

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Talotekniikan koulutusohjelma

Jukka-Petteri Pihlakari

**Leppävaaran yksikön sähkötekniikan laboratorion
suurjännitelaitteiston kokoonpanosuunnitelma ja laboratorion
työohjeet**

Insinöörityö 22.11.2010

Ohjaaja: lehtori Matti Sundgren

Ohjaava opettaja: lehtori Matti Sundgren

Tekijä Otsikko	Jukka-Petteri Pihlakari Leppävaaran yksikön sähkötekniikan laboratorion suurjännite- laitteiston kokoonpanosuunnitelma ja laboratorion työohjeet
Sivumäärä Aika	69 sivua 22.11.2010
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	lehtori Matti Sundgren lehtori Matti Sundgren
<p>Tämän insinööri­työn tavoitteena on laatia kokoonpanosuunnitelma koululle hankitulle suurjännitelaitteistolle, jota on tarkoitus käyttää opetuslaitteena. Laitteisto koostuu kuivamuuntajasta ja kaasueristeisestä kojeistosta. Tässä insinööri­työssä on tehty suunnitelmat laitteiston saattamiseksi opetuskäyttöön.</p> <p>Työssä kerrotaan määräyksiin ja opetukseen liittyvät asiat ja sovelletaan niitä laitteiston rakentamisessa ja käyttöohjeissa.</p> <p>Työssä tehtiin tiivistä yhteistyötä työnohjaajan kanssa ja suunnitelmat tehtiin käytännönläheisesti paikan päällä sähkötekniikan laboratoriossa. Tämän työn pohjalta voidaan rakentaa suurjännitelaitteisto opetuskäyttöön.</p>	
Hakusanat	sähkötekniikan laboratorio, keskijännitelaitteisto, muuntaja, kojeisto, suurjännitelaitteisto opetuskäytössä

Author Title	Jukka-Petteri Pihlakari An assembly plan for the high voltage apparatus of an electro-technical laboratory in Leppävaara unit with work instructions
Number of Pages Date	69 22 November 2010
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Matti Sundgren, Senior lecturer Matti Sundgren, Senior lecturer
<p>The purpose of this final year project was to create an assembly plan for the high voltage apparatus, set up in the Leppävaara unit of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences to be used as a teaching apparatus. The apparatus consists of a dry-type transformer and switchgear with gas insulation. During this final year project, plans for adopting the apparatus for teaching were made.</p> <p>During the final year project issues related to both regulation and teaching were studied and adapted both in building the apparatus and in writing the instructions for use. The project was carried out in intense co-operation with the supervisor, and the plans were made in the electro-technical laboratory of the school, where the apparatus is to be used. Due to this final year project, the high voltage apparatus for teaching purposes can now be built.</p>	
Keywords	electro-technical laboratory, central voltage apparatus, transformer, device, high voltage apparatus in teaching usage

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Määritelmät	7
1 Johdanto	10
2 Työn tavoite	11
3 Suurjännitetekniikka	12
3.1 Suomessa käytössä olevat siirtojännitteet	12
3.2 Suurjännitteiden esiintyminen rakennuksissa	14
3.3 Suurjännitetekniikan luonne	15
3.3.1 Ylijännitteet	15
3.3.2 Ylijännitteiltä suojautuminen	16
3.4 Eristysrakenteen jännitelujuus	16
4 Turvatoimenpiteet	16
4.1 Määräykset	16
4.2 Perussuojaus (suojaus suoralta koskettamiselta)	17
4.2.1 Yleistä	17
4.2.2 Perussuojauksessa käytettävät suojausmenetelmät	17
4.2.3 Suojaustoimenpiteiden suunnittelu	18
4.3 Suojausvaatimukset	19
4.3.1 Suojaus normaalin käytön aikana	19
4.3.2 Välineet jännitteettömyyden toteamiseen	19
4.3.3 Työmaadoitusvälineet	20
5 Suurjännitetilan laitteet, varusteet ja merkinnät	20
5.1 Suurjännitetilan varusteet	21
5.2 Ohje työmaadoitusvälineille	21
5.3 Merkinnät	22
5.4 Maasulun valvonta	23
6 Muuntajan ja kojeiston tiedot	24
6.1 Muuntaja	24

6.2	Kojeisto	24
7	Tehdasrakenteisten ja tyyppitestattujen koteloitujen kojeistojen asennukset	24
7.1	Erikoisvaatimukset	26
8	Painekaasukatkaisija (SF ₆ -katkaisija)	27
8.1	Katkaisija	27
8.2	SF ₆ -kaasun ominaisuudet	29
8.3	SF ₆ -kaasun turvaohjeet	30
9	Tarkastus ja testaus käyttöpaikalla ennen käyttöönottoa	31
10	Tehomuuntajien kytkentävirtasysäys	32
10.1	Yleinen käytännön normaalitilanne	32
10.2	Sähkötekniikan laboratorion suurjännitetila	33
10.3	Aikarele	33
11	Laitteiston kokoonpano	34
12	Maadoitukset	36
12.1	Yleistä	36
12.2	Yleistä määräyksistä	37
12.3	Pienjännitepuolen käyttömaadoitukset	37
12.4	Suurjännitepuolen suojamaadoitus	38
12.5	Yhdistetyt maadoitukset	38
12.6	Maadoitusmääräykset kojeistossa	38
12.7	Maadoituksen toteuttaminen sähkötekniikan laboratoriossa rakennuksen päämaadoituskiskoon	39
12.8	Maadoitusresistanssin toteutus maahan kaivettavalla maadoituselektrodilla	41
13	Kaapeloinnin asentaminen suurjännitetilassa	43
13.1	20 kV:n kaapelit	43
13.2	0,4 kV:n kaapelit	44
14	Pääkytkin ja katkaisimet	44
14.1	Sähkötekniikan suurjännitetila	44
14.2	Merkinnät sähkötekniikan laboratoriossa	44
14.3	Pääkytkimen asennus	45
14.4	Erikoistapaukset	45
14.4.1	Oppilaitokset	45

14.4.2 Pää- ja hätäkytkimet suurjännitetilassa.....	46
15 Merkkivalot ja kilvet.....	47
15.1 Määräys	47
15.2 Merkkivalojen asennukset suurjännitetilassa	48
16 Laitteistoon tehtävät muutokset opetuskäyttöä varten	48
16.1 Muuntajan muutokset.....	48
16.2 Maadoituspallo.....	49
16.3 Kojeiston muutokset.....	51
16.4 Sähkölaboratoriotilaan tehtävät muutokset	51
17 Opetustekniset työt.....	52
17.1 Turvallisuus suurjännitteiden läheisyydessä	52
17.2 Kuivaharjoittelu, työskentely jännitteettömänä.....	53
17.3 Työskentely laite jännitteisenä	54
17.4 Laitteen testaaminen jännitteisenä.....	54
17.5 Työmaadoittaminen.....	54
18 Laitteiston kehittäminen jatkossa	55
18.1 Väliottokytkimen käyttö ja tarkoitus	56
18.2 Keski-jännitteen mittaaminen	57
18.2.1 Jännitemuuntajan tehtävät.....	57
18.2.2 Jännitemuuntajan toiminta ja liitännät.....	58
19 Ohje käytönjohtajalle	58
20 Yhteenveto	59
Liite 1: Muuntajan dimensiot.....	62
Liite 2: Muuntajan testauspöytäkirja.....	63
Liite 3: Kojeiston dimensiot.....	64
Liite 4: Työturvallisuusohje	66

Määritelmät

Yleiset määritelmät

erottaminen, isolation

Asennuksen, asennuksen osan tai laitteen poiskytkentä tai erottaminen erotusvälin avulla kaikista maadoittamattomista johtimista.

erotusväli, isolating distance

Avausväli, joka täyttää erottimelle määritellyt turvallisuusvaatimukset.

jännitteinen osa, live part

Normaalikäytössä virtapiiriin kuuluva johdin tai johtava osa nollajohdin mukaan luettuna, PEN-johdinta lukuun ottamatta.

sähkölaite, electrical equipment

Laite, jota käytetään sähköenergian tuottamiseen, muuntamiseen, siirtoon, jakeluun tai käyttöön. Sähkölaitteita ovat koneet, muuntajat, kojeet, mittalaitteet, suojalaitteet, johtojärjestelmään kuuluvat laitteet ja kulutuskojeet.

Asennukset

sähkötila, closed electrical operating area

Huone tai tila, joka on varattu sähköasennusten ja –laitteiden käyttöä varten, ja jonne pääsevät vain ammattitaitoiset tai opastetut henkilöt tai muut henkilöt näiden valvomana. Pääsy voidaan rajoittaa esim. siten, että ovien avaaminen tai suojuksen poistaminen voidaan tehdä vain avaimella tai työkalulla. Tila on merkitty selvästi tarkoituksenmukaisilla varoituskilvillä.

Asennustyypit

kaasueristeinen kytkinlaitos, gas insulated substation

Sähköasema, jonka metallikoteloidun kojeiston sisäinen eristys toteutettu muulla kaasulla kuin normaalipaineessa olevalla ilmalla.

koteloidut sisäasennukset, indoor installations of enclosed desing

Sään vaikutuksilta suojan antavassa rakennuksessa tai huoneessa sijaitsevat sähköasennukset, jotka on suojattu koskettamiselta.

koteloimattomat sisäasennukset, indoor installations of open desing

Sään vaikutuksilta suojan antavassa rakennuksessa tai huoneessa sijaitsevat sähköasennukset, joita ei ole suojattu koskettamiselta.

Suojaus sähköiskulta

este, obstacle

Osa, joka suojaa tahattomalta suoralta koskettamiselta, mutta ei estä tarkoituksellista suoraa koskettamista.

kotelo, enclosure

Osa, joka suojaa laitetta tietyiltä ulkoisten tekijöiden vaikutuksilta ja suojaa vaarallisten osien koskettamiselta kaikista suunnista.

perussuojaus (suojaus suoralta koskettamiselta, kosketussuojaus), protection against direct contact

Toimenpiteet, jotka estävät henkilöitä pääsemästä vartalon osien tai esineiden kautta vaaralliselle etäisyydelle jännitteisistä osista tai osista, joihin voi syntyä vaarallisen sähköiskun aiheuttava jännite (yltäminen vaara-alueelle).

suojus, barrier

Osa, joka suojaa suoralta koskettamiselta tavanomaisilta suunnilta.

vikasuojaus (suojaus epäsuoralta koskettamiselta, kosketusjännitesuojaus), protection in case of indirect contact

Henkilöiden suojaus vaaralta, joka voi syntyä sähkölaitteiden jännitteelle alttiiden osien tai muiden johtavien osien koskettamisesta vian aikana.

Etäisyydet

etäisyys, clearance

Kahden johtavan osan välille lyhintä reittiä vedetyn langan pituus.

vaara-alue, danger zone

Alue, jota rajoittaa vähimmäisetäisyys kosketussuojaamattomiin jännitteisiin osiin. Vaara-alueelle yltämistä pidetään samana asiana kuin jännitteisten osien koskettamisesta.

Maadoitus

maadoittaa, to earth

Yhdistää sähköisesti johtava osa maadoitusjärjestelmän kautta maahan.

maadoitusjohdin, earthing conductor

Johdin, joka muodostaa asennuksen, järjestelmän tai laitteen määrätyn osan ja maan välille johtavan yhteyden tai osan tästä yhteydestä. (1, s. 16–26.)

1 Johdanto

Metropolia Ammattikorkeakoulu on lisännyt koulutusohjelmaansa suurjännitetekniikan opintoja. Talotekniikan insinöörin tulee tuntea entistä laajemmin myös tähän liittyvät määräykset ja turvallisuusseikat. Nykyään jo sähköpätevyyksien saaminen edellyttää insinööriltä suurjännitetekniikan opintoja.

Suurjännitetekniikkaa käytetään sähkön tuotannossa ja jakelussa. Rakennuksissa käytettävä jännite on pienjännite, mutta isompiin kohteisiin rakennetaan muuntamoiloja, joissa joudutaan tekemisiin suurjännitteiden kanssa. Suurjännitteistä puhuttaessa jännitetaso on yli 1000 V.

Lehtori Matti Sundgren tarjosi minulle mahdollisuutta suunnitella koulun sähkötekniikan laboratorioon keskijännitelaitteisto opetuskäyttöä varten. Sähkötekniikan laboratorio on työ-, testaus-, sekä -opetusympäristöltään hyvin erikoisluokitelluksi tilaksi määritelty kokonaisuus. Laitteistossa turvallisuus ja yksinkertainen käyttö ovat suunnittelun ehdottomat lähtökohdat.

Standardisarja *601 Suurjänniteasennukset ja ilmajohdot* antaa reunaehdot suunnittelulle. Tämä standardi sisältää määräykset ja ohjeet siitä, mitä suurjännitetekniikassa, sen toteuttamisessa sekä sen läheisyydessä työskennellessä täytyy ottaa huomioon. Jännite laitteistolle otetaan sähkölaboratorion pienjännitekekkuselta. Kojeiston perään lenkitetään ns. syöttöverkko AHXAMK-W- kaapelilla. Varsinaista kuormitusta laitteistolle ei tule kuorman puuttuessa ja tämän takia virta sekä teho jäävätkin pieniksi. Laitteisto tehdään opetuskäyttöä varten ja sen vuoksi toteutus poikkeaa tavalliseen käyttöön tulevan muuntajan ja kojeiston asennustavoista. Tämä ei kuitenkaan vaikuta turvallisuuteen tai muuttaa alkuperäistä ajatusta siitä, miten laite toimii tai käyttäytyy. Jatkossa tästä tilasta, jossa laitteisto sijaitsee, käytetään termiä *suurjännitetilä*.

Ennen tähän insinööriyöhön tutustumista on suositeltavaa lukea läpi aikaisemmin laadittu insinööriyö, joka on Mika Holttisen työ *Opetuskäyttöön hankittavan 20 kV:n keskijännitelaitteiston rakenteen ja toimintojen määrittely*.

2 Työn tavoite

Tavoitteena on suunnitella koulun sähkötekniikan laboratorioon hankitut kojeisto ja muuntaja toimintakuntoon sekä laatia laitteiston käyttö-, työ- ja turvallisuusohjeet. Koulun sähkötekniikan laboratoriossa opiskelijat voivat harjoitella oikeasti kentällä suoritettavia ja tehtäviä suurjännitekytkentätoimenpiteitä, kuten työskentelyä jännitteisten kojeiden kanssa, jännitteen toteamista jännitteen koettimella sekä työskentelyä varten kohteessa tehtävää työmaadoittamista. Pienjännitekeskukselta saatava 400 V:n jännite nostetaan muuntajassa 20 kV:iin, joka vastaa keskijänniteverkon jännitettä. Opetuskäytön tavoitteina on perehdyttää ja opastaa opiskelija itse laitteisiin, laitteiston ja henkilöiden suojaustekniikkaan, ohjaustoimintojen käyttöön sekä työturvallisuuteen liittyen keskijänniteverkkoon.

Tällä opetusmenetelmällä pyritään tekemään valmistuvasta insinööristä valmiimpi ja työelämää merkittävästi paremmin ja laajemmin palveleva ammattilainen.

3 Suurjännitetekniikka

Suurjänniteasennukseksi luetaan yli 1000 V:n vaihtojännitetaso ja tasajännitteellä vastaavasti yli 1500 V:n jännitetaso luetaan suurjännitealueeseen. Näiden jännitetasojen alapuolella olevat jännitteet ovat pienjännitteitä. Rakennukset kuuluvat siis pienjänniteasennusten piiriin, koska käytettävä jännite on 230/400 V.

