

SÄHKÖASEMAN PÄÄMUUNTAJIEN SUOJAUKSEN NY- KYTILAN KARTOITUS

Kormano Tuomas

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Tuomas Kormano	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Ins. (YAMK) Aila Petäjäjärvi		
Toimeksiantaja	Neve Oy Ins. (YAMK) Sami Kinnunen		
Työn nimi	Sähköaseman päämuuntajien suojauksen nykytilan kartoitus		
Sivumäärä	42		

Opinnäytetyössä kartoitettiin Rovaniemen Verkon vastuulla olevan jakeluverkon sähköaseman päämuuntajien suojausta. Työn tavoitteeksi asetettiin 110/10 kV päämuuntajien suojauksen nykytilan kartoitus ja dokumentaation päivitys. Työn laajuuden ja toimeksiantajan tarpeen vuoksi se rajattiin 110 kV ohjauskeskuksen päämuuntajien suojareleiden ja hälytysjärjestelmän sisältäviin keskuskaappeihin. Aiheen valintaa puoltavana perusteena pidettiin toimeksiantajan tarvetta kehittää hallinnoitavan sähkölaitteiston dokumentaatiota sen käytön ja kunnossapidon toimenpiteiden edistämiseksi.

Tutkimuksessa selvitettiin keskuskaappien kytkentöjen nykytila, perehdyttiin aseman laitteiston dokumentaatioon ja laitevalmistajien laiteohjeisiin, vertailtiin työalueen viimeisimpien dokumenttien sisältöä selvitystyön tuloksiin sekä päivitettiin dokumentit vastaamaan keskuskaappien läpikäynnissä tehtyjä johdotustaulukoita. Työn taustateorian ymmärtämiseksi perehdyttiin sähköaseman rakentamiseen, käytettäviin laitteisiin, relesuojaukseen sekä suojausjärjestelmän komponentteihin.

Työn tuloksena saatiin rajauksen mukainen ajantasaistettu dokumentaatio toimeksiantajan käyttöön sekä tietoa laitteiston ja siten suojauksen toiminnasta fyysisten kytkentöjen osalta. Tuloksia tullaan hyödyntämään myös tulevaisuudessa tehtävän laitteiden vaihtotyön suunnittelussa.

Degree programme Electrical and
Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Tuomas Kormano	Year	2023
Supervisor(s)	Aila Petäjäjärvi, M.Eng.		
Commissioned by	Neve Oy		
Title	Sami Kinnunen, M.Eng. Mapping of the current status of the protection of main transformers of the substation		
Number of pages	42		

In the thesis, the protection of the main transformers of the substation of the distribution network, which is the responsibility of the client, was surveyed. The goal of the work was to map the current status of the protection of 110/10 kV main transformers and update the documentation. Due to the scope of the work and the needs of the client, it was limited to the central cabinets containing the protection relays of the main transformers of the 110 kV control center and the alarm system. The reason for choosing the topic was considered to be the client's need to develop the documentation of the electrical equipment to be managed in order to promote its use and maintenance measures.

In the study, the current state of the connections of the central cabinets was investigated, the documentation of the station's equipment and device manufacturers' instructions were familiarized with, the contents of the latest documents of the work area were compared with the results of the survey work, and the documents were updated to correspond to the wiring tables made during the inspection of the central cabinets. In order to understand the background theory of the work, I familiarized myself with the structure of the substation, the equipment used, relay protection and the components of the protection system.

As a result of the work, updated documentation according to the scope was obtained for the client's use, as well as information about the operation of the equipment and thus the protection in terms of physical connections. The results will also be used in the planning of future equipment replacement work.

Keywords electric substations, switch plants, transforming stations, distribution of electricity

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
1.1 Toimeksiantajan esittely.....	6
2 LAIT, ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET	7
3 VERKON RAKENNE	9
3.1 Suomen sähköjärjestelmä.....	9
3.2 Sähköasema.....	13
3.2.1 Päämuuntaja	17
3.2.2 Kojeiston keskeiset laitteet.....	22
4 SUOJAUSJÄRJESTELMÄ	30
4.1 Relesuojaus	30
4.2 Vikatyypit ja niiltä suojautuminen	31
4.2.1 Ylivirta	31
4.2.2 Oikosulku	32
4.2.3 Maasulku.....	32
4.2.4 Ylijännite.....	34
5 SÄHKÖASEMAN NYKYTILANTEEN KARTOITUS	35
5.1 Työn suoritus	35
5.2 Tulokset	38
6 POHDINTA	40
LÄHTEET.....	41

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään toimeksiantona Neve Oy:lle, entiseltä nimeltään Napapiirin Energia ja Vesi Oy. Työn tavoitteena on kartoittaa Rovaniemen Verkon vastuulla olevan 110/10 kV sähköaseman päämuuntajien suojauksen nykytila sekä päivittää dokumentaatio. Työ rajataan 110 kV ohjauskeskuksen päämuuntajien suojaruleiden sekä hälytysjärjestelmän sisältäviin keskuskaappeihin. Aiheen valinnan perusteena pidetään toimeksiantajan tarvetta kehittää hallinnoitavan järjestelmän dokumentaatiota sähköjakeluverkon käyttö- ja kunnossapitotöiden edistämiseksi. Työssä syntyvät sähköjärjestelmän dokumentit rajataan työn julkisen osuuden ulkopuolelle.

Tutkimuksessa selvitetään keskuskaappien kytkentöjen nykytila, perehdytään sähköaseman laitteiston rakenteeseen sekä relesuojauksen toteutukseen. Tutkimusaineiston keräämisen jälkeen siirrytään tietojen käsittelyyn, joka aloitetaan kartoittamalla päivitettävän dokumentaation lähtötaso. Dokumenttien sisällöt tarkistetaan ja muokataan vastaamaan kerätyn tutkimusaineiston tietoja. Tutkimuksen edetessä määritetään ja tuotetaan täydentävät dokumentit työkohteesta. Työn tavoitteen kannalta pidetään olennaisena, että tutkimuksen aikana tehdyt havainnot mahdollisista poikkeamista varmistetaan työkohteessa.

1.1 Toimeksiantajan esittely

Työ tehdään Neve Oy:lle, jolla tarkoitetaan Lapissa toimivaa, Rovaniemen kaupungin omistamaa, konsernimuotoista energia-alan yhtiötä. Neven tytäryhtiöiden Napapiirin Vesi Oy:n, Rovaniemen Verkko Oy:n, Napapiirin Infra Oy:n, Napapiirin Kuituverkot Oy:n sekä Ranuan Bioenergia Oy:n kautta tuotetaan palveluja vesi-, kaukolämpö-, sähkö- ja tietoliikenneverkkojen rakennuttamiseen, käyttöön sekä kunnossapitoon. Yhtiöllä on myös osakkuuksia Lapissa toimiviin energia-alan yhtiöihin. Esimerkkeinä mainitaan Enontekiön Sähkö Oy sekä Aurora Lämpö Oy. (Neve Oy 2023a.)

Opinnäytetyön loppuasiakkaana pidetään Rovaniemen Verkkoa, jolla tarkoitetaan kantakaupungin alueella toimivaa sähkönjakeluyhtiötä. Yhtiöstä tuotetaan palvelut sähkön siirtoon, kulutusmittaukseen, sähköliittymän suunnitteluun, tilaukseen, rakennuttamiseen sekä käyttöönottoon. Lisäksi yhtiössä toteutetaan hallinnoitavan sähköverkon käytön valvontaa sekä verkko-omaisuuden hallintaa kunnossapidon toimenpiteiden sekä tavoitteelliseen verkkosuunnitteluun perustuvien investointien kautta. Rovaniemen Verkko vastaa yli 25 000 kuluttajan sähkönjakelusta. (Neve Oy 2023b.)

2 LAIT, ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET

Sähköturvallisuuslaissa annetaan ylätason määräykset sähköalan töiden tekemiseen ja niiden valvontaan. Käsitteen alle luetaan kuuluviksi esimerkiksi sähkölaitteistojen rakentaminen, korjaaminen, tarkastaminen, käyttötyön tekeminen sekä sähkö- ja käyttötöiden johtaminen. Alan turvallisen työskentelyn perustana pidetään riittävää ammatillista koulutusta, työkokemusta sekä työkohdekohtaista perehdytystä. Lisäksi sähköturvallisuuslaissa otetaan kantaa sähkölaitteille ja -laitteistoille asetettuihin vaatimuksiin, viranomaisten suorittamaan valvontaan sekä vahingonkorvausvastuisiin. (Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135.)

Sähköturvallisuuslain 1. luvun 6. pykälässä säädetään sähkölaitteita ja -laitteistoja koskevat yleiset vaatimukset seuraavasti: "Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

Jos sähkölaite tai -laitteisto ei täytä 1 momentissa säädettyjä edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille, luovuttaa toiselle eikä ottaa käyttöön". (Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135.) Pykälän yleisistä vaatimuksista saadaan perusteet sähkölaitteiston suojalaitteiden ja suojausjärjestelmän käytölle ja kunnossapidolle.

Sähkölaitteiden ja -laitteistojen yleisiä vaatimuksia täydennetään Valtioneuvoston asetuksella sähkölaitteistoista. Asetuksen liitteessä Sähkölaitteistojen olennaiset turvallisuusvaatimukset otetaan kantaa käyttöturvallisuuteen, suojausten toteutukseen perus- ja vikasuojauksen osalta, laitteiston merkitsemiseen sekä käytön ja kunnossapidon toimenpiteissä tarvittavan dokumentaation käytettävyyteen. (Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 21.12.2016/1434.)

Sähkötyöturvallisuutta ohjataan standardilla SFS 6002. Sähköaseman laitteistossa tehtävän selvitystyön vuoksi huomioidaan erityisesti standardin luvut 4: Peruseriaatteet sekä 6: Työskentelykäytännöt. Ennen työn aloitusta perehdytään sitä koskeviin säädöksiin, vaatimuksiin ja yrityksen ohjeisiin luvun 4.2 mukaan. Tämän lisäksi nimetään työsuorituksesta vastaava henkilö, jonka kanssa käydään perehdytys työkohteeseen sekä tehtävään. Perehdytyksessä käsitellään myös työkohteesta tunnistetut sähköiset riskit luvun 4.1 mukaan. Tehtävän sisällön, tunnistettujen sähköisten riskien sekä tekijän kokemuksen perusteella tehdään tarvittavat turvallisuustoimenpiteet. (SFS 6002 2015, 16.)

Pienjännitteisen sähkölaitteiston selvitystyö tehdään noudattaen luvun 6.4: Työskentely jännitteisten osien läheisyydessä ohjeita. Työssä huomioidaan myös standardin velvoittavan liitteen Z tarkentavat määräykset. Ennen työn aloitusta huolehditaan opastuksesta työmenetelmään pidettävien turvaetäisyyksien sekä työrajojen osalta. Jos sähkölaitteiston kosketussuojaus todetaan puutteelliseksi, käytetään standardin luvun 6.4.2 mukaisia eristäviä suojalaitteita työturvallisuuden parantamiseksi. (SFS 6002 2015, 35–36, 66–68.)

Standardissa SFS 6001, Suurjännitesähköasennukset, kerrotaan vaatimukset yli 1 kV vaihtojännitteisten ja enintään 60 Hz nimellistaajuisten sähköasennusten suunnitteluun ja rakentamiseen. Standardin luvussa 9.1, Valvonta- ja ohjausjärjestelmät ohjeistetaan suojausjärjestelmän suunnittelun lähtökohdista. Luvun mukaan sähkölaitteiston suojaukseen on sisällytettävä automaattiset toiminnot sen suojaamiseksi ylikuormitukselta sekä laitteiston sisäisiltä ja ulkoisilta vioilta. Lisäksi luvussa ohjataan esimerkiksi kaukokäytettäviin suoja- ja ohjauslaitteisiin tehtävistä lukituksista kunnossapitoa tai korjausta suorittavan henkilöstön turvaamiseksi. (SFS 6001 2018, 81–83.)

Standardin SFS 6001 luvussa 9.2.3, Tasasähkösyöttö, kerrotaan akustolla varmennetun apusähköjärjestelmän suorituskykyvaatimuksista. Luvun mukaan tasasähköakusto mitoitetaan syöttämään sähkölaitteiston käytön tarpeita vaihtojännitesyötön täydellisessä katkoksessa. Tasasähköjärjestelmä varustetaan jännitteen ja virran valvontalaitteilla sekä jännitteen jakelun häiriöistä ilmaisevilla hälytyksillä. (SFS 6001 2018, 81–83.)

