

110 KV DEMOKENTTÄ JA MUUNTAJAVIKOJEN SIMULOINTI

Tero Antinaho

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

2015

Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Insinööri AMK

---

<b>Tekijä</b>	Tero Antinaho	<b>Vuosi</b>	2015
<b>Ohjaaja</b>	Aila Petäjäjärvi, Insinööri		
<b>Toimeksiantaja</b>	Lapin Ammattikorkeakoulu		
<b>Työn nimi</b>	110 kV Demokenttä ja Muuntajavikojen Simulointi		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	93 + 46		

---

Työn aiheena oli sähkövoimatekniikan laboratorion oppimisympäristön 110 kV demolaitteisto ja muuntajan vikojen simulointi. Työn tavoitteena oli ottaa käyttöön muuntajavikojen ja maasulkuvikojen simulointi ja luoda sähköturvallisuus huomioiden käyttöohjeet vikojen simulointiin. Käyttöohjeet tulevat Lapin Ammattikorkeakoululle sähkövoimatekniikan laboratoriossa oppimistarkoitukseen. Itse demolaitteisto on uusi ammattikorkeakoulun sähkövoimalaboratoriossa. Työ tehtiin 2015 helmi- ja huhtikuun välisenä aikana.

Teoriaosassa opinnäytetyössä käsiteltiin paljon relesuojausta, vikatapauksia ja maasulkusuojausta. Relesuojauksesta käytiin läpi kahta yleisintä suojastapaa. Työn esittelyosiossa esitetään 110 kV demolaitteisto ja sen toiminta tietyissä tilanteissa. Lähdemateriaalit pohjautuvat hyvin paljon alan kirjallisuuteen sekä laitevalmistajien internetsivuihin.

Kyseinen aihe opinnäytetyönä oli haasteellinen, koska työ käsitti valtavasti materiaalia. Rajausten jälkeen aiheesta vähennettiin toiminnallisten osuuksien tekemistä ja työhön päästiin käsiksi. Lopputuloksena työstä saatiin käyttöohjeet vikojen simuloinnille oppimistarkoitukseen.

Työssä saavutettiin sille asetetut tavoitteet ja työntuloksena syntyi 110 kV:n demolaitteiston muuntajavikojen ja maasulkujen simulointiohjeistus ja kehitysehdotus työohjeistukseen. Suojauksien osalta syntyi kattava dokumentti, vaikka se on vasta pintaraapaisu kyseiseen asiaan.

Avainsanat maadoitus, muuntajat, sähköasemat, sähkönsiirto, voimansiirtoverkot

Electrical Engineering  
University of Applied Sciences  
Bachelor of Electrical Engineering

---

<b>Author</b>	Tero Antinaho	Year	2015
<b>Supervisor(s)</b>	Aila Petäjäjärvi, B.Sc. (Tech.)		
<b>Commissioned by</b>	Lapland University of Applied Sciences		
<b>Subject of thesis</b>	110 KV Demofield and Simulation of Transformer Faults		
<b>Number of pages</b>	93 + 46		

---

The subject of the thesis was electric power engineering laboratory learning environment for 110 kV Demofield and transformer fault's simulation. The aim of the thesis was to make implement a transformer faults and earth- fault simulation's and create electrical safety, taking into account the user to simulate faults. Operation instructions for use will come to the Lapland University of Applied Sciences in the electric power engineering laboratory for learning purposes. In fact, the demo itself is new in University Applied Sciences electric power laboratory for learning purposes. The work was done during the period between February and April of 2015.

The theoretical part of the thesis was concerned with a lot of relay protection, fault and earth- fault's protection. Relaying was gone two common protection methods. The presentation of the thesis section presents 110 kV Demo equipment and its action in certain situations. The source materials were based on very much in the field of literature, as well in the manufacturer's Internet websites.

The subject of the thesis was challenging, because the work consisted of huge amount of material. After definitions, subject was reduced by making of operational parts. The result of work was for the instruction for the fault simulation for learning purposes. The objectives were achieved and resulted in 110 kV Demo equipment transformer faults and earth- faults simulation and guidance for developing the proposal and work instructions. Within the regard of the comprehensive protection of the documentary was made it although only scratched the surface of said matter.

Key words                      grounding, transformer, substation, transmission of electricity, power transfer network

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	STANDARDIT, ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET .....	9
3	SÄHKÖNJAKELUVERKKO .....	10
3.1	Sähköverkon tyypit .....	13
3.2	Sähkövoiman tuotanto ja siirto .....	14
3.3	Sammutettu verkko .....	16
3.4	Maasta erotettu verkko .....	18
3.5	Maadoitettu verkko .....	19
4	MAASULUT .....	20
4.1	Maasulkujen ilmeneminen .....	21
4.2	Maasulkusuojaus .....	27
4.3	Epäsymmetriset viat.....	30
4.4	Oikosulut.....	32
4.5	Epäsymmetrisyyttä kolmivaihejärjestelmässä .....	37
5	MUUNTAJATYYPIT .....	41
5.1	Muuntajien suojaus.....	43
5.2	Käämi- ja kierrossulku.....	49
5.2.1	Käämioikosulku .....	50
5.2.2	Kierrossulku .....	51
5.3	Maadoitustavan vaikutus .....	52
6	RELESUOJAUS .....	54
6.1	Suojarelelajit .....	57
6.1.1	Sähkömekaaniset releet.....	57
6.1.2	Numeeriset releet.....	59
6.1.3	Releen itsetestaustoiminto .....	60
6.1.4	Reletyyppejä .....	61
6.2	Differentiaalireleen toiminta. ....	63
6.3	Sammutetun verkon relesuojaus .....	65
6.4	Maasta erotetun verkon relesuojaus.....	65
6.5	Suojareleiden koestus tapoja.....	66
7	SÄHKÖASEMA.....	68
8	SÄHKÖVOIMATEKNIIKAN LABORATORION 110 KV DEMOKOJEISTO ...	72

8.1	Demokojeiston esittely .....	75
8.1.1	REF 630 .....	77
8.1.2	RET 615 .....	80
8.1.3	WIMO6CP10 .....	82
8.1.4	Sammutuslaitteisto .....	84
8.1.5	Microscada .....	84
8.1.6	Omicron 356 .....	86
9	MAASULUN JA KÄÄMISULUN SIMULOINTI .....	87
10	POHDINTA .....	89
	LÄHTEET .....	91
	LIITTEET .....	93

## ALKUSANAT

Kiitän Lapin Ammattikorkeakoulua opinnäytetyöstä ja ohjaajani Aila Petäjäjärveä opinnäytetyön ohjaamisesta. Perhettä kiitän tuesta ja kannustuksesta koko opinnäytetyöprosessin aikana.

Kemi 20.4.2015

Tero Antinaho

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boveri
IEC 61850	Standardi tietoliikenteelle ja tietoliikennejärjestelmille sähköasema-automaatiossa.
$I_k''$	alkuoikosulkuvirta.
$i_s$	sysäysoikosulkuvirta.
$\leq$ , kulma	Matemaattinen operaattori kulmamuodolle.
MicroSCADA	Supervisory Control And Data Acquisition.
SF <sub>6</sub> - katkaisija	Kaasulla toimiva ja eristettykatkaisija.
USB	Universal Serial Bus.
$\omega$	$2\pi f$ eli kulmanopeus.
$Z_0$	nollaimpedanssi.
$Z_1$	myötäimpedanssi.
$Z_2$	vastaimpedanssi.
$Z_f$	vikaimpedanssi.

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Lapin ammattikorkeakoululle sähkövoimatekniikan laboratorion 110 kV:n demokenttään. Laitteistoa tullaan käyttämään relesuojausten opetus- ja testauskäyttöön sähkövoimalaboratoriossa ja muuntajavikojen simuloinnissa. Laitteistoa ei vielä ole käytetty maasulun tai käämisulun simulointiin ja relesuojauksen toiminnan tutkimiseen siinä laajuudessa, kuin laitteistolla on mahdollista.

Opinnäytetyössä luotiin ohjeistus 110 kV käämisulun ja käämikierrrossulun simulointiin sähköturvallisuusnäkökohdat huomioon ottaen. Ohjeistusten avulla muuntajaviat ja maasulkuja voidaan simuloida käyttäen demolaitteistoa ja Omicronin- relekoestuslaitetta.

Aiheeksi tämä kyseinen työ valikoitui omasta mielenkiinnosta laitteistoa sähköasemalaitteistoa ja relesuojauksia kohtaan. Työ itse oli hyvin haasteellinen, koska jouduin opettelemaan myös uusia asioita, mittalaitteiston käyttöä sekä relesuojausta. Opinnäytetyönä kyseinen aihe oli hyvin opettavainen kokemus ja pääsi syventämään jo opittuja asioita. Lähdemateriaalia oli hyvin paljon, joten rajauksen tekeminen oli haasteellista. Tiettyjä asioita rajattiin pois, ettei työ kasva turhan laajaksi.



## 2 STANDARDIT, ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET

Suurjänniteasennusten määräyksissä määritellään, että jokainen maasulku tulee kytkeä pois, joko automaattisesti tai käsin. Tällä tavoin pyritään estämään maasulkujen aikana syntyvä kosketusjännite pitkäaikaisena tai jatkuvana. Maasulun poiskytkemisessä tulisi yleensä käyttää automaattista toimintoa. Hälytys, joka aiheutuu maasulusta, voidaan kytkeä pois käsin vain silloin, kun verkon luonne vaatii maasulun aiheuttamaa keskeytyksen siirtämistä sopivampaan ajankohtaan. Hälytys ja käsin poiskytkentää käytettäessä sen on täytettävä seuraavat ehdot. (SFS-Käsikirja 601 2009, 80.)

Verkon rakenteen tulee olla sellainen, että todennäköisyys valokaarimaasululle on hyvin pieni. Verkon tulee olla kaapeliverkko tai ilmajohtoverkko, joissa valokaarimaasulku voi sammua itsestään. (SFS-Käsikirja 601 2009, 80.)

Maasulusta täytyy aiheutua hälytys, joka saatetaan välittömästi verkon käyttöä valvovan henkilön tietoon. Maasulkuvian selvittäminen on aloitettava välittömästi. Maasulun aikana verkon käyttöä voidaan jatkaa kahden tunnin ajan, ja sille on ehtona, ettei maasulusta aiheudu ilmeistä vaaraa ihmisille tai omaisuudelle tai toiselle laitteistolle. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa pidempäänkin edellyttäen, että maasulun sijaintikohta on löydetty ja varmistettu ettei se aiheuta vaaraa. Jakelumuuntamoilla tapahtuvan maasulun aikana ei saa käyttöä jatkaa, mikäli se ei ole laajan maadoitusjärjestelmän alueella. (SFS-Käsikirja 601 2009, 80.)

Jatkuvan maasulun aikana esiintyvä maadoitusjännite saa korkeintaan olla 150 V, joka on myös pitkäaikaisesti sallitun maadoitusjännitteen suuruinen. (SFS-Käsikirja 601 2009, 80.)

Heikkovirtajärjestelmien asettamat vaatimukset on otettava huomioon (Televerkot). (SFS-Käsikirja 601 2009, 80.)

### 3 SÄHKÖNJAKELUVERKKO

Suomessa sähkönjakeluverkko koostuu neljästä eri verkosta. Verkot ovat kantaverkko, alueverkko, jakeluverkko ja pienjänniteverkko. Kyseisille verkoille on jokaiselle oma käyttötarkoitus, jonka mukaan voidaan määritellä näiden toiminta. Kyseisillä verkoilla on erona myös jännitteet, jotka voidaan myös jaotella eri jänniteluokkiin. Lisäksi kyseiset jännitteet ovat Suomessa standardoitu. Luokat ovat suurjännite-, keskijännite-, ja pienjänniteluokka.

- Suurjänniteluokkaan kuuluu kaikki yli 36 kV menevät jännitteet.
- Keskijänniteluokkaan kuuluu 1 kV - 36 kV välillä olevat jännitteet.
- Pienjänniteluokkaan kuuluu kaikki 1 kV:n alle menevät jännitteet.

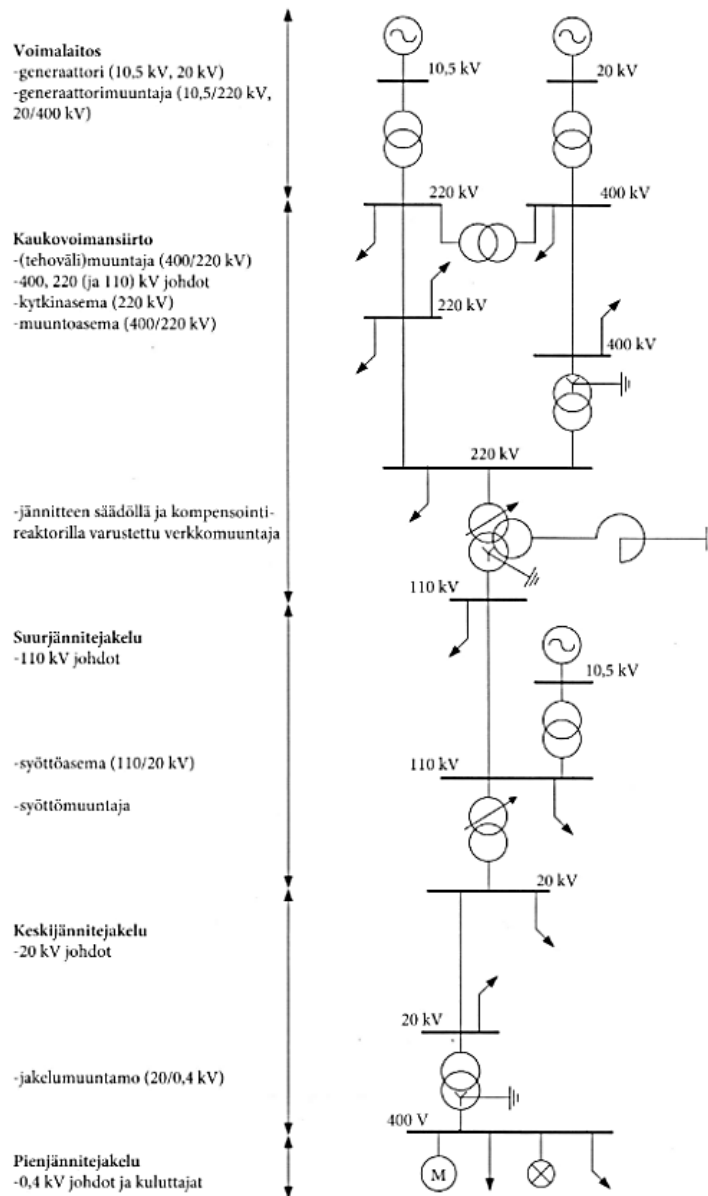
(Hietalahti 2013,82; SESKO ry 2015,8.)

Kantaverkko kuuluu suurjänniteluokkaan, jonka jännitetasot ovat 400 kV, 220 kV ja 110 kV. Kantaverkko käsittää koko maan kattavan sähkönsiirtoverkon, josta siirretään sähkövoimaa muille verkoille. Kyseisen verkon Suomessa omistaa Fingrid Oy ja se sääntelee mm. kantaverkkoon liittyjille vaatimukset esimerkiksi suojauksen kannalta. Joitakin 110 kV:n verkkoja on jakeluyhtiöiden omistuksessa ja heillä on lupa kyseiseen verkkotyyppiin. Suomen kantaverkolla on myös yhteydet naapurimaiden verkkoihin, kuten Ruotsiin, Norjaan ja Venäjään. Suomi voi vastaanottaa sähkönsiirtoa naapurimaista ja viedä sitä myös itse. Suomen ja Ruotsin sähköverkkojen yhteys on sellainen, että Ruotsin verkko sääntelee taajuutta myös Suomessa ja tästä syystä taajuuden muutoksesta on ilmoitettava Ruotsiin. (Elovaara & Haarla 2013,61.)

Kantaverkko huolehtii sähkönsiirrosta alueverkoille. Alueverkot huolehtivat sähkönsiirrosta alueellisella tasolla, johon nimi viittaakin. Alueverkot käyttävät sähkönsiirrossa 110 kV:n jännitetasoa. Jakeluverkot on liitetty kantaverkkoon tai alueverkoihin. Jakeluverkoissa sähkönsiirto suoritetaan 0,4 kV-110 kV:n jännitetasolla. (Fingrid Oyj 2015)

Suurjännitteiden avulla huolehditaan pitkien etäisyyksien sähkönsiirrosta. Sähkönsiirrossa voidaan siirtää käytettävissä oleva teho, joka saadaan siirrettyä suurjännitepuolella, on noin 1000 megawatin luokkaa. Keskijänniteverkossa puolestaan teho, joka saadaan siirrettyä, on noin muutamien megawattien luokkaa. Keskijänniteverkon avulla saadaan siirrettyä kantaverkosta tai alueverkosta sähkötehoa tai voimaa pienjänniteverkon muuntajille. Muuntajien avulla jännite muunnetaan pienjänniteverkontasolle, jossa sähköä siirretään kuluttajille 100-1000 V jännitetasolla kuluttajille.

Pienjänniteverkossa jakelumuuntajien sijainti riippuu siitä, ollaanko lähellä kaupunkialuetta vai maaseudulla. Kaupungeissa pienjänniteverkon jakelumuuntajat saattavat sijaita vain muutaman sadan metrin päässä ja puolestaan maaseudulla etäisyydet voivat olla huomattavasti pidemmät. Sähkönsiirron toteuttamisperiaate selviää kuvasta 1. (Korpinen 1998.)



Kuva 1. Periaatekuva sähkönsiirrosta (Elovaara & Haarla 2011,55.)

Hyvällä hyötysuhteella oleva voimansiirto on sähkövoimajärjestelmän nimenomainen etu. Yhteydet voimansiirrossa voi olla pitkät ja tuotanto voidaan toteuttaa taloudellisesti ja se näkyy parantuneena käyttövarmuutena. (Elovaara & Haarla 2011,54.)

### 3.1 Sähköverkon tyypit

Sähköverkkojen rakenteet ovat puolestaan avoin verkko eli säteinen verkko, rengasverkko ja suljettu verkko eli silmukkaverkko. Säteisessä verkossa kuorimitukset saavat sähköä vain yhtä kautta ja lähinnä käytetään harvaan asutetuilla alueilla. Silmukkaverkossa on puolestaan useampi reitti, mistä syöttöasemille saadaan sähköä useampaa kautta. Silmukoidussa verkossa yhden johdon vika ei aiheuta välitöntä sähkökatkoa. Haittapuolina silmukkarakenteessa on suuremmat oikosulkuvirrat ja suojauksen monimutkaisempi toteutus. Yleensä siirtoverkot ovat rakennettu silmukkaverkoiksi tai rengasverkoksi. Silmukoidun verkon avulla saadaan pienennettyä häviöitä esimerkiksi verrattaessa säteittäisverkkoon. Suurilla 400 kV:n ja 220 kV:n jännitteellä pidetään johtorengas suljettuna, koska tämä vähentää jännitteen alenemaa ja tehohäviöitä sekä parantaa käyttövarmuutta. (Elovaara & Haarla 2011,57.)

Kantaverkkorakenteessa johtorengas pidetään suljettuna. Alue- ja keskijänniteverkoissa johtorengas rakennetaan normaalisti avoimiksi. Pienjänniteverkoissa, joita on maaseudulla, käytetään kustannussyistä säteittäistä verkkoa. Kaupungit kuuluvat yleensä silmukoituuihin verkkoihin, mutta niitä käytetään säteittäisesti. (Korpinen 1998.)

Säteisenä verkkona käyttäminen on varmasti kaupungeista poistumassa uuden sähkömarkkinalain mukaan, koska häiriöistä on tullut korvausvelvollisuus sähkönjakeluyhtiöille.

Suomessa käytetään kahta eri verkkotyyppiä sähkön siirtoverkossa. Verkkotyypit ovat sammutettu verkko ja maasta erotettu verkko. Näiden verkkotyyppien erona on verkon maadoitustapa, jolla tarkoitetaan verkon tähtipisteen maadoitusta. (Lakervi & Partanen 2008, 82.)

Kantajänniteverkossa 110 kV:n verkko on osittain maadoitettu, jossa sopivasti valittujen muuntajien tähtipisteet on maadoitettu joko suoraan tai kuristimien kautta. Tällä tavalla saadaan pidettyä maasulkuvirrat kohtuullisen pieninä,

enintään 4,5 kA:n tasolla. Lisäksi saadaan varmistettua riittävän suuret maasulkuvirratt distanssirelesuojauksen toiminnalle. (Mörsky & Mörsky 1994, 63.)

Lisäksi Suomessa 110 kV:n verkolle on asetettu vaatimukset jännitteen suhteen. Ne ovat tiukempia, kuin jakeluverkon jännitteiden vaatimukset. Suureet, joita tarkkaillaan, on vähemmän kuin jakeluverkossa. Jännitteen vaihtelua ja välkyntää seurataan tarkemmin ja tiukemmin, kuin esimerkiksi jakeluverkossa. Suuret teollisuuslaitokset voivat mahdollisesti aiheuttaa nopeita jännitteen vaihteluja ja ne voivat levitä laajalle alalle siirtoverkossa. Tästä syystä valvonta 110 kV:n alueella on tarkempaa. Jännitteen epäsymmetrialle on myös tiukemmat vaatimukset kantaverkolla. Myös yliaaltojen suhteen vaatimukset ovat tiukemmat, koska jakeluverkossa sallitut yliaaltopituudet saavat olla yli kaksinkertaisia verrattuna 110 kV:n verkolla. (Elovaara & Haarla 2011, 456.)

Näiltä osin tilanne muistuttaa keskijänniteverkon sammutettua verkkoa ja muutoin maasta erotettua verkkoa. Maasulun sammuttaminen tehdään muuntajan tähtipisteen ja maan välille kytketyllä kelalla tai kuristimella. Lapissa 110 kV:n verkossa käytetään kyseistä maadoitustapaa. Sammutuksella on myös omat ongelmansa, galvaanisesti yhteen kytketyn johtopituuden muuttuessa kapasitanssikin muuttuu, joten induktanssi tulisi mitoittaa vastaavasti sen mukaan. Keskijänniteverkolla maahan kaapeloidun verkonosan kapasitanssiarvot ovat suuremmat ja tämä aiheuttaa mitoitukselle suuremmat induktanssiarvot. Kaapeloinnissa on huomattava, että maaperän laji vaikuttaa kaapeleiden kapasitanssiarvoihin. (Elovaara & Haarla 2011, 210- 211.)

Maasulkuvirtaa pienennetään sen takia, että se aiheuttaa maassa kulkiessaan maadoitus-, askel- ja kosketusjännitteitä ja mahdollisen vaaratilanteen. Maadoitusjännitteille on annettu yläraja sähköturvallisuusmääräyksissä.

### 3.2 Sähkövoiman tuotanto ja siirto

Voimansiirto on sähkönjakelun tärkein tehtävä. Voimansiirto alkaa voimalaitoksilta, jossa generaattoreilla tuotetaan sähköä. Generaattorit yleisimmin ovat ve-

sivoimalla toimivia. Sähköä tuotetaan voimansiirrolle myös tuuli-, lämpö ja aurinkovoimalla. Tuulivoimaa tuotetaan tuulivoima generaattoreiden avulla, eli tuulimyllyillä. Lämpövoiman avulla tuotetaan höyryä, jonka voimalla pyöritetään generaattoria. Aurinkovoimaa tuotetaan aurinkopaneelien avulla. Uusin aurinkovoimalla toimiva voimalaitos on Helen Oy:n omistama Espoossa. Aurinkovoimalla tuotettua sähköä ei kuitenkaan hyödynnetä kovin paljoa valtakunnallisessa sähkönjakelujärjestelmässä. Tuulivoimaa hyödynnetään tällä hetkellä enemmän.

Generaattoreilla tuotettu sähkövoima siirretään generaattorimuuntajille, joiden avulla jännite nostetaan 10,5 kV:sta tai 20 kV:sta, joko 220 kV:n tai 400 kV:n. Jännitteen nostaminen ja jännitetaso riippuu myös siitä, millä kohdin sähkönsiirtoverkkoa sitä tuotetaan. Generaattorimuuntajien avulla tuotettu sähkövoima siirretään kaukovoimansiirtoon eli kantaverkolle. Kaukovoiman siirrossa käytetään tehovälimuuntajia ja 110 kV - 400 kV:n johtoja ja kytkinasemia, joiden kautta siirretään sähkövoimaa suurjännitejakeluun. Tämän jälkeen sähkönsiirto tapahtuu muuntajien kautta alueverkolle tai keskijänniteverkolle. Keskijänniteverkossa voi olla syöttöasemia, joissa myös tuotetaan sähkövoimaa esimerkiksi keskijänniteverkolle, kuten voimalaitoksissakin. Keskijänniteverkon kautta sähkövoima siirretään jakelumuuntamoiden kautta pienjännitejakeluun, josta sähkövoima siirretään loppukäyttäjälle

Suomessa sähköenergiaa siirretään vaihtosähköisellä kolmivaihejärjestelmällä. Tasasähköllä ei ole edullista siirtää energiaa pitkillä matkoilla.

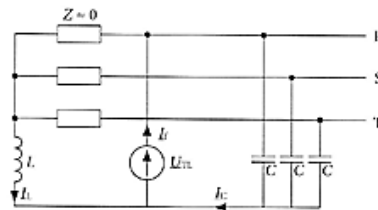
Vaihtosähköisellä kolmivaihejärjestelmällä saavutetaan monia etuja. Muuntajien avulla voidaan jännitetasot muuntaa sopiviksi tarpeen ja tilanteen mukaan. Lisäksi suojauksien toteutus on helppoa verrattuna tasasähköjärjestelmään. Teho pysyy tasaisena, eikä verkossa näy suuria tehonheilahteluja. (Hietalahti 2013, 82.)

Kolmivaihejärjestelmä on kolmijohtiminen, eikä erillistä nolla- tai suojamaajohdinta käytetä. Voimansiirtojärjestelmä poikkeaa rakennusten sähkösyötöstä juu-

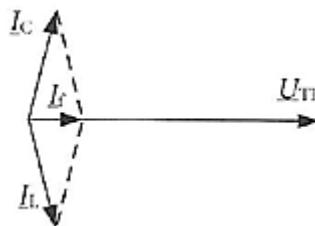
ri nolla- ja suojamaajohdinten osalta. Teollisuuslaitoksilla voi olla myös omia järjestelmiä käytössä, jotka poikkeavat edellisistä.

### 3.3 Sammutettu verkko

Sammutetun verkon nimi on seurausta siitä, että muuntajan nollapiste on kytketty maahan kuristimen avulla, joka on induktiivinen, kuten kuvassa 2 esitetään. Johtojen kapasitanssit aiheuttavat vikavirran, joka on kapasitiivista. Kuristin synnyttää tässä tapauksessa vikavirralle  $180^\circ$  vaihesiirrossa olevan nollapistevirran. Kyseinen virta summautuu vikapaikassa kapasitiiviseen vikavirtaan, jolloin syntyvä vikavirta jää hyvin pieneksi. Lisäksi sammutetussa verkossa sammutuskuristimen induktiivinen virta ja kapasitiivinen maakapasitanssien virta saattavat kumoutua eli ne kompensoivat toisensa. Tällöin vikavirtaa ei jää. Muuntajan tähtipisteen maadoituskuristimella pienennetään vikapaikoissa esiintyviä maasulkuvirtoja. Mikäli se on valokaarimaasulku, joka jää ilmaan, se sammuu, koska pieni vikavirta ei pysty ylläpitämään sitä. Kuristinta mitoittaessa on huomioitava myös, että ylijännitteet eivät kasva liikaa ja maasulkuvirrat pysyvät tarpeeksi pieninä. (Elovaara & Laiho 1998, 84.)



Kuva 2. Maasulun sammutus (Elovaara & Haarla 2011, 211).



Kuva 3. Osoitindiagrammi (Elovaara & Laiho 1998, 84).



Kuvassa 3 kapasitiivisen ja kelan kautta kulkevat virrat ovat lähes  $180^\circ$  vaihesiirrossa keskenään eli virrat.  $I_L$  on induktiivinen virta,  $I_C$  kapasitiivinen virta ja  $I_f$  on vikavirta. Vikavirta  $I_f$  syntyy vian seurauksena. Sammutusvirrat  $I_L$  ja  $I_C$ , jotka ovat vastakkaisia virtoja, vikavirta  $I_f$  näiden seurauksesta kumoutuu lähes täysin. Kaavan (1) avulla voidaan ilmaista:

$$\omega L = 1/3 \omega C \quad (1)$$

missä

$\omega$	on	$2\pi f$ eli kulmanopeus [rad/s]
$L$	on	induktanssi [H]
$C$	on	kapasitanssi [F]
$f$	on	taajuus [Hz]

Sammutetun verkon tähtipisteen jännite ( $U_0$ ) nousee yksivaiheisessa maasulussa arvoon seuraavan kaavan (2) mukaisesti:

$$U_0 = 3\omega^2 L C U_R \quad (2)$$

missä

$\omega$	on	$2\pi f$ eli kulmanopeus [rad/s]
$L$	on	induktanssi [H]
$C$	on	kapasitanssi [F]
$U_R$	on	vaihejännite [V]
$f$	on	taajuus [Hz]

Edellä mainittu asia on induktiivisen kuristimen pääasiallinen tarkoitus maasulun sammutuksessa. Lisäksi sen käytöstä on hyötyä pysyvienkin maasulkujen aikana, koska se pienentää jakelumuuntamoiden maadoituskustannuksissa ja mahdollistaa tilapäisen käytön.

Kuristin mitoitetaan siten, että kuristimen induktanssi on yhtä suuri kuin johtojen maakapasitanssien suuruus. Ilmiöstä käytetään nimitystä sammutus. Tästä syystä verkkoa kutsutaan sammutetuksi. Sammutetussa verkossa toteutuu siis lähes symmetrinen kolmivaihejärjestelmä, jossa on nollajohdin. Virtarelemittauksia ei tässä tapauksessa käytetä, eikä loistehomittaukseen perustuvia suojausmenetelmiä, koska kuristin synnyttää loisvirtaa. Sammutetussa verkossa käytetään, kuitenkin pätövirran mittaukseen perustuvaa suojausta tai pareminkin suunnattua pätötehomittausta. 400 kV:n ja 220 kV:n verkoissa kaikki muuntajat on maadoitettu kuristimien avulla. 110 kV:n verkossa vain jotkin muuntajat on maadoitettu, yleensä rengasverkoissa, jotta saadaan vikavirrat riittävän suuriksi. Lisäksi sammutetussa verkossa voidaan käyttää yli-, ali-, ja täysin kompensointia. Täysin kompensoidussa järjestelmässä verkko vaatii kuristimen, joka kykenee säätämään verkossa tapahtuvien muutoksien seurausten mukana. Esimerkiksi johtojen tai kaapeleiden lisääntymisen seurauksena kapasitiivinen kuorma kasvaa, johon kuristimen tulisi reagoida ja säätää oikeaan arvoon. (Elovaara & Haarla 2011,212.)

### 3.4 Maasta erotettu verkko

Maasta erotettu verkko on nimensä mukaisesti erotettu maasta, koska kyseisellä verkolla ei ole tähtipisteiden kautta yhteyttä maahan. Kyseisellä verkolla ei ole muutakaan yhteyttä maahan impedanssien kautta, joten se on tähtipisteistään maasta erotettu verkko. Kyseisessä tilanteessa verkon nollaimpedanssi on hyvin suuri sen muodostuessa vain johtojen kapasitansseista. Lisäksi kyseisessä verkossa maasulkuvirta jää pieneksi, yleensä pienemmäksi kuin kuormitusvirta, eikä aiheuta häiriöitä normaalikäyttöön. Tällöin suojauksessa käytetään nollavirtarelettä, nollajännitettä ja nollavirralle tarkoitettuja suuntareleitä. Epäsymmetristen vaihevirtojen ja muuntajan tähtipisteen jännite muutokseen perustuvaa maasulkusuojausta käytetään. (Elovaara & Haarla 2011,210.)