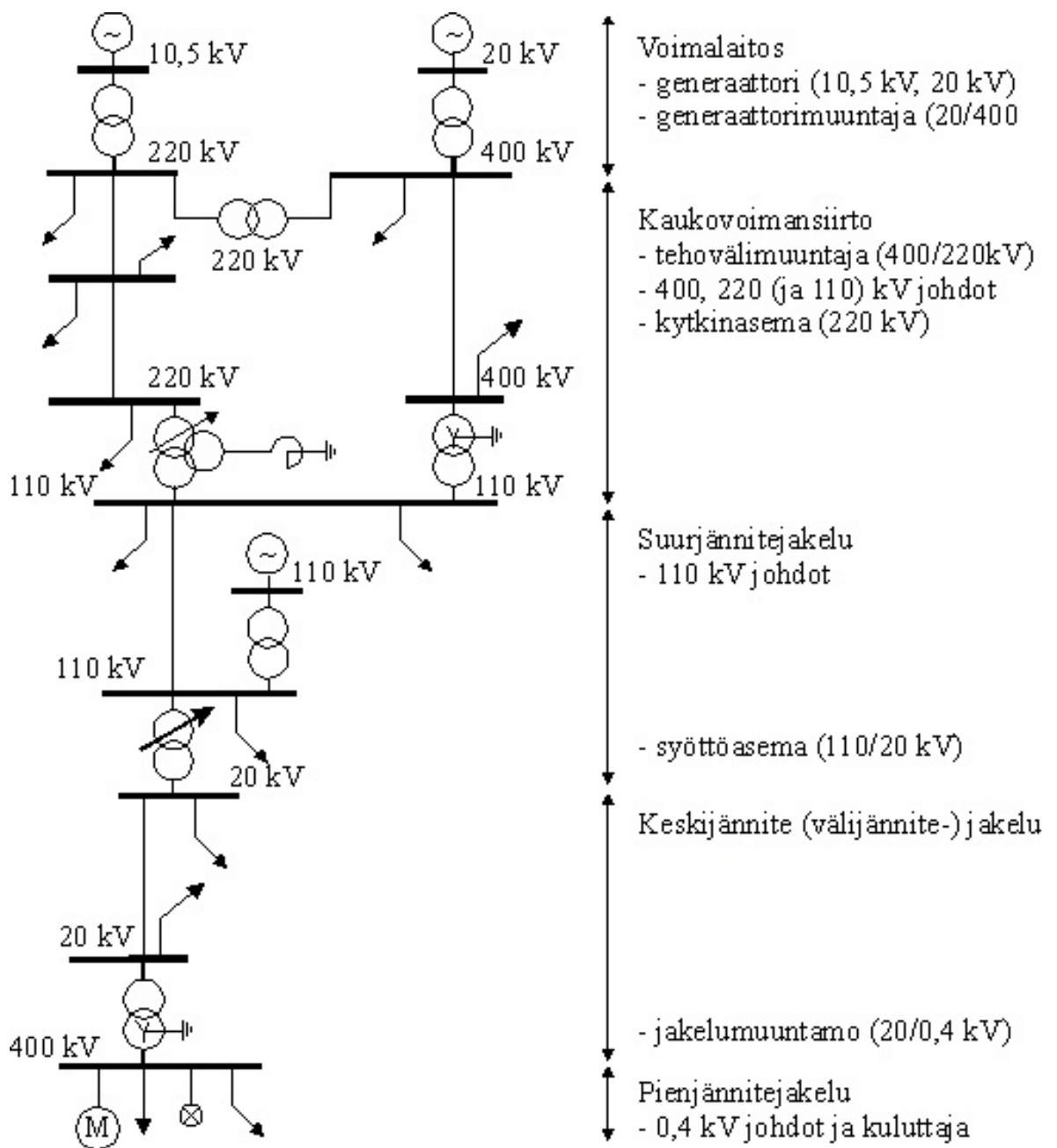
Suurjännitetekniikassa on oma standardi [1] ja ohjeistus. Kirja on SFS-käsikirja 601, *suurjänniteasennukset ja ilmajohdot*.

3.1 Suomessa käytössä olevat siirtojännitteet

Suomessa käytetään kolmivaiheista vaihtojännitettä, jonka taajuus on 50 Hz, sekä nimellisjännitettä, joka kahden vaiheen väliltä on

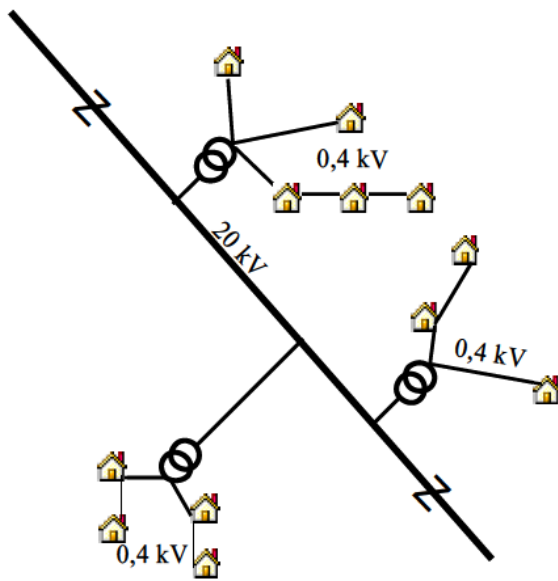
- A. 400 kV
- B. 220 kV
- C. 110 kV (vain sähköasemarakennusten sisällä)
- D. 20 kV (10 kV) (myös rakennusten sisällä).

Suomessa kaikki kuluttajat ja voimalaitokset on kytketty yhteiseen verkkoon. Sähkövoimajärjestelmän nimenomainen etu on hyvällä hyötysuhteella tapahtuva voiman siirto. Siirtomatkat voivat olla pitkiä, jolloin mahdollistuu tuotannon taloudellinen toteutus ja käyttövarmuus lisääntyy. Pyrkimys hyvään hyötysuhteeseen merkitsee sitä, että siirron ja jakelun häviöt on pidettävä mahdollisimman pieninä. Kuvassa 1 on esitetty sähkövoimajärjestelmän yleisrakenne.



Kuva 1. Siirto- ja jakeluverkoston periaatekaavio (10, s. 29–30).

Keskijänniteverkosta jännite otetaan kuluttajille, jossa muuntajien välityksellä suurjännite (20 kV) pudotetaan kulutuspaikoihin sopivalle tasolle pienjännitteeksi (0,4 kV). Tämä on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Asiakkaiden syöttöverkko (9, s. 9).

3.2 Suurjännitteiden esiintyminen rakennuksissa

Suurjännitteitä esiintyy rakennusten muuntamoissa ja suurjännitekojeistoissa, joissa jännite muunnetaan rakennusten käyttöön ja verkkoon sopivaksi pienjännitteeksi. Rakennuksissa, joissa tehon tarve on suuri, jännitteen muuntaminen mahdollisimman lähellä kulutuspiistettä on järkevää, koska tällöin pystytään minimoimaan siirrossa tapahtuvia häviöitä. Rakennuksessa tulee olla erillinen muuntamotila.

Suurjännitesähköasennuksiin kuuluvat muun muassa seuraavat laitteet:

- kojeistot
- muuntajat
- kaapelit
- johtojärjestelmät
- maadoitusjärjestelmät.

Sähköaseman tärkeimpiin verkonhallintalaitteisiin kuuluvat

- katkaisijat, jotka kykenevät vaurioitumatta avaamaan, sulkemaan ja johtamaan kuormitusvirran lisäksi myös oikosulkuvirran
- erottimet, jotka muodostavat luotettavan, yleensä näkyvän, avausvälin erotettavan virtapiirin ja muun laitoksen välille
- mittamuuntajat, jännite- ja virtamuuntaja, jotka mm. eristävät mittausspiirin suurjännitteisestä päävirtapiiristä
- releet ja varokkeet, jotka toimivat suojaustarkoituksissa.

3.3 Suurjännitetekniikan luonne

Suurjännitetekniikka käsittelee eristysaineiden ja rakenteiden sähköiseen lujuuteen sekä niiden valintaan liittyviä kysymyksiä. Näitä ovat muun muassa

- verkossa esiintyvät ylijännitteet ja niiden rajoittaminen
- laitteiden, kojeiden ja eristysrakenteiden jännitelujuus
- ylijännitesuojaus ja eristyskoordinaatio
- suurjännitelaboratorioiden koestus- ja mittaustekniikka.

3.3.1 Ylijännitteet

Ylijännitteet koostuvat kolmesta erilaisesta ilmiöstä

- käyttötaajuiset ylijännitteet
- kytkentäylijännitteet
- ilmastolliset ylijännitteet.

3.3.2 Ylijännitteiltä suojautuminen

Ylijännitteiltä voidaan suojautua seuraavin keinoin:

- muodostuvan ylijännitteen rajoittaminen
- muodostuneen ylijännitteen vaimentaminen
- suojalaitteiden käyttö.

Tässä työssä ylijänniteilmiöinä tarkastellaan ainoastaan kytkentäylijännitettä, joka on oleellinen tekijä laitteiston käynnistysvaiheessa jännitteiseksi. Muita ylijänniteilmiöitä ei ole tarvetta huomioida. Kytchentäylijännitteen aiheuttamaa suojaustarvetta ja johtumissyytä tarkastellaan tarkemmin luvussa 10.

3.4 Eristysrakenteen jännitelujuus

Eristysrakenteen jännitelujuus tarkoittaa eristysrakenteen kykyä kestää tietty jänniterasitus tietyllä todennäköisyydellä ilman haittaa tai vauriota tuottavia sähköpurkkauksia.

Muita tehtäviä on

- jännitteisten osien mekaaninen tukeminen
 - eristimet ja muut vastaavat rakennelmat.

4 Turvatoimenpiteet

4.1 Määräykset

Asennusten rakenteen on oltava sellainen, että käyttö- ja kunnossapitohenkilökunta voi liikkua tehtäviensä ja valtuuksiensa puitteissa ja olosuhteiden mukaisesti missä tahansa asennuksen kohdassa. Standardin SFS 6002 [14] vaatimukset on otettava huomioon

sellaisissa asennus-, kunnossapito-, valmistelu- ja korjaustöissä, joissa työ kohdistuu jännitteisiin osiin tai ollaan lähellä jännitteisiä osia.

4.2 Perussuojaus (suojaus suoralta koskettamiselta)

4.2.1 Yleistä

Asennukset on rakennettava siten, että estetään jännitteisten osien tahaton koskettaminen tai jännitteisten osien lähellä olevan vaara-alueen tahaton ylittäminen. Jännitteiset osat ja osat, joissa on ainoastaan toiminnallinen eristys sekä osat, joissa voi olla vaarallinen potentiaali, on suojattava koskettamiselta. Tällaisia osia ovat esimerkiksi

- kosketeltavat jännitteiset osat
- asennuksen osat, joista on poistettu kaapelien maadoitetut metallivaipat tai johtavat sähköiset verhoukset
- kaapelit ja varusteet, joissa ei ole maadoitettuja metallivaippoja tai johtavia elastomeerisia verhouksia sekä taipuisat kaapelit, joissa ei ole johtavia elastomeerisia verhouksia
- kaapeleiden päätteet ja johtavat vaipat, jos niissä voi olla vaarallinen jännite
- eristimien ja muiden vastaavien osien, esimerkiksi valuhartsilla eristettyjen sähkölaitteiden eristävät rungot, joissa voi olla vaarallinen jännite
- kondensaattorien, muuntajien tai muuntajien rungot ja kuoret, jos niissä voi olla jännite normaalin käytön aikana.

Suojaus voidaan toteuttaa eri tavoilla sähkötilassa ja sähkötilan ulkopuolella.

4.2.2 Perussuojauksessa käytettävät suojausmenetelmät

Tavallisia perussuojausmenetelmiä ovat

- suojaus koteloinnilla
- suojaus suojuksella

- suojaus esteillä
- suojaus sijoittamalla jännitteiset osat kosketusetäisyyden ulkopuolelle.

4.2.3 Suojaustoimenpiteiden suunnittelu

Suojuksia voivat olla kiinteät seinät, ovet tai verkkoaidat (metallilankaverkko), joiden avulla varmistetaan, ettei mikään ihmiskehon osa voi ulottua jännitteisten osien läheisyydessä olevalle vaara-alueelle. Suojauksien vähimmäiskorkeus on sisätiloissa 2 300 mm ja ulkotiloissa 2 000 mm. Esteitä ovat esimerkiksi kuoret, puomit, ketjut tai köydet. Esteinä pidetään myös seiniä, ovia ja verkkoaitoja, joiden korkeus ei täytä suojukselle esitettyjä vaatimuksia.

Suojaus sijoittamalla jännitteiset osat kosketusetäisyyden ulkopuolelle toteutetaan sijoittamalla jännitteiset osat niin kauas, ettei henkilö voi ulottua jännitteisiin osiin kädellään mistään suunnasta seistessään pinnalla, jolla tavallisesti voi seisoa tai liikkua. Kosketussuojaukseen käytettävien suojalaitteiden, kuten seinien, kuorien, esteiden, on oltava mekaanisesti tukevia ja asennettu turvallisesti. Koteloinnin osana käytettävien kojeistohuoneiden tai kojeiston kennojen ovet on suunniteltava siten, että ne voidaan avata vain työkalulla tai avaimella. Sähkötilojen ulkopuolella olevilla alueilla nämä ovet on varustettava avaimella toimivalla lukolla.

Siirrettävien johtavasta materiaalista tehtyjen suojausvälineiden osalta on varmistettava, että kun niitä käytetään oikein, riittävät etäisyydet suojuksista tai esteistä säilyvät. Jos etäisyyksiä ei voida säilyttää, välineet on tehtävä eristävästä materiaalista tai kuivasta puusta. Suojapuomi saa olla poistettavissa ilman työkaluja. Suojapuomien on oltava lujia. Suojaukset eivät saa olla helposti poistettavissa tavallisilla työkaluilla tiloista, joihin yleisöllä on pääsy.

4.3 Suojausvaatimukset

4.3.1 Suojaus normaalin käytön aikana

Suojauksessa on otettava huomioon asennuksen käyttö, ohjaus ja kunnossapito, esimerkiksi:

- katkaisijan tai erottimen ohjaus
- sulakkeen tai lampun vaihto
- laitteen asetusarvon muuttaminen
- releen tai ilmaisimen palauttaminen
- työmaadoittaminen
- tilapäissuojauksen asentaminen
- muuntajan lämpötilan tai öljyn pinnankorkeuden lukeminen.

Suurin käyttöjännite (U_m) on enintään 52 kV:n kojeistoissa, muuntajajaloissa ja vastaavissa paikoissa, joissa ovia tai kuoria on avattava normaalin käytön tai kunnossapidon suorittamiseksi ja tällöin oven sisäpuolella on oltava johtamattomasta materiaalista tehty kiinteä puomi.

4.3.2 Välineet jännitteettömyyden toteamiseen

Tarvittaessa on hankittava välineet, joilla todetaan laitteiden jännitteettömyys ottaen huomioon käyttövaatimukset. Hankinnan laajuus on sovittava toimittajan ja käyttäjän kesken. Välineillä on voitava tarkastaa jännitteettömyys työskentelykohdissa aikaisemmin jännitteisinä olleista osista ilman tehtävää suorittavalle henkilölle aiheutuvaa vaaraa. Vaatimusten täyttämiseksi voidaan käyttää kiinteitä laitteita tai siirrettäviä välineitä.

4.3.3 Työmaadoitusvälineet

Jokainen erikseen erotettava asennuksen osa on voitava työmaadoittaa.

Laitteet (kuten muuntajat tai kondensaattorit) on voitava työmaadoittaa työskentelykohdassa, ellei työskentelykohta sijaitse koeistojen välittömässä läheisyydessä. Vaatimus ei koske osia, missä työmaadoittaminen ei ole käytännöllistä tai tarkoituksenmukaista (esimerkiksi muuntajat tai sähkökoneet, joissa laippaan asennetut kaapelit tai kaapelin liitäntäkotelot). Näissä tapauksissa työmaadoittaminen on suoritettava kojeiston kennoissa tai -kentissä ensiö- ja toisiopuolella. Tavallisesti on voitava työmaadoittaa muuntajan molemmat puolet.

Seuraavat työmaadoitusvälineet on hankittava toimittajan ja käyttäjän keskenään sopimassa laajuudessa:

- maadoituserottimet (mieluiten kytkentäkykyiset maadoituskytkimet)
- maadoituserotinvaunut
- siirrettävät työmaadoitusvälineet tai työmaadoitus- ja oikosulkuvälineet
- ohjattavat maadoitussauvat ja työmaadoitusvälineet. (1, s. 58–61.)

5 Suurjännitetilän laitteet, varusteet ja merkinnät

Suurjännitetilän laitteistoon kuuluvat suurjännitekytkennästä riippuen seuraavat laitteet:

- kaapelipäätteet
- kuormanerotitimet
- varokekuormaerotitimet
- mittamuuntajat
- kokoojakiskosto (2, s. 21).

5.1 Suurjännitetilän varusteet

Suurjännitetilassa on oltava tarpeelliset

- työmaadoitusvälineet
- jännitteenkoetin suurjännitteelle
- suurjännitesulakkeiden vaihtoväline
- työskentelysuoja jne. (2, s. 18).

Jännitteen koettimella varmistetaan ja todetaan luotettavasti kohteen jännitteettömyys.

Jännitteen koetin näkyy kuvassa 3.



CT65/C Teleskooppisauva

Sauva on rakenteeltaan kaksiosainen ns. teleskooppisauva jonka pituutta voidaan säätää kätevästi turvaamaan riittävä ulottuma välittömän läheisyyden ulkopuolelle.

