

**Henri Latvala**

**Keskijännitemaakaapeliverkon vianpaikannus**

**Opinnäytetyö**

**CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU**

**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

**Toukokuu 2015**

## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Ylivieskan yksikkö	<b>Aika</b> Toukokuu 2015	<b>Tekijä/tekijät</b> Henri Latvala
<b>Koulutusohjelma</b> Sähkötekniikka		
<b>Työn nimi</b> Keskijännitemaakaapeliverkon vianpaikannus.		
<b>Työn ohjaaja</b> Jari Halme		<b>Sivumäärä</b> 32
<b>Työelämäohjaaja</b> Veli-Pekka Kinnunen		
<p>Opinnäytetyöni aiheena oli tehdä kartoitus markkinoilla olevista keskijännitemaakaapeliverkon vianpaikannuslaitteista, valita paras laitteisto ja asentaa laitteisto paikalleen</p> <p>Työ oli hyvin ajankohtainen, koska vuonna 2013 voimaan tulleessa uudessa sähkömarkkina-laissa sanotaan, että jakeluverkkoyhtiöiden on parannettava toimitusvarmuuttaan portaittaisesti. Luonnonilmiöistä johtuva sähkökatko ei saa kestää kaava-alueella yli 6 tuntia. Muualla kuin kaava-alueella sähkökatkon kesto ei saa ylittää 36 tuntia. Ensimmäinen parannusvaatimus tulisi voimaan vuonna 2019, jolloin säävarman verkon piiriin tulee kuulua 50 % asiakkaista. Toinen 2023 jolloin prosenttiosuus olisi 75 %, sekä viimeinen etappi vuonna 2028, jolloin kaikkien asiakkaiden tulee kuulua säävarman verkon piiriin. Prosenttilukuihin ei kuulu vapaa-ajan asunnot.</p> <p>Nämä parannukset toteutetaan käytännössä tekemällä ilmajohtoverkosta maakaapeliverkkoa, ja siksi tarvitaan parempaa vianilmaisutekniikkaa nimenomaan maakaapeliverkoston.</p>		

### Asiasanat

maakaapeliverkko, maasulku, oikosulku, Sigma D+, vianilmaisu,

**ABSTRACT**

<b>Unit</b> Ylivieska Unit	<b>Date</b> May 2015	<b>Author/s</b> Henri Latvala
<b>Degree programme</b> Degree programme in electrical engineering		
<b>Name of thesis</b> Fault detection of medium voltage power grid		
<b>Instructor</b> Jari Halme		<b>Pages</b> 32
<b>Supervisor</b> Veli-Pekka Kinnunen		
<p>This thesis was made for Kenet Oy in Kokkola. The aim of this thesis was to choose a good and working fault detection system and study how to install it correctly.</p> <p>The subject of the thesis was a really topical issue because in 2013 the new electricity market act stated that the distribution companies would have to improve their security of supply gradually. According to this new act a power failure due to natural phenomena shouldn't last over 6 hours in zoned areas and outside zoned areas the length of power failure shouldn't exceed 36 hours. The first improvement would come into force in 2019 when the weather-proof power grid would cover 50% of its customers. In 2023 the weather-proof grid would cover 75% and in the final stage in 2028 the weather-proof grid would be available to all customers. Holiday homes are not included in these percentages.</p> <p>These improvements will be carried out by replacing over head power lines by earth cables and therefore better fault detection systems will be needed.</p>		

<p><b>Key words</b> earth fault, fault detection system, short circuit, Sigma D+</p>
--