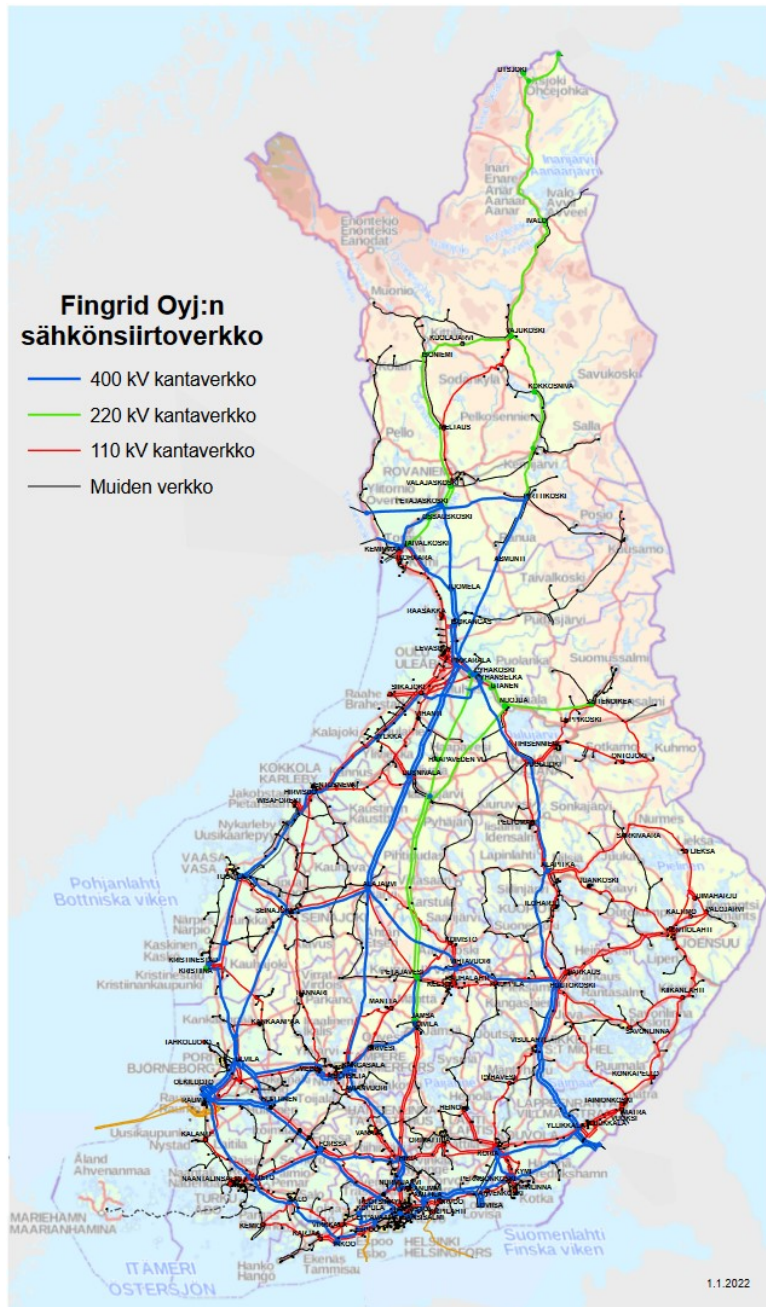
3 VERKON RAKENNE

3.1 Suomen sähköjärjestelmä

Puhuttaessa Suomen rajojen sisällä tapahtuvasta sähkönsiirrosta käytetään ylä-tason käsitteenä Suomen sähköjärjestelmää. Tällä tarkoitetaan sähköntuotantolaitoksista, sähköasemista, kantaverkosta, alueverkoista, jakeluverkoista sekä kuluttajista koostuvaa kokonaisuutta. Sähköenergiaa tuotetaan voimalaitosten generaattoreissa. Tuotantomuodot jaetaan generaattoreiden akseleiden pyörittämiseen tarvittavan käyttövoiman mukaan. Kantaverkkoyhtiö Fingridin verkkosivuilta kohdasta Sähköjärjestelmän tila nähdään käytetyimmät tuotantomuodot tuotantomäärineen reaaliaikaisesti. Keskeisimpinä tuotantomuotoina pidetään ydinvoimaa sekä yhteistuotantoa. Uusiutuvien energialähteiden käyttöä tehostetaan ja tämä havaitaan esimerkiksi tuulivoiman tuotannon kehityksenä. (Fingrid Oyj 2023c.)

Sähköntuotantolaitos kytketään kantaverkkoon sähköaseman kautta. Kantaverkolla tarkoitetaan Fingrid Oyj:n hallinnoimia 110 kV, 220 kV sekä 400 kV johtoyhteyksiä, joista on muodostettu valtakunnallisen sähkönsiirron runko. Kyseisiä johtoyhteyksiä on rakennettu yhteensä noin 14 400 km ja kantaverkon sähköasemia on perustettu noin 120. Suomen sähköjärjestelmä on liitetty kantaverkosta osaksi pohjoismaista, synkronoitua siirtoverkkoa. Ruotsiin on rakennettu yhteensä 4 liittymää, joista 2 on tehty 400 kV vaihtosähköyhteyksin ja 2 tasasähköyhteyksinä Raumalta, Fenno-Skan 1 ja 2. Pohjoisesta on rakennettu 220 kV yhteys Norjaan. Näiden lisäksi on rakennettu 2 tasasähköyhteyttä Viroon, EstLink 1 ja 2. Kantaverkkoon liitytään joko alueverkon tai jakeluverkon sähköaseman kautta. (Fingrid Oyj 2023a; 2023b.)

Kuviossa 1 nähdään kanta- ja alueverkkojen sijoittuminen kartalle.



Kuvio 1. Kanta- ja alueverkot kartalla (Fingrid Oyj 2023a.)

Kantaverkkoon liitytään sähköjakelujärjestelmällä, jolla tarkoitetaan alueverkosta, sähköasemista, keskijänniteverkosta, jakelumuuntamoista sekä pienjänniteverkosta muodostettua kokonaisuutta. Alueverkolla tarkoitetaan 110 ja 45 kV jännitetasoisia johtoyhteyksiä, joita hallinnoidaan sähköjakeluyhtiön toimesta. Tästä käytetään myös nimitystä suurjännitteinen jakeluverkko. Verkkoa käytetään nimensä mukaisesti alueelliseen sähkösiirtoon sekä syöttämään keskijän-

nitteistä jakeluverkkoa. Alueverkkoa rakennetaan joko avorakenteisena ilmajohtona tai maakaapelina riippuen siirtomatkasta sekä suunnitellun johtoalueen ominaisuuksista. Verkkoa on rakennettu yhteensä arviolta 7500 km. (Säteilyturvakeskus 2021.)

Keskijänniteverkolla tarkoitetaan 20 ja 10 kV jännitetasoisia johtoyhteyksiä, joita käytetään sähkönsiirtoon ja jakeluun esimerkiksi kaupungin ja sen taajaman alueella. Keskijänniteverkko kytketään alueverkkoon tai kantaverkkoon sähköasemalla, jossa syöttävän verkon jännite muunnetaan jakelujännitteen suuruiseksi. Rakennettaessa uutta keskijänniteverkkoa suositetaan maakaapeloitua rakennetta. Toteutustavalla vähennetään verkkoon kohdistuvia ulkoisia rasituksia sekä johtokadun tilan tarvetta. Sähköaseman keskijännitekojeistosta syötetään jakelumuuntamoita, joissa keskijännite muunnetaan pienjännitteeksi, 400 V. Maakaapeloitu keskijänniteverkko rakennetaan silmukoiduksi sen käyttövarmuuden parantamiseksi. Tällä tarkoitetaan, että jakelumuuntamo varustetaan toisella keskijännitesyötöllä esimerkiksi samalta sähköasemalta. Keskijänniteverkkoa käytetään kuitenkin säteittäisenä, jolloin jakelumuuntamoita tai muuntamoista muodostettua muuntopiiriä syötetään yhdestä sähköaseman johtolähdöstä kerrallaan. (Lakervi & Partanen 2009, 11–13.)

Sähkönjakeluyhtiön asiakkaat eli kuluttajat liitetään joko keski- tai pienjännitteeseen jakeluverkkoon liittymistehon eli suurimman kuormitusvirran mukaan. Raja-arvo selvitetään sähkönjakeluyhtiön liittymisohjeesta ja sen ylittyessä päädytään keskijänniteliityntään asiakasmuuntamon kautta. Pienjänniteverkko rakennetaan säteittäiseksi ja sitä syötetään jakelumuuntamoiden pienjännitekojeistoista. Kuluttajat liitetään pienjänniteverkkoon joko suoraan jakelumuuntamon kojeiston lähdöstä tai lähdön syöttämästä jakokaapista. Tässäkin käytetään suunnittelun perusteena tilattua liittymistehoa sekä olemassa olevan verkon vapaata kuormituskapasiteettia. (Rovaniemen Verkko Oy 2022.)

Sähköjärjestelmän verkstorakenteissa käytetään kolmea perustyyppiä: säteittäinen-, rengas- tai silmukoitu verkko. Käytettävä rakennetyyppi valitaan verkon käyttöön liittyvien teknistaloudellisten näkökohtien mukaan. Säteittäistä verkkoa käytetään usein keski- ja pienjännitteellä. Sen etuna pidetään yksinkertaista ra-

kennettä ja haittana huollon edellyttämää käyttökeskeytystä. Verkon rengasrakennetta käytetään 110 kV jännitetasolla. Rengasverkon etuna pidetään varasyöttöyhteyttä ja haittana käytön vaikeutumista. Silmukoitua verkko rakennetta käytetään 400 kV ja 220 kV jännitetasoilla. Tällä tarkoitetaan väliyhteyksillä varustettua rengasverkkoa. Silmukoidun verkon etuna pidetään hyvää jännitevakautta ja haittana suojauksen rakenteen monimutkaisuutta. (ABB 2000b, 1.)

Kuviossa 2 nähdään Norelco Oy:n valmistama jakelumuuntamo ja sen pienjännitekojeisto.



Kuvio 2. Puistomuuntamon pienjännitekojeisto (Norelco Oy 2022.)

3.2 Sähköasema

Jakeluverkon sähköasemaa käytetään keskijänniteverkon liittämiseksi suurjänniteverkkoon. Aseman käyttötarkoituksena pidetään syöttävän verkon jännitteen muuntaa jakeluverkon jännitetasoon sekä sähköenergian siirtoa verkkojen välillä. Aseman sähkölaitteisto kootaan suurjännitekojeistosta, yhdestä tai useammasta päämuuntajasta, keskijännitekojeistosta sekä apujännitejärjestelmästä käytöntukitoimintoihin. Jakeluverkon laajentuessa ja tehontarpeen kasvaessa harkitaan uuden sähköaseman rakentamista toimitettavan sähkön laadun ylläpitämiseksi. (Lakervi & Partanen 2009, 119–120.)

ABB:n Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirjan luvussa 13: Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot määritellään kojeisto seuraavasti: ”Kojelistolla tarkoitetaan rakennekokonaisuutta, jossa on sähkön tuottamisessa, siirrossa, muuntamisessa tai muuttamisessa tarvittavia kytkin-, suoja-, ohjaus- tai valvontalaitteita”. (ABB 2000b, 19). Suurjännitekojeiston voidaan sanoa alkavan aseman sähkönsyötöstä ja päättyvän päämuuntajan ensiökäämien kytkentäliittimiin. Aseman sähkönsyöttö johdetaan suurjännitteiseen kokoojakiskostoon, jolla tarkoitetaan esimerkiksi kolmesta, alumiinisesta putkikiskosta muodostettua rakennetta. Kokoojakiskostoa käytetään sähköaseman suurjännitejakeluun. Kiskostoon kytketään aseman päämuuntajia syöttävät virtapiirit sekä mahdollinen varasyöttöyhteys esimerkiksi toisen sähköaseman suurjännitteisestä kokoojakiskostosta. Päämuuntajaa syöttävään virtapiiriin eli kenttään kytketään vaihekohtaisesti erotin, katkaisija, virtamuuntajat, maadoituserotin sekä ylijännitesuojat. Syöttöjännitettä mitataan kenttiin sijoitetuilla jännitteen mittamuuntajilla. (Lakervi & Partanen 2009, 119–120.)

Suurjännitekojeistoja asennetaan sekä ulko- että sisätiloihin. Ulos asennettavan kojeiston rakenteen eristeaineena käytetään ilmaa. Toteutustavasta käytetään nimitystä AIS, Air Insulated Switchgear. Kojeliston laitteet sijoitetaan käytettävissä olevaan tilaan siten, että käytön ja suojausten kannalta määritetyt vaihe- ja kenttäkohtaiset minimietäisyydet täytetään. Sijoittelussa huomioidaan myös sähkönsyöttöjen tulosuunnat sekä laajentamiseen varattava tila. Asemarakennuksen yh-

teyteen sijoitettava kojeisto eli kytkinkenttä ympäröidään aidalla kulkemisen rajoittamiseksi. Kuviossa 3 havainnollistetaan sähköaseman ilmaeristeistä kojeistoa. (ABB 2000b, 11–12.)



Kuvio 3. Sähköaseman ilmaeristeinen kytkinkenttä (Maviko Oy 2023.)

Sisätilaan eli asemarakennukseen sijoitettavan suurjännitekojeiston eristeaineena käytetään SF₆-kaasua. Toteutustavasta käytetään nimitystä GIS, Gas Insulated Switchgear. Kojeiston laitteet asennetaan teräksestä tai alumiinista valmistettuun, tiivistettyyn kotelointiin, joka maadoitetaan. Kokoojakiskoston vaiheet laitteineen asennetaan erillisiin kotelointeihin. Koteloinnit paineistetaan 3,5–4,5 bar:iin. Kojeiston toteutustavan etuina pidetään käyttövarmuutta, vähäistä huollon tarvetta sekä pienempää tilan tarvetta verrattuna vastaavasti mitoitettuun ilmaeristeiseen kojeistoon. (ABB 2000b, 5–10.)