Kuva 3. Jännitteenkoetin

5.2 Ohje työmaadoitusvälineille

Työmaadoitusvälineitä on oltava vähintään yhtä monta kuin kaapelilähtöjä. Välineiden on oltava ko. jännitteelle ja oikosulkuvirralla hyväksytyjä. Välineiden kiinnitystä varten muuntamossa/tilassa tulee olla maadoitussauva ja kiinnityksenä suositellaan käytettäväksi standardin SFS 3742 mukaisia maadoituskiinnikkeitä.

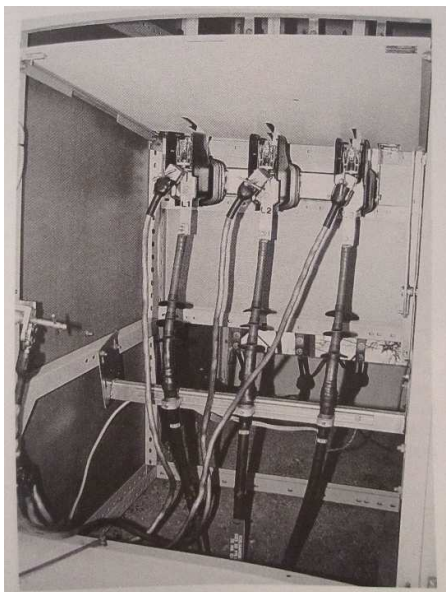
Kuvassa 4 on esitettyä siirrettävä työmaadoitusväline, jolla kohteen työmaadoittaminen voidaan toteuttaa.



LÄPINÄKYVÄ ERISTE MAHDOLLISTAA
MÄÄRÄYSTEN MUKAISEN SILMÄMÄÄRÄISEN
KUNNONTARKASTUKSEN ENNEN
ASENNUKSIA!!

Kuva 4. Siirrettävä työmaadoitusväline

Kuvassa 5 on esimerkki suurjännitekennosta, jossa on asennettuna siirrettävät työmaadoitusvälineet.



Kuva 5. Esimerkki suurjännitekennosta

5.3 Merkinnät

Kytkinlaitos on varustettava pysyvillä, sen käytön kannalta tarpeellisilla merkinnöillä. Merkinnät on tehtävä kunkin kojeiston, kennon ja ohjauslaitteen kohdalle pysyvällä ja yksikäsitteisellä tavalla, ja tilassa säilytettävät kaaviot tai luettelot on varustettava vastaavilla merkinnöillä. Kun kytkinlaitos käsittää useita erillisiä kennoja, jokainen kenno on varustettava omalla tunnuksella. (3, s. 18.)

Mikäli suurjännitetilassa on ensioreleitä tai muita kennojen sisällä olevia laitteita, jotka vaativat käsittelyä jännitteisinä, tulee muuntamossa olla tähän tarkoitukseen soveltuvat apuvälineet. Muuntamossa, jonne on asennettu suurjännitesulakkeet, on oltava sulakkeiden turvalliseen vaihtoon soveltuvat välineet.

Suurjännitekennot suositellaan merkittäväksi esimerkiksi seuraavasti:

- liittymis- ja haarakennot JAKELUVERKKO
- pääkatkaisijakenno PÄÄKATKAISIJA
- mittauskenno MITTAUS.

Jokaisessa suurjänniteliittyjän muuntamossa tulee olla seinälle kiinnitettynä seuraavat taulut:

- laitoksen pääkaavio
- maadoituskaavio, mikäli se ei sisälly edelliseen
- näkyvälle paikalle sijoitettu taulu, jossa on hätäpuhelinnumero (yleisessä verkossa 112).

Muuntamossa tulee lisäksi olla saatavissa ainakin seuraavat ripustimiseen johtamattomasta aineesta tehdyt varoitustaulut, liittymiskennojen lukumäärän mukaan kaksi tai kolme kappaletta kutakin:

- ÄLÄ KYTKE, miehiä työssä
- ÄLÄ KYTKE, epäkunnossa
- VARO, jännitteinen
- EI OLE KÄYTÖSSÄ. (3, s. 15–16.)

5.4 Maasulun valvonta

Suurjännitetilassa laitteiston suurjännitepuoli varustetaan maasulun valvontalaitteella. Suurjännitepuoli toteutetaan kelluvana järjestelmänä, jolloin tarvitaan erillinen maasulun valvontalaite. Maasulun tapahtuessa laite ilmoittaa tästä äänimerkillä.

6 Muuntajan ja kojeiston tiedot

6.1 Muuntaja

Muuntaja on kolmivaiheinen nimellisteholtaan 30 kVA:n valuhartsimuuntaja, jonka muuntosuhde on 50. Alajännitepuolelle saadaan 400 V ja yläjännitepuolelle 20 000 V. Muuntajan kytkentä on Dyn11. Tämä tarkoittaa, että muuntajan yläjännitepuoli on kytketty kolmioon ja alajännitepuoli tähteen. Kytkenän tähtipiste on tuotu alajännitepuolen liittimille ja alajännite on 30 astetta edellä yläjännitettä. Muuntajan dimensiot, tiedot ja testauspöytäkirja ovat liitteissä 1 ja 2.

6.2 Kojeisto

Sähkötekniikan laboratorioon hankittu kojeisto on Merlin Gerinin RM6. Kyseessä on kaasueristeinen kojeisto, jossa eristekaasuna käytetään SF₆-kaasua. Laitteisto sopii erinomaisesti opetuskäyttöön johtuen selkeistä kytkimien osoituslaitteista ohjauspaneelissa sekä nähtävissä olevista erottimista laitteiston takana.

Eristekaasusta johtuen laboratoriotilassa tulee huomioida turvallisuuteen ja käyttöön liittyviä asioita, joita käsitellään tarkemmin luvussa 8. Kojeiston dimensiot on esitetty liitteessä 3.

7 Tehdasrakenteisten ja tyyppitestattujen koteloitujen kojeistojen asennukset

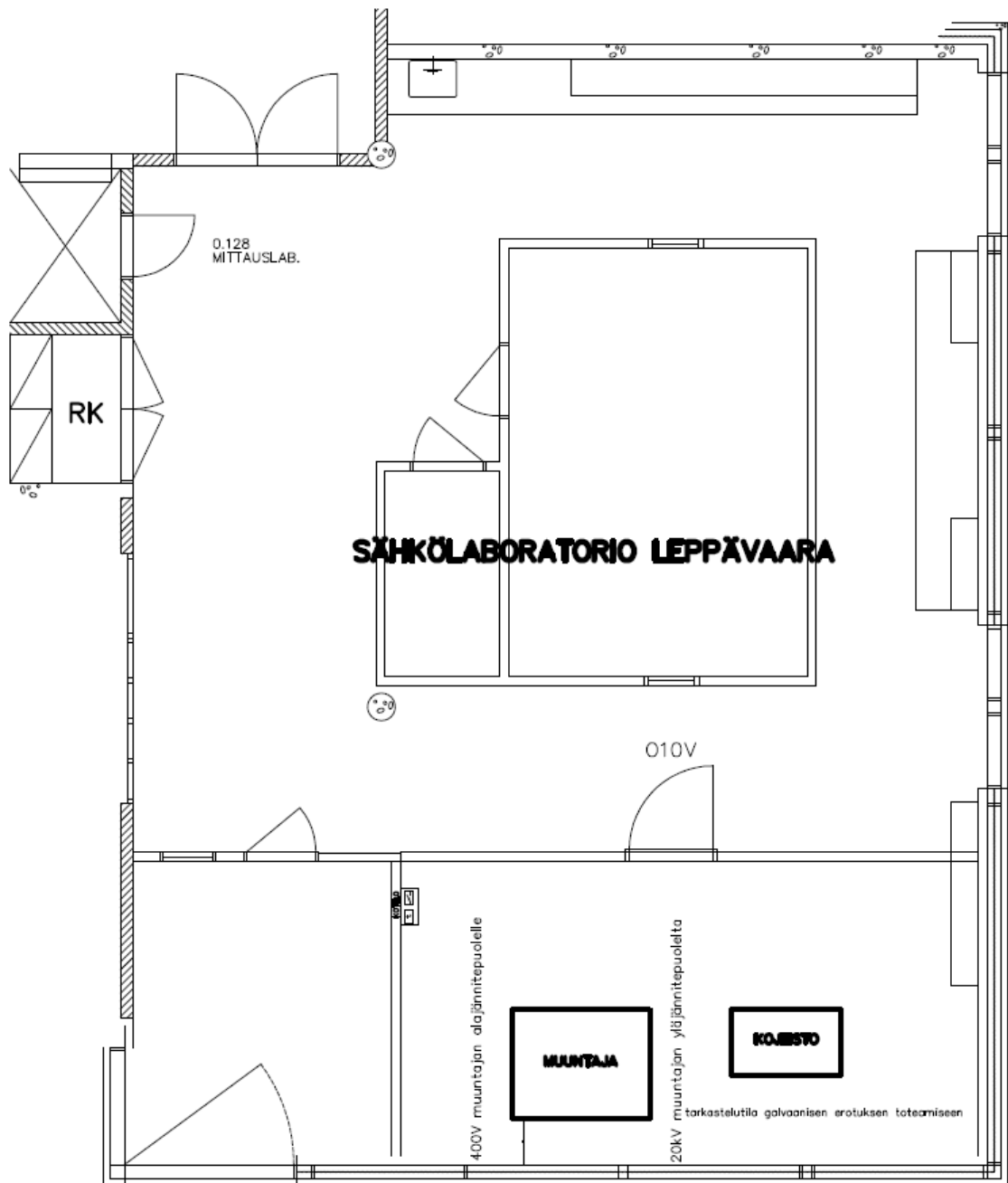
Merlin Gerinin RM6-kojeisto on tehtaalla valmistettu ja kasattu laitteisto. Kojeisto on tuotu koululle valmiina kokonaisena pakettina, johon ei tarvitse tehdä koulun laboratoriossa erillisiä muutoksia. Kojeistolle on annettu kuitenkin vaatimuksia:

Kojeiston on sovittava tarkoitukseensa ja sen on oltava selväpiirteinen ja rakenteeltaan sellainen, että olennaisiin osiin pääsee helposti käsiksi rakentamista, käyttöä ja kunnossapitoa varten. Järjestelyjen ja kulkureittien on oltava sellaisia, että kojeisto voidaan koota

käyttöpaikalla. Mahdolliset tulevaisuudessa tehtävät laajennukset suositellaan otettavaksi huomioon. Ulkoisia kytkentöjä varten on tehtävä asianmukaiset järjestelyt. Johtimet ja kaapelit on valittava ja asennettava siten, että taataan turvallinen eristystaso eri johtimien välillä sekä kunkin johtimen ja ympäröivien metallirakenteiden välillä.

Tämä tullaan huomioimaan laitteiston sijoittamisessa laboratoriotilaan. Tärkeimmät elementit ovat laitteistoon tulevaisuudessa mahdollisesti tehtävät muutokset.

Suurjännitelaitteistoon jätetään optiona mahdollisuus tehdä muutoksia, joista tulevaisuudessa mahdollisesti keskeisimpänä asiana tulevat olemaan jännitteen säädön mahdollisuus väliottokytkimeltä sekä keskijännitteen mittaaminen. Kuvasta 6 nähdään laitteiston sijoittuminen laboratoriotilaan.



Kuva 6. Laitteiston sijoittuminen laboratorioon (mittakaavassa)

7.1 Erikoisvaatimukset

Katkaisevan tai erottavan laitteen (mukaan lukien maadoituserottimet) koskettimien asento on voitava tarkistaa joko suoraan näkyvän erotusvälin tai mekaanisen asennonosoituksen avulla. Asennonosoituksen on näytettävä yksiselitteisesti laitteen

pääkoskettimien todellinen asento. Kiinni- ja auki-asennon osoittava laite on oltava helposti käyttäjän nähtävissä. (1, s. 40.)

Suurjännitetilan kojeistossa (RM6) mekaaninen asennonosoitus etutaulusta on luotettavasti todennettavissa. Kuitenkin, koska kyseessä on opetuskäyttöön tarkoitettu laitteisto, myös tarkastustila galvaanisen erotuksen varmistamiseen ja toteamiseen kojeiston takana on oltava.

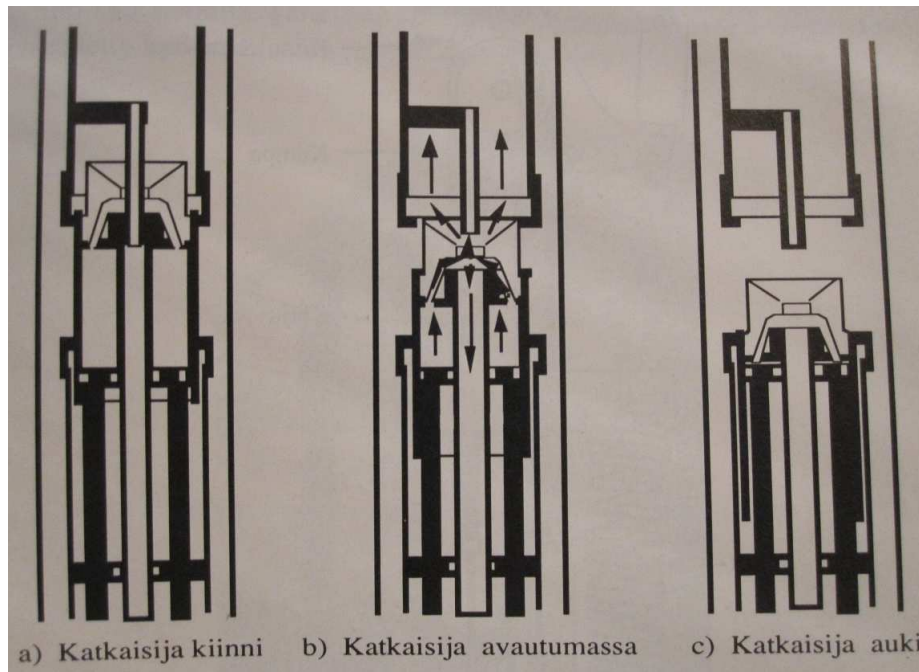
8 Painekaasukatkaisija (SF₆-katkaisija)

8.1 Katkaisija

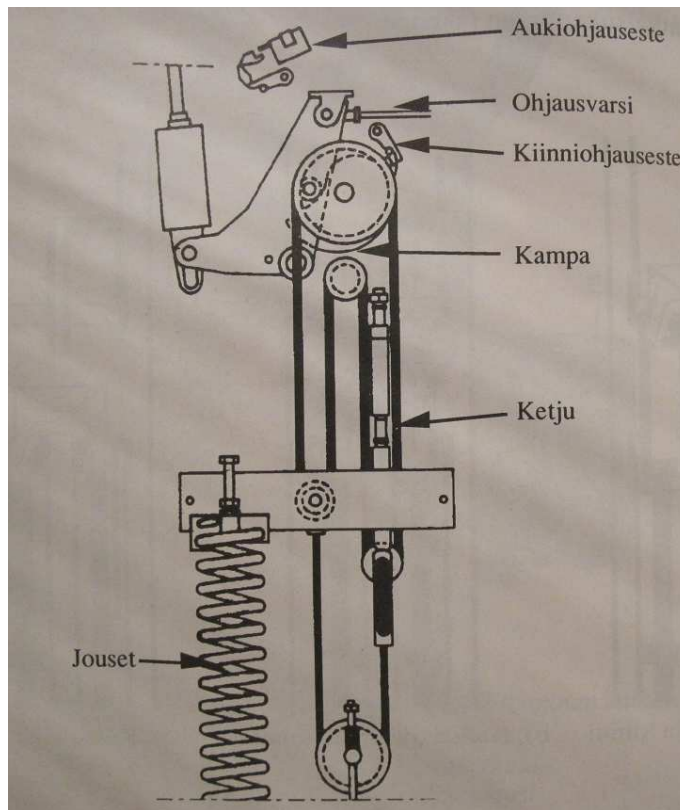
Kojeistossa (RM6 24kV) on SF₆-kaasulla varustettu painekaasukatkaisija. SF₆-kaasukatkaisija on syrjäyttänyt lähes täydellisesti paineilmakatkaisijan ja vähäöljykatkaisijan alle 36 kV:n jännitteillä. Valokaaren katkaisemiseen käytetään SF₆-kaasua, jolla on erinomaiset ominaisuudet tässä suhteessa (katso tuleva kohta ”SF₆-kaasun ominaisuudet”). Kammio on hermeettisesti tiivis ja täytetty SF₆-kaasulla, jonka paine on 0,5 MPa (5 bar) +20 °C:n lämpötilassa. Kammion katkaisukoskettimen liikkeen aiheuttaa moottorijousiohjain.