Maasta erotettu verkko vastaa lähes symmetristä nollajohtimetonta kolmivaihejärjestelmää, josta tulee vikaantuessaan epäsymmetrinen kytkentä. Tällöin tähtipisteenjännite nousee vaihekatkon seurauksena, yksi- tai kaksivaiheisena

tai jonkin vaiheen tai useamman vaihejännitteen laskuna tai suurenemisena. Vaihekatkolla tässä tapauksessa tarkoitetaan yhden tai useamman johtimen katkeamista, joko syötön alussa, välillä tai lopussa. Vaihekatkon aikana tähtipisteen jännite nousee. Ilmiö tapahtuu myös jonkin tai useamman vaihejännitteen laskemisen tai suurenemisen seurauksesta. Kaikkien kolmen vaiheen jännitteiden laskeminen ei aiheuta samaa, koska symmetrisyys säilyy.

### 3.5 Maadoitettu verkko

Maadoitetuissa verkossa suurin osa generaattorien ja muuntajien tähtipisteistä on kytketty suoraan maata vasten. Maadoitusvastusta pyritään kyseisellä keinolla saamaan mahdollisimman pieneksi. Suojaus on helppo toteuttaa, koska maadoitetuissa verkoissa maasulkuvirta on lähes aina samaa luokkaa kuin oikosulkuvirta. (Elovaara & Laiho 1988, 85.)

Tähtipisteen kautta suoraan maadoittamista kutsutaan myös jäykäksi maadoitukseksi. Kantaverkossa käytetään jäykkää maadoitusta. Kun kantaverkkoa käytetään silmukoituna, se muodostaa johtorenkaita. Johtorenkaiden avulla saadaan selektiivisyys toteutettua, koska vain lähinnä vikakohtaa olevien katkaisijoiden tulisi avautua. Vioista on saatava riittävän selkeä ilmaisu, eli indikaatio ennen kaikkea yksivaiheisessa oikosulussa. Tähtipisteen jäykän maadoituksen vuoksi yksivaiheinen maasulkuvirta muodostuu aina lähes oikosulkuvirran vastaaviin arvoihin. Maasulkuvirtaa ei kasvateta tarpeettomasti. Silloin joitakin tähtipisteitä jätetään maadoittamatta tai maadoitetaan induktanssin kautta. Toinena perussyynä kantaverkossa pyritään rajoittamaan jäykällä maadoituksella käyttötaajuisia ylijännitteitä. Maasulussa ja sen aikana terveiden vaiheiden jännite voi nousta suuremmaksi kuin normaali vaihejännite. (Elovaara & Laiho 1988, 85.)

#### 4 MAASULUT

Maasta erotetussa verkossa ja sammutetussa verkossa käytetään apuna relesuojauksen toteuttamisessa kaapelivirtamuuntajia ja välivirtamuuntajia. Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirrat jäävät vain kymmeniin ampeereihin ja maasulkuvirran kompensointikuristimella vieläkin pienemmiksi. Varsinkin nuumeristen releiden kanssa käytetään kaapelivirtamuuntajia. Välivirtamuuntajia puolestaan käytetään muuntajan differentiaalirelesuojauksessa. Tällöin saadaan virtojen suuruudet ja vaihekulmat esille.

Maasulun virran mittaus perustuu vaihevirtojen summakytkenään, jonka suunta on lähtöön päin esimerkiksi muuntajaa kohden. Virransummauskytkennässä tarvitaan virtamuuntajia ilmaisemaan summavirtaa. Lisäksi se saa havahtua ainoastaan silloin kun vika on releen suojaamalla lähdöllä. Myös  $U_0$  jänniterelettä voidaan käyttää ilmaisemaan muuntajan tähtipisteen jännitettä, jonka potentiaali kasvaa vaihekatkon tai vaihejännitteen aleneman seurauksena. Tähtipisteen (nollapisteen) jännite mittaukseen tarvitaan suojamuuntaja, josta voidaan tuoda tieto nollajännitereleelle. Myös loistehon mittaukseen perustuvaa maasulkusuojausta käytetään.

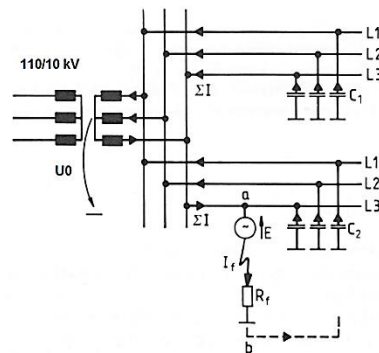
Maasta erotetussa verkossa kaikki tähtipisteet on eristetty maasta. Kyseisen verkon nollaimpedanssi on hyvin suuri sen muodostuessa vain johtojen maakapasitansseista  $C_0$ . Maakapasitanssin suuruuden määrää galvaanisesti yhteen kytketyn johtojen pituus ja sitä edustava impedanssi on kuitenkin aina hyvin suuri. Tällöin verkon maasulkuvirta on hyvin pieni verrattuna esimerkiksi sen kuormitusvirtaan, eikä häiritse verkon normaalikäyttöä. Syöttävän verkon puolelta maasulun havaitseminen on vaikeata, eikä sitä voida helposti mittauksella todeta. Vian aikana se ilmenee seuraavalla tavalla: terveiden vaiheiden jännite nousee likimain pääjännitteiden suuruiseksi ja tähtipisteen jännite puolestaan vaihejännitteen suuruiseksi. (Elovaara & Laiho 1988, 84.)

Maadoitetuissa verkoissa on suurin osa generaattorien ja muuntajien tähtipisteistä kytketty suoraan maahan. Pyrkimyksenä on saada maadoitusvastus

mahdollisimman pieneksi. Lisäksi maasulkuvirta on lähes aina yhtä suuri kuin oikosulkuvirta ja tällöin suojaus on helppo toteuttaa. (Elovaara & Laiho 1988, 85.)

#### 4.1 Maasulkujen ilmeneminen

Maasuluissa syntyvien ylijännitteiden suuruus riippuu verkon maadoitustavasta, tarkemmin sanottuna tähtipisteen maadoitustavasta. Maasta erotetuissa verkoissa maadoitus tapahtuu hyvin suuren impedanssin kautta, kuten kuvassa 4 esitetään. Silloin yksivaiheisessa maasulussa maasulkuvirtapiirin sulkeutuminen tapahtuu verkon maakapasitanssien kautta  $C_0$  kautta. (Elovaara & Laiho 1988, 168.)



Kuva 4. Maasta erotetun verkon yksivaiheinen maasulku (Elovaara & Laiho 1988, 169).

Maasta erotetun maasulkuvirta  $I_f$  voidaan laskea kaavalla (3):

$$I_f = \sqrt{3} \omega C U \quad (3)$$

missä

C	on	yhden vaiheen kapasitanssi [F]
U	on	verkon pääjännite [V]
$\omega$	on	$2\pi f$ kulmanopeus [rad/s]

lisäksi maasuluissa tarvitsee tuntea avojohtojen tai kaapeleiden laji. Avojohtojen osalta maasulkuvirta voidaan laskea kaavalla (4):

$$I_f = \frac{U/kV \cdot l/km}{300} A \quad (4)$$

missä

U on verkon pääjännite [V]  
 l on galvaanisesti yhteen kytketyn avojohtoverkon pituus

Maakaapeleiden vikavirta  $I_f$  puolestaan seuraavalla kaavalla (5):

$$I_f = \frac{U/kV \cdot l/km}{5} A \quad (5)$$

missä

U on verkon pääjännite [V]  
 l on galvaanisesti yhteen kytketyn kaapeliverkon pituus

Vikapaikan resistanssin vaikutus maasulkuvirtaan lasketaan maasulkuvirran itseisarvo  $I_e$  kaavalla (6):

$$I_e = \frac{3\omega C}{\sqrt{1+(3\omega R_f)^2}}, \quad (6)$$

missä

$R_f$  on maasulunvikaresistanssi [ $\Omega$ ]  
 U on verkonpääjännite [V]  
 C on verkon vaiheen maakapasitanssi [F]  
 $\omega$  on  $2\pi f$  kulmanopeus [rad/s]

Maasulku aiheuttaa maasta erotetussa verkossa jännite- epäsymmetrian, joka muuttaa tähtipisteen potentiaalin. Tätä kutsutaan myös nollajännitteeksi  $U_0$ .  $U_0$  nollajännite on sama jännite, mikä kulkee verkon maasulun aikana verkon kapasitanssien kautta. (Aura & Tonteri 1993, 164.)

Tähtipistejännite tai nollajännite voidaan laskea kaavalla (7):

$$U_0 = \frac{1}{3\omega C} * I_f \quad (7)$$

Edellä mainittuun kaavaan voidaan myös ottaa mukaan vikavirta  $I_f$  ja silloin kaava muuttuu seuraavaan muotoon

$$\frac{U_0}{U_v} = \frac{1}{\sqrt{(3\omega C R_f)^2}}, \quad (8)$$

missä

$R_f$	on	maasulunvikaresistanssi [ $\Omega$ ]
$U$	on	verkonpääjännite [V]
$C$	on	verkon vaiheen maakapasitanssi [F]
$\omega$	on	$2\pi f$ kulmanopeus [rad/s]
$U_0$	on	tähti- tai nollapisteen jännite [V]
$U_v$	on	verkonvaihejännite [V]

Sammutetussa verkossa tähtipisteet on maadoitettu sellaisten kuristimien kautta, jotka kompensoivat verkon kapasitiivisen maasulkuvirran, kuva 5. Kuristimen induktanssi mitoitetaan seuraavan yhtälön (9) mukaan:

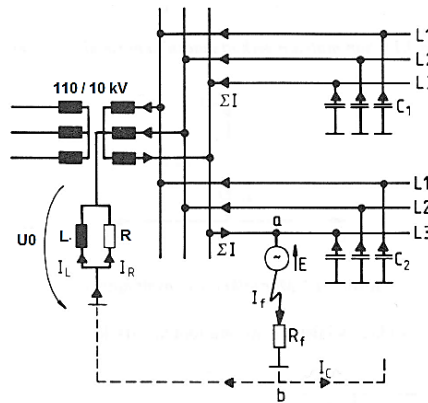
$$\omega L = \frac{1}{3\omega C_0} \quad (9)$$

missä

$\omega$	on	$2\pi f$ kulmanopeus [rad/s]
----------	----	------------------------------

$L$	on	induktanssi [H]
$C_0$	on	johdon kapasitanssi [F]
$f$	on	taajuus [Hz]

Yhtälö esittää, kuinka kompensointikuristimen kautta kulkeva virta kompensoi verkon maakapasitanssien  $C_0$  kautta kulkevan virran täydellisesti. Täydellisen kompensoinnin tapauksessa onnistumisen seurauksena maasulkuvirta olisi häviöttömässä tilanteessa  $\Sigma I=0$ . Täydellinen kompensointi on käytännössä mahdoton kuten yliaaltojen, epäsymmetrian tai muun sellaisen takia, joten täysin sammutettuun verkkoon jää pieni 5...10 % jäännösmaasulkuvirta. Maasulkuvirtojen haitat ympäristöön pienevät kuitenkin oleellisesti ja näin saadaan luotua olosuhteet maasulkujen sammumiselle itsestään ilman katkaisijoiden avaamista. Kuvassa 5 on sammutuslaitteisto, jolla kompensointi toteutetaan. (Elovaara & Laiho 1988, 168- 169.)



Kuva 5. Sammutetun verkon maasulun sammutus (Elovaara & Laiho 1988, 169).

Sammutetun verkon maasulkuvirtaan voidaan käyttää seuraavaa kaavaa (10):

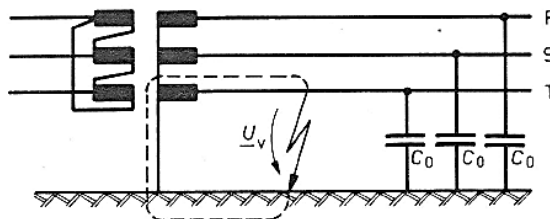
$$I_{mf} = \frac{\sqrt{1+R^2(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})^2}}{\sqrt{R_f+R)^2+Rf^2R^2(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L})^2}} \frac{U}{\sqrt{3}}, \quad (10)$$



missä

$R_f$	on	maasulunvikaresistanssi [ $\Omega$ ]
$C_0$	on	verkon maakapasitanssit [F]
$\omega$	on	$2\pi f$ kulmanopeus [rad/s]
$U$	on	verkon pääjännite [V]
$R$	on	resistanssi

Maadoitetuissa verkoissa tähtipiste maadoitetaan suoraan (kuva 6.) tai pienen resistanssin kautta tai reaktanssin kautta, jolloin puhutaan tehollisesti maadoitetuista verkoista. (Elovaara & Laiho 1988, 170).



Kuva 6. Suoraan maadoitetun verkon maasulkuvirta (Elovaara & Laiho 1988,169).

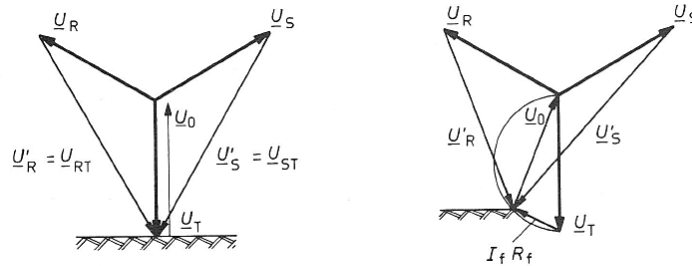
Maasta erotetuissa ja sammutetuissa verkoissa saattaa terveiden vaiheiden ja maan välinen jännite kohota maasulun aikana suuremmaksi kuin vaiheiden välillä terveessä tilassa vaikuttava jännite. Ylijännitteen suuruus riippuu vikapaikasta ja sen vikavastuksen arvosta. Vikakohtassa T jännite on 0 V, mutta terveiden vaiheiden R ja S jännitteet ovat kohonneet pääjännitteiden suuruiseksi. Vastaavasti kauempana muuntajan tähtipisteessä vaikuttaa vikatilanteen aikana jännite  $U_0$  on vaihejännitteen suuruinen. Mikäli vikavastus  $R_f$  on suuruudeltaan suurempi kuin  $0 \Omega$ , saattaa terveiden vaiheiden jännite kohota pääjännitettä suuremmaksikin. Yksivaiheisessa maasulussa jännite voidaan laskea kaavalla (Elovaara & Laiho 1988, 170.)

Maasulussa jännite  $U'_s$  voidaan laskea kaavalla (11):

$$U'_s = \max = 1,05 \cdot \sqrt{3} U_v, \quad (11)$$

missä

$U_v$  on Vaihejännite [V]



Kuva 7. Jännitteet maasta erotetussa verkossa 1-v maasulussa (Elovaara & Laiho 1988, 170).

Yllä kuvassa 7 vasemman puoleisessa osassa on vikaresistanssi  $R_f=0$  ja oikeanpuoleisessa kuvassa vikajännitteet on  $R_f \neq$ ,  $U'_s \text{ Max} \approx 1,05 \cdot \sqrt{3} U_v$ . (Elovaara & Laiho 1988, 170).

Maadoitetussa järjestelmässä jännitteet voivat kohota terveiden vaiheiden ja maan väliset jännitteet maasulun vaikutuksesta normaaleja vaihejännitteitä  $U_v$  suuremmaksi. Ylijännitteet ovat kuitenkin pienempiä kuin pääjännite. (Elovaara & Laiho 1988 170.)

Maasulkutilanteissa syntyvät ylijännitteet ilmoitetaan tavallisesti ns. maasulkukertoimen  $k$ :n avulla. Vian aikana vaikuttavan ylijännitteen absoluuttinen arvo saadaan kertomalla terveen verkon vaihejännite vikapaikalla maasulkukertoimella. (Elovaara & Laiho 1988, 170.)

Maadoitetuissa verkoissa maasulkukertoimen suuruus riippuu vikapaikasta nähtyjen verkon nolla- ja myötäimpedanssien välisestä suhteesta. Symmetristen komponenttien menetelmällä käyttämällä voidaan laskea maasulkukertoimen suuruus eri tilanteissa. (Elovaara & Laiho 1988, 170.)

Verkot, jossa maasulku kerroin on  $k \geq 1,4$ , käytetään nimitystä tehollisesti maadoitettu verkko. Kyseisessä verkossa maasuluissa aiheutuvat käyttötaajuiset jännitteen nousut jäävät suhteellisen alhaiseksi, mutta maasulkuvirrat pyrkivät kasvamaan suuriksi. Maasulkuvirtaa voidaan rajoittaa sopivan suuruisten kuristimien kautta. 400 kV:n muuntajien tähtipisteeseen kuristimen reaktanssi tavallisesti on noin 100  $\Omega$ :in luokkaa ja 110 kV:n verkossa kuristimen reaktanssi on noin 60  $\Omega$ :a. Maasta erotetun verkon ja sammutetun verkon kerroin suunnilleen on  $k=1,8$ . Osittain maadoitettujen verkkojen maadoituskerroin on  $k \approx 1,7$ . (Elovaara & Laiho 1988, 170- 171.)

Maasulkujännitteiden kesto aika riippuu verkon relesuojauksesta. Kesto aika on tyypillisesti 0,1.. 0,5 s ja enimmillään muutamia sekunteja. Sähköturvallisuusmääräykset sitovat toisiinsa maasulun kestoajan, maasulkuvirran ja maadoitusvastuksen. (Elovaara & Laiho 1988, 171.)

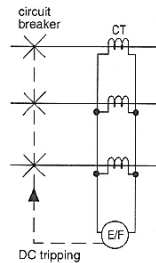
#### 4.2 Maasulkusuojaus

Maasulkusuojauksen toteuttaminen sammutetusta verkossa ja maasta erotetussa verkossa poikkeaa toisistaan ja suunnittelussa on otettava huomioon lähökohdat

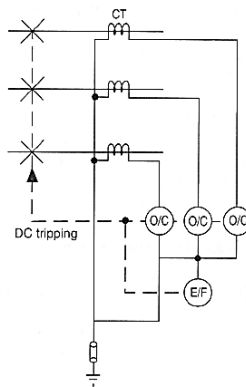
- Suojauksen kannalta pienimmät nollavirrat suurella vikaresistanssilla.
- $U_0$ - jännitepisteiden jännitteet (tähtipiste).
- Maadoituksen jännitevaatimuksen kannalta on tärkeätä huomioida suurin maasulkuvirta ja sen kesto aika.
- maasulun sammuminen itsestään ja vian nopea löytäminen.

Maasta erotetuilla verkoilla vikavirrat ovat pieniä, joten maasulkusuojausta ei voida toteuttaa pelkillä ylivirtasuojien käytöllä. Ne vaativat yleensä suurempia oikosulkuvirtoja. Maasulkusuojaus toteutetaan maasulun suuntareleillä, jotka ovat sähköasemalla. Suuntareleiden avulla asia toteutuu, kun vaihevirtoihin aiheutuu epäsymmetria ja  $U_0$ - pisteen jännite kohoaa. Virtaepäsymmetria saa-

daan esille kolmen virtamuuntajan avulla, jotka ovat kytketty eri vaiheisiin, kuvat 8. ja 9. (Lakervi & Partanen 2008, 194.)



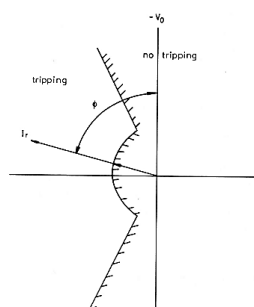
Kuva 8. Maasulkusuojauksen rele tähtipisteen ja summavirran mittauksessa (Lakervi & Holmes 1995, 132).



Kuva 9. Maasulkurele ja ylivirtarele tähtipisteen ja summavirtojen mittauksessa (Lakervi & Holmes 1995, 132).

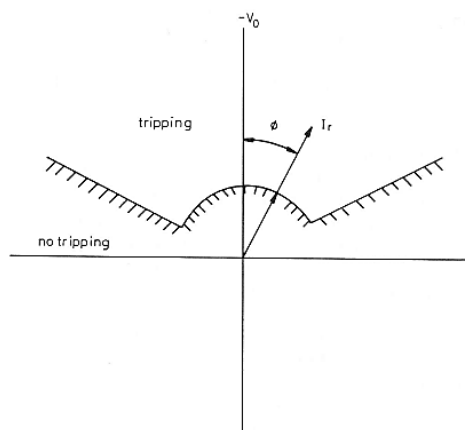
$U_0$ , eli tähtipistejännite, saadaan mitattua jännitemuuntajien avulla, jotka on yhdistetty vaihejännitteisiin. Jännitemuuntajat ovat toisiokäämeistä avokolmio kytkennässä. Rele havahtuu vain maasulkuviassa, joka on sen suojausalueella.

Maasulussa suuntareleen toiminnalle on ehtoja, että se toteuttaa toimintansa. Maasulun aikana virran arvon ja tähtipisteen jännitteen  $U_0$  nousta yli aseteltujen arvon, jolloin se havahtuu ja aiheuttaa sen toiminnan. Lisäksi virran tulee olla  $90^\circ$  astetta edellä  $U_0$ - tähtipisteen jännitettä. Seuraavaksi releen täytyy täyttää ehdot  $90^\circ - \Delta\varphi < \varphi < 90^\circ + \Delta\varphi$ . Lisäksi maasulunvalokaaren sammuttamiseen käytetään pikajälleenkytkentöjä. (Lakervi & Partanen 2008, 192.)



Kuva 10. Suuntareleen virtadiagrammi maasta erotetussa verkossa (Lakervi & Holmes 1995, 134).

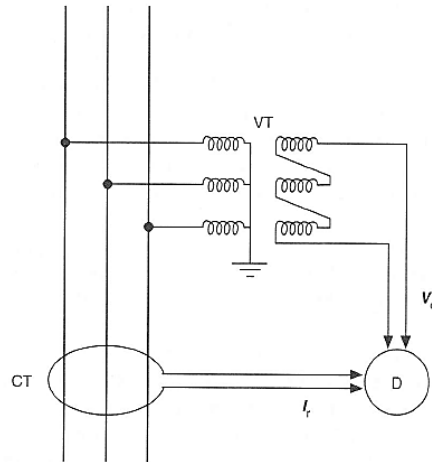
Sammutetussa verkossa suuntareleen toiminnan tulee täyttää ehdot ovat seuraavat: Virran, joka kulkee sammutuskuristimen rinnalla olevan vastuksen kautta ja  $U_0$  eli tähtipisteen jännite ylittää aseteltujen arvojen rajat. Ero sammutetun ja maasta erotetun verkon välille syntyy, koska nollavirran ja negatiiviseen tähtipisteen kulmaero on  $\pm\Delta\phi$ . Kulmaero voi vaihdella resonanssin aikana vaihdella suuresti. Kuvissa 10. ja 11. esitetään suuntareletoiminta molemmissa verkoissa. (Lakervi & Partanen 2008, 193.)



Kuva 11. Suuntareleen toiminta sammutetussa verkossa (Lakervi & Holmes 1995, 134).

Suuntareleiden hyviä puolia maasulkusuojauksessa ovat, jännite-, virta- ja kulmakriteerien riippumattomuus. Summavirrat mitataan summavirtamuuntajilla. Verkon nollajännite, joka koskee koko verkkoa, mitataan sähköasemalla sijaitsevilla jännitemuuntajilla. Nollajännite mitataan avokolmiosta. Avokolmiokytkennässä eri vaiheiden väliin kolmioon kytkettyjen jännitemuuntajien yksi kulma

jätetään avoimeksi. Alla olevassa kuvassa on yksi tapa toteuttaa  $U_0=V_0$  arvon mittausta maasulkusuojauksessa. (Lakervi & Partanen 2008, 193.)



Kuva 12. Suunnattu maasulkusuojaus (Lakervi & Holmes 1995, 134).

Maasulkusuojauksen yhteydessä on hyvä ottaa huomion hyvin erilaisia vikatilanteita laajastikin. Releillä pystytään käyttämään porrastusta, jonka avulla suojauksesta saadaan selektiivinen. (Lakervi & Partanen 2008, 194.)

#### 4.3 Epäsymmetriset viat

Epäsymmetrisiä vikoja ovat 1- tai 2-vaiheinen oikosulku, jotka usein syntyvät tavallisesti johdoille osuvien salaman iskujen seurauksena. Kyseinen tilanne voi myös syntyä yhden vaiheen katkeamisen seurauksena, jolloin yhdestä vaiheesta puuttuu jännite. Myös katkaisijan epätäydellinen toiminta tai sulakkeen toiminta voi aiheuttaa saman. (Elovaara & Laiho 1988, 74.)

Epäsymmetriset viat ovat yksivaiheinen oikosulku ja kaksivaiheinen oikosulku. Kaksivaiheiseen oikosulkuun saattaa liittyä myös kosketus maahan. Näiden vikojen aikana eri vaiheiden jännitteet ja eri vaiheiden virrat eivät ole symmetrisiä. (Elovaara & Laiho 1988, 76.)

Epäsymmetrinen kolmivaihejännite voidaan laskea ns. symmetrisillä komponenteilla ja niitä kutsutaan nolla-, myötä-, ja vastajärjestelmiksi. (Elovaara & Laiho 1988, 76- 77).

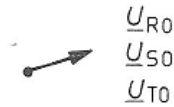
Nollajärjestelmän kaikki vaihesuuret ovat saman suuruisia ja samansuuntaisia, kuten seuraavat vaihejännitteet ovat:

$$\underline{U}_{R0}=U_0$$

$$\underline{U}_{S0}=U_0$$

$$\underline{U}_{T0}=U_0.$$

Kuvassa 13 on jänniteosoitindiagrammi nollajärjestelmässä.



Kuva 13. Nollajärjestelmän vaihejännitteiden osoitindiagrammi (Elovaara & Laiho 1988, 77).

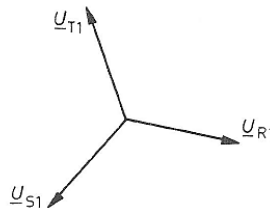
Myötäjärjestelmässä eli normaalissa symmetrisessä kolmivaiheisessa järjestelmässä vaihejännitteet ovat:

$$\underline{U}_{R1}=U_1\angle 0^\circ$$

$$\underline{U}_{S1}=U_1\angle 120^\circ$$

$$\underline{U}_{T1}=U_1\angle 240^\circ.$$

Kuvassa 14 näkyvät myötäjärjestelmän vaiheosoittimet.



Kuva 14. Myötäjärjestelmän vaihejännitteiden osoitindiagrammi (Elovaara & Laiho 1988, 77).

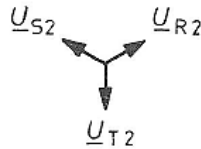
Vastajärjestelmässä vaihejärjestys on R, T ja S eli vaiheiden järjestystä on muuttettu ja vaihejännitteet ovat:

$$\underline{U}_{R2} = U_2 \leq 0^\circ$$

$$\underline{U}_{T2} = U_2 \leq 240^\circ$$

$$\underline{U}_{S2} = U_2 \leq 120^\circ.$$

Kuvassa 15 vastajärjestelmän vaiheosoittimet.

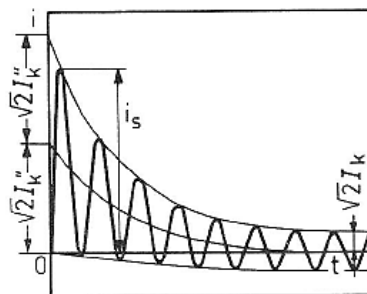


Kuva 15. Vastajärjestelmän vaiheiden osoitindiagrammi (Elovaara & Laiho 1988, 77).

Epäsymmetristen vikojen aikana muuttuvat vaiheiden välisien jännitteiden suuruudet sekä verkon nolapisteen potentiaali maahan nähden. Joissakin vikatapauksissa esiintyvien käyttötaajuisten ylijännitteiden suuruus riippuu verkon tähtipisteiden maadoitustavasta. Vikavirta  $I_f$  yksivaiheisessa oikosulussa voidaan ilmaista lausekkeella (Elovaara & Laiho 1988, 83.)

#### 4.4 Oikosulut

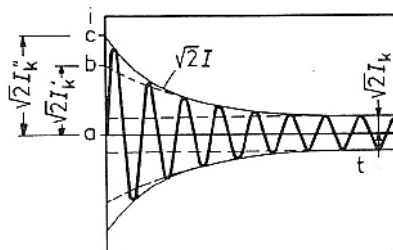
Oikosuluissa on myös epäsymmetrisiä ja symmetrisiä vikoja. Seuraavaksi käydään hieman läpi kyseisiä asioita.



Kuva 16. Epäsymmetrinen oikosulkuvirta (Elovaara & Laiho 1988, 74).



Epäsymmetrinen oikosulkuvirta on induktiivinen, joka on lähes puhdasta loisvirtaa. Epäsymmetrisessä oikosulussa on myös mukana tasavirtaa komponentti, joka vaimenee verkon rakenteen olevan aikavakion mukaan. Sen arvo riippuu jännitteen hetkellisarvosta oikosulun syntymishetkellä, kuva 16.



Kuva 17. Symmetrinen oikosulkuvirta (Elovaara & Laiho 1988, 74).

Symmetrinen oikosulkuvirta ei sisällä tasavirtakomponenttia, vaan se yhdistyy verkon kuormitusvirtaan ja se on kertaluokkaa isompi kuin kuormitusvirta, joten verkon oletetaan olevan tyhjäkäynnissä. Vaihtovirranosa myös muuttuu, koska se sisältää eroteltavat oikosulkuvirrat, kuten alku- ja muutosoikosulkuvirran, jotka vaimenevat tietyn ajan kuluessa, kuva 17. Pyörivät koneet aiheuttavat muutosilmiöitä oikosulkuvirtaan. (Elovaara & Laiho 1988, 74.)

Oikosulkuvirta voidaan laskea seuraavan kaavan (12) avulla, ensimmäiseksi tulee laskea sysäysoikosulkuvirta eli  $i_s$ :

$$i_s < 2\sqrt{2} * I_k'' \quad (12)$$

missä

$i_s$  on sysäysoikosulkuvirta [A]

$I_k''$  on alkuoikosulkuvirta [A]

Yleensä kaava (13) saa muodon, jolla lasketaan:

$$i_s = 1,8\sqrt{2} \cdot I_k'' \approx 2,5 I_k'' \quad (13)$$

missä

$i_s$  on sysäysoikosulkuvirta [A]

$I_k''$  on alkuoikosulkuvirta [A]

1,8 ja 2,5 on kertoimia

Thevenin teoreemaan avulla voidaan arvioida suuruusluokkaa kaavalla (14):

$$I = U_V / (Z_f + Z_i) \quad (14)$$

missä

$Z_f$  on vikaimpedanssi [ $\Omega$ ]

$U_V$  on vikakohdan jännite ennen vikaa [V]

$Z_i$  on verkon impedanssi vikakohdasta laskettuna

Alkuoikosulkuvirta  $I_k''$  voidaan laskea ajan hetkellä  $t=0$  kaavalla (15):

$$I_k'' = U_V / (Z_k'' + Z_f) \quad (15)$$

missä

$Z_f$  on vikaimpedanssi [ $\Omega$ ]

$U_V$  on vikakohdan jännite ennen vikaa [V]

$Z_k''$  on alkuhetken impedanssi [ $\Omega$ ]

Kun alkuoikosulkuvirta vaimenee tietyn ajan päästä, seuraa muutostila, joka voidaan laskea kaavalla (16):

$$I_k' = U_V / Z_k + Z_f \quad (16)$$

missä

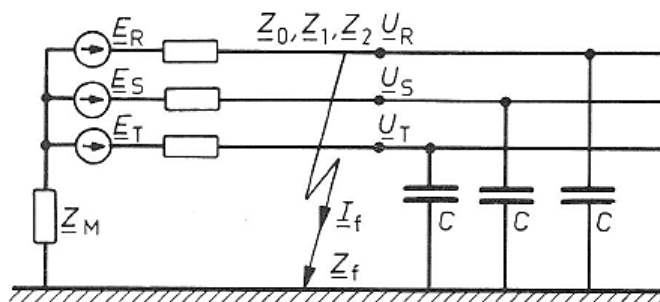
$Z_f$	on	vikaimpedanssi [ $\Omega$ ]
$U_V$	on	vikakohdan jännite ennen vikaa [V]
$Z_k'$	on	muutoshetken impedanssi [ $\Omega$ ]

Oikosulkuvirroille on määritelty eri jännitteillä niiden vaihtelurajat

Taulukko 1. Oikosulkuvirrat (vaihtelurajat) (Elovaara & Laiho 1988, 76).