# Sisältö

<b>1. JOHDANTO</b> .....	1
<b>1.1 Tehtävä ja tavoitteet</b> .....	1
<b>1.2 Työstä saatava hyöty</b> .....	1
<b>2 KESKIJÄNNITEVERKON TYYPILLISET VIAT</b> .....	2
<b>2.1 Oikosulku</b> .....	2
<b>2.1.1 Jännitekuopat</b> .....	2
<b>2.1.2 Oikosulkuvirran rajoittaminen</b> .....	3
<b>2.2 Maasulku</b> .....	3
<b>2.3 Vikavirtojen laskeminen</b> .....	4
<b>2.3.1 Oikosulkuvirran laskeminen</b> .....	4
<b>2.3.2 Theveninin menetelmä</b> .....	4
<b>2.4 Maasulkuvirran laskeminen maasta erotetussa verkossa</b> .....	5
<b>2.5 Maasulkuvirran laskeminen kompensoidussa verkossa</b> .....	9
<b>2.6 Maasulkuvirran laskeminen suuren resistanssin kautta maadoitetussa verkossa</b> .....	13
<b>3. VIKOJEN PAIKALLISTAMINEN JA ENNALTAEHKÄISY</b> .....	16
<b>3.1 Kaapelin paikantaminen</b> .....	16
<b>3.2 Esipaikannusmenetelmät</b> .....	17
<b>3.2.2 Mittasillat</b> .....	17
<b>3.2.3 Kaapelitutka</b> .....	18
<b>3.2.4 Impulssivirtamenetelmä</b> .....	19
<b>3.2.5 Vikapaikan polttaminen</b> .....	20
<b>3.3 Kaapelivikojen paikallistaminen</b> .....	21
<b>3.3.1 Yleistä</b> .....	21
<b>3.3.2 Syöksyjännitemenetelmä</b> .....	21
<b>3.3.3 Kerratun johdon menetelmä</b> .....	22
<b>3.3.4 Vaippavian paikannus</b> .....	22
<b>4 VALITTU LAITTEISTO</b> .....	23
<b>4.1 Yleistä</b> .....	23
<b>4.2 Sigma D+</b> .....	23
<b>4.3 Vian osoitus eri vikatilanteissa</b> .....	25
<b>5 LAITTEISTON ASENNUS</b> .....	27
<b>6 YHTEENVETO</b> .....	30
<b>LÄHTEET</b> .....	31

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tehtävä ja tavoitteet

Toteutin opinnäytetyöni Kokkolan sähkösiirtoyhtiö Kenet OY:lle. Tehtävänäni oli ottaa selvää eri valmistajien maakaapeliverkon vianilmaisulaitteistoista, asentaa valittu laitteisto paikalleen sekä tutustua tulevaisuuden varalle maasulkuvirtojen hajautettuun kompensointiin. Tavoitteena oli aikaansaada toimiva vianpaikannuslaitteisto Kokkolan keskustassa sijaitsevan Mannerheimin aukion läheisyyteen. Laitteistolle valittu paikka oli jo ennalta tiedossa, koska kyseisellä johtolähdöllä oli jo aikaisemmin ollut pieniä vikoja. Tulevaisuudessa kyseiselle johtolähdölle tullaan sijoittamaan useampia vianpaikannuslaitteistoja. Työssä tarkastellaan aluksi keskijänniteverkon tyypillisimpiä vikoja sekä vikavirtojen laskemista eri verkkotyypeittäin. Tämän jälkeen esitellään valittu vianpaikannuslaitteisto.

## 1.2 Työstä saatava hyöty

Paremmen vianilmaisutekniikan myötä kuluttajien sähkökatkon kesto tulee pienentymään sekä vikapaikan löytäminen helpottumaan huomattavasti. Nykytilanteessa vian ilmaantuessa ei tiedetä, missä suunnassa vika sijaitsee vaan joudutaan kokeilemalla erottamaan tietty osa verkosta. Tämän jälkeen sähkö kytketään takaisin ja, jos se pysyy päällä, on vioittunut kaapeli löytynyt. Vianilmaisulaitteiston myötä vian tyyppi sekä sen suunta saadaan heti selville. Verkko ei myöskään rasitu niin paljon, kun ei tarvitse kokeilla, ja kytkeä sähköä vikaa vasten päälle.

## **2 KESKIJÄNNITEVERKON TYYPILLISET VIAT**

### **2.1 Oikosulku**

Oikosulku tapahtuu, kun sähköverkon virtapiiri sulkeutuu suoraan eristysvian tai ulkoisen kosketuksen takia tai valokaaren tai muun vikaimpedanssin kautta. Oikosulku voi tapahtua kahden tai kolmen vaihejohtimen välille, ja sille on ominaista kuormitusvirtaa suurempi virta. 3-vaiheinen oikosulku on aina kytkettävä mahdollisimman nopeasti pois, koska se on sähköverkkoa eniten rasittava vika. Jos eristysvika sattuu kahden tai useamman vaihejohtimen välillä, on oikosulku monivaiheinen. Hetkellisen oikosulun voi aiheuttaa myös eristämättömälle johdolle kaatunut puu tai tuulen tiputtama oksa. Oksat eivät yleensä aiheuta pitkäkestoista vikaa, koska ne palavat poikki ja pikajälleenkytkentä kytkee sähköt uudestaan päälle. (Sähköjakelutekniikka 2009; Sähkölaitostekniikka 1993.)