Katkaisijan laukaisussa vapautuu aukiohjauseste ja laukaisujouseen liitetty vetotanko vetää pufferisylinterin alas. Sylinterin liukuessa alaspäin pääkoskettimet erkanevat ensin ja virta siirtyy valokaarikoskettimille, jotka avautuvat ja valokaari syntyy. Samaan aikaan on SF₆-kaasun paine noussut pufferisylinterissä. Lähtötilanteessa on kaasuvirtaus valokaarikanavaan estetty ylävalokaarikoskettimella, joka toimii suuttimien tulppana. Kun suutin on laskeutunut riittävästi, niin kaasun virtauksen estää itse valokaari, ja kaasusylinterin paine nousee entisestään. Virran lähestyessä nollakohtaa pääsee SF₆-kaasu yhä voimakkaammin virtaamaan valokaareen. Kaasun jäähdytysvaikutuksen optimoimiseksi kaasu virtaa valokaarikanavassa sekä ylös- että alaspäin pitkin valokaarta. Lisäksi pieni osa kaasusta kulkee kiinteässä ylävalokaarikoskettimessa olevasta reiästä. Tehokkaan jäähtymisen ansiosta valokaari muuttuu johteesta eristeeksi, ja virta katkeaa.

Kuvassa 7 on esitetty katkaisukammion rakenne ja kuvassa 8 katkaisijan mekaanisen liikkeen aikaansaava jousiohjain.



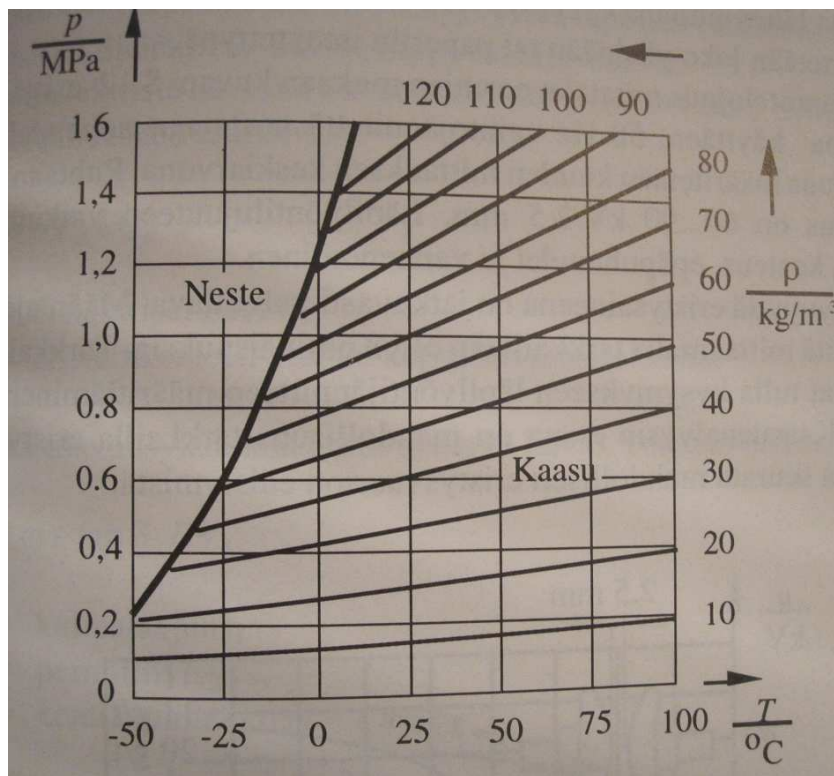
Kuva 7. SF₆-kaasukatkaisijan sammutuskammioiden rakenne ja toimintavaiheet katkaisun aikana.



Kuva 8. SF₆-katkaisijan mekaanisen liikkeen aikaansaava jousiohjain (5, s. 279–280).

8.2 SF₆-kaasun ominaisuudet

Rikkiheksafluoridi eli SF₆-kaasu on yleistynyt suurjännitetekniikan eristysaineena. Sitä käytetään koteloituissa kytkinlaitoksissa (GIS-laitoksissa) erinomaisten eristysominaisuuksiensa vuoksi, jolloin laitokset voidaan rakentaa hyvin pienikokoisiksi. Hyvät sähkölujuusominaisuudet perustuvat siihen, että SF₆-molekyyli on raskas ja sillä on kyky sitoa vapaita elektroneja, jotka ovat läpilyönnin kannalta välttämättömiä. Tätä kykyä sanotaan elektronegatiivisuudeksi. Ilmaan verrattuna kaasun jännitelujuus on noin 2,5-kertainen paineen pysyessä samana. Kuvassa 9 on esitetty ilman ja SF₆-kaasun jännitelujuus homogeenisessä sähkökentässä paineen ja elektronivälin tulon funktiona. Normaalisti paine pidetään normaalipainetta korkeampana, koska tällöin jännitelujuus parantuu. Käytännössä paine vaihtelee rajoissa 0,15...0,6 MPa.



Kuva 9. SF₆-kaasun höyrynpainekäyrä ja kaasun paine lämpötilan funktiona. Parametrina kaasun tiheys (5, s. 208).

8.3 SF₆-kaasun turvaohjeet

Kaasun sisältämät hajoamistuotteet ovat sekä myrkyllisiä että korroosiota aiheuttavia.

Osa näistä myrkyllisistä yhdisteistä on hajuttomia, mutta mukana on myös haiseva

SOF₂. Hajoamistuotteita syntyy

- valokaaren vaikutuksesta
- osittaispurkauksista
- kaasun kuumentuessa.

Haitallisia yhdisteitä synnyttävät

- kaasun kosteus
- epäpuhtaudet (happi, elektronimetallihöyry, eristemateriaaleista peräisin oleva orgaaninen aines).

Jos muuntajatilassa on pistävä rikin haju, voi tilan ilmassa olla myrkkyjä. Oireilu ja toiminta tällöin on seuraavan mukainen:

- Poistu heti tilasta, jos tuntuu pistävää hajua sekä silmien ja limakalvojen ärsytystä.
- Järjestä kunnollinen tuuletus.
- Palaa vikapaikalle vasta perusteellisen tuuletuksen tai kunnollisen hengityssuojaimen / suodattimen kanssa.
- Tarkista, että happipitoisuus on riittävä ennen kuin tulet vikapaikalle.
- Järjestä huolto- ja korjaustöiden ajaksi kunnollinen tuuletus.
- Estä paljaan ihon ja silmien joutuminen kosketuksiin hajoamistuotteena syntyneen pölyn kanssa, kun työskennellään avatun kojeiston kanssa.

9 Tarkastus ja testaus käyttöpaikalla ennen käyttöönottoa

Tarkistuksilla ja testeillä varmistetaan asennuksen ja laitteiden vaatimustenmukaisuudesta verrattuna teknisiin määrittelyihin. Laajuus, sovellettavat määrittelyt ja dokumentointitapa sovitaan toimittajan ja käyttäjän kesken. Tarkistus voidaan tehdä seuraavilla tavoilla:

- silmämääräisillä tarkistuksilla
- toiminnan testauksilla
- mittauksilla.

Tarkistuksen laajuus riippuu laitteiston tyypistä ja laajuudesta. Tavallisesti suoritettavia tyypillisiä menettelyjä ovat esimerkiksi

- a) laitteiden ominaisarvojen (mitoitusarvot mukaan lukien) tarkastus ottaen huomioon vaaditut käyttöolosuhteet
- b) jännitteisten osien sekä jännitteisten osien ja maan välisten vähimmäisetäisyyksien tarkistus
- c) jännitetesti kaapeleille
- d) vähimmäiskorkeuksien ja suojausetäisyyksien tarkistus
- e) sähkölaitteiden ja asennuksen osien silmämääräiset tarkistukset ja/tai toiminnan testaukset

- f) suojaus-, valvonta-, mittaus- ja ohjauslaitteiden asetusarvojen tarkistus suhteessa laitteiden mitoitusarvoihin sekä laitteiden toiminnan testaus ja/tai mittaus
- g) merkintöjen, turvakilpien ja turvalaitteiden tarkistus
- h) dokumentoinnin oikeellisuuden ja tarpeellisten työ-, suoja- ja käyttövälineiden tarkistus
- i) käyttö- ja huolto-ohjeiden tarkistus. (1, s. 87–88.)

10 Tehomuuntajien kytkentävirtasysäys

10.1 Yleinen käytännön normaalitilanne

TTT:n käsikirjan [6] mukaan muuntajan jännitteen ja magneettivuon välinen vaihesiirtokulma on jatkuvuustilassa noin 90° . Kun jännitteetön muuntaja, jonka sydämessä vuo on noin nolla, kytketään verkkoon, tapahtuu siirtyminen tähän jatkuvuustilaan aina (pienemmän tai suuremman) tasoitusilmiön kautta johtuen rautasydämen magneettisesta hitaudesta. Tasoitusilmiö on suurimmillaan, jos jännitteen hetkellisarvo kytkemishetkellä on nolla. Vuo lähtee tällöin nousemaan sinimuotoisena epäsymmetrisesti nolasta ensimmäiseen huippuarvoonsa, joka tällöin tulee olemaan kaksinkertainen jatkuvuustilan vuon huippuarvoon nähden, tai jopa vähän suurempi, jos sydämessä kytkemishetkellä on samansuuntainen remanenssivuo. Tällä vuontiheydellä muuntajan sydän kyllästyy ja magnetoimisvirta nousee voimakkaasti. Tätä ilmiötä kutsutaan kytkentävirtasysäykseksi. Piirissä olevan resistanssin ansiosta virta vaimenee nopeasti ja saavuttaa jatkuvuustilaa vastaavan pienen arvonsa noin sekunnin kuluttua.

Jakelumuntajilla on todettu ensiövirran ensimmäisen huippuarvon olevan pahimmassa tapauksessa noin 8...12 kertaa muuntajan nimellisvirran huippuarvo ja vaimennuksen puoleen arvoonsa tapahtuvan noin 0,30...0,05 sekuntissa. Virta on melkein täysin induktiivinen. (6, s. 322.)

10.2 Sähkötekniikan laboratorion suurjännitetilä

Suurjännitetilän laboratoriossa muuntajaa käytetään käänteisesti. Tavallisesti muuntaja pienentää jännitettä (20 kV / 0,4 kV), kun se tuodaan siirtoverkoilta sähkön kulutuspisteille. Suurjännitetilassa jännite otetaan pienjännitekeskukselta (RK). Jännite tuodaan muuntajalle, joka nostaa sen suurjännitteeksi (0,4 kV / 20 kV).

Muuntajan käytöstä johtuen kytkentävirtasysäyksen aiheuttama virtapiikki on suurempi kuin edellä mainittu 12 kertaa muuntajan nimellisvirran huippuarvo. Tämä johtuu siitä, että muuntajan pylväillä syntyvä hajavuo synnyttää liikkueessaan toiseen suuntaan huomattavasti pienemmän hajainduktanssin, jonka seurauksena kytkentävirtasysäys on noin 25 kertaa suurempi kuin muuntajan nimellisvirran huippuarvo. Tästä johtuen muuntajan eteen sijoitetaan etuvastus, joka ohitetaan aikareleellä.

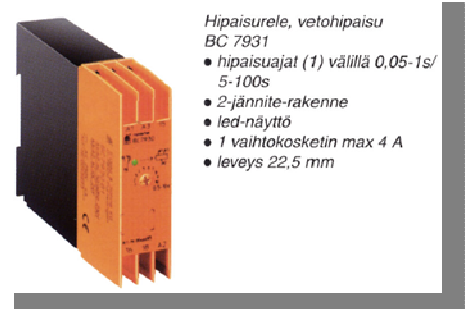
10.3 Aikarele

Aikareleeseen tarkoituksena on ohjata muuntajan käynnistysvaiheessa tapahtuva virran nopea nousu muuntajan edessä olevien vastusten läpi. Tämä estää suuresta virrasta johtuvan suojalaitteiden turhan toimimisen ja suojaa laitteistoa. Aikarele sulkee kontaktorin koskettimet heti kytkentävirtasysäyksen jälkeen, jolloin virta kulkee vapaasti muuntajalle.

Oheisissa kuvissa 10 ja 11 on kaksi erityyppistä aikarelettä.

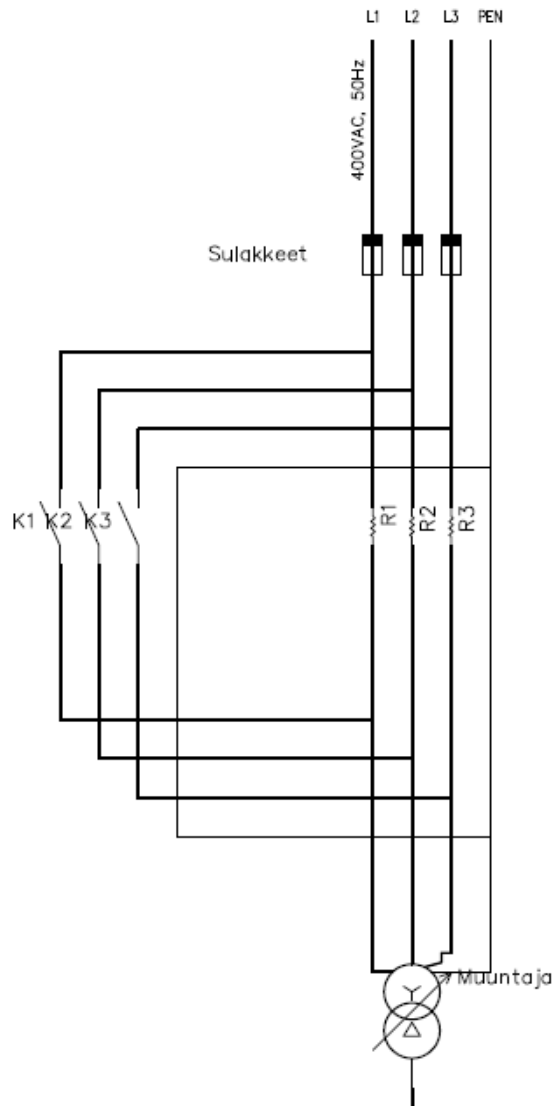


Kuva 10. Aikarele BC7930



Kuva 11. Hipaisurele BC7931

Kuvassa 12 on esitettyä periaatepiirikaaviokuvana releen ohjaus ja sen toteutus kohteessa.