$U_m$ / kV	$I_k'$ / kA
420	6,9...13,8(27,6)
245	2,4...12,(24,0)
123	2,4...14,4(24,0)

Kolmivaiheinen oikosulku on vastukseton oikosulku. Kolmivaiheisessa oikosulussa on oikosulkuvirran suuruus 10–40-kertainen verrattuna nimelliseen kuormitusvirtaan nähden. Suojauksen tulee tällöin toimia mahdollisimman nopeasti, jotta laitteet eivät vaurioidu. Oikosulku virta ei saa siis saavuttaa koskaan pysyvän tilan arvoa, eli staattista arvoa. (Elovaara & Laiho 1988, 74.)



Kuva 18. Tähtipisteen maadoitus (Elovaara & Laiho 1988, 83).

Yllä kuvassa 18.  $Z_0$ ,  $Z_1$  ja  $Z_2$  ovat vikakohdista mitatut nolla-, myötä-, ja vastaimpedanssit. Nollaimpedanssi vaikuttaa C johtojen kapasitanssit sekä verkon

tähtipisteiden ja maan välillä olevat impedanssit  $\underline{Z}_M$ . (Elovaara & Laiho 1988, 83.)

Vikavirta  $I_f$  yksivaiheisessa maasulussa voidaan laskea seuraavastikin (17) eli:

$$I_f = 3I_0 = 3E_R / (Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f) \quad (17)$$

missä

$Z_0$	on	nollaimpedanssi [ $\Omega$ ]
$Z_1$	on	myötäimpedanssi [ $\Omega$ ]
$Z_2$	on	vastaimpedanssi [ $\Omega$ ]
$Z_f$	on	vikaimpedanssi [ $\Omega$ ]
$E_R$	on	vaihejännite [V]
$I_0$	on	nollavirta [A]

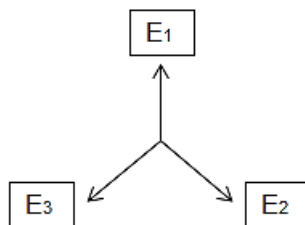
Todellisessa tilanteessa maasulkuvirta tulee eri puolelta verkkoa ja sulkeutuu pääasiassa generaattoreiden ja muuntajien maadoitettujen tähtipisteiden kautta. Nollajärjestelmässä nollaimpedanssiin vaikuttaa kaikki verkon generaattorit ja muuntajien tähtipisteiden maadoitukset, eikä vikakohtaa lähinnä oleva tähtipisteen maadoitus. (Elovaara & Laiho 1988, 83.)

Ylijännitteiden suojauksella rajoitetaan verkossa esiintyvien ylijännitteiden suuruudet sellaiselle tasolle, etteivät vaaranna verkon häiriötöntä käyttöä ja vahingoita kytkinasemalla olevia arvokkaita laitteita. Eriyisen tärkeä kohde on muuntaja. Muuntajan jännitelujuusominaisuudet ovat pientä läpilyönti todennäköisyyttä vastaavan jännitteen riippuvuus jänniterasituksen kestoajasta. Ylijännitesuojauksessa käytettävät menetelmät riippuvat tarkasteltavasta ylijännitelajista, Ylijännitteet voi syntyä ilmastollisista syistä. (Elovaara & Laiho 1988, 83.)

#### 4.5 Epäsymmetrisyyttä kolmivaihejärjestelmässä

Kolmivaiheista järjestelmää kutsutaan usein monivaihejärjestelmäksi. Kolmivaiheinen järjestelmä rakentuu useista vaihtojännitelähteistä. Suomessa käytettävässä järjestelmässä voidaan ajatella olevan kolme erillistä vaihtojännitelähdettä. Jokaisessa vaihtojännitelähteessä on sama jännite, mutta jännitteet ovat  $120^\circ$  vaihekulmassa toisiinsa nähden. Vaihtojännitelähteiden vaihekulmat ensimmäisestä kolmanteen vaiheeseen on  $\alpha_1=0^\circ$ ,  $\alpha_2=-120^\circ$  ja  $\alpha_3=-240^\circ$  positiivisessa järjestyksessä. Vaihekulma tarkoittaa sitä, että vaiheet ovat erivaiheisia, vaikka ovat saman suuruisia jännitearvoltaan. Erivaiheisuus syntyy generaattorissa, jolla tuotetaan sähkövoimaa. Generaattorissa on kolmivaiheinen staattori. Staattorinkäämityksessä on kolme vaihekäämiä, joilla on  $120^\circ$  vaihesiirto. Magneettikenttä, joka pyörii roottorin mukana, indusoi jännitteen vaihekäämeihin. Jännitteiden vaihesiirto syntyy edellä mainitun syyn mukaan. Generaattorin käämit on kytketty yleensä tähteen, joka on tyypillinen tapa. Tähtikytkennässä käämien toiset päät on kytketty samaan pisteeseen ja toiset päät erilleen. Tähtikytkentää kuvataan Y-kirjaimen avulla, koska se muistuttaa tähteä ja kytkentätapaa. (Hietalahti 2013, 12-13.)

Kyseisessä järjestelmässä pää- ja vaihejännitteet ilmaistaan symmetrisenä jännitteenä, joiden avulla jännitteitä lasketaan. Usein jännitteet esitetään vektoreiden ja lasketaan niiden avulla. Sen vuoksi esimerkiksi lähdejännitteet ilmaistaan kulma-arvoineen. Kun lähdejännitteiden vektorit lasketaan yhteen, ne merkitään seuraavasti ja kaavoissa. Kaava (18) on seuraavanlainen:



Kuva 19. Lähdejännitevektorit

$$E_1 + E_2 + E_3 = 0 \quad (18)$$

missä

$E_1$	on	ensimmäisen vaiheen lähdejännite [V]
$E_2$	on	toisen vaiheen lähdejännite [V]
$E_3$	on	kolmannen vaiheen lähdejännite [V]

Kyseiset lähdejännitteet vaikuttavat nollapisteen ja vaiheiden välillä. Yleisesti vaihejännite on 63,5 kV, joka vaikuttaa nollapisteen välillä ja kahden vaiheen välillä 110 kV verkossa. Kahden vaiheen välisestä jännitteestä käytetään nimitystä pääjännite. Yleensä 110 kV verkon yhteydessä ei puhuta vaihejännitteistä. Vaihejännitteellä tarkoitetaan vaiheen ja nollapisteen välillä vaikuttavaa jännitettä. Vaihejännitteet ilmaistaan puolestaan vaihekulmaeroineen seuraavasti:

- $U_{V1}$  kulmassa  $0^\circ$
- $U_{V2}$  kulmassa  $-120^\circ$
- $U_{V3}$  kulmassa  $-240^\circ$ .

Kun vaihejännitteet lasketaan kulma-arvoineen, niin silloin voidaan laskea vaihejännitteet yhteen seuraavalla kaavalla (19), jolloin niiden summaksi tulee 0 symmetrisessä kuormitustilanteessa.

$$U_{V1} \leq 0^\circ + U_{V2} \leq 120^\circ + U_{V3} \leq 240^\circ = U_T \leq 0^\circ \quad (19)$$

missä,

$U_{V1}$	on	vaiheen 1. jännite [V]
$U_{V2}$	on	vaiheen 2. jännite [V]
$U_{V3}$	on	vaiheen 3. jännite [V]
$U_T$	on	kokonaisjännite [V]

Tähtipiste on lähdejännitteiden nollapiste, josta käytetään nimitystä  $U_0$  nollapistejännite,  $N$  tähtipistejännite. Epäsymmetrisessä kuormituksessa tähtipisteen potentiaali muuttuu. Epäsymmetrisyys johtuu kuormituksen eroista vaiheilla, jotka eivät ole kaikki saman suuruisia. Erisuuruisten kuormitusten vuoksi tähtipisteen jännite kasvaa  $0\text{ V}$ :sta johonkin muuhun arvoon. Yleensä kolmivaihejärjestelmää käytetään sähkönsiirrossa kolmijohtimisena, jossa ei ole nollajohdinta. Tästä syystä johtuen tähtipisteen jännite ei koskaan  $0\text{ V}$ , vaan yleensä siinä vaikuttaa pieni jännite. Kolmijohtimisessa järjestelmässä ei päästä aivan täydelliseen symmetriaan, joka olisi ihanne tilanne. Myös kuormituksessa on aina hieman eroja, joka vaikuttaa myös tilanteeseen. Tähtipisteen jännitettä valvotaan, ettei se kasva liian suureksi ja aiheuta haittoja sähköjakeluverkkoon. (Hietalahti 2013, 16.)

Tähtipisteen jännite eli nollapisteen jännite kasvaa vikatilanteessa vaihejännitteiden suuruiseksi tai suuremmaksi, kun jätetään huomioimatta verkon kapasitiivinen reaktanssi tai siihen muut kuormitusten impedanssit voidaan kaavaa soveltaa seuraavasti sovellettava kaavaa 19.

$U_T$  jäljelle jäävä kokonaisjännite epäsymmetrisessä tilanteessa, joka jaetaan  $\sqrt{3}$  ja saadaan tähtipisteen  $U_0$  vaikuttava jännite. Koska vaihejännitteet ovat  $\sqrt{3}$  kertaa pienemmät kuin pääjännite, voidaan edellä esitetyssä kaavasta 19 laskea  $U_0$  eli tähtipistejännite seuraavalla tavalla (20):

$$U_{0\leq 0^\circ} = (U_T \leq 0^\circ) / \sqrt{3}, \quad (20)$$

missä

$U_T$  on vaiheiden kokonaisjännite [V]

$U_0$  on nollapisteen tai tähtipisteen jännite [V]

Vikatilanteessa  $U_0$ - pisteen jännite kohoaa yhden vaiheen jännitteen aleneman vuoksi tai useamman. Myös vaihekatkojen seurauksena  $U_0$ - pisteen jännite kohoaa. Toisin sanoen tähtipiste siirtyy ja sen potentiaali muuttuu. Tähtipisteen potentiaalinen muuttuminen aiheuttaa muutoksia vaihejännitteisiin. Yleensä nolla-

pisteen jännitemittausta käytetään maasta erotetuissa verkoissa tai järjestelmissä, jotka eivät sisällä nollajohdinta.

Epäsymmetriaa voidaan kuvata myös virtojen avulla kolmijohdinjärjestelmässä, koska se ei sisällä nollajohdinta. Tällöin virtojen summa on aina 0 ja se voidaan esittää seuraavan kaavan (21) avulla: (Hietalahti 2013,16.)

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_0 \quad (21)$$

missä

$I_1$	on	vaiheen $U_{V1}$ virta [A]
$I_2$	on	vaiheen $U_{V2}$ virta [A]
$I_3$	on	vaiheen $U_{V3}$ virta [A]
$I_0$	on	nollapisteen tai tähtipisteen virta [A]

Edellä esitetyssä, kaava on symmetrisen järjestelmän kaava, joka usein muunnetaan seuraavaan muotoon, jossa otetaan kulmat mukaan eli  $I_1 \leq 0^\circ$ ,  $I_2 \leq 120^\circ$  ja  $I_3 \leq -120^\circ$  ja  $I_0 \leq 0^\circ$ .  $I_0$ - arvo on nolla silloin, kun kaikkien vaiheiden virta-arvot ovat yhtä suuret.  $I_0$ - pisteen virran kasvu on seurausta juuri tähtipisteen ( $U_0$ ) jännitteen nousemisesta. Kyseinen  $I_0$ - virta on sama virta, joka menee sammutuslaitteistoon sammutettavaksi.  $I_0$ :n avulla saadaan esille epäsymmetrisessä tilanteessa olevien vaihevirtojen vaikutus siihen.

Verkon maasulkutilanteiden mittaus perustuu sekä virta- että jännitemittaukseen. Jännitemittauksen avulla saadaan mitattua verkon nollapisteen jännite, joka tehdään jännitemuuntajilla. Nollapisteen jännitettä mitataan yksivaihemuuntajista muodostetulla kytkennällä, joka on avokolmiokytkentä. Virtamuuntajien summakytkennällä mitataan maasulkuvirtoja.



## 5 MUUNTAJATYYPIT

Muuntaja on laite, jonka avulla alennetaan tai nostetaan jännitettä esimerkiksi 10 kV:sta 220 kV:iin. Yleisimpiä muuntajia ovat yksivaiheiset muuntajat, jolla usein muunnetaan jännite sopivalle tasolle, jotka maallikotkin jollakin tavalla tuntevat. Kolmivaihemuuntajat, eli tehomuuntajat ovat maallikoille hieman vieraampia muuntajia. Kuten nimi kertoo, kyseiseen muuntajaan tulee kolme vaihetta ja periaatteessa se sisältää kolme yksivaiheista muuntajaa. Usein muuntaja rakentuu rautasydämeestä, jonka ympärille on rakennettu käämit.

Kolmivaiheisille tehomuuntajille on määritelty kytkentäryhmänsä, ja ne ilmoitetaan kirjainsymboleja ja tunnuslukuja käyttäen. Kolmivaiheisten muuntajien tyyppillisiä käämityksiä esitetään seuraavassa kuvassa 20.

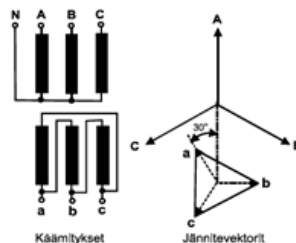
TUN- NUS- LUKU	KYT- KEN- TA	OSOITINKUVAT		KYTKENNÄT	
		YJ	AJ	YJ	AJ
0	Dd0				
	Yy0				
	Dz0				
5	Dy5				
	Yd5				
	Yz5				
6	Dd6				
	Yy6				
	Dz6				
11	Dy11				
	Yd11				
	Yz11				

Kuva 20. Muuntajatyypit ja kytkentäryhmät (Hietalahti 2011,25).

Kirjainsymbolit kuvaavat, kuinka muuntajan käämitykset ovat kytketty ensiön- ja toisionpuolella. Kirjainsymboli isolla kirjaimella kuvaa muuntajan isomman jännitteen käämitystä ja pieni kirjain pienemmän jännitteen. Mikäli muuntajan kan-

nelle on tuotu nollajännite liittimellä, se merkitään kirjaimilla N ja n välittömästi jännitesymbolimerkin jälkeen. Käämitys voi olla kytkettävissä myös useammalle jännitteelle kuin yhdelle. Silloin esitetään suuremman jännitteen tunnus ensin ja tämän jälkeen kirjoitetaan muut kirjainsymbolit sulkeisiin. Y- kirjainsymboli isolla tai pienellä kirjoitettuna tarkoittaa tähtikytkentää käämityksellä ja D, d tarkoittaa kolmiokytkentää. Erikoisempaan käytetään Z symbolia, joka tarkoittaa hakatäh- tikytkentää käämityksellä. III symboli pienellä tai isolla tarkoittaa avointa kytkemätöntä kolmivaihekäämitystä. (Hietalahti 2011,24.)

Tunnuslukujen avulla, jotka ovat kellonaikojen tuntilukemia, kuvataan muunta- jan vaihesiirtoa, joka aiheutuu muuntajan kolmivaihekäämityksestä. Jos vai- hesiirtoa ei ole, sitä kuvataan samansuuntaiseksi tunnusluvulla 0 ja sitä käytet- tään kuvaamaan, mihin alapuolen jännitevektorit asettuvat. Seuraava kuvio ha- vainnollistaa vaihesiirtojännitevektorien avulla ja käämityksien periaatekuvalla. Kuviossa esitetään YNd11 kytkentäryhmällä oleva muuntaja.



Kuva 21. Muuntajankytkentä ja jännitevektorit (Hietalahti, 25).

Yllä olevasta kuvasta 21 voimme havaita, että yläpuolen käämitykset on kytket- ty tähteen ja alapuolen käämitykset on kytketty kolmioon. Kyseisen kytkentä- ryhmän tunnusluku on 11, joka tarkoittaa sitä, että alapuolen jännite on  $30^\circ$  as- tetta edellä yläpuolen käämitystä. (Hietalahti 2011,24.)

Kolmivaihemuuntajia voidaan tietyin edellytyksin käyttää rinnakkain. Muuntajien rinnankytkennälle edellytykset ovat seuraavia:

- nimellistehon täytyy olla samalla suuruusluokalla, tehosuhte korkeintaan 3:1.

- oikosulkuimpedanssin täytyy suunnilleen vastata toisiaan 10 %:n erotuksella, ei suuremmalla.
- nimellisjännitteiden oltava samat 0,5 %:n erotuksella.
- rinnankytkennässä on muuntajien toisiojännitteiden oltava keskenään samansuuntaiset.

Silloin, kun muuntajaa kytketään verkkoon tulee myös huomioida sen kytkentävirtasysäys, joka syntyy kytkentähetkellä. Kytkentävirtasysäys johtuu muuntajan käämityksestä, joka on kierretty rautasydämen ympärille ja se on voimakkaasti induktiivinen. Muuntajan jännite ja magneettivuon välinen kulma on 90 astetta, eli puhutaan vaihesiirtokulmasta. Kytkettäessä jännite muuntajaan se ottaa aluksi voimakkaasti virtaa saavuttaakseen jatkuvan tilan arvon, koska aluksi vuon arvo on 0. Virta kyllästyttää muuntajan rautasydämen. Se saavuttaa jatkuvan tilan arvon ja kytkentävirtasysäysilmiö vaimenee. Tämän voi nähdä kytkentäsysteemin kuvaajasta. Tämä kytkentäsysteemin virta on huomioitava, kun suunnitellaan relesuojausta, ettei synny tarpeettomia katkoksia ja virheellisiä releen toimintoja tai suojausta yleensäkin. (Hietalahti 2011,27.)

Yliaallot muuntajassa aiheuttavat tyhjäkäyntihäviöitä, jos kyseessä on jännitekäyrällä esiintyviä yliaaltoja. Jännitekäyrällä esiintyvien yliaaltojen vaikutus on hyvin pieni. Yliaallot, jotka esiintyvät virtakäyrällä muuntajalla suurentavat kuormitushäviöitä. Taajuus aiheuttaa pyörrevirtoja ja aiheuttaa kuormitushäviöiden kasvamisen. (Hietalahti 2011,30.)

## 5.1 Muuntajien suojaus

Muuntajat pyritään suojaamaan siten, että kaikkein arvokkaimpien muuntajien kohdalla suojaus toteutetaan täydellisesti. Arvokkaimpia muuntajia ovat suuret verkkomuuntajat ja isojen generaattoreiden muuntajat. Niiden suojaus on yleisesti toteutettu suojareleillä. Muuntajien suojausalue on virtamuuntajien välinen alue, jossa esiintyvät viat aiheuttavat välittömästi laukaisun muuntajien katkaisijoille. Katkaisijat voivat olla katkaisijoita ja erottimia. Myös muuntajien ulkopuo-

lolla esiintyvät viat tulee suojauksessa ottaa huomioon, jolloin tulee hidastaa laukaisukäskyjä näillä muuntajasuojilla. Muuntajien suojaus perustuu sähköisiin mittauksiin ja muihin muutoksiin. (Elovaara & Haarla 2011, 378.)

Muuntajasuojaukset voidaan jakaa seuraavasti:

- ylivirtasuojaus (muuntajan sisä- ja ulkopuoliset oikosulut)
- maasulkusuojaus (sisäiset maasulut)
- käämi- ja kierrossulkusuojaus (sisäiset oikosulut)
- ylikuormitussuojaus (ylikuormitus)
- ylijännitesuojaus (käyttötaajuinen ylijännite)
- kaasusuojaus (sisäinen kaasunkehitys)
- käämikytkin suojaus (käämikytkimen viat).

(Mörsky 1993,190.)

Muuntajasuojauksessa käytetään monia erityyppisiä releitä, koska kaikki relesuojaukset eivät voi toimia pienien virtojen takia. Tämän ilmiön seurauksena käytetään lämpötilareleitä, virtausreleitä ja öljyn kaasuuntumista seuraavia releitä.

Buchholz-rele on kaasurele, joka reagoi kaasuuntumiseen. Pieni määrä kaasua aiheuttaa hälytyksen ja suurempi määrä aiheuttaa laukaisun. Mikäli öljymuuntajasta alkaa suihkuta öljyä, se aiheuttaa välittömän laukaisun ja toiminnan kaasureleessä. (Elovaara & Haarla 2011, 378. ja Mörsky 1993, 202.)

Muuntajassa oleva käämikytkin suojataan virtausreleellä, joka on asennettu paisuntaputkeen. Kyseinen rele laukaisee välittömästi, jos käämikytkimen suorittama kytkentä ei onnistu ja synnyttää valokaaren ja erottaa muuntajan verkosta. Valokaari aiheuttaa paineen, joka saa öljyn liikkeelle paisuntasäiliössä ja käämikytkimen putkessa. Virtausrele havaitsee käämikytkimen putkessa liikkuvan öljyn ja reagoi siihen välittömästi. Suurmuuntajien käämikytkimet on varus-

tettu ylipaineventtiilein, koska käämikytkimen virheellinen toiminta voi aiheuttaa räjähdysten. Ylipaineventtiili estää käämikytkimen räjähdysten ja päästää räjähdyksestä aiheutuvan paineen pois käämikytkimestä estäen käämikytkimen täydellisen tuhoutumisen. Ylipaineventtiiliin asetettavan apukoskettimen avulla mikä reagoi nopeammin kuin öljynvirtausrele. Usein muuntajien kannella on kaksi ylipaineventtiiliä, jotka räjähdysten seurauksena päästävät paineen pois estäen muuntajien ja suojalaitteiden täydellisen rikkoutumisen. (Elovaara & Haarla 2011, 379; Mörsky 1993, 203- 204.)

Lämpötilarele on myös yksi muuntajan suojaustapa. Lämpötilareleessä on lämmitysvastus, jota syötetään virtamuuntajan virralla. Syöttövirta on verrannollinen suoraan käämissä kulkevaan virtaan. Kyseisellä menetelmällä saadaan matkittua käämin lämpötilaa. Lämpötilakuvaajan avulla asetellaan koskettimet erikseen hälytys- ja laukaisutoimintoja varten. Kolmivaihemuuntajissa on kaikissa käämeissä lämpötilareleet, jotka mallintavat kyseisen muuntajan käämilämpötilaa. Uusin ratkaisu on valokuidut, joka perustuu optiseen menetelmään käämin lämpötilan tarkasteluun. Valokuidun avulla tehdään monitorointi, joka voi laukaista muuntajan irti verkosta. (Elovaara & Haarla 2011, 379.)

Lämpörele, joka on tarkoitettu öljynlämpötila mittaukseen. Kyseinen lämpörele on mittari, johon on liitetty koskettimet. Tämän tyyppinen rele mittaa öljyn lämpötilaa pelkän kapillaariputken avulla ja siihen voidaan asetella hälytys- ja laukaisukäskyn lähettämiseen ennalta määritellyt lämpötila arvot. Hälytyksen seurauksena se kertoo, että kuormia tulee vähentää. Mikäli lämpötila nousee, tällöin rele laukaisee muuntajan eroon verkosta. (Elovaara & Haarla 2011, 379.)

Muuntajien sähköisiin suojausreleisiin kuuluu differentiaalirele, joka toimii yleensä varasuojana. Ylivirtarele toimii yleensä pääsuojana. Nollavirtarele, joka asennetaan yleensä, kun muuntaja on tähtipisteestä maadoitettu. Nollavirtarele on tähtipisteen virtamuuntajaan asennettu kaksipuolaisesti toimiva rele. Nollavirtarele toimii myös muuntajan varasuojana. Lisäksi kun 110 kV:n muuntajan tähtipistettä ei ole maadoitettu, niin nollavirtarele asennetaan vaihevirtamuuntajien

paluujohtimeen, ja näin asennettuna rele toimii vain muuntajavioissa. (Elovaara & Haarla 2011, 379.)

Aiheettomat hälytykset on pyritty estämään maadoituksen virtamuuntajiin asennetuilla salpareilla, jotka tunnistavat kytkentäsäätövirran.

Ohjeistuksena yleensä on, että rele laukaisee sekä 110 kV:n että 400 kV:n katkaisijan tai pelkästään 110 kV:n katkaisijan. Jos vika on 400kV:n puolella, irrotetaan koko muuntaja verkosta. Jos vika on 110kV:n puolella, laukaistaan joissakin tapauksissa vain 110 kV:n katkaisija, mutta 400 kV:n katkaisija jätetään kiinni. Näin 20 kV:n tertiäärikäämissä oleva reaktori voi säätää 400 kV:n jännitettä. Muuntajan palauttaminen käyttöön on helpompaa, jos se on valmiiksi kytkettynä 400 kV:n jännitteeseen. (Elovaara & Haarla 2011, 380.)

Differentiaalirele on muuntajan pääsuojarele. Differentiaalireleen toiminta perustuu siihen, että se mittaa muuntajaan tulevien ja siitä lähteviä virtoja. Mikäli virtojen ero on suurempi kuin asetellut arvot, niin rele lähettää laukaisukäskyn. Erovirta asetellun määrän ylijännite tai jokin muu syy, mikä on kasvattanut tyhjäkäyntivirtaa. (Elovaara & Haarla 2011, 380.)

Ylivirtarele toimii yleensä kisko- ja johto oikosuluissa. Ne ovat usein vakioaika-releitä, jotka toimivat pikalaukaisulla. 110 kV:n alueella toimivat releet laukaisevat 110 kV:n katkaisijat, jotta reaktorit jäisivät 400 kV:n puolelle. 400 kV:n ja 21 kV:n kaikki katkaisijat laukaisee ylivirtareleiden toiminta. (Elovaara & Haarla, 2011, 380.)

Muuntajat, jotka maadoitetaan tähtipisteestä suoraan tai kuristimen kautta on toteutettu kaksipolttaisella maasulkuvirtareleistyksellä. Tällöin maasulkureleitys on tehty vakioaikaylivirtareleillä, joiden tehtävänä on toimia kiskoviassa sekä johtosuojauksen varasuojana. Maasulun ollessa muuntajassa tai muuntajan ja sen katkaisijan välissä pitää muuntajan kummankin puolen katkaisijan aueta, varsinkin maadoituskuristinta käytettäessä, koska kuristin on mitoitettu vain lyhytkestoisella virralla kuormitettavaksi. Mahdollinen differentiaalirele avaa mo-

lemmat katkaisijat, mutta ylivirtarelettä voidaan käyttää sen varareleenä. (Mörsky 1993, 291.)

110 kV:n verkossa syöttömuuntajat ovat yleensä YNd11 kytkentäryhmältään, jolloin toisiossa ei ole tähtipistettä, koska se on kolmiossa. Tämä kytkentäryhmä valitaan, koska rinnankäyttömahdollisuus on tärkeä, ja näin ollen YNyn0 käyttäminen ei ole perusteltua. Lisäksi molempien muuntajatyypin kustannukset ovat yhtä suuria ja eikä vinokuormitus ominaisuudet eroa toisistaan. Usein tarvitaan erillinen suojamuuntaja, jonka avulla saadaan tähtipiste esille, koska usein jakelujärjestelmässä toinen puoli muuntajassa on kolmiokytkentäinen, josta suojamuuntajan avulla saadaan tähtipiste esille. Tämä toimenpide jakeluverkossa on arvokasta, ja se ei ole järkevää ajatellen verkonkustannuksia. (Mörsky 1993,320.)

Muuntajan ylivirtasuojauksessa on huomioitava, miltä suunnalta syöttö tulee. Jos se tulee yhdeltä suunnalta, ylivirtasuoja on välttämätön vain muuntajan ensiöpuolella. Jos syöttö tulee muuntajan molemmin puolin, ylivirtasuoja on muuntajan sisäisten vikojen varalta oltava molemmilla puolilla, sekä ensiö- ja toisio- puolella. (Mörsky 1993, 190.)

Kun muuntajan suojana toimii kolmivaiheinen ylivirtarele, joka on liitetty virta muuntajiin, yleensä muuntajilla ei ole erovirtasuojasta. Tällöin rele on kaksipor- tainen, jolloin pikalaukaisu toimii muuntajan yläjännitepuolen vioissa, ja releen hidastettu laukaisu toimii muuntajan alajännitepuolen navoissa sattuvissa viois- sa. Releen asettelulle on vaatimuksena tällöin, että  $1,5 \cdot I_N$  muuntajan ylikuormi- tettavuus saadaan hyödynnettyä. (Mörsky 1993, 191.)

Releen asetteluvaatimus voidaan laskea kaavalla (22):

$$1,5 \cdot I_N \quad (22)$$

missä

$I_N$  nimellisvirta [A]

Jos muuntajan alajännitepuolella on voimalaitos tai jokin muu, on voimalaitos ja syöttöasema varustettavaa releiestyksellä, jonka avulla havaitaan syötävässä johdossa olevat viat ja erottaa voimalaitoksen tai syöttöaseman syöttävästä johdosta. (Mörsky 1993, 191.)

Enimmäkseen aiheettomien reletoimintojen takana on kytkentäsäysvirta, jolloin on syytä tarkastaa, ovatko asetteluarvot riittävät. Kytchentäsäysvirran suuruus riippuu useista tekijöistä: kytkentähetki, joka vaikuttaa vaihekulmaan, kämmikytkimen asento, rautasydämen kyllästymisnopeus, muuntajan ja verkon rakenne jne. Kytchentäsäysvirta voi syntyä myös jo verkossa olevaankin muuntajaan kytkettäessä toinen muuntaja rinnalle. Kytchentäsäysvirta ei saa normaalisti aiheuttaa ylivirtareleen pikalaukaisuportaan havahtumista vaan saa hidastetun laukaisun toimimaan. Lisäksi kytkentäsäysvirran vaimenemisaika voi olla hyvin pitkä. (Mörsky 1993, 192.)

Maasulkusuojauksessa kolmivaiheinen ylivirtarele kykenee toimimaan muuntajan yläjännitepuolen maasuluissa yläjännitepuolen verkon ollessa tehollisesti maadoitettu, mutta se ei riitä yleensä. Tarvitaan siis erillinen maasulkusuojaus, koska maasulkuvirta toisiopuolen maasulussa riippuu vikapiirin impedanssista, muuntajan kytkentäryhmästä, vikapaikan ja maan välisestä jännitteestä sekä vikaresistanssista. Jokaisessa tapauksessa on käytettävissä virtamuuntajien toisiopuolen summakytkentään liitettäviä virtareleitä tai suuntareleitä. Silloin kun käytetään virtarelettä, tarvitaan myös nolajännitereleeltä lupa laukaisun suorittamiseen, koska tällöin vältetään turhilta laukaisuilta esimerkiksi kytkentäsäysvirran tai verkossa esiintyvän oikosulkuvirran aiheuttaman näennäisnollavirran tähden. (Mörsky 1993, 192- 193.)

Selektiivinen muuntajasuojaus saavutetaan seuraavalla keinolla. Kun kytketään tähtipisteen ja maan välille erovirtarele, joka omaa suuren impedanssin, sillä mitataan tähtipisteen yhdysjohtimien, sekä vaihevirtojen summan erotusta. Kyseinen erovirtarele toimii vain virtamuuntajien välillä tapahtuvissa maasuluissa.



Jos maasulku on verkossa muualla, virta kiertää myös mittamuuntajien kautta, jos vika on muuntajan suojausalueella. Tällöin virrat vahvistavat toisiansa ja rele toimii. Lisäksi suojaustapa toimii oikein yhden virtamuuntajan kyllästyessä. (Mörsky 1993,193.)

Lisäksi jos muuntajan tähtipiste on kytketty maita vasten, voidaan rele kytkeä mittaamaan yhdysvirtaa, jonka avulla voidaan havaita muuntajan ja verkon maasulut.

Maasta erotetussa verkossa muuntajan maasulkusuojauksessa yksi keino on eristää muuntajan vaippa täysin maasta. Se tehdään kytkemällä pienjännitteinen virtamuuntaja vaipan ja maan väliin. Virtamuuntajan toisioon kytketyllä ylivirtareleen avulla saadaan mitattua maasulkuvirta. Kaikki muuntajan vaippa sekä suojaus-, ohjaus-, mittaus-, merkinantojohdot on jatkuvasti eristetty maasta. Muuntajalle tulevat sähköjohdot on kytketty eristysmuuntajan välityksellä. Etuna on herkkyys, joka saavutetaan tällä suojausmenetelmällä. (Mörsky 1993, 194.)

