulukko 1. Mittausjännitemuuntajien jännite- ja kulmavirheiden rajat /1/

Tarkkuusluokka	Jännitevirhe [%]	Kulmavirhe [min]
0,1	0,1	5
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
1	1	40
3	3	

Taulukossa 2 on esitetty suojausjännitemuuntajien tarkkuusvaatimukset (IEC 186A).

Taulukko 2. Suojausjännitemuuntajien jännite- ja kulmavirheiden rajat /1/

Tarkkuusluokka	Jännitevirhe [%]	Kulmavirhe [min]
3P	3	120
6P	6	240

Kippivärähtely

Kippivärähtely eli ferresonanssi syntyy sähköverkossa epälineaarisen tyhjäkäynti-induktanssin ja kapasitanssin välille. Kippivärähtelyn vaimentamiseen käytetään avokolmioon liitettyä vaimennusvastusta. Sen tehon on oltava n. 20...30 W jännitemuuntajan rautasydämien yhteismassan kilogrammaa kohti 100 % maasulussa. /1/

3.3.2. Virtamuuntajat

Virran mittaaminen on jännitteen mittaamista haasteellisempaa, sillä virta vaihtelee huomattavasti jännitettä enemmän. Vikatilanteen ja normaalin käyttötilanteen virtojen suhde voi olla useita kymmeniä jopa satoja, kun jännitteiden vastaava luku on usein pienempi kuin yksi ja maasuluissakin vain maasulkukertoimen suuruinen. /1/

Virtamuuntajan tärkeimmät teknilliset arvot ovat:

- termien kestovirta I_{th} (tehollisarvo), joka ilmoittaa suurimman ensiövirran, minkä virtamuuntaja kestää termisesti vahingoittumatta 1s ajan toisiokäämit oikosuljettuna.

- dynaaminen kestovirta I_{dyn} (huippuarvo), joka ilmoittaa kuinka suuren ensiövirran voimavaikutukset mittamuuntaja kestää vahingoittumatta toisiokäämit oikosuljettuna.
- eristystaso, joka määritellään suurimman käyttöjännitteen, eristyskoejännitteen ja syöksyjännitekestoisuuden avulla (1,2/50 μ s).
- nimellisensiövirta I_{pn} , minkä standardoidut nimellisarvot ovat 10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 A sekä näiden kymmenpotenssikerrannaiset ja -osat.
- nimellistoisiovirta I_{sn} , jonka standardiarvot ovat 1 A, 2 A ja 5 A, ja joista suositeltavat arvot ovat 1 A ja 5 A. Pitkillä suojareleen ja virtamuuntajan välisillä yhdysjohdoilla 1 A:n virta on suositeltavaa mittajohtimista aiheutuvan taakan pienentämiseksi.
- nimellistaakka S_n , jolla tarkoitetaan suurinta kuormitusimpedanssia virtamuuntajaa, voidaan kuormittaa kyseessä olevassa tarkkuusluokassa. Tavallisesti nimellistaakka ilmoitetaan kuitenkin tehona (VA), joka on mitoitustaakka kerrottuna nimellistoisiovirran (A) neliöllä. Mitoitustaakan standardiarvot ovat 2,5 - 5 - 10 - 15 ja 30 VA.
- virtavirhe f_i , joka on toisiovirran ja toisiopuolelle redusoidun ensiövirran itseisarvojen prosentuaalinen ero. Virtavirhe voidaan laskea kaavalla 3.
- kulmavirhe, joka on ensiö- ja toisiovirran ajallinen vaihesiirtokulma. Se on positiivinen, jos toisiovirta on ensiövirran edellä. Kulmavirhe voidaan laskea kaavalla 4.
- mittarivarmuuskerroin, jonka tulo nimellisensiövirran kanssa tarkoittaa sitä ensiövirran arvoa, jolla yhdistetty virhe on vähintään 10 %. Virtamuuntaja suojaa siihen kytkettyjä mittareita ylivilroilta sitä paremmin, mitä pienempi mittarivarmuuskerroin on. Kertoimen arvoja ei ole standardisoitu. Käytännössä tavallisia arvoja ovat 5 ja 10.
- tarkkuusrajakerroin, joka on mitoitustarkkuusrajavirran ja mitoitusensiövirran suhde. Tarkkuusrajavirta on puolestaan se ensiövirran arvo, jolla yhdistetty virhe on enintään 5 % luokassa 5P ja 10 % luokassa 10P.
- ylimitoituskertoimen, joka kertoo, kuinka moninkertaiseksi tarkkuusrajakerroin on nostettava, ettei virtamuuntaja kyllästyisi tasavirtakomponentin vaikuttaessa. /1/

Virtavirheen laskentakaava:

$$f_i = \frac{I_2 - I_1'}{I_1'} \cdot 100\% \quad (3)$$

missä

f_i on virtavirhe [%]

I_2 on toisiovirta [A]

I_1' on toisioon redusoitu ensiövirta [A]

Kulmavirheen laskentakaava:

$$\delta_i = \arg(I_2) - \arg(I_1) \quad (4)$$

missä

δ_u on kulmavirhe [rad]

Taulukossa 3 on esitetty mittausvirtamuuntajien tarkkuusvaatimukset (IEC 185).

Taulukko 3. Mittausvirtamuuntajan virta- ja kulmavirheiden rajat /1/

Tarkkuusluokka	Virtavirhe [%] virralla I/In						Kulmavirhe [°] virralla I/In				
	0,01	0,05	0,2	0,5	1	1,2	0,01	0,05	0,2	1	1,2
0,1		0,4	0,2		0,1	0,1		15	8	5	5
0,2		0,75	0,35		0,2	0,2		30	15	10	10
0,2S	0,75	0,35	0,2		0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,5		1,5	0,75		0,5	0,5	90	45	30	30	30
0,5S	1,5	0,75	0,5		0,5	0,5		180	90	60	60
1		3,0	1,5		1,0	1,0					
3					3,0	3,0					
5					5,0	5,0					

Taulukossa 4 on esitetty suojausvirtamuuntajien tarkkuusvaatimukset (IEC 185).

Taulukko 4. Suojausvirtamuuntajan virta- ja kulmavirheiden rajat /1/

Tarkkuusluokka	Virtavirhe [%]	Kulmavirhe [min]	Yhdistetty virhe [%]
3P	1	60	5
6P	3	-	10

Lineaarinen virtamuuntaja

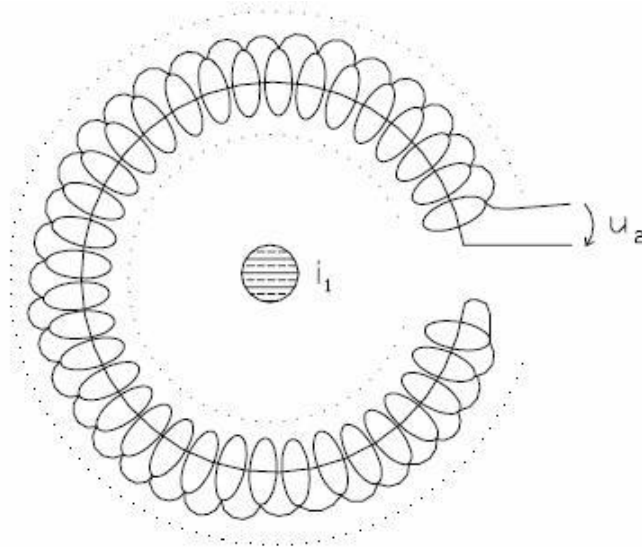
Sähkövoimansiirrossa häiriösuojaus vaatii joskus virtamuuntajalta oikeaa virran muuntamista myös epäsymmetrisissä oikosulkutilanteissa ja releeltä toimintaa alle yhden jakson ajassa. Tähän päästään lineaarisella suojausvirtamuuntajalla ja elektronisella releellä. Linearisoidun virtamuuntajan rautasydämessä on yleensä ilmavälejä. /1/

3.3.3. 20 kV:n virta- ja jännitesensorit

Digitaalitekniikan käyttö mittauksen ja suojauksen apuna sähköverkkojärjestelmissä antaa uusia mahdollisuuksia ja on muuttanut myös laitteille asetettavia vaatimuksia. Perinteisten mittamuuntajien tilalle ovat markkinoille tulleet uudet sensorit. Testitulokset osoittavat, että sensorien lämpötilariippuvuus, ylikuuluminen, taajuusvaste ja pitkän ajan stabiilius ovat riittävän hyviä korvatakseen perinteiset mittamuuntajat.

Virta-sensorit

Virtasensoria (kuva 14) käytetään sekä mittaukseen että suojaukseen. Virtasensorin toiminta perustuu ns. Rogowskin kelaan tai käämiin. Sensori on lineaarinen läpi koko mittausalueen, sillä ei-magneettisen materiaalin ympärille tehdyn käämin ulostulo ei kyllästy suurillakaan virroilla. Lähtösignaalina on jännite, joka on verrannollinen aikariippuvalle virranmuutokselle. Jännite integroidaan digitaalisesti ja tuodaan ulos lähdöstä ja tästä saadaan mitattava virta. Koska Rogowskin kela ei kyllästy, sitä voidaan käyttää virran mittaamiseen muutamasta ampeerista satoihin kiloampeereihin asti. Keski-jännitekojeistoissa käytettävissä sensoreissa voidaan saavuttaa $\pm 0.5\%$ tarkkuus, jos sensorin sydän ja käämitys on valmistettu huolellisesti. Epätarkkuutta aiheuttavat mm. lämpötilan vaihtelut, kokoonpanotoleranssi, muiden vaihevirtojen vaikutus ja ensiöjohtimen äärellinen pituus. /7/



Kuva 14. Virtasensorin periaate: paluujohdin kulkee käämin sisällä toroidiputkessa /7/

Käämin läpi menevä virta indusoi jännitteen u_2 , joka on esitetty kaavassa 5:

$$u_2 = -\mu_0 N A \frac{dI}{dt} = H \frac{dI}{dt} \quad (5)$$

missä

u_2 on toisista mitattu jännite [V]

μ_0 on tyhjiön permeabiliteetti

N on käämin kierrosten lukumäärä

A on yhden kierroksen pinta-ala [m^2]

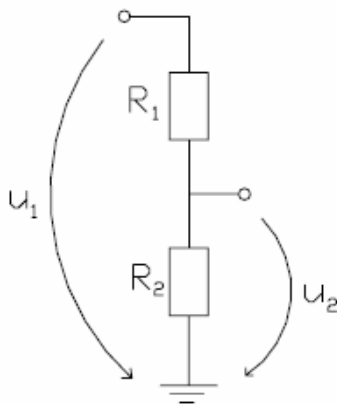
H on käämin herkkyys [Vs/A]

Toisista mitattu jännite on suuruudeltaan n. 150 mV, eli hyvin pieni verrattuna esim. rautasydämiseen virtamuuntajaan. /7/

Käytännön tapauksissa Rogowskin käämi on suunniteltu 50 Hz:n taajuusalueelle. Sen käyttöalue vaihtelee kuitenkin muutamasta hertsistä aina 100 kHz:iin asti. Mittaukseen, suojaukseen ja tehon laadun mittaukseen tämä on enemmän kuin tarpeeksi. Alhainen signaalitaso voi olla ongelma erilaisissa EMI-ympäristöissä (Electromagnetic Interference, sähkömagneettinen häiriö), kuten keskijännitekytkinkojeistoissa, jos EMC (Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus) näkökohtia ei ole otettu huomioon suunnittelussa ja testauksessa. /7/

Jännite-sensorit

Jännitesensorin (kuva 15) periaatteena on resistiivinen jännitteenjako. Jännitesensori on kyllästymätön ja ulostulojännite on lineaarinen koko mitta-alueella. Jännitesensorissa ei esiinny ns. kippivärähtelyä eli resonanssivärähtelyä, mitä esiintyy konventionaalisen jännitemuuntajan ja verkon kapasitanssien kesken. Jännitesensorin muuntosuhde on 10 000/1, jolloin 20 kV:n jännitteellä toisiojännitteeksi u_2 saadaan 2 V. /7/



Kuva 15. Jännitesensorin periaate /7/

Mitattava jännite u_2 saadaan jännitteenjakoperiaatteella kaavasta 6:

$$u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot u_1 \quad (6)$$

Sensorin tarkkuus on riippuvainen resistorin tarkkuudesta, tai siis tarkalleen ottaen jakosuhteen tarkkuudesta. Molemmat resistanssit saavat vaihdella, jos muutos on samaan suuntaan. /16/

Jännitesensorin epätarkkuus johtuu usein:

- resistanssin lämpötilakertoimesta
- resistanssin jännitekerroimesta (jännite, lämpötila)
- resistorin poikkeamasta

- hajakapasitanssista
- viereisen vaiheen vaikutuksesta (cross talk). /7/

Normaalisti saavutetaan ± 0.5 %:n tarkkuus. Tulon mittauksessa minimivaatimus tarkkuudelle on ± 0.2 %. Tämä tarkkuus voidaan saavuttaa hyväksikäyttämällä seuraavia parannuksia. Lämpötilan tasaus ja resistanssin jännitteenkerroin voidaan hoitaa sopivilla materiaaleilla ja resistorin mekaanisella suunnittelulla. /7/

Nimellinen lähtösignaalitaso on perinteisessä jännitemuuntajassa 100 V. Resistiivisessä jännitteenjakajassa lähtösignaalitaso on noin 1 V. Hyväksyttävät EMC-ominaisuudet täytyy taata suunnittelemalla ja testaamalla systeemi todellisessa ympäristössä. /7/

3.3.4. Mittamuuntajien sijoitus

Mittamuuntajien sijoitus vaikuttaa oleellisesti aseman käyttöön, suojaukseen, käyttövarmuuteen, huollettavuuteen ja kustannuksiin. Suomessa on ollut tapana sijoittaa avorakenteisessa kytkinlaitoksessa johtovirtamuuntajat katkaisijan ja johtoerottimien väliin ja jännitemuuntajat vain kiskoihin. Tahdistus- tai muita tarpeita varten johdolle on voitu sijoittaa 1-2 lisäjännitemuuntajaa. Virtamuuntajien sijoittelu on perua ajalta, jolloin Suomen siirtoverkko oli vielä harvaan silmukoitu, minkä takia johdolla, ts. ohikytkennän ulkopuolella sijainneen virtamuuntajan vika olisi merkinnyt pitkää johtokeskeytystä. Omaksutun sijoittelun haittana on relesuojauksen vaikeutuminen ja sen herkkyiden heikkeneminen katkaisijan ohikytkentätilanteessa. /9/

Jännitemuuntajien sijoittelu on taas perustunut puhtaasti taloudellisuuteen. Kiskoon sijoittamisen riskinä on, että jännitemuuntajanvika ml. toisiopiirien viat on aina kiskovika, jonka seurauksena kaikki kiskoon liittyvät johdot on laukaistava. Tosin jännitemuuntajavika on esim. virtamuuntajavikaa harvinaisempi ja toisiopiirin vikojen seurausvaikutukset voidaan rajata vain ao. kenttään järjestämällä jännitemuuntajille kenttäkohtainen toisiojaku. /9/

Kansainvälinen käytäntö on ollut sijoittaa mittamuuntajat suojattavan kohteen yhteyteen. Esimerkiksi johtovirtamuuntajat sijoitetaan johtoerottimesta katsoen johdon puolelle, siis ohikytkennän ulkopuolelle. Vastaavasti menetellään jännitemuuntajien kanssa. Näkökohtia, jotka puoltavat menettelyä, ovat mm.:

- Sijoitettaessa virtamuuntajat johdolle johdon suojaus pysyy muuttumattomana kiskokatkaisijalla toteutettavissa ohikytkennöissä eikä johtosuojauksen herkkyys heikkene ohikytkennässä. Periaatteessa kiskokatkaisijakentän suojaus voidaan jättää kokonaan pois tai sitä voidaan ainakin keventää.
- Jännitemuuntajien toisiopiirit ja relesuojaus yksinkertaistuvat ja luotettavuus paranee.
- Jännitemuuntajavika vaikuttaa vain yhden johtolähdön suojaukseen.
- Tahdissaolon valvonta paranee. /9/

Haittapuolina on taas:

- Hinta muodostuu korkeammaksi.
- Kiskovika-alue laajenee käsittämään myös johto- ja ohikytentäerottimet sekä ohikytentöjen aikana myös apukiskon.
- Mittamuuntajavika merkitsee harvaansilmukoidussa verkossa pitkää johtokeskeytystä.
- Mittamuuntajahuolto merkitsee johtokeskeytystä.
- STM:n edellyttämä, katkaisijatoimintoon asti ulottuva relekoestus monimutkaistuu ja lisää virhemahdollisuuksia, ellei koestuksen ajaksi järjestetä johdolle keskeytystä tai kytketä suojausta irti.
- Mittamuuntajien ylijännitesuojauksen takia voi olla tarpeellista varustaa myös johtolähdöt ylijännitesuojin. /9/

Edellä esitettyjen näkökohtien luettelo osoittaa, että objektiivisten ja yleispätevien johtopäätösten teko mittamuuntajien sijoituspaikasta ei ole helppoa. Yleissääntönä voitaneen sanoa Suomessakin nyt, että mittamuuntaja tulee sijoittaa niin, että se on osana suojattavaa kohdetta. /9/

3.4. Keskijännitekaapelit

Sähköturvallisuusministeriön määräyksien mukaan kaapelin on rakenteeltaan sovelluttava sen käyttöpaikalla esiintyviin rasituksiin. Lisäksi maahan tai veteenlaskettavassa kaapelissa on oltava mekaaninen tai sähkömekaaninen suojakerros. Mekaaninen suojakerros voi olla kaapelin vedenpitävän vaipan päällä oleva erillinen metallinen suojakerros, esim. teräsnauhakerros. Sähkömekaaninen suojakerros muodostuu siten, että kaapelissa on langoista tai nauhoista tehty konsentrisen johdin ja sen päällä vahva muovinen (vedenpitävä) vaippa. /12/

Suurjännitekaapelin johtimen päälle puolijohtavasta materiaalista puristetun tai puolijohtavista nauhoista kierretyn johdinsuojan tehtävänä on pienentää johdinlankojen aiheuttamia sähkökentän voimakkuushuippuja. /12/

Johdineristykseksi nimitetään johtimen tai johdinsuojan päällä mahdolliseen hohtosuojaan saakka ulottuvaa eristystä. Metallinauhoista, metalloiduista eristysnauhoista, puolijohtavista nauhoista kierretyn tai puolijohtavasta massasta puristetun hohtosuojan tehtävänä on rajoittaa johtimen sähkökenttä kahden sylinteripinnan väliin. /12/

Ns. H-suojatuissa kaapeleissa, joissa jokaisella johtimella on eristyksen päällä hohtosuoja, ei ole lainkaan vyöeristystä. Tästä syystä voimakaapelit jaetaan usein sähköisistä ominaisarvoista puhuttaessa H-suojattujen ja vyöeristettyjen kaapelien ryhmiin. /12/

3.4.1. Kaapelityypit

Tässä luvussa on esitetty yleisimmät keskijännitteellä käytössä olevat kaapelityypit sekä niiden rakenteet.

APYAKMM

APYAKMM on perustyyppiltään 3-johdin-maakaapeli. Ominaisuuksiltaan se on alumiinijohtiminen, paperieristeinen sekä alumiinivaippainen. Kaapelin tarkemmat ominaisuudet on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. APYAKMM-kaapelin rakenne /12/

Johdin	Alumiini. Tiivistetty pyöreä köysi
Johdinsuoja	Puolijohtava nokipaperi
Eristys	Kyllästetty paperi
Hohtosuoja	Puolijohtava nokipaperi
Kyllästys	Valumaton kyllästysmassa
Vaippa	Alumiini. Tiivistetty pyöreä köysi
Suoja	Korroosionestokerros ja musta polyeteenimuovivaippa
Kaapelointi	Vaipatut johtimet kerrattu yhteen muovitäyttein
Ulkovaippa	Musta polyeteenivaippa Kaapelin poikkileikkaus on kolmionmuotoinen Ulkohalkaisija tarkoittaa ympäröivien ympyränhalkaisijaa

AHXCMMK

AHXCMMK on perustyyppiltään 3-johdin-muovimaakaapeli. Ominaisuuksiltaan se on alumiinijohtiminen ja PEX-eristeinen. Kaapelin tarkemmat ominaisuudet on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. AHXCMMK-kaapelin rakenne /12/

Johdin	Alumiini. Tiivistetty pyöreä köysi
Johdinsuoja	Puolijohtava muovi
Eristys	PEX-muovi
Hohtosuoja	Puolijohtava muovi ja nokipaperikerros
Kyllästys	Kerros kuparilankoja ja kuparinauhasidos
Vaihevaipat	Musta PVC-muovi
Kaapelointi	Vaipatut johtimet kerrattu yhteen muovitäyttein
Ulkovaippa	Musta PVC-muovi Kaapelin poikkileikkaus on kolmionmuotoinen

AHXCMMK

AHXCMMK on perustyyppiltään 1-johdin-muovimaakaapeli. Ominaisuuksiltaan se on alumiinijohtiminen ja PEX-eristeinen. Kaapelin tarkemmat ominaisuudet on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. AHXCMK-kaapelin rakenne /12/

Johdin	Alumiini. Tiivistetty pyöreä köysi
Johdinsuoja	Puolijohtava muovi
Eristys	PEX-muovi
Hohtosuoja	Puolijohtava muovi ja nokipaperikerros
Kosketussuoja	Kerros kuparilankoja ja kuparinauhasidos
Vaippa	Musta PVC-muovi

AHXAMK-W

AHXCMK on perustyyppiltään 3-johdin-muovimaakaapeli. Ominaisuuksiltaan se on alumiinijohtiminen. Kaapelin tarkemmat ominaisuudet on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. AHXAMK-W-kaapelin rakenne /12/

Johdin	Tiivistetty pyöreä alumiiniköysi, jonka raoissa veden vaikutuksesta paisuva pulveri
Johdinsuoja	Puolijohtava muovi
Eristys	PEX-muovi
Hohtosuoja	Puolijohtava muovi ja veden vaikutuksesta paisuva nauha
Kosketussuoja	Kerros kuparilankoja ja kuparinauhasidos
Vaippa	Musta, heikosti vettä läpäisevä, pakkaskestoinen polyeteenimuovi
Kertaus	Kolme vaipattua yksijohdinkaapelia kerrattu maaköyden ympärille

3.4.2. 10:n ja 20 kV:n kaapelipäätteet

Suurjännite aiheuttaa päätteiden rakenteille erityisvaatimuksia. Kaapelin metallivaipan tai hohtosuojan päätyminen aiheuttaa eristystä rasittavan sähkökentän muutoksen rajapintaan. Lisäksi päätteessä esiintyy erisuuntaisia jänniterasituksia. Em. rasituksia pyritään poistamaan pääterakenteen avulla mm.:

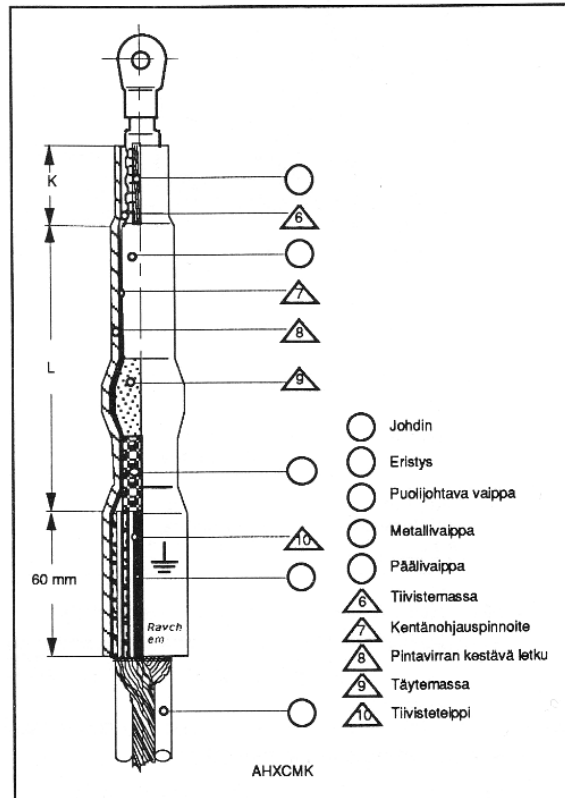
- paksuntamalla eristystä rajapinnoissa
- käyttämällä puolijohtavia kerroksia johtimien päällä. /12/

Pääterakenteeseen vaikuttaa myös se, että kaapelin metallivaippa on maadoitettava. 10:n ja 20 kV:n kaapelipääterakenteita on esitetty seuraavassa.

Kutistemuovipääte

Kutistemuovipäätteen rakenne on esitetty kuvassa 16. Kutistemuovipäätteen rungon muodostaa pintavirran kestävä kutistemuoviletku, jonka sisäpintaan on tehty kentänohjauspinnoite. Runkoletku kutistetaan maadoitusliittimien päälle kutistetun

johtavan letkun päälle. Kaapelien rakenteesta johtuen käytetään erilaisia tiivistemassoja ja -teippejä asennusohjeen mukaisesti. Ulkopäätteen pintavirtaa kestävä letku on pitempi kuin sisäpäätteen letku. Muuten sisä- ja ulkopäätte ovat rakenteeltaan samanlaisia. Ulkopäätteeseen asennetaan kuitenkin vielä laipat pintavirtakestoisuuden parantamiseksi. /12/

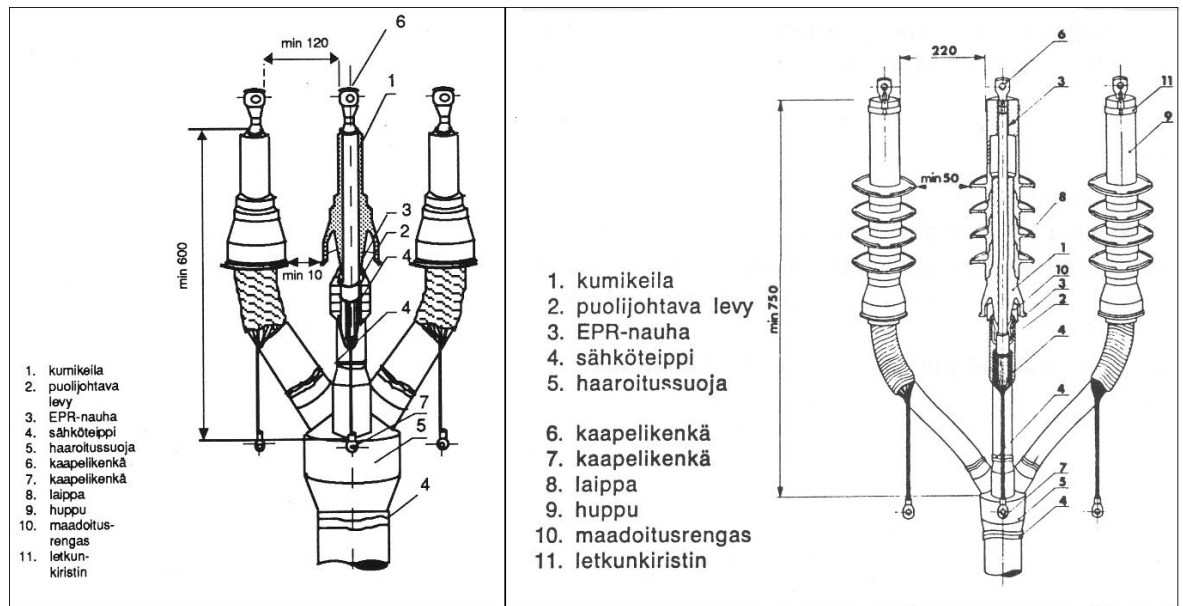


Kuva 16. Kutistemuovipäätteen rakenne /12/

Kutistemuovipäätteitä käytetään yleensä sisä- ja ulkopäätteinä yleensä muovieristeisillä kaapeleilla, mutta myös paperieristeisille kaapeleille valmistetaan kutistemuovipäätteitä. Kutistemuovipäätteet ovat suosittuja suhteellisen helpon asennettavuuden vuoksi. /12/

Keilasisä- ja keilaulkopäätte

Keilasisäpäätteen rakenne on esitetty kuvassa 17 vasemmalla. Johtimiin liitetään puristettavat Al-kaapelikengät. Kentänohjaus tapahtuu päätteessä olevan puolijohtavan osan avulla, joka yhdistetään kaapelin hohtosuojaan puolijohtavalla levyllä. Keilapäätteet yksijohdinkaapeleille ovat rakenteeltaan samanlaisia lukuun ottamatta haaroitusuojan puuttumista. Ulkopäätteessä (kuva 17 oikealla) on kumikeilan päällä kaksi laippaa. /12/