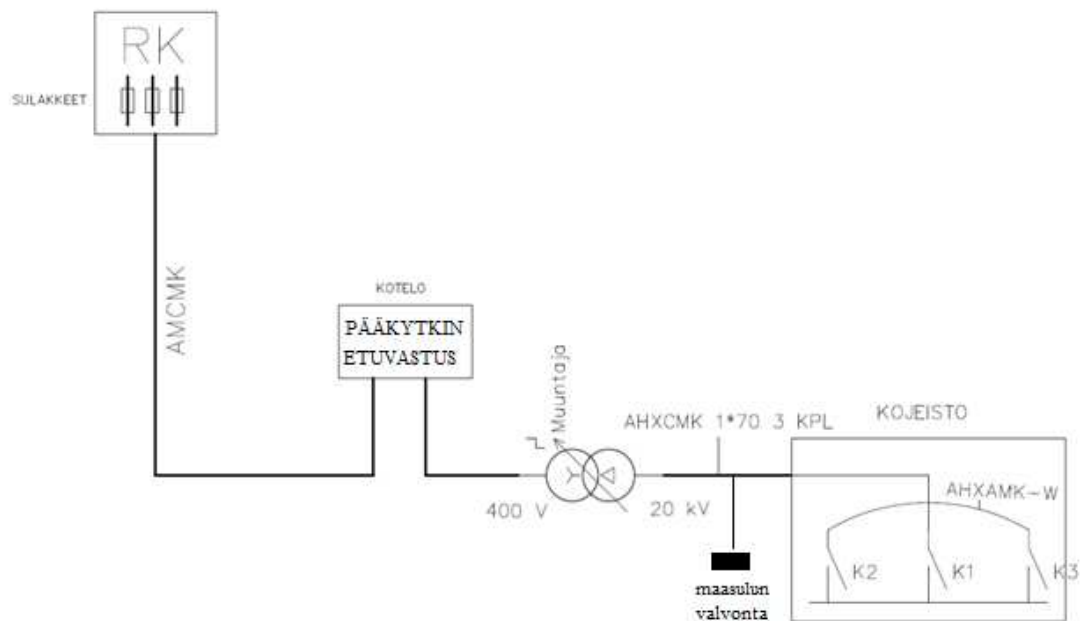
Kuva 12. Releen ohjauksen periaatepiirros

11 Laitteiston kokoonpano

Laitteistolle tuodaan syöttöjännite sähkölaboratorion yhteydessä olevalta ryhmäkeskukselta. Ryhmäkeskus on pienjännitekeskus, josta saadaan 400 V:n jännite. Jännite tuodaan syöttökaapelina käytettävää MCMK 4x6 -kaapelia pitkin ohjauskeskuksena toimivan kotelon läpi muuntajalle. Välillä olevassa kotelossa on

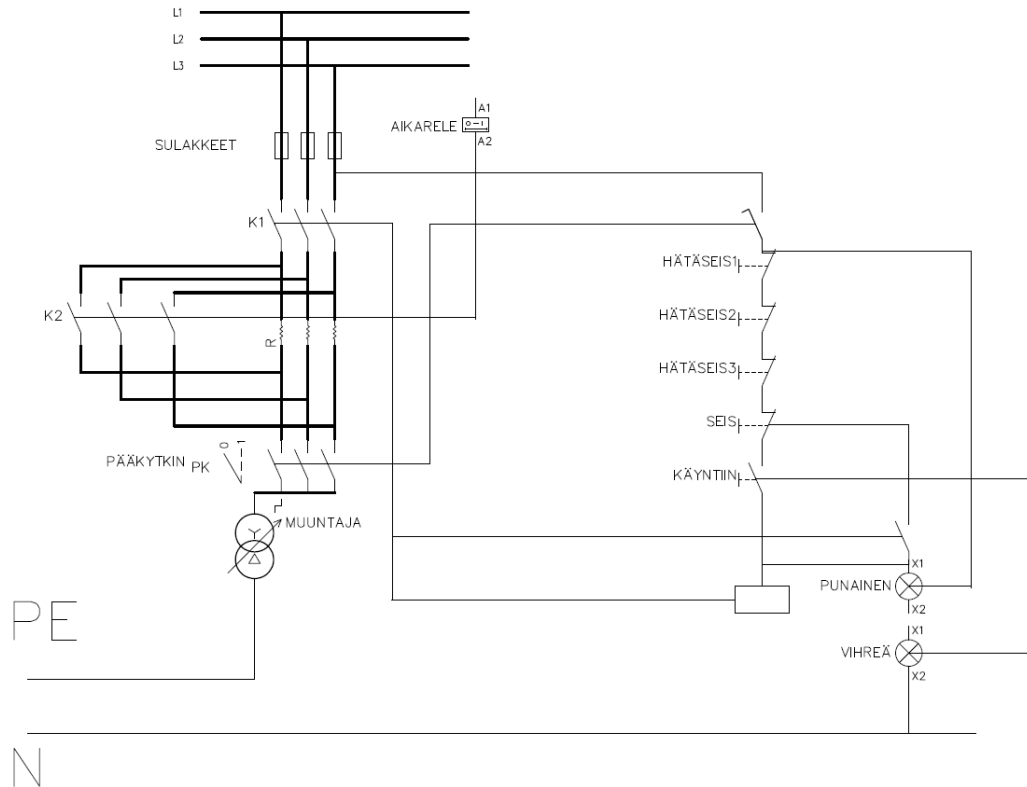
lukittavan läpinäkyvän oven takana (kotelon sisällä) pääkytkin, joka toimii myös turvakytkimenä kohteessa. Kotelossa on myös sijoitettuina etuvastus ja releistys, jotka toimivat käynnistystilanteessa suojaavina elementteinä muuntajalle kytkevävirtasysäyksen aiheuttamaa virtapiikkiä vastaan. Kotelolta jatketaan samaisella kaapelilla muuntajan alajännitepuolelle (muuntajan pienjänniteliitännöille), jonne tehdään kaapelipäätteet.

Muuntajassa jännite nostetaan vastaamaan keskijänniteverkossa käytettävää suurjännitettä, joka on 20 kV. Muuntajan yläjännitepuolelta jatketaan kojeistolle kolmella AHXCMK 1*70 -kuparikaapelilla, jotka päätetään kojeiston keskellä olevaan tilaan kaapelipäätteillä. Kojelistossa lenkitetään kuormaton verkko kennojen 2 ja 3 välille (ks. kohta laitteistoon tehtävät muutokset) AHXAMK-W-kaapelilla. Kuvassa 13 on esitetty periaatekaaviona laitteiston kokoonpano.



Kuva 13. Kokoonpanosuunnitelma järjestelynä laboratorioon

Laitteiston kytkentäkaavio on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Laitteiston kytkentäkaavio

12 Maadoitukset

12.1 Yleistä

Maadoitusjärjestelmän on täytettävä viisi vaatimusta:

1. Riittävä mekaaninen lujuus ja korroosion kestävyys.
2. Suurimman vikavirran kestävyys termisesti.
3. Omaisuuden ja laitteiden vaurioitumisen estäminen.
4. Henkilöiden turvallisuuden varmistaminen suurimman maasulkuvirran aikana maadoitusjärjestelmissä esiintyvien jännitteiden suhteen.
5. Tietyn luotettavuuden varmistaminen johdolle.

Maadoitusten rakenteeseen liittyvät parametrit ovat täten

- vikavirran suuruus
- vian kesto aika.

Nämä parametrit ovat pääasissa riippuvaisia tähtipisteen maadoitusmenetelmästä.
(1, s. 211.)

12.2 Yleistä määräyksistä

Sähköturvallisuuden toteuttamiseksi tarvitaan muuntamalla käyttö- ja suojamaadoituksia. Maadoituksen perustana on maadoituselektrodi. Yleensä on pyrittävä niin hyvään maadoituselektrodiin, että eri maadoitusjärjestelmät voidaan yhdistää. Elektrodina tulee yleensä kyseeseen

- kaapeliverkon mukana asennettu eristämätön kuparijohdin tai
- erillinen maadoituselektrodi (7, s. 75).

Maadoituskiskon ja -elektrodin välillä riittää yleensä yksi vähintään 50 mm²:n Cu-johdin.

12.3 Pienjännitepuolen käyttömaadoitukset

Pienjännitepuolen käyttömaadoitus on kytkettävä joko muuntajan tähtipisteestä tai muuntajan syöttämän pienjännitekeskuksen PE-kiskosta maadoituskiskoon omalla maadoitusjohtimellaan, jonka johtokyvyn on oltava vähintään 50 % suurimman johtolähdön äärijohtimen johtokyvystä, kuitenkin vähintään 16 mm² Cu:ta vastaava. Eristetyn johtimen on oltava väriltään keltavihreä. (7, s. 76.)

Suurjännitetilän pienjännitepuolen käyttömaadoitus

Suurjännitetilän laitteistoa syötetään käyttömaadoitetusta järjestelmästä, jolloin alajännitepuolella ei tarvita erillistä käyttömaadoitusta.

12.4 Suurjännitepuolen suojamaadoitus

Suojamaadoitettavat osat on kytkettävä maadoituskiskoon omalla maadoitusjohtimellaan, jonka on oltava vähintään 16 mm^2 Cu:ta vastaava, eristettynä väriltään keltavihreä. Mikäli suojamaadoitettavia osia on useita on ne liitettävä maadoitukseen niin, että yhden laitteen poistaminen tai suojajohtimen poistaminen ei katkaise muiden laitteiden maadoitusyhteyttä. Laaja laitteisto tai moniosaisen rakennelman suojamaadoittaminen on suositeltavaa tehdä usealla erillisellä maadoitusjohtimella eri kohdista.

Kun suojamaadoitetaan useita osia yhdellä johtimella maadoituskiskoon, on johdin vietävä eri maadoituspisteiden kautta katkeamattomana. Jos suurjännitekennosto on liitetty luotettavasti yhteen hitsaus- tai ruuviliitoksella, sen suojamaadoittaminen voidaan tehdä yhdestä kohdasta. (2, s. 18.)

12.5 Yhdistetyt maadoitukset

Mikäli maadoituselektrodi on riittävän hyvä, voidaan suoja- ja käyttömaadoitus yhdistää. Yhdistäminen tehdään muuntamon maadoituskiskossa. Maadoituskiskon kohdalla maadoitusjohtimiin on merkittävä osoitteet pysyvällä merkintätavalla tai maadoituksista on laadittava erillinen maadoitusaavio. (7, s. 76.)

12.6 Maadoitusmääräykset kojeistossa

GIS-kojeiston kotelo on liitettävä maadoitusjärjestelmään ainakin seuraavissa kohdissa:

- a) Kenttien sisäpuolella

- katkaisijan lähellä
- kaapelipäätteen lähellä
- SF₆-kaasun ja ilman välisen läpiviennin lähellä
- mittamuuntajan lähellä

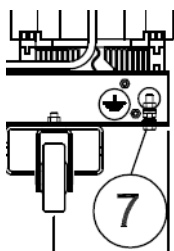
b) Kiskoissa

- molemmissa päissä ja välillä olevissa kohdissa, riippuen kiskojen pituudesta.

Kaasueristeisiä asennuksia suojaavien yläjännitesuojien maadoitusjohtimet on liitettävä asennusten koteloon mahdollisimman lyhyellä johtimella. Koteloitujen tehdasvalmisteisten jakelumuuntamokojeistojen maadoitus tehdään kojeistovalmistajan ohjeiden mukaan. Nimellisjännitteeltään yli 1 kV:n kaapeleiden metallivaipat suositellaan kytkettäväksi suoraan GIS-kojeiston koteloon. (1, s. 51–52.)

12.7 Maadoituksen toteuttaminen sähkötekniikan laboratoriossa rakennuksen päämaadoituskiskoon

Pienjännitekeskuksen ja muuntajan välinen johdin (MCMK) on viisijohtiminen, jolloin siinä on erillinen PE-johdin. Lenkitetyn johtimen (AHXAMK) maadoitusköysi on yhdistetty muuntamon maadoituskiskoon maadoitusjohtimella. Maadoitusjohdin asennetaan joko muuntajan n-napaan tai vaihtoehtoisesti pj-pääkeskuksen PE-kiskoon, jolloin suojamaadoitusjohdin asennetaan myös muuntajan vaippaan (kuva 15). Kun muuntajan n-napa yhdistetään muuntajan vaippaan, pitää N- ja PE-johtimet asentaa erillisinä tästä pisteestä alkaen. (11, s. 55.)



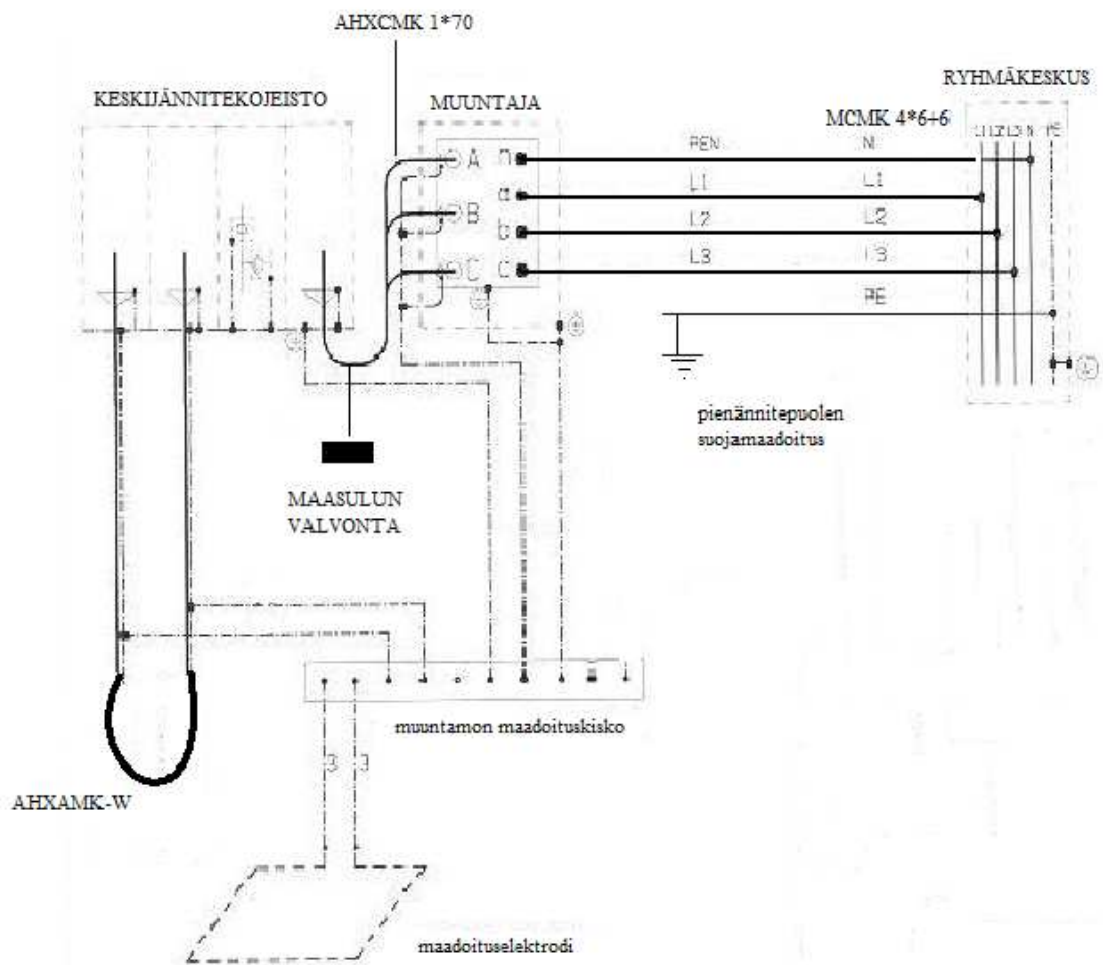
Kuva 15. Muuntajan maadoituspiste

Kuvassa 16 on esitetty esimerkki muuntamotilan päämaadoituskiskosta.



Kuva 16. Esimerkki muuntamon päämaadoituskiskosta

Kuvassa 17 on esitetty sähkötekniikan laboratorion suurjännitetilän maadoituskaavio.



Kuva 17. Suurjännitetilän laitteiston maadoituskaavio

12.8 Maadoitusresistanssin toteutus maahan kaivettavalla maadoituselektrodilla

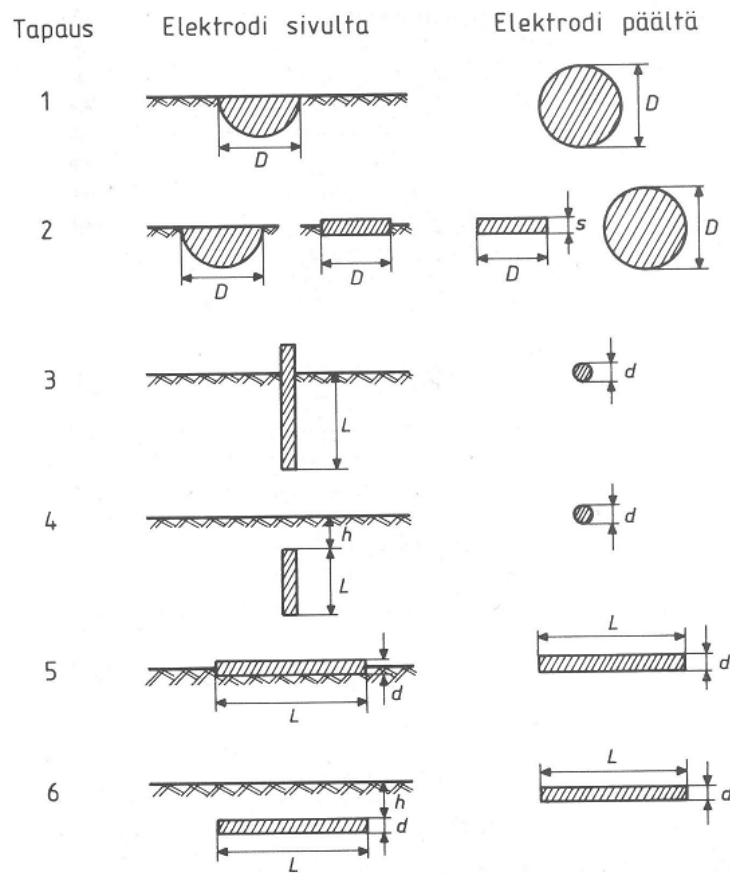
Ensisijaisesti pyritään käyttämään rakennuksen päämaadoitusta hyödyksi. Tällä varmistetaan laitteistolle mahdollisimman luotettava ja toimiva maadoitusresistanssi. Sähkötekniikan laboratorion maadoitukset voidaan toteuttaa myös omalla maahan kaivettavalla maadoituselektrodilla. Tällöin sähkötekniikan laboratorion pihan puolelle kaivetaan erillinen kuoppa laitteiston maadoituksia varten.

Suomessa kallio ulottuu lähelle maan pintaa, joka omaa suuren ominaisresistanssin arvon. Tämä vaikeuttaa maadoituksen suunnittelua, sillä maadoitusresistanssi on suoraan verrannollinen maan ominaisresistanssiin. Taulukossa 1 on arvoja maan ominaisresistansseista.