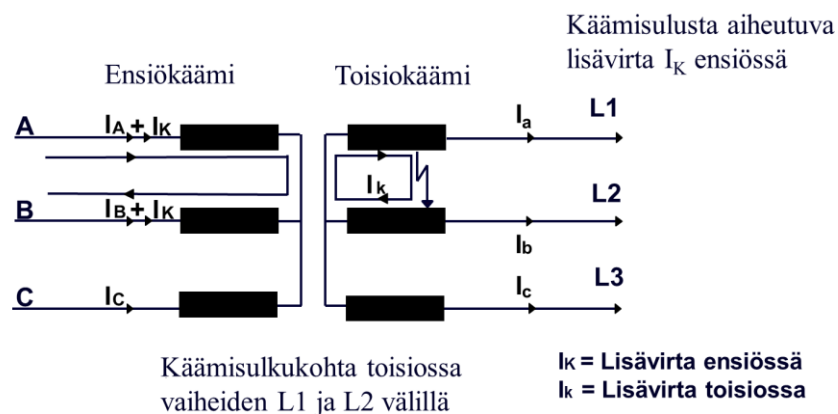
Tehomuuntajien vikaantuminen on epätodennäköistä, ja vikaantuessaan yleisimpiä vikoja ovat kierrossulut, käämisulut, kaksivaiheinen oikosulku tai maasulku.

## 5.2 Käämi- ja kierrossulku

Käämi- ja kierrossulku ovat eräänlaisia oikosulkuja, joilta pyritään suojautumaan ylivirtasuojien avulla. Kyseiset oikosulut ovat muuntajien sisäisiä oikosulkuja ja vahinkojen estämiseksi ne on katkaistava nopeasti. Ylivirtareleen tulee toimia ilman viivettä muuntajassa tapahtuvan sisäisen oikosulun aikana ja aikahidastusta käytettävä, mikäli vika tapahtuu toisella puolella muuntajaa. Arvokkaimpien muuntajien suojaus toteutetaan erovirtareleiden avulla. Lisäksi käämi- ja kierrossulku eroavat toisistaan, eli kyseessä ei ole samanlainen vika. (Mörsky 1993, 194.)

### 5.2.1 Käämioikosulku

Käämioikosulku on muuntajassa kahden eri käämin välillä tapahtuva oikosulku. Käämioikosulusta käytetään usein nimitystä käämisulku, ja kyseinen asia voi tapahtua oikosulkumoottoreissakin, eli ei ole vain muuntajassa esiintyvä oikosulku. Muuntajassa tapahtuva oikosulku syntyy läpilyönnin seurauksena, kun eristys pettää esimerkiksi ja pääsee lyömään läpi toiseen käämiin.



Kuva 22. Käämioikosulku (Virtuaali AMK 2015,36).

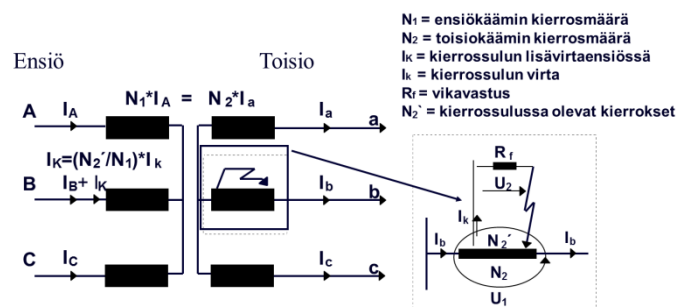
Yllä kuvassa 22 muuntajassa syntyy käämisulku kahdelle käämille toision puolella. Toisiossa käämi vaiheella L1 pääsee lyömään läpi toision käämiin vaiheella L2 ja aiheuttaa käämioikosulun. Käämisulku toisiossa synnyttää oikosulkuvirran  $I_k$ . Käämisulku tässä tapauksessa aiheuttaa ensiön puolella käämeille lisävirran  $I_k$ , joka sama kuin toisiossa oleva oikosulkuvirta, vaikka ovat galvaanisesti erotettu toisistaan. Lisävirta  $I_k$  summautuu ensiön vaiheille A ja B, joten näiden vaiheiden virta muodostuu tällöin yhtälöistä  $I_A + I_k$  ja  $I_B + I_k$ .

Yllä olevan syyn vuoksi muuntajia valvotaan jakelujärjestelmissä differentiaalireleillä. Vaikka muuntajien viat ovat vähäisiä, mutta muuntajan rikkoutuminen on kustannuksiltaan arvokasta ja aiheuttaen suuria häiriöitä sähkönjakeluun mikäli ei ole varasyöttöyhteyttä tai muuta syöttösuuntaa. Joten viallisen muuntajan erottaminen on erittäin arvokas toimenpide jakeluverkoissa ja parantaa verkon häiriönsietokykyä huomattavasti ja luotettavuutta edellyttäen, että syöttö voi tapahtua muuta kautta. Lisäksi jakelumuuntajat ovat arvokkaita ja niiden uusimi-

nen ei helppo toteuttaa ja riippuu siitä kuinka kriittisessä kohdassa muuntamo sijaitsee sähkönsiirron kannalta.

### 5.2.2 Kierrossulku

Muuntajassa saattaa myös syntyä kierrossulku. Kierrossulku tarkoittaa yhden käämin kierrosten välille syntyvää oikosulua. Kierrossulussa oleva käämi on kuin säästökytketty muuntaja. Oikosulussa kierrosten välille syntyy oikosuljettu toisio. Tämä aiheuttaa muuntajan sisälle suuria virtoja ja pienempi määrä oikosulussa olevia kierroksia aiheuttaa sitä suuremman virran. Kierrossulku aiheuttaa muuntajan liittimille nimellisvirran suuruisen virran vasta suurella prosentilla. Lisäksi differentiaalirele pystyy havaitsemaan tämän vian. (Mörsky 1993, 195).



Kuva 23. Kierrossulku (Virtuaali AMK 2015,35.)

Yllä kuvassa 23 kierrossulku tapahtuu toisiossa, vaiheessa b. Vaiheen b käämillemä syntyy vikaresistanssi  $R_f$  kierrossulun seurauksena. Vikaresistanssi  $R_f$  määrytyy kierrossulussa olevien kierrosten mukaan. Vikaresistanssin läpi kulkee kierrossulun virta  $I_k$ . Kierrossulussa olevan vaiheen vikavirta summautuu ensiön vaiheelle B muuntosuhteen mukaan. Ensiön puolella kierrossulussa vaiheen B:n virta on yhtälön  $I_B + I_k$  mukainen, ja muut vaiheet ovat normaaleja ensiön- ja toision puolella.

Kierrossulku saattaa aiheuttaa vakaviakin tuhoja muuntajalla. Se voi tehdä vauriota vikavirtapiiriin mekaanisilla voimilla, joita se aiheuttaa. Lisäksi se synnyttää valokaaren, sulattaa kuparia tai muuttaa öljyn olomuodon kaasuksi. (Mörsky 1993, 195.)

Muut oikosulut aiheutuvat lähinnä maasuluista, joita ovat yksi-, kaksi- ja kolmi-vaiheiset maasulut. Kierrossulkua valvotaan vaihevirtaerojen avulla. Kyseisen kuvan 22 muuntajalla vaiheiden virtojen tulisi olla samat, joten oikosulkuvirta  $I_k$  näkyisi differentiaalireleessä erovirtana, ja aiheuttaisi havahtumistoiminnan sekä laukaisukäskyn muuntajan katkaisijalle erottaa muuntajan irti verkosta.

### 5.3 Maadoitustavan vaikutus

Suomen verkossa maadoitukset ovat tehollisesti toteutettuja 400 kV:n ja 220 kV:n siirtoverkossa. Tehollinen maadoittaminen tarkoittaa sitä, että muuntajan tähtipiste on maadoitettu suoraan tai noin 100  $\Omega$ :in virtaa rajoittavan kuristimen kautta. Kyseinen maadoituksen tapa vaikuttaa maasulunaikaisiin vaiheiden jännitteiden nousuun, ja sillä saadaan pidettyä maasulkuvirta sopivan suuruisena. Suuren maasulkuvirran avulla relesuojaus olisi helppo toteuttaa ja suojauksien toiminta saadaan nopeaksi. Suuri maasulkuvirta maita vasten aiheuttaa mahdollisesti ihmiselle vaarallisia kosketus- ja askeljännitteitä tai häiriöjännitteitä, jotka aiheuttavat häiriöitä muihin laitteisiin. (Elovaara & Haarla 2011, 337.)

110 kV:n verkko maadoitetaan vain eräillä muuntoasemilla suoraan tai kuristimen kautta. Näin ollen saadaan maasulkuvirta tarpeeksi suureksi distanssireleille, jotta ne pystyvät toimimaan selektiivisesti maasuluissa. Lisäksi, jos maadoitetaan vain osa 110 kV muuntajien tähtipisteistä, ja näin saadaan rajoitettua maasulkuvirtaa, jolloin saadaan pienennettyä maasulkuvirran vikapaikkaan synnyttämää maadoitusjännitettä. Lisäksi, kun maadoitus on tehty joissakin sopivissa katsotuissa paikoissa, saattaa kahden maadoituspaikan välillä olla useitakin kytkinlaitoksia. Tällöin voi terveelle johdolle mennä yhtä suuri maasulkuvirta kuin vialliselle, ja viallista johtoa ei voi päätellä maasulkuvirran suuruuden avulla kuin tehollisesti maadoitetussa verkossa. Selektiivisyys saadaan aikaan laukaisuaikojen porrastuksella. Nollavirtareleiden laukaisuajat on porrastettu alenevasti seuraavaa maadoituspaikkaa kohti oikean johdon erottamiseksi. Nopeamman releen toimiminen kiskoihin päin on estettävä, koska suuri-impedanssinen vika on ilmeisesti johto- eikä kiskovika. (Mörsky, 1993, 267.)

110 kV:n verkon maadoitus on toteutettu vain tietyillä muuntajilla. Tällöin muuntajan tähtipisteen maadoitus on tehty  $120 \Omega$ :n kuristimella. Tällä tavoin tehty maadoitus varmistaa, että maasulkuvirta on riittävän suuri. Lisäksi se varmistaa distanssireleen toiminnan oikosulkujen lisäksi myös maasulkujen aikana. Maadoitusjännite pienenee maasulkuvirtaa pienentämällä ja huomattavasti edullisempaa ja on helpompaa kuin maadoitusresistanssin pienentäminen. Lisäksi maasulunaikainen jännitekuoppa pienenee. (Elovaara & Haarla 2011, 338.)

Keskijänniteverkot ovat yleensä maasta erotettuja. Maasta erotetussa verkosta yksivaiheinen maasulku ei saa aikaan suurta oikosulkuvirtaa. Kun maasulku muodostuu yksivaiheisena, se sulkeutuu vain vaiheen maakapasitanssin kautta. (Elovaara & Haarla 2011, 338.)

Maasulkusammutusta käytetään paikoitellen Pohjois-Suomessa 110 kV:n siirtoverkossa ja joissakin 20 kV:n keskijänniteverkossa. Sammutetun verkon järjestelmässä maasulkuvirtaa pienennetään tähtipisteen ja maan välille asennetulla kuristimella, jota kutsutaan myös sammutuskuristimeksi. Tällöin tapahtuu sama ilmiö kuin edellä mainitussa sammutetussa verkossa, jossa kapasitiivinen maasulkuvirta, joka kulkee kapasitanssien kautta. Se kumoutuu induktiivisen virran seurauksena. Tämän seurauksena saadaan maasulusta aiheutuva valokaari sammumaan itsestään. Sammutuksen suojauksena on järkevin toteuttaa säteittäisverkossa, koska muutoin kustannukset voivat nousta kohtuuttomaksi. Renkasverkoissa selektiivinen suojaus on vaikea toteuttaa, koska tarvittaisiin viestiyhteys johdonpäihin molempiin suuntiin. Keskijänniteverkossa usein tarvittaisiin erillinen tähtikytketty maadoitusmuuntaja, jotta verkon sammutus voitaisiin toteuttaa. Maadoitusmuuntajaan tarvitaan tähtipisteeseen kytkettävä sammutuskuristin. Keskijänniteverkossa sammutuksen tekeminen ei ole taloudellista tarvittavien lisälaitteiden vuoksi. Keskijänniteverkon syöttömuuntaja on usein 20 kV:n kolmiokytkentäinen, joista tähtipiste saadaan esille suojamuuntajien avulla. (Elovaara & Haarla 2011, 338.)

## 6 RELESUOJAUS

Relesuojaus on menetelmä, jolla suojataan sähköntuotantoa ja siirtojärjestelmää. Suojaus voi käsittää muuntajan, johtolähdön ja muita vastaavia laitteita ja komponentteja. Releillä suojauksen mahdollisuuksia on monia, riippuen aina kulloisestakin suojaustilanteesta ja siitä, minkä tyyppistä relesuojauksta tarvitaan. Sähkönsiirtojärjestelmissä suurimman osan relesuojauksesta muodostaa differentiaali-, distanssi-, ja jälleenkytkentäsuojaukset. (Fingrid Oyj 2006.)

Usein kaikkein kriittisimpiä suojauskohteita ovat jakelumuuntajat, jotka vikaantuessaan saattaisivat vahingoittaa sähkösiirtoverkkoa laajalta alaltakin, jopa niin, että koko infrastruktuuri voisi häiriintyä ja saada aikaan mittavia vahinkoja. Nykyisin monet järjestelmät ovat riippuvaisia sähköstä, eivätkä voi toimia kuin rajallisen ajan sähkönsiirtojärjestelmässä esiintyvien häiriöiden vuoksi. Tästä syystä relesuojauksen avulla on pyritty estämään vikojen syntyminen ja eristämään viat releiden avulla rajatulle alueelle ilman, että muu sähkönsiirtojärjestelmä häiriintyy. Monet sähkönsiirtoverkon suojalaitteet saavat releiltä tiedon syntyneistä vioista tiedon esimerkiksi erottimet, jotka kykenevät erottamaan rajatun osan sähkönsiirto järjestelmästä saavat erottamiskäskyn releiltä. (Elovaara & Haarla 2011, 336-344.)

Releet ovat nykyisin hyvin tehokkaita, johtuen niiden kehityksestä. Aivan aluksi releet ovat olleet rakenteeltaan mekaanisia. Kehityksen seurauksena ovat tulleet sähkömekaaniset releet, joilla suojauksia on alettu toteuttamaan. Puolijoh-teiden kehityksen myötä releiden koko on pienentynyt ja tullut lisää ominaisuuksia. Nykyisin relettä kutsutaankin monitoimireleiksi. Perustelen tämän sillä, että nykyisellään releet pitävät sisällään mekaanisia toimintoja, sähkömekaanisia toimintoja ja näihin on liitetty tietoliikenne. Tietoliikenteen avulla voidaan seurata releitä ja saada tietoja releiden toiminnasta ja yleensä seuranta tapahtuu reaaliajassa valvomoissa sijaitsevien sähkönsiirtoverkkovalvonta ohjelmistoilla. Usein linjat näkyvät karttapohjalla viivoina verkon rakenteen mukaisesti. Releiden toiminnasta näkyvät ilmoitukset ja toiminta samaisessa karttapohjassa esi-

merkiksi siten, että linjan väri muutos tapahtuu releen toiminnan indikoituessa karttapohjanäytössä.

Relesuojauksella suojataan muuntajia, kiskostoja, johtolähtöjä yleisesti. Yleisesti ottaen relesuojauksella pyritään sähkönsiirtojärjestelmissä estämään vikojen syntymistä, vikojen leviämistä suuremmalle alalle ja eristämään vikapaikka mahdollisimman suppealle alueelle siten, ettei muu siirtoverkko häiriinny. Lisäksi suojareleillä toteutetaan jälleenkytkentöjä. Jälleenkytkennät käsittävät pika- ja aikajälleenkytkentöjä. (ABB TTT-käsikirja 2000.)

Relesuojauksen toiminnalle on monia edellytyksiä, jälleenkytkennöissä selektiivisyys ja muussa suojauksessa omansa, jota tässä työssä tulla käsittelemään myös. Lähtökohdaksi tälle työlle on otettu 110 kV:n demokenttä, jossa releistykseällä on toteutettu suojaus. Tästä syystä työssä on sivuttu jo 110 kV:n verkkoa, joka on kantaverkkoa ja kyseinen suojausmenetelmä liittyy tälle verkkoalueelle.

Relesuojaus on osa suurempaa suojausta verkossa. Verkossa laitteiden suojauksesta huolehtii mittamuuntajien, suojareleiden ja katkaisijoiden muodostama kokonaisuus. Suojausjärjestelmä on hyvin rajattu ja siihen kuuluvat suojauslaitteet, mittamuuntajat, johdotus, laukaisupiirit ja teholähteet sekä mahdollisesti myös tiedon siirtojärjestelmät ja jälleenkytkentäautomatiikka. Suojauksen tarkoituksena on havaita viat tai epänormaalit olosuhteet voimajärjestelmässä, jotta viat voidaan selvittää tai epänormaalit olosuhteet saada loppumaan. (Elovaara & Haarla 2011, 335.)

Relesuojausjärjestelmä hyvin toteutettuna on selektiivinen, nopea, luotettava, herkkä sekä toimii poikkeuksellisissa käyttötilanteissa. Selektiivisyys tarkoittaa sitä, että vain vikaantunut komponentti erotetaan muusta verkosta. Toiseksi selektiivisyys tarkoittaa sitä, että kaikki verkon osat on suojattu jollain suojareleellä. (Elovaara & Haarla 2011, 342.)

Relesuojaustekniikalla ei pyritä varsinaisesti ehkäisemään vikoja ja häiriötä, vaan niiden olemassaolo pyritään tunnistamaan mahdollisimman nopeasti.

Erään poikkeuksen muodostaa sähköverkon stabiilin toiminnan ylläpito, jolloin relesuojaustekniikkaa käytetään laajan sähköhäiriön ennalta ehkäisyyn. Myös moottoreiden, generaattorien ja muuntajien yhteydessä käytetään releitä, jotka varoittavat lähestyttäessä laitteen toimintakyvylle vaarallisia käyttöalueita. (Mörsky 1993, 14.)

Relesuojaukselta edellytetään seuraavien ehtojen toteutuminen, joita ovat:

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

(Mörsky 1993, 15.)

Luotettavuutta edellytetään releiltä ja lisäksi valvontajärjestelmältä, jolla verkkoa valvotaan. Vian havaitseminen on tärkeää, jos vikaa ei havaita ajoissa, sen seuraukset voivat olla vakavia. Sähkönlaatu huononee, omaisuusvahinkoja ja laitevaurioita syntyy, ihmisiä tai eläimiä joutuu vaaralle alttiiksi. (Mörsky 1993, 14.)

Kun suure, jota rele tarkkailee, sivuuttaa releeseen asetellun toiminta-arvon (asettelu), niin rele havahtuu, toimii asetellun ajan kuluttua ja lopuksi antaa kytkentävirikkeen, jonka antaminen on sen tehtävä. Havahtumisesta kytkemiseen kuluvaa aikaa sanotaan releen toiminta- ajaksi. (Mörsky 1993, 19.)

Lisäksi rele ei yksin suoriudu suojauksesta, vaan siihen on liitetty muitakin komponentteja kuten virtamuuntajat, katkaisijat yms. ( Mörsky 1993,16.)



## 6.1 Suojarelelajit

Suojarele on mittaava rele, joka on suojareleistyksen ja samalla koko suojausjärjestelmän osa. Suojareleen tehtävänä on irrottaa vikaantunut osa ja tehonsiirto voi jatkua muissa verkon osissa. Suurimmat ja tärkeimmät suojarelelajit ovat:

- ylivirtareleet
- yli- ja alijännitereleet
- taajuusreleet
- tehoreleet
- suuntareleet
- epäsymmetriareleet
- vertoreleet (differentiaalireleet)
- distanssireleet
- aikareleet
- hetkelliset releet.

(Mörsky 1993, 21.)

### 6.1.1 Sähkömekaaniset releet

Ensimmäisiä suojareleitä on ollut sähkömekaaniset releet, jotka olivat suojattavaan päävirtapiiriin suoraan kytkettäviä ensiö- eli primäärireleitä, jotka virran ylittäessä asetteluarvon ylittyessä vapauttivat välitangon avulla katkaisijan laukaisujousen. (Mörsky 1993, 21.)

Toisioreleillä, jotka liitetään mittamuuntajien toisioon päästään parempaan tekniseen ja taloudellisempaan tulokseen kuin ensioreleillä. Toisioreleen koestus voidaan suorittaa käytön aikana, jota ei voida tehdä ensioreleillä. Lisäksi sähkömekaaniset releet tarvitsevat energiaa, joka otetaan mittamuuntajista. Tästä

on haittaa virtamuuntajan toistokyvyille, varsinkin vikatilanteissa, jos ja kun se sisältää tasavirtakomponentin. Lisäksi mekaaniset releet eivät ole herkkiä ulkoisille häiriöille. (Mörsky 1993, 22.)

Mekaanisten releiden toiminta perustuu siihen, että ne ovat koneistoja, jotka mittaavat vain tehollisarvoja. Mekaanisen releen toiminnan ominaisuutena pidetään liikkuvien osien hitautta. Tästä syystä johtuen ei mitata vaihtosuureiden hetkellisarvoja. Rele havahtuu vikavirran sisältämän tasakomponentin vuoksi ja aiheuttaa epäselektiivisen toiminnan. Mekaanisilla releillä toteutetaan yksisuure-releitä, kuten virta- ja jännitereleitä yksinkertaisuuden takia. (Mörsky 1993, 22.)

Lämpörele on mekaaninen rele, joka on toteutettu bi-metallielimellä. Bi-metalli elin reagoi suojattavan kohteen kuormituksen virran aiheuttamaan termiseen kuormitukseen. Kuormitus aiheuttaa bi-metallielimen lämpenemisen ja saavuttaessaan ennalta määrätyn pisteen aiheuttaa laukeamisen ja erottaa kuorman pois. Lämpöreleiden lisäksi tarvitaan sulake suojausta tai muuta selektiivistä suojausta, koska lämpörele ei kykene selvittämään oikosulkua. Mekaanisia releitä on vielä jonkin verran käytössä verkossa, mutta ovat vähenemässä. (Hieta-lahti 2013, 165.)

Staattiset releet tarvitsevat apuenergiaa, jonka se ottaa erillisestä apusähköliitännästä. Staattisen releen mittauspiirin kuormitus jää pieneksi 5 A nimellisvirralla noin 0,5 A. Rele käyttää apuenergiaa erillisestä apuenergian lähteestä, jolloin voidaan käyttää apurelettä lähtöreleenä. Erillisen välireleen käyttöä ei tarvita, koska voidaan katkaisijaa ohjata suoraan lähtökoskettimien avulla. Lisäksi välireleiden käyttäminen saattaa hidastaa suojauksen toimintaa 20—40 ms. Nopeiden releiden käyttämisessä tämä kannattaa huomioida. (Mörsky 1993, 24.)

Sovitusmuuntajaa käyttämällä staattinen rele liitetään mittamuuntajan toisiopiiriin. Näin saadaan muutettua virta- ja jännitesuureet sopivaksi elektronisille mittareilla ja muille elektroniikkakomponenteille. Vastusta käytetään apuna sovi-

tusmuuntajan toisiossa muuttamaan virta jännitteeksi mittauslaitteille. (Mörsky 1993, 24.)

Sovitusmuuntajan avulla saadaan suojattua elektroniset laitteet ylivirroilta ja jännitteiden muodostamilta termisiltä ja dynaamisilta haittavaikutuksilta. Sovitusmuuntajan mittauspiiri on erotettu galvaanisesti elektronisista piireistä ja estää haitallisten häiriöiden pääsyn elektronisiin piireihin, joka voisi vääristää mitaustulosta ja vaimentaa haitallisten vikavirtojen tasakomponentin ilmavälinsä vuoksi. (Mörsky 1993, 24.)

Staattiset releet voidaan toteuttaa huomattavasti nopeammiksi ja tarkemmiksi kuin vastaavat mekaaniset releet. Staattisten releiden laajat asettelualueet pienimmän ja suurimman välillä ei aiheuta tarkkuuden heikentymistä. Pienimmän ja suurimman asettelualueen välillä suhde voi olla kymmenen luokkaa, eikä se heikennä releen dynamiikkaa. (Mörsky 1993, 24.)

Mekaaniset releet ovat olleet kooltaan suurempia kuin staattiset releet ja ovat vaatineet suuremman tilan. Elektronisin komponentein toteutettu kolmivaiheinen ylivirtarele vaatii saman tilan kuin yksivaiheinen mekaaninen rele. Elektroniikan avulla saadaan useita toimintoja toteutettua huomattavasti pienemmällä tilankäytöllä. Lisäksi nykyisin toteutettuna moottorin suojarle sisältää kaikki tarvittavat suojat oikosulkusuojauksesta aina jälleenkytkennän logiikkaan asti. (Mörsky 1993, 24- 25.)

#### 6.1.2 Numeeriset releet

Numeerinen rele tarkoittaa relettä, joka pohjautuu nykyaikaiseen digitaaliseen signaalin käsittelyyn ja mikroprosessoritekniikkaan. Ensimmäisissä numeerisissa releissä oli tyypillistä, että suojauskohteen eri suojaustoiminnot oli integroitu samaan releeseen. Johdonsuojana toimiessaan releeseen oli integroitu oikosulkusuoja ja maasulkusuoja ja jälleenkytkentäreleistys. Johdonsuojana toimiesseen tiedot olivat pelkkiä kosketin tietoja. (Mörsky 1993, 25.)

Seuraavaksi numeerinen rele kehittyi siten, että ne saatiin kosketintietojen lisäksi välittämään muutakin tieto. Lisäksi tieto saatiin kulkemaan kaksisuuntaisesti, mikä tarkoitti sitä, että releeltä voidaan lukea mittaus-, tila-, ja asetteluarvoja ja rele itse pystyy vastaanottamaan ohjaus- ja asettelutietoja. Näin ollen rele pystyy suojaustoimintojensa ohella keräämään tietoa muille järjestelmille. (Mörsky 1993, 26.)

Numeerinen rele havahtuu välittömästi, jos vikavirta ylittää kaksinkertaisesti asetteluarvonsa. Myös virheellinen toiminta on estetty siten, että siinä täytyy kahden jakson ylittää asetteluarvo, ennen kuin releessä tapahtuu havahtuminen. (Mörsky 1993,27.)

Nykyisin releet ovat monitoimireleitä, koska ne sisältävät nykyään paljon toimintoja ja voivat kerätä tarpeellista tietoa ylös, jonka se suorittaa suojaustoimintojensa ohella. Monitoimireleet voidaan ohjelmoida nykyisin asiakkaan toiveiden ja tarpeiden mukaan. Monitoimireleissä on hyvin laaja perusvalikoima erityyppisiä toimintoja. Lisäksi I/O-kanavien määrä on valittavissa, koska perusvalikoimista löytyy tyyppinumeron kasvaessa aina enemmän I/O-kanavia, ainakin ABB:n valmistamissa monitoimireleissä. Monitoimireleissä on sisällä rele toimintoihin ja sen suojaustoiminnot, prosessoritekniikkaa. Lisäksi niitä voidaan ohjata kaukokäytön avulla tai suoraan monitoimireleen etuosasta, jossa sijaitsee mimiikkanäkymä monitoimireleen suojattavasta kohteesta erottimiseen ja katkasijoihin LCD-näytöllä. Monitoimireleessä on usein rakennettu sisään ohjaukselle tarvittavia logiikkoja eli lukituskaavioita, jotka estävät haitalliset ohjaukset.

### 6.1.3 Releen itsetestaustoiminto

Uusissa suojareleissä on itsetestaustoiminto, jonka avulla se valvoo omaa toimintakuntoansa ja estää se samalla virhetoiminnot, eikä aiheuta virhelaukaisua. Valvontaohjelma valvoo toimintapiirissään olevaa relettä lähettämällä pulsseja. Mikäli rele ei vastaanota pulsseja, niin valvontaohjelma prosessoreiden avulla estää releen toiminnan ja pyrkii uudelleenkäynnistyksellä palauttamaan releen

toimintakuntoon. Valvonta-ohjelma on yleensä Scada tai jokin muu vastaava ohjelmisto. Lisäksi rele hälyttää välittömästi, jos se on vikaantunut. (Mörsky 1993, 34- 35.)

#### 6.1.4 Reletyyppejä

Virtareleet ovat yksi tyypillinen rele, joita suojauksessa käytetään, ja ne voidaan jaotella seuraavasti, hetkellisiin ylivirtareleisiin ja vakioaikaylivirtarelereleisiin. Ne ovat tyypillisiä oikosulkusuojauksessa. Releet tulee asetella siten, että ne sallivat lyhytaikaisen kuormituspiikit toimimatta. Asettelu on tehtävä huomattavasti nimellisvirtaa isommaksi eli  $1,5...2I_N$ . Varsinaisia oikosulkusuojia ne eivät ole, ja eivät kykene suojaamaan kohdetta, jotka aiheuttavat liiallista lämpenemistä. Vakioaikareleet voidaan asetella yleensä hetkellisesti toimimaan suurilla oikosulkuvirroilla, jos suojattavan kohteen oikosulkukestoisuus on pieni. Pie-nimmän ja suurimman oikosulkuvirran arvot on tunnettava, että voidaan releet asetella muutosoikosulkuvirran  $I_k'$  mukaisesti. (Mörsky1993, 36.)

Ylivirtareiden toteuttaminen voidaan tehdä ylivirransuuntareleenä, jolloin saadaan esille vikapaikan sijaitseminen ja vikavirran suunta, jotka vaikuttavat siihen, toimiiko se vai ei. Vastuksettomissa kolmivaiheisissa lähivioissa releen tulee toimia suuntaamattomana. (Mörsky 1993, 36.)

Käänteisaikaylivirtareleet toimivat selektiivisesti sulakkeiden kanssa. Vikavirta-arvojen erilaisuus verkon kohteissa, sekä jokseenkin vakioita sopivat kyseiselle reletyypille. Vikavirtojen vaikutusaikoja saadaan supistettua muihin reletyyppeihin verrattuna. (Mörsky 1993, 37.)

Numeeristen ylivirtareiden saadaan vikapaikan etäisyydestä sen toiminnan seurauksena. Lisäksi selektiivisyydestä releiden välillä ja sen toteutumisesta saadaan tietoa sekä alemman portaalan vian havahtumisesta aika releestä. (Mörsky 1993, 37.)

Alijänniterele toimii nimensä mukaisesti, kun jännite alittaa sen asetteluarvon, joka on puolet nimellisestä jännitteestä yleensä. Asetteluarvolla pyritään välttämään tarpeettomia keskeytyksiä. Lisäksi alijännitereleessä on aseteltava aikahidastus. Epäherkän toiminnan ansiosta se ei toimi, kun jossakin johtolähdössä tapahtuu pikajälleenkytkentä. (Mörsky 1993, 39.)

Ylijänniterele toimii päinvastaisesti verrattuna alijännitereleeseen ja käytetään maasulkujen havaitsemiseen aikahidastettuna usein. Ylijännitereleiden on annettava toimintakäsky useille kohteille, kuten katkaisijoille, kenttäkatkaisijoille. Tästä syystä johtuen ne on varustettu useilla koskettimilla ja apuna käytetään apureleitä, jotka ovat monikoskettimisia. Ylijänniterele toimii vain silloin, kun jännitearvo ylittää asetteluarvon ja aiheuttaa releen toiminnan. (Mörsky 1993, 39.)

Taajuusreleitä käytetään silloin, kun verkon taajuus nousee tai laskee automaattisten kytkentöjen tekemiseen. Alitaajuusreleiden käyttäminen on tarpeen silloin, kun sitä käytetään tehonvajaussuojana. Saarekekäytössä taajuusrelettä käytetään havaitsemaan taajuuden muutos valtakunnallisessa verkossa. Sen tehtävänä on kytkeä laitteisto irti valtakunnallisesta verkosta ja käynnistää saarekekäytön generaattori varmistaakseen verkon toiminnan saarekkeen alueella. Taajuudelle asetellaan rajataajuus, jossa toiminta käynnistyy.