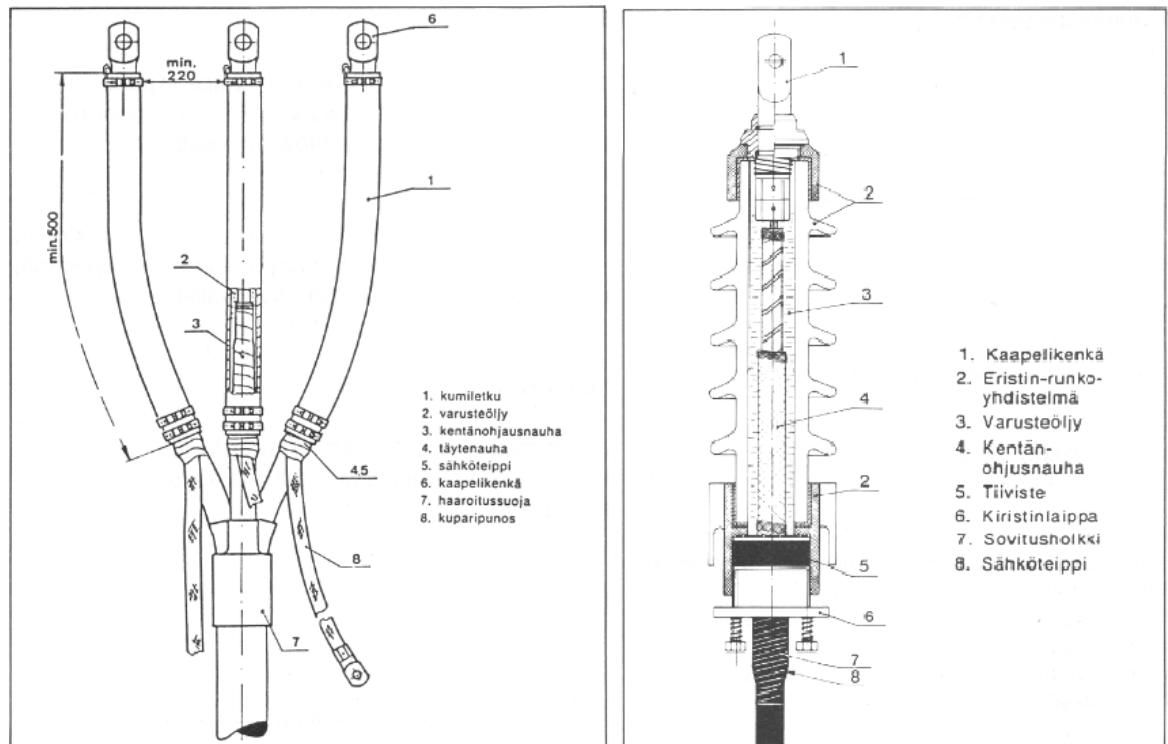
Kuva 17. Keilasisäpäätteen (vas) ja keilaulkopäätteen (oik) rakenne /12/

Esiteltävä sisäpäätte on tarkoitettu kolmijohtimisen 10 kV AHXMKM-kaapelin sisäpäätteeksi ja esiteltävä ulkopäätte vastaavasti ulkopäätteeksi. Päätteet sopivat myös AHMCMK-kaapelille. /12/

Letku- ja posliinipääte

Letkupäätteen rakenne on esitetty kuvassa 18 vasemmalla. Päätteen johtimien suojana on neopreenikumiletkut, jotka on osittain täytetty varusteöljyllä. Alumiinikaapelikengät on puristettu johtimiin kuusioleuoilla. Päätteessä alumiinivaippa on maadoitettu kuparipunoksen ja letkunkiristimien avulla. Letkupäätettä käytetään kolmijohtimisen APYAKMM-kaapelin päätteenä kuivissa sisätiloissa. /12/

Posliinipääte (kuva 18 oikealla) on rakenteeltaan alumiinirunkoinen, posliinieristimillä varustettu pääte. Telineeseen asennettuna pääte on pylväsasennukseen soveltuva. Päätteessä ovat puristettavat kaapelikengät. Kaapelin alumiinivaippa on yhdistetty päätteen runkoon. Posliinipäätettä käytetään 20 kV kolmijohtimisen APYAKMM- ja vastaavan PYLKVJ-kaapelin päätteenä ulko- ja sisätiloissa. /12/



Kuva 18. Letkupääte (vas) ja posliinipääte (oik) /12/

4. RELESUOJAUS

4.1. Yleistä tavoitteista ja periaatteista

Sähköverkkojen vikatilanteita, kuten oikosulkuja, maasulkuja, ylikuormituksia, ylijännitteitä, alijännitteitä ja johdinkatkoksia varten voimalaitokset, sähköasemat ja kytkinlaitokset varustetaan suojalaitteilla, joista osan muodostavat releet. Releet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja tarpeen vaatiessa suorittavat kytkentöjä automaattisesti, luotettavasti ja nopeasti. /13/

Relesuojauksen edellytykset

Relesuojaukselta edellytetään seuraavaa:

- Toiminnan on oltava selektiivistä, jotta vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä.
- Toiminnan on tapahduttava riittävän nopeasti ja herkästi niin, että vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät kohtuullisiksi sekä verkon stabiilisuuden tulee säilyä kaikissa olosuhteissa.
- Suojauksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä.
- Se on oltava käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen.
- Käytettävyyden tulee olla hyvä.
- Suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla.
- Suojauksen on oltava hankintakustannuksiltaan kohtuullinen. /13/

Selektiivisyys

Suojareleet ja katkaisijat muodostavat suoja-alueita. Jos vierekkäiset suoja-alueet osaksi peittävät toisensa, on suojaus aukoton. Suoja on absoluuttisesti selektiivinen, kun se toimii vain omalla suoja-alueellaan tapahtuvissa vioissa. Aikaan perustuvaa selektiivisyyttä sanotaan aikaselektiivisyydeksi, ja vastaavasti puhutaan virtaselektiivisyydestä. Suoja-alueita voivat olla esimerkiksi johdot, muuntajat, generaattorit ja moottorit. Selektiivisyys on ominaisuus, jonka avulla rele havaitsee vian suoja-alueella, muttei toimi, jos vikaa ei ole tai vika on suoja-alueen ulkopuolella. /13/

Rakenneosat ja niiden tehtävät

Jotta releet pystyisivät suoriutumaan suojaustehtävästään, ne tarvitsevat avukseen muitakin komponentteja. Tällaisia ovat mittamuuntaja, katkaisijat, apuenergiälähteet, hälytys- ja raportointikeskukset sekä mittaus-, laukaisu- ja tiedonsiirtoyhteydet. Releen tehtävä on ohjata apujännite katkaisijan auki-kiinnikytkenkälle oikea-aikaisesti. /13/

Mittamuuntajat, joita ovat virta- ja jännitemuuntajat, muuntavat virran ja jännitteen releille sopivaan muotoon. Releet ovat mittareiden kaltaisia instrumentteja, jotka on varustettu

kytkentäelimillä ja standardoitu tietyille virroille ja jännitteille. Hyvinkin suurista ja erilaisista virroista ja jännitteistä huolimatta tullaan toimeen harvoilla ja pienikokoisilla releillä. Lisäksi releet voidaan sijoittaa etäällekin suojattavasta kohteesta. /13/

Tarvitaan myös apuenergiälähdettä, joka on yleensä tasasuuntaajalla syötetty akusto, tyydyttämään sähköverkon vikatilanteidenkin aikana tiettyjen laitteiden tarvitsema jännite, esimerkiksi katkaisijoiden ohjaaminen auki ja kiinni. Apuenergiälähde on keskeinen osa ns. apusähköjärjestelmää, jonka tärkein tehtävä on täydentää relesuojauksen muodostama kokonaisuus sähkön tarpeen osalta. /13/

Hälytys- ja raportointikeskuksia tarvitaan, jotta vikatilanteissa saataisiin mahdollisimman nopeasti ja luotettavasti oikea kuva. Releitä on usein suuriakin määriä tarkasteltavassa kohteessa eri puolille sijoitettuna, jolloin releiden toimintatietojen keskitetty kerääminen on tarpeellista. Tapahtumien jälkianalyysissa selkeästä ja oikea-aikaisesta raportoinnista saattaa olla suurta hyötyä. /13/

Relesuojaustekniikka on kehittynyt voimakkaasta vuosien varrella ja erityisesti parina viime vuosikymmenenä. Tämä merkitsee sitä, että relesuojauksen parissa toimivien on jatkavasti seurattava teknistä kehitystä pystyäkseen soveltamaan uutta tekniikkaa. Tekniikan kehittyminen ei kuitenkaan merkitse sitä, ettei vanhaakin tekniikkaa olisi ymmärrettävä, koska sitä on vielä yleisesti käytössä vuosikymmenien kuluttua. /13/

4.2. Yleisimmät suojareletyypit

Ensiö- eli primäärireleet

Ensiöreleille tunnusomaista on, että

- ne ovat ensiöpiiriin mekaanisesti kytkettäviä suojareleitä.
- ne eivät tarvitse apuenergiaa.
- ne ovat mekaanisesti jäykkiä ja epätarkkoja. /13/

Ensiöreleiden toiminta perustuu releen läpi kulkevan virran aiheuttamaan sähkömagneettikentän muutokseen, joka aiheuttaa välitangon avulla katkaisijan mekaanisen auki-ohjauksen. Ensiöreleitä käytetään nykyään pääasiassa vain varasuojina. /13/

Sähkömekaaniset toisioreleet

Sähkömekaaniset toisioreleet ovat ensiöpiiriin mittamuuntajien välityksellä kytkettyjä suojareleitä. Toisioreleille tunnusomaista on, että:

- toisioreleitä on mahdollista koestaa käytön aikana.
- osa releistä ei tarvitse apuenergiaa mutta laukaisupiiri kuitenkin vaatii sen lähes aina. /13/

Sähkömekaaniset toisioreleet ottavat kaiken tarvitsemansa energian mittamuuntajista. Niiden taakka saattaa silloin muodostua suureksi, josta on haittaa erityisesti virtamuuntajien toistokyvyille etenkin silloin, kun vikavirta sisältää tasakomponentin. Mekaaniset releet ovat tyypiltään tehollisarvoa mittavia koneistoja, joille on ominaista liikkuvien osien hitaus. Näillä menetelmillä ei ole mahdollista mitata vaihtosuureiden hetkellisarvoja ja siten nopeuttaa toimintaa. Mekaanisten releiden asettelutarkkuudet ovat moniin nykyisiin sovelluksiin riittämättömiä ja niitä on vaikea saada riittävän herkiksi. Maasulkusuojausta varten on rakennettu erikoisherkkiä releitä. Säännöllisesti huollettuna mekaaninen rele toimii suhteellisen luotettavasti, ja vie vielä vuosikymmeniä, että kaikki mekaaniset releet ovat poistuneet käytöstä. /13/

Tasasuuntaajareleet

Tasasuuntaajareleet ovat eräänlainen väliporras mekaanisten ja staattisten releiden välillä. Niissä mittaosan muodostaa herkkä kiertokäämikela. Kiertokäämikelan ollessa tasavirtakela on vaihtovirta tasasuunnattava. Tasasuuntaussillan eteen sijoitetaan sopivasti kyllästyvä välimuuntaja kiertokäämikelaa suojaamaan. Kiertokäämikelan kosketin ohjaa varsinaista lähtörelettä. Tasasuuntausreleitä käytetään mm. differentiaali-, vinokuormitus- ja distanssireleissä. /13/

Staattiset releet (elektroniset releet)

Staattisille releille tunnusomaisia piirteitä:

- Niiden toiminta perustuu elektroniikan käyttöön releen omissa mittaussignaalin muokkauselimissä.
- Releet ovat melko tarkkoja.
- Niissä ovat laajat asettelualueet eli releessä on hyvä dynamiikka. /13/

Staattiset releet ottavat apuenergiansa erillisestä apusähköliitännästä, joten mittapiirin kuormitus jää vähäiseksi. Koska rele ottaa apuenergiansa erillisestä lähteestä, voidaan lähtöreleenä käyttää apurelettä, jossa on riittävästi koskettimia sekä laukaisua että hälytystä varten eikä erillisiä hidastusta lisääviä välireleitä tarvita. Varsinkin nopeissa releissä tämä on tärkeää, sillä välireleet saattavat hidastaa suojausta 20 - 40 ms, mikä merkitsisi esim. ylivirtareleen pikalaukaisun tai differentiaalireleen tapauksessa toiminta-ajan kaksinkertaistumista. Staattiset releet tulivat markkinoille 1960-luvulla ja ne voidaan toteuttaa joko analogia- tai digitaalitekniikkaa käyttäen. /13/

Numeeriset releet

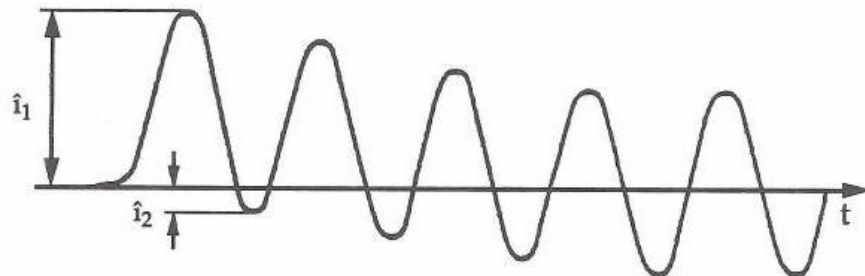
Nyky aikaisten mikroprosessorien myötä digitaalinen signaalinkäsittely on syrjäyttänyt aiemman staattisten suojausreleiden toteutustekniikan. Ensimmäisen sukupolven prosessorireleille tai numeerisille releille oli tunnusomaista, että suojauskohteen eri suojaustoiminnot integroitiin samaan releeseen. Tällöin esimerkiksi johdonsuojaan oli integroitu oikosulkusuoja, maasulkusuoja ja jälleenkytkentäreleistys. Johdonsuojasta ulos lähtevät tiedot olivat pelkkiä kosketintietoja. Ehkä merkittävin uusi ominaisuus oli itsevalvonta. /13/

Toisen sukupolven numeerisille releille on tunnusomaista, että kosketintietojen ohella ne välittävät myös muuta tietoa. Tiedon kulku on kaksisuuntaista: releeltä voidaan lukea mittaus-, tila- ja asetteluarvoja, ja rele vastaanottaa ohjaus- ja asettelutietoja. Suojarele toimii siis suojaustoimintojen ohella myös tiedonkeruuyksikkönä muille järjestelmille. Parametreja voidaan asettaa PC:llä ja siirtää siitä suojareleeseen sarjaliitynnän kautta. Rele-yksikön monipuolisuudesta johtuen niitä nimitetäänkin usein kennoterminaaleiksi. /13/

Toisen polven numeerisille releille tunnusomaisia piirteitä ovat:

- häiriötallennus- ja kunnonvalvontaominaisuudet
- PC:n käyttömahdollisuus ja joustava ohjelmoitavuus
- väyläliityntämahdollisuudet
- isot näytöt, helpot ja selkeät käyttäjäliitynnät. /13/

Numeerisilla releillä päästään täysin eroon epäsymmetrioiden suojausta haittaavista vaikutuksista (esim. muuntajan kytkentävirtasysäys tai johtimien katkeamiset) käyttämällä huipusta huippuun mittaustapaa. Rele mittaa sekä positiivisen että negatiivisen puolijakson huippuarvon suuruuden ja laskee näistä keskiarvon. Tällä menetelmällä päästään eroon myös releen yliulottumasta epäsymmetrisen oikosulkuvirran tapauksessa. Yli- ja aliulottumalla tarkoitetaan releen virheitä vian etäisyyden määrittämisessä. /13/



Kuva 19. Huipusta huippuun -mittaus /13/

Tiedonkeruu ja tietoliikenne

Prossessoriteknikka on tehnyt mahdolliseksi toisiokojejärjestelmän käyttämisen hajautettuna. Jokainen lähtö on varustettu täysin itsenäisesti toimivalla kennoterminaalilla. Kennoterminaalit tekevät itsenäisesti paikalliset suojaus- ja automaatiotoiminnot. Nämä muodostavat toisiokojejärjestelmän johtotason. Johtotason laitteet toimivat tiedonkerääjinä ylemmän eli asematason laitteille. Asematason laitteet suorittavat ylemmän tason toimintoja kuten syötönvaihto, kuormanpudotus ja tapahtumaraportointi. /13/

Johtotason laitteet liitetään nykyisin väylätekniikalla isäntäyksikköön, joka voi olla erityinen raportointiyksikkö, kaukokäytön ala-asema tai muu käytönvalvontajärjestelmä. Käytännössä puhutaan usein SCADA:sta (Supervisory Control And Data Acquisition). Isäntäyksikkö kysyy orjilta aikamerkinnällä varustettuja tapahtumatietoja säännöllisinä

kiertokyselyinä. Tiedot järjestellään, tulostetaan paikallisesti tai lähetetään eteenpäin. Yleensä kysellään jatkuvasti vain tapahtumatietoja, muita tietoja kysellään tarvittaessa. /13/

4.3. Tärkeimmät suojarelelajit

4.3.1. Virtareleet

Virtareleet ovat yksisuurereleitä ja niiden toimintaperiaate on esitetty alla.

Hetkellinen ylivirtarele

Rele toimii ilman lisäviivettä, kun sen läpi kulkeva virta ylittää releeseen asetellun toiminta-arvon. Hetkellisiä ylivirtareleitä käytetään lähioikosulkujen havaitsemiseen. /13/

Vakioaikaylivirtarele

Yhdistämällä hetkellinen ylivirtarele ja aikarele saadaan vakioaikaylivirtarele, jonka toiminta-aikaa voidaan asettaa. Toiminta-aika on riippumaton ylivirran suuruudesta. Vakioaikaylivirtareleitä käytetään rakennettaessa aikaselektiivisiä portaita. /13/

Käänteisaikaylivirtarele

Releen toiminta on sitä nopeampaa, mitä enemmän virta ylittää releeseen asetellun toiminta-arvon. Käytetään yhteiskäytössä sulakkeiden kanssa. Käänteisaikaylivirtareleillä saadaan lyhennettyä vikavirtojen kestoajoja muihin releisiin verrattuna. Standardit IEC 60255-3, IEC 60255-4 ja BS 142 määrittelevät neljä käänteisaikatoimintakäyrästä:

- Normal inverse
- Long time inverse
- Very inverse
- Extremely inverse. /1/

Käänteisaikakäyrien mukainen laukaisuaika voidaan laskea kaavasta 7:

$$t = \frac{k * \beta}{\left(\frac{I}{I >}\right)^\alpha - 1} [s] \quad (7)$$

missä

k on aseteltava aikakerroin

I on vaihevirran arvo

$I >$ on virta-asettelu

α ja β ovat toimintakäyräkohtaiset vakiot

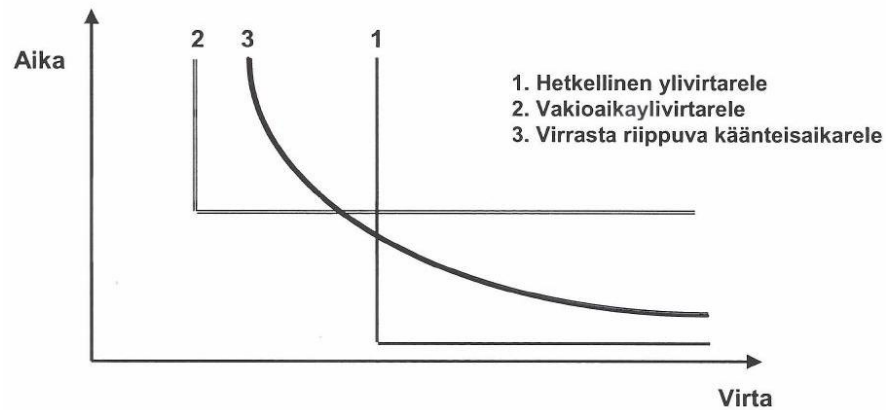
Standardien mukaan Normal-, Very- tai Extremely inverse -toimintakäyriä käytettäessä suojauksen tulee havahtua viimeistään, kun mitattu virta ylittää 1,3-kertaisesti virta-asettelun. Mikäli käytetään Long time inverse -toimintakäyrää, havahtumisen tulee tapahtua 1,1-kertaisella virta-asettelulla. /1/

Taulukko 9. Käänteisaikareleen toimintakäyräkohtaiset vakiot /1/

Toimintakäyrä	α	β
Normal inverse	0	0,1
Very inverse	1	13,5
Extremely inverse	2	80
Long time inverse	1	120

Lämpöreleet

Releisiin rakennetaan suojattavaa kohdetta kuvaava lämpenemismalli, jonka avulla ne pyrkivät matkimaan suojattavaa kohdetta. Niiden lämpenemisaikavakioita voidaan muuttaa, ja niitä voi olla useita yhdessä releessä. Käytetään etupäässä generaattoreiden ja moottoreiden yhteydessä. /13/



Kuva 20. Ylivirtareleiden toiminta-aikoja virran funktiona /1/

Ylivirtareleiden oikea asettelu vaatii usein niiden sijaintipaikalla esiintyvien suurimman ja pienimmän mahdollisen 3-, 2- ja 1-vaiheisen oikosulkuvirran tuntemista. Ylivirta-aikareleet pyritään asettelemaan muutosoikosulkuvirran I_k' mukaan. Nopeat, hetkelliset releet asetellaan alkuoikosulkuvirran I_k'' mukaan. /13/

4.3.2. Jännitereleet

Alijännitereleet

Alijänniterele toimii, kun jännite alittaa sen toiminta-arvon. Niitä käytetään erityisesti osana moottoreiden suojausta. Moottoreille olisi tuhoisaa, jos jännite häviöisi tai pienenesi, ja moottori jäisi silloin kytketyksi. Jännitteen jälleen palautuessa syntyy oikosulkuun

verrattavissa oleva virtasysäys. Alijännitereleissä on toimintajännite ja aikahidastus aseteltavissa, ettei aiheutuisi tarpeettomia käyttökeskeytyksiä lyhytaikaisista jänniteenvaihteluista. Kehittyneissä alijännitereleissä aikahidastus riippuu myötäjärjestelmän jännitteen suuruudesta. /13/

Nollajännitereleet

Nollajännitereleet mittaavat maasulkujännitettä jännitemuuntajan avokolmiokäämityksestä. Nollajänniterele toimii avokolmiojännitteen alittaessa sen toiminta-arvon. Toision mahdollinen avokolmiokäämitys palvelee ainoastaan maasulkua. /13/

Ylijännitereleet (jännitteennousureleet)

Ylijänniterele toimii jännitteen ylittäessä asetellun arvon. Ylijännitereleitä käytetään laajasti maasulkujen havaitsemiseen, useimmiten aikahidastettuna. /13/

4.3.3. Muut suojaretyypit

Taajuusreleet

Alitaajuusreleitä käytetään kuormien irtikytkemiseen esim. valtakunnallisessa tehonvajaussuojauksessa. Tällöin taajuusreleitä käytetään kuormanpudotukseen tilanteissa, joissa verkkoon liitettyjen kuormien tehon tarve ylittää verkon senhetkisen tehokapasiteetin. Tällaisessa epäsymmetriatilanteessa verkon taajuus alenee. Taajuusrele pystyy ohjaamaan useaa katkaisijaa ja johtolähtöjä voidaan erottaa verkosta yksitellen. Mikäli verkossa on edelleen tehonvajausta, rele erottaa voimalaitoksen saarekekäyttöön. /13/

Ylitaajuusreleitä käytetään generaattoreiden ja muiden vaihtovirtalaitteiden yli- ja alitaajuussuojauksessa. Releen toimintaperiaatteeksi voidaan asettaa vakioaikatoiminta, taajuudenmuutosnopeus-periaate tai molempien yhdistelmä. Generaattorinsuojasovelluksissa rele suojaa generaattoria ja voimakonetta vaarallisilta yli- ja/tai alikierröksiltä. Rele soveltuu myös suurten tahtimoottoreiden suojaukseen verkoissa, joissa käytetään verkon jälleenrakennusautomaatiikkaa. Rele erottaa moottorin verkosta jännitekatkoksen sattuessa ja estää näin vaarallisen asynkronisen kytkennän. /13/

Suunta- ja tehoreleet

Suunta- ja tehoreleet mittaavat kohteen jännitteen ja virran hetkellisarvoja sekä toisinaan näistä johdettuja tehoja. Suunnatun ylivirtareleen muokkauselimessä muodostetaan virran sekä virran ja jännitteen välisen vaihesiirtokulman suuruuteen verrannolliset suureet. Rele havahtuu, kun releen mittaama virta saavuttaa asetteluarvon ja vaihesiirtokulma on asetellulla alueella. Suunnattuja ylivirtareleitä käytetään silmukkaverkkojen ylivirta- ja oikosulkusuojina. Maasulun suuntareleet mittaavat suojattavan kohteen nollajännitteen ja nollavirran hetkellisarvoja. Releen muokkauselimessä muodostetaan nollavirran ja -

jännitteen sekä niiden välisen vaihesiirtokulman suuruuteen verrannolliset suureet. Rele havahtuu kun sen mittaama nollavirta ja -jännite saavuttavat asetellun arvon, ja nollajännitteen ja -virran välinen vaihesiirtokulma on asettelualueella. Takatehorele mittaa suojattavan kohteen verkosta ottaman pätötehon hetkellisarvoa ja sen suuntaa. Takatehorelettä voidaan käyttää esim. estämään generaattoria käymästä moottorina. /13/

Epäsymmetriareleet

Epäsymmetrisen kolmivaihejärjestelmän kuormitusvirroista voidaan erottaa ns. vastakomponentti. Vastakomponentti aiheuttaa koneissa päävuota vastaan pyörivän magneettivuon, joka synnyttää pyörintää vastustavan vääntömomentin. Tästä on seurauksena värinää ja paikallista ylikuumenemista. Epäsymmetriaa eli vinokuormituksia esiintyy myös maasuluissa ja johtimien katkeamisissa. Epäsymmetriasuojat perustuvat erikoiskytkentöihin, joiden avulla kolmivaihejärjestelmän virroista ja jännitteistä erotetaan vastakomponentti. Vastakomponentti laitetaan vaikuttamaan virta- tai jännitereleeseen, joka vaaratilanteessa aiheuttaa koneen verkosta irtautumisen. /13/

Vertoreleet

Vertoreleet sopivat muuntajien, generaattoreiden, johtojen ja kiskostojen suojaamiseen. Ne vertailevat suojausalueensa päissä mittaamia yhtä tai useampaa suuretta. Ilman varsinaista apujohtoyhteyttä toimivia vertoreleitä kutsutaan differentiaalireleiksi. Vertoreleet muodostavat absoluuttisesti selektiivisen suojauksen ja tarvitsevat muita releitä varasuojikseen. Toisaalta vertoreleet eivät voi olla varasuojina muille releille. /13/

Differentiaalireleet

Differentiaalireleet soveltuvat muuntajien, generaattoreiden, kiskostojen suojaukseen. Suojausalueella on vika jos virtojen amplitudit ja tai vaihekulmat eroavat toisistaan riittävästi. Differentiaalireleet ovat tyypillisesti vakavoituja kuormitusvirran suhteen ts. mitä suurempi on kuormitusvirta, sitä suurempi erovirta vaaditaan laukaisuun. Differentiaalisuojauksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota virtamuuntajien valintaan. /7/

Apuyhteysvertoreleet

Johtojen differentiaalisuojauksessa etäisyydet ovat pitkiä, jolloin tarvitaan apuyhteys johdon päiden välille. Apuyhteys voi olla esim. suojattu ohjauskaapeli, viestikaapeli, optinen kaapeli, radiolinkki tai suurtaajuusviestiyhteys. /13/

Distanssireleet

Etäisyys- eli distanssireleet mittaavat sijoituspaikkansa ja vikapaikan välisen impedanssin sijoituspaikassaan esiintyvien virtojen ja jännitteiden avulla. Releet asettelevat toiminta-aikansa tämän tuntemansa arvon perusteella sitä lyhyemmäksi mitä lähempänä vikapaikkaa ne sijaitsevat. Distanssireleitä käytetään silmukoidun verkon selektiiviseen suojaukseen. Distanssireleistys ei vaadi viestiyhteyttä naapuriasemien välillä. /13/

4.4. Suojaustavat

Suojaustavan valinnalla voidaan vaikuttaa suojauksen toimintanopeuteen, jolla on merkittävä vaikutus oikosulun aiheuttamiin haittoihin. Mitä nopeammin suojaus toimii, sitä pienemmiksi jäävät aiheutuvat vaaratekijät ja vahingot sekä verkon termiset rasitukset. Lisäksi oikosulusta aiheutuvan vian aikaisen jännitekuopan kesto jää sitä lyhyemmäksi, mitä nopeammin suojaus toimii. Tällöin alijännitteen aiheuttama haitta muille verkon osille on mahdollisimman pieni. Suojauksen nopea toiminta pienentää myös vian jälkeisen tilanteen kuormitussysäyksiä, jotka yhdessä jännitekuopan kanssa lisäävät häiriön leviämisen riskiä verkon terveisiin osiin. Siirtoverkossa suojauksen toimintanopeuden parantaminen mahdollistaa johtojen kuormitusasteiden nostamisen ilman, että stabiilisuuden menettämisen riski kasvaa. Suojauksen toimintanopeuteen on siis kiinnitettävä huomiota. /1/

Selektiivinen oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa seuraavilla tavoilla:

- aikaselektiivinen suojaus
- aika- ja virtaselektiivinen suojaus
- aika- ja suuntaselektiivinen suojaus
- virta- tai impedanssiselektiivinen suojaus
- lukitussuojaus
- differentiaalisuojaus
- distanssi- ja vertosuojaus. /1/

4.4.1. Aikaselektiivinen suojaus

Yksinkertaisin tapa toteuttaa selektiivinen suojaus on käyttää aikaselektiivisyyttä. Periaatteena on porrastaa suojauksen toiminta-aikoja siten, että aina lähimpänä vikakohtaa oleva rele ehtii toimia ensin. Aikaselektiivinen suojaus toteutetaan ylivirtareleillä, jotka toimivat joko vakioaikaisina, jolloin toimintanopeus ei ole riippuvainen mitatun virran suuruudesta tai käänteisaikaisina, jolloin toiminta on sitä nopeampaa mitä suurempi mitattu virta on. Aikaselektiivinen suojaus soveltuu parhaiten säteittäisverkkoihin. /1/