Taulukko 1. Maan, betonin ja veden ominaisresistanssit sulana (10, s. 416.)

Aine	Keskimäärin Ωm	Tavallisimmat vaihtelurajat Ωm
Savi	40	25 ... 70
Saven sekainen hiekka	100	40 ... 300
Lieju, turve, multa	150	50 ... 250
Hiekka, hieta	2000	1000 ... 3000
Moreenisora	3000	1000 ... 10000
Harjusora	15000	3000 ... 30000
Graniittikallio	20000	10000 ... 50000
Betoni tuoreena tai maassa	100	50 ... 500
Betoni kuivana	10000	2000 ... 100000
Järvi- ja jokivesi	250	100 ... 400
Pohja-, kaivo- ja lähdevesi	50	10 ... 150
Merivesi (Suomenlahti)	2,5	1 ... 5

Maadoituselektrodin asentaminen maahan esitetään kuvassa 18.



Kuva 18. Eräitä maadoituselektrodirakenteita (10, s. 417.)

Taulukosta 2 nähdään maadoitusresistanssin laskemiseen käytettäviä kaavoja.

Taulukko 2. Maadoitusresistanssien kaavoja (10, s. 418.)

N:o	Tapaus	Kaava	Huom.
1	Pallo pinnassa	$R = \rho / \pi D$	
2	Levy pinnassa	$R = \rho / 2 D$	$s \ll D$
3	Pystysuora tanko tai putki pinnassa	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36d}$	$d \ll L$
4	Pystysuora tanko tai putki upotettuna	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36d} \cdot \frac{2h+L}{4h+L}$	$d \ll L$
5	Suora johdin pinnassa	$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{1,36d}$	$d \ll L$
6	Suora johdin upotettuna	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1,85hd}$	$d \ll 4h$

Ominaisresistanssin ohella maadoitusresistanssin määräävät lähinnä mitat L ja D. Elektroodin upottaminen syvälle maahan pienentää maadoitusresistanssia. Hyvin syvällä olevan elektroodin maadoitusresistanssi on n. 50 % pinnalla olevan arvosta. (10, s. 416-418.)

13 Kaapeloinnin asentaminen suurjännitetilassa

13.1 20 kV:n kaapelit

Muuntajan käänteisestä käytöstä johtuen ovat 20 kV:n kaapelit muuntajan ns. lähtevällä puolella. Kaapelit tuodaan alakautta kojeiston kennoon. Kaapeleihin tehdään tarvittavat päätteet ja ne liitetään kuormanerottimein. Kaapelipäätteet tehdään asennusohjeen mukaisesti. Kytkennässä on säilytettävä oikea vaihejärjestys ja käytettävä oikeaa liitostekniikkaa.

Suurjännitekaapelit tuodaan varokekuormaerottimelta muuntajan yläjännitepuolelle. Kaapeleina voidaan käyttää esim. AHXCMK 1x70 -kaapeleita (3 kpl) tai AXCMK- tai AXMK-monijohdinkaapeleita. Kaapelien päät varustetaan sisäpäätteillä (kuva 19).



Kuva 19. Enston 20 kV:n sisäpäätteet

13.2 0,4 kV:n kaapelit

Pienjännitekeskukselta lähtevä kaapeli asennetaan tavanomaiseen tapaan. Kaapelina käytetään MCMK 4*6+6, jossa konsentrinen johdin on PE-johdin. Kaapeli tuodaan muuntajalle alhaalta ja kytketään muuntajan pienjänniteliittimiin. Kaapelit merkitään keskuksella.

14 Pääkytkin ja katkaisimet

14.1 Sähkötekniikan suurjännitetila

Suurjännitetilassa pitää olla pääkytkin. Pääkytkin toimii laitteiston päävirtapiirin katkaisijana ja samalla voidaan käsittää pääkytkin turvakytkimeksi.

14.2 Merkinnät sähkötekniikan laboratoriossa

Pääkytkimessä on oltava standardin SFS-EN 60 947-3 edellyttämät seuraavat merkinnät:

- a) auki- ja kiinni-asentojen osoitus tunnuksilla 0 ja I
- b) erottamiseen soveltuvuuden kuvatunnus
- c) valmistajan nimi tai tavaramerkki
- d) tyyppitunnus tai sarjanumero
- e) nimelliskäyttövirrat (tai nimellistehot) käyttöjännitteellä ja käyttöluokka
- f) nimellistaajuus tai tasasähkön tunnus
- g) kotelointiluokka: IP-tunnus standardin SFS-EN 60529 mukaan.

Lisäksi pääkytkin on varustettava pysyvällä merkinnällä ”PÄÄKYTKIN”. Merkinnän on oltava kiinnitetty luotettavasti ja sijoitettuna näkyvälle paikalle pääkytkimeen. Tarvittaessa merkintä voidaan kiinnittää myös kytkimen välittömään läheisyyteen. Käyttöpaikalleen asennettuun pääkytkimeen tai sen läheisyyteen on lisäksi syytä merkitä, minkä koneen, laitteen tai laiteryhmän turvakytkin erottaa, ellei pääkytkimen sijainti tms. ole sellainen, että erehtymisen mahdollisuutta ei ole.

14.3 Pääkytkimen asennus

Pääkytkin asennetaan laitteen välittömään läheisyyteen. Pääkytkin on asennettava niin, ettei ole epäselvyyttä siitä, mihin laitteeseen se liittyy. Pääkytkin on asennettava siten, että sen luokse on helppo päästä. Pääkytkimen eteen on jätettävä riittävästi tilaa. Asennuksessa on käytettävä mahdollisuuksien mukaan hyväksi kiinteitä rakenteita. Erillisen asennustelineen on oltava sijoitukseltaan ja tuennaltaan tarkoituksenmukainen. (3, s. 121–123.)

14.4 Erikoistapaukset

14.4.1 Oppilaitokset

Oppilaitosten laboratorioissa pääkytkin on voitava lukita auki-asentoon tai sen sijoituspaikan on oltava lukitussa sähkötilassa (kuva 20). Vaaratilanteessa on voitava nopeasti katkaista jännitteet työskentelyalueelta. Tätä nimitetään hätäkytkennäksi. Hätäkytkentä toteutetaan esimerkiksi hätä-seis-painikkeilla (kuva 21), jotka ohjaavat kontaktoria tai katkaisijaa. Järjestelmä on rakennettava sellaiseksi, että syöttö katkeaa yhdellä ainoalla toimenpiteellä. Laukaisun kuittaukselle tulee olla erillinen kytkin tai painike. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää painettaessa lukkiutuvaa hätä-seis-painiketta, joka voidaan vapauttaa vain avaimella. (4, s. 226.)



Kuva 20. Pääkytkin, jossa on lukitusmahdollisuus.



Kuva 21. Häätä-seis-kytkin

14.4.2 Pää- ja hätäkytkimet suurjännitetilassa

Pääkytkimen sijoittaminen määräysten mukaan toteutetaan siten, että muuntaja ja kojeisto eristetään seinällä sekä lukittavalla ovella omaan tilaansa sähkölaboratorion peräseinälle. Tässä tilassa pääkytkin sijaitsee erillisessä kotelossa, joka lukitaan riippulukolla. Häätä-seis-painikkeita tilaan tulee kaksi. Toinen sijaitsee seinällä kotelon vieressä ja toinen muuntajan etuseinämässä, työskentelytilan välittömässä läheisyydessä. Määräysten mukaisesti myös tilan ulkopuolella tulee olla hätäkytkin sisäänkäynnin välittömässä läheisyydessä. Kolmas häätä-seis-kytkin sijaitsee oven vieressä oikealla puolella. Kaikki kytkimet on avattava laukaisun jälkeen avaimella. Kuvassa 22 nähdään kytkimien sijoittuminen tilaan.



Kuva 22. Pääkytkimen ja kolmen hätä-seis-painikkeen sijoittuminen tilaan

15 Merkkivalot ja kilvet

15.1 Määräys

Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö -standardin [12] mukaan

- Testauslaitteistossa on oltava laitteet, jotka ilmoittavat toimintatilanteen, esim. merkkivalot.
- Testauslaitteiston ja testausalueen on oltava selvästi ja pysyvästi merkitty varoituskilvillä.

Punaisen varoitusvalon on ilmaistava vaara koko testauslaboratoriossa silloin, kun toimintatilanne *valmis käyttöön tai käytössä* on voimassa yhdelläkin testausalueella.

Tässä tapauksessa on oltava varovaisia, jos on tarvetta päästä muille testausalueille. Vihreät merkkivalot täytyvät olla osoittamassa turvallista käyntiä testausalueella. Punaisia ja vihreitä merkkivaloja tulee olla asennettava riittävä määrä. (12, s. 9, 12.)

15.2 Merkkivalojen asennukset suurjännitetilassa

Suurjännitetilän pienestä koosta johtuen tilaan asennetaan merkkivalojärjestelmä, johon sisältyy yksi punainen valo, yksi vihreä valo ja valotaulu, jossa on teksti *laitteisto jännitteinen*. Valot sijoitetaan muuntajan päälle omille jalustoilleen siten, että punainen valo on vasemmalla ja vihreä valo oikealla keskelle sijoitetun valotaulun molemmin puolin. Vihreä valo palaa aina kun laitteisto on jännitteetön ja pääkytkin on *auki*-asennossa. Punainen valo syttyy kun pääkytkin käännetään *kiinni*-asentoon. Valotaulun tekstivalo syttyy, kun käynnistyskytkintä painetaan ja laitteisto tulee jännitteiseksi.

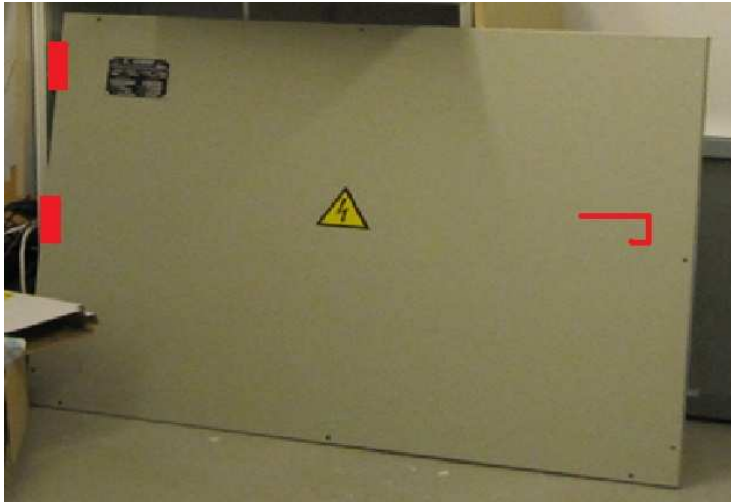
16 Laitteistoon tehtävät muutokset opetuskäyttöä varten

Alkuperäiseen käyttöön suunniteltua laitetta täytyy muuntaa opetuskäyttöön soveltuvaksi. Tämä tehdään työtoimenpiteiden ja työturvallisuuden edellyttämässä rajoissa.

16.1 Muuntajan muutokset

Muuntajan osalta muutostyöt aloitetaan etuseinämästä. Kiinteän metallisen etuseinämän ruuvikiinnitykset korvataan saranoilla. Toiselle pystysivulle asennetaan saranat ja toiseen päähän etulevyä lukittava kahva. (Kuva 23.) Metallilevyn taakse asennetaan muovipleksi. Muovipleksiin tehdään muuntajan jokaisen pylvään kohdalle kaksiosaiset reiät, jossa pienempi reikä on jännitteen koestusta varten jännitteenkoettimella ja suurempi työmaadoittamista varten (kuva 24). Kaksiosaiset luukut toteutetaan myös saranoilla ja maadoitusluukut toteutetaan erillisellä lukituksella. Suuremmat luukut työmaadoittamista varten varustetaan vielä rajakytkimin. Rajakytkin katkaisee

laitteistolta jännitteen luokkaa avattaessa jännitteisenä. Näillä varotoimilla estetään laitteiston virheellinen käyttö.



Kuva 23. Muuntajan etulevy jossa saranoiden paikat ja lukittava kahva

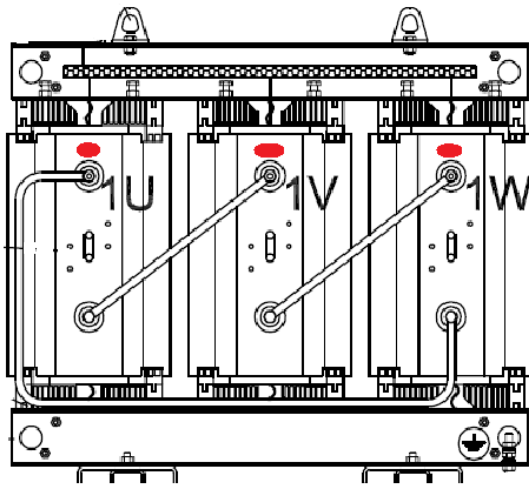


Kuva 24. Pleksin aukot jännitteen koettamista ja työmaadoitusta varten

16.2 Maadoituspallo

Työmaadoittamisen helpottamiseksi muuntajan pylväisiin (kuva 25) asennetaan maadoituspallo (kuva 26), joihin työmaadoittimet voidaan helposti asentaa.

Maadoituspallot mahdollistavat opetuskäytössä tapahtuvan työmaadoittamisen käytännöllisen suorituksen ja varmistavat osaltaan työmaadoittimien kiinnipysymisen koko työsuorituksen ajan. Maadoituspallo mahdollistaa myös asennetun liitännän työmaadoittamisen tarvitsematta kytkeä sitä irti kojeiston läpiviennistä.

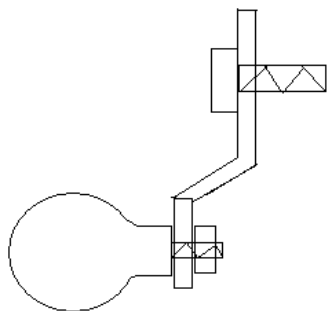


Kuva 25. Maadoituspallot muuntajassa (punaiset merkit)



Kuva 26. Maadoituspallo

Maadoituspallojen fyysinen asentaminen muuntajaan voidaan toteuttaa siten, että pokataan kuparilatasta kuvan 27 mukainen kiinnityslevy. Kuparilatta kiinnitetään pultilla ja mutterilla muuntajan pylväiden yläjännitepuolen kiinnityskohtaan. Vastaava toimenpide tehdään maadoituspallon kiinnityksessä kuparilattaan.



Kuva 27. Detaljikuva kuparilatasta

16.3 Kojeiston muutokset

Kojeisto on tehdsvalmisteinen valmis paketti, johon ei itsessään tarvitse tehdä muutoksia. Kuitenkin kojeistolle täytyy hankkia sopivat kaapelit ja kaapelipäätteet, joiden avulla kojeisto saadaan kytkettyä toimintakuntoon. Kaapeleina kojeiston tulopuolella on kolme AHXCMK 1*70 Cu -kaapelia, jotka liitetään kennoon 1 (kuva 28). Kennon kaksi ja kolme väliin lenkitetään ns. syöttöverkko AHXAMK-W -kaapelilla. Kojeisto asennetaan sen mukana tulleiden tukijalkojen päälle. Kojeisto nousee jalkojen varassa 52 cm:n korkeudelle lattianpinnasta, jolloin kaapeleiden taivutussäteiden kanssa ei tule ongelmia. AHXAMK-W-kaapelin pienin taivutussäde lopullisessa asennuksessa on 43 cm, ja AHXCMK-kaapelin pienin taivutussäde lopullisessa asennuksessa on 41 cm.



Kuva 28. Kennojen kaapelipaikat ja numerointi

16.4 Sähkölaboratoriotilaan tehtävät muutokset

Muuntaja ja kojeisto sijoitetaan suurjännitelaboratoriotilassa peräseinälle. Rakenteellisia muutoksia tilaan ei tehdä, mutta peräseinällä olevat hyllyt puretaan ja niiden paikalle sijoitetaan laitteisto. Kaapelihyllyjä joudutaan jatkamaan sivuseinältä päätyseinää pitkin muuntajalle asti. Määräyksien mukaan muuntajan täytyy olla lukitussa tilassa. Muuntaja ja kojetyla (suurjännitepuoli) erotetaan väliseinällä muusta sähkölaboratoriotilasta.

Seinää jatketaan jo rakennetun työhuoneen seinän kulmasta aina laboratorion ulkoseinään saakka.