Päämuuntajassa muunnettu syöttöjännite johdetaan keskijännitekojeistoon, jota käytetään aseman sisäiseen sähköjakeluun sekä jakeluverkon syöttämiseen. Keskijännitekojeiston voidaan sanoa alkavan päämuuntajan toisiokäämien kytkentäliittimiltä ja päättyvän johtolähtöihin eli keskijänniteverkon syöttöihin. Sähköaseman keskijännitekojeiston rakentamisessa suositaan koteloitua rakennetta,

jonka eristeaineena käytetään ilmaa tai SF₆-kaasua. Kojeiston jännitteen jakelun runko muodostetaan erikseen koteloidusta kokoojakiskostosta. Kiskoston rakenteen valinnassa huomioidaan päämuuntajien lukumäärän lisäksi asemalle asetettu syöttökapasiteetin tarve sekä huolto- tai vikatilanteista aiheutuvien käyttökeskeytysten minimointi. 1 päämuuntajan sähköasemalla käytetään yksikisko- tai kiskoapukiskojärjestelmää. 2 päämuuntajan asemalla käytetään vähintään kaksoiskiskojärjestelmää. (Lakervi & Partanen 2009, 121–124.)

Keskijännitekojeisto muodostetaan kokoojakiskoston lisäksi koteloiduista moduuleista eli kennoista. Kojeiston käyttö- ja suojaustoimintojen toteuttamiseksi se varustetaan ainakin seuraavilla kennotyypeillä: syöttö-, mittaus-, johtolähtö- ja omakäyttökenno. Jännite johdetaan päämuuntajan toisiopiiristä kojeiston syöttökennoon syöttökaapeleilla. Kennon päävirtapiirissä se johdetaan virtamuuntajien sekä katkaisijan kosketinten kautta kokoojakiskostoon. Päävirtapiiriin kytketään maadoituserotin työmaadoituksen tekemiseksi. Virtamuuntajien mittaustietoa käytetään tehomittauksen lisäksi kennoon sijoitettujen suojarleiden suojaustoimintoihin, kuten oikosulku- ja maasulkusuojaukseen. Kojeisto varustetaan 1 tai 2 mittauskennoilla riippuen kokoojakiskostojen lukumäärästä. Kennoon sijoitetaan kiskoston jännitteiden mittamuuntajat, joiden oikosulkusuojina käytetään suurjännitesulakkeita. Kennon päävirtapiiriin kytketään maadoituserotin mitattavan kiskoston työmaadoittamiseksi. Jännitemuuntajien mittaustietoa käytetään kiskoston jännitteen valvontaan, maasulkusuojaukseen sekä laskutusmittaukseen. (Monni & Ketola 2019, 133–134.)

Jännitteen jakelu keskijänniteverkkoon tehdään johtolähtökennosta. Kenno muistuttaa rakenteeltaan syöttökennoa, mutta siihen valitaan mitoitusarvoiltaan keveämmät laitteet. Kennojen suojarleiden erona havaitaan johtolähtökennoon liittävä jälleenkytkennän toiminto. Jakelumuuntamoita syötetään johtolähtökennosta. (Monni & Ketola 2019, 132.)

Aseman sähköjärjestelmän käyttämiseksi tarvitaan omakäyttöjärjestelmä, jota syötetään omakäyttökennosta. Keskijännite johdetaan kaapelilla 50–200 kVA nimellistehoiseen omakäyttömuuntajaan, jossa se muunnetaan pienjännitteeksi. Muunnettu pienjännite johdetaan edelleen kaapelilla omakäyttökeskukseen,

josta syötetään rakennuksen talotekniikan järjestelmiä sekä apusähköjärjestelmiä. Apusähköjärjestelmillä tarkoitetaan tasasähköjärjestelmää, hälytysjärjestelmää sekä kaukokäyttöjärjestelmää. Tasasähköjärjestelmää käytetään sähköaseman apujännitejakeluun. Järjestelmä muodostetaan tasasuuntaajasta, tasasähkökeskuksesta, akustosta, jännitteen valvontareleista sekä keskuksen syöttämisestä lähdöistä. 110 V tasajännitettä käytetään aseman sähköjärjestelmän ohjauksen toimintoihin. (Monni & Ketola 2019, 151, 189–191.)

Hälytysjärjestelmää käytetään aseman sähköjärjestelmän toimintakunnon valvontaan sekä vikatietojen ilmaisuun. Järjestelmä muodostetaan aseman valvomon ohjauskeskukseen sijoitettavasta hälytyskeskuksesta, hälytyspiireistä toimilaitteineen, apujännitesyötöstä sekä yhteydestä kaukokäyttökaappiin. Hälytyskeskuksen tunnistessa vian se havaitaan laitteen näytöltä sekä kaukokäyttöjärjestelmästä. Tällainen voisi olla tasasähköjärjestelmän apujännitteen puuttuminen jostakin verkon osasta. Kaukokäyttöjärjestelmää käytetään asemalta saatavien mittaustietojen ja hälytysten tarkasteluun sekä etäohjattavien toimilaitteiden ohjaukseen. Tiedot ohjataan sähköaseman kaukokäyttökaappiin, josta ne välitetään keskusvalvomoon. Kuviossa 4 havainnollistetaan sähköaseman keskijännitekojeistoa. (Monni & Ketola 2019, 192–195.)



Kuvio 4. Aseman koteloitua keskijännitekojeistoa (Maviko Oy 2023.)

3.2.1 Päämuuntaja

Muuntajalla tarkoitetaan sähkökonetta, jota käytetään kahden vaihtovirtapiirin väliseen sähköenergian siirtoon. Kun puhutaan jakeluverkon sähköaseman päämuuntajasta, tarkoitetaan kolmivaiheista öljyeristeistä jännitemuuntajaa, jota nimitetään myös tehomuuntajaksi. Kolmivaiheinen jännitemuuntaja rakennetaan rautapylväistä muodostetusta sydäimestä sekä pylväiden ympärille käämityistä ensiö- ja toisiokäämeistä. Toimintaperiaatteena pidetään sähkömagneettista induktiota, jossa ensiökäämeistä kytkettyyn ensiöpiiriin syötetyllä vaihtojännitteellä saadaan aikaan piirissä kulkeva ensiövirta. (Ahoranta 2009, 291–293.)

Virrallisilla käämeillä aiheutetaan muuntajan sydämeen ensiövirran kanssa saman taajuinen magneettikenttä eli magneettivuoto. Muuntajan sydämessä värähtelevällä magneettivuolla saadaan aikaan induktio, jossa toisiokäämien välille aiheutetaan muuntosuhteen mukainen potentiaaliero eli toisiojännite. Kun toisiokäämeistä kytkettyyn toisiopiiriin kytketään syötettävää kuormaa, saadaan toisiopiiriin kulkemaan toisiovirta. Tällöin puhutaan energian siirrosta virtapiirien välillä. Muuntajan ensiö- ja toisiopiirin jännitteiden suhteesta käytetään nimitystä muuntosuhde. Muuntosuhteeseen vaikutetaan muuttamalla ensiö- tai toisiopiirin käämikierrosten lukumäärää. Muuntosuhteen sähköisten suureiden keskinäinen vaikutus nähdään kaavassa 1. (Ahoranta 2009, 291–293.)

$$\mu = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

missä

μ	on	Muuntosuhde
N_1	on	Ensiökäämin kierrosluku
N_2	on	Toisiokäämin kierrosluku
U_1	on	Ensiöpiirin jännite [V]
U_2	on	Toisiopiirin jännite [V]
I_1	on	Ensiöpiirin virta [A]
I_2	on	Toisiopiirin virta [A]

Tehomuuntajan käytön ja suojauksen kannalta oleelliset arvot nähdään koneen runkoon kiinnitetystä arvokilvestä. Näillä tarkoitetaan esimerkiksi kytkentätapaa,

näennäistehoa, nimellisjännitteitä ja -virtoja sekä oikosulkuimpedanssia, jota käytetään muuntajan tuottaman oikosulkuvirran laskentaan. Näennäisteholla tarkoitetaan suurinta muuntajasta otettavaa tehoa jatkuvassa kuormituksessa. Näennäistehon arvoon vaikutetaan muuntajan fyysisen koon lisäksi nimellisjännitteillä sekä kytkentätavoilla. Jakeluverkon sähköaseman päämuuntajan näennäisteho valitaan usein väliltä 10–40 MVA. Kolmivaiheisen jännitemuuntajan näennäisteho lasketaan kaavalla 2.

$$S = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \quad (2)$$

missä

S on Näennäisteho [VA]

U_n on Nimellisjännite [V]

I_n on Nimellisvirta [A]

Kun muuntaja kytketään arvokilven mukaiseen jännitteeseen ja sitä kuormitetaan näennäistehoa vastaavalla kuormalla, saadaan sen ensiö- ja toisiopiireissä kulkemaan nimellisarvojen mukaiset virrat. (Ahoranta 2009, 330–332.)

Kuormitetun kolmivaiheisen jännitemuuntajan tuottaman suurimman oikosulkuvirran laskentaa pidetään oleellisena suojauksen mitoituksen ja asettelun kannalta. Tällä tarkoitetaan nimelliskuormitetun muuntajan toisiopiirin oikosulkua. Arvokilvessä ilmoitetaan tyypillisesti oikosulkuimpedanssi prosentteina. Tätä hyödyntäen lasketaan toisiopiirin oikosulku kaavan 3 mukaan.

$$I_k = \frac{I}{z_k} \quad (3)$$

missä

I_k on Oikosulkuvirta [A]

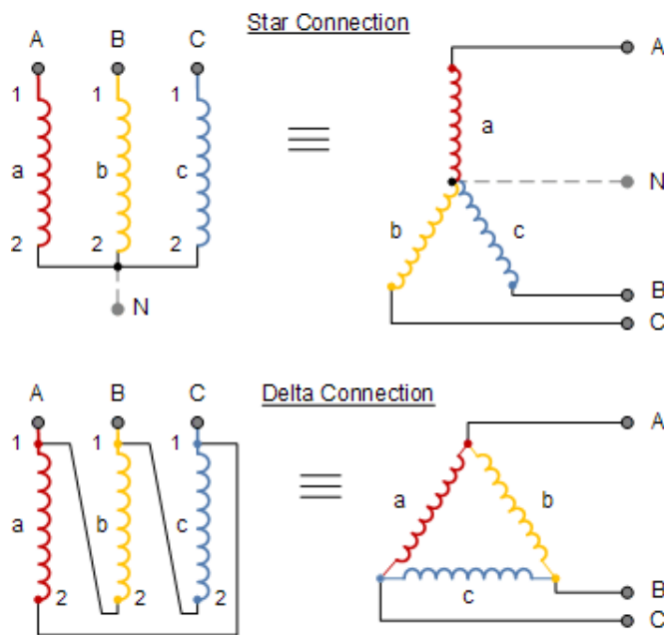
I on Kuormitusvirta [A]

Z_k on Oikosulkuimpedanssi [%]

(Ahoranta 2009, 330–332.)

Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirjan luvussa 11: Tehomuuntajat, annetaan 110 kV jännitteeseen kytkettävien tehomuuntajien kytkentätunnuksiksi YNd11 ja YNyn0. (ABB 2000a, 6.) Molemmissa vaihtoehdoissa muuntajan suurjännitteeseen kytkettävät ensiökäämit kytketään toisista päistään yhdistettyyn tähtipisteeseen, joka tuodaan muuntajan kannelle. Toisiokäämit voidaan kytkeä myös kolmioon, jossa vaihejärjestyksessä edellisen käämin loppupää kytketään rinnan

seuraavan käämin alkupään kanssa. Kolmiokytkennässä ei tarvita palaavaa summajohdinta. Kytkettäessä muuntajapiiri tähteen vaikutetaan yksittäiseen käämiin vaihejännitteellä ja sen läpi johdetaan virtapiirin päävirta. Kolmiokytkennän tapauksessa vaikutetaan yksittäiseen käämiin pääjännitteellä ja sen läpi johdetaan virtapiirin vaihevirta. Muuntajan toisiopiirin kytkennässä suositaan kolmiokytkentää sen mahdollistaman korkeamman kuormitettavuuden vuoksi. Kuviossa 5 nähdään käämien tähti- ja kolmiokytkennän periaatteet. (Ahoranta 2009, 313–317.)



Kuvio 5. Päämuuntajan käämien kytkentätavat (Electronics Tutorials 2022.)

Jotta kolmivaiheista jännitemuuntajaa voidaan kutsua tehomuuntajaksi, sen perusrakennetta täydennetään tietyiltä osin. Rakenne asennetaan muuntajan runkoon käytettävään öljysäiliöön. Käämien päät tuodaan muuntajan kannelle sen läpivientien kautta. Käämien kanssa samaan tilaan sijoitetaan lämpötila-anturit muuntajan öljyn ja käämien lämpötilamittaukseen. Anturit kytketään öljyn lämpöreleeseen ja käämin lämpötilan kuvaajaan, jotka asennetaan esimerkiksi öljysäiliön ulkoseinään. Runkoon asennetaan öljyn paisuntasäiliö, joka varustetaan pinnankorkeudenmittauksella. Paisuntasäiliötä ja öljysäiliötä yhdistävään putkeen asennetaan kaasurele. Runkoon asennetaan lisäksi ilmankuivain sekä yli-paineventtiili. Muuntajan rakennetta täydennetään vielä jäähdyttimellä, kojekaapilla, mahdollisella käämikytkimellä sekä käämikytkintä suojaavalla virtausreleellä. (Monni & Ketola 2019, 126–127.)