Käänteisaikasuojaukseen soveltuu erityisen hyvin säteittäisverkkoihin, joissa kytkeätilanteiden muutosten aiheuttamat oikosulkuvirtatasojen vaihtelut ovat pienehköjä tai erot oikosulkuvirtatasoissa johtojen päiden välillä ovat suurehkoja. Tällöin käänteisaikasuojauksen käytöllä voidaan yleensä nopeuttaa suojauksen toimintaa suurilla vikavirroilla verrattuna vastaavan vakioaikasuojauksen käyttöön. Selektiivisen suojauksen toteuttaminen varokkeiden kanssa on myös helppoa käyttämällä käänteisaikaista suojausta. Mainittujen tekijöiden lisäksi ottaen huomioon esim. verkon komponenttien oikosulkukestoisuudet voi verkon suojaus käänteisaikaisilla suojilla olla perusteltua. /1/

4.4.2. Aika- ja virtaselektiivinen suojaus

Aika- ja virtaselektiivistä ylivirtasuojaukseen voidaan soveltaa tapauksissa, joissa vikavirran suuruus on erilainen riippuen siitä, onko vian sijainti suojan edessä vai takana. Tällöin vikavirtatasojen erilaisuudesta johtuen voidaan erityisesti käänteisaikaisen suojauksen, mutta myös moniportaisen vakioaikasuojauksen, käytöllä saavuttaa erilaiset suojauksen toiminta-ajat eri suuntiin, ja näin toteuttaa tarvittava aikaselektiivisyys sekä täyttää asetetut toimintanopeusvaatimukset. /1/

4.4.3. Aika- ja suuntaselektiivinen suojaus

Rengas- ja silmukkaverkkojen selektiivinen suojaus voidaan toteuttaa suunnattujen ylivirtasuojien avulla. Suunnattua suojausta tarvitaan, koska suojaukselta vaaditaan erilaisia toiminta-aikoja riippuen siitä, onko vikapaikka suojan edessä johdolla vai suojan takana esim. syöttävällä johdolla tai kiskostossa. Suunnattu ylivirtasuojaus toimii, mikäli vikavirta ylittää virta-asettelun ja vikavirran suunta vastaa asettelua. Tällöin selektiivisyys perustuu sekä aikaan että vikavirran suuntaan. Suunnattu ylivirtasuojaukseen voi toimia joko vakioaikaisena tai käänteisaikaisena, ja edellä mainitut aikaselektiivisyyden keskeiset periaatteet pätevät myös suunnatussa ylivirtasuojauksessa. /1/

4.4.4. Virta- tai impedanssiselektiivinen suojaus

Virta- tai impedanssiselektiivisellä suojauksella voidaan tietyissä tapauksissa oleellisesti nopeuttaa suojauksen toimintaa lähellä suojan sijaintipaikkaa tapahtuvissa vioissa. Suojauksen toteutetaan käyttämällä yhtä suuntaamattoman tai suunnatun ylivirta- tai ali-impedanssisuojan porrasta. /1/

Tarkoituksena on asetella ylivirtaportaan virta-asettelu niin ylös, että vian tapahtuessa suojausketjussa seuraavana olevan suojan edessä ei kyseinen porras havahdu, jolloin aikaselektiivisyyttä ei tarvita. Vastaavasti ali-impedanssiporrasta käytettäessä asettelu on laskettava riittävän alas, jotta saadaan aikaan vastaava toiminta. /1/

Periaatteen mukaisesti portaiden toiminta-ajat voidaan asetella selektiivisyyttä vaarantamatta minimiin, koska suojaus toimii vain virta- tai impedanssiasettelujen määräämillä suojausalueilla. Näin muodostuvat suojausalueet eivät peitä toisiaan, jolloin suojaus ei ole aukoton. Tästä syystä virta- tai impedanssiselektiivisen suojauksen rinnalla on aina oltava myös aikaselektiivinen suojaus. /1/

4.4.5. Lukitussuojaus

Lukitussuojauksen tarkoituksena on nopeuttaa suojauksen toimintaa. Periaate soveltuu erityisesti kiskostojen suojaukseen, mutta sitä voidaan käyttää myös lyhyehköjen johtojen, muuntajan alajännitepuolen napojen sekä kojeiston syöttöhaaran suojaukseen. Peruseriaatteenä on käyttää hyväksi suojausketjussa peräkkäisten suojiin välisiä lukituksia. Yleisesti tämä suojaustapa on käytössä ylivirtareleiden yhteydessä. /1/

Parhaiten lukitussuoja soveltuu käytettäväksi säteittäisverkoissa, joissa oikosulkuvirrat ovat huomattavasti suurempia kuin kuormitusvirrat. Tällöin virta-asettelun löytäminen lukituksen antavalle ylivirtaportaalte on yleensä helppoa. On myös varmistuttava siitä, että lukituksen antava porras ei havahdu suojausalueella tapahtuvassa viassa, mikäli vikavirtasyöttöä on mahdollista tulla myös kyseisestä lähdöstä (takasyöttö). Tällöin lukituksen antavan portaan virta-asettelu on valittava riittävästi suuremmaksi kuin takasyötön vikavirta (vrt. virtaselektiivinen suojaus) tai on käytettävä suuntarelettä lukitussignaalin muodostamiseen. /1/

Jotta lukitussuojauksen selektiivisyys toteutuu luotettavasti, on lukittavan ylivirtaportaan toimintaa kuitenkin jonkin verran hidastettava. Tämä aseteltava toimintaviive riippuu käytettävien reletyypin ominaisuuksista, virtamuuntajien toistokyvystä sekä lukituskanavan toteuttamistavasta. Tarvittavaa toimintaviivettä voidaan arvioida ottamalla huomioon seuraavat toiminta-ajat:

- lukituksen antavan suojausportaan havahtumisaika, joka sisältää sekä havahtumisviiveen että lähtöreleen toimintaviiveen
- lukittavan suojan sisäänmenopiirien vasteaika
- lukittavan suojausportaan retardaatio- eli pyörtöaika. /1/

Laskemalla em. ajat yhteen saadaan lyhin mahdollinen aika-asettelu lukittavalle ylivirtaportaalte. Tyypillisesti tämä aika on luokkaa 100 ms, mikäli lukituspiirissä ei käytetä apureleitä. Lukitussuojaus voidaan toteuttaa myös rengas- tai silmukkaverkossa, jolloin toteuttamiseen tarvitaan suunnattuja ylivirtasuojia tai distanssisuojia. Koska lukitussuojien suojausalueet eivät peitä toisiaan, ja koska ne eivät myöskään ulotu suojausketjussa seuraavien suojien suojausalueille, on niiden rinnalla aina käytettävä myös aikaselektiivistä suojausta. /1/

4.4.6. Differentiaalisuojaus

Differentiaalisuojaus on monikäyttöinen suojaustapa. Sitä voidaan soveltaa kaikkien verkon osien eli muuntajien, koneiden, kiskostojen sekä johtojen suojaukseen. Differentiaalisuoja vertaa suojattavaan kohteeseen tulevia vaihevirtoja siitä lähteviin. Jos nämä virrat poikkeavat toisistaan joko amplitudin tai vaihekulman tai näiden molempien suhteen enemmän kuin suojaan aseteltujen arvojen verran, seuraa laukaisu. Mittausperiaatteen ansiosta suojaus toimii ainoastaan suojausalueella tapahtuvissa vioissa, jolloin suojaus on absoluuttisesti selektiivinen. Tästä syystä suojauksen toimintanopeus on erittäin hyvä, jopa alle puolijakson. Suojausalue muodostuu virranmittauspaikkojen väliin jäävästä alueesta. Toinen mittausperiaatteen tuoma etu on suuri herkkyys: suojaus voi toimia jopa muutaman prosentin nimellisvirrasta olevilla vikavirroilla. Saavutettava herkkyys riippuu toimintanopeuden tavoin käytetystä reletyypistä, virtamuuntajien ominaisuuksista sekä suojattavasta kohteesta. /1/

4.4.7. Valokennosuojaus

Valokennosuojausta käytetään suojaamaan keskijännitekojeiston kiskostojen valokaarioikosuluilta. Valokaarioikosulun seuraukset pien- ja keskijännitekojeistoissa

voivat olla vakavia. Valokaari voi tuhota arvokkaita laitteita ja aiheuttaa pitkäaikaisia ja kalliita seisokkeja. Lisäksi valokaari voi aiheuttaa vakavia vammoja henkilöstölle. /13/

Tavallisimmin käytetty kiskostonsuojareleistys voi olla liian hidas varmistamaan valokaarivikojen eliminoimisen turvallisen ajan kuluessa. Esimerkiksi syötön katkaisijaa ohjaavan ylivirtareleen toiminta-aikaa voidaan joutua viivästyttämään satoja millisekunteja selektiivisyyden takia. Viive on vältettävissä käyttämällä valokaarisuojausta. Vikatilanteen hoitamiseen kuluu nykyaikaisilla valokaarisuojilla alle 2,5 ms, johon lisätään katkaisijan toiminta-aika. /13/

Jotta valokaaren vaikutukset saadaan minimoitua, on tärkeää että se huomataan mahdollisimman nopeasti. Valokaari, joka kestää 500 ms, voi aiheuttaa vakavia vaurioita laitteistolle. Alle 100 ms valokaaren aiheuttamat vahingot ovat usein vähäisempiä. Jos taas valokaari sammutetaan alle 35 ms:ssa, vahinko on miltei olematon. /13/

Valokennosuojausta voidaan käyttää ainoastaan sisätiloissa, koska auringonvalo ja ympäristön lämpötilan vaihtelu haittaavat valokennojen toimintaa. /13/

4.4.8. Moottorisuojaus

Relesuojaustekniikan kannalta keskeisimpiä moottoreiden käyttöpaikkoja ovat voimalaitokset ja teollisuus. Tässä osiossa tarkastellaan ainoastaan yleisimpien moottorityyppien relesuojausta. Yleisimmät em. käyttöpaikoissa käytetyt moottorit ovat epätahti- ja tahtimoottoreita. /13/

Moottorit altistuvat käyttöpaikoissaan erilaisille sähköverkosta peräisin oleville häiriöille. Tällaisia häiriöitä ovat mm. yli- ja alijännitteet, yli- ja alitaajuudet, yliaallot, jännite-epäsymmetria sekä jälleenkytkennät. Käytöstä aiheutuvia rasituksia ovat usein toistuvat käynnistykset, lukkiutumistilanteet, ylikuormat ja mekaaniset rasitukset. Suojauksen avulla pyritään siihen, että moottorin rasitukset eivät tulisi liian suuriksi ja moottorieristys säilyttäisi käyttökuntonsa mahdollisimman pitkään. /13/

Tarkastellaan seuraavaksi yleisimpiä moottorinsuojaustapoja.

Käynnistyksen valvontasuojaus

Moottorin käynnistysvirta on oikosulkumoottoreilla 5...7 kertaa moottorin nimellisvirta. Tämä käynnistysvirta aiheuttaa moottorissa rasituksia eristysrakenteissa sekä voimakasta lämpenemistä roottorissa ja staattorissa. Normaalisti oikosulkumoottori voidaan käynnistää kaksi kertaa peräkkäin kylmästä tai kerran käyntilämpimästä tilasta. Jos moottorin käynnistysaika on lyhyempi kuin moottorille ilmoitettu arvo, moottorin voi käynnistää useampiakin kertoja peräkkäin. Normaalikäynnistyksessä osa moottorin ottamasta tehosta muuttuu mekaaniseksi energiaksi, mutta jumikäynnistyksen yhteydessä koko moottorin ottama teho muuttuu lämpöenergiaksi. Roottoripiirin suojauksessa tulee tämän vuoksi kiinnittää erityistä huomiota jumisuojaukseen. /13/

Peräkkäisissä käynnistyksissä roottori ja staattori käyttäytyvät eri tavoin. Roottoripiiri lämpenee käynnistyksessä hyvin nopeasti, staattoripiiri puolestaan on lämpökäyttämislähteenä paljon hitaampi. /13/

Perinteinen tapa valvoa moottorin käynnistystä on varustaa moottorilähtö vakioaikaylivirtareleellä, jonka virta-asettelu on 2..3 kertaa moottorin nimellisvirta ja hidastus on hiukan moottorin käynnistymisaikaa pidempi. Tämä on riittävä suojaus, kun verkon jännite ei paljoa vaihtele, jolloin myös käynnistysaika pysyy muuttumattomana. Jouduttaessa käynnistämään moottori alijännitteisenä, esimerkiksi 80 % jännitteellä, pitenee käynnistysaika lähes kaksinkertaiseksi. Tällöin vakioaikaylivirtarele ei riitä, vaan on käytettävä I^2t -arvoa (moottoriin syötettyä energiaa) mittaavaa relettä termisen rasituksen määrittämiseen. /13/

Peräkkäisten käynnistysten valvonta voidaan tehdä laskurien avulla: tietyssä ajassa sallitaan tietty määrä käynnistysiaikoja. Laskuria parempi tapa on suojata moottori lämpöreleellä. Lämpöreleellä voidaan estää myös tarpeettomat, termisesti liian aikaiset käynnistysyritykset. /13/

Ylikuormitussuojaus

Moottorien ylikuormitussuojauksen tulisi olla kaksiportainen, jossa ensimmäinen portti antaa hälytyksen nimelliskuormituksen ylittyessä ja toinen portti suorittaa laukaisun 10...15 %:n ylikuormalla. Releeseen voidaan liittää myös ympäristön lämpötilaa kuvaava kompensoimisanturi, jonka avulla moottoria voidaan kuormittaa suuremmalla teholla ympäristön lämpötilan ollessa viileämpi. /13/

Ylilämpösuojaus (termosuojaus)

Moottori saattaa kuumentua esim. likaantumisen, jäähdytysjärjestelmän häiriön tai verkon yliaaltojen vaikutuksesta. Tätä ylilämpöä ei tavallinen virta mittava rele kykene havaitsemaan, joten taajuusmuuttajakäyttöjen moottorit tulisi varustaa lämpötila-anturilla. /13/

Epäsyyntriasuojaus

Useimmiten epäsyyntriasta aiheuttaa yhden vaiheen katkeaminen jossakin verkon osassa, jolloin vialliseen piiriin muodostuu virran vastakomponentti, joka aiheuttaa roottoripiiriin kaksinkertaisella verkkotaajuudella vaihtelevan vuon nostaa siten roottoripiiriin lämpötilaa. Esimerkiksi kolmiokytkennässä olevan moottorin terveiden vaiheiden välisen käämin virta on kaksinkertainen kahden muun käämin virtoihin nähden. /13/

Epäsyyntriasuojaus toteutetaan lämpöreleen epäsyyntrialle virralle herkistetyn toiminnon avulla. Suurjännitemoottorien suojaus toteutetaan virran epäsyyntriasta tarkkailevan epäsyyntriasuojareleen (virtarele) avulla. Epäsyyntriareleissä on suodatint, jonka avulla virran vastakomponentti pelkistetään kuormitusvirrasta. Epäsyyntriarele on vakavoitu, jottei virtamuuntajien kyllästyminen moottoria käynnistettäessä tarpeettomasti aiheuttaisi laukaisua. /13/

Yli- ja alijännitesuojaus

Alijännite aiheuttaa kuormitusvirran kasvua ja mahdollisesti ylikuormitusta. Ylijännite puolestaan rasittaa eristyksiä.. Normaalisti moottoreita syöttävä verkko varustetaan yli- ja alijännitereleillä, joista edelliset kytkevät moottorit irti, mikäli jännite on pysyvästi 15...20 % yli nimellisen. Alijänniterele kytkee moottorit irti, mikäli kiskosto jostain syystä tulee alijännitteiseksi tai jännitteettömäksi mm. sähköverkon oikosulun takia. Alijännitereleen aikahidastus riippuu kehittyneemmissä releissä myötäjärjestelmän jännitteen suuruudesta. /13/

Staattorin maasulkusuojaus

Staattorin maasulkusuojaus toteutetaan tavallisimmin nollavirtareleellä, joka liitetään kaapelivirtamuuntajan toisioon. Kaapelivirtamuuntajan etuna on, ettei moottoria käynnistettäessä synny releelle vaihevirtamuuntajien kyllästymisen aiheuttamaa näennäistä nollavirtaa, joten suojaus ei toimi aiheetta. Nollavirtareleen toimivuutta parantaa yliaaltovirtojen suodattaminen pois mitattavasta virrasta. /13/

4.4.9. Tahdistus- ja jälleenkytkentäreleistys

Generaattorin tahdistus

Generaattorin kytkentä verkkoon ilman tahdistusehtojen täyttymistä aiheuttaa generaattorissa termisiä rasituksia ja erittäin suuria mekaanisia rasituksia staattorikäymyksessä. Nämä vauriot voivat johtaa staattorin eristysvaurioon. Lisäksi generaattorin ja turpiinin akselille, kytkimille ja mahdolliselle vaihteistolle sekä perustukselle syntyy suuria mekaanisia rasituksia. /13/

Virhetahdistuksen estämiseksi on tahdistettavan generaattorin katkaisija varustettava tahdistusautomaatiikalla. Tahtigeneraattorin tahdistin valvoo, että generaattorin napajännitteen ja verkon jännitteen suuruus- ja vaihe-ero sekä verkon ja generaattorin taajuusero ovat asetelluissa rajoissa. Generaattorin on oltava kytkentähetkellä sama tai hieman verkon taajuutta suurempi, jottei haitallista takatehoa esiintyisi. /13/

Tahdistin tarkastaa, että tahdistusehdot täyttyvät ennalta asetellun ajan. Jos näin ei käy, tahdistus aloitetaan uudelleen alusta. Tahdistusta nopeutetaan korjaamalla generaattorin pyörimisnopeutta sitä voimakkaammin, mitä suurempi taajuusero on. Tahtikoneen tahdistus toteutetaan nykyään elektronisesti. /13/

Jälleenkytkentä

Valtaosa avojohtojen vioista on valokaarivikoja, jotka poistuvat itsestään, kun vikapaikka tehdään virrattomaksi. Jälleenkytkentäreleistys välittää suojareleen antaman aukiohjauskäskyn ensin yleensä hidastamatta. Tämän jälkeen releistys ohjaa asetellun ajan, ns. jännitteettömän väliajan, jälkeen katkaisijan kiinni, ts. suorittaa ns. pikajälleenkytkennän (pjk). Jos suojarele ei enää havaitse vikaa, on kaikki hyvin. Jos vika

on jäljellä, välittää jälleenkytkentäreleistys suojuareleen usein hidastetun laukaisukäskyn mahdollisella hidastuksella katkaisijan aukiohjauskelalle. Tämän jälkeen jälleenkytkentäreleistys suorittaa yhden tai useampia aseteltujen aikahidastusten viivästyttämiä aikajälleenkytkentöjä (ajk). Pikajälleenkytkentä ei yleensä tarvitse tahdissaolon tarkistusta, mutta kantaverkossa tahdissaolon tarkistus on usein tarpeen ennen aikajälleenkytkentää. /13/

Pikajälleenkytkentä suoritetaan yleensä 0,2...0,5 sekunnin jännitteettömän ajan jälkeen. Aikajälleenkytkentää kokeillaan pikajälleenkytkennän epäonnistuttua selvästi hitaammin yleensä 30...90 s kuluttua. Tänä aikana mm. katkaisijan ohjain ehtii virittyä. /13/

4.5. Suojauksen koestus

Sähköturvallisuusmääräykset edellyttävät, että yli 1000 V sähköaseman ylivirta- ja maasulkusuojien asetelut, toiminta ja kunto tarkastetaan käyttöönoton yhteydessä sekä uudelleen vähintään kolmen vuoden välein. Suojauksen on joka hetki oltava toimintavalmis, jotta se pystyisi vian sattuessa erottamaan viallisen osan terveestä verkosta luotettavasti, nopeasti ja selektiivisesti. Tämä muodostaa lähtökohdan suojuareleiden koestuksille ja kunnonvalvonnalle. Koestuksella varmistetaan, että suojuareleet on asennettu oikein ja ne toimivat annettujen asetusten mukaisesti. /13/

Koestusmenetelmiä sovelletaan harkinnan ja olosuhteiden mukaan. Suojauksen koestus voidaan toteuttaa seuraavilla tavoilla:

- suojauksen ensiökoestus
 - Mittamuuntajien ensiön tai ensioreleen kautta syötetään koestusvirta ja -jännite. Järjestelmän toiminta tarkastetaan katkaisijan toimimiseen saakka.
- suojauksen toisiokoestus
 - Mittamuuntajista irroitettuihin toisiopiireihin syötetään koestusvirta ja -jännite.
- suojauksen valehäiriökoestus
 - Tehdään tarkoituksellisesti ensiöpuolen vika ja todetaan suojauksen toimivuus.
- suojuareleen koestus
 - Rele irrotetaan suojauspiiristään ja kytketään koestuslaitteistoon, jolla releelle syötetään koestusvirrat ja -jännitteet. /13/

Ensiökoestus on edellisistä luotettavin. Mikään koestustapa ei ole täysin riskitön, vaan vaaratilanteita saattavat aiheuttaa mm. virheelliset kytkennät. Koestuksen jälkeen on tärkeää purkaa koestuskytkennät huolellisesti ja oikeassa järjestyksessä. Erityisen tärkeää on releiden oikeiden toiminta-arvojen asettelu. /13/

Käyttönottokoestuksessa kokeillaan käytännön toimintoja eri laitteilla ja simuloidaan käyttö- ja vikatilanteita. Niillä varmistetaan laitteiden moitteeton toiminta käytön vaatimalla tarkkuudella. Koestusta ennen on tunnettava eri suojalaitteiden kunkin järjestelmän tarkoitus. Käyttönottotarkastus pitää sisällään mittamuuntajien tarkastuksen sekä suojauksen koestuksen. /13/

Releiden valmistajilla on tarjolla suojareleiden koestamiseen tarkoitettuja koestuslaitteita, joilla saadaan aikaan tarvittavat virrat ja jännitteet. Nykyaikaiset koestuslaitteet ovat mikroprosessoriperustaisia. /13/

5. APUSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Apusähköjärjestelmä on järjestelmä, joka ylläpitää ja parantaa sähköaseman turvallisuutta ja käyttövarmuutta. Apusähköjärjestelmä voidaan jakaa kahteen osioon, vaihtosähköjärjestelmään eli omakäyttäjärjestelmään ja tasasähköjärjestelmään. Omakäyttäjärjestelmään kuuluu pääasiassa kiinteistön perussähköjä, esimerkiksi lämmitys ja valaistus. Omakäyttäjärjestelmän oleellisimpia komponentteja ovat omakäyttökojeisto, omakäyttömuuntaja ja omakäyttökeskus. /16/

5.1. Omakäyttäjärjestelmä

Omakäyttäjärjestelmä on toimivalle ja turvalliselle sähköasemalle välttämättömyys. Omakäyttäjärjestelmä on pieni osa sähköasemaa, mutta sen vikaantuminen voi lamauttaa aseman sähkönjakelun, tai sen vaurioituminen voi pahimmassa tapauksessa tuhota aseman korjauskelvottomaksi ja aiheuttaa hengenvaaraa ihmisille. /16/

Omakäyttäjärjestelmään kuuluu oikeastaan kaikki asemalla tarvittava 230/400 V:n vaihtosähkö. Normaalisissa sähkönjakelutilanteissa ilman häiriöitä aseman yleisvalaistus, lämmitys ja muu normaali kiinteistön yleissähköistykseen kuuluva kuorma syötetään aseman omakäytöllä. Näin taataan normaalit työskentelyolosuhteet sähköasemalla. Asemalla on 20/0,4 kV:n omakäyttömuuntaja, joka syöttää 0,4 kV:n omakäyttökeskusta, joka puolestaan syöttää suuremmilla asemilla erillisiä alakeskuksia. Esimerkiksi valaistukselle voi olla oma erillinen valaistuskeskuksensa. /16/

Omakäyttäjärjestelmä toteutetaan yleensä siten, että osana aseman keskijännitekojeistoa oleva omakäyttökenno syöttää omakäyttäjärjestelmän omakäyttömuuntajaa. Omakäyttökenno sisältää yleensä kuormanerotin katkaisijan sijasta sekä maadoituserotin. Omakäyttökojeisto saa syöttönsä aseman 20 kV:n kiskostosta. Omakäytölle on varattu joko kokonaan oma lähtönsä, tai se voi olla samassa lähdössä jonkin muun aseman 20 kV:n lähdön kanssa. Omakäyttökojeistoon tulee aina 20 kV:n varasyöttö johtolähdestä, jota syöttää toinen sähköasema. Nykyiset omakäyttökojeistot ovat pääsääntöisesti kauko-ohjattavia. Kauko-ohjattavuus parantaa käyttövarmuutta ja nopeuttaa varasyötön kytkemistä päälle vikatilanteessa. /16/

Sähköaseman omakäyttömuuntajina käytetään yleensä tavallisia 20/0,4 kV:n jakelumuuntajia. Uudemmissa asemilla käytetään yleisesti kuivamuuntajia niiden huoltovapauden ja pienemmän palokuorman takia. Keskimäärin omakäyttömuuntajat ovat teholtaan 100–315 kVA: n luokkaa. /16/

Omakäyttömuuntaja syöttää siis sähköaseman 400/230 V:n omakäyttökeskusta, joka taas syöttää sähköaseman omakäyttökuormaa. Kuormituksia ovat esimerkiksi aseman valaistus, ilmastointi, lämmitys, muuntajien tuuletuselementit sekä pistorasiakuormat. Omakäyttökeskuksen kuormitusten suojausten tulee olla oikein mitoitettuja, jotta selektiivisyys suojissa toteutuu. Häiriötilan aikana aseman jäädessä vaille omakäytösähköä katoaa asemalta luonnollisesti myös yleisvalaistus. Turvavalistus on

toteutettu erillisellä turvavalaistuskeskuksella, joka on eriytetty muusta akkuvarmennetusta tasasähköjärjestelmästä. Turvavalaistukselle on siis olemassa oma 24 V:n akkuvarmennus. Turvavalaistuskeskuksen akut ovat huoltovapaita geeliakkuja. Turvavaloja ei tule sekoittaa aseman varsinaiseen varavalaistukseen. Varavalaistusta syöttää häiriön aikana 110V:n akusto. /16/

Omakäyttökeskus syöttää kiinteistön kuormien lisäksi normaalissa käyttötilanteessa aseman vakiojännitetasasuuntaajia. Täten omakäyttökeskus syöttää myös aseman tasasähkökuormituksia, jotka ovat äärimmäisen tärkeitä sähköaseman ja johtolähtöjen suojausten kannalta. Tasasähköjärjestelmää käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa. Omakäyttökeskukselle on aiheellista rakentaa oma erillinen 0,4 kV:n varasyöttönsä aseman ulkopuolelta. Tällä tavalla turvataan omakäyttökeskuksen sähkön saanti omakäyttömuuntajan vaurioituessa tai huollon yhteydessä. Pienjännitevarasyöttöä pidetään myös jännitteisenä omakäyttökeskukselle, mutta pj-kytkintä pidetään aseman puolelta aukiasennossa. /16/

5.2. Tasasähköjärjestelmä

Tasasähköjärjestelmään kuuluvia laitteita asemalla ovat muun muassa ohjaus, suojaus ja kaukokäyttöjärjestelmät. Sähköaseman jäädessä vaille tasasähköä siitä tulee hengenvaarallinen ja riski suurille tuhoille kasvaa. Tämän vuoksi tasasähköjärjestelmä varmennetaan akuilla käyttövarmuuden turvaamiseksi. Usein tasasähköjärjestelmä vielä kahdennetaan kahdella samanlaisella järjestelmällä. Tasasähkö tuotetaan asemalla tasasuuntaajalla tai tasasuuntaajilla. Tasasuuntaaja saa syöttönsä aseman omakäyttöjärjestelmästä, joka on myös varmennettu aseman ulkopuolelta tulevilla varasyötöillä. Tasasuuntaaja syöttää aseman tasasähkökeskusta tai tasasähkökeskuksia, joihin on yleensä kytketty 110 V:n tai 220 V:n akusto. Akustot rakennetaan yleensä kytkemällä tarvittava määrä lyijyakkuja sarjaan. Akkujen määrä riippuu asemalla käytettävästä tasasähkön jännitteestä. Akustojen huolto ja kunnossapito ovat tärkeitä asioita toimivan ja luotettavan sähköaseman kokonaisuudessa. /16/

5.3. Apujännitteet

Pelkkä toisiojärjestelmän suojaus ei pysty ilman apujännitettä avaamaan katkaisijaa, jonka ohjaaminen on sen tehtävänä. Apujännite saadaan tavallisesti vakiojännitetasasuuntaajalla syötetystä akustosta. Akkujen rajallisen kestoisuuden takia käytetään usein akuston ja tasasuuntaajan kahdennusta, jolloin toisen toimintavalmius riittää relesuojauksen toiminnan takaamiseen. /13/

Akustojen kahdennusta ei siis pääasiallisesti tehdä ainoastaan pidentämään aikaa, jolloin järjestelmä on vailla varsinaista sähkönsyöttöä, vaan kahdennus tehdään sähköaseman suojaus- ja ohjausjärjestelmien käyttövarmuuden parantamiseksi. Kahdennetun tasasähköjärjestelmän toisen osajärjestelmän vikaantumisenkaan ei vielä saata asemaan täysin suojauksettomaan ja ohjauksettomaan tilaan, koska aseman suojaus ja

ohjausjärjestelmien tarvitsemat apusähkösyötöt on ryhmitelty suojauksen porrastuksen (pää- ja varasuojaus) mukaisesti eri osajärjestelmille. /17/