Vastukseton 3-vaiheinen oikosulku luo suurimman riskin verkon komponenttien vaurioitumiselle, koska se aiheuttaa suurimman vikavirran. Oikosulkuvirran suuruus on usein jopa 10...40-kertainen kuormitusvirtaan verrattuna. Nopean vianlaukaisuautomaatiikan ansiosta oikosulkuvirta ei juuri koskaan ehdi saavuttaa staattisen tilan arvoa. (Sähköverkot 1)

#### **2.1.1 Jännitekuopat**

Sen lisäksi, että oikosulut aiheuttavat turvallisuusriskin, verkostokomponenttien kuumenemisen ja siitä johtuvat laitevauriot, aiheuttaa se myös ns. jännitekuopan. Kolmivaiheinen vikaresistanssiton oikosulku aiheuttaa vikakohdassa verkon jännitteen putoamisen nolnaan. Jännitteen pudotus ei rajoitu vain vikapaikkaan, se putoaa myös muualla verkossa. Pahimpia ovat lähellä 110/20 kV sähköasemia tapahtuvat oikosulut, koska tällöin sähköaseman alueella kaikki sähkönkuluttajat kokevat syvän jännitekuopan. Jännitekuopan kesto-aika on viallisen lähdön oikosulkusuojauksen toiminta-aika. (Sähköjakelutekniikka 2009)

### **2.1.2 Oikosulkuvirran rajoittaminen**

Katkaisijat, jotka katkaisevat virran nollakohdassa, eivät pysty pienentämään oikosulkuvirran huippuarvoa. Oikosulun kestoa voidaan kuitenkin lyhentää nopealla relesuojauksella ja siten voidaan pienentää termistä rasitusta sekä valokaaren vaikutusaikaa. Alle 1000 V jännitteillä voidaan oikosulkuvirran huippuarvoa rajoittaa oikosulkuvirtaa rajoittavilla katkaisijoilla. Käytettävien komponenttien hinnat nousevat niiden oikosulkukestoisuuden kasvaessa. Jokaisella jännitetasolla on oma oikosulkuvirtataso, jota korkeammaksi komponenttien kestoisuutta ei kustannusmielessä ole järkevää kasvattaa. (ABB:n TTT-käsikirja 2000)

Oikosulkusuojana käytetään ylivirtareleitä, differentiaalireleitä sekä distanssireleitä. Ylivirtarelettä käytetään yleensä tapauksessa jossa pienikin vikavirta on suurempi kuin normaalitilanteessa suurin kuormitusvirta. Ylivirtarele on kuitenkin huono vaihtoehto silmukoituun verkkoon. Silmukoidussa verkossa voi vikavirtaa tulla eri suunnista ja ylivirtarele ei kykene havaitsemaan virran suuntaa. Silmukoituun verkkoon parempi ratkaisu olisi distanssirele joka havaitsee vian suunnan sekä etäisyyden. Differentiaalireleillä toteutettuun suojaukseen distanssireleen etu on myös se, että distanssirele kykenee toimimaan selektiivisesti ilman viestiyhteyksiä. (Sähköverkot 2 )

### **2.2 Maasulku**

Yksivaiheinen maasulku on yleisin käyttötaajuisia ylijännitteitä aiheuttava tapaus. Maasulku määritellään käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan osan väliseksi eristysviaksi. Silloin kun kyseessä on kahdessa eri paikassa samanaikaisesti tapahtuva eristysvika, kyseessä on kaksoismaasulku. Käyttömaadoitetussa verkossa maasulku on samanlainen kuin yksivaiheinen oikosulku ja sen vikavirran suuruus voidaan laskea, kun tunnetaan verkon impedanssit. Kompensoidussa tai maasta erotetussa verkossa ei verkon impedansseilla ole merkitystä vaan täytyy tuntea koko galvaanisesti yhteen kytketty verkko, jotta maasulkuvirrat ja nollajännitteet voidaan määrittää. (ABB:n TTT-käsikirja 2000)

Yksivaiheinen maasulku aiheuttaa kahden muun, kunnossa olevan vaiheen jännitteen nousemisen. Ylijännitteen suuruus riippuu vikapaikasta sekä siitä, kuinka verkon tähtipiste

on maadoitettu. Verkot luokitellaan maadoitustapojensa perusteella maasta erotettuihin, sammutettuihin sekä suoraan tai impedanssin kautta maadoitettuihin verkkoihin. Tavallisesti impedanssina toimii kuristin tai vastus. (Suurjännitetekniikka 2003)

## 2.3 Vikavirtojen laskeminen

### 2.3.1 Oikosulkuvirran laskeminen

Kun oikosulkuvirran suuruus halutaan laskea, täytyy ottaa selville vikapaikan jännite ja siitä näkyvä verkon impedanssi (Theveninin menetelmä). Kun vika syntyy, sen ensimmäisiin jaksoihin vaikuttaa jännitteen hetkellisarvo sekä pyörivien koneiden aluksi pieni impedanssi. Virta muuttuu kuitenkin nopeasti nollakohtansa suhteen symmetriseksi sekä alenee muutostilan kautta jatkuvan tilan arvoonsa. (Sähköjälkeluttekniikka 2009)