17 Opetustekniset työt

Opetuskäyttöön tehtävässä laitteessa harjoitellaan suurjännitetekniikkaan keskeisesti liittyviä asioita. Turvallinen toiminta suurjännitteiden läheisyydessä on harjoittelun lähtökohta. Muita harjotteita ovat keskijänniteverkossa tapahtuvat käyttötoimenpiteet, toiminnan tarkastukset, laitteistojen testaukset sekä laitteistojen korjaus- ja asennustapatarkastukset.

17.1 Turvallisuus suurjännitteiden läheisyydessä

Työturvallisuus

Ennen töiden aloittamista tutustutaan laitteistoihin ja selvitetään niiden rakenne sekä käyttötilanne. Arvioidaan sekä mietitään, mitä vaaratekijöitä työhön ja työmenetelmiin liittyy. Varmistutaan siitä, että työryhmä on riittävän osaava ja opastettu kyseisiin työtehtäviin. Sähkölaitteiston käyttötilanne suunnitellaan jo ennakkoon sellaiseksi, että työ, jota ollaan tekemässä, voidaan turvallisesti toteuttaa sekä valita siihen turvalliset työmenetelmät ja -välineet. Varmistutaan vielä, että työkohteen valitut työmenetelmät soveltuvat turvalliseen työskentelyyn.

Suurjännitteen olemus

Suurjännitetekniikalla tarkoitetaan niiden kysymysten käsittelyä, jotka liittyvät johdinta ympäröivän eristysrakenteen jännitekestoisuuteen. Eristysrakenteiden jännitekestoisuuden hallitseminen on sähkövoimajärjestelmien käytön ja kehittämisen keskeinen kysymys. Se on siis keskeinen eristeaineiden ja rakenteiden sähköiseen lujuuteen liittyvistä kysymyksistä. (5, s. 195.)

17.2 Kuivaharjoittelu, työskentely jännitteettömänä

Toimenpiteet suurjännitetilassa

Tärkenä toimenpiteenä jännitteettömässä laitteistossa työskennellessä on **erottaa työkohde** täydellisesti syöttävästä verkosta. Erotus käyttöjännitteestä voidaan luotettavasti toteuttaa erotuslaitteella, jossa on näkyvä avausväli, erotuskytkimellä, jossa on luotettava mekaaninen asennon osoitus tai poistamalla sulakkeet. Erotustyötä tehtäessä on tärkeä varmistua takajännitteen mahdollisuudesta. Suurjännitetilassa ei ole vaarana takajännite, koska takana ei ole syöttöjä, mutta todellisuudessa vaara on olemassa ja tämä täytyy harjoituksissa huomioida.

Jännitteen kytkeminen työkohteeseen on myös tärkeä toimenpide. Tämä estetään joko lukitsemalla erotuslaite tai sen sijaintitila. Erotuskohta tai ohjauselin täytyy olla varustettuna tarkoituksenmukaisella ja selkeällä kieltokilvellä, jossa kielletään kytkemästä jännitettä työskentelyn aikana. Kilpi on kiinnitettävä myös niin, että se pysyy paikallaan, ja siinä täytyy olla kilven asentajan nimi, asentamispäivämäärä sekä tarvittaessa puhelinnumero. Suurjännitetilassa jännitteen kytkeminen ei onnistu ennen kuin maadoitusluukut ovat kiinni suljettuina.

Jännitteettömyyden toteaminen kuuluu myös kuivaharjoitteluun. Jännitteettömyys on todettava aina, kun ollaan aloittamassa työskentelyä jännitteettömäksi saatetussa laitteistossa ja myös silloin, kun ollaan jatkamassa työskentelyä jännitteettömäksi saatetussa laitteistossa. Jännitteettömyys pitää todeta laitteiston kaikista navoista työalueella tai niin lähellä työaluetta kuin se on käytännössä mahdollista. Jännitteettömyys on todettava luotettavalla tavalla muun muassa jännitteenkoettimella.

17.3 Työskentely laite jännitteisenä

Ovet kiinni

Laitteen ollessa jännitteinen harjoitteluun kuuluu työskentelyä jännitteisten osien läheisyydessä. Työskenneltäessä vaihtosähköllä yli 50 V:n jännitteellä tulee varmistua siitä, että turvallisuustoimenpitein on estetty koskettaminen jännitteisiin osiin sekä mahdollisuus joutua jännitetyöalueelle. Laitteistossa muuntajan ovet ovat kiinni, jolloin ei ole mahdollisuutta päästä koskettamaan jännitteisiä osia. Tällöin harjoitellaan muuntajatilassa tehtävää suunnittelua ja mietitään työjärjestystä laitteiston jännitteettömäksi tekemiseen.

17.4 Laitteen testaaminen jännitteisenä

Jännite 20 kV

Laitteistossa harjoitellaan tarkistusta jännitteenkoettimella laite jännitteisenä. Muuntajan etuseinämässä olevan metallioven takana on pleksilasi, jossa on aukot jännitteen koettamista varten. Näistä aukoista jännitteenkoettimella koetetaan muuntajan napoja, joista suurjännite kyetään toteamaan.

17.5 Työmaadoittaminen

Jännite 0 V

Työmaadoittaminen on tehtävä suurjännitetyössä aina. Jännitteettömyys on varmistettava aina ennen työmaadoittamista. Työmaadoituksen kytkijän on aina itse varmistettava maadoitettavan laitoksen jännitteettömyys kaikista vaiheista ennen työmaadoittamista. Kaikkiin johtoihin ja sähkölaitteisiin jotka eivät ole työmaadoitettuja tulee suhtautua niin kuin ne olisivat jännitteisiä.

Työmaadoitusohje

Työmaadoituksen toteuttaminen voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin (2, s. 92–93):

1. Työmaadoittaminen aloitetaan kiinnittämällä työmaadoitusvälineen maaliitin luotettavasti suurjännitepuolen suojamaadoitukseen.
2. Työmaadoitettavan kokoojakiskon jännitteettömyys pitää todeta luotettavasti ennen työmaadoittamista. Ennen jännitteen koettimen käyttöä on tarkistettava sen kunto valmistajan ohjeiden mukaisesti.
3. Jännitteettömyys pitää todeta jokaisesta vaiheesta koskettamalla kiskoa jännitteenkoettimen metallisella kosketuselektrodilla. Suositeltavaa on todeta jännitteenkoettimen kunto myös käytön jälkeen.
4. Työmaadoittaminen aloitetaan lähimmästä vaiheesta. Ellei työmaadoitusvälineen vaiheliittimiä varten ole kiskostoon kiinnitetty erityisiä maadoituskiinnikkeitä (koukkuja, pallotappeja tai vastaavia), pitää vaiheliittimet kiinnittää luotettavasti suoraan kiskoon.
5. Kokoojakiskojen työmaadoittamisen lisäksi pitää myös muuntajan ja suurjännitesulakkeiden välinen kisko työmaadoittaa. Ennen tätä tarkistetaan kiskon jännitteettömyys koestetulla jännitteenkoettimella.
6. Jännitteettömyyden toteamisen jälkeen työmaadoitetaan kisko.

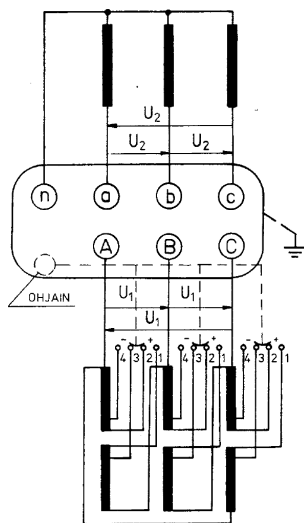
18 Laitteiston kehittäminen jatkossa

Laitteistoon on jätetty optioina kehitysmahdollisuuksia. Tulevaisuudessa muuntajassa voitaisiin tehdä myös keskijännitteen mittausta sekä muuntajan jännitteen säätöä välioton avulla.

18.1 Väliottokytkimen käyttö ja tarkoitus

Väliottokytkimellä voidaan säätää muuntajan muuntosuhdetta vain muuntajan ollessa jännitteetön. Muuntaja on varmasti jännitteetön vain silloin, kun se on sekä ylä- että alajännitepuolelta irti sähköverkosta.

Kuva 29 esittää muuntajan väliottokytkinkaavion. Väliottokytkintä ohjataan muuntajan kannelta. Väliottokytkimen avulla voidaan sovittaa muuntaja sopivaksi verkkoon. Suurjännitepuolella jännitteen ollessa korkea pienjännitepuolen jännitettä lasketaan, jolloin sovitetaan muuntajaa sopivaksi jännitteiden väliin. Toimenpide voidaan vastaavasti toteuttaa tilanteessa, jossa pienjännitettä nostetaan vastaavasti ylemmäksi. Säätöalue on tavallisesti $\pm 5\%$ tai $2 \times 2,5\%$.



Kuva 29. Muuntajan väliottokytkinkaavio (8, s. 54)

Taulukko 3 esittää muuntajan jännitetasojen säädön, kun yljännite pysyy vakiona ja päinvastoin, kun alajännite on vakio.

Taulukko 3. Esimerkkejä jännitteen säädöstä väliottokytkimellä (8, s. 56).

Muuntaja	Kytentä- kaavio	Väliotto- kytkimen asento	Yläjän- nite $\frac{U_1}{V}$	Ala- jännite $\frac{U_2}{V}$	Huomautuksia
Jakelumuuntaja 20000±5%/400 V	Kuva 1.44	1(1-2) (+)	20000	380	Yläjännite on va- kio ja alajännite muuttuu.
		2(2-3) (±)	20000	400	
		3(3-4) (-)	20000	420	
		1(1-2) (+)	21000	400	Yläjännite muut- tuu ja alajännite on vakio.
		2(2-3) (±)	20000	400	
		3(3-4) (-)	19000	400	

Kuvasta 30 nähdään väliottokytkimen paikka muuntajassa.



Kuva 30. Jännitteen säädön väliottokytkin

18.2 Keskijännitteen mittaaminen

18.2.1 Jännitemuuntajan tehtävät

Jännitemuuntajan tehtävänä on muuntaa ensiön jännite mittalaitteelle tai releelle sopivaan arvoon eli laajentaa mitta- tai suojalaitteen mitta-alaa. Tehtävänä on eristää toisiopiiri ja samalla mittaava henkilö ensiöpiirin jännitteestä, joka saattaa olla suurjännite. Jännitemuuntaja mahdollistaa mittareiden ja releiden sijoituksen kauaksi jännitemuuntajasta ja ensiöpiiristä, kun toisiojohto mitoitetetaan sopivan pituiseksi.

18.2.2 Jännitemuuntajan toiminta ja liitännät

Yksivaiheisen jännitemuuntajan ensiökäämin liitännät merkitään kirjaimilla A ja B sekä toisiokäämin liitännät kirjaimilla a ja b, jos molemmat ensiöliittimet on eristetty täyttä jännitettä vastaavasti. Mikäli jännitemuuntajan toinen ensiöliitin on maadoitettava, ovat ensiöliittimet A ja N sekä toisioliittimet a ja n, jolloin N ja n ovat maadoitettavia liittimiä. Mittareiden ja releiden jännitekäämit kytketään toisioliittimien välille rinnakkain. Jännitemuuntajien toisiopiirin toinen liitin on maadoitettava.

Maadoittaminen tehdään siksi, etteivät toisiopiirin kojeet ja mittaaajat joudu ensiöpiirin jännitteelle alttiiksi eristeen pettäessä ensiö- ja toisiokäämin väliltä. Toisiopiiriin on asennettava sulake maasta eristetyn liittimen puolelle. Jännitemuuntaja on erittäin pienitehoinen. (8, s. 118)

19 Ohje käytönjohtajalle

Tee ennen harjoitusten ja töiden aloittamista vaarojen arviointi ja oheista työt. Varmista että vaaratekijät on poistettu ennen töiden aloittamista, ja tee selväksi, että työt saa aloittaa vasta, kun sinä annat siihen luvan.

Huolehdi työn aikana siitä, että

- kaikki työryhmän jäsenet ovat tietoisia siitä, missä on turvallista työskennellä
- työskentely tapahtuu sallituilla alueilla
- työalueen merkinnät pysyvät työn aikana siten asennettuina, että aina on selvää, mikä on turvallinen työskentelyalue
- tauon jälkeen ennen työn aloittamista työkohteen jännitteettömyys varmistetaan ensimmäisenä
- ulkopuolisten pääsy laitteistoon on estetty
- toinen henkilö nimetään tehtävään, jos joudut poistumaan paikalta.

20 Yhteenveto

Insinööriyön keskeinen tavoite oli tehdä keskijännitelaitteiston työ- ja kokoonpanosuunnitelmat koulun sähkötekniikan laboratorioon hankitulle muuntajalle ja kojeistolle. Laitteisto sijoitetaan erikseen rakennettavaan suurjännitetilaan. Lähtökohtana suunnittelulle oli laitteiston turvallinen käytettävyys ja selkeä käyttö opetustarkoitukseen.

Laitteistoa syötetään sähkötekniikan laboratorion pienjännitekeskukselta. Keskukselta saatava pienjännite nostetaan muuntajalla vastaamaan keskijänniteverkossa käytettävää jännitettä. Laitteiston käynnistyksessä tapahtuvaa virran nousua rajoitetaan etuvastuksella, joka pudotetaan pois aikareleellä. Muuntajalla opiskelijat voivat muun muassa harjoitella jännitteen koettamista jännitteisenä sekä työmaadoittamista siirrettävällä työmaadoittimella. Kojelistossa voidaan harjoitella esimerkiksi kohteen erottamista verkosta ja tämän varmistamista nähtävissä olevista erottimista.

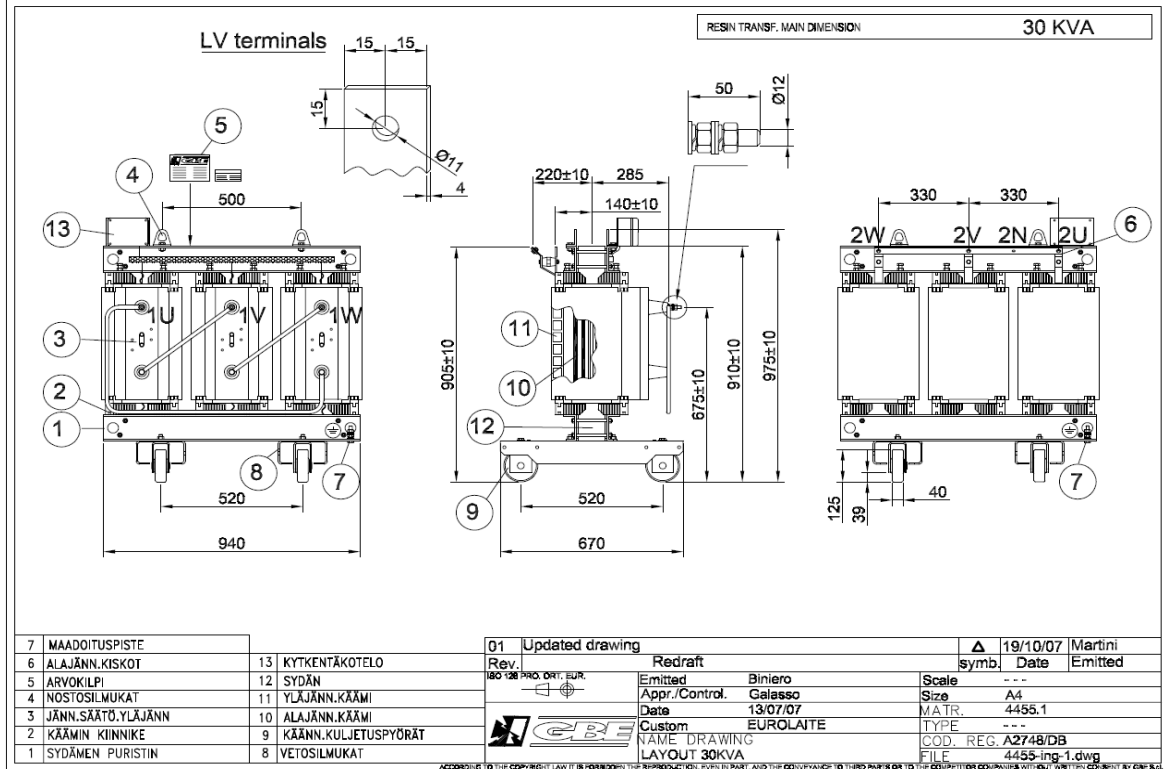
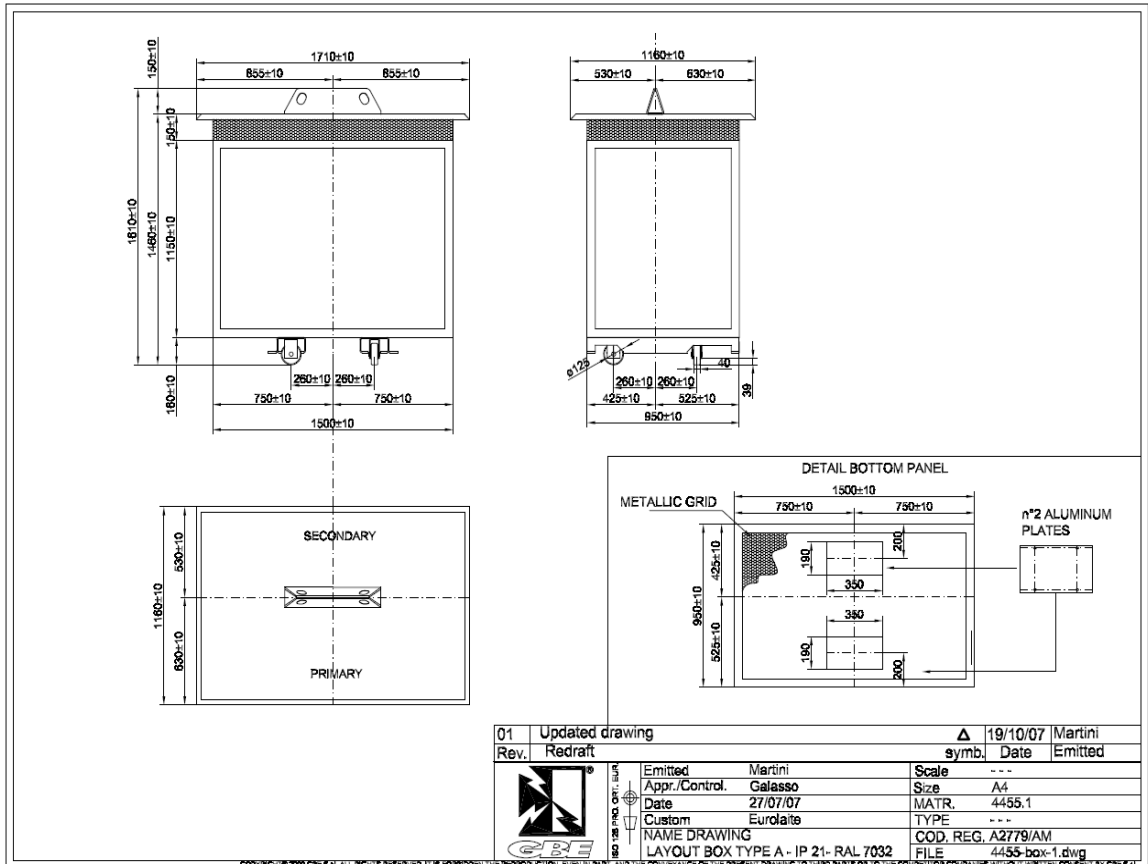
Tämän insinööriyön pohjalta voidaan toteuttaa laitteisto koulun suurjännitetilaan. Keskijännitelaitteiston on tarkoitus toimia käytännönläheisenä opetuslaitteena ja tarjota hyvä perusta suurjänniteopinnoille jatkossa.