Kahdennetussa tasasähköjärjestelmässä ovat lisäksi akustojen ja tasasuuntaajien kunnossapitotoimenpiteet helpommin ja turvallisemmin tehtävissä kuin yhden akuston järjestelmässä. Kahdennetussa järjestelmässä voidaan tarvittaessa kytkeä akusto ja tasasuuntaaja irti kuormituksista. Esimerkiksi akuston pikavaraus ja purkauskoe voidaan suorittaa aiheuttamatta yli tai alijännitevaaraa kuormituksille. Myös akuston uusiminen ei vaadi tällöin ylimääräisiä kytkentöjä. /17/

Jännitetasot

Sähköasemien tasasähköjärjestelmien nimellisjännitteenä käytetään seuraavia jännitteitä: 24 V, 48 V, 60 V, 110 V ja 220 V:n jännitteitä. Edellä mainituista jännitteistä 24 V ja 48 V ovat käytössä lähinnä kaukokäyttöjärjestelmän apujännitteenä, automaatiojärjestelmissä sekä merkinantoja hälytysjärjestelmissä. Nykyään jännitteet 48 V ja 24 V saadaan aikaan sähköasemilla tavallisesti DC/DC-muuntajilla 110 V:n tasajännitteestä, eikä näille järjestelmille nykyään rakenneta erillistä omaa akustoa. Vikatilanteessa 48 V:n kaukokäyttöjärjestelmä jää siis 110 V:n akuston varaan. Varsinaisia sähköaseman suojaukseen ja ohjaukseen käytettyjä tasajännitteitä ovat 60 V, 110 V sekä 220 V. Näistä 60 V on kuitenkin jo jäänyt pois uusia asemia rakennettaessa, mutta vanhemmilla asemilla saattaa tätäkin jännitetasoa vielä olla käytössä. 220 V on käytössä pääsääntöisesti suurimmilla sähköasemilla, joilla ohjausetäisyydet ovat pitkät. 110/20 kV:n sähköasemalla etäisyydet ovat yleensä sen verran pieniä, että 110 V:n tasasähköjärjestelmä on riittävä, kun katsotaan asiaa jännitehäviöiden kannalta. /13/

5.4. Apusähkösuojaus

Apusähköjärjestelmä on merkittävä osa sähköaseman ohjaus- ja suojausjärjestelmää. Erytisesti edellytetään, että apusähköä on aina käytettävissä, koska sen puuttuessa suojaukset eivät toimi. Tästä syystä on apusähköjärjestelmää suojattava ja valvottava huolellisesti, ja lisäksi edellytetään tietyin osin varmennusta ja varajärjestelyjä. /13/

Apusähköjärjestelmään liitettävät laitteet jaotellaan sopivaa kokonaisuutta, esimerkiksi suurjännitekennoa tai ohjaustaulun kenttää syöttäviin ryhmiin, jotka kukin muodostavat oikosulkusuojan alimman portaan. Ylemmissä portaissa on oikosulkusuojina käytettävä kytkinvarokkeita, jos sarjassa olevat johdonsuojakatkaisijat eivät ole varmuudella keskenään selektiivisiä. Kunkin oikosulkusuojan tulee toimia myös seuraavan suojausportaan varasuojana. /13/

Oikosulkusuojan on kyettävä katkaisemaan suurin ja pienin mahdollinen oikosulkuvirta, kun oikosulku on sen omalla tai seuraavalla suojaportaalla, jonka varasuojana se toimii. Akuston syöttämä suurin oikosulkuvirta lasketaan ottamalla huomioon myös pariston sisäinen resistanssi. Suurimmat oikosulkuvirrat lasketaan pariston suurimman latausjännitteen ja pienimmät oikosulkuvirran pienimmän purkausjännitteen mukaan. /13/

Oikosulkusuojan toimimisesta on saatava hälytys. Hälytyksen järjestäminen yksinkertaisimmin on toteutettavissa johdonsuojakatkaisijoiden apukoskettimilla. Hälytyspiirin jännite on otettava toisesta apujännitelähteestä tai oikosulkusuojien etupuolelta, jolloin jännite ei häviä oikosulkusuojan toimiessa. /13/

6. VERKOSTOAUTOMAATIO

6.1. Yleistä

Sähkön siirto- ja jakeluverkostot ulottuvat laajalle alueelle. Niiden teknistä laatutasoa ml. toimitusvarmuus ja häiriöiden lyhytaikaisuus voidaan parantaa ja aikaansaada kustannus- ja henkilöstösäästöjä ohjaamalla ja valvomalla niitä keskitetysti. Tällöin voidaan hyödyntää kaukokäyttöjärjestelmiä. Kaukokäytöllä tarkoitetaan siten keskitetysti, automaattisestikin tapahtuvaa ohjaus- ja valvontatoimintaa. Siihen liittyy usein muitakin tehtäviä, kuten laskentaa, tietojen tallennusta, raportointia jne. /9/

Kaikilla voimansiirtoa harjoittavilla yhtiöillä Suomessa on oma kaukokäyttöön perustuva käytönvalvontajärjestelmänsä. Yleisesti kaukokäyttötehtävät jaetaan usealle portaalle, jolloin valvontajärjestelmistä muodostuu hierarkkisia, monitasoisia järjestelmiä. Järjestelmät toteutetaan yleensä siten, että ne mahdollistavat kaksisuuntaisen tiedonsiirron. /9/

Sähkönjakeluverkon automaatiolla eli jakeluautomaatiolla (DA, Distribution Automation) tarkoitetaan yleisesti erilaisten jakeluverkostojen hallintaa, käyttöä ja valvontaa. Sovellusalueet vaihtelevat sähkö- ja lämpöverkoista vesi- ja kaasuverkkoihin. Automaation perustoiminnot ja -vaatimukset ovat kaikilla verkoilla samat; automaatiolla toteutetaan erilaisia ohjauksia ja mittauksia, välitetään tilatietoja ja hälytyksiä jne. Tässä työssä keskitytään keskijännitealueen sähköverkkojen jakeluautomaatioon. Energianjakelun sovellusalueella jakeluautomaatio toteutetaan käytönvalvonta- ja johtolähtöautomaatio-osajärjestelmillä, joiden toimintoja tuetaan jakeluverkon hallintajärjestelmän käytöntukitoiminnoilla. /1/

Keskijänniteverkon automatisointiin on periaatteessa kaksi pääsyötä:

- Automatisointi säästää kustannuksia.
- Verkon automatisointi kohentaa verkon käytettävyyttä. /1/

Jakeluverkon automatisoinnilla saavutetaan mm. seuraavia etuja:

- säästöt rakennusvaiheessa
- säästöt muutostilanteissa
- säästöt korjaus- ja ylläpitokustannuksissa
- verkostovikojen hallinta
- päivittäisen ylläpidon suunnittelu
- käytönvalvonta. /1/

Keskijänniteverkon käyttöön liittyen automaatiolla voidaan helpottaa ja järjeistää verkon käyttötoimintoja. Samalla pyritään optimoimaan verkon hetkellistä tilaa. Automatisointi parantaa verkon käytettävyyttä mm. seuraavilla osa-alueilla:

- Verkon erottimien kaukokäyttö nopeuttaa kytkentämuutosten tekoa.
- Jakeluverkon jännitteensäätö pyrkii pitämään jännitetason mahdollisimman hyvin sallituissa rajoissa jakeluverkon loppupäässä (= kuluttajalla).
- Loistehon kompensointi on automaation ansiosta helpommin ohjattavissa.
- Verkon käyttötilanteen optimointi sisältää jännitteen, loistehon ja kytkentätilanteen optimoinnin, jolloin kokonaishäviöt pienenevät
- Verkon käyttöpäiväkirja sisältää historiatiedot verkon ohjauksista ja häiriötapahtumista.
- Verkon kytkentöjen suunnittelu voidaan toteuttaa tietokoneavusteisesti.
- Verkon suojaus voidaan tarkistaa ja sopeuttaa kytkentätilanteisiin kaukoasetteluja hyväksi käyttäen. Esimerkiksi varasyöttönä toimivan johtolähdön releasettelut muutetaan käyttötilanteen mukaan. /1/

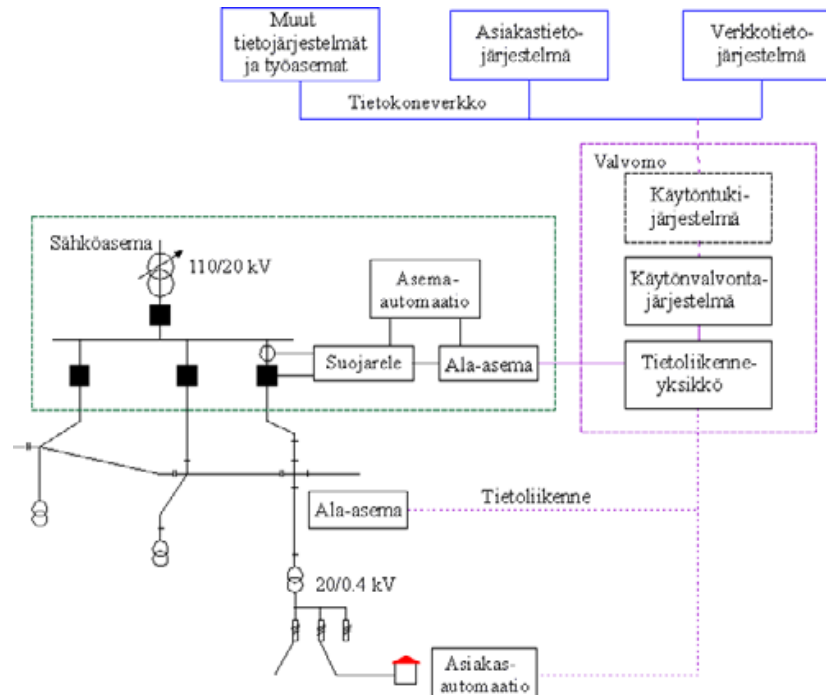
6.2. Jakeluverkon automaation tietojärjestelmät

Viime vuosina tapahtuneen voimakkaan mikroprosessori- ja tietojenkäsittelytekniikan kehityksen myötä myös kaukokäyttöjärjestelmät ovat kehittyneet. Kaukokäytöstä on muodostunut laajempi kokonaisuus, jota kutsutaan käytönvalvontajärjestelmäksi (KVJ). Käytönvalvontajärjestelmä muodostaa valvomon automaatiotoimintojen perustan. KVJ:n lisäksi niihin voi kuulua käytöntukijärjestelmä (KTJ). Sähköyhtiöissä käytetään myös erilaisia tietojärjestelmiä. Niistä tärkeimmät ovat suunnittelijoiden käyttämä verkkotietojärjestelmä (VTJ) ja asiakaslaskutuksessa käytettävä asiakastietojärjestelmä (ATJ). Energianhallintajärjestelmää (EHJ) käytetään sähkönhankinnan optimoinnissa ja energiankäytön seurannassa. Viime aikoina eri järjestelmiä on pyritty integroimaan päällekkäisten toimintojen välttämiseksi. Muita sähköverkon automaation osa-alueita ovat sähköasema-, verkosto- ja asiakasautomaatio.

Käytönvalvontajärjestelmän avulla voidaan sähköverkkoja valvoa sekä suorittaa niihin liittyviä ohjauksia keskitetysti, valvomosta käsin. Valvonnassa ja ohjauksissa käytetään hyväksi kauko-ohjausta ja -mittauksia. Järjestelmän perustoimintoja ovat tiedon hankinta prosessista, tietojen ja arvojen näyttäminen, tiedon käsittely valvomossa, ohjausten välittäminen prosessiin, hälytysten käsittely, tietojen ja arvojen säilyttäminen ja raportointi, tapahtumien ja toimintosekvenssien tallennus, laskentatehtävät sekä alasemien lisätoiminnot. /10/

Järjestelmä perustuu tietokantaan, jota ylläpidetään valvottavasta verkosta. Tietokantaan on tallennettu tiedot verkon rakenteesta sekä sähkönjakelujärjestelmästä saaduista mittaus- ja tilatiedoista. Mittaustietoja ovat mm. kuormitus- ja vikavirrat, sähköaseman kiskojännitteet ja säätiedot. Tilatietoja ovat mm. kytkinlaitteiden asentotiedot. KVJ mahdollistaa myös erilaisten ohjaustoimintojen, kuten katkaisijoiden kiinni- ja aukiohjaamiset valvomosta käsin. Se koostuu valvomossa sijaitsevasta keskusasemasta, sähköasemilla sijaitsevasta ala-asemista sekä näitä yhdistävistä viestiyhteyksistä. Kaupunkisähköyhtiöissä viestiyhteys keskusaseman ja ala-asemien välille rakennetaan useimmiten omalla tai puhelinyhdistykseltä vuokratulla kaapelilla. Voima- ja maaseutus sähköyhtiöillä eniten käytetty yhteysväline on radiolinkki. Tulevaisuudessa

valokaapeli lienee tärkeä yhteysväylä. Sähköverkon automaatiarakennetta on havainnollistettu kuvassa 21.



Kuva 21. Sähköverkon automaatiotekniikkaa /18/

Tiedonsiirtotekniikat

Tiedonsiirrossa voidaan hyödyntää lähes kaikkia tunnettuja tekniikoita, mutta tärkeimmät pohjautuvat langattomaan tiedonsiirtoon. Taulukossa 10 on esitetty yleisimmät keski- ja pienjänniteverkkojen tiedonsiirtotekniikat sekä niiden siirtonopeudet.

Taulukko 10. Yleisimmät tiedonsiirtotekniikat ja siirtonopeudet /18/

Tekniikka	Siirtonopeus
Paikallisverkko (LAN)	10 Mbit/s
Radiolinkki	...2 Mbit/s
Langallinen kiinteä yhteys	9,6 kbit/s...2 Mbit/s
Valinnainen puhelinverkko	64 kbit/s
ISDN	64 / 128 kbit/s
Yleisen dataverkon siirtopalvelut	1,2 kbit/s...155 Mbit/s
Puheradio	1200 bit/s
Pakettiradioverkko	9600 bit/s
Kantoaaltoyhteys	15...50...9600 bit/s

6.3. Sähköasema-automaatio

Sähköasemien kaukokäyttö (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition) on vakiintunutta tekniikkaa, joka sisältää tavallisesti katkaisijoiden ja erottimien kauko-ohjauksen, muuntajien käännytkimien kauko-ohjauksen sekä erilaisia mittauksia sähköaseman kiskostosta ja johtolähdöistä. Kaukokäyttöjärjestelmät muodostavat mahdollisimman reaaliaikaisen liittynän jakeluprosessin tärkeimpiin osiin. Kaukokäyttöjärjestelmille ominaisimpia kehityspiirteitä ovat integraatio ja laajeneminen. Kaukokäyttö liittyy yhä kiinteämmin muihin järjestelmiin, kuten relesuojauksen paikalliseen ohjauskeskukseen sekä verkostoerottimien ja kuormituksen ohjausjärjestelmään. Laajeneminen tarkoittaa sitä, että kaukokäytön piiriin tulee yhä uusia tietoja, esim. paikallisia sääasemia. /1/

Sähköasema-automaatioon on perinteisesti kuulunut sähköaseman kaukokäyttö sekä erilaisia paikallisohjauksia ja paikallista kunnonvalvontaa. Sähköaseman paikallisautomaatio (SA, Substation Automation) mahdollistaa sähköaseman paikallisohjauksen. Se ylläpitää ja liittää sähköaseman tarkan kellonajan osaksi kokonaisjärjestelmän aikajärjestelmää. Paikallisautomaatiolla toteutetuilla sekvenssiohjauksilla minimoidaan sekä taloudellisia että turvallisuusriskejä. Sillä toteutetaan myös paikalliset ylläpitotoiminnot, kuten jännitteensäätö ja tapahtuma- ja hälytyskäsitely. /1/, /11/

Paikallinen automaatiojärjestelmä on saattanut olla yhdistettynä kaukokäyttöön, jolloin automaatiojärjestelmän antamat hälytykset on voitu välittää valvomoon. Nykyaikaisissa mikroprosessoripohjaisissa sovelluksissa paikallisautomaatiojärjestelmä toimii kiinteässä yhteistyössä käytönvalvontajärjestelmän kanssa tai on kokonaan integroitunut siihen. Toinen kehitystrendi on ollut pyrkimys siirtyä keskitetystä järjestelmästä hajautettuun. /8/

Tekniikan kehittyminen on mahdollistanut osan niistä toiminnoista, jotka ennen on tehty valvomossa, siirtämisen sähköasemille itsenäisesti suoritettaviksi. Tällöin valvomosta vapautuu kapasiteettia muiden tehtävien hoitamiseen, ja usein ongelmallinen tiedonsiirron ruuhkautuminen vähenee. /8/

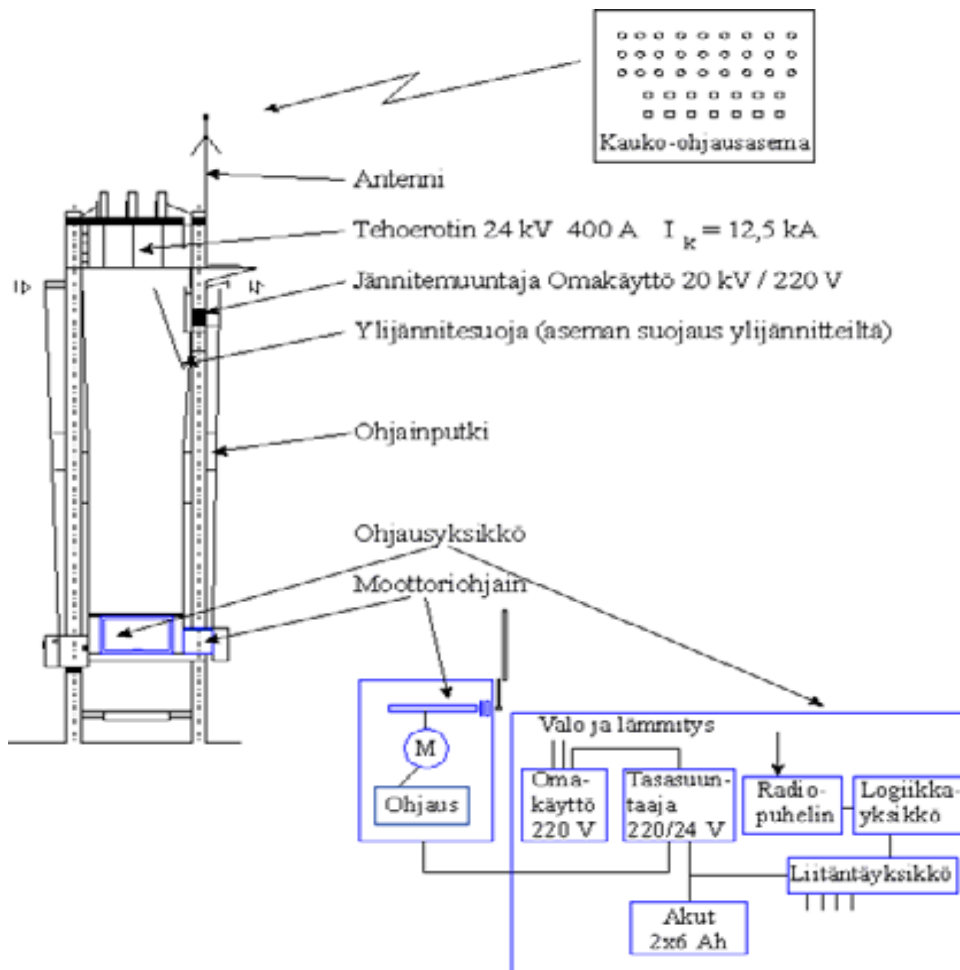
6.4. Verkosto-automaatio

Erota-asemien kaukokäyttö on tunnetuin verkostoautomaatiotoiminto. Verkon vikaannuttua vikaantunut verkon osa saadaan erotettua muusta verkosta avaamalla jokin vikakohta ja sähköaseman välinen erotin. Kun vika on korjattu, erotin on käytävä sulkemassa. Etenkin maaseudulla erottimen luokse siirtymiseen saattaa kulua pitkäkin aika. Erottimen kauko-ohjauksella erotin saadaan avattua tai suljettua nopeasti, jolloin sähkökatkon kesto-aika lyhenee ja katkosta aiheutuva haitta pienenee. Kauko-ohjatut erotinasemat pyritään sijoittamaan sellaisiin paikkoihin, joissa keskeytyskustannuksia saadaan eniten pienennettyä. Tällaisia paikkoja ovat yleensä verkon risteyskohdat, jotka sijaitsevat kaukana valvomosta tai jonne on muuten hankalat kulkuyhteydet tai joiden

läheisyydessä on merkittävää kuormitusta. Risteyskohdassa samalla asemalla voi olla 2 - 4 erotinta. /8/

Erotinaseman keskeiset osat ovat moottoriohjain, ohjausyksikkö, jännitemuuntaja tehonsyöttöä varten, ylijännitesuoja sekä radioantenni. Kytkinlaitteena voidaan käyttää tavallista erotinta tai kuormanerotinta. Kuormanerotin kykenee katkaisemaan tietyn kuormitusvirran ja kytkemään maksimissaan 12,5 kA oikosulkuvirran. Kauko-ohjattavan erotinaseman rakenne on esitetty kuvassa 22. /8/

Suomessa viestiyhteys on toteutettu lähinnä 85 MHz:n taajuusalueella toimivalla radioverkolla. Verkon ongelmia ovat olleet rajoitetut tiedonsiirtomahdollisuudet. Uusista tiedonsiirtomahdollisuuksista yksi on pakettiradioverkko, jossa sanomat välitetään ketjussa asemalta toiselle etukäteen määritellyn siirtotien mukaisesti. Vianilmaisimet kuuluvat myös verkostoautomaatioon. Vianilmaisimet nopeuttavat vian paikallistamista. Suurin hyöty ilmaisimista saadaan, mikäli ne ovat kaukoluettavia. /8/



Kuva 22. Kaukokäyttöinen erotinasema /8/

7. KOJEISTON OPPIMISTAVOITTEET

Kojeiston opetukseen liittyvät tavoitteet määrittelevät tässä työssä laaditun kojeiston teknisen määrittelyn sekä pääkaaviovaihtoehdot ja niihin liittyvät tekniset erittelyt. Oppimistavoitteiden määrittely toimii siten perustana kojeiston lopulliselle hankintasuunnitelmalle. Tässä osassa määritellään kojeiston tarkoituksenmukaiset oppimistavoitteet. Oppimistavoitteet on määritelty yhteistyössä sähkövoimatekniikan opettajien kanssa. Kojeisto sijoitetaan sähkövoimatekniikan laboratorioon 1 ja se otetaan käyttöön niin päivä- kuin aikuispuolen opiskelijoiden kouluttamiseen.

Työn tavoitteena on mahdollisimman todenmukaisen ja nykyaikaisen kojeiston hankinnan suunnittelu. Kojeistolla on voitava havainnollisesti sekä monipuolisesti opettaa kojeiston rakenteeseen, käyttöön, suojaukseen, sähkölaitosautomaation toteutukseen ja huoltotapahtumiin liittyviä tehtäviä.

Ammattikorkeakoulujen opintojaksokohtaiset opetussuunnitelmat laaditaan koulutusohjelmakohtaisten kompetenssivaatimusten mukaan. Liitteessä 1 on esitetty ammattikorkeakoulujen yhteinen sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehdon kompetenssivaade 05/2006. Sähkötekniiseen ja muuhun perusosaamiseen, suunnitteluosaamiseen, sähkönjakelun ja rakennusten sähköjärjestelmien osaamiseen sekä sähkökoneiden ja sähkökäyttöjen osaamiseen liittyvät kompetenssitavoitteet toimivat lähtökohtana kojeiston oppimistavoitteiden määrittelylle.

Kojeistoa käytetään opintojaksoilla demonstraatiolaitteena sekä työkohteena harjoitustehtävissä, laboraatioissa, sähkönjakelutekniikan käyttötoimenpiteissä ja sähkölaitostoiminnassa. Kojeistoa käytetään sähkölaitosautomaation, sähkönjakelutekniikan, relesuojauksen, suojaeleiden koestuksen, katkaisijoiden kunnonvalvonnan, sähkötekniisen dokumentoinnin sekä sähkötyöturvallisuuden opetukseen.

Kojeistoa voidaan käyttää usean opintojakson opetusvälineenä. Alla on esimerkkejä kurseista sekä niihin liittyvistä opetustehtävistä, joissa sähkövoimatekniikan laboratorioon hankittavaa kojeistoa voidaan käyttää:

- sähkötyöturvallisuus
 - jännitteettömyyden toteaminen, kojeiston maadoittaminen
 - valokaarisuojaus ja sen vaikutus henkilöturvallisuuteen
 - työskentely kojeistossa
- sähkövoimatekniikan perusteet
 - demonstraatio kojeiston toiminnasta, yleiskaavion sekä komponenttien esittely
- sähkötekniinen dokumentointi
 - sähköpiirustusten sekä johdotusten tutkiminen, komponenttien tunnistus ja toiminta

- sähkönjakelutekniikka
 - kojeiston kiskostojen, komponenttien, kaapelointien jne. sähkötekninen mitoittaminen ja laskutehtävät, käyttötoimenpiteiden opettaminen
 - sähköasema-automaatioon tutustuminen
- sähkönjakelutekniikan laboraatiot
 - relekoestukset eri menetelmillä
 - sähkölaitosautomaation toiminta
 - kojeiston käyttötoimenpiteet
 - kojeiston huoltotoimenpiteet.

Kojeiston rakenteeseen, toimintaan ja sähkölaitosautomaatioon sekä huolto- ja vikatoimenpiteisiin liittyvät yksityiskohtaiset oppimistavoitteet voidaan määrittellä edellisten näkökohtien perusteella seuraavasti:

Rakenne

- kojeiston IEC-standardin mukainen rakenne (esim. metallikuorinen, kennokoteloitu vaunukatkaisijakojeisto) ja kojeiston standardien mukaisten käyttöolosuhteiden määrittely
- kojeiston tekniset ominaisuudet (arvokilpi)
- kojeiston kennojen modulointi pitäen sisällään kokoojakisko-, pääkoje-, kaapelipäätte- ja toisiokojetilat
- turvalukitukset rakenneselosteesta
- pääkojetilan sovitevaihtoehdot (esim. katkaisijavaunu, erotinvaunu)
- vaunujen alatilat kalustus
- kokoojakiskorakenteet, kiskojen mitoitus ja kojeiston kaapeloinnin toteutus ja mitoitus
- kojeistorungon maadoitukset
- pääkojeiden rakenteet esim. leikkauspiirustuksista
- kytkennät jännitteettömänä, kojeistoon liittyvä dokumentointi (pääkaaviot, johdotuskuvat yms.) tutustuminen
- henkilöturvallisuuteen liittyvät asiat (valokaarioikosulut ja niiden aiheuttamien vaurioiden minimointi, paineenpurkauksen toteuttaminen)
- ulosvedettävien katkaisijoiden rakenne, toimintaperiaate ja valintaperusteet (sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet)
- kaapeloinnin toteutus, kaapelipäätteiden rakenne.

Toiminta ja sähkölaitosautomaatio

- kojeiston liittäminen sähkölaitosautomaatioon (esim. väyläkatkaisun käyttö, kennoterminaalit), tiedonsiirron toteutus
- sähkölaitosautomaation toteutus lähtö-, asema- ja valvomotasolla
- paikalliskäyttö-, käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmät
- katkaisijoiden, maadoituskytkimien ja erottimien paikallisohjaustoiminnot ja keskinäiset lukitukset
- katkaisijoiden ohjaaminen etänä käytönvalvontajärjestelmästä

- sähköenergioiden, virtojen ja jännitteiden mittaustoiminnot
- kennon erotusasentoon saattaminen
- katkaisijan vaihtaminen
- relesuojauksen toteutustapa ja periaate
- suojareleityypit ja -lajit sekä mahdolliset suojaustavat
- suojareleiden asettelut sekä niiden muuttaminen
- valokaarisuojauksen toteutustapa (suojausyksikkö, ilmaisimet, kaapelointi)
- mittamuuntajien valintaperusteet ja toiminta, suoja- ja mittamuuntajien määrittely sekä niiden väliset eroavaisuudet
- yleisimmät Suomessa käytetyt keskijännitekojeistojen kennotyypit ja niiden suojaus
- kojeistoa syöttävän generaattorin tahdistusehdot, tahdistaminen ja rinnankäyttö yhteiskäyttöverkon kanssa
- kojeiston saarekekäyttö generaattorin syöttämänä
- pika- ja aikajälleenkytkentöjen tarkoitus ja toteutus johtolähdöllä.

Huolto- ja vikatoimenpiteet

- suojareleiden koestaminen sekä koestuslaitteiden ominaisuudet
- kiskostojen ja liitosten lämpökuvaus
- generaattorin erottaminen huoltotöiden ja koekäyttöjen ajaksi
- keinovian tuottaminen (esim. maasulku) ja hälytysten tulkinta ja vikatoimenpiteet
- maadoituserottimien käyttö
- jännitteettömyyden toteaminen
- katkaisijoiden toiminta-aikojen mittaus
- katkaisijoiden ylimenovastusten mittaus.