Kuviossa 6 havainnollistetaan päämuuntajan rakennetta.

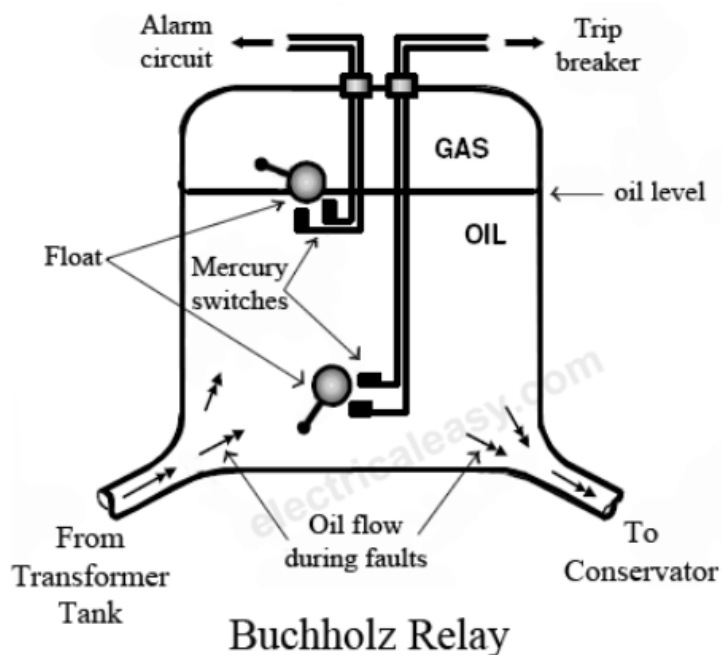


Kuvio 6. Sähköaseman päämuuntaja (JT-Export Oy 2023.)

Päämuuntajan tiedetään olevan sähköaseman kallein yksittäinen laite, joten sitä suojataan monipuolisesti. Edellisessä kappaleessa mainituilla muuntajasuojilla suojataan päämuuntajaa sen sisäisiltä vioilta. Muuntajan eristämiseen käytetään paperia, prespaania sekä öljyä, jota käytetään myös lämmön johtamiseen koneesta. Jatkuvilla korkealla käyttölämpötilalla heikennetään muuntajan paperieristystä sen liuetessa osin öljyyn. Muuntajan eristeiden heikentyessä voi aiheutua osittaispurkauksia, läpilyönnejä ja lopulta oiko- tai maasulku. Päämuuntajan eristyksen suojaamiseksi sen sisäistä lämpötilaa mitataan öljyn lämpöreleellä sekä käämin lämpötilan kuvaajalla. Öljyn lämpöreleellä tarkoitetaan koskettimilla varustettua mittalaitetta, jolla mitataan muuntajan öljysäiliön yläosan lämpötilaa kapillaariputken avulla. Öljyn lämpöreleen koskettimilla ohjataan lämpötilan hälytystä sekä muuntajaa suojaavien katkaisijoiden avauspiirejä. Lämpörele voidaan asetella esimerkiksi siten, että lämpötilan hälytys annetaan mittausarvossa $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja muuntaja erotetaan verkosta mittausarvossa $+95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Käämin lämpötilan kuvaajalla tarkoitetaan koskettimilla varustettua mittalaitetta, jolla mitataan käämejä lähinnä olevan öljyn lämpötilaa. Kuvaajaan kytketään 3 lämpötila-anturia vaiheiden käämien lämpötilojen mittaamiseksi. Öljyn lämpöreleen tapaan ohja-

taan käämin lämpötilan kuvaajalla hälytystä sekä suojalaitteiden laukaisua. Käämin lämpötilan kuvaaja voidaan asettaa esimerkiksi siten, että käämin lämpötilahälytys annetaan mittausarvossa $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja muuntaja erotetaan verkosta mittausarvossa $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Elovaara & Haarla 2011, 151–152, 379.)

Muuntajan paperieristeiden ja öljyn eristävyys heikentyessä päädytään tilanteeseen, jossa jänniterasituksella voidaan ylittää koneen eristyskyky. Tällöin muuntajan sähköä johtavien rakenteiden eristysväli muuttuu osin tai kokonaan johtavaksi. Näistä käytetään nimityksiä osittaispurkaus ja läpilyönti. Molempien vikojen ominaispiirteenä pidetään pistemäistä lämpenemistä, jolla aiheutetaan muuntajan sisäistä paine-eroa ja siten öljyn virtausta. Muuntajaa suojataan molemmilta vioilta kaasureleellä, jota kutsutaan myös Buchholz-releeksi. Laitteen toiminnan ymmärtämiseksi tarkennetaan, että muuntajan öljysäiliö pidetään täytenä, jolloin öljyn pinnankorkeuden vaihtelu havaitaan paisuntasäiliöstä. Releen toimintaperiaatteena pidetään uimurikytkintä, jonka kosketin suljetaan vian aiheuttamien kaasukuplien keräytyessä öljykammion yläosaan syrjäyttäen öljyä kammion yläosaan. Kammion pinnankorkeuden muutosnopeudella vaikutetaan, annetaanko hälytys ennen muuntajaa suojaavien katkaisijoiden laukaisukäskyä. Kuviossa 7 havainnollistetaan kaasureleen toimintaa. (Elovaara & Haarla 2011, 359.)



Kuvio 7. Kaasureleen toimintaperiaate (Kiran Daware 2014.)

Keskijänniteverkkoon syötettävän päämuuntajan toisiojännitteen arvo halutaan pitää vakiona muuntajan kuormituksen sekä syöttävän verkon jännitteen vaihdellessa. Tämän vuoksi muuntajan ensiökäämitys varustetaan käämikytkimellä, jolla muutetaan ensiön käämikierrosten lukumäärää ja siten ensiöjännitteen arvoa. Koska käämikytkintä ohjataan muuntajan ollessa kuormitettu, se varustetaan erillisellä suojalaitteella, virtausreleellä. Rele havahtuu käämikytkimen virheellisen kytkennän aiheuttaman läpilyönnin vaikutuksesta kytkintä eristävään öljyyn. Rele toimii öljyn virratessa käämikytkimen säiliöstä sen paisuntasäiliöön, jolloin päämuuntaja erotetaan verkosta. Muuntajan kaasureleen sekä käämikytkimen virtausreleen varasuojina käytetään ylipaineventtiilejä. Ylipaineventtiiliin voidaan sanoa olevan öljytilan mekaaninen varoke. Läpilyönnistä nopeasti kasvanut öljytilan paine puretaan hallitusti jousikuormitteisen venttiilin kautta. Tilan paineen lasiessa venttiili sulkeutuu jousivoimalla tiiviiksi. Laitte voidaan varustaa apukoskettimella, jotta vikaantunut muuntaja erotetaan verkosta mahdollisimman nopeasti. (Elovaara & Haarla 2011, 379.)

3.2.2 Kojeiston keskeiset laitteet

Sähköaseman laitteiston päävirtapiirien rakenteet sekä suojalaitteet kuvataan yleensä aseman pääkaaviossa yksiviivaisena esityksenä. Johdon ympyräsymboleilla tarkoitetaan virran ja jännitteen mittamuuntajia, joiden mittaustietoa käytetään energian kulutuksen mittaukseen sekä pääpiirien suojalaitteita ohjaavien suojarleiden herätteinä. Kosketinsymboleilla kuvattuja kytkinlaitteita käytetään aseman sisäisen verkon järjestelyyn esimerkiksi huoltotyön suorittamiseksi sekä päävirtapiirien erottamiseen verkosta suojarleiltä saatavien avauskäskyjen mukaan. Kytkinlaitteilla tarkoitetaan katkaisijaa, erotinta sekä maadoituserotinta. (Monni & Ketola 2019, 108–109.)

Kuten tehomuuntajan, myös mittamuuntajan toimintaperiaatteena pidetään sähkömagneettista induktiota. Mitattavaan päävirtapiiriin kytkettävä ensiökäämi erotetaan galvaanisesti toisiokäämistä, johon kytketään kyseisen verkon osan mittaja suojalaitteet. Tästä käytetään nimitystä epäsuora mittaus. Mittaustavan etuina pidetään mahdollisuutta keskitettyyn mittaukseen sekä mitta- ja suojalaitteiden suojaamiseen ylikuormitukselta. (Elovaara & Haarla 2011, 198.)

Virtamuuntajia käytetään kojeistoihin kytkettävien johtojen vaihevirtojen mittaamiseen sekä osana maasulkusuojausta. Se rakennetaan ensiökäämistä, yhdestä tai useammasta mittaussydämeistä, sydänten ympärille käämityistä toisiokäämeistä, rungosta sekä kytkentäkotelosta. Suurjännitteeseen kytkettävän virtamuuntajan eristeenä käytetään öljyä ja rungon eristeenä posliinia. Keski­jännitteeseen mitoitettu virtamuuntaja valetaan epoksihartsiin ja sen kiinnitysalusta tehdään silumiinista eli alumiiniseoksesta. Virtamuuntajan toisiovirran arvona käytetään 5 tai 1 A. Muuntajan muuntosuhdetta eli mitattavan ensiövirran alaa voidaan muuttaa, kun ensiökäämi rakennetaan yhteen kytkettävistä osista. Kun halutaan parempi mittaustarkkuus mitattaessa pienempää virtaa, käytetään sarjaan kytkettyä eli suurempaa käämikierrosten lukumäärää kaavan 4 mukaan.

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \quad (4)$$

missä

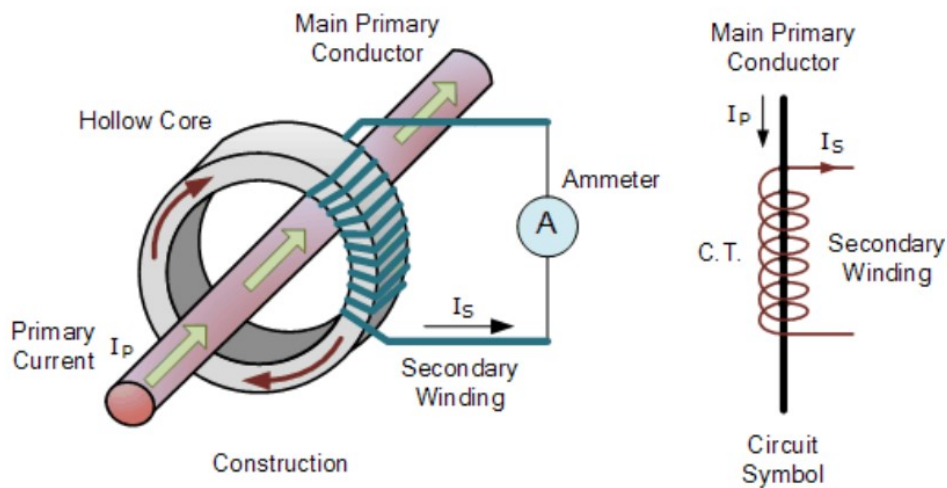
N1	on	Ensiön käämikierrosten lukumäärä
N2	on	Toision käämikierrosten lukumäärä
I1	on	Ensiövirta [A]
I2	on	Toisiovirta [A]

(Monni & Ketola 2019, 140–141.)

Kun virtamuuntaja rakennetaan useammalla mittaussydämellä, voidaan niiden toisiokäämeistä saatavaa mittaustietoa käyttää eri tarkoituksiin. Standardissa IEC 60044-1 määritetään tarkkuusluokat mittaukseen sekä suojaukseen tarkoitetuille virtamuuntajille ensiövirran ja taakan eli toisiopiirin impedanssin mukaan. Tarkkuusluokat ilmaistaan prosentteina ensiön mitoitusvirtaa vastaavan virtavirheen mukaan. Mittaukseen käytetään luokkia 0,1–0,5, virran osoitukseen luokkia 3 ja 5 ja suojaukseen luokkia 5 ja 10. Virtamuuntaja voidaan siten rakentaa sekä mittauksen että suojauksen käyttöön sopivaksi. Laitteen turvallisen käytön keskeisinä periaatteina pidetään toisiokäämien napojen maadoittamista sekä sitä, ettei jännitteisen virtamuuntajan toisiopiiriä katkaista. Toisiopiirin katketessa voi sen käämin napojen välille indusoitua vaarallisen suuri jännite. Tämän vuoksi virtamuuntajan käyttämättömät toisiokäämit oikosuljetaan ja maadoitetaan. (Elovaara & Haarla 2011, 202–205, 214–215.)

Johdon maasulkusuojauksessa käytetään kaapelivirtamuuntajaa, joka on yksi virtamuuntajien erikoisrakenteista. Muuntaja rakennetaan renkaan muotoisesta sydäimestä, sydämen ympäri käämistä toisiokäämistä, rungosta sekä kytkentäkotelosta. Muuntajan ensiökääminä käytetään suojustavaa johtoa, joka vedetään muuntajan sydämen mukaan muotoillun rungon läpi. Laitteen toimintaperiaatteena pidetään maasulun aiheuttaman vaihevirtojen epäsymmetrian indusoimaa nollavirtaa toisiopiiriin. (Monni & Ketola 2019, 140–141.)