Suunta- ja tehoreleet mittaavat tehoja, jotka ovat suunnattuja tai pelkkään tehomittaukseen perustuvia. Ne lähinnä toimivat mittaamalla jännitteen- ja virran hetkellisarvoja sekä näistä johdettuja tehoja. Suunnatussa ylivirtareleessä mitaus tehdään virran ja jännitteen vaihekulman perusteella. Rele toimii silloin, kun sen mittaama virta on asetteluarvoa suurempi tai yhtä suuri. Lisäksi jos jännitteen ja virran vaihekulma on ennalta määritetyllä alueella, se aiheuttaa myös releen toiminnan. Silmukkaverkoissa kyseistä relettä käytetään ylivirta- ja oikosulkusuojauksessa. (Mörsky 1993, 40.)

Maasulussa suuntareleet toimii suojaavan kohteen nollavirran- ja jännitteen välisen vaihekulman suuruuteen perustuvalla verrannollisten suureiden mittaus-

ten avulla. Rele mittaa nollavirran ja jännitteen hetkellisarvoja, joiden avulla se muodostaa vaihekulman. Rele toimii, kun nollavirta ja nollajännite ovat asettelu-arvoa suurempia tai yhtä suureet, sekä näiden välinen vaihekulma on toiminta-alueella. (Mörsky 1993, 40.)

Epäsymmetriareleet mittaavat kolmivaihejärjestelmän kuormitusta, joka tulee vinoksi eli epäsymmetriseksi. Epäsymmetrisen kuormituksen seurauksena syntyy järjestelmään jännitehäviöitä, jotka aiheuttavat jännitteeseen epäsymmetrisen vastakomponentin. Oikosulkusuojat selvittävät nopeasti suurimmat vino-kuormitukset, jotka ilmenevät yksi- ja kaksivaiheisten oikosulkujen aikana. Yhden tai kahden vaiheen katkeaminen synnyttävät vinokuormituksen. Herkästä ylivirtareleestä saadaan tehtyä epäsymmetriarele lisäämällä siihen suodatin, joka kykenee erottamaan vastakomponentin kuormituksen virrasta. Myötä- ja vastakomponentin mittaus jännitteestä ei ole välttämättä riippuvainen verkon tyypistä, onko se maasta erotettu tai ei. (Mörsky 1993, 41 ja 42- 44.)

Vertoreleet nimensä mukaisesti vertailevat suoja-alueidensa alku- ja loppupäässä mitattavia yhtä tai useampaa suuretta. Ne mittaavat useiden vaiheiden tulevia ja lähteviä virtoja, jotka liikkuvat suojauskohteeseen. Jos erovirtamittauksessa virrat eivät ole samat, aiheutuu tästä vertoreleen toiminta. Differentiaalirele on vertorele ilman apujohtoyhteyttä. Johtosuojauksessa tarvitaan apuyhteys, ja kyseistä reletyyppiä kutsutaan apuyhteysvertoreleiksi. (Mörsky 1993, 46.)

## 6.2 Differentiaalireleen toiminta.

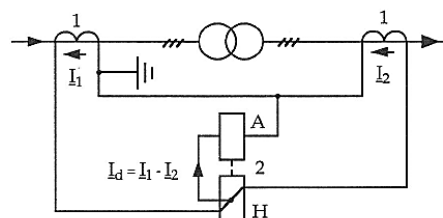
Differentiaalireleen toiminta perustuu siihen, että se vertailee suojattavaan muuntajaan tulevia virtoja ja siitä lähteviä virtoja, vaihevirtoja. Lisäksi se tarvitsee avukseen virtamuuntajia, jotka on sijoitettu molemmin puolin suojattavaa kohdetta.

Yksivaiheisena esityksenä differentiaalirele on pitkittäissuoja, joka vertaa muuntajan ensiö- ja toisiopuolen virtoja kahden identtisen virtamuuntajan ja differen-

tiaalireleen avulla. Kun muuntajan ensiö- ja toisiopuolen käämeissä ei ole vikaa ja virrat ovat samat, niin toisiossa kiertää vastaava virta. Tällöin releen kautta ei kulje virtaa. Jos muuntajan käämistä virta poistuu poikittaissuuntaan, kyse on viasta. Tällöin virtojen erotus kulkee releen kautta, jolloin se toimii ja aiheuttaa tarvittavan toiminnon esimerkiksi tässä tapauksessa katkaisijan avautumisen ja erottaa muuntajan syötöstä irti. (Mörsky 1993, 47.)

Virtamuuntajien välinen alue on differentiaalireleen suojausalue. Kun suojauskohteena on differentiaalisuojauksessa muuntaja, toinen virtamuuntajista sijoitetaan ensiön puolelle ja toinen toision puolelle. Muuntajan muuntosuhteen mukaan valitaan virtamuuntajat. Käytännössä virtamuuntajien muuntosuhteet poikkeavat toisistaan eri tavoin, kuin muuntajan muuntosuhteet eroavat toisistaan tai kytkentäryhmät poikkeaa tähti-tähti tai kolmio-kolmio vaihtoehdoista. Välivirtamuuntajia hankittaessa tämäkin seikka tulee ottaa huomioon. Usein differentiaalisuojaus toteutetaan välivirtamuuntajien avulla, vaikka uusimmat reletyypit eivät välttämättä edellytä niiden käyttöä. Differentiaalisuojat kuuluvat nopeimpien oikosulkusuojien joukkoon ja niiden toimintavirta on aseteltavissa. (Mörsky 1993, 48- 49.)

Differentiaalirele ei saa toimia aiheetta, ja se pyritään estämään suojaattaessa muuntajaa. Tyhjäkäyntivirta ja muuntajan käämikytkimen asentojen vaihtelu aiheuttavat erovirtaa, joka kulkee releen lävitse. Tällöin rele tehdään sopivasti epäherkäksi vakavoinnin avulla, josta seuraa nimitys vakavoitu differentiaalirele, kuva 24.



Kuva 24. Differentiaalirele vakavoituna (Mörsky 1993, 49).



Vakavointi toteutetaan erillisellä käämillä, jonka virran arvo on puolet kokonaisvirran summasta  $I_1+I_2=I$  ja se verrannollinen kuormitusvirtaan. Vakavointi esitetään kuvassa 24. Kun työkäämissä kulkee erotusvirta  $I_d$ , joka yrittää sulkea koskettimen, niin vakavointikäämi vastustaa tätä. Releen havahtumien asetellaan toimintasuhteen  $k$  kertoimen mukaan, joka tyhjäkäynnin aikana suurin. Releen virheellinen toiminta voidaan estää riittävällä  $I_d$ :n perusasettelulla, vaikka esimerkiksi 20 % kertaa nimellisvirta  $I_N$ . (Mörsky 1993, 49- 50.)

Differentiaalisuojausta suunniteltaessa on tunnettava virtamuuntajien läpi menevä oikosulkuvirta, ettei se toimi suojausalueensa ulkopuolella sattuvien vikojen seurauksena. Lisäksi se on absoluuttisesti selektiivinen ja se toimii vain oman alueensa vioissa, eikä toimi varasuojana erikseen, vaan tarvitsee vakioaikaylivirtareleen vikaantumista vastaan oman varasuojauksen. Numeerisella differentiaalireleellä voidaan ottaa huomioon myös käämikytkimen vaihtelut ja ne eivät tarvitse välivirtamuuntajia. (Mörsky 1993, 50.)

### 6.3 Sammutetun verkon relesuojaus

Kompensoidussa verkossa selektiivisessä maasulkusuojauksessa on käytettävä suuntareleitä. Lisäksi kyseisessä verkossa ei voida toteuttaa selektiivistä suojausta nollavirtareleillä eikä loistehoon tai -virtaan perustuvilla suuntareleillä, koska kuristimessa kulkee loisvirta ja sekoittaa tämän kaltaisen suojauksen. Johtojen ja nollavirtojen päätökomponentit noudattavat samoja suuntalakeja, kuin maasta erotetuissa verkoissa. Selektiivinen maasulkusuojaus saavutetaan suuntareleiden avulla, mutta releiden on oltava nollajärjestelmän päätöteho- ja päätövirtasuuntareleitä. (Mörsky 1993, 334.)

### 6.4 Maasta erotetun verkon relesuojaus

Maasta erotetussa verkossa selektiivinen maasulkusuojaus toteutetaan sähköasemilla suuntareleiden avulla, koska tällöin verkoston pituuden muutokset eivät vaaranna suojauksen selektiivisyyttä, kuten nollavirtareleisiin perustuvassa suojauksessa. Mikäli maasta erotetun verkon suojaukseen käytetään suuntare-

leitä, ne voidaan muuttaa loiskytkentäisestä pätökytkentään ilman, ettei tarvitse releitä vaihtaa. Jos maasta erotettu verkko muutettaisiin myöhemmin kompensoiduksi verkoksi. Maasta erotetun verkon maasulkuvirta on tavallisesti niin suuri, että johdon nollavirta saadaan riittävän tarkasti suojaussydämiltä. (Mörsky 1993, 335.)

## 6.5 Suojareleiden koestus tapoja

Suojauksen on oltava joka hetki toimintavalmiina ja verkon tilaa on tarkkailtava, jotta vian sattuessa erottamaan viallisen osan terveestä verkosta luotettavasti, nopeasti ja selektiivisesti. Tämä antaa koestukselle ja kunnonvalvonnalle lähtökohdat. (Mörsky 1993, 365.)

Koestusmenetelminä voidaan käyttää mekaanisella ja staattisella releillä toteutettujen suojauksien ensiö- ja toisiopiirikoestuksina. Koestustapoja voidaan valita harkinnan ja olosuhteiden mukaan.

- suojauksien ensiökoestus
- suojauksien toisiokoestus
- suojauksen valehäiriökoestus
- suojareleen koestus.

Edellä mainituista koestustavoista luotettavin on ensiökoestus, koska se kattaa kaikki suojauksessa mukana olevat laitteet. Valehäiriökoestuksessa tahallisen vian paikka määrää, kuinka kattava koestus on koko suoja-alueella. Lisäksi koestusvirtana käytettyä vikavirtaa ei voida asetella, vaan se määräytyy verkon perusteella. Vaikka koestukset tuli suorittaa ensiökoestuksena, käytännössä toisiokoestus yleisempi helpompana suorittaa (Mörsky 1993, 366.)

Käyttönottokoestuksessa kokeillaan käytännön toimintoja ja eri laitteiden toimintaa ja mitataan releiden ja säätimien suureita ja simuloidaan niin käyttö- ja vikatilanteitakin. Koestusta ennen on tiedettävä, mikä tarkoitus on suojalaitteen kullakin järjestelmällä, komponentilla ja piirillä. Lisäksi koestus tulee suorittaa

siten, että voidaan todeta varmasti täyttääkö järjestelmä sille asetetut vaatimukset. (Mörsky 1993, 367.)

Releiden koestukseen on saatavissa koestuslaitteita, joilla saadaan aikaan tarvittavat jännitteet ja virrat.

Käyttöönottokokeen suoritettavia toimenpiteitä ovat seuraavat asiat:

- omakäyttökeskus ja -jakelu
- tasasähkökeskus ja – järjestelmä
- hälytyskeskus
- lukitusjärjestelmät
- sekvenssiohjaukset
- mittamuuntajat
- relesuojaus.

(Mörsky 1993, 368- 369.)

Relesuojauksen käyttöönottokoestus tulee suorittaa aina mahdollisimman paljon todellista tilannetta vastaavalla ensiökoestuksella, jotta voidaan todeta kaikkien toisiinsa liittyvien suojauselimien todellinen toiminta ja toimimattomuus. Releet koestetaan niiden alimmilla ja ylimmillä arvoilla. (Mörsky 1993 370- 371.)

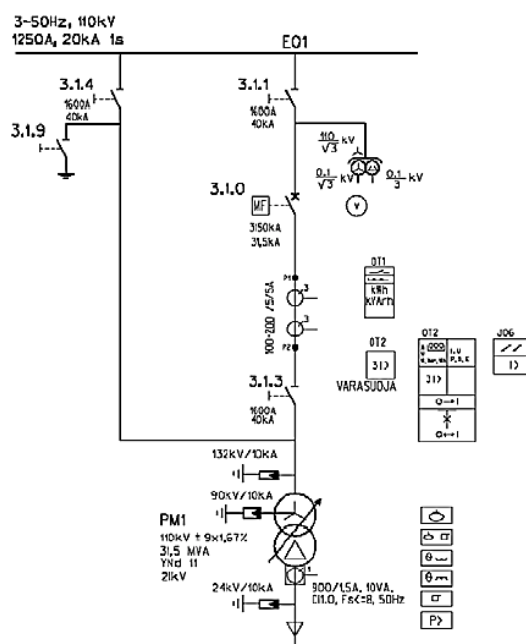
## 7 SÄHKÖASEMA

Sähköasema toimii verkossa jakelukeskuksena, jossa sijaitsee mm. pääosa suojareleiestyksestä ja muusta automaatiosta. Sähkötoimituksen laadun ylläpito tai parantaminen on keskeinen syy sähköaseman rakentamiselle. Sähköasemalla sijaitsee tärkeimmät verkonlaitteet muuntajat, erottimet ja katkaisijat. Itse sähköasema koostuu suurjännite- ja keskijännitekytkinlaitoksesta, yhdestä tai useammasta muuntajasta ja apujännitejärjestelmästä käytöntukitoimintoinen. Haja-asutusalueella on käytössä perinteisiä ilmaeristeisiä kytkinlaitoksia ja taajamissa on käytössä suur- tai keskijännitekytkinlaitos tai ovat tilansäästö- ja ulkonäkösyistä SF<sub>6</sub>- kaasueristeisiä. Itse sähköasema koostuu suurjännite- ja keskikytkinlaitoksesta, yhdestä tai useammasta muuntajasta ja apujännitejärjestelmästä käytännössä. (Lakervi & Partanen 2008, 119.)

Suurjännitekytkinlaitokseen voi säteittäisjohdon sijaan tulla useitakin johtoja. Tällä menetelmällä saadaan vaihtoehtoisia syöttösuuntia ja kiskoston tyyppin mukaan myös mahdollisuus suurjänniteverkon renkaiden jakorajan vaihtoon tai silmukoituun käyttöön. Sähköasemien kytkinlaitosten kiskostoratkaisut ja katkaisijat tarjoavat mahdollisuuksia erilaisille syöttövaihtoehdoille. (Lakervi & Partanen 2008, 119.)

Muuntaja on sähköaseman kallein komponentti. Päämuuntajalla on monipuolinen suojaus. Pääsuojina ovat ylivirtarele ja differentiaalirele. Differentiaalisuoja sisältää toiminnot muuntajan sisäisten vikojen tunnistamisen, kuten oikosulku, maasulku, käämisulku ja kierrossulku. (Lakervi & Partanen 2008, 121.)

Maaseuduilla verkossa käytetään usein kompoundointia, jolla toisiopuolen jännitettä nostetaan kuormituksen kasvaessa. Kompoundointi kompensoi keskijännitejohtojen jänniteenalenemisiä. (Lakervi & Partanen 2008, 121.)



Kuva 25. Esimerkkikaavio 110 kV:n syötöstä ( Lakervi & Partanen 2008, 120).

Uusi sähköasema pienentää verkon maasulkuvirtoja aikaan saaden siten säästöä esimerkiksi uusien jakelumuuntamoiden maadoituskustannuksista. Jos kysymyksessä on iso usean muuntajan sähköasema, täytyy syöttöalueiden jaossa ottaa huomioon vaikutus sekä maasulkuvirtoihin, että oikosulkukestoisuuksiin. Keskijänniteverkko voi tätä kautta vaikuttaa sähköaseman mitoittamiseen ja myös kiskojärjestelmän valintaan. (Lakervi 1996, 28- 29.)

Sähköasemalla tehdään sähkönsiirtojärjestelmille tarpeellisia kytkentätoimenpiteitä. Kytkentätoimenpiteisiin kuuluu kytkinlaitteilla suoritettavia virtapiirien erottamista toisistaan, kytkemistä ja katkaisemista kuormitusvirtapiireille sekä muodostaa uusia virtapiirejä. Sähköasemalla tehdään myös jälleenkytkennät. Viallisten piirien erottaminen on tarpeellista niissä tilanteissa, jossa vika voi levitä suuremmalle alalla sekä turvallisuus näkökohdat huomioiden. Lisäksi pyritään estämään häiriöt sähköjakeluverkossa ilman keskeytyksiä, mutta aina tämä ei ole mahdollista ja jakelu voi keskeytyä ennalta määrättömäksi ajaksi riippuen viasta ja vianlaadusta. Kuvassa 25 esitetään yksi esimerkki sähköaseman toteutuksesta. (Aura & Tonteri 1993, 330.)

Sähköaseman sijoitukseen vaikuttavat useat tekijät. Teknillistaloudelliset kysymykset täytyy myös huomioida, koska investointina kyseessä ovat suuret kustannukset. Kustannukset pyritään kattamaan pitkällä aikavälillä ja sähköasemalla pyritään saamaan kustannusarvo takaisin parantuneella sähkönsiirron luotettavuuden ja jakeluverkon tehostamisen avulla. Sähköaseman sijoitukseen vaikuttaa se, kuinka paljon siirrettävä teho on, jännitteen suuruus sekä se, millaiseen verkkoon kyseinen asema sijoitetaan. Asemat sijoitetaan yleensä sinne, minne ennakoitaan kulutuksen kasvamista, jolloin sähköaseman investointikustannukset saadaan kannattavaksi. Muut huomioitavat asiat ovat maisema ja maapohjan ja huoltoteiden mahdollisuudet. (Aura & Tonteri 1993, 330.)

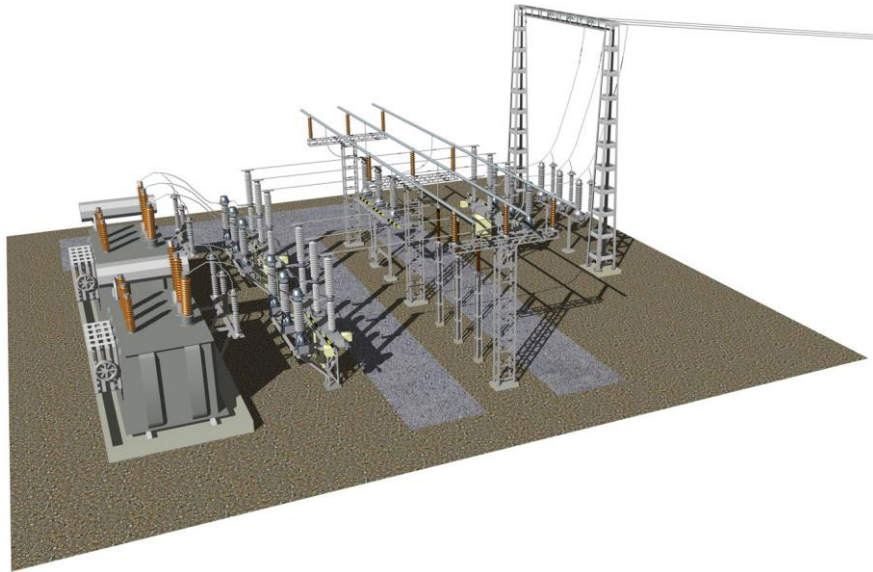
Lisäksi Fingrid Oy:llä liittyjille omat kantaverkkoon liittymisen periaatteet, joissa on määritelty relettoiminnan vaatimukset suojausten osalta, joiden avulla esimerkiksi asiakkaiden suojausjärjestelmien toiminnalliset vaatimukset voidaan määrittää. Näissä vaatimuksissa määritellään 110 kV:n verkolle johtojen suojausjärjestelmä koostuminen, esimerkiksi kahdennetusta pääsuojauksesta, jolla tarkoitetaan, että suojauksesta tulee löytyä kaksi distanssirelettä tai johtodifferentiaali- ja distanssirele nykyperiaatteen mukaan. Toisena vaihtoehtona on yksi pääsuojarele. Yleensä tässä vaihtoehdossa on distanssirele ja varasuojaus, joka on ylivirta- ja maasulkureleistys, ellei tarvetta ole kahdelle suojalle. Tässä tapauksessa pääsuojan avulla erotetaan mikä tahansa useampivaiheinen oikosulku vähintään ajassa 0,5 s. Varasuojaus toimii hidastettuna johdonoikosulkuvioissa riippuen aseman koosta ja vikapaikasta, jossa nopeimmat toiminta-ajat koskevat johdon alkupäässä olevia suurempia sähköasemia. (Fingrid Oyj, 2013.)

Maasulkuviat, jotka ovat suuriresistanssia, erotetaan verkosta yleensä 1-3 s. vian alkamisesta ja vähintään 5 s. kulutta tästä. Vian kesto aika tulee rajoittaa suurimmillaan 0,1 sekuntiin, myös haarajohdot kuuluvat tähän samalle aika-alueelle. Lisäksi koko 110 kV:n verkon tulee olla suojattu pääsuojalla ja varasuojalla. Päämuuntajan ja alajännitepuolen kytkinlaitokseen osuus tulee olla suojattu esimerkiksi päämuuntajan erovirtareleellä ja yläjännitepuolen ylivirtareleellä. Kun johdot ovat lyhyitä 110kV:n verkossa, täytyy laukaisun tapahtua no-

peasti myös virtamuuntajien ja katkaisijan välillä olevassa viassa. Muuntaja, jonka kautta tuotantoa liittyy 110kV:n verkkoon, tulee varustaa 110 kV maasul-  
kujännitesuojauksella eli nolajännitereleellä ( $U_0$ -Rele). Tarvittaessa otettava  
käyttöön 110kV:n tähtipisteen varamaadoituspaikka. Säteilteisjohdolla distans-  
sirele ei saa havahtua maasulusta, jos vika on muualla verkossa. (Fingrid Oyj,  
2013.)

## 8 SÄHKÖVOIMATEKNIIKAN LABORATORION 110 KV DEMOKOJEISTO

Demolaitteisto vastaa kuvan 26. kaltaista 110 kV /10 kV sähköaseman ulkokenttää. Demolaitteistolla sijaitsevien katkaisijoiden avulla simuloidaan sähköaseman erotin- ja katkaisijatoimintoja ja pystytään mallintamaan koko sähköaseman toiminnot aina johtolähdöistä asti generaattorilähdölle.



Kuva 26. Sähköasema. (ABB Oyj, 2015c)

Kuvassa 26 olevalla sähköasemalla vasemmalta lukien on päämuuntaja, jolla muunnetaan jännitettä ja syötetään kiskostolle virtamuuntajien kautta. Seuraavana ovat virtamuuntajat ja katkaisijat, joiden kautta kiskostolle syöttö tapahtuu, sekä erottimet. Tämän jälkeen sähkövoima siirtyy eristimien kautta pylvälle, joka tässä kuvan esimerkissä on sähköaseman ulkokentässä metallirakenteinen. Pylväältä lähtee siirtoyhteys eteenpäin seuraavalle sähköasemalle, jossa muunnetaan jännite alue- tai keskijänniteverkon sähkönsiirtoon.

Demolaitteisto on sijoitettu oppilaitoksen sähkövoimatekniikan laboratorioon ja on yksi oppimisympäristö sähkövoimatekniikan opiskelussa. Demolaitteisto koostuu sähköaseman kytkinkentän ohjaukseen ja valvontaan vaadittavista laitteista. Demolaitteisto on rakennettu kaappikeskusrakenteella. Laitteisto on sijoitettu kaappien sisään. Laitteet ovat todellisia 110 kV:n kytkinkenttää vastaavia laitteita, mutta laboratoriossa niitä käytetään 400 V jännitteellä sähköturvalli-



suussyistä. 400 V:n jännite mahdollistaa työskentelyn laboratoriossa ilman suurjännitetyöstä asetettuja turvallisuusmääräyksiä ja vaatimuksia.



Kuva 27. Demolaitteisto ja 10 kV kojeisto

110 kV demolaitteisto 10 kV kojeistoineen on ABB:n valmistama kokonaisuus (kuvassa 27). Laitteisto sisältää kaksi päämuuntajakenttää 110 kV:n puolella ja niitä syöttävät 110 kV:n kentät. Molemmilla kentillä on omat päämuuntajansa. Muuntajat ovat sijoitettu omiin kaappeihinsa. Muuntajat ovat nimellisteholtaan 30 kVA ja käyttöjännite 400 V. Muuntajakentät sisältävät myös tarvittavat erotimet ja katkaisijat. Päämuuntajakenttä 1 on varustettu myös maasulunsammutuslaitteistolla, jota toisella kentällä ei ole. Demolaitteiston avulla voidaan simuloida maasta erotettua verkkoa ja sammutettua verkkoa. Releissä asetellut on tehty siten, että ne automaattisesti vaihtavat verkon tyyppin mukaan suojausasettelut. Demolaitteistolla voidaan myös syöttää 10 kV kojeistoa kahta eri kautta. Laitteiston ohjaus voidaan kaukokäytöllä MicroScadan avulla tai suoraan suoja-releiltä. Laitteistoa ei voi ohjata virheellisesti, koska siihen rakennettu lukitukset ja ehtojen vastaiset ohjaukset eivät tule onnistumaan (liite 3.). Laitteiston syöttö tapahtuu NK 102/A03 kautta, josta se 400 V vaihtojännitteeseen. Laitteet laitteistossa tarvitsevat apusähkösyötön, jonka se saa 110 VDC tasasähkökeskuksesta. Kuvassa 27. tasasähkökeskus sijaitsee vasemmalla ensimmäisenä. Koko demolaitteisto on rakennettu kaappikeskusrakenteella. Laitteistolla pystytään mallintamaan ja simuloimaan suoja-releiden toimintaa. Sillä voidaan tutkia niitä muuntajien, releiden ja muiden syöttöjen avulla, jotka voidaan suorittaa 10 kV:n

kojeistosta. 10 kV:n kojeistolla sijaitsee muita lähtöjä, kuten johto-, moottori-, muuntaja- ja generaattorilähtö.



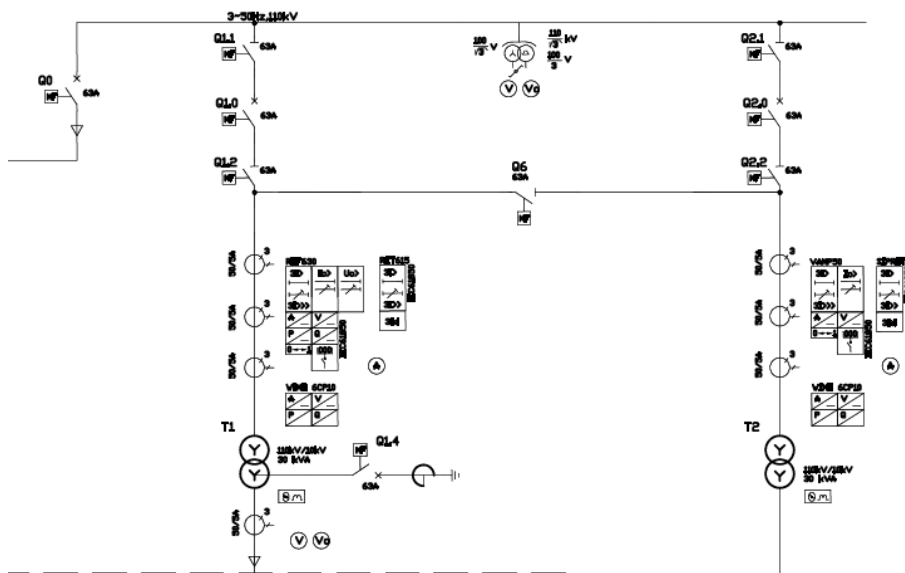
Kuva 28. Demolaitteiston muuntajakentät

Kuvassa 28. oleville päämuuntajakentille on sijoitettu omat suojarileet. Linjojen 1. ja 2. relesuojaukset on toteutettu eri laitevalmistajien reletyypeillä. Erikoisuutena linjalla 1. on mahdollisuus suorittaa käämisulunsimulointi. Molemmilla muuntajakentillä on käämisulun simulointimahdollisuus, jolla saadaan tehtyä osittainen käämisulkumuuntajalle. Käämisulun avulla voidaan testata differentiaalireleen toimintaa. Syöttävän kiskon ja muuntajan välillä ovat monitoimireleet. Muuntajia suojataan differentiaalireleillä. Muuntajakentän yksi kaappi sisältää myös suojarileet, katkaisijat, sulakkeet, jännitemuuntajat, virtamuuntajat. Demolaitteiston kaappiin on sijoitettu myös 10 kV:n demokiskosto, joka toimii laitteistossa toisena 10 kV:n kiskona.



Kuva 29. Demolaitteiston ABB:n monitoimireleet

Päämuuntaja 1:n syöttölinjalle on sijoitettu suojaukseen ABB:n valmistamat monitoimireleet ylivirta- ja erovirtasuojauksista varten, kuva 29.



Kuva 30. 110 kV demokentän piirikaavio

Yllä kuvassa 30 esitetään 110 kV:n demokenttä, mutta kokonaisuuteen liittyy myös 10 kV kojeisto, mitä kyseisessä kuvassa ei näy. (Liitteessä 2. koko pääkaavio). Kuvassa näkyvät katkaisijat, muuntajat sekä relesuojaukset toimintoi-  
neen 110 kV demokentälle.

### 8.1 Demokojeiston esittely

Demolaitteistossa muuntajaa suojataan ylivirtareleellä ja differentiaalireleellä. Ylivirtarele toimii muuntajan suojana sen yläpuolella olevassa kentässä, jossa se toimii ylivirtasuojauksena. Tarkemmin kuvailtuna se toimii 110 kV:n kiskon ja muuntajan välissä olevalla alueella. Ylivirtareleessä on maasulkusuojaus, joka toimii jännitelaukaisulla  $U_{0>}$  sekä maasulkuvirta  $I_{0>}$  laukaisulla. Nollajännite mitataan muuntajan tähtipisteestä, kuten nollavirtakin. Muuntajan yläpuolelle sijoitettu ylivirtarele reagoi vikatilanteessa nopeasti ja erottaa muuntajan verkosta tai sitä syöttävästä johdosta/kiskosta. Ylivirta-asettelussa on huomioitu myös muuntajan kytkentävirtasysäys, joka ei laukaise releen kautta katkaisijoita. Vikatilanteessa moottoriohjattu erotin (Q1.1) erottaa muuntajan verkosta pois.

REF630:een on liitetty myös katkaisijavian ohjaus. Ylivirtareleellä pyritään suojaamaan muuntajaa ulkopuolisilta virroilta.

Päämuuntaja 1. linjalle on suojareleiksi valittu ABB:n REF630 ja RET615, ja päämuuntaja 2. linjalle Siemensin valmistama Siprotec- rele sekä VAMP50. Releet on liitetty IEC61850 väylään, jonka avulla voidaan ohjata ja valvoa releitä sähköjakeluautomaation avulla. REF 630- ja Siprotec- releiden tärkeimpänä tehtävänä on toimia ylivirtasuojana. VAMP 50 ja RET 615-releet toimivat differentiaalisuojauksena ja sen tehtävänä on muuntajan vikojen tunnistaminen kuten käämi-, kierros-, maa-, ja oikosulut.

Päämuuntajasuojauksessa tarvitaan demolaitteistossa ylivirtarele ja differentiaalirele demolaitteistossa. REF 630- ja Siprotec- releen tärkeimpänä tehtävänä on toimia ylivirtasuojana.

Demolaitteiston 110 kV:n kentässä 1 on päämuuntaja T1, joka on suojattu RET 615- differentiaalireleellä. Differentiaalireleessä suojauksena on ylivirtasuojaus kaikilla portailta, jonka takia se toimii varasuojana REF 630- releellä, joka on pääsuojarele. Differentiaalirele toimii samalla myös REF 630:en varasuojana ylivirralla. Differentiaalisuojaus on muuntajan suojausalueella olevien erovirtojen ilmaiseminen. Differentiaalirele laukaisee hälytyksen ja vian ilmaisimen seurauksena Q1.0- katkaisijan ja erottaa muuntajan syötöstä ylivirralla tai maasululla. Differentiaalisuojauksen hälytyksen ja vian seurauksena Q1.0 katkaisijan ja myös Q0/Q1 H02 kentässä ja erottaa muuntajan molemmin puolin irti laitteistosta. (Liite 7.)