Lähteet

- 1 SFS-käsikirja 601, Suurjänniteasennukset ja ilmajohdot 2009. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1. painos. Joulukuu 2009.
- 2 Monni Markku: Jakelumuuntamotyöt, Sähköasematyöt, 3. uudistettu painos, Painorauma Oy, 1993.
- 3 Tiainen Esa & Vitikka Veli-Pekka: Sähköasennustekniikka 3, 2. uudistettu painos, Kirjapaino, Tammer-Paino Oy, 2004.
- 4 Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry:n julkaisu: Sähkötyöturvallisuusopas, Painokurki Oy, 1998.
- 5 Aura Lauri & Tonteri Antti J.: Sähkölaitostekniikka, ensimmäinen painos, WSOY:n graafiset laitokset Porvoo 1993.
- 6 ABB, Teknisiä Tietoja ja Taulukoita, ABB Oy, Kymmenes painos, Ykkös-Offset Oy, Vaasa 2000.
- 7 Monni Markku: Sähkölaitosasennukset, 4. Painos, Painatuskeskus Oy, 1994.
- 8 Aura Lauri & Tonteri Antti J.: Sähkömiehen käsikirja 2, WSOY 1986.
- 9 Partanen Jarmo & Lohjala Juha & Kaipia Tero & Rissanen Aki & Lassila Jukka: 20/1/0,4 kV sähkönjakelujärjestelmä, [WWW-dokumentti], Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/research/electricity_markets/research/networkbusiness/Documents/20_1_04raportti_fin.pdf> Luettu 29.10.2010.

- 10 Elovaara Jarmo & Laiho Yrjö: Sähkölaitostekniikan perusteet, Kolmas painos, Tekijät ja Otatieto Oy, 1988.
- 11 Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry: Sähköasennukset 3, Painokurki, Helsinki, 2009.
- 12 SFS-EN 50191, Sähköisten testauslaitteistojen asennus ja käyttö: Suomen standardisoimisliitto, 27.11.2000.
- 13 SFS-Käsikirja 600, Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus 2007. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1. painos. Lokakuu 2007.
- 14 SFS-6002, Sähkötyöturvallisuus 2005. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 2. painos.

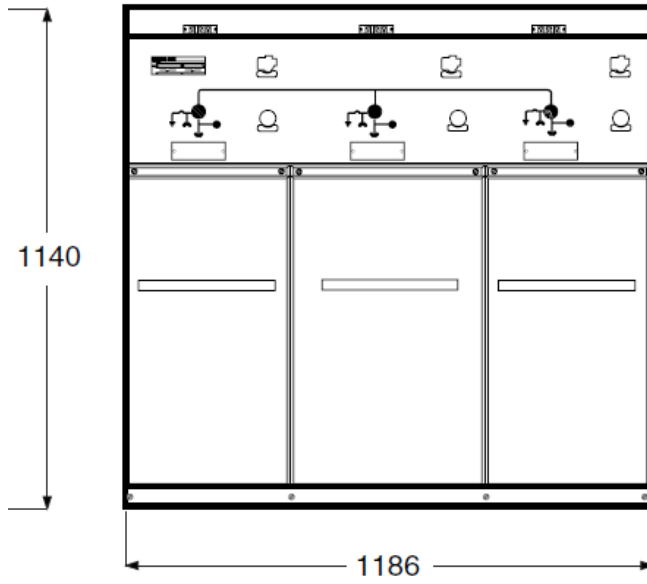
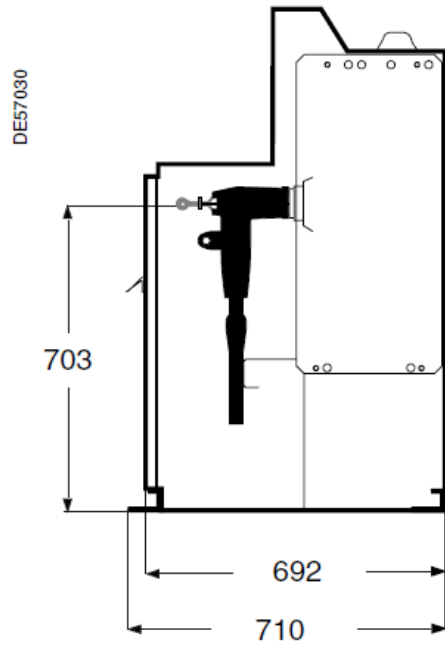
Liite 1: Muuntajan dimensiot



Liite 2: Muuntajan testauspöytäkirja

GBE s.r.l. TEST REPORT											
Order					Customer EUROLAITE OY						
Type TS3R24.0050		Serial Number 4455.1			Phase 3		KVA 30				
Voltage ratio (V) 20.000-		± 2 X 2,50 % /			400-		50 Hz				
Connection Dyn11											
Currents 0,87		/ 43,30									
Insulation Class F / F					Temperature Class 100 °C / 100 °C						
Voltage ratio					Insulation test						
Pos.	Theoretical	U Measured	V Measured	W Measured	Voltage test applied to the primary against secondary and ground:						
1-2	82,27	82,42	82,39	82,43	Test voltage 50000 V t= 60 Sec Result: POSITIVE						
2-3	84,44	84,58	84,55	84,60	Voltage test applied to the secondary against primary and ground:						
3-4	86,80	86,76	86,72	86,77	Test voltage 3000 V t= 60 Sec Result: POSITIVE						
4-5	88,77	88,93	88,90	88,94	Induced voltage test						
5-6	90,93	91,10	91,06	91,12	Supplied voltage 800 V f= 200 Hz t= 30 Sec Result: POSITIVE						
Note											
Measurement of no-load loss and current											
Winding supply :			Secondary		Measured at 400,0 V			Frequency 50 Hz			
Voltage K = 1			Current K 1			KW = 1		Note			
VMuv	VMuw	VMvw	VMm	Iu	Iv	Iw	Averag	W tot			
400,11	400,97	400,53	400,54	1,21	1,07	1,28	1,18	307,34			
I0 = 2,73 %				P0 = 307,34 W				Note			
Measurement of short circuit impedance and load loss											
Winding supply :			Primary		A Current 0,87 A			Frequency 50 Hz			
Voltage K = 1			Current K 1			KW = 1		Note			
Vuv	Vuw	Vvw	Vm	Iu	Iv	Iw	Averag	W tot			
788,67	788,19	789,67	788,84	0,66	0,66	0,66	0,66	446,41			
Determination of short circuit impedance and load loss											
Ratio 20.000 / 400 V		Primary winding			Aluminium		Secondary winding		Aluminium		
Ambient temperature 21,5 °C		Reference temperature 75 °C			K Temp 1,22 / 1,22						
Voc at rated current 1.036,59 V		Rln % = Rlp % * KTemp 3,13 %									
Zlp% = (VCC/VNcc)*100 = 5,18 %		Xln% = Xlp% 4,50 %									
Rlp % (WCup/PN)*100 2,57 %		Zln % = ((Xln%)² + (Rln%)²) = 5,48 %									
Xlp % = ((Zlp%)² - (Rlp%)²) % 4,50 %		Load losses 938,1 W									
Pcc at rated current 770,8 W											
Efficiency			Voltage drop (%)				Partial discharge				
load	Cos Φ =0,8	Cos Φ =1	Cos Φ =0,8	Cos Φ =1	Phase						
100 %	95,067 %	96,014 %	5,217 %	3,225 %	Pre-stressing voltage V						
75 %	95,567 %	96,421 %	3,910 %	2,401 %	Test voltage V						
50 %	95,679 %	96,513 %	2,605 %	1,589 %	Partial discharge pC						
					U	V	W				
					720,0	720,0	720,0				
					528,0	528,0	528,0				
					< 10	< 10	< 10				
Tests carried out according to IEC 60726 and IEC 60076 Standards											
Instrument used Norma D5255 and Norma 4000											
The transformer is delivered with the following ratio							20.000 / 400 V				
Customer					Manufacturer						
Date 19/10/2007											

Liite 3: Kojeiston dimensiot**RM6 24 kV**



Liite 4: Työturvallisuusohje

1. Sähkötyöturvallisuus

1.1 Sähkötapaturmien ensiapu

1.1.1 Ensiapukoulutus

Sähkötyöturvallisuusstandardi SFS 6002 edellyttää, että töissä, jotka suoritetaan sähkölaitteistoissa tai niiden läheisyydessä, tulee olla riittävä määrä ensiapukoulutettuja henkilöitä, jotka osaavat antaa ensiapua sähköiskuja ja palovammoja saaneille. Suositellaan, että työpaikoilla on erilaisia ensiapuohjeita ja –tauluja sekä työntekijöille annettavia opasvihkoja.

Standardin kansallisissa lisäohjeissa on suositeltu, että kaikille sähkötöihin osallistuville sähköalan ammattihenkilöille työnjohdon ja käytönjohdon henkilöt mukaan luettuina sekä näissä töissä avustamaan opastetuille henkilöille annetaan sellainen ensiapukoulutus, johon sisältyy vähintään palovammoihin annettavan ensiavun sekä puhallus- ja paineluelvytyksen opettaminen mm. käytännön harjoitusten avulla.

1.1.2 Ensiapuohjeiden sijoittaminen

Ensiapuohjeita antavia tauluja on sijoitettava sähkölaboratorioihin ja sähkölaittekorjaamoihin. Näistä ohjeista täytyy käydä ilmi myös hätäpuhelinnumero. Näitä tauluja suositellaan lisäksi sijoitettavaksi kytkinlaitoshuoneisiin ja sähköalan henkilökunnan oleskelutiloihin.

1.1.3 Toiminta onnettomuustilanteessa

1. Tee nopea tilannearvio
2. Katkaise virta ja irrota loukkaantunut vaarantamatta itseäsi:
 - katkaise virta kytkimellä tai vastaavalla tavalla.
 - ellei virtaa saada nopeasti katkaistua, irrota loukkaantunut eristävällä välineellä, esim. kuivalla laudanpätkällä, narulla tai vaatteella.
 - älä koskaan käytä irrottamiseen kosteaa tai metallista esinettä.
 - suurännitetapaturmissa et voi aloittaa varsinaisia pelastustoimia, ennen kuin sähköalan ammattihenkilö on katkaissut virran.
3. Tarkista autettavan tila
 - puhuttele häntä ja ravistele olkapäistä. Jos hän ei vastaa eikä liiku, on hän todennäköisesti menettänyt tajuntansa.
 - tarkista hengitys asentamalla kädenselkäsi tajuttoman nenän ja suun eteen. Jos tunnet ilman virtauksen kädelläsi ja näet rintakehän liikkuvan, uhri hengittää.
 - nyt voit asettaa uhrin kylkiasentoon hengityksen turvaamiseksi ja tehdä hätäilmoituksen.
4. Hälytä apua numerosta 112:
 - jos et havaitse elintoimintoja, soita silloin ensin hätänumeroon 112.

Säilytä malttisi ja puhu selvästi:

- kerro sähkötapaturmasta
- kerro, jos ihmisiä vaarassa
- anna tarkka osoite ja tarvittaessa ajo-ohjeita

- kerro uhrin tilasta: onko hän herätettävissä ja hengittääkö hän normaalisti.
Jos uhri on eloton, kerro että aloitat elvytyksen
- vastaa kysymyksiin
- lopeta puhelu vasta, kun saat siihen luvan
- palaa välittömästi jatkamaan ensiapua

5. Anna ensiapua:

- jos et havaitse elintoimintoja avun hälyttämisen jälkeen, aloita elvytys.
- käännä uhrin pää taaksepäin ja puhalla suusta suuhun –menetelmällä kaksi tavallista puhallusta hänen keuhkoihinsa.
- jos et tunne sykettä etkä näe muita verenkierron merkkejä, aloita myös paineluelvytys.
- paina rintalastan alaosaa suurin käsivarsin 15 kertaa.
- jatka elvytystä 2 puhalluksen ja 15 painelun rytmillä. Painelunopeus on 100 kertaa minuutissa.
- jatka elvytystä, kunnes saat ammattiapua tai et enää jaksa.

1.2 Sokin ensiapu

Sokkivaikutus ilmenee sähkötapaturmissa, jossa virran voimakkuus ylittää 50mA, mutta kestoaika on lyhyempi kuin sydänjakso. Sokin oireet kehittyvät nopeasti:

- huimaus
- jano
- nopea ja pieneä tuntuva syke
- kalpea ja kylmänhikinen iho

Ilman ensiapua sokki kehittyy vaikeammaksi ja saattaa johtaa jopa tajuttomuuteen. Sokin elimistölle tuomat haitalliset vaikutukset estetään oikealla ensiavulla:

- aseta autettava makuulle

- nosta jalat koholle
- huolehdi avun hälyttämisestä
- sokkipotilas palelee – pidä hänet lämpimänä huovalla, takilla tai lämpöpeitteellä
- esiinny rauhallisesti
- älä jätä sokissa olevaa yksin, ellei se ole välttämätöntä avun hakemiseen

1.3 Sähkötapaturmien palovammat

Sähkötapaturmissa onnettomuuden uhri saa usein myös palovammoja. Iholla näkyvän, pinnallisen palovamman lisäksi sähkö aiheuttaa elimistöön myös sisäisiä palovammoja, jotka voivat olla vaikeita, eivätkä ne ole silmin havaittavissa.

Tavallisen, pinnallisen palovamman ensiapuna on viilennys, mutta sähkötapaturmassa palovamma jää toiselle sijalle uhrin elintoimintojen turvaamisen jälkeen. Jos kyseessä on elvytys, palovammalle ei ensiavussa tehdä mitään.

Silmien joutuessa alttiiksi voimakkaalle valokaarelle voi seurauksena olla äkillinen häikäisy. Kosteaa kylmää kääre lievittää kipua. Tarvittaessa on hakeuduttava jatkohoitoon. (3, s.195.)