Kuviossa 8 havainnollistetaan kaapelivirtamuuntajan toimintaa.

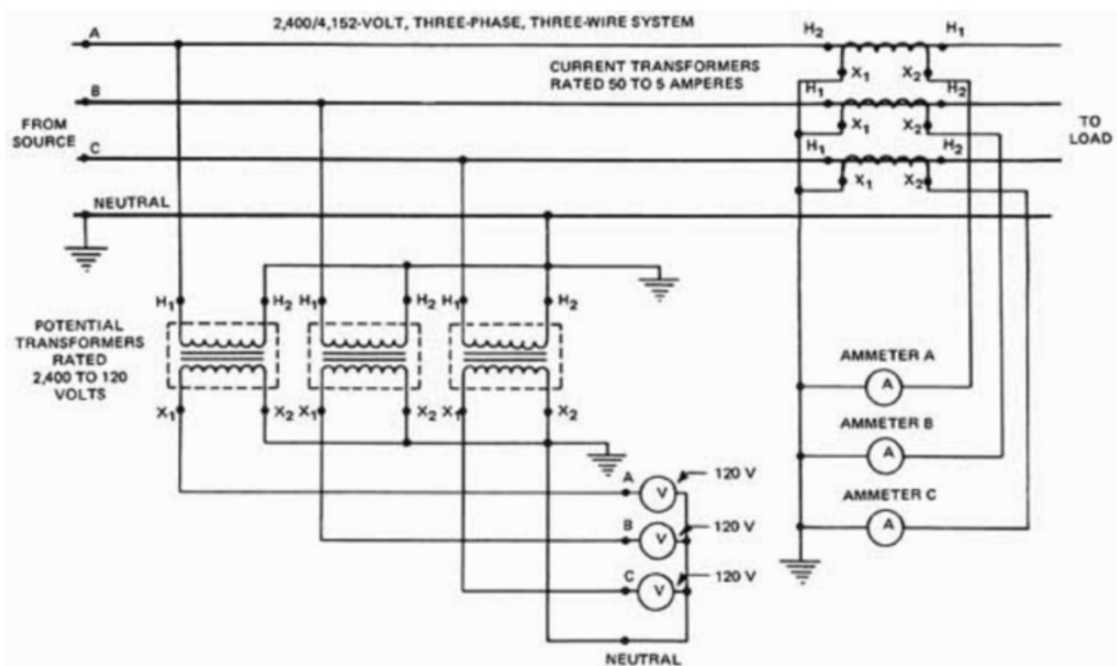


Kuvio 8. Kaapelivirtamuuntajan toimintaperiaate (Study Electrical 2018.)

Jännitteen mittamuuntajaa pidetään toiminnaltaan vastaavana kuin tehomuuntajaa yksivaiheisena. Virtamuuntajan tapaan se rakennetaan ensiökäämistä, yhdestä tai useammasta mittaussydäimestä, sydänten ympärille käämistä toisiokäämeistä, rungosta sekä kytkentäkotelosta. Laitteiden välinen ero huomataan selkeimmin kytkentätavassa. Jännitemuuntaja kytketään mitattavan kuorman rinnalle, kun taas virtamuuntaja sarjaan. Jännitemuuntajan toisijännitteen arvona käytetään 100 V. Muuntaja voidaan kytkeä mittaamaan kahden vaiheen välistä pääjännitettä, vaiheen ja tähtipisteen välistä vaihejännitettä sekä tähtipisteen ja maan välistä nollajännitettä avokolmiomittauksella, joka käsitellään maasulkusuojausyhteydessä. Käyttötarkoituksiin valmistetaan yksi- ja kaksinapaisesti eristettyjä rakenteita. Yksinapaisesti eristettyä jännitemuuntajaa käytetään

vaihejännitteen ja kaksinapaisesti eristettyä pääjännitteen mittaukseen. Rakenteiden ero huomataan siitä, että yksinapaisesti eristetyn jännitemuuntajan ensiökäämin napa maadoitetaan. (Monni & Ketola 2019, 141–142.)

Standardissa IEC 6044-2 määritetään mitoitusjännitekertoimet sekä tarkkuusluokat mittaukseen sekä suojaukseen tarkoitetuille jännitemuuntajille jännitteiden mitoitusarvojen sekä kulmavirheiden raja-arvojen mukaan. Mitoitusjännitekertoimen arvoista huomataan, että jännitemuuntajan eristyksen odotetaan kestävän 1,2 kertaisen käyttötaajuisen ensiöjännitteen jatkuvana. Mittaustarkkuuden osalta odotetaan toisiojännitteen arvon pysymistä tarkkuusluokkaa vastaavan jännitevirheen rajoissa ensiöjännitteen vaihdelta 80–120 % mitoitetusta arvosta. Mittaukseen käytetään luokkia 0,1–1 ja suojaukseen luokkia 3 ja 6. Kuviossa 9 havainnollistetaan jännite- ja virtamuuntajien kytkennät kolmivaiheverkkoon. (Elovaara & Haarla 2011, 215–217, 220–223.)

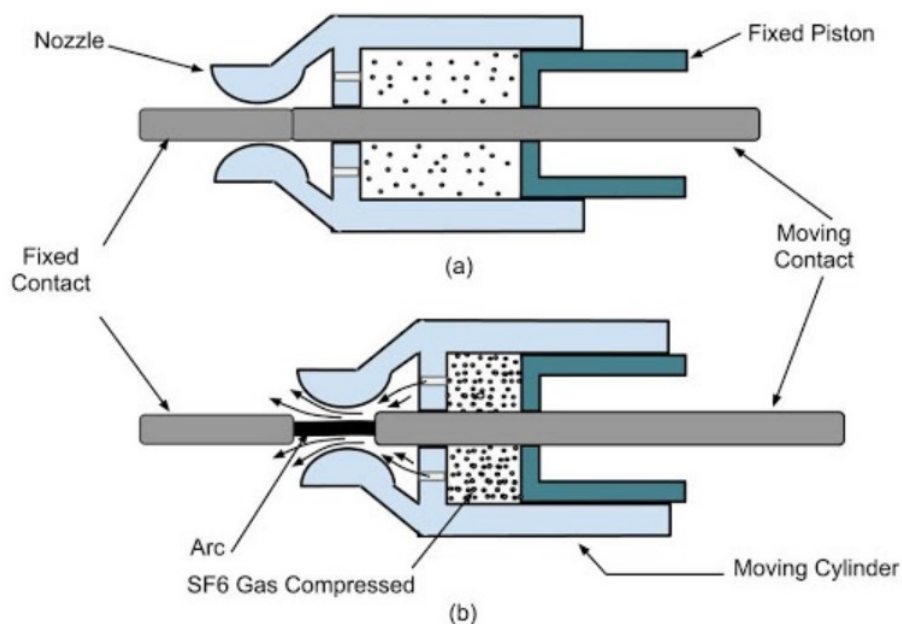


Kuvio 9. Mittamuuntajien kytkemisen periaate (James Bernth 2020.)

Kytkeinlaitteista katkaisijalla tarkoitetaan laitetta, jota käytetään kuormitetun virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen suojattavan verkon osan käyttö- tai vikatilanteissa. Suojauksen toiminnan kannalta pidetään tärkeänä vian nopeaa havaitsemista sekä vikaantuneen verkon osan erottamista henkilöiden ja laitteiston turvaamiseksi. Katkaisijan toimintaan liitetään keskeisenä käsitteenä valokaari, jolla

tarkoitetaan katkaisutapahtuman aiheuttaman suuren lämpötehon aikaan saamaa johtavaa yhteyttä avautuvien kosketinten välillä. Valokaaren vaikutuksia hallitaan katkaisijan kosketinten liikenopeudella, riittävällä avausvälillä sekä jäähdyttämällä. Palaavan jännitteen vaikutuksesta tapahtuvaa valokaaren uudelleen sytymistä rajoitetaan jäähdyttävän aineen eristävällä ominaisuudella. Katkaisijat jaotellaan käytettävän jäähdytysaineen mukaan. Jakeluverkon sähköaseman kojeistoissa käytetään useimmin SF₆- ja tyhjiökatkaisijoita. (Elovaara & Haarla 2011, 161–168.)

Katkaisijoissa käytetään SF₆-kaasua eli rikkiheksafluoridia sen palamattomuuden, jännitekestoisuuden sekä tehokkaan jäähdytyskyvyn vuoksi. Toimintatapana suositetaan itsepuhallusperiaatetta, jossa katkaisijan navan pää- ja avauskosketinten liike-energiaa käytetään kaasutilan painetta nostavan männän liikuttamiseen. Paineistettu kaasu ohjataan valokaarikoskettimille kaasutilan venttiilin kautta. Katkaisijan sulkeminen ja avaaminen tehdään jousiohjaimella, joka viritetään joko sähkömoottorilla tai käsin. Kytkentätilaa muutetaan automaattisesti suojarieleen ohjaamana esimerkiksi suojaustoimintona avatun katkaisijan jälleen kytkennässä. Katkaisijan toimintakuntoa seurataan sammutuskammion painetta valvovalla tiheysvahdilla. Toimintakunnon kehitystä seurataan myös huollossa, jossa mitataan katkaisijan kosketinten ylimenovastukset. Mittauksella seurataan kosketinten johtavuutta ja katkaisujen vaikutusta siihen. Kuviossa 10 havainnollistetaan SF₆-katkaisijan toimintaa. (Elovaara & Haarla 2011, 177–181.)



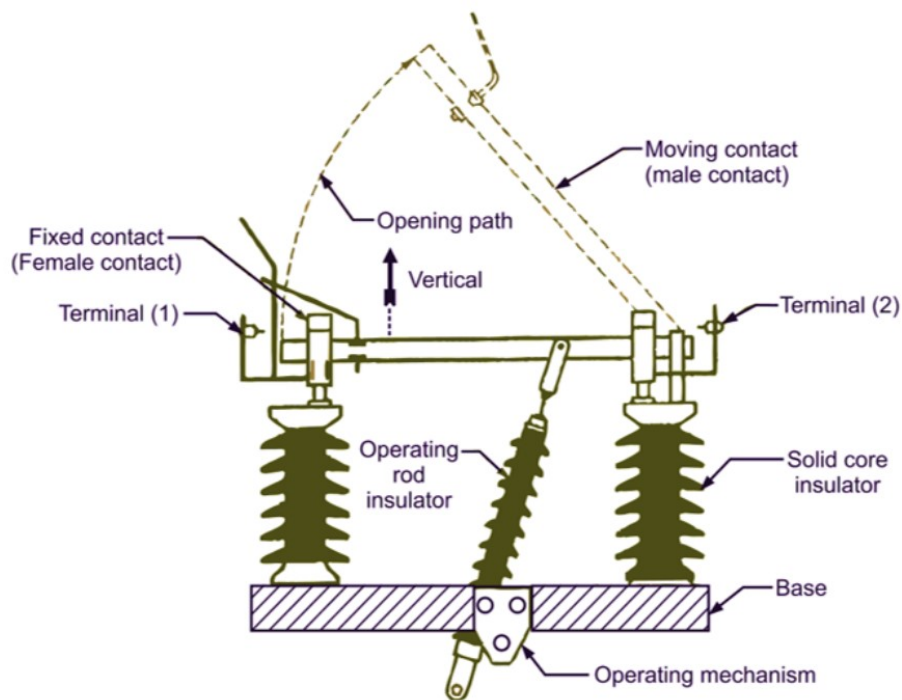
Kuvio 10. SF₆-katkaisijan toimintaperiaate (Technical Books Pdf 2018.)

Tyhjiökatkaisijan toimintaperiaatteena pidetään sammutuskammion väliaineen poistamisen hillitsevää vaikutusta katkaisijan avauksesta aiheutuvaan valokaareen. Katkaisijan sammutuskammiona käytetään eristettyä tyhjiösäiliötä, johon koskettimet asennetaan. Yksikkö asennetaan kannatinten varaan, johon sijoitetaan myös ohjain. Koskettimet kytketään suojattavaan virtapiiriin liittimistään, joiden kautta johdetaan myös katkaisutapahtuman aiheuttama lämpö ulos rakenteesta. Koskettimia ohjataan SF₆-katkaisijan tavoin jousiohjaimella sekä voiman välittävällä koneistolla. Katkaisijatyypin etuina pidetään pitkää mekaanista käyttöikää sekä vähäistä huollon tarvetta. (Elovaara & Haarla 2011, 182–184.)