Pääkaaviovaihtoehdot laaditaan seuraavassa osiossa siten, että kojeistoa voidaan käyttää mahdollisimman laaja-alaisesti opetuksessa. Teknistaloudellisista syistä hankinnalla ei ole realistista pyrkiä toteuttamaan opetusympäristöä kaikille em. oppimistavoitteille. Tarkoituksena on siis luoda mahdollisimman monipuolinen toteutusehdotus kustannusten pysyessä kohtuullisen pieninä. Hankittavalla järjestelmällä on myös oltava monipuoliset laajennusmahdollisuudet, jolloin sen linkaarta opetusvälineenä voidaan pidentää.

8. TOTEUTUSVAIHTOEHDOT

8.1. Tarkoitus

Tässä osiossa laaditaan kojeiston tekninen määrittely, pääkaaviovaihtoehdot eri käyttöjännitteille sekä pääkaaviokohtaiset tekniset erittelyt. Tekninen määrittely pätee kaikille vaihtoehdoille sellaisenaan. Eri vaihtoehtoja vertaillaan keskenään. Kustannusarviot vaihtoehdoista tehdään suurpiirteisesti tarkempia euromääriä määrittelemättä. Varsinaiseen kojeiston toimittajaan ei hankkeen tässä vaiheessa olla yhteydessä.

Kustannusarvioiden ja toteutusvaihtoehtojen vertailun jälkeen laaditaan toteutusehdotus. Tekninen määrittely laaditaan edellisessä osiossa määriteltyjen oppimistavoitteiden pohjalta. Teknisessä määrittelyssä määritellään mm. kojeiston käyttötapa, sijoitus ja kennovalikoima. Kaikki pääkaaviovaihtoehdot laaditaan teknisen määrittelyn perusteella käyttöjännitteen muuttuessa. Käyttöjännite vaikuttaa lukuisiin kojeiston toteutukseen liittyviin asioihin. Käyttöjännitteen vaikutusta toteutukseen tarkastellaan tarkemmin pääkaaviovaihtoehtojen yhteydessä osiossa 8.5.

8.2. Pääkaavion sisältö

Pääkaavio esittää kojeiston periaatteellisen järjestelyn sekä pääpiirien elimet ja niihin liittyvät laitteet. Pääkaavio on pääpiirien yksiviivainen esitys, josta ilmenevät kaikki niihin kuuluvat kojeet, kiskostot ja johdot sekä näihin liittyvät tärkeimmät apuvälineet, kuten mittarit ja releet. Kaavion tulee noudattaa mahdollisimman tarkasti laitteiden todellista sijoitusta, ja siihen on merkittävä laitososien ja niihin kuuluvien asennusyksiköiden sekä erillisten päaelinten tunnuksat.

Standardin SFS-EN 61082-1 mukaan tästä dokumentista pitää käyttää nimitystä yleiskaavio. Tässä työssä on kuitenkin selvyuden vuoksi käytetty nimitystä pääkaavio.

Eri pääkaaviovaihtoehdoissa esitetään seuraavat kojeistoja koskevat tiedot:

- lähtevien johtojen nimet täydellisinä sekä näiden tyyppi, poikkipinta, pituus ja lähtöjen työmaadoituspisteet
- kokoojakiskojen viereen käytetty jakelujärjestelmä, nimellisjännite, oikosulkukestoisuus, poikkipinta, kiskomateriaali ja nimellisvirta
- moottoreiden nimellisarvot
- muuntajien nimellisarvot, kytkentäryhmä, mahdollisten käämi- tai väliottokytkimen säätöportaiden lukumäärä ja portaan suuruus
- mittamuuntajien muuntosuhde sydämittäin, niiden lukumäärä ja tarvittaessa vaihemerkinnät
- katkaisijoiden nimellisvirrat ja katkaisukyvyt

- erottimien ja sulakkeiden nimellisvirrat
- kondensaattoreiden nimellistehot ja -jännite tai kapasitanssi sekä kytkentä
- kuristimien nimellisvirta ja reaktanssi
- ylijännitesuojien nimellisjännite ja -purkausvirta.

Kaavioon ei merkitä laitteiden tyyppimerkkejä, mittamuuntajien kuormitettavuutta ja tarkkuusluokkaa, mittareiden asteikkoarvoja eikä releiden asetusarvoja. Em. asiat esitetään teknisessä erittelyssä.

Pääkaaviot laaditaan yleisten laatimishojjeiden mukaisesti. Näitä ovat mm.:

- Pääkaavio piirretään yleismerkkejä käyttäen.
- Pääpiireissä pyritään mahdollisimman suoraviivaiseen esitystapaan välttämättä mahdollisuuksien mukaan risteämiä.
- Esitetään vain oleellinen.
- Porrastetaan esitys jänniteportaittain.
- Laitoksen keskinäistä maantieteellistä sijaintia on pidettävä sijoittelussa etusijalla.
- Kaavioon piirretään myös katkoviihvalla erotettuna kojeet ja laitteet, jotka eivät kuulu ko. toimitukseen mutta joiden olemassaolon tunteminen vaikuttaa oleellisesti kokonaisuuden oikein ymmärtämiseen.

8.3. Suunnittelun lähtökohdat

Kojeiston tekninen määrittely tehdään seuraavien näkökohtien perusteella:

- taloudellisuus (hankinta- ja elinkaarikustannukset)
- tarkoituksenmukaisuus (opetussuunnitelmien oppimistavoitteiden täyttyminen)
- toteuttamiskelpoisuus
- turvallisuusnäkökohdat (lopullinen käyttöjännite, IP-luokittelu)
- sähkötekniikan opettajien henkilökohtaiset toiveet
- kojeiston muunneltavuus ja monipuolisuus, jolloin sitä voidaan laajentaa myöhemmin kattamaan myös mahdolliset muut koulutustarpeet ja -mahdollisuudet.

8.4. Tekninen määrittely

Sähkövoimatekniikan laboratorioon 1 sijoitettavalla kojeistolla pyritään mallintamaan todellisuutta vastaavaa sähköasemalla sijaitsevaa keskijännitekojeistoa, jossa voidaan suorittaa kytkentöjä, jännitteen muuntamista ja sähköenergian keskittämistä, siirtämistä tai jakoa eri johdoille. Kojeisto varustetaan lisäksi kennolla, jonka kuormana toimii kolmivaiheinen epätahtimoottori. Tällä pyritään mallintamaan myös teollisuudessa käytettyä keskijännitekojeiston moottorilähtökennoa. Kojeiston on täytettävä sähköturvallisuusmääräykset sekä eri standardien sille asettamat vaatimukset.

Tässä osassa kuvataan yleiset kojeiston käyttöön ja toteutusperiaatteeseen vaikuttavat asiat. Kaikki yksityiskohtaiset pääkaaviovaihtoehdot laaditaan näiden näkökohtien

perusteella. Perusajatuksena on toteuttaa kojeisto nimellisarvoiltaan keskijännitekojeistoa vastaavana. Pääkaaviovaihtoehdot laaditaan 20 000:n, 400:n ja 690 V:n käyttöjännitteille.

8.4.1. Käyttöolosuhteet ja sijoituspaikka

Kojeisto sijoitetaan sähkövoimalaboratorioon, jolloin se ei ole standardin SFS 6001 määrittelemä sähkötila. Olosuhteet eivät poikkea standardin SFS-EN 62271 määrittelemistä:

- lämpötila
 - maksimi +40 °C
 - maksimi 24 h keskiarvo +35 °C
 - minimi (luokka ”minus 5 indoor”) -5 °C
- sijoitus enintään 1000 m merenpinnan yläpuolelle
- suhteellinen kosteus (24 h keskiarvo) enintään 95 %
- ilmassa ei ole merkittävästi pölyä, savua, suolaa ym. syövyttäviä aineita.

Kojeiston sijoituspiirustus on esitetty liitteessä 2. Kojeisto sijoitetaan käytävän ja sähkövoimalaboratorion erottavalle väliseinälle, jolloin pääkaaviovaihtoehtojen kennojärjestys on valittu siten, että kaapelivedot generaattorilta ja päämuuntajalta ovat mahdollisimman lyhyitä ja loogisia. Kojeiston paikallisohjaus toteutetaan kustakin kennosta tai samaan tilaan sijoitettavasta paikallisohjauspisteestä. Myös molempien vaihtoehtojen toteuttaminen on mahdollista. Lisäksi ohjauksia suoritetaan kauko-ohjatusti sähkölaitosautomaatiosta.

8.4.2. Syöttö- ja maadoitustapa

Kojeistolle järjestetään syöttö varavoimakoneelta (nimellisteho luokkaa 50 kVA) sekä yhteiskäyttöverkosta (päämuuntajan nimellisteho luokkaa 50 kVA). Generaattori- ja päämuuntajakennot syöttävät kojeiston kokoojakiskostoa, jota puolestaan kuormitetaan lähtökenttien välityksellä. Kojeistoon järjestetään myös syöttökenttien rinnankäyttömahdollisuus, jolloin generaattorikenttä ja päämuuntajakenttä syöttävät yhtäaikaaisesti lähtökenttien kuormituksia. Tällöin syöttökenttiin on järjestettävä tahdistus. Kojeisto toteutetaan maasta erotettuna (IT) järjestelmänä.

8.4.3. Käyttötapa ja rakenteeseen liittyvät seikat

Käyttötapa

Kojeistoa käytetään säteittäisenä. Generaattori- ja päämuuntajakenttiä on voitava käyttää rinnakkain, jolloin kojeistoon on toteutettava verkkoon tahdistus. Tahdistus voidaan toteuttaa varavoimakoneen omalla tahdistusjärjestelmällä ja verkkoonliityntälaitteistolla, joka pitää sisällään tarvittavat mittaukset, säädöt ja ohjaukset sekä generaattorikatkaisijan. Tahdistaminen voidaan toteuttaa vaihtoehtoisesti myös päämuuntajakentän katkaisijalla, mikäli hankittava varavoimakone ei sisällä omaa tahdistuslaitteistoa. Päämuuntajakentän katkaisijalla tahdistamiseen tarvittavan laitteiston lisäkustannukset selvitetään toimittajalta.

Kokoojakiskostosta toteutetaan lähtöjä kennoittain. Kennot varustetaan halutuilla kojeilla, kuten katkaisijoilla ja mittamuuntajilla siten, että osiossa 7 määritellyt opetustavoitteet pystytään täyttämään mahdollisimman monipuolisesti. Kojesta käytetään säteittäisenä ja sitä kuormitetaan eri tavoin. Kuormitusten virtoja ja tehoja tarkkaillaan.

Rakenne

Erään valmistajan tietojen mukaan kennokoteloidut (Cubicle) kojeistot ovat n. 25–30 % vastaavia metallikoteloituja kojeistoja edullisempia. Kustannussyistä valitaan kojeiston perusrakenteeksi metallirakenteinen, ilmaeristeinen kennokoteloitu kojeisto.

Kojeiston päätyseinät korvataan läpinäkyvällä materiaalilla, esim. polykarbonaatilla. Tällä mahdollistetaan kojeiston sisäisen rakenteen tarkastelu kojeiston ovia avaamatta.

Sähköinen lujuus

Kojeiston lopullinen käyttöjännite määrittelee myös sähköisen lujuuden vaatimukset. Eristysten ja jännitelujuuden tulee olla suurimman esiintyvän käyttöjännitteen mukaisia. Mikäli kojeisto toteutetaan käyttöjännitteestä riippumatta rakenteeltaan normaalia keskijännitekojeistoa vastaavana, sen terminen ja dynaaminen oikosulkulujuus täytyvät näissä käyttöolosuhteissa selvästi, eikä niitä tarvitse erikseen määritellä.

Keskijännitekojeistoja on yleisesti saatavilla nimellisjännitteillä 12, 17,5 ja 24 kV. Kojeiston nimellisjännitteeksi valitaan käyttöjännitteestä riippumatta jokin edellä mainituista. Tässä käyttöympäristössä esiintyvät oikosulkuvirrat ovat niin pieniä, ettei sähköisen lujuuden osalta tarvitse asettaa vaatimuksia oikosulkukestoisuudelle, dynaamiselle kestoirralla, eikä myöskään vaihtojännite- ja syöksyjännitelujuudelle. Pienjännitteellä kojeiston nimellisjännitteeksi valitaan edullisin vaihtoehto.

Kokoojakiskosto

Kokoojakiskosto toteutetaan yksikiskojärjestelmänä. Yksikiskojärjestelmän valintaan vaikuttavat sen edullisuus, yksinkertaisuus opetuskäyttöä ajatellen (suojauksen toteutus, rakenne), sekä kojeiston säteittäinen käyttötapa. Kojesto tulee opetuskäyttöön, jolloin siltä ei vaadita esimerkiksi sähköntoimituksen käyttövarmuutta tai vaihtoehtoisia tehon kulkureittejä. Kokoojakiskoston liitokset ovat oltava lämpökuvattavissa. Kiskostossa esiintyvät virrat ovat tässä käytössä käyttöjännitteestä riippumatta pieniä, joten kiskosto toteutetaan alumiinisena ja pienimmällä saatavilla olevalla poikkipinta-alalla. Näin säästetään kustannuksissa.

Kotelointiluokka

Ulkopintojen kotelointiluokan on oltava toimintayksiköiden kaikissa asennoissa vähintään IP2X. Sisäisen koteloinnin on oltava vähintään IP2X. Toisiokojetilän sisällä on noudatettava osittaisen kosketussuojauksen vaatimuksia.

Valokaari ja paineenpurkaus

Käyttötoimenpiteitä suoritetaan niin paikallisesti kuin kauko-ohjatustikin. Virheohjaukset estetään lukituksin, mikä pienentää valokaaren syntymisen todennäköisyyttä. Opetus- ja turvallisuussyistä kojeistossa käytetään valokaarirelettä. Kojeston kokoojakiskosto varustetaan optisilla valokaarivartijoilla, jotka valokaaren havaitessaan avaavat syöttävät katkaisijat. Oikosulkutehot, ja siten myös valokaaren aiheuttamat haittavaikutukset, ovat tässä käytössä pieniä, eikä niitä ole syytä erikseen tarkastella. Valokaaripaine purkautuu kojeistosta ulos samaan huonetilaan. Liitteen 2 kojeiston sijoituskuvasta havaitaan, että kojeiston takana ei ole ulkoseinää vaan käytävän väliseinä. Erityistä paineenpurkauskanavistoa ei tässä tapauksessa ole perusteltua toteuttaa.

Maadoitus

Kojeston eri osien tulee täyttää suojamaadoitusvaatimukset. Toinen päätykenno varustetaan mitoitusmaasulkuvirran kestäväällä liittimellä ulkopuolisen maadoitusjohtimen liittämistä varten. Molempien päätykennojen varustaminen maadoitusliittimillä tulisi kyseeseen useamman kennon kattavassa kojeistossa.

8.4.4. Kennosovitteet ja -järjestys

Kojestoon hankitaan enimmillään viisi kennoa. Kojestoa käytetään säteittäisenä eikä siten käytetä lainkaan pitkittäiskennoja. Tätä ratkaisua puoltaa myös kojeiston rakenteen ja suojauksen säilyminen riittävän yksinkertaisena opetuskäyttöä ajatellen. Pääkojeet asennetaan erottimena toimivaan vaunuun, jolloin erillisten erottimien hankinta voidaan sulkea pois. Tämä mahdollistaa matalammat hankintakustannukset, erottimien kauko-ohjauksen sekä mahdollisuuden tutkia ulosvedettäviä pääkojeita tarkemmin. Jokaisella ulosvedettävällä yksiköllä on oma vaununsa. Vaunu saa tulla erotusasennossaan osittain kennosta ulos.

Kohdassa 3 määriteltyjen opetustavoitteiden perusteella kennot valitaan seuraavasti:

1. generaattorikkenno

- kojeiston syöttö varavoimakoneella
- generaattorin tahdistusmahdollisuus
- saarekekäyttömahdollisuus
- generaattorikennon suojauksen toteutus

2. päämuuntajakkenno

- kojeiston syöttö päämuuntajalta, joka on liitetty yhteiskäyttöverkkoon
- mahdollinen tahdistus päämuuntajakennon katkaisijalla
- päämuuntajakennon suojauksen toteutus

3. mittauskenno

- kiskojännitemittaus suojauksia varten

4. moottorilähtökkenno

- moottorilähtökennon kuormittaminen epätahtimoottorilla sekä moottorilähdölle tyypillisten suojausten toteuttaminen

5. johtolähtökkenno

- johtolähtökkenno, jossa on kaukokäyttöinen erotinasema (DTU), muuntaja sekä avojohtoa
- johtolähtökennon suojausten sekä pika- ja aikajälleenkytkentöjen toteutus.

Tällöin kennovalikoima on monipuolinen, ja kattaa yleisimmin Suomessa käytössä olevat kennoratkaisut. Moottorilähdön kennolla saadaan havainnollistettua teollisuudessa käytetyn keskijännitekojeiston kennon erityisiä suojausvaatimuksia, sekä johtolähtökennolla havainnollistetaan sähkölaitosmaailman johtolähtökennon suojausvaatimuksia pika- ja aikajälleenkytkentöineen. Kojeistoon liitetty varavoimakone mahdollistaa myös sähkön tuotantoon liittyvien asioiden opettamista.

8.4.5. Katkaisijat

Katkaisijoina käytetään yleisimpiä keskijännitekatkaisijoita eli tyhjö- ja SF6-katkaisijoita. Katkaisijat valitaan siten, että kumpaakin edellä mainittua katkaisijaa on kojeistossa ainakin yksi kappale. Tällä saadaan havainnollistettua molempien katkaisijoiden rakennetta sekä toimintaperiaatetta.

Katkaisijoiden nimellisvirraksi voidaan valita pienimmän tarjolla olevan nimellisvirran omaava katkaisija. Tässä käytössä ei myöskään vaadita suurta katkaisukykyä, joten voidaan valita katkaisukyvyltään pienimmän virran omaava katkaisija. Oletettavasti pääkojeiden hankintakustannukset ovat tällöin pienemmät. Katkaisutapahtumia tulee opetuskäytössä normaalikäyttöä huomattavasti enemmän, mutta virtojen ollessa hyvin pieniä katkaisijoiden toimintakertoihin ei kojeen elinikää ajatellen tarvitse kiinnittää huomiota.

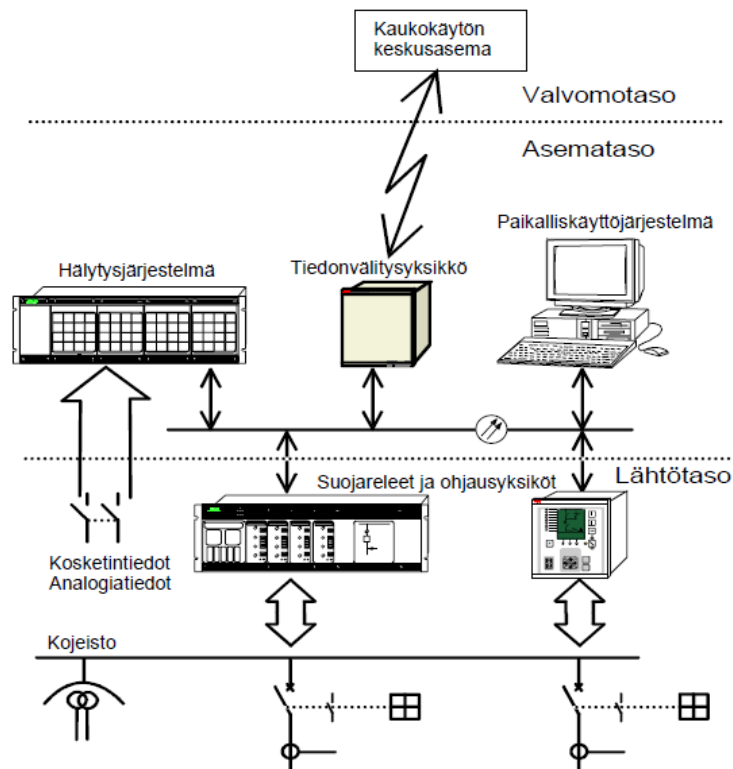
Katkaisijat varustetaan tarvittavilla komponenteilla kuten esim. jälleenkytkentöihin soveltuvilla moottoriohjaimilla, katkaisijavaunujen siirtomoottoreilla, laukaisukeloilla (moottorilähdössä alijännitelaukaisu), sekä apukoskettimilla. Katkaisijoilla on oltava ohjausmahdollisuus sekä paikallisesti että etänä. Katkaisijoiden varustelu määritellään tarkemmin pääkaaviovaihtoehtojen teknisissä erittelyissä.

8.4.6. Tasasähköjärjestelmä, suojaukset, ohjaukset ja hälytykset

Kojeiston suojausta ja ohjausta varten toteutetaan todellisuutta vastaava apusähköjärjestelmä, johon järjestetään varaus akkuvarmennukselle. Akustoa ei vielä kojeiston hankinnan yhteydessä tulla toteuttamaan. Akusto vaatisi oman ilmastoidun sijoituspaikan sekä aiheuttaisi lisäkustannuksia. Tässä työssä laaditaan tasasähköjärjestelmän kuvaus sekä pääkaavio suojauksineen osiossa 10. Tasasähköjärjestelmän suojaus toteutetaan voimassa olevien standardien ja määräysten mukaisesti.

Tavoitteena on luoda kokonaisvaltainen oppimisympäristö sisältäen myös sähkölaitosautomaation. Sähkölaitosautomaatioon liittyvien opetustavoitteiden kannalta järjestelmän rakenteesta tulee pystyä selkeästi erottamaan lähtötaso, asemataso sekä valvomotaso. Lähtötasolla toimivat kennokohtaiset suojarleet. Asematasolla laboratoriotilaan sijoitetaan paikallisohjauksjärjestelmää käyttävä ohjauspiste, jonka toimintaan tarvittava tieto välitetään esim. valokaapelilla suojarleiltä. Asematason tiedonvälitysyksikön kautta järjestetään yhteys etävalvomossa sijaitsevaan valvomotason ohjauspisteeseen. Valvomotasolle järjestetään käytönvalvonta- sekä käytöntukijärjestelmät. Järjestelmistä hankitaan oppilaitoskäyttöön sopivat versiot siten, että kustannukset pysyvät mahdollisimman alhaisina.

Paikallisautomaatiojärjestelmä pyritään toteuttamaan esim. kuvan 23 ABB:n mallin mukaiseksi. Tiedonsiirrossa pyritään käyttämään moderneja ratkaisuja hyödyntäen esim. valokuitua.



Kuva 23. Esimerkki paikallisautomaatiojärjestelmän toteutuksesta /3/

Hälytykset käsitellään käytönvalvontajärjestelmässä, eikä asematasolla toimivaa hälytysjärjestelmää toteuteta. Käytönvalvontajärjestelmällä tulee lisäksi voida suorittaa tarvittavia ohjaustoimenpiteitä sekä releasetteluiden muuttamista etävalvomosta. Käytöntukijärjestelmällä luodaan reaaliaikaisesti päivittyvä verkkonäkymä sekä verkon hallintaa ja käyttötoimenpiteitä avustava järjestelmä. Johtolähtöön lisätään todennäköisesti kaukokäyttöinen erotinasema (DTU), joka tulee pystyä lisäämään verkkonäkymään.

Koska järjestelmän edellytyksenä on täysi kaukokäyttökelpoisuus, on sen tiedonsiirto järkevintä toteuttaa käyttämällä väyläratkaisua. Väylästandardi valitaan siten, että kustannukset ovat mahdollisimman alhaiset sekä useampien valmistajien suojeleiden liittäminen järjestelmään on mahdollista. Käyttämällä väylää tiedonsiirrossa myös kaapeloinnit ovat selkeämpiä ja nykyaikaisia sekä releasetteluita kyetään muuttamaan etänä. Laitteistolla tullaan opettamaan myös suojeleiden koestamista, jolloin hankintaan on lisättävä koestuslaitteisto.

Kojeiston relesuojaus toteutetaan siten, että suojaukseen liittyvät opetustavoitteet täyttyvät mahdollisimman monipuolisesti, pitäen sisällään moottorisuojauksen, johtolähtösuojauksen (myös pj-k ja ajk), sekä syöttökennojen suojauksen. Releiden ominaisuudet on määritelty tarkemmin teknisissä erittelyissä. Nykyaikaiseen kennoterminaaliin on integroitu tarvittavat suojaus, ohjaus, mittaus ja hälytystoiminnot.

8.5. Pääkaaviovaihtoehdot

Tämän työn tuloksena laaditut pääkaaviovaihtoehdot eroavat toisistaan käyttöjännitteen osalta teknisen määrittelyn, ja siten myös kennovalikoiman ja -järjestyksen, pysyessä samana. Käyttöjännite vaikuttaa useisiin seikkoihin, mm. kojeistossa esiintyvien virtojen suuruuteen ja siten virtamuuntajien valintaan, jännitemuuntajien valintaan, turvallisuusnäkökohtiin laboratorioympäristössä sekä toteuttamiskelpoisuuteen.

Jokaisen pääkaaviovaihtoehdon yhteydessä on laadittu ko. vaihtoehtoa koskeva tekninen erittely. Tekniset erittelyt on laadittu käyttäen apuna Sähkötieto ry:n ”ST 830.15 KESKIJÄNNITELAITTEET. TEKNINEN ERITTELY” -korttia.

Toteutusvaihtoehtoja vertaillaan keskenään (kustannukset, toteutuskelpoisuus, tarkoituksenmukaisuus, laajennettavuus) myöhempää hankinnan budjetointia varten. Tarkastelun tuloksena laaditaan toteutusehdotus osiossa 9 sisältäen lopullisen käyttöjännitteen määrittelyn, pääkaavio- ja teknisen erittelyn, joilla kojeistoa esitetään toteutettavaksi ja joiden pohjalta tarjouspyynnöt toimittajille laaditaan.

8.5.1. 20 kV:n pääkaaviovaihtoehto

Tässä osassa tarkastellaan 20 kV:n pääkaaviovaihtoehtoa. Pääkaavio on esitetty liitteessä 3. Tässä vaihtoehdossa normaali käyttöjännite on 20 kV. Ensimmäiseen vaihtoehtoon pätevät kaikki kohdassa 4.4 esitetyt rakenteeseen ja yleisiin vaatimuksiin sekä käyttöolosuhteisiin ja sähköiseen lujuteen vaikuttavat asiat. Vaihtoehdon tekninen erittely on esitetty liitteessä 6.

Kojeisto sisältää seuraavat kennot:

- 1 kpl generaattorikenno
- 1 kpl päämuuntajakkenno
- 1 kpl mittauskenno
- 1 kpl moottorilähtökenno

- 1kpl johtolähtökenno.

Tarkastellaan seuraavaksi kennoissa esiintyviä virtoja ko. käyttöjännitteellä. Liitteen 3 pääkaaviossa on esitetty lähtökennoihin kytkettävien kuormitusten suuruudet. Generaattorisyyttökennoon liitetään nimellisteholtaan 50 kVA:n varavoimakone. Moottorilähtökennoa kuormitetaan 11 kW:n pienjännitemoottorilla, joten välimuuntajana voidaan käyttää 20 kVA:n muuntajaa. Moottorin ottama kuormitusvirta on laskettu $\cos \theta$:n arvolla 0,9, joka on yleinen tehokerroin tämän kokoluokan oikosulkumoottorille. Esiintyvät virrat voidaan laskea kaavalla 8:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} \quad (8)$$

missä
 S on näennäisteho
 U on pääjännite
 I on virta

Generaattori ja päämuuntajakkenno

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{50kVA}{\sqrt{3} * 20kV} = 1,44A$$

Moottorilähtökenno

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{12kVA}{\sqrt{3} * 20kV} = 0,35A$$

Johtolähtökenno

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{20kVA}{\sqrt{3} * 20kV} = 0,58A$$

Kuten laskelmista huomataan, kennojen virrat ovat erittäin pieniä. Näin pienille virroille tarkoitettuja keskijännitevirtamuuntajia ei ole yleisesti tuotannossa. Laitteet on suunniteltu käytettäväksi useiden satojen ampeerien nimellisvirroilla, ja tässä käytössä virrat ovat vain murto-osan niistä. Tähän käyttöympäristöön tarvittaisiin erityisen pienen muuntosuhteen (luokkaa 1/1) omaavat virtamuuntajat. Rogowskin käämiin perustuvilla virtamuuntajilla saadaan mitattua tarkasti nimellisvirtaansa verrattuna hyvin pieniäkin virtoja, joten tähän tekniikkaan perustuvien muuntajien käyttö voisi olla perusteltua. Toteutuskelpoisuus täytyy selvittää valmistajakohtaisesti. Suojareleen toimintaa ajatellen ensiöpuolen käyttöjännitteellä tai esiintyvillä virroilla ei ole merkitystä, kunhan relettä ohjaavat virta- ja jänniteviestit ovat sopivan suuruisia.

Kojeisto tulee varustaa läpinäkyvillä päätyseinillä rakenteen havainnollistamisen helpottamiseksi. Kojeiston käyttöjännitteen ollessa 20 kV tällaisen rakenteen käyttäminen

on sähköturvallisuusmääräysten vastaista. Lisäksi keskijännitteellä toteutettava kojeisto ko. käyttöympäristössä vaatisi mm. aitauksen kojeiston ympärille sekä lukuisia muita turvallisuuden takaavia toimenpiteitä.