Samassa kentässä REF 630- rele toimii maasulkusuojana, ylivirtasuojana, katkaisijan ohjauksena, josta myös saadaan mittaustiedot virrasta, jännitteestä ja niiden kulmista. REF630:llä on myös katkaisijanvikaohjaus, jolla voidaan ohjata katkaisijaa Q1.0 kyseisen releen avulla. Ylivirtasuojauksen hälytyksen ja vian ilmaisemisen seurauksena rele laukaisee katkaisijat Q1.0 ja Q2.0 ja välittää tiedon ylivirtahälytyksen sähköjakeluautomaatiojärjestelmään. MicroScadalle

saadaan hälytys ja vian ilmaisemisesta tieto kaikista muista paitsi mittauksesta. Mittauksista menee tieto verkkoanalysoijalle.

Molemmat muuntajat on suojattu differentiaalireleillä. Differentiaalirelettä voidaan testata käämisimuloinnin avulla. Käämisulunsimuloinnissa luodaan oikosulkuvastuksen avulla muuntajan toisiossa. Vastuksen avulla pyritään rajoittamaan käämisulusta aiheutuvaa virtaa. Differentiaalirele toimii muuntajan suojauksessa, koska se reagoi oikosulun seurauksena syntyvään erovirtaan. Releen toiminnan seurauksena se erottaa muuntajan pois verkosta.

Molemmilla linjoilla on myös Wimon valmistamat verkkoanalysoijat, joilla voidaan valvoa verkon eri suureita, kuten vaihevektoreita jännitteineen ja virtoineen. Näiden kyseisten suojarleiden avulla voidaan suorittaa laitteiston ohjausta, ja ne sisältävät toimintoja erilaisia vikoja vastaan, kuten erovirtojen, ylivirtojen, muuntajavikojen ja maasulun ilmaisemiseen. Muuntajatyypeiksi on valittu molemmille linjoille Ynyn0-kytkentäryhmien mukaiset. Muuntajat ovat Trafotekin valmistamia kolmivaihemuuntajia. Muuntajille on sijoitettu maadoituspisteet ensiö- ja toisiopiireihin, joihin voidaan kytkeä työmaadoitus huoltotoimenpiteitä varten

#### 8.1.1 REF 630

Demolaitteistossa linjalla 1. monitoimirelettä REF 630 käytetään mittauksessa ja pääsuojana.

- ylivirtamittaus vakioaikatoiminnalla ensimmäinen ylivirtaporras aikaselektiivinen toiminta
- ylivirtamittaus kolmas ylivirtaporras aikaselektiivinen toiminta, vakioviivästys ja käänteisviivästys
- nollavirtamittaus aikaselektiivinen vakioviivästys ja käänteisviivästys
- nollajännitemittaus, aikaselektiivinen toiminta vakioviivästys ja käänteisviivästys

- katkaisijan tilan auki ohjaus ja katkaisijavikasuoja
- loisteho- ja pätöteho releenä
- virta- ja jännitemittaus.

(ABB, 2015a.)

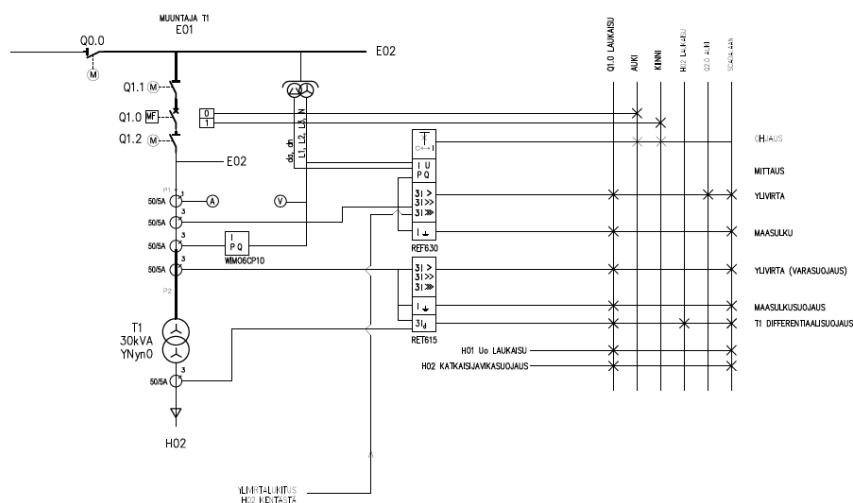


Kuva 31. AB REF 630

Kuvassa 31 oleva rele toimii pääsuojana eli ylivirtasuojana, maasulkusuojana ja katkaisijavianohjauksena. Kyseinen rele ohjaa siis vikatilanteessa katkaisijan Q1.0 auki. Myös rele RET 615 laukaisee vikatilanteessa saman katkaisijan, koska se toimii varasuojana ylivirrälle. Lisäksi päämuuntaja 2 kautta tuleva ylivirta lukitsee ja laukaisee katkaisijan. Lisäksi tähtipisteen nolajännite laukaisee katkaisijan, jos se ylittää asetteluarvon. (Liite 6.)

Releessä REF 630 on kaikki ylivirtaportaattien ensimmäisestä kolmanteen ja maasulkujännite sekä tehoihin perustuvat mittaukset, joilla on suunta. Verkoanalyysaattori on kytketty suojamuuntajaan, jonka kautta saadaan tehomittaukset tehtyä ja jännite ja virta-arvot.

Suojauskaavion avulla releeseen liitettyjä suojaustoimintoja on helpompi tarkastella. Siitä voi nähdä, kuinka rele ja virtamuuntajat ovat sijoitettu demolaitteistossa. Releen laukaisu matriisi kuvassa 32 kertoo, mitkä laukaisevat katkaisijan ja antavat hälytyksen MicroScadalle.



Kuva 32. Releiden laukaisumatriisi

Suojauskaavion (liite 5.) avulla voidaan tarkastella, miten hälytys- ja laukaisu-toiminnot on liitetty releen kautta MicroScadalle, joka saa tiedot IEC 61850-väylän kautta. Releiden toiminnat on suojauskaaviossa esitetty IEC 61850-standardin mukaisesti.

Matriisista (kuva 32.) nähdään Q1,0 mitkä viat laukaisevat katkasijan. Matriisin vaakaviivoista voimme tarkastella, mistä ja minkä kautta laukaisu indikoituu ja aiheuttaa laukaisu toiminnon. Kuvasta havaitaan, että kaaviossa on kaksi relettä REF 630 ja RET 615, joilla molemmilla on oma tehtävänsä. RET 630 toimii ylivirtasuojana muuntajan yläpuolella. Se sijaitsee 110 kV:n kiskon ja muuntajan välissä. Ylivirtasuojan sijoituksen on ratkaissut yhdeltä suunnalta tuleva syöttö. Muutoin alapuolella tarvittaisiin myös ylivirtasuoja.

RET 615 toimii kyseisessä laitteessa erovirtasuojauksena ja ylivirtareleen varasuojana. Sen suojausalueeseen kuuluu muuntaja. Matriisin avulla voidaan tulkitä myös kyseisen releen laukaisukäskyn antavat toiminnot kuin edellinenkin.

## 8.1.2 RET 615

Demolaitteistossa linjalla 1 relettä RET 615:tä käytetään

- erovirtamittaukseen eli differentiaalireleenä ja ylivirtareleenä, jossa on vakioviivästys ja käänteisviivästys.
- ylivirtamittaus (toinen ylivirtaporras aikaselektiivinen toiminta, vakioviivästys ja käänteisviivästys)
- virta- ja jännitemittaukseen.

(ABB, 2015b.)

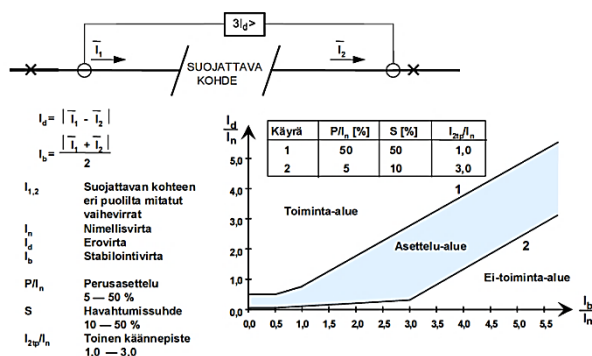


Kuva 33. ABB RET 615

Kuvassa 33 oleva rele toimii pienimpedanssisuojana ja mittaa virtoja päämuuntajan molemmin puolin. Se muodostaa erovirran  $I_d$ , joka ei ole nolla, vaikka vikaa ei ilmenisikään. Nollavirtaa ei esiinny, koska virtamuuntajat aiheuttavat virheen mittauksessa. Muuntaja myös itse aiheuttaa tyhjäkäyntivirtaa, joka näkyy myös erovirtana ja käämikytkimen asento aiheuttaa saman ilmiön. Virheet mittauksessa ja käämikytkimen asennossa aiheutuva virta ovat täysin verrannollisia muuntajan läpi kulkevaan virtaan. Pahin tilanne erovirran tilassa on silloin, kun vika ei ulotu suojausalueelle (kuva 34). Silloin virta kulkee suurena lävitse ja aiheuttaa tasajännitekomponentin. Tasajännitekomponentti aiheuttaa kyllästy-misilmiön virtamuuntajissa ja ne kyllästyvät eri aikaan. Eri aikaan kyllästyminen kasvattaa hetkellisesti erovirtaa. Virhetoiminnalta vältytään, kun suojaus vaka-voidaan. Erovirran arvo on suurempi, kuin sen kautta kulkeva virta ja virhelau-



kaisua ei synny. Suojan vakavointivirta saadaan molemmin puolin tulevista virroista mitattua eli vaihevirroista. (ABB-TTT käsikirja 2000- 07, 34).



Kuva 34. Differentiaalireleen suojausalue (ABB-TTT käsikirja 2000- 07, 34).

Kyseiselle releelle on liitetty molemmin puolin muuntajaa kolme virtamuuntajaa, joiden avulla saadaan erovirtamittaus tehtyä (kuva 34). Lisäksi releessä on myös kaikki portaat ylivirta-asetteluineen, koska jos pääsuoja rele REF630 ei toimi, voi kyseinen rele toimia eli toimia varasuojana. Myös maasulkusuojaus löytyy releeltä. Asetteluissa on huomioitava seuraavat asiat, että suojauksen herkkyys on oikea. Perusasettelu on tehtävä seuraavasti, että on suurempi kuin muuntajan magnetoinnissa oleva virta ja tai johdossa esiintyvä varausvirta isoimmalla jännitteellä. Nämä seikat estävät myös virheellisen toiminnan suojauksessa ja se vaikuttaa toimintaherkkyyteen suurilla vakavointivirran arvoilla.

Demolaitteistossa RET615 releestä löytyy seuraavat toiminnot:

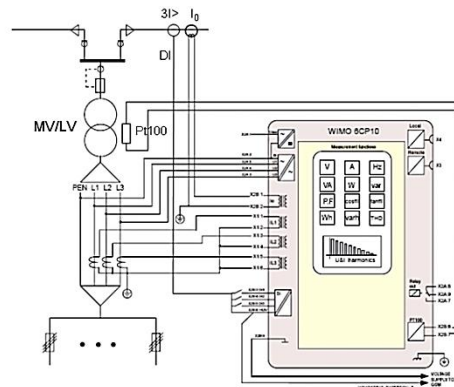
- differentiaalisuoja alempi porras
- differentiaalisuoja ylempi porras
- ylivirtasuojan laukaisu
- maasulkusuojanlaukaisu
- katkaisijavikasuoja
- lämpösuoja ja epäbalanssi
- virtamuuntajan terminen ylikuumentumisen laukaisu

- virtamuuntajan terminen ylikuumenemisen hälytys
- laukaisupiirin valvonta
- ulkoinen laukaisu BI2.

Suojauksen toiminnan herkkyyttä vaaditaan, koska muuntajassa saattaa esiintyä sisäisiä vikoja, kuten käämi- ja kierrossulut sekä maasulut, joita esiintyy suojausalueella.

### 8.1.3 WIMO6CP10

Jakeluverkon maasulun ilmaisemisessa käytetään kyseistä analysaattoria apuna, koska muuntamoilta saadaan tietoa maasulkuvirroista. Verkoanalyysointia avulla saadaan mittaustiedot tuotua järjestelmään virtamuuntajilla, jotka voidaan liittää myös jälkeempään laitteistoon.



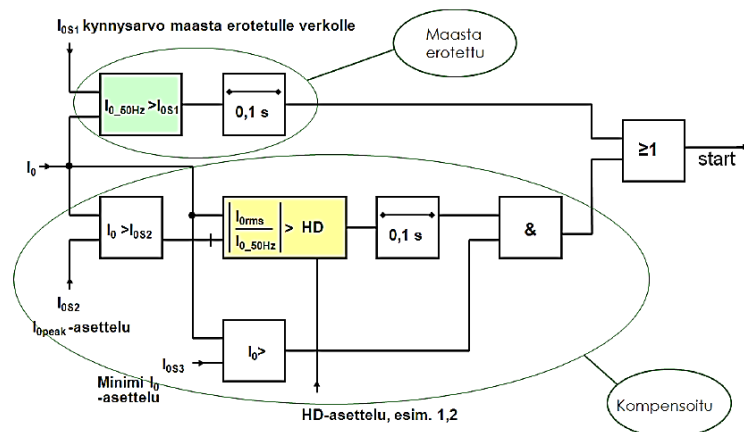
Kuva 35. Wimon periaatekuva (Keskijännitevikojen indikointi, VAMP, 2011, 3-4).

WIMO6CP10 on verkkoanalyysointilaitteisto, joka on yllä olevassa periaatekuvassa (kuva 35). Se on verkkoanalyysointilaitteisto, jolla voidaan ilmaista maasulkuja molemmilla verkkotyypeillä sammutetusta verkosta sekä maasta erotetusta verkosta. Indikoinnissa tämä seikka asettaa kyseiselle laitteistolle vaatimuksen indikointilaitteesta. Kun liitetään indikointilaitteisto eli osoituslaitteisto, on huomioitava, että laite kykenee mittaamaan tarvittavat suureet. Tyypillisesti tämä indikointilaitteisto on virtamuuntaja, joka liitetään verkkoanalyysointilaitteistoon. Virtamuuntajan avulla muunnetaan tiedot virtaviestiksi analyysointilaitteistolle, joka muuntaa suureet mittaustulok-

siksi. Kyseinen laite on kehitetty juuri ilmaisemaan maasulkuja. Molempien verkkotyypin kehitetyt funktiot voivat olla samaan aikaan toiminnassa, joten asetuksia ei tarvitse muuttaa verkkotyyppin vaihtuessa.

Lisäksi laite ilmaisee siis vian syntymisen havaitsemisen, eikä kerro, onko vika päällä tai pois. Yleensä tämä tieto välitetään MicroScada-järjestelmään loppukäyttäjälle, josta se tulee kuitata pois (Keskijännitevikojen indikointi, VAMP, 2011, 3- 4).

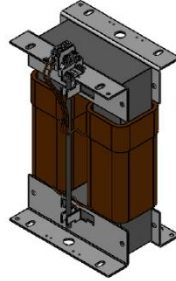
- $I_{OS1}$ : maasulkuvirran ( $I_{0\ 50Hz}$ ) havahtumisarvo. Tehdasasettelu 30 A
- $I_{OS2}$ : kompensoidun verkon maasulkuvirran alkutransientin kynnyсарvo, jonka ylitys käynnistää HD-funktion laskennan. Tehdasasettelu 20 A
- $I_{OS3}$ : maasulkuvirran minimiarvo, joka on ylitettävä, jotta vikaindikointi voidaan hyväksyä. Tehdasasettelu 1 A
- HD: suodattamattoman maasulkuvirran ( $I_{0rms}$ ) suhde perustaajuiseen komponenttiin ( $I_{0\ 50Hz}$ ). Tehdasasettelu: HD = 1,1



Kuva 36. Maasulun indikointilogiikka (Vamp, Keskijänniteverkon vikojen indikointi kaapeliverkossa WIMO 6CP10:llä, 2011, 11.)

Kuvassa 36 esitetään, kuinka indikointilogiikka on toteutettu. Virtamuuntaja mittaa maasulkuvirtaa ja ylivirtaa. Laitteella voidaan myös suorittaa käämien lämpötila mittaus, joka on liitetty siihen. Kyseisellä verkkoanalysointilaitteella voidaan vaikka mitata harmonisia yliaaltoja, tehokertoimia yms.

#### 8.1.4 Sammutuslaitteisto



Kuva 37. Sammutuslaitteiston kela

Päämuuntaja 1:teen on liitetty kompensointilaitteisto (kuva 37.), jolla voidaan muodostaa sammutettu verkko maasta erotetusta verkosta. Kompensointilaitteisto voidaan kytkeä päälle tai katkaisijalla Q1.4 avulla. Releet on ohjattu toimimaan automaattisesti siten, että ne vaihtavat asetukset sen mukaan, millaista verkkotyyppiä käytetään. Valmiit asettelut helpottavat demolaitteiston käyttöä. Kompensointilaitteistoon on kytketty kela ja vastusrinnakkain, jonka avulla maasulkuvirta sammutetaan ja muodostetaan sammutettu verkko. Vastusta sammutuslaitteiston rinnalla tarvitaan nostamaan maasulkuvirtaa, että suojaukset toimisivat oikein ja selektiivisesti. (Demolaitteiston ohjaus ilmenee kytkentäohjelmasta, joka on liitteessä 4).

#### 8.1.5 Microscada

MicroSCADA on käytönvalvonta järjestelmä (Supervisory Control And Data Acquisition), jolla voidaan valvoa reaaliaikaisesti sähkönjakeluverkon tapahtumia. SCADA:ssa päätoiminnot ovat seuraavia:

- tapahtumatietojen hallinta
- verkon kytkentätilanteen hallinta
- kauko-ohjaukset
- kaukoasettelut
- raportointi.

SCADA on siis tietojärjestelmä, jolla voidaan hallita järjestelmää ja saada reaaliaikaista tietoa sähköjakeluverkonprosessista, ja sen avulla toteutetaan monia kriittisiäkin toimintoja. Kyseinen järjestelmä sisältää varmennetut tietokoneet, sovellusohjelmat, korkeatasoiset käyttöliittymät ja liitynnät tiedonsiirtojärjestelmiin. Scadan täytyy toimia erityisten luotettavuusvaatimusten perusteella, myös silloin kun kaikki muut toiminnot ovat häiriintyneet. Scadassa tietokonelaitteistot ovat kahdennettuja ja niin sanotusti kuumakytettyjä. Jos toinen tietokone vikaantuu, niin toinen tietokone ottaa järjestelmän haltuun välittömästi. Lisäksi ne on varmennettu UPS-laitteistolla. (Lakervi & Partanen 2008, 235- 236.)

Kyseissä SCADA:ssa sähköasemat ja niiden laitteistot ovat kuvattu tietokantoihin ja ovat yleisluontoisia. Valvomoon saadaan tieto suojarleiden toiminnasta, kytkinlaitteiden tilamuutoksista sekä vianilmaisimien ja käämikytkimien toiminnoista. Lisäksi sillä voidaan yllä pitää verkko- ja tapahtumatietojen avulla jakeluverkonkytkentä tilasta. Kauko-ohjauksessa olevien kytkinlaitteiden tilasta saadaan tieto automaattisesti Scadaan niiden omista toiminnoista. Käsien ohjattavien kytkinlaitteiden tiedot on syötettävä itse järjestelmään. Kytkentätilan hallinta jakeluverkon turvallisuuden takia on kriittinen toiminto. Suurhäiriössä kytkentätilan hallinnan menetys olisi erittäin kohtalokasta.

Kauko-ohjauksen avulla voidaan ohjata sähköasemien ja verkon kauko-ohjattavia kytkinlaitteita. Lisäksi voidaan ohjata sähkökäyttäjien kuormituksia. Kaukomittauksen avulla saadaan tietoa sähköasemien kiskojännitteistä ja keskijännitelähtöjenvirtamittauksesta. (Lakervi & Partanen 2008, 235-236.)

SCADA:n avulla saadaan releistä asetteluarvot ja niiden mittaamat vikavirrat saadaan siirrettyä valvomoon. Tällöin releiltä edellytetään, että näissä on valmiudet tiedonsiirtoon. Kyseisten suojarleiden asetteluarvoja voidaan muuttaa myös SCADAN avulla. (Lakervi & Partanen 2008, 235- 236.)

### 8.1.6 Omicron 356

Omicron 356 on laite, joka on kehitetty erityisesti releiden testaamiseen (kuva 38.). Laitteella voidaan testata kaiken tyyppiset suojareleet riippumatta niiden sukupolvesta. Laitteessa on kuusi virtakanavaa suurella dynaamisella alueella ja yksikkö kykenee testaamaan, jopa suuren taakan omaavia sähkömekaanisia releitä. Laite on monipuolinen amplitudien ja virtojen syötössä. Laitteesta löytyy myös neljä jännitekanavaa. Amplitudiarvoa, vaihearvoa ja taajuutta voidaan säätää itsenäisesti. Kaikki lähdöt on suojattu ylikuormitus- ja oikosulkusuojin ja jännite piikkejä vastaan sekä ylikuumentumista vastaan. (Omicron, 2015.)



Kuva 38. Omicron 356

Laitteesta löytyy myös binäärilähtöjä ja tuloja, joita käytetään apuna releiden testauksessa. Myös muita lähtöjä ja tuloja löytyy ja ne sijaitsevat laitteen takana. Laitetta voidaan käyttää releiden määräaikaistarkastuksissa ja käyttöönotto- ja tarkastuksissa ja sillä voidaan testata relesuojausten toiminta. (Omicron, 2015)

Omicron 356 tarvitsee avukseen Omicronin Test Universe- ohjelmiston, jossa on joitakin testaustoimintoja aseteltu valmiiksi. Ohjelmalla avulla voidaan kontrolloida testaussignaaleja, prosessoida mittaustietoja, luoda raportteja.



Kuva 39. Omicron Test Universe aloitussivu

Ohjelman (kuva 39.) avulla saadaan tulokset näkyville, joko vektoreina ja useilla muilla tavoilla, joita käyttäjä haluaa mahdollisesti käyttää. Lisäksi ohjelmiston manuaalissa neuvotaan kytkentöjen tekeminen laitteelle. (Omicron, 2015.)

## 9 MAASULUN JA KÄÄMISULUN SIMULOINTI

Opinnäytetyö tehtiin sähkövoimatekniikan laboratoriossa. Työ koostui kolmesta eri simuloinnista, jotka liittyvät maasulkuihin ja muuntajan vikoihin.

Simuloinnilla tässä yhteydessä tarkoitetaan keinotekoisesti tehtyjä vikoja. Kei-notekoisten vikojen avulla saatiin luotua maasulkua muistuttavia tilanteita sähköturvallisuusasiat huomioiden. Maasulkua ei toteutettu todellisena. Maasulkujännitteet ja -virrat saatiin esille demolaitteistossa olevalla releellä, jossa on maasulkusuojaus käytössä. Releestä saadaan mittaustiedot esille  $I_0$ - ja  $U_0$ - tähtipisteiden mittauksesta. Simuloinnin avulla tutkittiin maasulkujännitteen  $U_0$  ja maasulkuvirran  $I_0$  muodostumista ja sitä, kuinka eri suureiden arvojen muutokset vaikuttivat niihin. Molemmille tehtiin simuloinnit erikseen.  $U_0$ -ja  $I_0$ -pisteen toiminnassa käytettiin apuna teoreettisia laskuja, jolla saatiin vertailua todelliseen tilanteeseen.

Maasulun simuloinnissa tarvitaan avuksi koestuslaite, jolla voidaan syöttää halutut vaihejännitteet tai virrat. Koestuslaitteen avulla saatiin luotua epäsymmetria-jännitteissä tai virroissa, jonka avulla  $I_0$ - tai  $U_0$ - arvo saatiin nousemaan. Koestuksessa käytettiin vain yhden arvon laskemista asteittain ja vaihe-ero kulman muuttamista. Koestuslaitteen avulla kyettiin testaamaan myös differentiaalireleen toimintaa, jolle simuloitiin yksi vika. Koestuslaitteen avulla luotiin erovirta, johon differentiaalirele reagoi.

Maasulkujen simulointia tehtäessä jouduttiin avaamaan riviliittimet demolaitteistosta. Riviliittimissä oli liukulukituspalat, jotka täytyi avata ensin, ennen simuloinnin suorittamista. Tällä estettiin virran kiertyminen väärään suuntaan ja pääsy väärille paikoille. Demolaitteistoon kytkettiin vain apujännitteet päälle, ja muita kytkentöjä tai kytkentäohjelmia ei suoritettu simulointia varten.

Simuloinnin aikana monitoimireleistä tarkasteltiin virran ja jännitteiden arvoja niissä olevien LCD-näyttöjen kautta. LCD-näytöllä näkyi jännitteiden- ja virtojen arvot, joihin päästiin valikkorakenteiden kautta.

Todellista käämisulkua simuloitiin virtaa rajoittavan vastuksen avulla, jonka avulla voidaan myös differentiaalireleen toimintaa tarkastella.

Vikasimulaatioiden avulla saatiin suojat laukeamaan ja toteutumaan aseteltujen ehtojen mukaisesti, joihin ei tehty muutoksia. Liitteessä 1. löytyy simuloinnit vaiheittain kerrottuna.



## 10 POHDINTA

Relesuojaus on nykyisin hyvin kattava johtuen monitoimireleistä. Monitoimireleet tulevat varmasti tulevaisuudessa kehittymään komponenttien, prosessoreiden ja tietoliikenneväylien kehitysten myötä. Edellä mainittujen asioiden takia releiden koko pienenee ja tehokkuus kasvaa vielä suuremmaksi. Myös älyverkkojen myötä ns. ”äly” releissä lisääntyy ja ne tulevat toimimaan yhä itsenäisemmin.

Muuntajien suojaus on todella tärkeä osa sähkönsiirtojärjestelmissä, joten sen suojausta varmasti tullaan kehittämään. Muuntaja on ehkä arvokkain komponentti sähköasemalle. Tulevatko kolmivaihemuuntajatkin tulevaisuudessa pienemään kehityksen myötä vai onko niiden raja jo saavutettu? Muuntajien tehot varmasti hidastavat kehitystä näiltä osin.

Verkkojen suojauksessa on monta tapaa jo nyt ja usein ne tehdään sähköasemalla ja niissä käytetään perinteistä radioverkkoon pohjautuvaa suojausta vielä etäisimmille yhteyksille. Valokaapeleiden ja kuitujen kehityksen myötä tästä ohjauksesta pyritään luopumaan tulevaisuudessa. Verkkojen suojaus on kuitenkin jo hyvin tehokasta, ja niille on asetettu vaatimukset valmiiksi sekä niitä tehostetaan koko ajan. Verkossa sähkönjakelun keskeytyminen on nykyään hyvin epä-taloudellista, koska vaatimukset keskeytyksien kestosta ovat tiukentuneet.

Demolaitteisto on uusi, ja sen käyttöön ottaminen opetustarkoitukseen on toteutettu asteittain osaamisen kasvamisen myötä. Demolaitteistossa on suuri määrä sähkönsiirtotekniikkaan liittyviä laitteita ja järjestelmiä, joiden ohjeistaminen lisää oppimisympäristön käytettävyyttä. Ohjeistukselle on tarvetta, koska sähköasemat ja sähkönsiirtojärjestelmät perustuvat uuteen tekniikkaan.

Työssä simuloitiin vikoja demolaitteiston suojareleille ja muuntajalle. Releille simuloitiin maasulkuvirtoja ja maasulkujännitteitä, joiden pohjalta saatiin laadittua käyttöohjeet turvalliseen käyttöön. Differentiaalireleelle simuloitiin kahdella

eri tavalla vika, jolla kyettiin mallintamaan ja testaamaan erovirtareleen toimintaa.

Työn tavoitteena oli saada tehdä käyttöohjeet muuntajavikojen ja maasulkuvikojen simulointiin. Käyttöohjeet luotiin vikojen simuloinnille, joten tavoitteeseen päästiin. Sammutetun verkon toiminta tulee tässä työssä esille  $I_0$ -virran tutkimisen kautta ja  $U_0$ -jännitteen kautta puolestaan tulee maasta erotettu verkko. Työssä saavutettiin kuitenkin asetetut tavoitteet ja saatiin luotua käyttöohjeet sähköturvallisuusnäkökohdat huomioiden.

Tulevaisuudessa opetusmenetelmät tulevat olemaan yhä käytännönläheisempiä. Tämä tarkoittaa konkreettista opetusta todellisia tilanteita vastaavilla tilanteilla, joihin simuloinnit ovat yksi ratkaisu. Simulointien avulla saadaan todentukaista vastaavia tilanteita laitteistoille, ja niitä pystytään paremmin tutkimaan ja kehittämään tätä kautta. Simulointien avulla opitaan ymmärtämään yhä enemmän käytännöstä, miten laitteiden tulee toimia ja missä tilanteissa pitää käyttää tiettyä menetelmää. Oppimisesta saadaan enemmän havainnollista eikä kaikki perustu pelkkään teoriaan, jonka ymmärtäminenkin on tärkeää.

Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää havainnollistamaan sitä, kuinka releet toimivat suojaustilanteissa, oli kyseessä maasulku tai muuntajalla syntyvä vika. Opinnäytetyötä voisi jatkokehittää tutkimalla, miten saataisiin jännite- tai virrtaepäsymmetria luotua ilman koestuslaitetta demolaitteistolle, ja kuinka voitaisiin säätää vaiheittain esimerkiksi jännitettä.

Omat oppimiskokemukseni työstä on hyvin monipuoliset, koska piti omaksua hyvin paljon uutta asiaa monesta eri asiasta. Ammatillisen kehittymisen kannalta tämän työn tekeminen tukee ja syventänyt osaamista. Kokonaisuutena työ oli hyvin haasteellinen, mutta mielekästä tehdä.

## LÄHTEET

ABB 2000. ABB-TTT käsikirja 2000- 07. Viitattu 12.3.2015

[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/035\\_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/035_0007.pdf).

ABB 2015a. Feeder protection and control REF630, Flexibility for demanding utility and industrial power distribution systems. Viitattu 12.4.2015

[http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/70a71d6f7e1810f0c1257dc700211b7c/\\$file/REF630\\_broch\\_756382\\_LRENe.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/70a71d6f7e1810f0c1257dc700211b7c/$file/REF630_broch_756382_LRENe.pdf).

ABB 2015b. Transformer Protection and Control RET615 Application Manual. Viitattu 12.4.2015.

[http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/fefb5d81c5b7839fc1257c6a00487efe/\\$file/RET615\\_appl\\_756886\\_ENh.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/fefb5d81c5b7839fc1257c6a00487efe/$file/RET615_appl_756886_ENh.pdf).

ABB 2015c. Disconnecting circuit breakers for space saving and enhanced substation. Viitattu 4.4.2015. [www.dcbsubstations.com](http://www.dcbsubstations.com).

Aura, L. & Tonteri, A.J. 1993. Sähkölaitostekniikka. 1.painos. Porvoo: WSOY.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 1. 2.painos. Helsinki: Otatieto Oy.

Elovaara, J. & Laiho, Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. 3.painos. Hämeenlinna: Otatieto Oy.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 2. 1.painos. Tallinna: Raamatutrukikoda.

Fingrid Oyj 2013. Kantaverkon relesuojauksen pääperiaatteet liittyjän kannalta. Viitattu 18.3.2015.

<http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/2013/Kantaverkon%20relesuojauksen%20p%C3%A4%C3%A4periaatteet%20liittyj%C3%A4n%20kannalta.pdf>.

Fingrid Oyj 2015. Suomen sähkövoimajärjestelmä. Viitattu 15.3.2015.

<http://www.fingrid.fi/fi/voimajarjestelma/voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Suomen%20s%C3%A4hk%C3%B6voimaj%C3%A4rjestelm%C3%A4/Sivut/default.aspx>.

Fingrid Oyj 2006. Relesuojaus. Viitattu 15.4.2014.

<http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCrelesuojaus.aspx>.

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1.painos. Vantaa: Hansaprint Oy Direct.

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. 1.painos. Vantaa: Hansaprint Oy Direct.

Korpinen, L. 1998. Sähkön siirto-jakeluverkot. Viitattu 1.4.2015.  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/3sahkon\\_siirto\\_ja\\_jakeluverkot.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf)

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 1.painos.Helsinki: Ota-tieto Oy.

Lakervi, E, & Holmes, E.J. 1995. Electricity distribution network design. Exeter: Short Run Press Ltd.