Käyttötarkoituksen vuoksi katkaisijalta edellytetään kykyä kestää verkossa tapahtuvia virran ja jännitteen arvojen muutoksia. Suunniteltaessa katkaisijan korvaamista uuteen tarkastellaan ensimmäisenä sen ominaisarvoja, kuten mitoitusvirtaa ja -jännitettä, katkaisukykyä sekä sulkemiskykyä. Ominaisarvoilla tarkoitetaan katkaisijan suorituskykyä kuvaavia mitoitusarvoja, jotka valitaan vähintään verkon kytkentäpisteen suuruiseksi. Mitoitusvirralla tarkoitetaan suljetun katkaisijan koskettimilla kulkevaa suurinta jatkuvan virran arvoa. Mitoitusjännite valitaan kytkettävän verkon suurimman käyttöjännitteen mukaan ja sillä ohjataan katkaisijan eristyksen tasoa eli jännitekestoisuutta. Katkaisukyvyllä tarkoitetaan suurinta virtaa, joka katkaisijalla voidaan katkaista ilman laitteen vaurioitumista. Sulkemiskyvyllä tarkoitetaan katkaisijan sulkeman oikosulkupiirin suurinta virran arvoa, jolla ei vielä menetetä katkaisijan toimintakykyä. (Elovaara & Haarla 2011, 186–189.)

Erottimella tarkoitetaan kytkinlaitetta, jota käytetään kuormittamattoman verkon osan erottamiseen syöttävästä jännitteestä. Erottimen toiminnan turvallisuusvaatimuksina pidetään kosketinten avausvälin luotettavuutta ja jännitelujuutta. Luotettavuus varmistetaan näkyvällä avausvälillä tai kosketinten koneistoon liitettyllä asennonosoituksella. Jännitelujuus varmistetaan laitteen oikealla mitoituksella, jossa huomioidaan eristystason lisäksi avausvälin pituuden vaikutus eristävään väliaineeseen. Lisäksi mitoituksella varmistetaan laitteen navan kosketinten virtakestoisuus kuormitus- ja vikatilanteissa. Yhtenä turvallisuusvaatimuksena pidetään lisäksi erottimen lukittavuutta ääriasentoihin virheellisen ohjauksen estämiseksi. (Elovaara & Haarla 2011, 190.)

Erottimia rakennetaan yksi- ja kolminapaisina. Niiden tukieristinten materiaaleina käytetään posliinia, silikonipäällystettyä komposiittia ja keskijännitteellä valuhartsia. Erotinta ohjataan käsi- tai moottorikäyttöisellä ohjaimella sekä tarvittavalla vivustolla. Katkaisijan tapaan myös erotin voidaan varustaa kaukokäytettäväksi. Kuten sähköaseman esittelyssä mainitaan, asennetaan erotin kojeistoon kokoojakiskon ja katkaisijan väliin. Jos johtoyhteyden sähkön syöttösuuntaa voidaan vaihtaa, asennetaan erottimet virtapiirin katkaisijan molemmille puolille. Erotintyyppien jaottelun perusteena käytetään kosketinten liikesuuntia. Jakeluverkon sähköaseman ilmaeristeisessä suurjännitekojeistossa voidaan käyttää tartuntaerotinta päämuuntajan ensiövirtapiirin erottamiseen kokoojakiskosta. Katkaisijan jälkeisenä erottimena voidaan käyttää kaksipilarista kiertoerotinta. Keskijännitekojeistossa käytetään erottimia kahta kokoojakiskosta yhdistävän kiskokatkaisijan erottamiseen sekä kiskoapukiskojärjestelmässä ohituserottimena mahdollistamaan esimerkiksi johtolähdön katkaisijan huoltamisen syöttöpisteen vaihtuessa. Kuviossa 11 havainnollistetaan pystysuuntaan liikkuvan erottimen toimintaa. (Elovaara & Haarla 2011, 190–195.)



Kuvio 11. Pystysuuntaan liikkuvan erottimen toimintaperiaate (Electrical Workbook 2021.)

Sähköaseman kojeistossa tehtävän huolto- tai kytkentätyön turvaamiseksi käytetään maadoituserottimia. Maadoittaminen tehdään joko erillisellä maadoituserotimella tai erottimeen asennetulla maadoituskoneistolla. Maadoituserotinta käytetään jännitteettömän johdon tai kiskoston yhdistämiseksi aseman maadoitusverkon potentiaaliin. Erotettu verkon osa maadoitetaan kaikista mahdollisista syöttösuunnista. Laitteen koskettimia ohjataan käsikäyttöisellä jousiohjaimella. Suljetulta maadoituserottimelta edellytetään kykyä johtaa sen kosketinten kautta kulkeva sähkövirta turvallisesti maahan esimerkiksi jännitteen palautuksen virheellisessä kytkinlaitteiden käytössä. (Monni & Ketola 2019, 140.)

4 SUOJAUSJÄRJESTELMÄ

4.1 Relesuojaus

Sähköaseman kojeistoja ja päämuuntajaa suojataan suojausjärjestelmällä, jolla tarkoitetaan mittamuuntajista, suojarieleistä, katkaisijoista, apusähköjärjestelmästä sekä tiedonsiirtojärjestelmästä muodostettavaa kokonaisuutta. Suojausjärjestelmän käyttötarkoituksena pidetään henkilöiden, sähköjärjestelmän sekä ympäristön suojaamista sähkövian aiheuttamilta voimavaikutuksilta. Järjestelmää ohjataan suojarieleillä. Käsitteellä tarkoitetaan sähköistä tai sähkömekaanista laitetta, jonka automatiikalla ohjataan johdon katkaisijaa mittaustiedon perusteella. Suojarieleen toimintaperiaatteen voidaan sanoa koostuvan seuraavista osakokonaisuuksista: mittaus, ohjaus ja hälytys. Suojaustoiminnon mukaista, sähköistä suuretta mitataan mittamuuntajien toisiopiireistä. Mittausarvon saavuttaessa tai ylittäessä releen asetellun toiminta-arvon saadaan rele havahtumaan. Havahtumisen jälkeisen asetellun toiminta-ajan kuluttua ohjataan releellä katkaisijan avauspiiri aktiiviseksi. Ohjauksesta lähetetään hälytystieto valvontajärjestelmään. Rele saadaan palautumaan havahtumisesta, mikäli vian todetaan poistuneen ennen toiminta-ajan täyttymistä. (Elovaara & Haarla 2011, 335–336, 344.)

Hyvän relesuojauksen ominaisuuksina pidetään selektiivisyyttä, toimintanopeutta sekä luotettavuutta. Selektiivisyydellä tarkoitetaan verkon suojauksen kattavuutta sen kytkentöjen tilojen muuttuessa. Suojauksen selektiivisyyttä edistetään aseteltavien toiminta-arvojen ja -aikojen porrastuksella. Tällä tavoitellaan sitä, että vikapaikasta lähin suojalaitte saadaan toimimaan, jolloin verkosta erotetaan mahdollisimman pieni osuus. Toimintanopeudella tarkoitetaan releen havahtumisesta vikapaikan erottamiseen kuluvaa aikaa. Toimintanopeutta edistetään porrastetuilla ja oikein valituilla suojarieleiden asetteluilla. Nopealla suojauksella rajataan vikavirran vaikutusaikaa sekä tapaturman ja vaurion mahdollisuutta. Suojauksen luotettavuudella tarkoitetaan toiminta- ja käyttövarmuutta. Näillä tarkoitetaan, että suojariele saadaan toimimaan suunnitellulla tavalla havaitessaan vian suojausalueellaan. Suojauksen luotettavuutta edistetään käyttämällä oikein mitoitettuja

ja laadukkaita laitteita sekä selektiivistä toteutusta. Lisäksi luotettavuutta edistetään kahdentamalla suojattavan verkon suojaustoiminnot käyttäen esimerkiksi kahta erillistä suojarelettä. (Elovaara & Haarla 2011, 342–344.)

4.2 Vikatyypit ja niiltä suojautuminen

Aseman sähköverkossa voi aiheutua erilaisia vikoja esimerkiksi sääolosuhteiden vaikutuksesta. Tämän takia suojausjärjestelmä varustetaan eri suojaustoimintoja sisältävillä suojareleillä. Päämuuntajan relesuojauksen kannalta yleisimpinä vikatyypeinä pidetään ylivirtaa, oikosulkua, maasulkua sekä ylijännitettä.

4.2.1 Ylivirta

Muuntajan ensiö- tai toisiovirtapiirissä saadaan kulkemaan nimellisvirtaa suurempi virta esimerkiksi verkkoon kytkemisen tai ylikuormituksen aikana. Muuntajan kytkemisessä verkkoon aiheutetaan ensiövirtapiiriin jopa 8–10-kertainen hetkellinen ylivirta virtapiirin nimelliseen virtaan verrattuna. Ominaisuutta nimitetään kytkentäsäysvirraksi, jota käytetään muuntajan sydämen magneettivuon muodostamiseen. Muuntajan ominaisuuksilla vaikutetaan kytkentäsäysvirran kesto-aikaan ja laskemiseen tyhjäkäynnin arvoon. Kytkentäsäysvirran huippuarvoa rajoitetaan katkaisijan sulkemisvastuksilla sekä synkronoitavilla katkaisijoilla. Muuntajan ylikuormituksessa ylitetään koneen toisiovirtapiirin nimellisarvo. Ylikuormituksessa aiheutetaan toisiojännitteen laskua sekä muuntajan lämpötilan nousua kuormitushäviöiden kasvaessa. Vaikutus havaitaan myös muuntajan ensiöpiirissä nousseena virran arvona. Muuntajan ylivirtasuojana käytetään vakioaikaylivirtarelettä. Ylikuormitussuojina käytetään öljyn lämpörelettä sekä käänin lämpötilan kuvaajaa. (Elovaara & Haarla 2011, 153–155, 379–380.)

Ylivirtareleellä mitataan suojattavan sähköverkon osan vaihevirtoja. Rele saadaan havahtumaan mittausarvon ylittäessä siihen asetellun toiminta-arvon. Suojaus ylivirralla voidaan toteuttaa käyttäen vakioaika- tai käänteisikaylivirtarelettä. Vakioaikaylivirtarele saadaan toimimaan eli ohjaamaan verkon katkaisijaa asetellun toiminta-ajan täytyessä. Käänteisikaylivirtareleessä käytetään lyhyempää toiminta-aikaa katkaistaessa suurempaa mitattua ylivirtaa. Päämuuntajan

ensiö- ja toisiopiirien ylivirtasuojien asettelussa huomioidaan verkon käyttötoimenpiteistä johtuva virta-arvojen vaihtelu sekä selektiivisen suojauksen toteutuminen. (Elovaara & Haarla 2011, 346–348.)

4.2.2 Oikosulku

Oikosululla tarkoitetaan suoraa johtavaa yhteyttä verkon 2 tai 3 vaiheen välillä. 3-vaiheista oikosulkua nimitetään symmetriseksi ja 2-vaiheista epäsymmetriseksi oikosuluksi. Muodostuvaan vaiheiden väliseen oikosulkupiiriin aiheutetaan suuri induktiivinen vikavirta sen pienen impedanssin vuoksi. Oikosulku aiheutetaan päämuuntajan virtapiirissä sisäisen eristysvian tai ulkoisen tekijän, kuten sääolosuhteen vaikutuksesta. Muuntajan eristysvika aiheutetaan yleensä liiallisella kuormituksella, jolla voidaan aiheuttaa oikosulku esimerkiksi käämien välille. Ulkoisen tekijän, kuten salamaniskun tiedetään voivan aiheuttaa oikosulun osuessaan esimerkiksi avojohtopylvääseen. Oikosulkusuojana käytetään differentiaali-relettä, distanssirelettä tai pikalaukaisulla varustettua ylivirtarelettä. (Elovaara & Haarla 2011, 340–341.)

Päämuuntajan oikosulkusuojana käytetään differentiaali-relettä. Releellä mitataan suojausalueen eli muuntajan ensiö- ja toisiovirtapiirien vaihevirtoja. Rele saadaan havahtumaan, kun muuntajaan tulevien ja siitä lähtevien virtojen erotuksella eli erovirralla ylitetään releen toiminta-arvo. Releellä mitataan ensiö- ja toisiovirtojen voimakkuuksia sekä virtapiirien välisiä vaihekulmia. Virtapiirin oikosulku havaitaan voimakkaana virta-arvojen nousuna. Lisäksi oikosululla aiheutetaan symmetrisesti kuormitetun 3-vaiheisen verkon vaihevirtojen epäsymmetria, jolloin mittausarvojen laskennallisella summavirralla poiketaan arvosta nolla. Differentiaali-rele vakavoidaan sen toiminnan luotettavuuden varmistamiseksi. Tällä tarkoitetaan virtaeron asettelua, jossa huomioidaan kuormitustason kasvun vaikutus virtamuuntajien mittaustietojen virheisiin. (Elovaara & Haarla 2011, 354–356.)

4.2.3 Maasulku

Maasululla tarkoitetaan johtavaa yhteyttä virtapiiriin vaiheen ja maan tai maahan yhdistetyn johtavan rakenteen välillä. Maasulku aiheutetaan esimerkiksi kojeiston

kytkinlaitteen eristimen rikkoutuessa, jolloin muodostetaan vikavirtapiiri laitteen suojamaadoituksen kautta. Vikavirtapiirissä kulkevalla maasulkuvirralla voidaan aiheuttaa hengenvaara vikapaikkaan sekä ympäristöön muodostuvien potentiaalierojen eli vaarajännitteiden vuoksi. Esimerkkinä mainitun kytkinlaitteen jännitteisen rungon ja maan välistä potentiaalieroja nimitetään kosketusjännitteeksi. Ympäristöön muodostuvalla potentiaalierolla tarkoitetaan esimerkiksi askeljännitettä, jolla tarkoitetaan maanpintaan muodostunutta paikallista jännite-eroa. (Elovaara & Haarla 2011, 340–341, 428–429.)