Lisäkustannuksia aiheutuu tarvittavien välimuuntajien määrästä. Varavoimakoneelta sekä yhteiskäyttöverkosta saatava 400 V:n jännite täytyy muuntaa kojeistossa käytettyyn 20 kV:iin. Moottorilähtökennoa kuormitetaan pienjännitteellä toimivalla oikosulkumoottorilla, joten kojeiston ja moottorin väliin tarvitaan Dd-kytkentäryhmään kuuluva muuntaja. Myös johtolähtökennon kuormitus toteutetaan pienjännitteisenä, jolloin myös tähän lähtöön tarvitaan muuntaja. Yhteensä muuntajia tarvitaan tällöin neljä kappaletta.

Ongelmia aiheutuu myös välimuuntajien sijoituspaikasta sekä soveltuvuudesta laboratorioympäristöön niin, että kosketusjännitesuojaukseen liittyvät vaatimukset täyttyvät. Mikäli muuntajat voitaisiin sijoittaa kennojen alaosaan, kustannuksissa säästettäisiin.

Kojeiston lähtö- ja syöttökennojen kaapelointi tulisi tässä vaihtoehdossa toteuttaa esim. APYAKMM-tyyppisellä keskijännitekaapelilla. Ko. kaapeli on huomattavasti pienjännitekaapeleita kalliimpaa niin itse kaapeli, kuin kaapelipäätteiden osalta. Kaapelipäätteinä voidaan käyttää esim. letkupäätteitä, jotka on tarkoitettu kuivaan sisätilan asennukseen. Keskijännitekaapelipäätteiden lukumäärä on tässä vaihtoehdossa kahdeksan kappaletta. Kaapelointi täytyisi tehdä lisäksi kojeiston alla sijaitsevassa lattiakanavassa, jonka lisääminen nykyiseen rakennusurakkaan aiheuttaisi lisäkustannuksia.

Kaapeloinnista aiheutuva maakapasitanssi on tässä käytössä häviävän pieni, eikä maasulkuvirtaa siten juuri esiinny. Laskennallista maasulkuvirtaa ole tässä käytännöllistä esittää. Maasulkuvirta saadaan aikaan lisäämällä kytkentään kapasitanssia. Käytännössä kapasitanssin lisääminen täytyisi tässä vaihtoehdossa toteuttaa suurjännitekondensaattoreilla, mikä lisää kustannuksia edelleen huomattavasti. Kojeistolla ei ole yhteyttä avojohtoihin.

20 kV:n käyttöjännitteellä saavutetaan myös merkittäviä hyötyjä. Toteuttamalla kojeisto 20 kV jännitteellä sähkövoimatekniikan opetussuunnitelmaan saataisiin sisällytettyä suurjännitekoulutusta, mikä lisäisi oppilaitoksen tunnettua ja vetovoimaisuutta. Keskijännitteen käyttö vaikuttaisi todennäköisesti positiivisesti mm. myös opiskelijoiden asenteisiin turvallisia työskentelytapoja kohtaan. Lisäksi kojeisto olisi rakenteeltaan, kojeiltaan ja kaapeloinneiltaan täysin todellista keskijännitekojeistoa vastaava. Pääkaavioratkaisu muistuttaisi myös todellista sähköaseman keskijännitekojeistoa välimuuntajineen.

Kojeiston toteuttaminen pienemmällä, esim. 6 kV:n keskijännitteellä, voisi olla myös mahdollista. Ongelmat olisivat kuitenkin hyvin pitkälle samoja, tosin lievempiä. Tätä vaihtoehtoa ei tässä työssä tarkemmin tarkastella.

8.5.2. 400 V:n pääkaaviovaihtoehto

Pääkaaviovaihtoehto 2 on esitetty liitteessä 4. Vaihtoehdon tekninen erittely on esitetty liitteessä 7. Tässä vaihtoehdossa normaali käyttöjännite on 400 V ja suurin esiintyvä käyttöjännite 440 V. Perusajatuksena tässä vaihtoehdossa on toteuttaa kojeisto rakenteellisesti normaalia keskijännitekojeistoa vastaavana, jolloin kojeiston, kiskoston ja komponenttien nimellisjännite on 24 kV. Tällöin rakenteeseen liittyvät opetustavoitteet täyttyvät. Käyttöjännitteen ollessa 400 V täytyy mittamuuntajien ominaisuuksiin kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota.

Kojeisto sisältää seuraavat kennot:

- 1 kpl generaattorikenno
- 1 kpl päämuuntajakenno
- 1 kpl mittauskenno
- 1 kpl moottorilähtökenno
- 1 kpl johtolähtökenno.

Toteutus eroaa ensimmäisestä 20 kV:n vaihtoehdosta pääkaaviotasolla seuraavasti:

- Varavoimakone voidaan kytkeä suoraan generaattorisyöttökennoon, jolloin välimuuntajaa ei tarvita.
- Moottorilähtökenno voidaan liittää suoraan 400 V nimellisjännitteiseen moottoriin.
- Päämuuntajakennoa syöttävä muuntaja toimii ainoastaan maasta erottavana muuntajana (muuntosuhde 1).
- Johtolähtökennossa ei tarvita välimuuntajaa.
- Kaapelointi sekä kaapelipäätteet voidaan toteuttaa pienjännitteellä (esim. AMCMK 3x35Al+10Cu) kustannuksissa säästämiseksi. Esimerkiksi toinen päätykennoista voitaisiin toteuttaa keskijännitekaapelilla, jolloin kaapelin ja kaapelipäätteen rakenne olisi näkyvillä.

Em. seikat vaikuttavat huomattavasti lopullisiin kojeistosta aiheutuviin kustannuksiin. Kustannukset ovat tässä vaihtoehdossa huomattavasti alemmat. Lisäksi oppimisympäristö voidaan toteuttaa SFS 600 -standardin vaatimusten mukaisesti laboratoriotilaan, jossa tapahtuu opetusta.

Tässä vaihtoehdossa on käytettävä mittamuuntajien osalta tähän käyttöön räätälöityjä ratkaisuja. Tarkastellaan kennojen nimellisvirtoja jännitteen ollessa 400 V.

Generaattori- ja päämuuntajakenno

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{50kVA}{\sqrt{3} * 0,4kV} = 72,2A$$

Moottorilähtökenno

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{12kVA}{\sqrt{3} * 0,4kV} = 17,3A$$

muuntajalähtökenno

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{20kVA}{\sqrt{3} * 0,4kV} = 28,9A$$

Kojeiston virtamuuntajina voidaan käyttää pienjännitemuuntajia, joiden muuntosuhteet valitaan em. arvojen perusteella. Syöttökennoihin voidaan valita muuntosuhteen 75/5/5 omaavat virtamuuntajat. Moottorilähtökennoon valitaan muuntosuhteen 20/5/5 ja johtolähtökennoon muuntosuhteen 30/5/5 ja omaava virtamuuntaja. Em. nimellisarvot ovat standardisoituja sekä kuuluvat suositeltavimpiin arvoihin. Jännitemuuntajina käytetään 400 V pääjännitteellä toimivaa muuntajaa.

Kaapelointi voidaan toteuttaa tässä vaihtoehdossa esim. 3x35Al+10 Cu-kaapelilla, jonka jatkuva kuormitettavuus on asennustavasta riippuen 74–121 A. Lähtökennojen kuormitusvirta on huomattavasti syöttökennoja pienempi, jolloin lähtökennojen kaapeloinnissa voidaan käyttää pienemmän poikkipinnan omaavaa kaapelia. Kaapelipäätteet valitaan käytetyn kaapelin mukaan.

Varavoimakoneen kaapelointi kannattaa tehdä siten, että konehuoneeseen asennetaan välilotelo, jossa jäykkä MCMK- tai AMCMK-kaapeli vaihdetaan taipuisaan kaapeliin ennen konetta. Samoin kannattaa menetellä ohjauskaapelin kanssa. Kone tarvitsee käynnistyksen ja pysäytyksen aikana ja tämä rasittaa ja murtaa jäykän kaapelin ajan myötä.

Kennojen lähtö- ja syöttökaapeloinneille ei tarvitse tehdä erillistä lattiakanavaa, vaan kaapelointi voidaan tehdä esim. kennojen takaa. Tällöin ei kuitenkaan voida demonstroida oikeanlaista kojeiston keskijännitekaapelointia kaapelipäätteineen. Vaihtoehtona on kojeiston asentaminen korotetulle lattialle ja kaapelointi kennoihin toteutetaan kojeiston alta.

Opetusympäristössä käytetään verkkoon tahdistuvaa varavoimajärjestelmää, jolloin varavoimalaitteessa on vakiona myös ohjausjärjestelmä, joka ohjaa ja suojaa moottoria sekä generaattoria, valvoo verkkojännitettä ja ohjaa generaattorikatkaisijaa. Varavoimakoneena käytetään yleisen jakeluverkon kanssa rinnan käyvää laitteistoa, jonka tuotanto voidaan osittain tai kokonaan siirtää verkkoon ja joka sisältää myös tahdistuksen. Generaattorin oikosulkuvirta on tyypillisesti n. kolminkertainen nimellisvirtaansa nähden.

8.5.3. 690 V:n pääkaaviovaihtoehto

690 V:n pääkaaviovaihtoehto on esitetty liitteessä 5. Vaihtoehdon tekninen erittely on esitetty liitteessä 8. Tämä vaihtoehto on hyvin pitkälti 400 V:n vaihtoehtoa vastaava. Kojeston ulkopuoliselta osalta 690 V:n vaihtoehto muistuttaa 20 kV:n vaihtoehtoa. Kyseessä on siten aikaisempien vaihtoehtojen yhdistelmä käyttöjännitteen pysyessä pienjännitteenä. Tälle vaihtoehdolle ominaista:

- Kaikkien välimuuntajien muuntosuhde on 400/690 V.
- Kaikissa kennoissa moottorilähtökennoa lukuun ottamatta tarvitaan välimuuntaja.
- Moottorilähtökenno voidaan liittää suoraan 690 V nimellisjännitteeseen moottoriin.
- Kaapelointi voidaan toteuttaa pienjännitekaapeleilla (esim. AMCMK 3x35Al+10Cu). Esimerkiksi toinen päätykennoista voitaisiin toteuttaa keskijännitekaapelilla, jolloin kaapelin ja kaapelipäätteen rakenne olisi näkyvillä.

Tässäkin vaihtoehdossa kojeisto toteutetaan 24 kV:n nimellisjännitteellä. Jännitemuuntajien muuntosuhde valitaan käyttöjännitteen 690 V mukaan. Kennojen kuormitusvirrat pienenevät jännitteen kasvaessa. Tarkastellaan virtoja 690 V:n käyttöjännitteellä.

Generaattori- ja päämuuntajakkeno

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{50kVA}{\sqrt{3} * 0,69kV} = 41,83A$$

Moottorilähtökenno

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{12kVA}{\sqrt{3} * 0,69kV} = 10,04A$$

Muuntajalähtökenno

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{20kVA}{\sqrt{3} * 0,69kV} = 16,73A$$

Virtamuuntajien muuntosuhteet on valittu em. laskettujen arvojen mukaan seuraavasti:

- lähtökennot 40/5/5 A
- moottorilähtökenno 10/5/5 A
- muuntajalähtökenno 20/5/5 A.

Muuntosuhteen 40/5/5 A virtamuuntaja ei kuulu suositeltavimpiin mitoitusensiövirtoihin. Lähtökennojen virtamuuntajiksi voidaan valita myös 30/5/5 tai 50/5/5 muuntosuhteen virtamuuntajat.

8.6. Kustannusarviot

Tässä osassa keskitytään pääkaaviovaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailuun, ts. kustannuksia nostavien ja laskevien seikkojen tarkasteluun. Tavoitteena on saada suuntaa antava kustannusarvio jokaisesta toteutusvaihtoehdosta myöhempää hankinnan budjetointia varten. Kustannusarviot laaditaan teknisen määrittelyn, pääkaavioiden sekä niihin liittyvien teknisten erittelyiden mukaan. Pääkaaviokohtaiset kustannusarviot pitävät sisällään seuraavat kokonaisuudet:

- kojeisto ja sen sisältämät kojeet ja komponentit
- suojarleet ja niiden koestuslaitteisto
- kaapelit ja kaapelipäätteet
- välimuuntajat
- mukautettava paikallisohtausjärjestelmä sähkövoimalaboratorioon 1
- mukautettava käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmä etävalvomoon
- tietoliikennejärjestelmän kaapelit ja siinä tarvittavat laitteet (reitittimet, keskittimet, tiedonvälityksikkö yms.)
- tasasähköjärjestelmä.

Varavoimakone ja kaukokäyttöinen erotinasema jätetään kojeiston kustannusarviosta pois. Järjestelmässä voidaan hyödyntää olemassa olevaa erotinasemaa. Varavoimakoneen hankinta toteutetaan erillään kojeiston hankinnasta.

Tasasähköjärjestelmän toteutus on esitelty osiossa 10. Tasasähköjärjestelmä toteutetaan 110 V:n DC-pääkaavion mukaan siten, ettei akustoa eikä siihen tasasähkökeskuksella liittyvää osaa kytkinvarokkeineen hankita. Keskukseen on jätettävä varaus järjestelmän myöhempää liittämistä varten.

Pääkaaviovaihtoehdot ovat kustannuksiltaan yhtenevät seuraavien kokonaisuuksien osalta:

- suojarleet ja niiden koestuslaitteisto
- paikallisohtausjärjestelmä
- käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmät
- tietoliikennejärjestelmä
- tasasähköjärjestelmä.

Kustannuserot vaihtoehtojen välillä muodostuvat siten kojeiston virta- ja jännitemuuntajista, kaapeleista ja kaapelipäätteistä, välimuuntajista ja mahdollisista lisärakennustoista (kourut, korotettu lattia, aidoitus, lisäeristykset). Kun otetaan huomioon hankkeen kokonaiskustannukset, em. mahdollisesti aiheutuvat lisäkustannukset eivät ole merkittävän suuria. Halvin ratkaisu on toteuttaa kojeisto 400 V:n pienjännitteellä. Seuraavaksi halvin on 690 V:n pienjännite. Käyttöjännitteen nostaminen 20 kV:iin tulee kalleimmaksi. Tarkoituksenmukaisin vaihtoehto opetuskäyttöä ajatellen olisi aidon keskijännitteen käyttäminen. Lopullinen toteutus riippuu hankkeen rahoituksesta.

9. TOTEUTUSEHDOTUS

Toteutusehdotuksena esitetään 20 kV:n järjestelmän hankkimista. Tässä vaihtoehdossa kokonaiskustannukset ovat suurimmat, mutta se soveltuu myös tarkoituksenmukaisimmin opetuskäyttöön, jolloin ratkaisussa ei tarvitse tyytyä kompromisseihin. 20 kV:n järjestelmän pääkaavio on esitetty liitteessä 3, tekninen määrittely työn osiossa 8.4 sekä tekninen erittely liitteessä 6. Hankkeen tasasähköjärjestelmän toteutusehdotus on esitetty osiossa 10.

Keskijännitteen käyttö opetusympäristössä aiheuttaa myös ongelmia mm. turvallisuusnäkökohdissa ja toteuttamiskelpoisuudessa. Pienemmän keskijännitteen (esim. 6 tai 10 kV) käyttö lieventää em. ongelmia. Tällöin kojeistossa esiintyviä virtoja saataisiin kasvatettua helpommin mitattaviin arvoihin ja turvaetäisyyksiä sekä eristysvaatimuksia pienennettyä. Alempaa keskijännitettä käyttämällä järjestelmä säilyisi kuitenkin todellista sähköaseman keskijännitejärjestelmää vastaavana pääkaaviooltaan ja jännitetasoltaan. Tärkeänä seikkana voidaan pitää suurjännitekoulutuksen sisällyttämistä sähkövoimatekniikan koulutusohjelmaan.

Hankinnan kustannuksia voidaan pienentää mm. kennoja vähentämällä tai yksinkertaistamalla tasasähkö- tai relesuojausjärjestelmää. Valittu kennovalikoima on kuitenkin opetusmahdollisuuksiltaan ja kustannuksiltaan optimaalinen ratkaisu, jota ei ole kannattavaa karsia. Se toimii järjestelmän runkona, jonka muita ominaisuuksia on helpompi laajentaa.

Järjestelmän toteutus riippuu siis hyvin pitkälti rahoituksesta. Budjetointi ei tätä kirjoittaessa ole vielä selvillä, joten tarkempaa erittelyä ei voida tehdä.

10. TASASÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Kojeistolle toteutetaan myös apusähköjärjestelmä. Tässä osiossa tarkastellaan järjestelmän tehontarvetta ja tasasuuntaajan kapasiteettia, sekä suunnitellaan 110 V:n DC-jakelun pääkaavio sisältäen kaapeloinnin ja suojauksen mitoituksen. Järjestelmään ei tule erillistä hälytyskeskusta, vaan tiedot hälytyksistä kulkevat väylässä muun tiedonsiirron ohella käytönvalvontajärjestelmään. Kytkinlaitoksissa käytettävä tasasähkön jännite on yleisesti 110 V, jolla myös ko. järjestelmä toteutetaan. 220 V:n tasasähköjärjestelmä tulisi kyseeseen pitkillä johdinpituuksilla jännitteenaleneman kohotessa liian suureksi.

Tasasähköjärjestelmään liitetään seuraavat komponentit:

- suojareleet
- katkaisijoiden viritysmoottorit
- ohjaus- ja lukitusmagneetit
- asennonosoittimet.

Mikäli järjestelmän suojaukset, mittaukset ja tiedonsiirto toteutetaan kennoterminaleilla, erillistä 24:n tai 48 V:n tasasähköjakelua ei tarvita. Nykyaikaiset kennoterminaalit pitävät sisällään myös ohjauslogiikkaa, jolloin erillisten ohjelmoitavien logiikoiden tarvetta ei ole. 24 V ja 48 V ovat käytössä lähinnä kaukokäyttöjärjestelmän apujännitteenä, automaatiojärjestelmissä sekä merkinanto- ja hälytysjärjestelmissä. Nykyään jännitteet 48 V ja 24 V saadaan aikaan sähköasemilla tavallisesti DC/DC-muuntajilla 110 V:n tasajännitteestä.

Järjestelmä toteutetaan tässä tapauksessa kustannus ja sijoitusteknisistä syistä ilman akustoa. Tällöin tasasuuntaaja syöttää kaiken tarvittavan tehon tasasähköjärjestelmään. Akustolle järjestetään kuitenkin varaus myöhempää asennusta varten, mikäli se katsotaan tarpeelliseksi.

Normaalissa sähköasemalla toteutetussa tasasähköjärjestelmässä tasasuuntaaja ei yksinään pysty syöttämään tarvittavaa hetkellistä, mm. viritysmoottoreiden käynnistysvirroista johtuvaa kuormitusvirtaa. Tällöin tarvittava lisätehontarve syötetään akustosta. Näin pienessä kojeistossa tilanne on kuitenkin toinen, jolloin tasasuuntaaja riittävän suuritehoiseksi mitoitettuna kykenee syöttämään kaiken tarvittavan tehon.

Akustoa ei tässä tapauksessa erikseen mitoiteta. Mitoitus sähköasemilla tehdään siten, että akusto pystyy syöttämään yksinään järjestelmää vähintään kymmenen tunnin ajan. Mitoituksessa lasketaan tällöin akuston tarvittava kapasiteetti. Kapasiteetti määräytyy kymmenen tunnin energiankulutuksesta, joka pitää sisällään häiriötilan, häiriöttömän tilan sekä lyhytaikaisten tehojen vaatiman energian. Sähköasemilla eniten energiaa pitkällä aikavälillä kuluu suojareleisiin, asennonosoittimiin sekä varavalaistukseen. Viritys- ja siirtomoottoreiden tehontarve on hetkellisesti suuri, mutta niiden kestoajat ovat lyhyitä jolloin energiamäärä jää pieneksi.

10.1. Tasasuuntaajan kapasiteetti

Tässä osiossa tarkastellaan tasasähköjärjestelmää syöttävän tasasuuntaajaan kapasiteettia virransyöttökäyvyn puolesta. Tasasuuntaajalta vaadittu virransyöttökäyky määräytyy siihen liitettyjen kuormitusten tehontarpeen mukaan. Nämä kuormitukset voidaan jakaa häiriötilan sekä häiriöttömän tilan tehontarpeeseen. Taulukossa 11 on eritelty tasasähköjärjestelmään liitettyjen kojeiden suuntaa antavaa tehontarvetta.

Taulukko 11. Tasasähköjärjestelmän kojeiden tehontarpeita /16/

Komponentti	Kappalemäärä [kpl]	Yksikköteho [W]
Katkaisijan viritysmoottori	4	150
Katkaisijavaunun siirtomoottori	4	150
Lukitusmagneetti	4	10
Kennotermiinaali	5	25
Yhteensä		1365

Edellä esitetyssä taulukossa on huomioitu ainoastaan merkittävimmät tasasuuntaajaa kuormittavat komponentit. Tasasähkön tehontarve sähköasemalla häiriöttömän tilan aikana koostuu pääasiallisesti erilaisten releiden tehollähteiden kuormista. Pienempiä kuormituksia ovat muiden muassa erilaiset asennonosoitimet, vetävänä olevat releet, sekä merkkilamput. Em. kuormitusten tehontarve on tämän kokoluokan kojeistossa hyvin pieni, eikä niitä tämän vuoksi oteta tässä erikseen tarkasteluun.

Taulukon kokonaistehon perusteella voidaan arvioida suurin hetkellinen tasasuuntaajan kuormitusvirta kaavalla 9:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1365W}{110V} = 12,4A \quad (9)$$

Tässä ei ole otettu huomioon moottoreiden nimellisvirtaansa verrattuna suurempaa käynnistysvirtaa. Tasavirtamoottoreilla käynnistysvirta jää kuitenkin suhteellisen pieneksi. Kaikkia katkaisijoita ei todennäköisesti tulla ohjaamaan tässä käytössä yhtä aikaisesti. Lisäksi kaikki taulukoidut tehontarpeet eivät voi esiintyä yhtä aikaa, ts. esim. katkaisijan siirtomoottori ei ole toiminnassa yhtä aikaa viritysmoottorin kanssa. Em. seikoista johtuen tasasuuntaaja voidaan mitoittaa huomattavasti edellistä laskennallista virtaa pienemmäksi.

Otetaan esimerkkinä tilanne, jota suurempaa kuormitusvirtaa ei tässä ympäristössä voi esiintyä. Ko. tilanteessa kaikkien katkaisijoiden viritysmoottorit toimivat samanaikaisesti. On huomioitava, että vaunun siirtomoottorit eivät voi toimia samaan aikaan katkaisijoiden viritysmoottoreiden kanssa. Tehontarve tässä tilanteessa on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Tasasähkökomponenttien tehontarpeet esimerkin tapauksessa

Komponentti	Kappalemäärä [kpl]	Yksikköteho [W]
Katkaisijan viritysmoottori	4	150
Katkaisijavaunun siirtomoottori	-	150
Lukitusmagneetti	4	10
Kennoterminaali	5	25
Yhteensä		765

Tarvittava virta esimerkin tapauksessa:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{765W}{110V} = 6,95A$$

Huomataan, että tehontarve ja siten myös kuormitusvirta lähes puolittuvat. Tasasuuntaajana voidaan käyttää esim. nykyistä sähkövoimatekniikan laboratoriossa sijaitsevaa tasasuuntaajaa, jonka nimellisvirta on 5 A. Ko. tasasuuntaaja ei kuitenkaan pysty syöttämään riittävästi virtaa esimerkin tapauksessa, jolloin kuormitusta on rajoitettava esim. ainoastaan kahden katkaisijan viritysmoottorin yhtäaikaiseen toimintaan. Järjestelmän kaikkiin mahdollisiin yhtäaikaisiin toimintoihin tarvittava virta voidaan varmistaa hankkimalla toinen vastaavanlainen varaaja ensimmäisen rinnalle. Toinen vaihtoehto olisi hankkia 10 A nimellisvirran tasasuuntaaja ainoastaan tätä käyttöä varten.

10.2. Pääkaavio

110 V:n DC-järjestelmän pääkaavio on esitetty liitteessä 9. Tasasähköjakelu on tässä tapauksessa toteutettu siten, että tasasähkö syötetään kojeistoon kennokohtaisesti. Kennokohtainen tasasähkön tehontarve muodostuu mittauskennoa lukuun ottamatta katkaisijan viritysmoottorista, katkaisijavaunun siirtomoottorista, suojareleestä ja lukitusmagneetista. Mittauskennon tasasähkökuormaan kuuluu ainoastaan kennon suojarele. Ko. releen syötölle ei ole taloudellista järjestää omaa ryhmälähtöä tasasähkökeskukselta. Mittauskennon releen syöttö onkin yhdistetty moottorilähtökennon syöttöön ketjutuksella.

Pääkaaviossa on myös esitetty tyypillinen tapa liittää akusto tasasähköjärjestelmään. Akuston lisäämisestä kertyisi huomattavasti lisäkustannuksia. Piiriin kuuluvat akuston sekä koekuormituksen kytkinvarokkeet S2 ja S3, virranmittaus R10, sekä akustoa suojaavat kahvasulakkeet F6. Lisäksi tarvittaisiin luonnollisesti akusto, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi lyijyakuilla. Yhden kennon jännite on noin 2 V, joten esimerkiksi 53 kennolla päästään lähelle haluttua 110 V:n tasasähköjännitettä. Lyijyaku muodostaa sitä varattaessa vetykaasua. Tästä syystä akutilassa tulee olla aina hyvä ja tarvittaessa koneellisesti tehostettu ilmanvaihto. Erillisen akutilan rakentaminen ei kuulu nykyiseen sähkölaboratorioiden kehittämishankkeeseen.

10.3. Suojaus

SFS-600 standardi ei määrittele alle 120 V:n tasajännitteelle vaatimusta henkilösuojaukseen tarkoitetun suojan poiskytkentäajasta. Tällöin riittävä suojaus saadaan aikaan käyttämällä johdonsuojakatkaisijoita.

Apusähköjärjestelmään liitettävät laitteet on jaoteltu vastaamaan sopivaa kokonaisuutta, tässä tapauksessa keskijännitekennoja syöttäviin ryhmiin. Ryhmäkohtaisina suojina toimivat johdonsuojakatkaisijat, jotka muodostavat suojauksen alemman portaan. Ylemmässä portaassa oikosulkusuojana käytetään kytkinvaroketta, joka toimii myös alempien portaiden varasuojana.

Oikosulkusuojien toimimisesta on saatava hälytykset. Hälytyksen järjestäminen yksinkertaisimmin voidaan toteuttaa tässä johdonsuojakatkaisijoiden apukoskettimilla. Hälytyspiirin jännite olisi otettava toisesta apujännitelähteestä tai oikosulkusuojien etupuolelta, jolloin jännite ei häviä oikosulkusuojan toimiessa.

Kytkinvaroke S1

Järjestelmän pääkytkimenä ja ylemmän portaan oikosulkusuojana toimii 2-napainen kytkinvaroke, jolla järjestelmä voidaan myös erottaa jännitteettömäksi. Kytkimenä voidaan käyttää esimerkiksi ABB:n OS32G-sarjan 3-napaista kytkinvaroketta, jota käytetään 2-napaisena. Kytkimen nimellinen katkaisukyky alle 220 VDC jännitteellä on 252 A. Kytkimeen asennettavat kahvasulakkeet ovat DIN-kokoluokaltaan 000 ja niitä on saatavilla nimellisvirraltaan kahdesta ampeerista aina sataan ampeeriin asti. Käyttöön on valittu 16 A gG-tyypin sulakkeet.

Johdonsuojakatkaisijat F1-F5

Yli 70 VDC jännitteillä johdonsuojakatkaisijoiden on oltava kaksinapaisia. Kennokohtaisten kojeiden yhteenlaskettu kuormitusvirta ei ylitä viiden ampeerin virtaa moottoreiden käynnistyessäkään. Lähtöjen suojaksi on valittu 6 A nimellisvirtainen C-tyypin johdonsuojakatkaisijat. Jännitteenvalvontapiirin suojaksi F1 on valittu 2 A johdonsuojakatkaisija.

10.4. Kaapelointi

Ryhmäkaapelit valitaan siten, etteivät kaapelin suurin sallittu kuormitettavuus sekä jännitteenalenema ylity. Koska oikosulkuvirratt ovat tässä käytössä pieniä, voidaan kaapelin tarkastelu oikosulkukestoisuudeltaan jättää pois.

Jännitteenalenema

Jännitteenalenema saadaan laskettua likiarvoisesti 1-vaiheiselle virtapiirille kaavalla 9.

$$\Delta u = 200 \cdot \frac{\rho \cdot P \cdot s}{A \cdot U_v^2} \quad (9)$$

missä

Δu on jännitteenalenema [%]

ρ on johdinaineen resistiivisyys. Kuparille 70 °C lämpötilassa 0,021

$\Omega mm^2 / m$

P on kuormituksen teho [kW]

s on kuormituksen etäisyys [km]

U_v on vaihejännite [kV]

A on johdinpoikkipinta [mm²]

Suurin sallittu jännitteenalenema on 5 %. Tasasähkökeskuksen sijoituksesta riippuen kaapelivetojen pituudeksi voidaan arvioida maksimissaan 50 m. Lasketaan jännitteenalenema 1,5mm² poikkipintaiselle kuparikaapelille arvioidun kennokohtaisen tehonkulutuksen ollessa 200 W:

$$\Delta u = 200 \cdot \frac{0,021 \Omega mm^2 / m \cdot 0,2 kW \cdot 0,05 km}{1,5 mm^2 \cdot (0,11 kV)^2} = 1,16\%$$

Laskelman mukaan jännitteenalenema ei muodostu ongelmaksi näin pienillä kuormituksilla sekä etäisyyksillä. Kaapelina voidaan käyttää esim. MMJ 3x1,5mm² S - tyyppistä kaapelia.