### 2.3.2 Theveninin menetelmä

Theveninin menetelmässä komponentit ja lähteet korvataan oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitettavalla ekvivalenttisella jännitelähteellä. Oikosulkuvirta lasketaan kaavalla:

$$I_k = \left( \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + x_k^2}} \right) = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} Z_k} \quad (1)$$

missä

$c$  = taulukon 1 mukainen kerroin

$U_n$  = syöttävän verkon jännite

$Z_k$  = impedanssi vikapaikasta katsottuna

TAULUKKO 1. Oikosulkuvirran laskemisessa käytettävä jännitekerroin (ABB:n TTT-käsikirja 2000)

Nimellisjännite $U_n$	Maksimioiko- sulkuvirta $C_{max}$	Minimioiko- sulkuvirta $C_{min}$
pienjännite 100 V – 1000 V a) 230 V / 400 V b) muut jännitteet	 1.00 1.05	 0.95 1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

## 2.4 Maasulkuvirran laskeminen maasta erotetussa verkossa.

Verkon normaalitilassa vaihejännitteiden summa on joka hetki nolla, eli jännitteet ovat symmetrisiä. Maakapasitanssien kautta kulkeva osa verkon varausvirroista muodostaa myöskin symmetrisen järjestelmän. Kun maasulku tapahtuu, terveiden vaiheiden jännite maahan nähden kasvaa. Tämän epäsymmetrian seurauksena varausvirtojen summa eroaa nolasta ja muodostuu maasulkuvirta, joka kulkeutuu vikapaikan kautta maahan. Vikaresistanssittoman maasulkuvirran suuruus voidaan laskea kaavasta:

$$I_e = \sqrt{3}\omega C_0 U \quad (2)$$

missä

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi,

$U$  = verkon pääjännite ja

$\omega$  = kulmataajuus

Maakaapeleille on olemassa taulukot, joissa on ilmoitettu maasulkuvirran suuruus kaapelin pituutta kohden. Tällöin tarvitsee vaan tietää kaapelityyppi sekä sen pituus.

Avojohtoverkoille maasulkuvirta lasketaan kaavalla:

$$I_e \approx \frac{U \cdot l}{300} \quad [\text{A}] \quad (3)$$

missä

$U$  = verkon pääjännite [kV]

$l$  = galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituus [km]

Arvo ei ole täysin tarkka, mutta riittävä.

Kun mukaan otetaan vikapaikan vikaresistanssi, maasulkuvirta pienenee ja pienentynyt arvo saadaan kaavasta:

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{3}\omega C_0}{\sqrt{1+(3\omega C_0 R_f)^2}} U \quad (4)$$

missä

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

$R_f$  = vikaresistanssi

$U$  = verkon pääjännite

Kun tunnetaan maasulkuvirta suorassa maasulussa, voidaan tämä lauseke esittää myös muodossa:

$$I_{ef} = \frac{I_e}{\sqrt{1+\left(\frac{\sqrt{3}I_e R_f}{U}\right)^2}} \quad (5)$$

missä

$I_e$  = maasulkuvirta

$R_f$  = vikaresistanssi

$U$  = pääjännite

(ABB:n TTT-käsikirja 2000)

Edellä esitettyjen kaavojen avulla laskettu virta on viallisesta vaiheesta maahan kulkeva virta vikapaikassa. Maasulussa olevan johdon syöttöpään vaihevirtojen summavirta ei kuitenkaan sisällä sitä osaa maasulkuvirrasta, joka kulkee johdon omien maakapasitanssien kautta. Vaihevirtojen summavirraksi eli taustaverkon syöttämäksi maasulkuvirraksi saadaan siten:

$$\Sigma I_V = \frac{C_0 - C_{0j}}{C_0} I_{ef} \quad (6)$$

missä

$C_{0j}$  = suojattavan johdon yhden vaiheen maakapasitanssi

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

Jos jokaiselle johdolle on laskettu johdon itsensä syöttämä maasulkuvirta suorassa maasulussa, taustaverkon syöttämä maasulkuvirta voidaan laskea kaavasta:

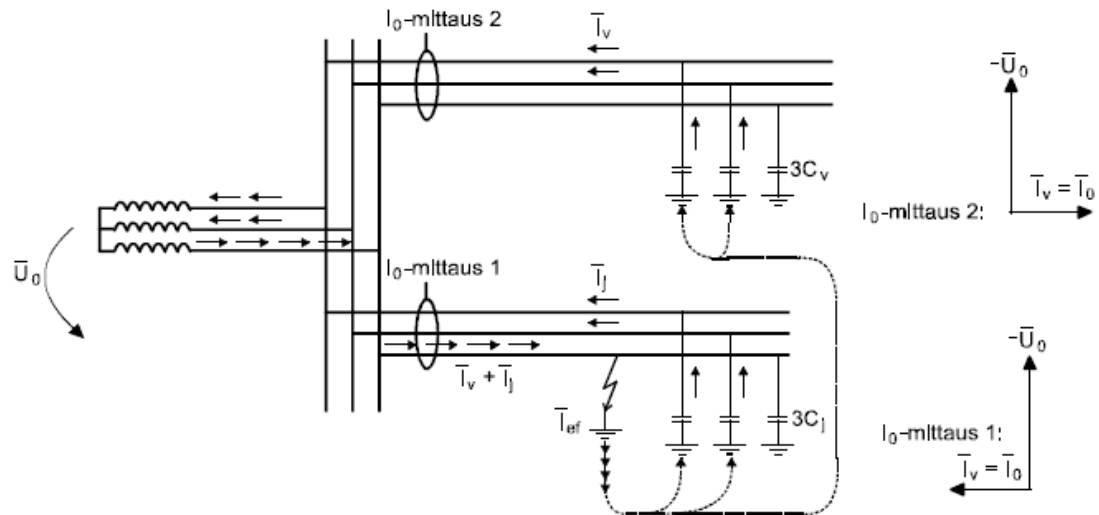
$$\Sigma I_V = \frac{I_e - I_{ej}}{I_e} I_{ef} \quad (7)$$

missä

$I_e$  = verkon kokonaismaasulkuvirta suorassa maasulussa

$I_{ej}$  = johdon syöttämä maasulkuvirta suorassa maasulussa

$I_{ef}$  = vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta



KUVIO 1. Maasulkuvirran muodostuminen maasta erotetussa verkossa. Osoitinpiirroksessa virran positiivinen suunta on kiskostosta johdolle päin. (ABB:n TTT-käsikirja 2000)

Maasulkuvirta aiheuttaa jännite-epäsymmetrian jonka vaikutuksesta myös verkon tähtipisteen potentiaali poikkeaa maan potentiaalista. Syntyvää jännitettä kutsutaan nollajännitteeksi. Nollajännite on sama jonka maasulkuvirta saa aikaan kulkiessaan maakapasitanssien kautta. Nollajännite voidaan laskea kaavalla

$$U_0 = \frac{1}{3\omega C_0} I_{ef} \quad (8)$$

missä

$\omega$  = kulmataajuus

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

$I_{ef}$  = vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta

Kaavojen 1 ja 2 avulla edellä oleva kaava voidaan saattaa muotoon:

$$\frac{U_0}{U_V} = \frac{1}{\sqrt{1+(3\omega C_0 R_f)^2}} \quad (9)$$

tai muotoon:

$$\frac{U_0}{U_V} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3}I_e R_f}{U}\right)^2}} \quad (10)$$

missä

$I_e$  = tarkasteluhetkellä galvaanisesti yhteen kytketyn verkon maasulkuvirta suorassa maasulussa

$R_f$  = vikaresistanssi

$U$  = verkon pääjännite

$U_V$  = verkon vaihejännite

(ABB:n TTT-käsikirja 2000)

## 2.5 Maasulkuvirran laskeminen kompensoidussa verkossa.

Kompensoidun verkon kompensointiastetta kuvataan kirjaimella  $K$ . Jos  $K$ :n arvo on tasan yksi tai lähellä sitä, on verkko kompensoitu täysin, toisin sanoen sammutettu.  $K$ :n ollessa suurempi kuin yksi, verkkoa sanotaan ylikompensoiduksi. Vastaavasti, kun arvo on pienempi kuin yksi, on verkko alikompensoitu. Kompensointiaste lasketaan kaavalla:

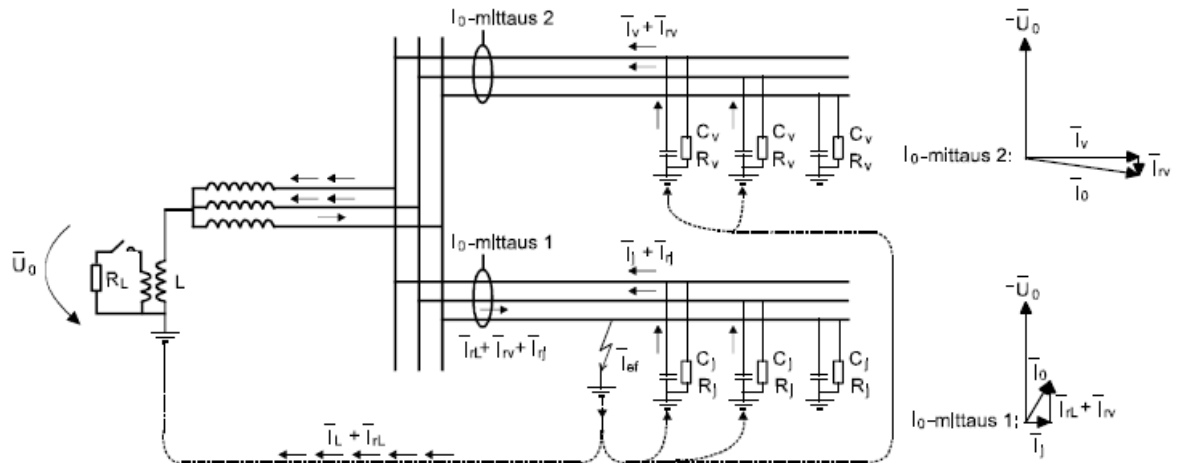
$$K = \frac{I_L}{I_C} \quad (11)$$

missä

$I_L$  = kuristimen virta suorassa maasulussa

$I_C$  = verkon kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa

Kun verkko on täysin kompensoitu, kulkee vikapaikan kautta ns. jäännösvirta, joka muodostuu kuristimen ja verkon häviöistä sekä mahdollisen kuristimen toisiovastuksen aiheuttamasta pätövirrasta sekä yliaalloista, (Kuvio 2). Kuvassa ovat näkyvillä myös verkon vuotohäviöitä vastaavat resistanssit, jotka täytyy ottaa laskelmissa huomioon.



KUVIO 2. Maasulkuvirran muodostuminen sammutetussa verkossa. Osoitinpiirroksessa virran positiivinen suunta on kiskostosta johdolle päin. (ABB:n TTT-käsikirja 2000)

Vikavirta saadaan lasketuksi kaavasta:

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{1 + R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}{\sqrt{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

missä

$\omega L$  = kompensointikuristimen reaktanssi

$R_0$  = kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteeseen redusoitu kokonaisresistanssi

$R_f$  = Vikaresistanssi

Jos verkko on täysin kompensoitu, kaava sievenee muotoon:

$$I_{ef} = \frac{1}{R_0 + R_f} \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

missä

- $R_0$  = kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteeseen redusoitu kokonaisresistanssi
- $R_f$  = vikaresistanssi
- $U$  = pääjännite

Nollajännite koostuu maasulkuvirran sekä verkon maakapasitanssien, kuristimen induktanssin ja häviöresistanssien rinnankytkennän muodostamasta impedanssien tulosta.

Nollajännite lasketaan kaavalla:

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_0}\right)^2 + \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} I_{ef} \quad (14)$$

missä

- $R_0$  = kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteeseen redusoitu kokonaisresistanssi
- $\omega$  = kulmataajuus
- $C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi
- $\omega L$  = kompensointikuristimen reaktanssi
- $I_{ef}$  = vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta

Täysin kompensoidussa verkossa kaava sievenee muotoon

$$\frac{U_0}{U_V} = \frac{R_0}{R_0 + R_f} \quad (15)$$

missä

- $R_0$  = kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteeseen redusoitu kokonaisresistanssi
- $R_f$  = vikaresistanssi

Kun tarkastellaan lähtöjen suojauksen toimintaa, on yleensä tarve määrittää vaihevirtojen summavirran sisältämä pätökomponentti. Vikapaikan virran pätökomponentin suuruus voidaan laskea likimääräisesti käyttämällä kaavaa:

$$I_{efp} = \frac{1}{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2} \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (16)$$

missä

$R_f$  = vikaresistanssi

$R_0$  = kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteeseen redusoitu kokonaisresistanssi

$\omega$  = kulmataajuus

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

$\omega L$  = kompensointikuristimen reaktanssi

$U$  = pääjännite

Edellä mainituilla kaavoilla voidaan laskea vikapaikassa viallisesta vaiheesta maahan kulkeva virta. Johtolähdössä vaihevirtojen ja summavirran suuruuteen ja vaihekulmaan vaikuttaa myös johdon omien maakapasitanssien ja vuotohäviöresistanssien kautta kulkeva osa maasulkuvirrasta. Vaihevirtojen summavirran suuruus voidaan laskea kaavasta 17 sekä vaihekulma negatiivisena otettuun nollajännitteeseen nähden kaavalla 18. Nämä kaavat ovat hyödyllisiä erityisesti osittain kompensoidussa verkossa.

$$\Sigma I_V = \frac{\sqrt{\left((1-K)I_e - I_{ej}\right)^2 + (I_r - I_{rj})^2}}{\sqrt{\left((1-K)I_e\right)^2 + I_r^2}} I_{ef} \quad (17)$$