Sähköaseman maadoituksen runko muodostetaan maadoitusruudukosta, jolla tarkoitetaan maahan upotettuja, verkkomaisesti asennettuja maadoituselektrodeja. Maadoitusruudukkoon liitetään avojohtojen ukkosjohtimet, laitteiden suojamaadoitusjohtimet, aseman jännitteelle alttiit osat, kuten johtavat putkistot sekä mahdolliset lisämaadoituselektrodit. Aseman sähkölaitteiston ja ympäristön turvaamiseksi rajoitetaan maadoitusjännitettä eli maadoitusverkossa syntyvää jännitehäviötä. Maasta erotetussa verkossa tämä tehdään parantamalla maadoitusverkon johtavuutta lisämaadoituselektrodeilla sekä rajoittamalla maasulkuvirran vaikutusaikaa suojareleen toiminta-ajan lyhentämisellä. Kompensoidussa verkossa pienennetään syntyvän maasulkuvirran arvoa verkon tähtipisteen ja maan väliin kytkettävällä kompensointikelalla. Maasulkusuojana käytetään vaiheiden summavirtaa mittaavaa ylivirtarelettä, distanssirelettä tai suunnattua maasulkurelettä. (Elovaara & Haarla 2011, 446–448, 451–452.)

Suunnattua maasulkurelettä käytetään sekä maasta erotetun verkon että kompensoidun verkon maasulkusuojana. Releellä mitataan nollavirtaa ja -jännitettä sekä näiden vaihekulmia. Nollavirran mittaustieto tuodaan releeseen kaapelivirtamuuntajalta tai virtamuuntajien rinnan kytketystä toisiopiiristä summavirtana. Nollajännitteen mittaustieto tuodaan jännitemuuntajien summajännitettä mittaavasta avokolmiokäämityksestä. Maasta erotetun verkon suunnatun suojauksen toimintaperiaatteina käytetään maasulkuvirran kapasitiivisen osan voimakkuutta ja suuntaa sekä nollavirran ja -jännitteen kulmamittausta. Kulmamittauksessa rele saadaan havahtumaan nollavirran ja -jännitteen asetteluarvoja suuremmilla mittausarvoilla niiden ollessa toimintasektorin mukaisessa vaihekulmassa. Kompensoidussa verkossa pienennetään kapasitiivisen varausvirran ja siten syntyvän

maasulkuvirran arvoa käyttömaadoituspiirin kompensointikelan tuottamalla induktiivisella virralla. Täysin kompensoidussa eli sammutetussa verkossa maasulkurele saadaan havahtumaan kompensointikelan rinnalle kytketyn vastuksen resistiivisestä virrasta. (ABB 2000c, 11–17.)

4.2.4 Ylijännite

Aseman sähköjärjestelmää suojataan ylijännitteeltä, jolla tarkoitetaan laitteiston jatkuvan käyttöjännitteen ylittävää pää- ja vaihejännitteen arvoa. Päämuuntajaa suojataan jänniterasituksilta toimintakunnon ja eristyksen ylläpitämiseksi. Ylijännitesuojauksella pyritään myös rajoittamaan verkkoon aiheutuvia käyttöhäiriöitä. Jänniterasituksella tarkoitetaan jatkuvaa käyttöjännitettä sekä lyhytaikaista ylijännitettä. Jatkuvalla käyttöjännitteellä tarkoitetaan suurinta laitteeseen jatkuvasti kohdistuvaa jännitettä. Lyhytaikaisesta ylijännitteestä käytetään nimitystä transienttiylijännite. Lyhytaikaista ylijännitettä tiedetään muodostuvan ilmastollisen syyn, kuten ukkosen sekä verkon tilamuutoksen, kuten kytkentätoimenpiteen vaikutuksesta. Lisäksi ylijännitesuojauksen yhteydessä puhutaan pientaajuisesta ylijännitteestä, jolla tarkoitetaan vikatilanteesta, kuten maasulusta seurannutta värähtelevää ylijännitettä. Aseman sähköjärjestelmää suojataan transienttiylijännitteeltä käyttäen ukkosköysiä sekä ylijännitesuojia. Järjestelmää suojataan pientaajuiselta ylijännitteeltä käyttäen nollajännitereleitä kojeistojen kokoojakiskostojen maasulkusuojaukseen. Jos päämuuntajan ensiöjännitettä säädetään käämikytkimellä, voidaan suojausta täydentää ylijännitereleellä, jolla estetään käämikytkintä ohjaavan jännitesäätäjän toiminta vikatilanteessa. (Elovaara & Haarla 2011, 11–15, 78–80, 360.)

Päämuuntaja suojataan transienttiylijännitteiltä käyttäen ylijännitesuojia. Ylijännitesuojalla tarkoitetaan usein kipinävälitöntä venttiilisuoja, jonka aktiiviosa koostaan ladotuista sinkkioksidivaristoreista. Varistorit sijoitetaan eristetyn ja tiivistetyn kuoren sisään. Ylijännitesuojat kytketään muuntajan ensiökäämien rinnalle ja toiset päät yhdistetään maadoitukseen. Lyhytaikaisen ylijännitteen saavuttaessa suojan kynnsjännitteen arvon, saadaan suojan aktiiviosa johtavaksi. Suoja saadaan palautumaan purkausvirran laskiessa vaikuttavan jännitteen arvon alle kynnsjännitteen. (Monni & Ketola 2019, 125.)

5 SÄHKÖASEMAN NYKYTILANTEEN KARTOITUS

5.1 Työn suoritus

Kartoitettava sähköasema on kahden päämuuntajan syöttöasema, jota käytetään keskijännitteisen jakeluverkon syöttämiseen. Suurjännitekojeisto on toteutettu ulkokytkinkenttänä. Koteloitu, ilmaeristeinen keskijännitekojeisto on sijoitettu asemarakennukseen. Keskijännitekojeisto on toteutettu kaksikiskojärjestelmänä.

Tutkimus aloitettiin jo ohjatun työharjoittelun aikana, koska tunnistettiin työn suorituksen edellyttämä aikatarve. Ensimmäisenä suoritettiin tehtäväperehdytys työkohteessa. Tuolloin käytiin läpi turvallisuusnäkökohdat työnteosta sähköasemalla. Lisäksi käytiin läpi sähkökeskuksen johdotustaulukkopohjan käyttö taulukon 1 mukaan. Tutkimuksen osalta todettiin ensimmäisen selkeän työvaiheen olevan ohjauskeskuksen keskuskaappien kytkentöjen fyysinen läpikäynti eli johdotuksen seuraaminen kytkentäpisteisiin. Johdotuksen selvityksessä korostettiin sähkötyöturvallisuutta, koska kyseiseen sähkökeskukseen oli kytketty useita tasa- ja vaihtojännitteisiä ohjausjännitesyöttöjä. Lisäksi tiedostettiin osan keskuskaappien laitteista ja kytkennöistä olevan iäkkäitä, joten selvitystyössä varottiin vaurioittamasta johdinyhteyksiä ja liittimiä. Ennen kunkin keskuskaapin läpikäyntiä kiristettiin sen riviliittimet johtimen irtoamisen ja siitä mahdollisesti seuraavan vikatilanteen välttämiseksi.

Taulukossa 1 nähdään esimerkki johdotustaulukkopohjan käytöstä. Työssä tehtiin vastaavasti täytettyjä taulukon lehtiä yhteensä 34 kappaletta.

Taulukko 1. Johdotustaulukko

JOHDOTUSTAULUKKO															
M	KOHDE		KAAPELI		RIVILIITIN				KAAPELI			KOHDE		Huom.	M
	Tunnus	Liitin	Numero	Johdin	Ketjutus	Apumerkki	Lista	No	Ketjutus	Johdin	Numero	Liitin	Tunnus		
	JK 10	10	W123	RU		UL1 110 kV		X11		1		4	F30		
	JK 10	11	W123	MU		UL2 110 kV				2		5	F30		
	JK 10	12	W123	HA		UL3 110 kV				3		6	F30		
										4					
										5					
										6					
	JK 11	13	W234	RU		IL1 110 kV			7	7		11	F30		
	JK 11	14	W234	MU		IL2 110 kV			8	8		12	F30		
	JK 11	15	W234	HA		IL3 110 kV			9	9		13	F30		
	JK 11	16	W234	SI		N			10	10		14	F30		
										11					
										12					
										13					
										14					
										X12					
	Tasasähkökeskus	20	31	1		Ohjauksjännite +					13	30	F30		
										2					
	Tasasähkökeskus	21	31	2		Ohjauksjännite -					15	31	F30		
										4					
										5					
										6					
	JK 12	17	33	5		Katkaisijan auki-ohjaus						20	F30		
										8					
										9					
	JK 12	18	34	6		Katkaisija auki - tila tieto						21	F30		
										10					
										11					
										12					
										13					
										14					
										15					

Koska keskuskaappien kytkentöjen selvitykset tehtiin yhden henkilön toimesta, todettiin järkeväksi tehdä johdotustaulukoiden luonnosversiot eli punakynät käsin. Päivinä, jolloin kytkentöjä selvitettiin, varattiin työaikaa luonnosversion merkintöjen siirtämiseen johdotustaulukkopohjaan. Myös työtulosten dokumentoinnissa korostettiin laatua, jotta käsitellyt kytkennät tunnistettaisiin myöhemmin työn edetessä. Keskuskaappien johdotukset selvitettiin riviliittimiltä laitteiden kytkentäliittimille siten, että riviliitinrima käsiteltiin kokonaisuutena. Keskuskaappien riviliitinten läpikäynnin jälkeen käsiteltiin niiden ketjutukset eli laitteiden väliset suorat johdinyhteydet. Ketjutuksilla oli yhdistetty ohjauvirtapiirejä samaan jännitesyöttöön, jolloin oli voitu vähentää esimerkiksi yksittäiseen suojareleeseen kytkettyjen johdinten kokonaismäärää. Ketjutuksia oli tehty myös riviliittimiin ja ne dokumentoitiin riviliitinrimojen käsittelyn yhteydessä. Ketjutusten läpikäynnin jälkeen suoritettiin kaappien valokuvaus laitetunnusten, -mallien sekä laitteiden liitäntäkaavioiden dokumentoimiseksi.

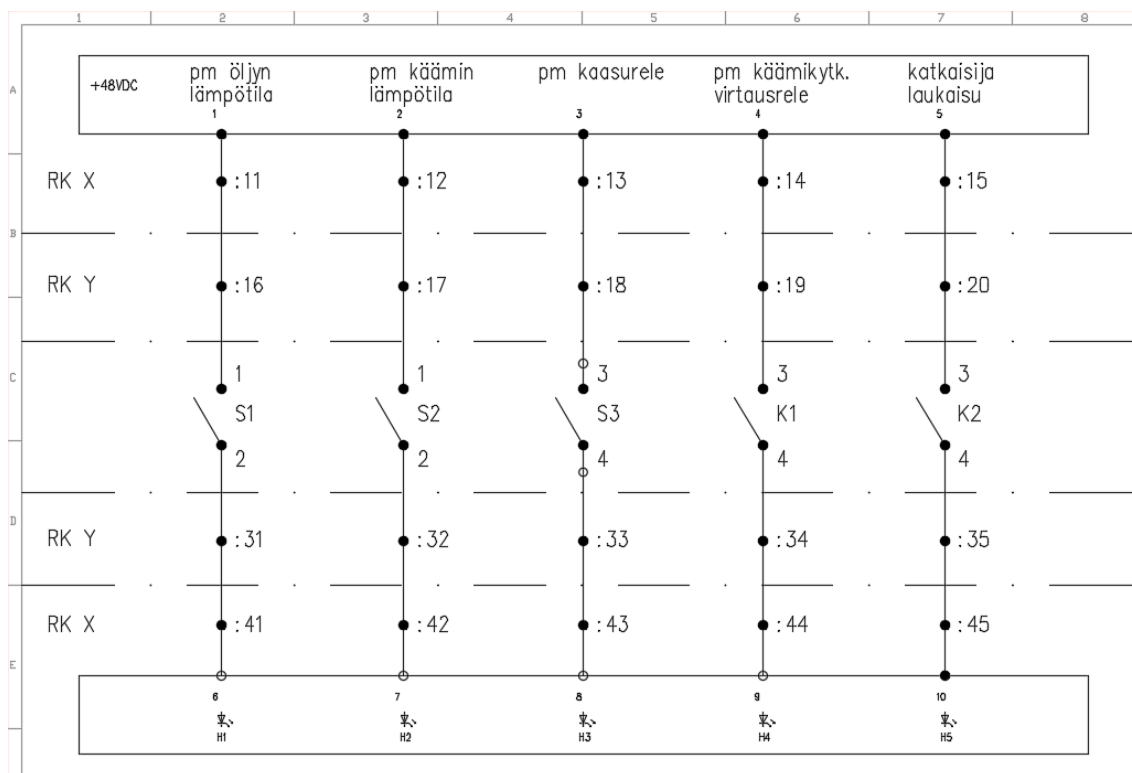
Ohjauskeskuksen kaappien kytkentöjen fyysisen läpikäynnin jälkeen tehtiin työn rajauksen mukaisen dokumentaation nykytilan kartoitus. Tässä käytettiin Au-

toCAD suunnitteluohjelmistoa. Tarkastelussa havaittiin hälytysyksikön sisältäneen keskuskaapin dokumentaation olleen suppea. Lisäksi havaittiin toisen päämuuntajan suojauksen dokumentaation tietojen olleen osin vanhentuneita jo laitemallien perusteella. Dokumentaation tarkastelun jälkeen haettiin suojarleiden sekä hälytysyksikön laiteohjeet ja aloitettiin perehtyminen tutkimusaineistoon. Dokumentaation tarkastelussa tehtyjen havaintojen perusteella aloitettiin piirikaavioiden tarkistaminen paremmin dokumentoidun päämuuntajan suojarleista. Kunkin suojarleen kuvien tarkistamiseksi perehdyttiin valmistajan julkaisemaan laiteohjeeseen sekä kyseisen päämuuntajan suojauskaavioon. Suojauskaaviota ja laiteohjetta hyödyntäen selvitettiin suojarleen käyttötarkoitus ja liitântäkaavion sisältö.