Kuormitettavuus

Tasavirralla kuormittaminen poikkeaa vaihtovirralla kuormittamisesta. 2,5mm² Cu-kolmijohdinkaapelin, jonka kaksi johdinta on kuormitettu kaapelin ollessa ilmassa vapaasti ilmassa (ympäristön lämpötila 25 °C), kuormitettavuus on 28 A /1/. Vastaavaa arvoa ei 1,5mm² poikkipintaiselle johtimelle ole määritelty, mutta sen voidaan olettaa olevan yli 15 A vastaavissa olosuhteissa. Ryhmäkohtaisten suojaavien johdonsuojakatkaisijoiden nimellisvirta on 6 A, jolloin johdinpoikkipinnan vähimmäissuuruus korjauskertoimilla 0,6–1,1 on 1,5mm² Cu.

Ryhmäkaapelointi voidaan siten toteuttaa myös kuormitettavuuden puolesta käyttämällä MMJ 3x1,5mm² S kaapelia.

10.5. Tasasähköjärjestelmän toteutus

Tasasähköjärjestelmän toteutus on tätä kirjoittaessa vielä auki. Asiasta päätetään projektin edetessä. Tässä esitettyä järjestelmää voidaan käyttää mallina, mikäli erillinen järjestelmä päätetään toteuttaa.

11. YHTEENVETO

Työ sai alkunsa Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun tekniikan koulutusyksikön sähkölaboratorioiden kehittämishankkeesta. Sähkölaboratorioiden opetuskalustoa uudistetaan mm. sähkölaitostekniikan saralla. Työn tavoitteena oli luoda toteutusehdotus sähkövoimatekniikan laboratorioon opetuskäyttöön hankittavasta keskijännitekojeistosta. Ehdotuksen tuli pitää sisällään kaikki järjestelmän kokonaisvaltaiseen toimintaan tarvittava laitteisto sekä dokumentit pitäen sisällään järjestelmän teknisen määrittelyn, pääkaavion sekä teknisen erittelyn. Myös kojeistoon liittyvän tasasähköjärjestelmän suunnittelu standardien mukaisesti kuului työhön. Aihepiirin laajuudesta johtuen relesuojauksen toteutuksen tarkempi tekninen määrittely rajattiin työn ulkopuolelle.

Kojeistoon valittiin tarkoituksenmukainen kennovalikoima siten, että opetustavoitteet täyttyivät mahdollisimman monipuolisesti ja kustannustehokkaasti. Työssä päädyttiin viisi kennoa sisältävään kojeistoon, pitäen sisällään generaattori-, päämuuntaja-, mittaus-, moottorilähtö- ja johtolähtökennon. Ko. kennovalikoimalla laitteiston laajennettavuus on pienempää kennovalikoimaa parempi, kustannukset pysyvät riittävän alhaisina sekä asetetut opetustavoitteet täyttyvät.

Kennovalikoiman valitsemisen sekä teknisen määrittelyn jälkeen tavoitteena oli tehdä pääkaaviot sekä tarkemmat pääkaaviokohtaiset tekniset erittelyt 20 kV, 400 V ja 690 V:n käyttöjännitteelle sekä vertailla vaihtoehtoja keskenään. Perusajatuksena oli, että kojeisto kiskostoinen ja kojeineen toteutetaan nimellisarvoiltaan aitoa keskijännitettä vastaavana. Tällöin rakenteeseen liittyvät opetustavoitteet täyttyvät myös 400 ja 690 V:n vaihtoehtoissa.

Kojeiston käyttöjännite vaikutti useisiin toteutukseen liittyviin seikkoihin. 20 kV:n pääkaaviovaihtoehdossa lisäkustannuksia pienjännitevaihtoehtoihin nähden aiheuttivat suuri välimuuntajien määrä, kj-kaapelointi kaapelipääteineen ja mahdolliset lisärakennustyöt. Ongelmallista oli myös kojeistossa esiintyvien virtojen pienuus, mikä vaikeuttaa niiden mittaamista. Lisäksi suurjännitteen käyttäminen laboratorioympäristössä ei ole täysin ongelmaton mm. turvallisuusnäkökohtien valossa.

Ongelmallista yleensäkin työssä oli sopivien komponenttien valinta. Koska järjestelmä tulee erikoiskäyttöön, ei komponentteja ollut yleisesti saatavilla. Lisäksi järjestelmän suunnittelu ilman tarkempaa budjetointia toi oman lisähaasteensa. Työn edetessä päätettiin olla pyytämättä kustannusarvioita toteutusvaihtoehtoista laiteoimittajilta. Tämä olisi voinut hankaloittaa myöhempää varsinaista kilpailutusta. Kustannusarviot tyydyttiin tekemään vertailemalla pääkaaviovaihtoehtoja keskenään.

Toteutusehdotuksena esitettiin 20 kV:n pääkaaviovaihtoehtoa. Vaihtoehto on hinnaltaan kallein, mutta se soveltuu tarkoituksenmukaisimmin opetuskäyttöön. Tärkeänä vaihtoehtoa puoltavana seikkana mainittakoon suurjännitekoulutuksen sisällyttäminen sähkövoimatekniikan koulutusohjelmaan. Työn tavoitteet saavutettiin niin työn suorituksen kuin myös dokumentoinnin osalta. Tuloksena syntyi toteutusehdotuksen tekninen määrittely ja erittely, pääkaavio, sekä tasasähköjärjestelmän kuvaus ja pääkaavio.

Työtä voidaan soveltaa laboratorioiden kehittämishankkeen edetessä lopullisen järjestelmän hankinnassa. Lisäksi se toimii sellaisenaan oivana keskijännitekojeistojen ja niiden kojeiden ja komponenttien opetusmateriaalina laajan teoriaosuutensakin puolesta.

12. LÄHDELUETTELO

- /1/ ABB Teknisiä tietoja ja taulukoita, 10. painos, Ykkös-Offset Oy, 2000.
- /2/ ABB Strömberg Sähköjakelu, Suunnitteluopas, MH vaunukatkaisijakojeisto 12 kV ja 24 kV, 1998.
- /3/ ABB Oy Distribution Automation, REF541, REF 543, REF 545 Kennoterminaali, [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/62e52b4424f25f24c2256e5200321e6d/\\$File/ref54_techfic.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/62e52b4424f25f24c2256e5200321e6d/$File/ref54_techfic.pdf) 4.9.2010.
- /4/ ABB PTMW Poland, General information - MV Switch Disconnectors NAL/F and AM – short, [WWW-dokumentti],
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/92e2e7b4470da458c1256edf0047f01f/\\$File/switch%20disconnectors_externa-short1.ppt](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/92e2e7b4470da458c1256edf0047f01f/$File/switch%20disconnectors_externa-short1.ppt)> 4.9.2010.
- /5/ ABB S.p.A, HD4 Gas insulated MV circuit-breakers 12...40.5 kV - 630...3600 A - 16...50 kA, [WWW-dokumentti],
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/c46439d920f9817cc12575680050cc97/\\$File/CA_HD4\(EN\)M_1VCP000004-0901x.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/c46439d920f9817cc12575680050cc97/$File/CA_HD4(EN)M_1VCP000004-0901x.pdf)> 4.9.2010.
- /6/ ABB S.p.A, Medium voltage vacuum circuit-breakers with magnetic drive 12...24 kV - 630...2500 A - 16...31.5 kA, [WWW-dokumentti],
<[http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/4570d15c4a0bab21c1257618002e9d6f/\\$File/CA_VM1\(EN\)G_1VCP000157-0907.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/4570d15c4a0bab21c1257618002e9d6f/$File/CA_VM1(EN)G_1VCP000157-0907.pdf)> 4.9.2010.
- /7/ Ahola, Reetta, 20kV:n jännite- ja virtasensorit, [WWW-dokumentti],
<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl10a1000/lisatty/2001_ahola-sensorit.pdf> 10.6.2010.
- /8/ Aura, Lauri, Tonteri, Antti, Sähkölaitostekniikka, 1. painos, WSOY:n graafiset laitokset, 1993.
- /9/ Elovaara, Jarmo, Laiho, Yrjö, Sähkölaitostekniikan perusteet, 2. painos, Otakustantamo, 1988.
- /10/ Lehtonen M., Sähkölaitosautomaatio Suomessa, KTM:n raportti, 1993.
- /11/ Lehtonen M., Kärkkäinen S., Partanen J., Kokonaisvaltainen sähkölaitosautomaatiokonsepti Suomessa, VTT:n tiedote, 1995.
- /12/ Monni, Markku, Sähkölaitosasennukset, 5.-6. painos, Oy Edita Ab, 1998.
- /13/ Mörsky, Jorma, Relesuojaustekniikka, 2. painos, Otatiето, 1992.

- /14/ Oy Strömberg Ab, Vähäöljykatkaisijat OSAP 20 W asennus ja käyttöohje, Vasa Nya Tryckeri, 1992.
- /15/ Savallampi, Timo, 20 kV:n kytkinlaitoksen uusinta, Opinnäytetyö, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, 1999.
- /16/ Siivonen, Kalle, Sähköaseman apusähköjärjestelmät, tutkintotyö, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2007.
- /17/ ST-kortisto, ST 830.15 Keskijännitelaitteet, tekninen erittely, Sähköinfo Oy, 2005.
- /18/ Verho, Pekka, Configuration Management of Medium Voltage Electricity Distribution Network, Tampereen teknillinen yliopisto, 12.5.1997.

13. LIITELUETTELO

LIITE 1	Koulutusohjelmakohtaiset kompetenssit, 05/2006
LIITE 2	Kojeiston sijoituspiirustus
LIITE 3	20 kV:n pääkaaviovaihtoehto
LIITE 4	400 V:n pääkaaviovaihtoehto
LIITE 5	690 V:n pääkaaviovaihtoehto
LIITE 6	Tekninen erittely 20 kV
LIITE 7	Tekninen erittely 400 V
LIITE 8	Tekninen erittely 690 V
LIITE 9	Tasasähköjärjestelmän pääkaavio

Ammattikorkeakoulujen osallistuminen
eurooppalaiseen korkeakoulutusalueeseen

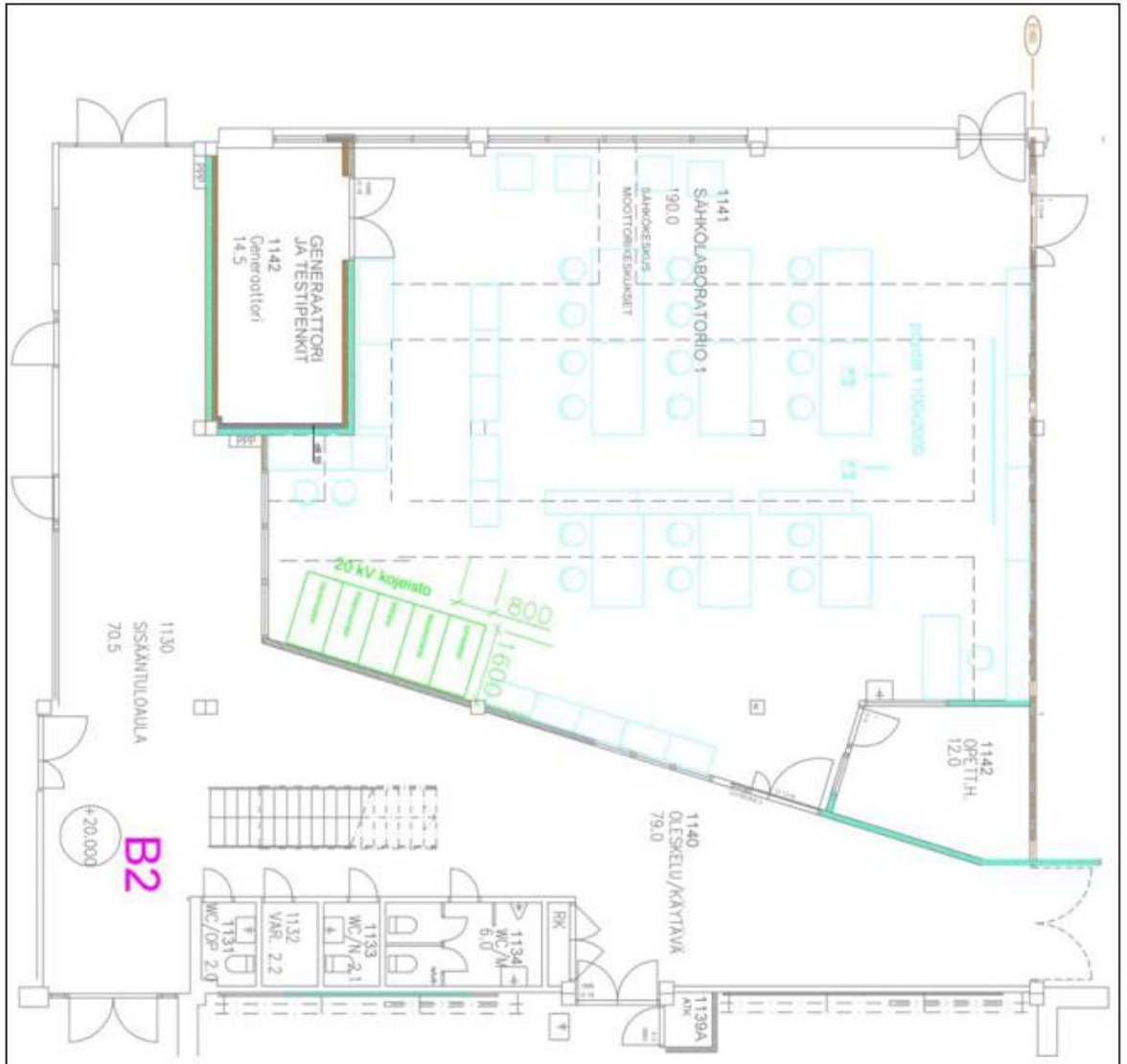
KOULUTUSOHJELMAKOHTAISET KOMPETENSSIT, 05/2006

Sähkötekniikan koulutusohjelma, sähkövoimatekniikan suuntautuminen

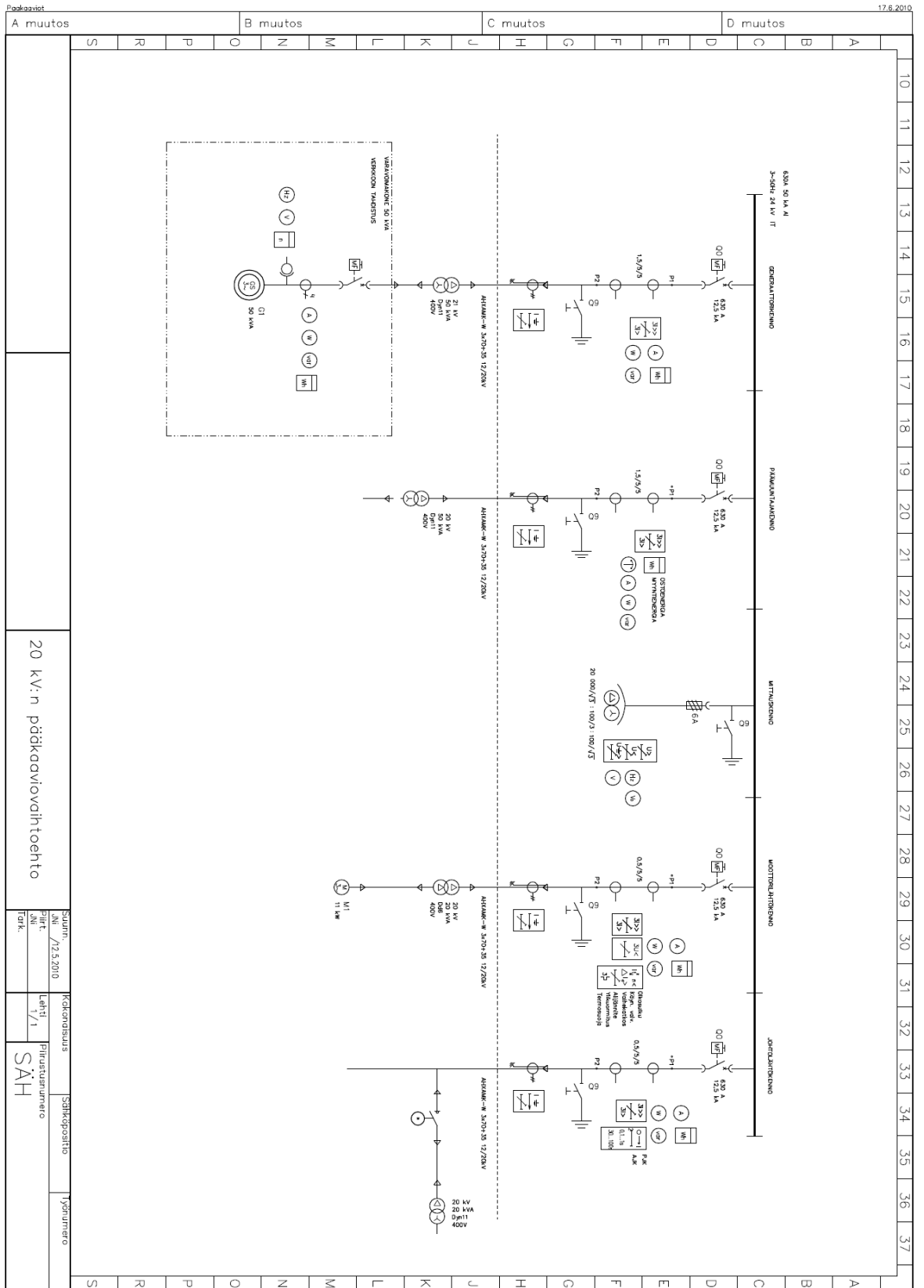
Laadintatyön vastuuhenkilö	Jarkko Lehtonen
Organisaatio	Tampereen ammattikorkeakoulu
Osoite	Teiskontie 33, PL 21, 33521 Tampere
Puhelin	020-7147 352 tai 040-723 9590
Sähköposti	jarkko.lehtonen@tamk.fi

Koulutusohjelmakohtaiset kompetenssit Sähkötekniikan koulutusohjelma	Osaamisalueen kuvaus Insinööri (AMK)
Sähkötekniinen ja muu perusosaaminen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ osaa hyödyntää matemaattisia menetelmiä ja työkaluja alan ilmiöiden kuvaamiseen ja ongelmien ratkaisuun ▪ tuntee alan sovellutuksissa tärkeät fysiikan lainalaisuudet, erityisesti sähkömagneettisten ilmiöiden osalta ▪ tuntee elektroniikan komponentit ja peruskytkennät. ▪ hallitsee sähkötekniiset perusmittaukset ▪ omaa tietotekniikan perustaidot
Suunnitteluosaaminen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tuntee oman alan suunnitteluprosessit, -menetelmät ja -työkalut ▪ osaa mitoittaa ja valita laitteita ja komponentteja teknistaloudellisilla periaatteilla ▪ hallitsee standardien mukaisen dokumentoinnin ▪ ymmärtää standardien merkityksen ja osaa soveltaa niitä omalla alalla suunnittelun kaikissa työvaiheissa ▪ tuntee laatu järjestelmien merkityksen ▪ ymmärtää tuotteen elinkaariajattelun
Sähkö- ja laiteturvallisuuden osaaminen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tuntee oman alansa keskeiset sähkö- ja laiteturvallisuuteen liittyvät lait ja määräykset ja osaa soveltaa niitä käytännössä ▪ omaa myönteisen asenteen turvallisten työtapojen ja menetelmien noudattamiseen ja kehittämiseen
Yritys- ja tuotantotalouden osaaminen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tuntee kannattavan liiketoiminnan edellytykset sekä taloudellisen suunnittelun ja ohjauksen tärkeimmät työkalut ▪ hallitsee taitoja osallistua projekti-toimintaan sekä johtaa ihmisiä, prosesseja ja projekteja ▪ tuntee yrittäjyyden, markkinoinnin sekä teollisuuden palveluliiketoimintojen peruseriaatteet
Sähköjaketun ja rakennusten sähköjärjestelmien osaaminen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ yleisen sähköjaketuverkon ja rakennusten sähköverkon tuntemus ▪ osaa mitoittaa sähköjaketuverkon ja rakennusten sähköverkon komponentit ▪ sähköjaketun kojeitten ja kojeistojen sekä sähköjärjestelmien suojausten ja käytönvalvonnan tuntemus
Sähkökoneiden ja sähkökäyttöjen osaaminen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sähkömoottorikäyttöjen tuntemus ▪ osaa mitoittaa vakionopeus- ja säädettävien moottorikäyttöjen komponentit ▪ tuntee sähkökäyttöjen suojaus- ja ohjausmenetelmät mukaan lukien ohjelmoitavat logiikat ja väyläratkaisut

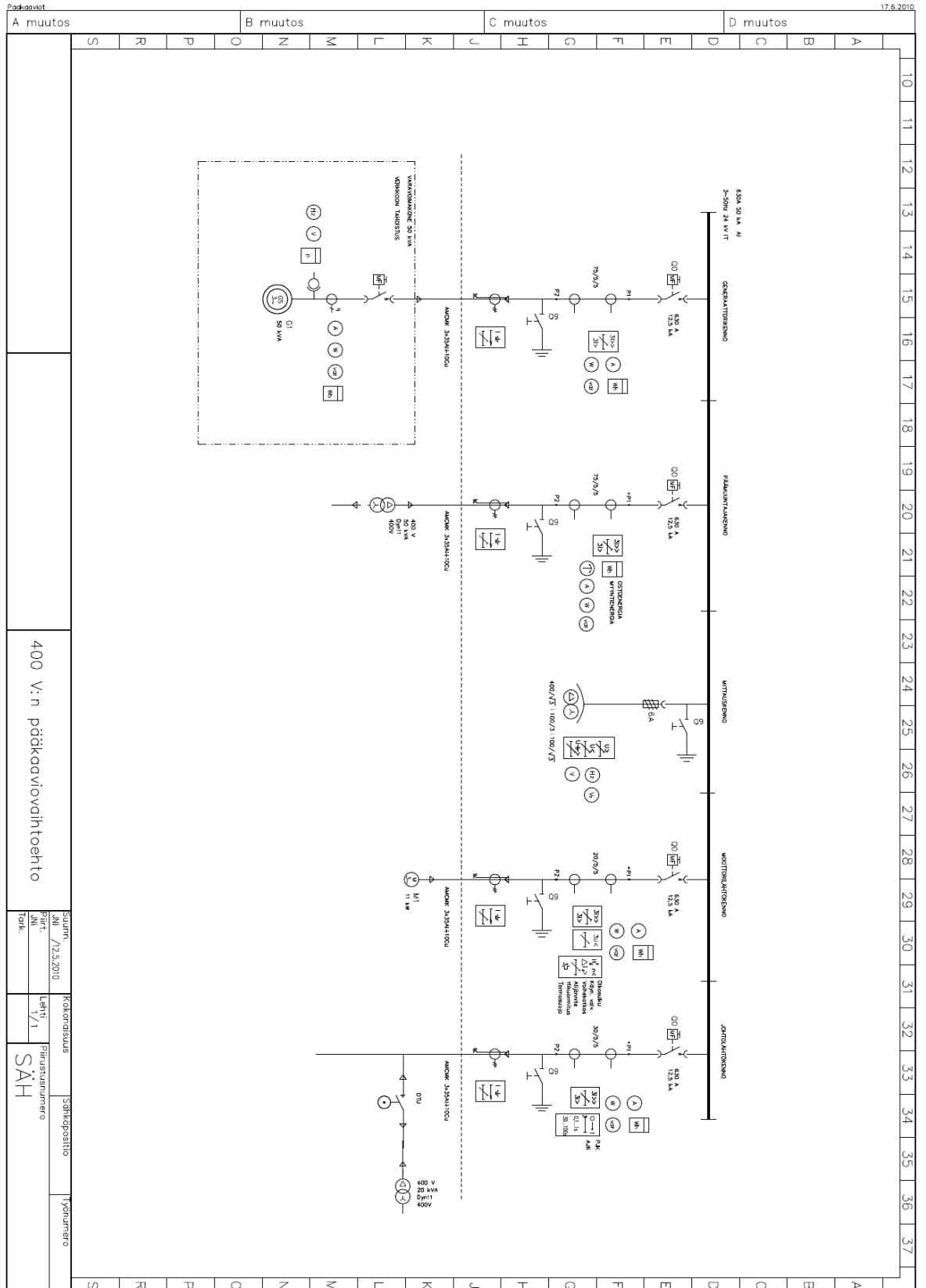
Kojeiston sijoituspiirustus



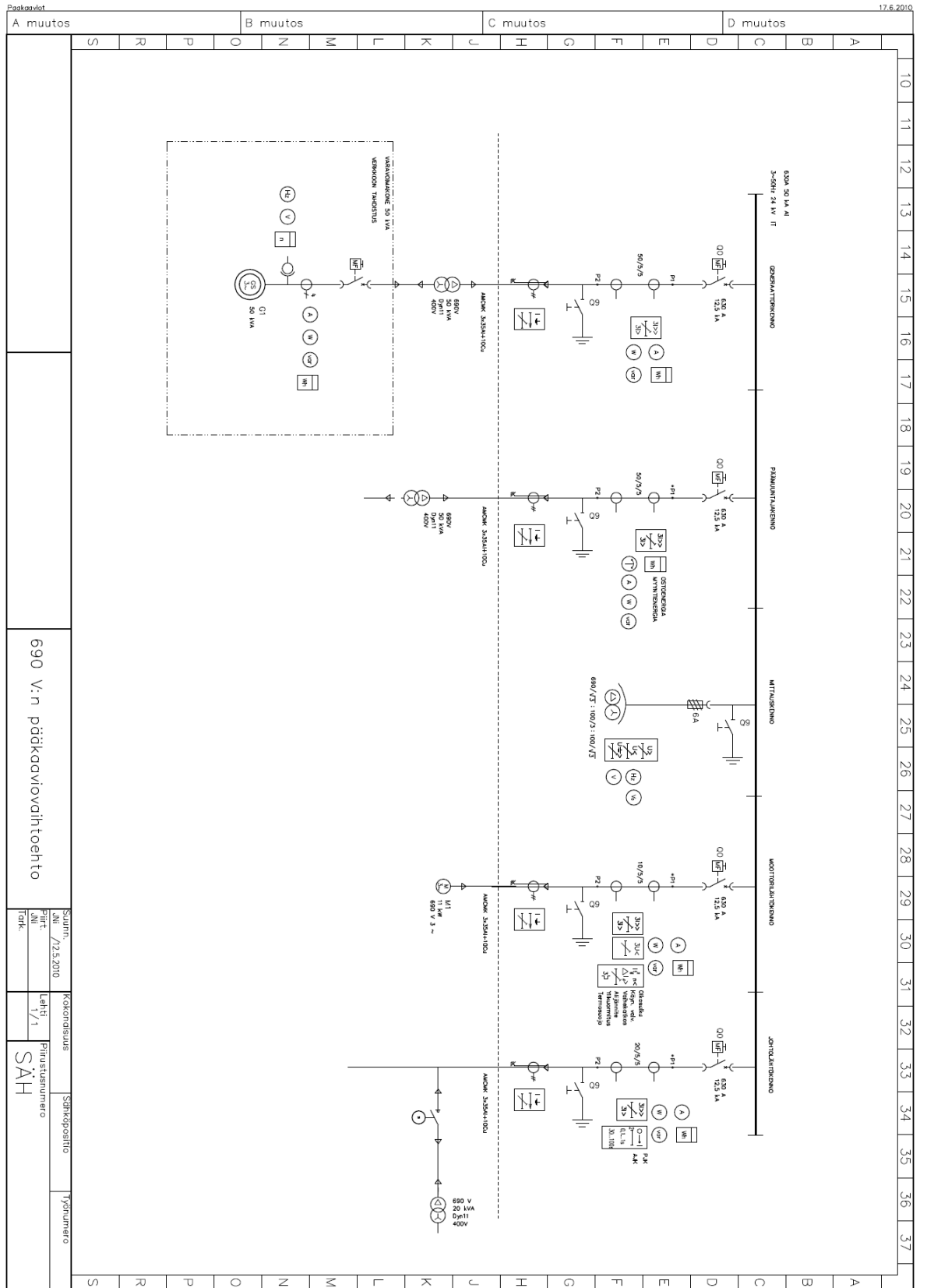
20 kV:n pääkaaviovaihto



400 V:n pääkaaviovaihtoehto



690 V:n pääkaaviovaihto



TEKNINEN ERITTELY 20 KV

KÄYTTÖOLOSUHTEET JA KOJEISTON RAKENNE

Normaali käyttöjännite 20 kV

Suurin esiintyvät käyttöjännite 22 kV

Järjestelmän maadoitus:

- maasta erotettu

Sijoituspaikka ei ole SFS 6001 mukainen sähkötila

Olosuhteet SFS-EN 62271 mukaiset

Rakenne: Ilmaeristeinen kennokoteloitu (cubicle) kojeisto

Pääkojeiden asennustapa:

- erottimena toimivaan moottoriohjattuun vaunuun
- jokaisella ulosvedettävällä yksiköllä oma vaununsa.