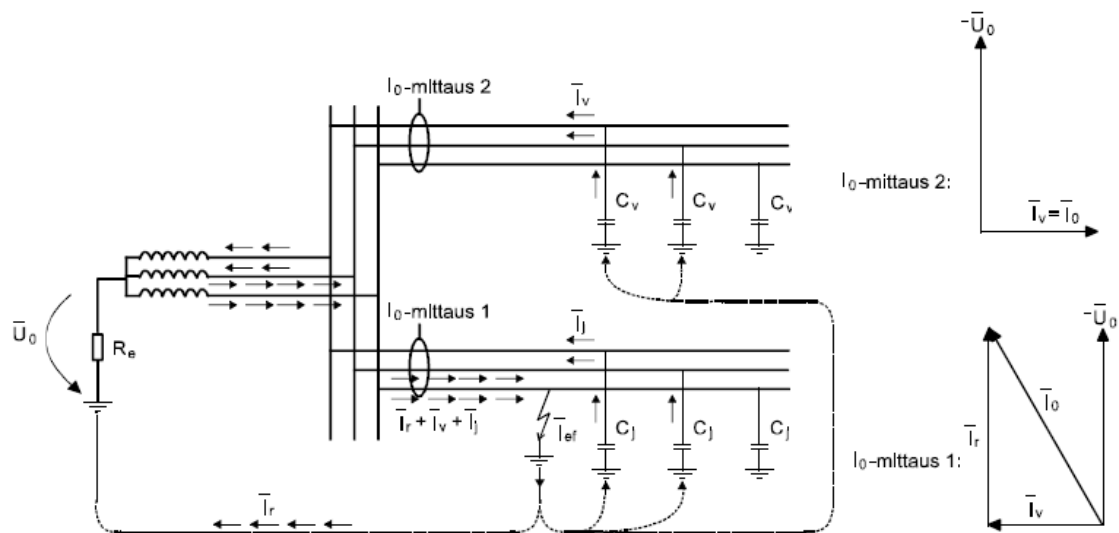
$$\varphi = -\arctan\left(\frac{(1-K)I_e - I_{ej}}{I_r - I_{rj}}\right) \quad (18)$$

missä

- $I_e$  = verkon kapasitiivinen kokonaismaasulkuvirta suorassa maasulussa.  
 $I_{ej}$  = johdon syöttämä kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa.  
 $K$  = kompensointiaste  
 $I_r$  = kompensointikuristimen ja verkon häviöiden sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin aiheuttama pätövirta suorassa maasulussa.  
 $I_{lj}$  = lähdön häviöiden aiheuttama pätövirta suorassa maasulussa.  
 $I_{ef}$  = vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta.  
 (ABB:n TTT-käsikirja 2000)

## 2.6 Maasulkuvirran laskeminen suuren resistanssin kautta maadoitetussa verkossa.

Kyseisen verkon tapauksessa kasvatetaan maasulkuvirtaa tähtipisteeseen kytketyn resistanssin avulla. Samalla pienennetään kytkentä- sekä katkaisutilanteissa syntyviä ylijännitteitä samoin kuin katkeilevan maasulun synnyttämiä ylijännitteitä. Vikapaikassa kulkeva virta muodostuu maadoitusresistanssin ja verkon maakapasitanssien kautta kulkevien virtojen summasta (ABB:n TTT-käsikirja 2000)



KUVIO 3: Maasulkuvirran muodostuminen suurella resistanssilla maadoitetussa verkossa. Osoitinpiirroksessa virran positiivinen suunta on kiskostosta johdolle päin. (ABB:n TTT-käsikirja 2000)

Maakapasitanssin ollessa pieni, eli maakapasitanssien muodostaman reaktanssin arvon ollessa iso suhteessa maadoitusresistanssiin, voidaan maasulkuvirta laskea kaavalla:

$$I_{ef} = \frac{1}{R_e + R_f} \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

missä

$R_e$  = maadoitusresistanssi

$R_f$  = vikaresistanssi

$U$  = pääjännite

Suuren resistanssin kautta maadoitetussa verkossa nollajännite lasketaan kaavalla:

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_e}\right)^2 + (3\omega C_0)^2}} I_{ef} \quad (20)$$

missä

$R_e$  = maadoitusresistanssi

$\omega$  = kulmataajuus

$C_0$  = verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

$I_{ef}$  = vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta.