Kunkin suojarleen kytkentöjen tarkistus tehtiin vertaamalla dokumenteissa esitettyjen virtapiirien rakenteita ja kytkentäpisteitä osin täytettyjen johdotustaulukoiden tietoihin. Laiteohjeen liitântäkaaviota hyödyntäen tunnistettiin suojarleeseen kytkettyjen virtapiirien lajit, kuten mittaus, ohjaus, tilatieto sekä hälytys. Virtapiirien tietotyypit sekä kytkentäpisteet täydennettiin johdotustaulukoihin. Piirikaavioihin tehtiin tarvittavat muutokset, jotta ne saatiin vastaamaan johdotustaulukoiden tietoja rakenteellisesti ja sisällöllisesti. Tutkimuksen edetessä tunnistettiin dokumentoimattomia laitteita työkohteesta. Laitteet kytkentöineen mallinnettiin mukaillen niiden laiteohjeita sekä toimeksiantajan muiden sähköasemien vastaavien kohteiden dokumenttien rakenteita. Tässä työvaiheessa toteutettiin esimerkiksi kyseisen sähköaseman hälytyspiirikaaviopohja sekä muutamien suojarleiden liitântäkaaviot. Hälytyspiirien dokumentoimiseksi etsittiin tarvittavat kytkentäpisteet aseman dokumentaatiosta. Ensimmäisen päämuuntajan suojauksen kartoituksesta pidettiin työmuistiota, jotta siinä tehtyjä havaintoja järjestelmän toteutuksesta voitaisiin hyödyntää toisen päämuuntajan suojauksen kartoitukseen.

5.2 Tulokset

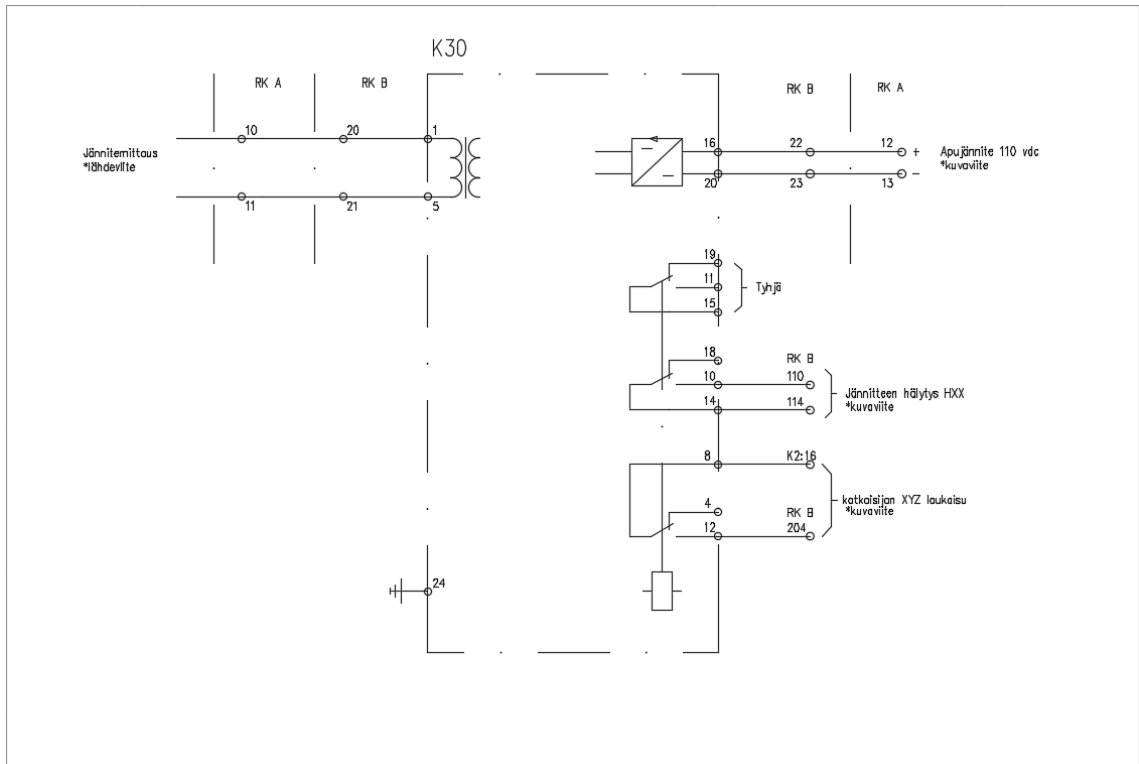
Opinnäytetyössä kartoitettiin sähköaseman päämuuntajien suojauksen nykytila toimeksiannon rajauksen mukaan. Työn tuloksena saatiin 110 kV ohjauskeskuk- sen keskuskaappien täytetyt johdotustaulukot sekä ajantasaiset piirikaaviot toi- meksiantajan käyttöön. Kuviossa 12 nähdään esimerkki hälytyspiirikaaviopohjan käytöstä. Työssä tehtiin vastaavasti täytettyjä hälytyspiirien lehtiä yhteensä 14 kappaletta.



Kuvio 12. Hälytyspiirikaavio

Työalueeseen kuuluneiden suojareleiden sekä apulaitteiden toiminnot jaoteltiin muokattuihin sekä uudelleen piirrettyihin piiri- ja liitântäkaavioihin. Tehdyissä do- kumenteissa käsiteltiin esimerkiksi suojareleiden mittaus- ja ohjausvirtapiirit, toi- milaitteilta saatavat tilatiedot, muuntajasuojien toiminnot, kytkentään rakennetut lukitukset, katkaisijoiden laukaisupiirit sekä apujännitejaku.

Kuviossa 13 nähdään esimerkki suojarleen liitântäkaavion mallinnuksesta.



Kuvio 13. Suojareleen liitântäkaavio

Työn tuloksena saatiin tietoa suojauksen toiminnasta järjestelmän nykytilassa.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin 110/10 kV sähköaseman päämuuntajien suojauksen nykytilan kartoitus. Työn tuloksena odotettiin ajantasaista dokumentaatiota 110 kV ohjauskeskuksen päämuuntajien suojausjärjestelmän sisältävistä keskuskaapeista. Tutkimuksessa selvitettiin kyseisten keskuskaappien kytkentöjen nykytila, perehdyttiin laitteiston dokumentaation sisältöön, käyttöön ja laitevalmistajien laiteohjeisiin sekä vertailtiin laitteiston viimeisimpien dokumenttien sisältöä selvitystyön tuloksiin. Työn tuloksena saatiin tehtävärajauksen mukaisen sähkölaitteiston osan päivitettyt dokumentit toimeksiantajan käyttöön.

Työssä perehdyttiin myös sähköasemalla käytettäviin laitteisiin, laitteiston rakenteeseen sekä suojausjärjestelmään ja sen toimintaan. Työn tuloksena laajennettiin ymmärrystä myös sähköverkkojen rakenteista sekä järjestelmän suojauksen kannalta huomioitavista teknisistä vaatimuksista. Työn kattavuuden vuoksi tekijältä odotettiin kykyä turvalliseen, itsenäiseen ja järjestelmälliseen työskentelyyn. Tutkimuksessa ilmenneitä laitteiston toimintaan liittyneitä kysymyksiä tarkasteltiin yhteistyössä. Työtulosten todettiin olevan hyödynnettävissä toimeksiantajan tarpeisiin, joten opinnäytetyölle asetetut tavoitteet katsottiin saavutetuiksi.

LÄHTEET

ABB 2000a. Teknisiä tietoja ja taulukoita-käsikirja. Luku 11. Tehomuuntajat. Viitattu 8.4.2023 https://heikkilaakso.com/opetus/abb/110_0007.pdf

ABB 2000b. Teknisiä tietoja ja taulukoita-käsikirja. Luku 13. Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot. Viitattu 7.4.2023 https://heikkilaakso.com/opetus/abb/130_0007.pdf

ABB 2000c. Teknisiä tietoja ja taulukoita-käsikirja. Luku 8. Maasulkusuojaus. Viitattu 10.4.2023 https://heikkilaakso.com/opetus/abb/080_0007.pdf

Ahoranta, J. 2009. Sähkötekniikka. 10. painos. Helsinki: WSOY.

Electrical Workbook 2021. Electrical Isolator, Disconnect, Disconnect switch. Viitattu 12.4.2023 <https://electricalworkbook.com/electrical-isolator-disconnector-disconnect-switch/>

Electronics Tutorials 2022. Three Phase Transformers. Viitattu 17.4.2023 <https://www.electronics-tutorials.ws/transformer/three-phase-transformer.html>

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot: II, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto Helsinki University Press.

Fingrid Oyj 2023a. Fingridin sähkönsiirtoverkko. Viitattu 20.3.2023 <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/fingridin-sahkonsiirtoverkko/>

Fingrid Oyj 2023b. Pohjoismainen sähköjärjestelmä ja liitynnät muihin järjestelmiin. Viitattu 20.3.2023 <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/pohjoismainen-sahkojarjestelma-ja-liitynnat-muihin-jarjestelmiin/>

Fingrid Oyj 2023c. Sähköjärjestelmän tila. Viitattu 20.3.2023 <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/>

James Bernth 2020. Understanding Potential Transformers. Viitattu 17.4.2023 <https://www.electriciansjournal.com/home/understanding-potential-transformers>

JT-Export Oy 2023. Päämuuntaja 6/7,5 MVA ja 110 kV kytkinkenttä. Viitattu 9.4.2023 <https://www.jt-export.com/shop/product/pmuun1-paamuuntaja-6-75-mva-ja-110-kv-kytkinkentta-2437>

Kiran Daware 2014. Buchholz Relay – Construction, Working. Viitattu 9.4.2023 <https://www.electricaleasy.com/2014/06/buchholz-relay-construction-working.html>

Lakervi, E. & Partanen, J. 2009. Sähkönjakelutekniikka. 2. uudistettu painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Maviko Oy 2023. Sähköasemat. Viitattu 8.4.2023 <https://www.maviko.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoasemat/>

Monni, M. & Ketola, J. 2019. Jakelumuuntamotyöt, sähköasematyöt. 5. kokonaan uudistettu painos. Helsinki: Adato Energia.

Neve Oy 2023a. Neve Oy – Pohjoisen elämän puolesta. Viitattu 14.4.2023 <https://www.neve.fi/tietoa-meista/neve>

Neve Oy 2023b. Sähkön tuotteet ja palvelut asukkaalle. Viitattu 14.4.2023 <https://www.neve.fi/asukkaalle-tuotteet/sahko.html>

Norelco Oy 2022. NPM 530 kompakti vakiomuuntamo. Viitattu 7.4.2023 <https://www.norelco.fi/fi/tuote/npm-530-kompakti-vakiomuuntamo>

Rovaniemen Verkko Oy 2022. Sähkön liittymismaksut ja niiden sovellusohjeet 1.7.2022. Viitattu 6.4.2023 https://www.neve.fi/wp-content/uploads/2022/09/Rove_Liittymismaksujen_m_r_ytymisperusteet_ja_niid_en_soveltamisohjeet_01072022.pdf

SFS 6002 2015. Sähkötyöturvallisuus. Safety at electrical work. 3. painos. Helsinki: SFS

SFS 6001 2018. Suurjännitesähköasennukset. High-voltage electrical installations. 5. painos. Helsinki: SFS

Study Electrical 2018. Current Transformer (CT) – Construction and Working Principle. Viitattu 10.4.2023 <https://studyelectrical.com/2018/09/current-transformer-ct-construction-working-operating-principle-advantages-uses.html>

Sätköturvallisuuslaki 16.12.2016/ 1135. Viitattu 15.4.2023 <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135>

Säteilyturvakeskus 2021. Sähkönsiirto ja -jakelu. Viitattu 20.3.2023 <https://www.stuk.fi/aiheet/sahkonsiirto-ja-voimajohdot/sahkonsiirto-ja-jakelu>

Technical Books Pdf 2018. sulfur hexafluoride SF6 Circuit Breaker, Principle, Construction and Working. Viitattu 11.4.2023 <https://www.technicalbookspdf.com/sulfur-hexafluoride-sf6-circuit-breaker-principle-construction-and-working/>

Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 21.12.2016/ 1434. Viitattu 15.4.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161434>