Ulkopintojen sekä sisäisen kotelointiluokan on oltava toimintayksiköiden kaikissa käyttöasennoissa vähintään IP2X. Vaunu saa tulla erotusasennossaan osittain kennosta ulos.

Muut rakenteeseen vaikuttavat tekijät:

- kennojärjestys on esitetty sijoituspiirustuksessa
 1. generaattorikkenno
 2. päämuuntajakkenno
 3. mittauskenno
 4. moottorilähtökenno
 5. johtolähtökenno
- kojeisto toteutetaan 1-kiskojärjestelmänä
- kojeiston toisiokaapelointi kennojen välisissä pystykuiluissa
- kaapelivirtamuuntajat sijoitetaan kojeiston sisään
- kokoojakiskoston liitokset oltava lämpökuvattavissa.

Kaapelit

- kaikki kytkettävät kaapelit AHXAMK-W 3x70+35 12/20kV
- kaapelipäätteet kaapeleita vastaavat
- kaapelit lattiakanavassa (lisättävä urakkaan) generaattorikennon päästä.

Maadoitus

- kojeiston eri osien tulee täyttää suojamaadoitusvaatimukset
- kojeistossa on oltava ulkopuoliselle maadoitusjohtimelle tarkoitettu liitin toisessa päätykennossa

- kennojen maadoitusliitin keskijännitekaapelien kosketussuojan ja maadoitusköyden liittämiseksi maadoituspiiriin.

Valokaarenkestävyys

- ei vaatimusta valokaarioikosulkukokeen suorittamiselle.

SÄHKÖTEKNISET TIEDOT

Nimellisjännite	24 kV
Nimellistaajuus	50 Hz
Nimelliseristystaso	
Vaihto- ja syöksyjännitelujuudelle ei erityisvaatimuksia	
Nimellisvirrat	
– kokoojakiskosto	630 A
– syöttökentät	630 A
– lähtökentät	630 A
Termiselle ja dynaamiselle kestoirralle ei erityisvaatimuksia	
Toisiopiirien nimellisjännite	110 V DC
Katkaisijoiden nimelliskatkaisukyky pienin saatavilla oleva	

LAITTEET

Katkaisijat

Katkaisijoiden sähköiset arvot määräytyvät edellä esitettyjen teknisten arvojen mukaisesti. Katkaistavat kuormitus- ja oikosulkuvirrat ovat hyvin pieniä, eivätkä ne siten aseta erityisvaatimuksia katkaisijoiden sähköisille arvoille.

Katkaisijatyypit valitaan siten, että kojeistossa on vähintään 1 kpl kumpaakin katkaisijatyypistä (SF6 ja tyhjö). Vallitseva katkaisijatyypistä valitaan pienimpien kokonaiskustannusten mukaan. Valinnassa on huomioitava suuri toimintakertojen määrä katkaistavien virtojen pysyessä pieninä.

Katkaisijoiden varustelu seuraavasti:

- kauko- ja käsiohjausmahdollisuus
- käsiviritysmahdollisuus
- johtolähtökennon katkaisijalla soveltuvuus PJK:ään ja AJK:ään
- ohjausjohdon pistoke
- apukoskettimet
- ohjaimet moottorijousia
- laukaisumagneetti
- kiinniohjausmagneetti
- SF6 –katkaisijoihin kaasun painevartija
- jousen viritystilän apukoskettimet.

Eroittimet

- erotus vaunuilla, jolloin avausväli nähtävissä
- vaunujen asentotieto apukoskettimilta
- vaunut moottoriohjattuja ja kaukokäyttökelpoisia.

Virtamuuntajat

Nimellisensiovirta	
– syöttökennot	1 A
– lähtökennot	0,5 A
Nimellistoisiovirta	5/5 A (mittaus ja suojaus)
Nimellistaakka	Ei määritelty (riippuen suojareleestä)
Tarkkuusluokka	
– suojaussydän	0,5S
– mittausyddän	5P
Tarkkuusrajakerroin	10

Jännitemuuntaja

Nimellisensiojännite	$20\,000/\sqrt{3}$ V
Nimellistoisiojännite	
– mittauskäämi	$100/\sqrt{3}$ V
– avokolmiokäämi	100/3 V
Nimellistaakka	Ei määritelty (riippuen suojareleestä)
Tarkkuusluokka	
– mittauskäämi	0,5
– suojauskäämi	3 P
Taajuus	50 Hz
Eristystaso	24/50/125 kV

Avokolmiopiiri varustetaan tarvittaessa ferroresonanssivastuksella.

Ylijännitesuojat

- Kojeistoa ei varusteta ylijännitesuojauksella.

Sulakkeet

- Kiskojaännitemuuntaja suojataan sulakkeilla kojeiston sähköisten ominaisuuksien ja sulakevalmistajan taulukoiden mukaan.

OHJAUS, MITTAUS, SUOJAUS, LUKITUKSET JA HÄLYTYKSET

Ohjaus ja asentotiedot:

- kauko-ohjaus ja valvonta
 - kaikkia katkaisijoita sekä katkaisijavaunuja kyettävä kauko-ohjaamaan
 - tiedonsiirrossa käytetään väyläratkaisua, myös useampien valmistajien kojeiden liittäminen tulee olla mahdollista
- paikallisohjaukset ja asentotiedot
 - kaikkia katkaisijoita voitava ohjata paikallisesti
 - ohjaus painonapilla, paikallinen asennonosoitus
 - kiskokuvio tulee olla selkeästi esitettynä kennojen ovissa.

Mittaus:

- mittaustoiminnot kennokohtaisilla suojareleillä
- kaukomittaukset
 - kaikki virta-, jännite-, ja energiamittaukset käytönvalvonta- ja paikalliskäyttöjärjestelmään
- paikallismittaukset
 - kaikista jännite- ja virta-, ja energiamittauksista indikointi kennokohtaisesti
 - mittareiden sijoitus toisiokojetilojen oviin
 - osoittavat mittarit luettavissa kennon ovia avaamatta.

Suojareiden ominaisuudet:

- releet liitetään laboratoriotilaan sijoitettavaan paikalliskäyttöjärjestelmään sekä tiedonvälityksikön kautta etävalvomoon sijoitettavaan käytönvalvontajärjestelmään
- kommunikointimediana käytetään esim. valokuitua
- tavoitteena on integroida kaikki suojaus-, ohjaus-, mittaus-, ja hälytystoiminnot kennokohtaisiin suojareleisiin
- useiden valmistajien (esim. VAMP, Siemens, ABB) releiden rinnankäyttö oltava mahdollista
- kaikkien kennojen suojareleillä kyettävä toteuttamaan:
 - suunnatut vakioaikaylivirtasuojat
 - suunnatut maasulkusuojat
- lisäksi moottorilähtökennoon moottorinsuojarele, jolla voidaan toteuttaa esim. oikosulkusuojaus, käynnistyksen valvonta, vaihekatkosuojaus, alijännitesuojaus, ylikuormitussuojaus ja lämpösuojaus. Jännite moottorisuojausta varten mitataan kiskojännitemuuntajalla.
- johtolähtökennon suojareleellä toteutetaan pika- ja aikajälleenkytkentöjä
- päämuuntajakennon suojareleellä tahdistusmahdollisuus
- suojareleet ominaisuuksiltaan monipuolisia, mm. laajat asettelalueet sekä suojareiden väliset lukitusmahdollisuudet, mahdollisuus muuttaa releasetteluita etänä.

Muut suojaukset:

- maasulun varasuojaus kiskojännitemuuntajan avokolmiojännitteestä
- jännitesuoja, esim. vakioaikaylijänniterele
- jännitemuuntajasuojauksen muuntajavalmistajan suositusten mukaisilla sulakkeilla
- valokaarisuojauksen
 - suojauksen toiminta-ajan ilman katkaisijaa tulee olla alle 10 ms
 - suojauksen tulee avata päämuuntaja- sekä generaattorikennon katkaisijat
 - ilmaisimia sijoitetaan kiskoihin ja kennoihin.

Lukitukset:

- kennokohtaiset lukitusohjelmat suojareleillä
- lukitukset kennojen katkaisijoiden sekä maadoituskytkimien välillä
- lukitukset kiskomaadoituskytkimen sekä syöttökennojen katkaisijoiden välillä
- lukitusjännite 110 V DC.

Hälytykset

- hälytyksillä ei paikallista hälytyskeskusta
- hälytysten kosketin- ja analogiatiedot suojareleiden välityksellä paikalliskäyttöjärjestelmään sekä käytönvalvontajärjestelmään.

Sähkölaitosautomaatio

- laboratoriotilaan sijoitettavaan ohjauspisteeseen paikalliskäyttöjärjestelmä, joilla voidaan suorittaa keskitettyjä sähköasematason automaatiotoimintoja ja jonka toiminta on kohdistettu sähköasematasolle
- etävalvomoon sijoitettavaan ohjauspisteeseen energianhallintaan, sähköverkon kaukokäyttöön sekä sähköasema- ja verkostoautomaatioon soveltuva käytönvalvontajärjestelmä
- kaukokäyttöisen erotinaseman (DTU) lisääminen käytönvalvontajärjestelmään tulee olla mahdollista
- lisäksi etävalvomoon käytönvalvontajärjestelmän rinnalle käytöntukijärjestelmä avustamaan verkon hallintaa ja käyttötoimenpiteitä
- kaikki ohjelmat oppilaitoskäyttöön soveltuvia.

TEKNINEN ERITTELY 400 V

KÄYTTÖOLOSUHTEET JA KOJEISTON RAKENNE

Normaali käyttöjännite 400 V

Suurin esiintyvät käyttöjännite 440 V

Järjestelmän maadoitus:

- maasta erotettu

Sijoituspaikka ei ole SFS 6001 mukainen sähkötila

Olosuhteet SFS-EN 62271 mukaiset

Rakenne: Ilmaeristeinen kennokoteloitu (cubicle) kojeisto

Pääkojeiden asennustapa:

- erottimena toimivaan moottoriohjattuun vaunuun
- jokaisella ulosvedettävällä yksiköllä oma vaununsa.

Ulkopintojen sekä sisäisen kotelointiluokan on oltava toimintayksiköiden kaikissa käyttöasennoissa vähintään IP2X. Vaunu saa tulla erotusasennossaan osittain kennosta ulos.

Muut rakenteeseen vaikuttavat tekijät:

- kennojärjestys on esitetty sijoituspiirustuksessa
 6. generaattorikkenno
 7. päämuuntajakkenno
 8. mittauskenno
 9. moottorilähtökenno
 10. johtolähtökenno
- kojeisto toteutetaan 1-kiskojärjestelmänä
- kojeiston toisiokaapelointi kennojen välisissä pystykuiluissa
- kaapelivirtamuuntajat sijoitetaan kojeiston sisään
- kokoojakiskoston liitokset oltava lämpökuvattavissa.

Kaapelit

- kaikki kytkettävät kaapelit AMCMK 3x 3x35/16
- kaapelipäätteet kaapeleita vastaavat
- kojeisto asennetaan korokkeelle ja pienjännitekaapelointi tehdään kojeiston alta kennoihin generaattorikennon suunnalta.

Maadoitus

- kojeiston eri osien tulee täyttää suojamaadoitusvaatimukset
- kojeistossa on oltava ulkopuoliselle maadoitusjohtimelle tarkoitettu liitin toisessa päätykennossa

- kennojen maadoitusliitin keskijännitekaapelien kosketussuojan ja maadoitusköyden liittämiseksi maadoituspiiriin.

Valokaarenkestävyys

- ei vaatimusta valokaarioikosulkukokeen suorittamiselle.

SÄHKÖTEKNISET TIEDOT

Nimellisjännite	12, 17,5 tai 24 kV
– valintaperusteena halvin kustannus	
Nimellistaajuus	50 Hz
Nimelliseristystaso	
Vaihto- ja syöksyjännitelujuudelle ei erityisvaatimuksia	
Nimellisvirrat	
– kokoojakiskosto	630 A
– syöttökentät	630 A
– lähtökentät	630 A
Termiselle ja dynaamiselle kestoirralle ei erityisvaatimuksia	
Toisiopiirien nimellisjännite	110 V DC
Katkaisijoiden nimelliskatkaisukyky pienin saatavilla oleva	

LAITTEET

Katkaisijat

Katkaisijoiden sähköiset arvot määräytyvät edellä esitettyjen teknisten arvojen mukaisesti. Katkaistavat kuormitus- ja oikosulkuvirrat ovat hyvin pieniä, eivätkä ne siten aseta erityisvaatimuksia katkaisijoiden sähköisille arvoille.

Katkaisijatyypit valitaan siten, että kojeistossa on vähintään 1 kpl kumpaakin katkaisijatyypistä (SF6 ja tyhjä). Vallitseva katkaisijatyypistä valitaan pienimpien kokonaiskustannusten mukaan. Valinnassa on huomioitava suuri toimintakertojen määrä katkaistavien virtojen pysyessä pieninä.

Katkaisijoiden varustelu seuraavasti:

- kauko- ja käsiohjausmahdollisuus
- käsiviritysmahdollisuus
- johtolähtökennon katkaisijalla soveltuvuus PJK:ään ja AJK:ään
- ohjausjohdon pistoke
- apukoskettimet
- ohjaimet moottorijousia
- laukaisumagneetti
- kiinniohjausmagneetti
- SF6 –katkaisijoihin kaasun painevartija
- jousen viritystilän apukoskettimet.

Erottimet

- erotus vaunuilla, jolloin avausväli nähtävissä
- vaunujen asentotieto apukoskettimilta
- vaunut moottoriohjattuja ja kaukokäyttökelpoisia.

Virtamuuntajat

Nimellisensiovirta

- syöttökennot 75 A
- moottorilähtökenno 20 A
- johtolähtökenno 30 A

Nimellistoisiovirta 5/5 A (mittaus ja suojaus)

Nimellistaakka Ei määritelty (riippuen suojarieleestä)

Tarkkuusluokka

- mittaussydän 0,5S
- suojaussydän 5P

Tarkkuusrajakerroin 10

Virtamuuntajan jännitelujuus käyttöjännitteen (400 V) mukainen

JännitemuuntajaNimellisensiojännite $400/\sqrt{3}$ V

Nimellistoisiojännite

- mittauskäämi $100/\sqrt{3}$ V
- avokolmiokäämi $100/3$ V

Nimellistaakka Ei määritelty (riippuen suojarieleestä)

Tarkkuusluokka

- mittauskäämi 0,5
- suojauskäämi 3 P

Taajuus 50 Hz

Eristystaso käyttöjännitteen (400 V) mukaan

Avokolmiopiiri varustetaan tarvittaessa ferresonanssivastuksella.

Ylijännitesuojat

- Kojeistoa ei varusteta ylijännitesuojauksella.

Sulakkeet

- Kiskojännitemuuntaja suojataan sulakkeilla kojeiston sähköisten ominaisuuksien ja sulakevalmistajan taulukoiden mukaan

OHJAUS, MITTAUS, SUOJAUS, LUKITUKSET JA HÄLYTYKSET

Ohjaus ja asentotiedot:

- kauko-ohjaus ja valvonta
 - kaikkia katkaisijoita sekä katkaisijavaunuja kyettävä kauko-ohjaamaan
 - tiedonsiirrossa käytetään väyläratkaisua, myös useampien valmistajien kojeiden liittäminen tulee olla mahdollista
- paikallisohjaukset ja asentotiedot
 - kaikkia katkaisijoita voitava ohjata paikallisesti
 - ohjaus painonapilla, paikallinen asennonosoitus
 - kiskokuvio tulee olla selkeästi esitettynä kennojen ovissa.

Mittaus:

- mittaustoiminnot kennokohtaisilla suojareleillä
- kaukomittaukset
 - kaikki virta-, jännite-, ja energiamittaukset käytönvalvonta- ja paikalliskäyttöjärjestelmään
- paikallismittaukset
 - kaikista jännite- ja virta-, ja energiamittauksista indikointi kennokohtaisesti
 - mittareiden sijoitus toisiokojetilojen oviin
 - osoittavat mittarit luettavissa kennon ovia avaamatta.

Suojareiden ominaisuudet:

- releet liitetään laboratoriotilaan sijoitettavaan paikalliskäyttöjärjestelmään sekä tiedonvälityksikön kautta etävalvomoon sijoitettavaan käytönvalvontajärjestelmään
- kommunikointimediana käytetään esim. valokuitua
- tavoitteena on integroida kaikki suojaus-, ohjaus-, mittaus-, ja hälytystoiminnot kennokohtaisiin suojareleisiin
- useiden valmistajien (esim. VAMP, Siemens, ABB) releiden rinnankäyttö oltava mahdollista
- kaikkien kennojen suojareleillä kyettävä toteuttamaan:
 - suunnatut vakioaikaylivirtasuojat
 - suunnatut maasulkusuojat
- lisäksi moottorilähtökennoon moottorinsuojarele, jolla voidaan toteuttaa esim. oikosulkusuojaus, käynnistyksen valvonta, vaihekatkosuojaus, alijännitesuojaus, ylikuormitussuojaus ja lämpösuojaus. Jännite moottorisuojausta varten mitataan kiskojännitemuuntajalla.
- johtolähtökennon suojareleellä toteutetaan pika- ja aikajälleenkytkentöjä
- päämuuntajakennon suojareleellä tahdistusmahdollisuus
- suojareleet ominaisuuksiltaan monipuolisia, mm. laajat asettelalueet sekä suojareleiden väliset lukitusmahdollisuudet, mahdollisuus muuttaa releasetteluita etänä.

Muut suojaukset:

- maasulun varasuojaus kiskojännitemuuntajan avokolmiojännitteestä
- jännitesuoja, esim. vakioaikaylijänniterele
- jännitemuuntajasuojaus muuntajavalmistajan suositusten mukaisilla sulakkeilla
- valokaarisuojaus
 - suojauksen toiminta-ajan ilman katkaisijaa tulee olla alle 10 ms
 - suojauksen tulee avata päämuuntaja- sekä generaattorikennon katkaisijat
 - ilmaisimia sijoitetaan kiskoihin ja kennoihin.

Lukitukset:

- kennokohtaiset lukitusohjelmat suojareleillä
- lukitukset kennojen katkaisijoiden sekä maadoituskytkimien välillä
- lukitukset kiskomaadoituskytkimen sekä syöttökennojen katkaisijoiden välillä
- lukitusjännite 110 V DC.

Hälytykset

- hälytyksillä ei paikallista hälytyskeskusta
- hälytysten kosketin- ja analogiatiedot suojareleiden välityksellä paikalliskäyttöjärjestelmään sekä käytönvalvontajärjestelmään.

Sähkölaitosautomaatio

- laboratoriotilaan sijoitettavaan ohjauspisteeseen paikalliskäyttöjärjestelmä, joilla voidaan suorittaa keskitettyjä sähköasematason automaatiotoimintoja ja jonka toiminta on kohdistettu sähköasematasolle
- etävalvomoon sijoitettavaan ohjauspisteeseen energianhallintaan, sähköverkon kaukokäyttöön sekä sähköasema- ja verkostoautomaatioon soveltuva käytönvalvontajärjestelmä
- kaukokäyttöisen erotinaseman (DTU) lisääminen käytönvalvontajärjestelmään tulee olla mahdollista
- lisäksi etävalvomoon käytönvalvontajärjestelmän rinnalle käytöntukijärjestelmä avustamaan verkon hallintaa ja käyttötoimenpiteitä
- kaikki ohjelmat oppilaitoskäyttöön soveltuvia.

TEKNINEN ERITTELY 690 V

KÄYTTÖOLOSUHTEET JA KOJEISTON RAKENNE

Normaali käyttöjännite 690 V

Suurin esiintyvät käyttöjännite 760 V

Järjestelmän maadoitus:

- maasta erotettu

Sijoituspaikka ei ole SFS 6001 mukainen sähkötila

Olosuhteet SFS-EN 62271 mukaiset

Rakenne: Ilmaeristeinen kennokoteloitu (cubicle) kojeisto

Pääkojeiden asennustapa:

- erottimena toimivaan moottoriohjattuun vaunuun
- jokaisella ulosvedettävällä yksiköllä oma vaununsa.

Ulkopintojen sekä sisäisen kotelointiluokan on oltava toimintayksiköiden kaikissa käyttöasennoissa vähintään IP2X. Vaunu saa tulla erotusasennossaan osittain kennosta ulos.

Muut rakenteeseen vaikuttavat tekijät:

- kennojärjestys on esitetty sijoituspiirustuksessa
 11. generaattorikkenno
 12. päämuuntajakkenno
 13. mittauskenno
 14. moottorilähtökenno
 15. johtolähtökenno
- kojeisto toteutetaan 1-kiskojärjestelmänä
- kojeiston toisiokaapelointi kennojen välisissä pystykuiluissa
- kaapelivirtamuuntajat sijoitetaan kojeiston sisään
- kokoojakiskoston liitokset oltava lämpökuvattavissa.

Kaapelit

- kaikki kytkettävät kaapelit AMCMK 3x 3x35/16
- kaapelipäätteet kaapeleita vastaavat
- kojeisto asennetaan korokkeelle ja pienjännitekaapelointi tehdään kojeiston alta kennoihin generaattorikennon suunnalta.

Maadoitus

- kojeiston eri osien tulee täyttää suojamaadoitusvaatimukset
- kojeistossa on oltava ulkopuoliselle maadoitusjohtimelle tarkoitettu liitin toisessa päätykennossa

- kennojen maadoitusliitin keskijännitekaapelien kosketussuojan ja maadoitusköyden liittämiseksi maadoituspiiriin.

Valokaarenkestävyys

- ei vaatimusta valokaarioikosulkukokeen suorittamiselle.

SÄHKÖTEKNISET TIEDOT

Nimellisjännite	12, 17,5 tai 24 kV
– valintaperusteena halvin kustannus	
Nimellistaajuus	50 Hz
Nimelliseristystaso	
Vaihto- ja syöksyjännitelujuudelle ei erityisvaatimuksia	
Nimellisvirrat	
– kokoojakiskosto	630 A
– syöttökentät	630 A
– lähtökentät	630 A
Termiselle ja dynaamiselle kestoirralle ei erityisvaatimuksia	
Toisiopiirien nimellisjännite	110 V DC
Katkaisijoiden nimelliskatkaisukyky pienin saatavilla oleva	

LAITTEET

Katkaisijat

Katkaisijoiden sähköiset arvot määräytyvät edellä esitettyjen teknisten arvojen mukaisesti. Katkaistavat kuormitus- ja oikosulkuvirrat ovat hyvin pieniä, eivätkä ne siten aseta erityisvaatimuksia katkaisijoiden sähköisille arvoille.

Katkaisijatyypit valitaan siten, että kojeistossa on vähintään 1 kpl kumpaakin katkaisijatyypistä (SF6 ja tyhjö). Vallitseva katkaisijatyypistä valitaan pienimpien kokonaiskustannusten mukaan. Valinnassa on huomioitava suuri toimintakertojen määrä katkaistavien virtojen pysyessä pieninä.

Katkaisijoiden varustelu seuraavasti:

- kauko- ja käsiohjausmahdollisuus
- käsiviritysmahdollisuus
- johtolähtökennon katkaisijalla soveltuvuus PJK:ään ja AJK:ään
- ohjausjohdon pistoke
- apukoskettimet
- ohjaimet moottorijousia
- laukaisumagneetti
- kiinniohjausmagneetti
- SF6 -katkaisijoihin kaasun painevartija
- jousen viritystilän apukoskettimet.

Eroittimet

- erotus vaunuilla, jolloin avausväli nähtävissä
- vaunujen asentotieto apukoskettimilta
- vaunut moottoriohjattuja ja kaukokäyttökelpoisia.

Virtamuuntajat

Nimellisensiövirta

- syöttökennot 40 A
- moottorilähtökenno 10 A
- johtolähtökenno 15 A

Nimellistoisiovirta 5/5 A (mittaus ja suojaus)

Nimellistaakka Ei määritelty (riippuen suojareleestä)

Tarkkuusluokka

- suojaussydän 0,5S
- mittausydän 5P

Tarkkuusrajakerroin 10

Virtamuuntajan jännitelujuus käyttöjännitteen mukaan

JännitemuuntajaNimellisensiöjännite $690/\sqrt{3}$ V

Nimellistoisiojännite

- mittauskäämi $100/\sqrt{3}$ V
- avokolmiokäämi $100/3$ V

Nimellistaakka Ei määritelty (riippuen suojareleestä)

Tarkkuusluokka

- mittauskäämi 0,5
- suojauskäämi 3 P

Taajuus 50 Hz

Eristystaso käyttöjännitteen (690 V) mukaan

Avokolmiopiiri varustetaan tarvittaessa ferresonanssivastuksella.

Ylijännitesuojat

- kojeistoa ei varusteta ylijännitesuojauksella.

Sulakkeet

- kiskojännitemuuntaja suojataan sulakkeilla kojeiston sähköisten ominaisuuksien ja sulakevalmistajan taulukoiden mukaan.

OHJAUS, MITTAUS, SUOJAUS, LUKITUKSET JA HÄLYTYKSET

Ohjaus ja asentotiedot:

- kauko-ohjaus ja valvonta
 - kaikkia katkaisijoita sekä katkaisijavaunuja kyettävä kauko-ohjaamaan
 - tiedonsiirrossa käytetään väyläratkaisua, myös useampien valmistajien kojeiden liittäminen tulee olla mahdollista
- paikallisohjaukset ja asentotiedot
 - kaikkia katkaisijoita voitava ohjata paikallisesti
 - ohjaus painonapilla, paikallinen asennonosoitus
 - kiskokuvio tulee olla selkeästi esitettynä kennojen ovissa.

Mittaus:

- mittaustoiminnot kennokohtaisilla suojareleillä
- kaukomittaukset
 - kaikki virta-, jännite-, ja energiamittaukset käytönvalvonta- ja paikalliskäyttöjärjestelmään
- paikallismittaukset
 - kaikista jännite- ja virta-, ja energiamittauksista indikointi kennokohtaisesti
 - mittareiden sijoitus toisiokojetilojen oviin
 - osoittavat mittarit luettavissa kennon ovia avaamatta.

Suojareleiden ominaisuudet:

- releet liitetään laboratoriotilaan sijoitettavaan paikalliskäyttöjärjestelmään sekä tiedonvälityksikön kautta etävalvomoon sijoitettavaan käytönvalvontajärjestelmään
- kommunikointimediana käytetään esim. valokuitua
- tavoitteena on integroida kaikki suojaus-, ohjaus-, mittaus-, ja hälytystoiminnot kennokohtaisiin suojareleisiin
- useiden valmistajien (esim. VAMP, Siemens, ABB) releiden rinnankäyttö oltava mahdollista
- kaikkien kennojen suojareleillä kyettävä toteuttamaan:
 - suunnatut vakioaikaylivirtasuojat
 - suunnatut maasulkusuojat
- lisäksi moottorilähtökennoon moottorinsuojarele, jolla voidaan toteuttaa esim. oikosulkusuojaus, käynnistyksen valvonta, vaihekatkosuojaus, alijännitesuojaus, ylikuormitussuojaus ja lämpösuojaus. Jännite moottorisuojausta varten mitataan kiskojännitemuuntajalla.
- johtolähtökennon suojareleellä toteutetaan pika- ja aikajälleenkytkentöjä
- päämuuntajakennon suojareleellä tahdistusmahdollisuus
- suojareleet ominaisuuksiltaan monipuolisia, mm. laajat asettelalueet sekä suojareleiden väliset lukitusmahdollisuudet, mahdollisuus muuttaa releasetteluita etänä.

Muut suojaukset:

- maasulun varasuojaus kiskojännitemuuntajan avokolmiojännitteestä
- jännitesuoja, esim. vakioaikaylijänniterele
- jännitemuuntajasuojaus muuntajavalmistajan suositusten mukaisilla sulakkeilla
- valokaarisuojaus
 - suojauksen toiminta-ajan ilman katkaisijaa tulee olla alle 10 ms
 - suojauksen tulee avata päämuuntaja- sekä generaattorikennon katkaisijat
 - ilmaisimia sijoitetaan kiskoihin ja kennoihin.

Lukitukset:

- kennokohtaiset lukitusohjelmat suojareleillä
- lukitukset kennojen katkaisijoiden sekä maadoituskytkimien välillä
- lukitukset kiskomaadoituskytkimen sekä syöttökennojen katkaisijoiden välillä
- lukitusjännite 110 V DC.
-

Hälytykset

- hälytyksillä ei paikallista hälytyskeskusta
- hälytysten kosketin- ja analogiatiedot suojareleiden välityksellä paikalliskäyttöjärjestelmään sekä käytönvalvontajärjestelmään.

Sähkölaitosautomaatio

- laboratoriotilaan sijoitettavaan ohjauspisteeseen paikalliskäyttöjärjestelmä, joilla voidaan suorittaa keskitettyjä sähköasematason automaatiotoimintoja ja jonka toiminta on kohdistettu sähköasematasolle
- etävalvomoon sijoitettavaan ohjauspisteeseen energianhallintaan, sähköverkon kaukokäyttöön sekä sähköasema- ja verkostoautomaatioon soveltuva käytönvalvontajärjestelmä
- kaukokäyttöisen erotinaseman (DTU) lisääminen käytönvalvontajärjestelmään tulee olla mahdollista
- lisäksi etävalvomoon käytönvalvontajärjestelmän rinnalle käytöntukijärjestelmä avustamaan verkon hallintaa ja käyttötoimenpiteitä
- kaikki ohjelmat oppilaitoskäyttöön soveltuvia.