Lakervi, E.1996.Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu.1.painos. Helsinki: Haka-paino Oy

Mörsky, J. & Mörsky, J. 1994. Voimalaitosten yhteiskäytön tekniikka. 1. painos. Helsinki: Otatieta.

Mörsky, J. 1993. Relesuojaustekniikka. 2.painos. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Omicron 2015. CMC 356, The Universal Relay Test Set and Commissioning Tool. Viitattu 5.4.2015.  
<https://www.omicron.at/en/products/all/secondary-testing-calibration/cmc-356/>

SESKO ry 2015, Sähkötekniikan peruskäsitteet. Viitattu 3.3.2015.  
[www.sesko.fi/attachments/ohjeet/osa\\_1\\_jannite\\_-\\_kalvot.pdf](http://www.sesko.fi/attachments/ohjeet/osa_1_jannite_-_kalvot.pdf)

Suomen standardisoimisliitto SFS ry, 2009. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot SFS- Käsikirja 6001. 1.painos. Helsinki: SESKO Ry.

Vamp Ltd 2015. Keskijänniteverkon vikojen indikointi kaapeliverkossa WI-MO6CP10:llä. Viitattu 1.4.2015.  
[http://www-fi.vamp.fi/Technical%20papers/Application%20notes/Finnish/AN6CP10.FI001.p  
df](http://www-fi.vamp.fi/Technical%20papers/Application%20notes/Finnish/AN6CP10.FI001.pdf)

Virtuaali AMK. 2015. Opiskeluaineisto, Sähkönjakeluverkon relesuojaus. Viitattu 3.3.2015.

<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1150184842270/1150185165312/1150185373572/1150185460411.html>

## LIITTEET

- Liite 1. Simuloinnit
- Liite 2. 110 kV:n laitteiston pääkaavio
- Liite3. 110 kV:n lukituskaavio
- Liite 4. KytKentäohjelma 101
- Liite 5. 110 kV:n suojauskaavio
- Liite 6. Katkaisijan ohjaus
- Liite 7. Katkaisijan RET 615 ohjaus

## Simuloinnit

Simuloinnit suoritettiin aloittamalla mittajohtimien kytkeminen riviliittimille, kuva 40.



Kuva 40. Riviliittimelle tulevat johdot

Mittausjohtimien toiset päät kytkettiin Omicronin virta- tai jännitekanavalle (kuva 41), laitteesta löytyy kaksi virtakanavaa ja yksi jännitekanava.



Kuva 41. Omicron 356

Ensimmäiseksi testattiin maasulkuvirran ja -jännitteen syntymistä. Virrat ja jännitteet aseteltiin symmetrisesti jokaiselle vaiheella  $120^{\circ}$  kulmaerolla. Kyseinen virta- ja jänniteasettelu vastaa normaalia tilannetta ilman oikosulkuja tai maasulkuja.

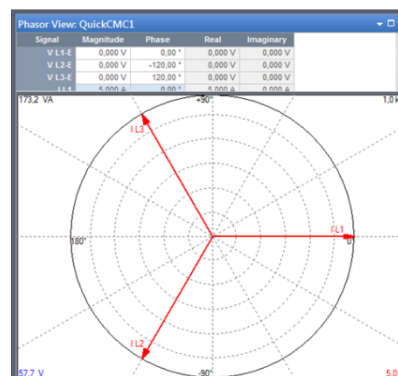
Seuraavassa kuvassa 42 ovat virtojen asetteluarvot, jotka ovat samanlainen jänniteasettelussakin kuvassa 42 yläpuolella jännitearvot.

Test View: QuickCMC1

Analog Outputs			
Set Mode	Direct		
V L1-E	0,000 V	0,00 °	50,000 Hz
V L2-E	0,000 V	-120,00 °	50,000 Hz
V L3-E	0,000 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	5,000 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	5,000 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	5,000 A	120,00 °	50,000 Hz

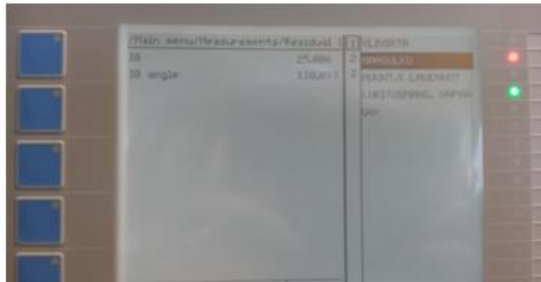
Kuva 42. Virta-asettelut

Virta- ja jännite asetteluista Omicronista saadaan myös vektori esitys, joka havainnollistaa vaihe-eron ja virtojen ja jännitteiden suuruuden, kuva 43.



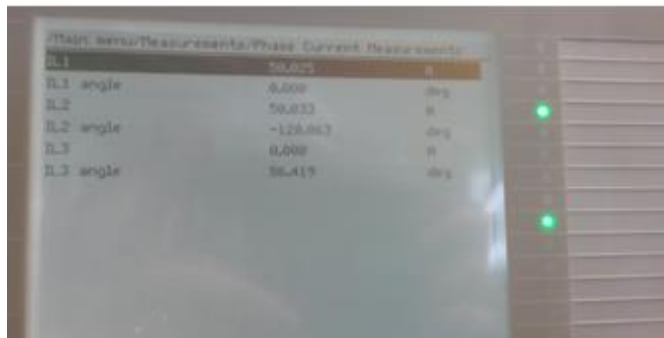
Kuva 43. Virrat vektoreina

Virta- tai jännite arvot laskemalla yhteen kulmien kera saadaan maasulkuvirran tai jännitteen arvo. Ylivirtarele REF 630 reagoi maasulkuvirtaan tai - jännitteeseen ja antaa maasulkuvirta tai -jännitehälytyksen, kuten seuraavasta kuvasta 44 nähdään.



Kuva 44. Maasulkuhälytys

Maasulkuhälytyksestä saadaan tieto virran tai jännitteen suuruudesta ja niiden kulmasta. Lisäksi normaalitilanteessa, jossa ei hälytystä sattunut saadaan kaikkien kolmen vaiheen virrat tai jännitteet ja suunnat kulmina esille, kuten seuraavasta kuvasta 45 nähdään.



Kuva 45. Vaihevirrat ja kulmat

Testausmenetelmänä käytettiin simulointia, jonka avulla nähdään kuinka rele toimii. Aika-asetteluita tai muita asetteluita ei muutettu, vaan käytettiin 110 kV/10 kV laitteistolle tehtyjä perusasetteluita, jotka olivat valmiina.



### **$I_0$ -pisteen simulointi**

Ensimmäisenä simulointi suoritettiin monitoimireleelle REF630. Simuloinnin avulla pyrittiin saamaan näkyville kuinka kyseinen rele ilmaisee ja toimii maasulkuvirta mittauksessa. Ensimmäisessä simuloinnissa varmistettiin, että monitoimirele REF630 toimii oikein. Symmetristen virtojen avulla saatiin varmistettua

simuloinnin toimivuus, josta oli helppo lähteä suorittamaan simulointeja eri arvoilla. Simuloinnilla pyrittiin matkimaan vikatilanteita, joissa releiden tulisi toimia ja suorittaa toiminnot kuten havahtumisen, erottamisen ja hälytyksen indikoinnin.

Ensimmäisessä simuloinnissa virrat aseteltiin symmetrisesti virta-arvoineen ja kulmineen. Asettelut tehtiin seuraavasti:

$$I_1 = 5A \leq 0^\circ$$

$$I_2 = 5A \leq 120^\circ$$

$$I_3 = 5A \leq -120^\circ$$

Seuraavaksi laskettiin kaavalla (21), jonka avulla saatiin vahvistettua vaihevirtojen symmetria.

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_0 \quad (21)$$

$$5A \leq 0^\circ + 5A \leq 120^\circ + 5A \leq -120^\circ = 0A \leq 0^\circ$$

$$I_0 = 0A \leq 0^\circ$$

Tuloksena  $I_0$ :n arvoksi saatiin  $0A \leq 0^\circ$ , joten saatiin vahvistus virtojen symmetriasta. Kun  $I_0$  pisteen arvo on  $0A \leq 0^\circ$ , silloin sen virta-arvo on nolla. Tämä on seurausta siitä, kun vaihevirrat ovat symmetrisiä. Tämän jälkeen voitiin tarkastella Omicronin testausohjelman näytöltä vastaavat virrat vektoreineen, kuva 46. Symmetriset virrat eivät aiheuta maasulkuhälytystä.

## Liite 1. Simuloinnit

5(21)

Seuraavaksi tehtiin simulointi, jossa pudotettiin yhden vaiheen virta-arvo pienemmäksi ja kulma-arvot pidettiin samana. Asetteluarvot olivat seuraavat:

$$I_1=5 \text{ A} \leq 0^\circ$$

$$I_2=5 \text{ A} \leq 120^\circ$$

$$I_3=2,5 \text{ A} \leq -120^\circ$$

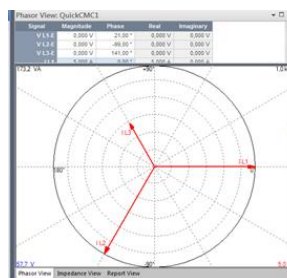
Seuraavaksi laskettiin kaavalla (18), jonka avulla saatiin vahvistettua vaihevirtojen symmetria.

$$I_1+I_2+I_3=I_0 \quad (21)$$

$$5 \text{ A} \leq 0^\circ + 5 \text{ A} \leq 120^\circ + 2,5 \text{ A} \leq -120^\circ = 2,5 \text{ A} \leq 60^\circ$$

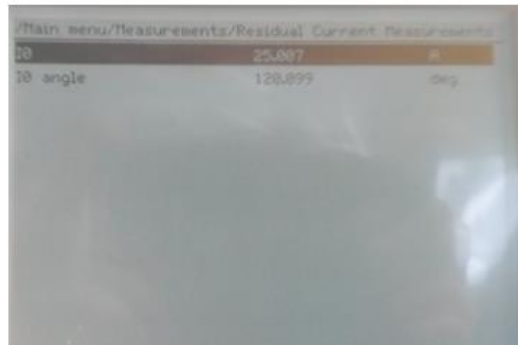
$$I_0=2,5 \text{ A} \leq 60^\circ$$

Lisäksi laskettiin kulma uudelleen, koska  $60^\circ$  ei ole todellinen maasulkuvirran kulma-arvo. Todellinen kulma-arvo saadaan vähentämällä saatu  $60^\circ$  pois  $180^\circ$ , joten kulman arvoksi tulee  $120^\circ$ . Eli  $I_0=2,5 \text{ A} \leq 120^\circ$ . Kuvasta 46 näemme kyseisen simuloinnin virta-arvot vektorimuodossa esitettynä.



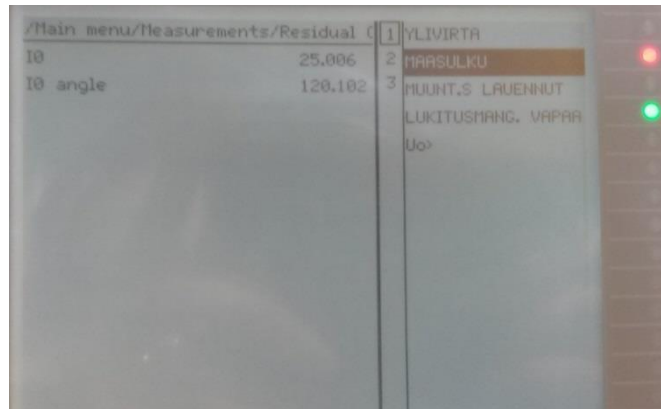
Kuva 46. Vaihevirtavektorit.

Edellä esitetyssä kuvassa 46  $I_0$ -vektoria ei ole, mutta sen seurauksena syntyvä maasulkuvirtahälytys kulmineen näkyy kuvassa 47.



Kuva 47. Maasulkuvirran arvo ja sen suuntakulma

Lisäksi REF630 mimiikka näkymässä näkyy virta-arvo sen mukaisena, mikä on virta-arvojen muuntosuhde demolaitteistolla. Joten 2,5 A vastaa 25 A. Lisäksi muuntosuhteet on pidetty releellä 110 kV:n mukaisena. Seuraavassa kuvassa näkyy maasulkuhälytyksen osoitus.



Kuva 48. Maasulkuhälytys

Seuraavaksi simulointi suoritettiin siten, että yhden vaiheen arvoa laskettiin edelleen ja kulma-arvot pidettiin samana. Asetteluarvot olivat seuraavat:

$$I_1=5 \text{ A} \leq 0^\circ$$

$$I_2=5 \text{ A} \leq 120^\circ$$

$$I_3=0 \text{ A} \leq -120^\circ$$

Seuraavaksi laskettiin kaavalla (19), jonka avulla saatiin vahvistettua vaihevirtojen symmetria.

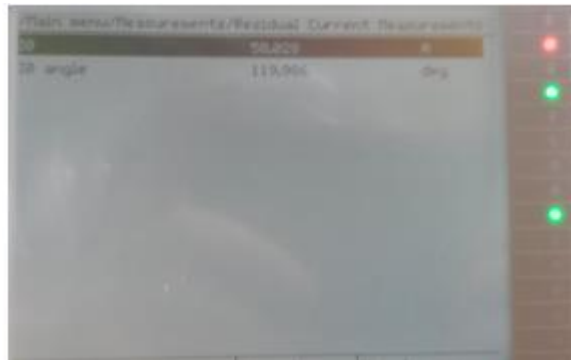
$$I_1+I_2+I_3=I_0 \quad (21)$$

$$5 A \leq 0^\circ + 5 A \leq 120^\circ + 0 \leq -120^\circ = 5 A \leq 60^\circ$$

$$I_0 = 5 A \leq 0^\circ$$

Myös tässä simuloinnissa laskettiin kulma uudelleen, koska  $60^\circ$  ei todellinen maasulkuvirran kulma-arvo. Todellinen kulma-arvo saadaan vähentämällä saatu  $60^\circ$  pois  $180^\circ$ , joten kulman arvoksi tulee  $120^\circ$ . Eli  $I_0 = 5 A \leq 120^\circ$ . Vektorit pysyvät

samana muuten kuin edellisessä simuloinnissa paitsi  $I_3$ :n vektoria ei ole johtuen  $0 A$ :n arvosta. Kuvassa 49 esitetään simuloinnin mimiikalta näkyvä maasulkuhälytys ja maasulkuvirran arvo suunta kulmineen.



Kuva 49. Maasulkuhälytyksen virran arvo ja suunta

Teoreettisesti simuloinnista voidaan ajatella, että maasulkuhälytyksen aiheuttavan vaikka yhden vaiheen katkeamisen seurauksena.  $I_0$ -pisteen virta kasvaa vaihevirran suuruiseksi, kun yhden vaiheen virta-arvo pudotetaan nolnaan. Nol-lavirtaan vaikuttaa myös kuorman impedanssi ja se millä kohdalla maasulku sattuu. Virrat synnyttävät epäsymmetrian, kun yhden vaiheen arvoa lasketaan ja sen voi havaita virtojen vektoriesityksestä. Edellä olevista simuloinneista voidaan päätellä. Kuinka yhden vaiheen virta-arvoa pudottamalla se summautuu  $I_0$ -pisteen virtaan samassa suhteessa, kuin virta arvon pudotus on.

### U<sub>0</sub>-pisteen jännitteen tutkiminen

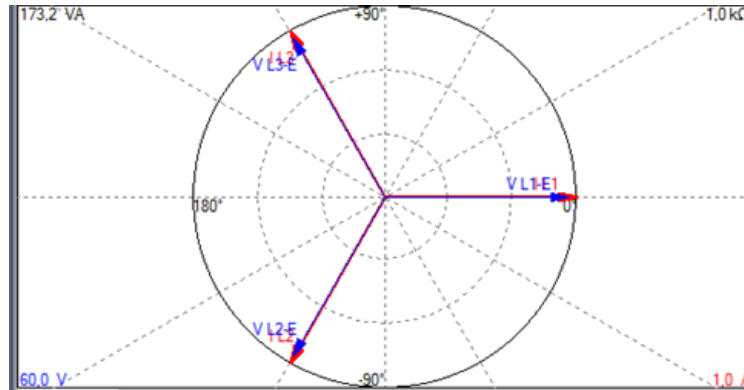
Maasulkujännitteen simulointi suoritettiin samalla lähes samalla tavalla kuin maasulkuvirran tutkiminen. Simulointi erosi vain hyvin vähän edellisestä vain kytkentöjen osalta tehtiin muutoksia. U<sub>0</sub>-pisteelle laitteistoon kytkettiin mittausjohtimet kiinni riviliittimellä, kuva 50.



Kuva 50. U<sub>0</sub>-pisteen mittaus

Omicronilla muutettiin kytkentää siirtämällä virtasyötöstä johtimet jännitesyöttöön eli voltage output:iin ja syöttöjohtimet eri riviliittimelle. U<sub>0</sub>-mittaus johtimet kytkettiin voltage output pisteeseen 4 ja N. Maasulkujännitteen simulointi aloitettiin asettelemalla jokaiseen vaiheeseen symmetrinen jännite. Demolaitteistossa edelleen vain apujännitteet päällä ja ei tehty muita kytkentätoimenpiteitä tai asettelumuutoksia.

Ensimmäinen simulointi U<sub>0</sub>-pisteen tutkimisessa aloitettiin asettamalla, joka vaiheelle symmetrinen jännite. Vaiheiden jännite arvoksi annettiin 57,73 V ja asetettiin virta-arvot 1 A:n, joka vaiheella. Omicronin testausohjelmassa virta- ja jännitevektorit kuvassa 51.



Kuva 51. Jännite- ja virtavektorit

Edellä esitetty tilanne voidaan ratkaista myös teoreettisesti laskemalla seuraavan kaavan (19) avulla ja asetellut olivat seuraavat:

$$U_{v1}=57,73V\leq 0^\circ \quad U_{v2}=57,73V\leq 120^\circ \quad U_{v3}=57,73V\leq -120^\circ$$

$$U_{v1} \leq 0^\circ + U_{v2} \leq 120^\circ + U_{v3} \leq -120^\circ = U_T \leq 0^\circ \quad (19)$$

$$57,73V \leq 0^\circ + 57,73V \leq 120^\circ + 57,73V \leq -120^\circ = 0V \leq 0^\circ$$

$$U_T=0V\leq 0^\circ$$

Symmetristen jännitteiden avulla saatiin varmistettua simuloinnin toimivuus, kuten maasulkuvirran simuloinneissakin. Myös tässä simuloinnissa pyrittiin matkimaan vikatilanteita, joissa releiden tulisi toimia ja suorittaa toiminnot kuten erottamisen ja häilytyksen indikoinnin.

Seuraavaksi simulointi suoritettiin siten, että yhden vaiheen jännitearvoa pudotettiin pienemmäksi ja kahden vaiheen arvoa nostettiin suuremmaksi. Kulma-arvot pidettiin samana. Asetteluarvot olivat seuraavat:

$$U_{v1}=100V\leq 0^\circ \quad U_{v2}=100V\leq -120^\circ \quad U_{v3}=90V\leq 120^\circ$$

Liite 1. Simuloinnit 10(21)

$$U_{v1} \leq 0^\circ + U_{v2} \leq 120^\circ + U_{v3} \leq -120^\circ = U_T \leq 0^\circ \quad (19)$$

$$100V \leq 0^\circ + 100V \leq 120^\circ + 90V \leq -120^\circ = 10V \leq -60^\circ$$

$$U_T = 0V \leq 0^\circ$$

$U_T = 10V \leq -60^\circ$  on kokonaisjännite ja tästä saadaan ratkaistua  $U_0$ -pisteen jännite seuraavalla kaavalla:

$$(U_T \leq 0^\circ) / \sqrt{3} = U_0 \leq 0^\circ \quad (20)$$

$$(10V \leq -60^\circ) / \sqrt{3} = 5,773V \leq -60^\circ$$

$$U_0 = 5,773V \leq -60^\circ$$

Teoreettisesti laskemalla saatu arvo voitiin vahvistaa QuickCMC1:n ikkunasta, joka on seuraavassa kuvassa 52. Kuvassa arvo V E vastaa  $U_0$ -pisteen jännitearvoa.

Phasor View: QuickCMC1				
Signal	Magnitude	Phase	Real	Imaginary
V L1-E	100,0 V	0,00 °	100,0 V	0,000 V
V L2-E	100,0 V	-120,00 °	-50,00 V	-86,60 V
V L3-E	90,00 V	120,00 °	-45,00 V	77,94 V
V E	5,773 V	-60,00 °	2,887 V	-5,000 V
I L1	1,000 A	0,00 °	1,000 A	0,000 A
I L2	1,000 A	-120,00 °	-500,0 mA	-866,0 mA
I L3	1,000 A	120,00 °	-500,0 mA	866,0 mA

Kuva 52. Jännitearvot ja  $U_0$ -pisteen arvo.

Lisäksi kyseinen  $U_0$ -pisteen jännite arvo näkyy vektorina seuraavassa kuvassa, joka on V E vektori. V E vektori on vastakkaiseen suuntaan kuin V L3- E vektori.

Liite 1. Simuloinnit

11(21)

Seuraavaksi simulointi suoritettiin siten, että yhden vaiheen jännitearvoa pudotettiin vielä pienemmäksi ja kahden vaiheen arvot pidettiin samana kuten kulmaarvotkin. Asettelu arvot olivat seuraavat:

$$U_{v1}=100V\leq 0^\circ \quad U_{v2}=100V\leq -120^\circ \quad U_{v3}=50V\leq 120^\circ$$

Tästä laskemalla kaavalla numero 19 saatiin UT kokonaisjännite.

$$U_{v1} \leq 0^\circ + U_{v2} \leq 120^\circ + U_{v3} \leq -120^\circ = UT \leq 0^\circ \quad (19)$$

$$100V \leq 0^\circ + 100V \leq 120^\circ + 50V \leq -120^\circ = 10V \leq -60^\circ$$

$$UT=50 V\leq -60^\circ$$

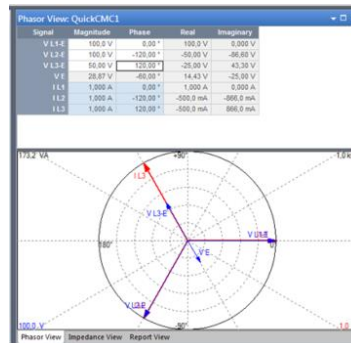
Vaiheiden yhteenlasketuksi summaksi saimme  $50V \leq -60^\circ$ , joka ei vielä ole maasulkujännite  $U_0$ .  $U_0$ - pisteen todellinen jännite ratkaistaan kaavan (20) avulla.

$$(50V \leq -60^\circ)/\sqrt{3} = 28,867V \leq -60^\circ$$

$$U_0=28,867 V\leq -60$$



Joten  $U_0$ -pisteen jännitteen arvo on  $28,867V \angle -60^\circ$ . Seuraavassa kuvassa 53. esitetään kyseisen simuloinnin vektorit ja jännitearvot.



Kuva 53. Jännite- ja virtavektorit.

Seuraavaksi simulointi suoritettiin siten, että yhden vaiheen jännitearvoa pudotettiin vielä pienemmäksi ja kahden vaiheen arvot pidettiin samana kuten kulma-arvotkin. Asetteluarvot olivat seuraavat:

$$U_{v1} = 100V \angle 0^\circ$$

$$U_{v2} = 100V \angle -120^\circ$$

$$U_{v3} = 50V \angle 120^\circ$$

Tästä laskemalla kaavalla numero 19 saatiin UT kokonaisjännite.

$$U_{v1} \leq 0^\circ + U_{v2} \leq -120^\circ + U_{v3} \leq 120^\circ = UT \leq 0^\circ \quad (19)$$

$$100V \leq 0^\circ + 100V \leq -120^\circ + 25V \leq 120^\circ = 75V \leq -60^\circ$$

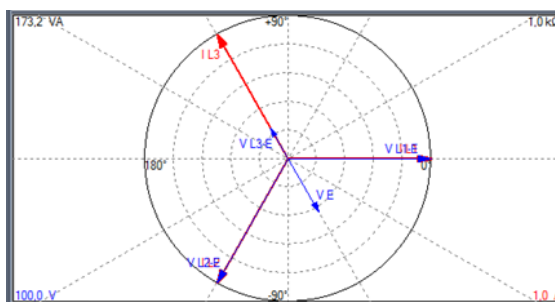
$$UT = 75V \angle -60^\circ$$

Vaiheiden yhteenlasketuksi summaksi saimme  $75V \angle -60^\circ$ , joka ei vielä ole maasulkujännite  $U_0$ .  $U_0$ -pisteen todellinen jännite ratkaistaan kaavalla (20).

$$(75V \leq -60^\circ) / \sqrt{3} = 28,867V \leq -60^\circ$$

$$U_0 = 43,3 V \leq -60^\circ$$

Joten  $U_0$ -pisteen jännitteen arvo on  $43,3V \leq -60^\circ$ . Seuraavassa kuvassa esitetään kyseisen simuloinnin vektorit ja jännitearvot. Jännitteiden arvot vektoreineen näkyvät simuloinnista seuraavassa kuvassa 54.



Kuva 54. Jännite- ja virtavektorit simuloinnissa.

Laskettiin teoreettisesti vielä esimerkiksi, kun yhden vaiheen jännite putoaa 0V. Laskenta suoritettiin käyttämällä teoreettisesti mielivaltaisesti annettuja jännitteitä ja kulmia eli asetelut on:

$$U_{v1} = 100V \leq 0^\circ \quad U_{v2} = 100V \leq -120^\circ \quad U_{v3} = 0V \leq 120^\circ$$

Tästä laskemalla kaavalla numero 19 saatiin UT kokonaisjännite.

$$U_{v1} \leq 0^\circ + U_{v2} \leq -120^\circ + U_{v3} \leq 120^\circ = UT \leq 0^\circ \quad (19)$$

$$100V \leq 0^\circ + 100V \leq -120^\circ + 0V \leq 120^\circ = 75V \leq -60^\circ$$

$$UT = 100 V \leq -60^\circ$$

## Liite 1. Simuloinnit

14(21)

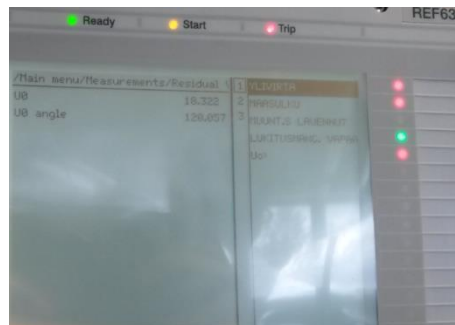
Vaiheiden yhteenlasketuksi summaksi saimme  $100V \leq -60^\circ$ , joka ei vielä ole maasulkujännite  $U_0$ .  $U_0$ -pisteen todellinen jännite ratkaistaan kaavalla 20.

$$(100V \leq -60^\circ) / \sqrt{3} = 57,773V \leq -60^\circ$$

$$U_0 = 57.73 V \leq -60$$

Joten  $U_0$ -pisteen jännitteen arvo on  $57,73V \leq -60^\circ$

Symmetrisessä verkossa vaihejännitteiden epäsymmetria aiheuttaa maasulkujännitteen kasvamisen, joka on seurausta maasulkuvirran kasvamisesta. Molemmat aiheuttavat maasulkuvirta- ja jännitehälytyksen sekä  $U_0 >$ portaan laukeamisen, kuten seuraava kuva 55 osoittaa.



Kuva 55. Hälytysten osoitus REF630 mimiikalla.

Seuraavaksi simulointiin kuinka vaihekulma vaikuttaa  $U_0$ -pisteen jännitteeseen, koska kuormitukset voivat muuttaa vaihekulmaa. Se riippuu myös siitä onko kyseessä induktiivista vai kapasitiivista kuormaa. Sammutuslaitteisto voi myös muuttaa vaihe-ero kulmaa. Vaihe-ero kulma vaikuttaa siihen siirtykö induktiivista ja kapasitiivista loistehoa siirtoverkossa. Tässä simuloinnissa muutimme kolmannen vaiheen kulmaa ja muut vaiheet aseteltiin 100 V normaalein vaihekulmaeroihin. Asetteluarvot olivat seuraavat:

Liite 1. Simuloinnit

15(21)

$$U_{v1}=100V\leq 0^\circ$$

$$U_{v2}=100V\leq -120^\circ$$

$$U_{v3}=100V\leq 160^\circ$$

Tästä laskemalla kaavalla numero 19 saatiin UT kokonaisjännite.

$$U_{v1} \leq 0^\circ + U_{v2} \leq -120^\circ + U_{v3} \leq 120^\circ = UT \leq 0^\circ \quad (19)$$

$$100V \leq 0^\circ + 100V \leq -120^\circ + 100V \leq 160^\circ = 68,4V \leq -130^\circ$$

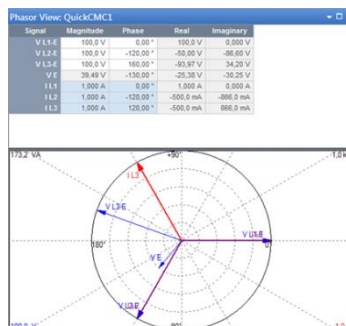
$$UT=68,4 V\leq -130^\circ$$

Vaiheiden yhteenlasketuksi summaksi saimme  $68,4V \leq -60^\circ$ , joka ei vielä ole maasulkujännite  $U_0$ .  $U_0$ - pisteen todellinen jännite ratkaistaan kaavan 20 avulla.

$$(68,4V \leq -60^\circ)/\sqrt{3} = 39,49V \leq -130^\circ$$

$$U_0=39,49 V \leq -130^\circ$$

Joten  $U_0$ -pisteen jännitteen arvo on  $39,49 V \leq -130^\circ$ . Seuraavassa kuvassa 56. näkyy jännite- ja virtavektorit muutoksineen ja V E eli  $U_0$ -pisteen jännite.



Kuva 56. Jännite- ja virtavektorit kulmamutoksen seurauksena.

Edellisen simuloinnin seurauksena voidaan päätellä, mikäli vaihejännitteen kulma muuttuu ja että se vaikuttaa maasulkujännitteen suuruuteen ja suuntaan.

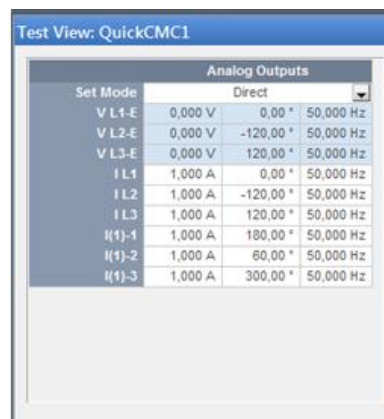
## Liite 1. Simuloinnit

16(21)

Usein jännitteen vaiheen kulma pysyy samana ja kuormitus todellisuudessa muuttaa virran vaihe-ero kulmaa, joka myös vaikuttaa maasulkujännitteen arvoon.

### Differentiaalireleen vikasimulointi

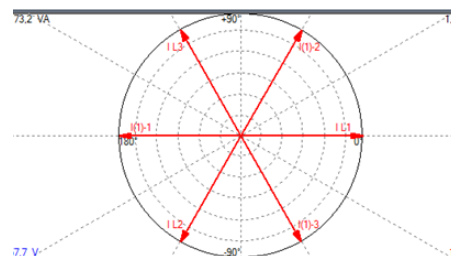
Seuraavaksi simuloimme vian Omicronin avulla differentiaalireleelle REF615. Omicronin avulla syötettiin vaihevirratt kahdella. Näin saatiin muodostettua ero-  
virrat ja jotka aiheuttavat differentiaalisuojan laukeamisen. Kyseisessä simu-  
loinnissa käytettiin vain virta-arvoja, kuten seuraavassa kuvassa 57 Lisäksi piti  
huomioida simuloinnissa se, kun syötetään kahdella suunnalta virtaa, pitää toi-  
sen virtakanavan virrat asettaa vastakkaiseksi.



Set Mode	Value	Phase	Frequency
V L1-E	0,000 V	0,00 °	50,000 Hz
V L2-E	0,000 V	-120,00 °	50,000 Hz
V L3-E	0,000 V	120,00 °	50,000 Hz
I L1	1,000 A	0,00 °	50,000 Hz
I L2	1,000 A	-120,00 °	50,000 Hz
I L3	1,000 A	120,00 °	50,000 Hz
I(1)-1	1,000 A	180,00 °	50,000 Hz
I(1)-2	1,000 A	60,00 °	50,000 Hz
I(1)-3	1,000 A	300,00 °	50,000 Hz

Kuva 57. Virta-arvot kulmineen.

Ja virtavektorit näkyvät vastakkaisena Omicronin Quick CMC Test näkymässä kuva 58.



Kuva 58. Virtavektorit.

Kuvassa 58 virrat ovat symmetriset molemmin puolin differentiaalirelettä. Silloin kun virrat ovat symmetriset molemmin puolin differentiaalirelettä, se ei aiheuta hälytystä tai muitakaan toimintoja demolaitteistossa.

Liite 1. Simuloinnit

18(21)

Seuraavassa simuloinnissa pyrittiin erovirta-arvoilla saamaan differentiaalirele toimimaan. Aseteltiin arvot, jotka olivat toisella kanavalla:

$$I_{L1}=1 \text{ A} \angle 0^\circ$$

$$I_{L2}=1 \text{ A} \angle -120^\circ$$

$$I_{L3}=1 \text{ A} \angle 120^\circ$$

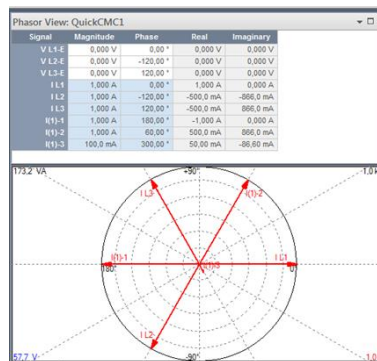
ja toisella kanavalla:

$$I_{L(1)-1}= 1 \text{ A} \angle 180^\circ$$

$$I_{L(1)-2}=1 \text{ A} \angle 60^\circ$$

$$I_{L(1)-3}=0,1 \text{ A} \angle 300^\circ$$

Seuraavassa kuvassa 59 näemme virta-asettelut ja niiden vektorit.



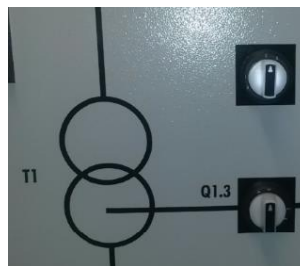
Kuva 59. Virtavektorit suuntineen differentiaalireleen simuloinnissa.

Yllä olevasta kuvasta 59 voimme havaita kuinka  $I_{L(1)-3}$  arvo on 100 mA ja kuinka lyhyt sen vektori on. Tästä syystä differentiaalireleen läpi menevien virtojen summa poikkeaa toisistaan ja synnyttää erovirran. Rele havahtuu nopeasti erovirtaan ja antaa käskyn katkaisijalle erottaa muuntaja verkosta irti. Kuvassa 60 on katkaisija, joka erottaa muuntajan nopeasti verkosta.



Kuva 60. Muuntajan verkosta erottava katkaisija.

Toinen tapa differentiaalisuojan simuloinnissa on testata kierros- tai käämisulun simuloinnilla, johon differentiaalisuojan on reagoitava nopeasti. Demolaitteistossa mahdollisuus tehdä kierrossulkusimulointi (kuva 61), johon differentiaalirele reagoi nopeasti. Kierrossulku synnyttää erovirran, johon edellä mainittu rele reagoi.



Kuva 61. Ylempi katkaisija kierrossulunsimulointi.

### Käämisulun simulointi vastuksella

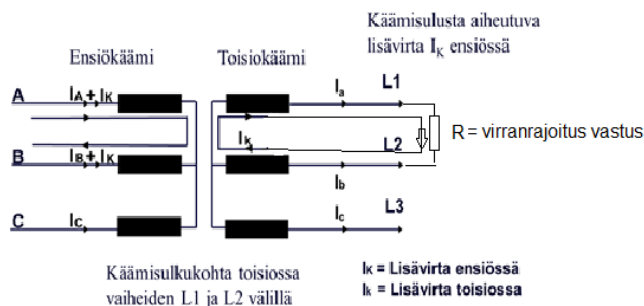
Demolaitteistossa on mahdollisuus tehdä käämisimulointi (kuva 62.). Käämisimuloinnilla testataan kyseisen laitteiston differentiaalirelettä. Differentiaalirele voidaan testata tällä tavoin aika ajoin ja tehdä määräaikainen koestus käyttöpaikallaan, kuten releiden testauksessa edellytetään ja on vaatimuksena. Käämisulun simuloinnissa rajoitetaan oikosulkuvirtaa  $I_K$  vastuksella  $R$ , joka on ylä

puolella olevassa kuvassa. Vastuksen avulla oikosulkuvirta  $I_K$  saadaan pidettyä sopivana, ettei muuntaja vahingoitu simuloinnissa, koska ilman tätä muuntaja



saattaa tuhoutua, jopa palaa ja aiheuttaa suuremmat vahingot. Mikäli virran rajoitus vastus on  $100\Omega$  luokkaa, virta on suuri, jos vastusta isonnetaan  $1000\Omega$ , niin virta on noin kymmenen kertaa pienempi. Demolaitteistossa käämisimulointi on osittainen, joka myös rajoittaa oikosulkuvirtaa  $I_k$ . Osittainen käämisimulointi tarkoittaa yhtä kahden käämin väliä toisiossa, johon vastus  $R$  on sijoitettu. Differentiaalirele mittaa erovirtaa, joka aiheuttaa sen toiminnan eli laukaisee releen ja erottaa muuntajan pois verkosta.

Tehtiin käämisimulointi vastuksen avulla demolaitteistossa. Simulointi aloitettiin kytkemällä säädettävä vastus kahden käämin välille, josta seuraavassa kuvassa piirikaavio. Kuvan 63 piirikaaviosta selviää kuinka vastus on liitetty muuntajan kahden käämin välille.



Kuva 62. Käämisulun toteutus

Seuraavassa kuvassa 63 on Trafotekin muuntaja, joka on kytkentäryhmältään YNyn0, jonka käämien välille kytkettiin ns. vikavastus.



Kuva 63. Trafotek Oy:n valmistama kolmivaihemuuntaja.

Kuvassa 64 näkyy kuinka vastus kytkettiin vastus kahden käämin välille.



Kuva 64. Vikavastuksen kytkentä muuntajaan

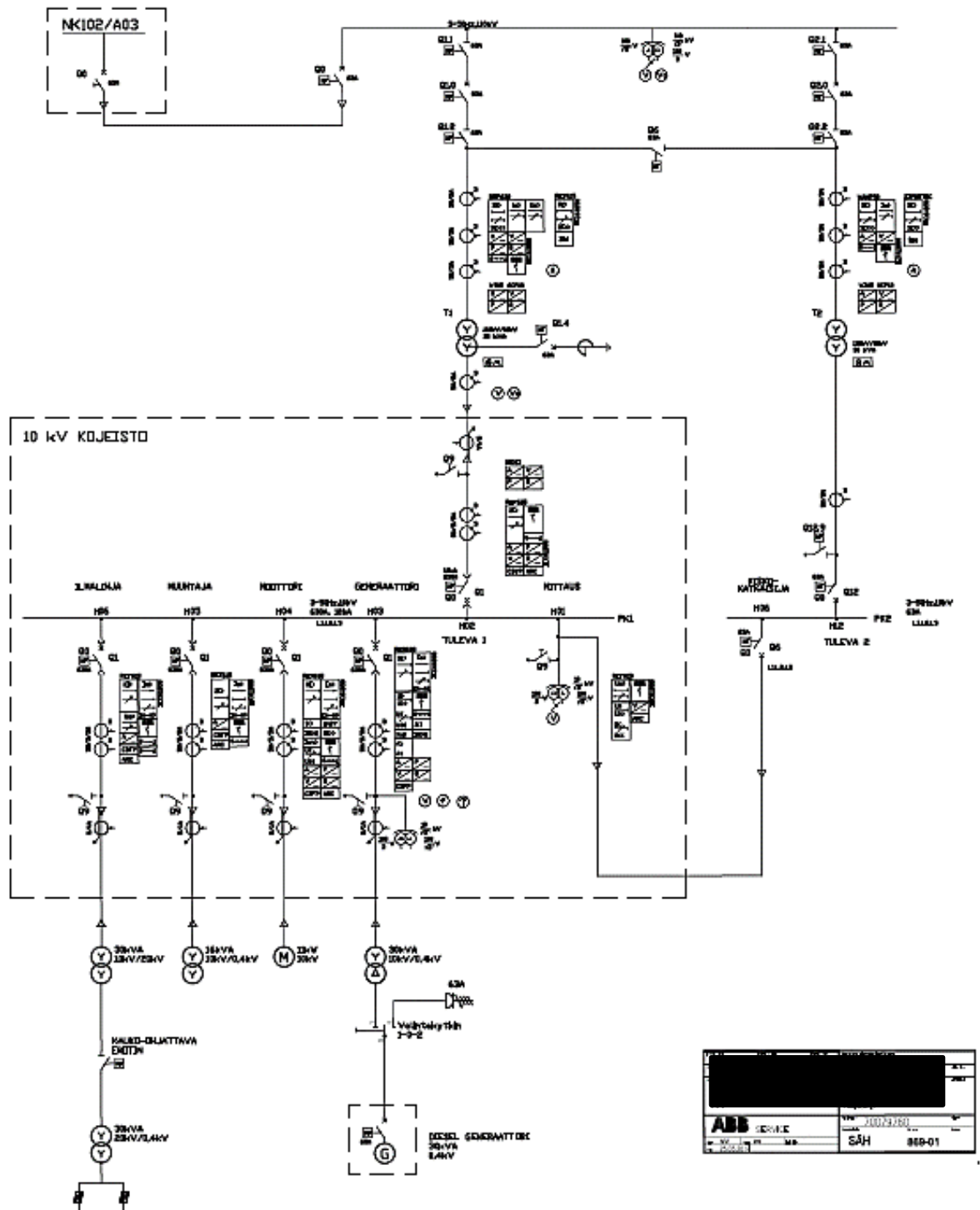
Muuntajan välille kytkettiin seuraavanlainen vastus, joka näkyy seuraavassa kuvassa 65.



Kuva 65. Säädettävä vastus

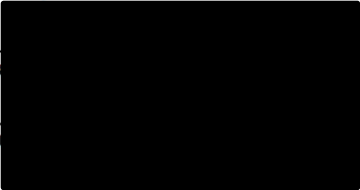
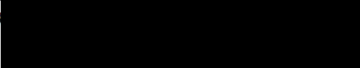
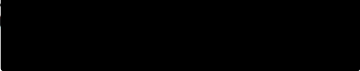
Simulointi suoritettiin siten, että demolaitteistossa oli kaikki jännitteet päällä apujännite ja suojaustoimintoinen. Kolmivaihemuuntajalle tuli testauksessa 400 V jännite. Vastuksen avulla matkittiin vikavastuksen resistanssia, kuten edellä teoriassa on kerrottu. Säädettävän vastuksen resistanssia pienentämällä saatiin käämisulun vikavirtaa kasvatettua asteittain, jolloin saatiin differentiaalirele reagoimaan virtaan. Virtaa kasvatettiin aina 10, 61 ampeeriin saakka, jonka kohdalla differentiaalirele laukesi. Näin saimme mallinnettua kuinka differentiaalirele toimii ja erottaa muuntajan verkosta. Myös saimme vahvistuksen sille, että differentiaalirele toimii muuntajan sisäisten vikojen suojauksena.

Liite 2. Pääkaavio



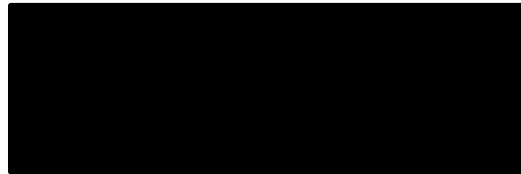
[REDACTED]	
<b>ABB</b> SERVICE	YVA 100/3/50
SAH	880-01



<b>Jakelu toimenpiteitä varten</b> Opettajat Opiskelijat Laboratoriainsinööri	
<b>Tiedot</b> Käytön johtaja Osaamialajohtaja	<b>Versio</b> 1.0
	<b>Suunnittelija</b> 
	<b>Hyväksynyt</b> 
	<b>Kytetty</b> 

Nimi ja laji

Kytentäalue



Keskeytysaika

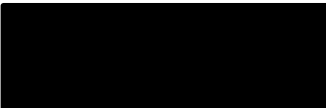
Vahvistus

Yleistä

110 kV/10 kV:n kojeistojen kytkeminen jännitteiseksi sähkövoimatekniikan laboratoriossa.

110 kV/10 kV:n kojeistojen kytkeminen jännitteettömäksi sähkövoimatekniikan laboratoriossa.

Puhelinnumerot



Työt

Esiivaatimukset

110 kV ja 10 kV kojeistot on ohjattu jännitteettömiksi.

**110 kV/10 kV:n kojeistojen kytkeminen jännitteisiksi sähkövoimatekniikan laboratoriossa.**

Nro	Työn suorittaja	Toimenpiteet	Osoite	Lisätietoja
1		Laukaise hätäseis-painike	OT1	<b>110 kV syöttö tulee jännitteettömäksi!</b>
2		Tarkista sähkökeskuksen NK102/A03 katkaisijan asento, on oltava kiinni	Delta 1143	
3		Tarkista katkaisija Q1.0 asento, on oltava auki	OT1	Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT01 RFF630-releeltä
4		Tarkista erottimien Q1.1 ja Q1.2 asennot, on oltava auki	OT1	Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT01 RFF630-releeltä
5		Tarkista katkaisija Q2.0 asento, on oltava auki	OT1	Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT02 TUT63-releeltä
6		Tarkista erottimien Q2.1 ja Q2.2 asennot, on oltava auki	OT1	Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT02 TUT63-releeltä
7		Tarkista kytkimen Q6.0 asento, on oltava auki	OT1	Kysy ohjaajalta ohjeistus, jos kiinni. Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT01 RFF630-releeltä
8		Tarkista kytkimen Q1.3 asento, on oltava auki	OT1	Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT01 RFF630-releeltä
9		Tarkista kytkimen H2.9 asento, on oltava auki	OT1	Kysy ohjaajalta ohjeistus, jos kiinni.
10		Tarkista kytkimen SQAB asento, on oltava auki	OT1	Vaihtoehtoinen ohjauspaikka H02 RFF615-releeltä
11		Vapauta hätäseis-painike	OT1	
12		Paina Kiinniohjaus-painiketta	OT1	<b>110 kV syöttö tulee jännitteiseksi!</b>
13		Ohjaa erottimet Q1.1 ja Q1.2 kiinni	OT1	Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT01 RFF630-releeltä
14		Ohjaa katkaisija Q1.0 kiinni	OT1	<b>10 kV kojeiston kojeistot tule vielä jännitteiseksi!</b> Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT01 RFF630-releeltä
15		Tarkista H01-mittauskentän kiskostomaadoittimen asento, on oltava auki	H01	Kysy ohjaajalta ohjeistus, jos kiinni
16		Tarkista lähtökenttien H02-H06 maadoituserottimien asennot, käytöön otettavien lähtökenttien maadoitukset on oltava auki	H02-H06	Kysy ohjaajalta ohjeistus, jos kiinni

Nro	Työn suorittaja	Toimenpiteet	Osoite	Lisätietoja
17		Tarkista kaikkien lähtökenttien vaunujen asento, käyttöönotettavien lähtökenttien vaunut on oltava suljettuina	H01-H06	Kysy ohjaajalta ohjeistus, jos auki
18		Ohjaa kytkin SQAB kiinni	OT1	<b>10 kV kojeiston kiskosto tulee jännitteiseksi!!</b> Vaihtoehtoinen ohjauspaikka H02 REF615-releeltä
19		Tarkista pää- ja vaihejännitteet	H01	







**110 kV/10 kV:n kojeistojen kytkeminen jännitteettömäksi sähkövoimatekniikan laboratoriossa.**

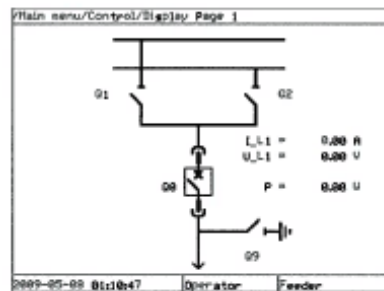
Nro	Työn suorittaja	Toimenpiteet	Osoite	Lisätietoja
1		Kytentäohjelman alkutilanteessa H2-H6 lähtökentät on tehty ko. lähtöjen kytentäohjelmien mukaisesti jännitteettömiksi	H02-H06	<b>10 kV lähtöjen H2-H6 on oltava jännitteettömät!</b>
2		Ohjaa kytkin SQAB auki	OT1	<b>10 kV kojeisto tulee jännitteettömäksi!</b> Vaihtoehtoinen ohjauspaikka H02 REF615-releeltä
3		Ohjaa katkaisija Q1.0 auki	OT1	Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT01 REF630-releeltä
4		Ohjaa erottimet Q1.2 ja Q1.1 auki	OT1	Vaihtoehtoinen ohjauspaikka OT01 REF630-releeltä
5		Laukaise hätäseis-painike	OT1	<b>110 kV syöttö tulee jännitteettömäksi!</b>
6		Ohjaa tarvittaessa ohjaa sähkökeskuksen NK102/A03 katkaisijan asento auki	Delta 1143	



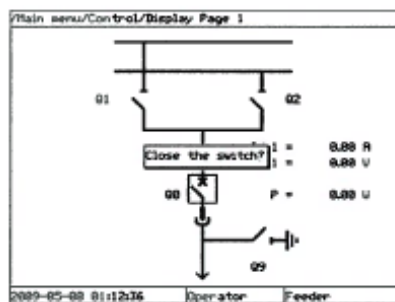


### Katkaisijan ohjaus 630

1. Valitaan kauko- /paikallispainikkeella  paikallisohtausta, "L" merkkivalo palaa. Painike vaihtaa tilaansa painamalla sitä yhtäjaksoisesti noin 2-3 sekuntia.
2. Ennen ohjausta täytyy valita näkymään releen mimiikkanäkymä eli näkymä missä nähdään erottimien/vaunun ja katkaisijan asennot.
3. Nuolella ylös  tai  alas voidaan valita ohjattava laite (esim. katkaisija / erotin). Valittu laite indikoidaan neliöllä joka liikkuu laitteesta toiseen kun njuolta ylös tai alas painaa.
4. Kiinniohjauskäskey laitteelle annetaan Sulje-painikkeella  ja aukiohjauskäskey Avaa-painikkeella . Ohjauskäskyn jälkeen rele kysyy varmistuksen Close the Switch? kiinniohjatessa ja Open the Switch? aukiohjatessa. Ohjauskomento vahvistetaan painamalla . Tämän jälkeen auki- tai kiinniohjauskäskey lähtee katkaisijalle ja katkaisija avautuu tai sulkeutuu valitun ohjauksen mukaan.



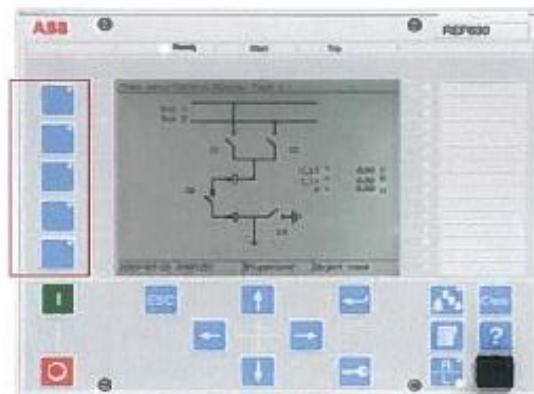
Katkaisija Q0 valittuna.



Varmistus, haluatko sulkea, hyväksytään enter-painikkeella.

**REF630 pikapainikkeet**

- Pikapainike 1: Ei käytössä
- Pikapainike 2: Ei käytössä
- Pikapainike 3: Ei käytössä
- Pikapainike 4: Ei käytössä
- Pikapainike 5: Kuittaa LED:t

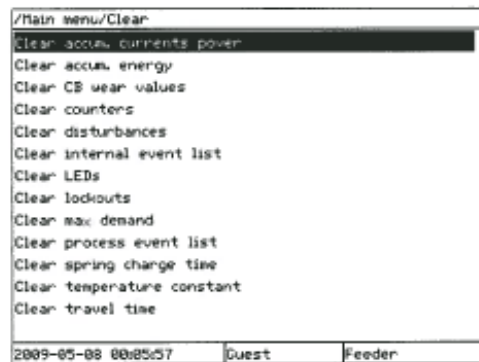


Ensimmäinen painikkeen painallus avaa painikkeiden tekstit. Toinen painallus tekee toiminnon, esim. painike 5, kuittaa LED:t



### Indikointien ja hälytysledien kuittaaminen

Kuittaukset tapahtuvat Clear-painikkeella . Kun painiketta painetaan releen näyttöön ilmestyy Clear-valikko, missä näkyvät eri vaihtoehdot mitä voidaan kuitata.

Clear näkymän valikot voivat vaihdella eri releillä. Valikko muodostuu sen mukaan mitä toimintoja releeseen on konfiguroitu.



Esim. **Clear LEDs** valikossa voidaan kuitata LED:t.

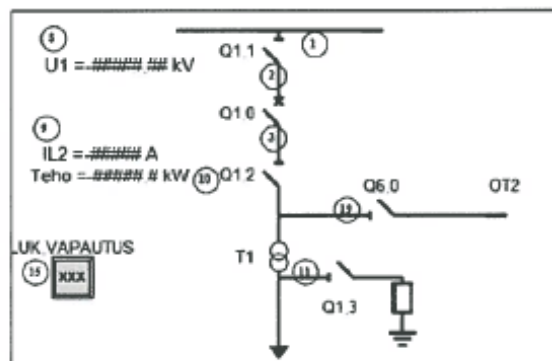
Kuittaus tapahtuu valitsemalla valikossa Clear LEDs esim. All Indication LEDs kohta ja painamalla  jolloin kuittaus hyväksytään enter  painikkeella.

### REF 630 näytön symbolit

Näytössä on normaalien laitteiden lisäksi yksi painonappi, lukitus magneetin vapautus. Näitä valintapainikkeita ohjataan samalla tavoin kuin katkaisijaa kiinn/auki.

Eli nuolella ylös **1** tai alas **1** valitaan painonappi mitä halutaan ohjata. Painikkeella **1** ohjataan valintapainike päälle, esim tässä tapauksessa vapautetaan lukitusmagneetti.

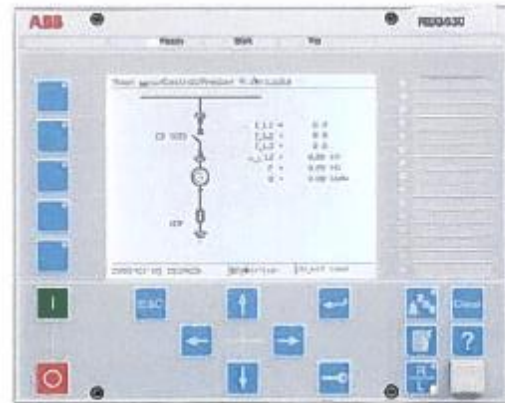
#### Display Page : Display Page 1



Symbol Id	Name	Input Signal	Tab Order
1	Q1.1	Q1.1;GNRLCSWI:4.POSITION	1
2	Q1.0	C8;GNRLCSWI:1.POSITION	2
3	Q1.2	Q1.2;GNRLCSWI:3.POSITION	3
8	U1	VPHMMXU:1.UL1	
9	IL2	CMXU:1.IL2	
10	Teho	PWRMMXU:1.P_DB	
11	Q1.3	Q1.3;GNRLCSWI:5.POSITION	5
15	LUK.VAPAUTUS	VSGGIO:1.POSITION	4
19	Q6.0	Q6.0;GNRLCSWI:6.POSITION	

**REG630 pikapainikkeet**

- Pikapainike 1: Ei käytössä
- Pikapainike 2: Ei käytössä
- Pikapainike 3: Häiriötallenteen liipaisu
- Pikapainike 4: Kuittaa LED:t
- Pikapainike 5: Tahdistus estetty



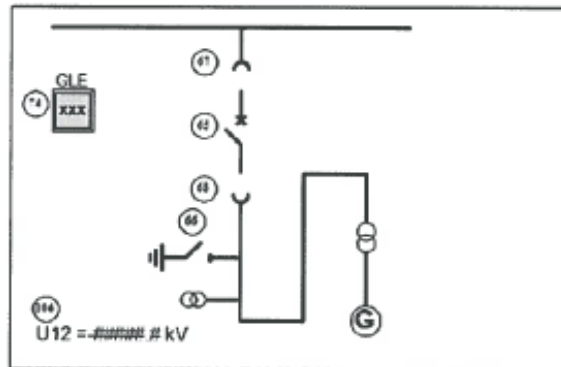
### REG 630 näytön symbolit

REG630 releellä on näytössä kolme sivua. Ensimmäisellä sivulle (mimiikka) näkyy laitteet ja niiden tilat. Toiselle sivulle on koottu mittauksia. Kolmas sivu näyttää lämpötilamittauksia.

Näytön mimiikkasivulla on yksi painonappi. Sitä käytetään goose laukaisujen estämiseen. Nuolella ylös **1** tai alas **1** valitaan painonappi aktiiviseksi.

Painikkeella **1** ohjataan valintapainike päälle, esim tässä tapauksessa laitetaan goose laukaisujen esto päälle.

#### Display Page : Display Page 1










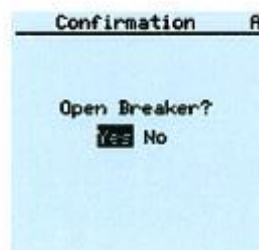
Symbol Id	Name	Input Signal	Tab Order
65		CB;GNRLCSWI:1.POSITION	1
66		ES;DAXSWI:1.POSITION	
67		CB;DAXCBR:1.TRUCK_POS	2
68		CB;DAXCBR:1.TRUCK_POS	3
74	GLE	GLE;VSGGIO:1.POSITION	4
106	U12	VPPMMXU:1.U12	

## Katkaisijan ohjaus 615

Ohjauspainikkeilla Sulje ja Avaa annetaan ohjauskäskyt katkaisijalle.



1. Valitaan kauko- /paikallispainikkeella  paikallisohjaustila, "L" merkkivalo palaa. Painike vaihtaa tilaansa painamalla sitä yhtäjaksoisesti noin 2-3 sekuntia.
2. Valikkopainikkeella  voidaan releen näytön näkymää vaihtaa. Ennen ohjausta on hyvä valita näkymään releen mimiikkanäkymä eli näkymä missä nähdään erottimien ja katkaisijan asennot.
3. Nuolella ylös  tai  alas voidaan valita ohjattava laite (esim. katkaisija / erotin). Valittu laite indikoidaan neliöllä joka liikkuu laitteesta toiseen kun njuolta ylös tai alas painaa.
4. Kiinniohjauskäsky katkaisijalle annetaan Sulje-painikkeella  ja aukiohjauskäsky Avaa-painikkeella . Ohjauskäskyn jälkeen rele kysyy varmistuksen Close Breaker? kiinniohjatessa ja Open Breaker? aukiohjatessa. Ohjauskomento vahvistetaan valitsemalla Yes ja painamalla . Tämän jälkeen auki- tai kiinniohjauskäsky lähtee katkaisijalle ja katkaisija avautuu tai sulkeutuu valitun ohjauksen mukaan.




## Suojausasetteluiden muutoksien tekeminen 615


Ohessa yleisimpien suojien IEC symbolit:

IEC symboli:

3I>(1)	Ylivirtasuoja, alin porras	(PHLPTOC1)
3I>>(1)	Ylivirtasuoja, ylempi porras	(PHHPTOC1)
Io>→(1)	Suunnattu maasulkus, alin porras	(DEFLPDEF1)
Uo>	Nollajännitesuoja	(ROVPTOV 1)

Valikkopainikkeella  päästään releen näytön kolmea päänäkymää selaamaan. Päänäkymät ovat mimiikka, mittaus ja päävalikko. Asetteluita päästään tekemään päävalikosta missä näkyvät eri alavalikot, esim. Settings



Kun halutaan muuttaa aseteluita/ottaa suojaus pois käytöstä mennä seuraavaa polkua päävalikosta:

Settings→Settings→ Edit Group \_1, painetaan Enter-painiketta 



Edit Group-kohdassa valitaan asetteluryhmä mitä halutaan asetella, ryhmä 1 on käytössä oleva asetteluryhmä.

Virtasuojat, vaihevirrat ja nollavirta, esim. 3I>→(1), 3I>>→, Io>→(1) löytyvät **Current Protection** valikosta ja jännitesuojat esim. Uo> löytyvät **Voltage Protection** valikosta.

Suojan saa pois käytöstä asettelemalla Operation = off. Asettelua pääsee muuttamaan painamalla , nuolella ylös/alas voidaan valita on/off ja hyväksytään  painikkeella.



JATKUU → →→



Suojan havahtumisarvoa muutetaan kohdassa Start Value. Kun kursori on Start Value kohdassa painetaan nuoli oikealle, jolloin kursori menee asettelyryhmänäkymään. Arvoa pääsee muuttamaan painamalla enter jolloin kursori hyppää itse lukuun. Nuolella ylös/alas voidaan lukua muuttaa. Asettelu hyväksytään painikkeella.



Asettelumuutoksen jälkeen valikoissa pääsee takaisin päin painamalla nuolta vasemmalle. Kun ollaan tullut niin pitkälle takaisin, että ollaan tulossa pois asettelu (Setting) valikosta pitää asettelumuutokset vielä tallettaa hyväksymällä Yes painamalla alla olevassa näkymässä.



Tämän jälkeen asettelumuutos on valmis!

### **Indikointien ja hälytysledien kuittaaminen REF615**

Kuittaukset tapahtuvat Clear-painikkeella . Kun painiketta painetaan releen näyttöön ilmestyy Clear-valikko, missä näkyvät eri vaihtoehdot mitä voidaan kuitata.

**Indications and LEDs** kohdassa voidaan kuitata Start ja Trip LED:t sekä muut yleiset teksti-indikoinnit.

**Programmable LEDs** kohdassa voidaan kuitata releen paneelissa oikealla olevat ohjelmoitavat hälytys LED:t

Kuittaus tapahtuu valitsemalla esim. Programmable LEDs kohta ja painamalla  jolloin päästään nuolella ylös/alas valitsemaan Clear jonka jälkeen painetaan jälleen enter .

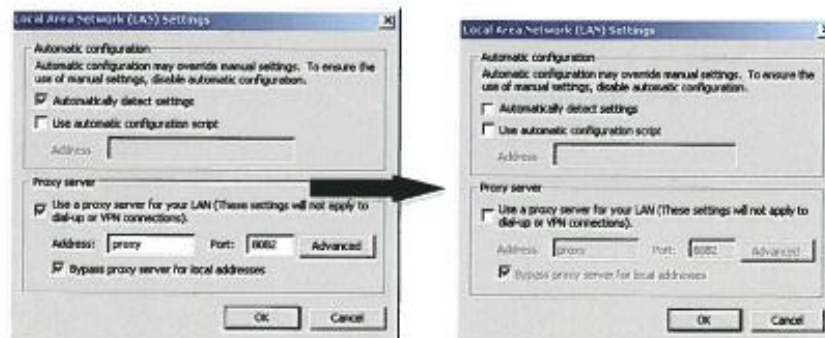
### Yhteyden luominen releen (615) etuportista

Tarkista releen IP osoite releen valikosta Configuration → Communication → Ethernet → Front Port → IP Address. Rele antaa tietokoneelle IP osoitteen, kun yhdistät LAN kaapelin releen etuporttiin.

Jos haluat katella asetteluita, mittauksia tms. web selaimella kannattaa tarkistaa onko releen web selain asetettu aktiiviseksi valikosta Configuration → HMI → WEB HMI mode. Jos se on disabled niin vaihda active, tallenna ja resetoi rele.

Avaa internet explorer tietokoneessa ja kirjoita releen IP osoite selaimen osoitekenttään.

Jos selaimessa on proxy asetuksia päällä niin ne täytyy poistaa. Poista myös valinta "Automatically detect settings" mikäli se on päällä.



Releen web selaimen avautuessa täytyy antaa käyttäjätunnus (ADMINISTRATOR) ja salasana (remote0004).



Tämän jälkeen releen web selain avautuu ja voit selata asetteluita, mittauksia, häilytyksiä yms.