Vaihevirtojen summavirtojen suuruus voidaan laskea kaavalla 21 ja vaihekulma negatiivisena otettuun nollajännitteeseen nähden lausekkeesta 22

$$\Sigma I_V = \frac{\sqrt{(I_e - I_{ej})^2 + I_r^2}}{\sqrt{I_e^2 + I_r^2}} I_{ef} \quad (21)$$

$$\varphi = -\arctan\left(\frac{I_e - I_{ej}}{I_r}\right) \quad (22)$$

missä

$I_e$  = verkon kapasitiivinen kokonaismaasulkuvirta suorassa maasulussa.

$I_{ej}$  = johdon syöttämä kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa.

$I_r$  = maadoitusresistanssia vastaava pätövirta suorassa maasulussa.

$I_{ef}$  = vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta.

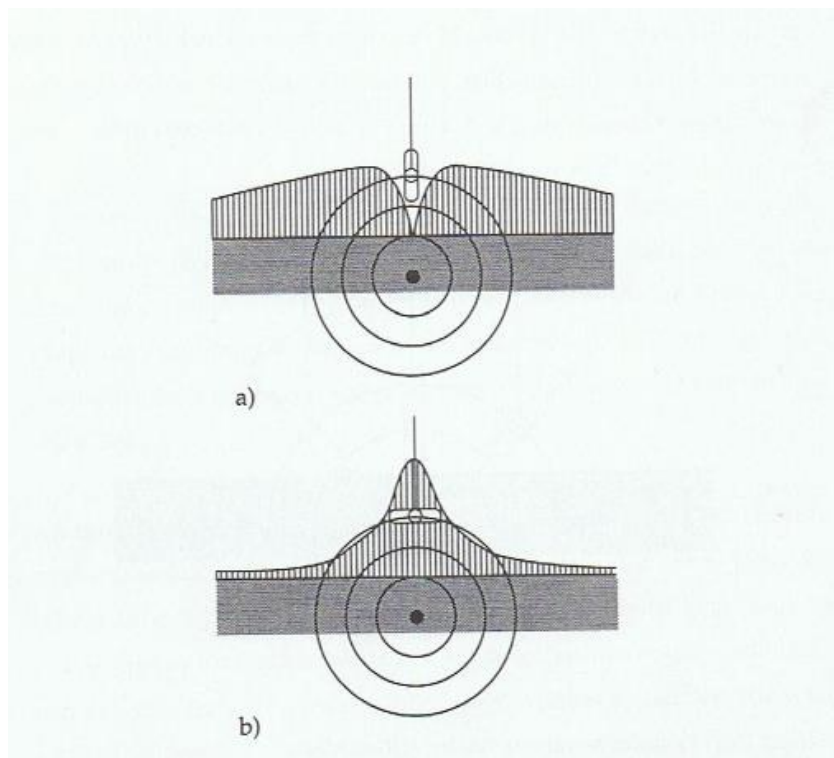
(ABB:n TTT-käsikirja 2000)

### 3. VIKOJEN PAIKALLISTAMINEN JA ENNALTAEHKÄISY

#### 3.1 Kaapelin paikantaminen

Jos kaapelin kulkureittiä ei ole kirjattu verkkotietojärjestelmään, täytyy se ensin paikallistaa. Yleisin tähän käytetty menetelmä on äänitaajuusgeneraattori, jolla kaapeliin lähetetään suuritaajuisia vaihtovirtaa ja paikallistetaan johtoreitti etsintäkelan avulla. Vaihtovirran taajuus on yleensä 1 kHz, 2 kHz tai 10 kHz. Suuritaajuisen vaihtovirran synnyttämä sähkömagneettinen kenttä indusoi etsintäkelaan jännitteen, jonka suuruus riippuu kelan asennosta paikallistettavaan kaapeliin nähden. (Relesuojaustekniikka 1992)

Kuvion 4a menetelmää kutsutaan ns. minimimenetelmäksi. Kyseisellä menetelmällä voidaan kaapeli paikallistaa hyvin tarkasti, koska kenttä muuttuu voimakkaasti pienestäkin poikkeamasta. Lisäksi tällä menetelmällä saadaan selville myös kaapelin asennussyvyys. Kuvion 4b menetelmää kutsutaan ns. maksimimenetelmäksi jolla kaapelin sijainti voidaan määrittää likimääräisesti, mutta melko nopeasti. (Relesuojaustekniikka 1992)



Kuvio 4. Johdon paikantaminen äänitaajuusgeneraattorin ja etsintäkelan avulla.

## 3.2 Esipaikannusmenetelmät

### 3.2.1 Esipaikannuksen tavoite

Kun vianpaikannuslaitteistolta on saatu tieto minkä tyyppinen vika on kyseessä, sekä tiedetään kaapelin reitti, voidaan alkaa hakea vikaa. Vian esipaikallistamisen tavoite on löytää kaapelivika muutaman kymmenen metrin tarkkuudella. (Relesuojaustekniikka 1992)

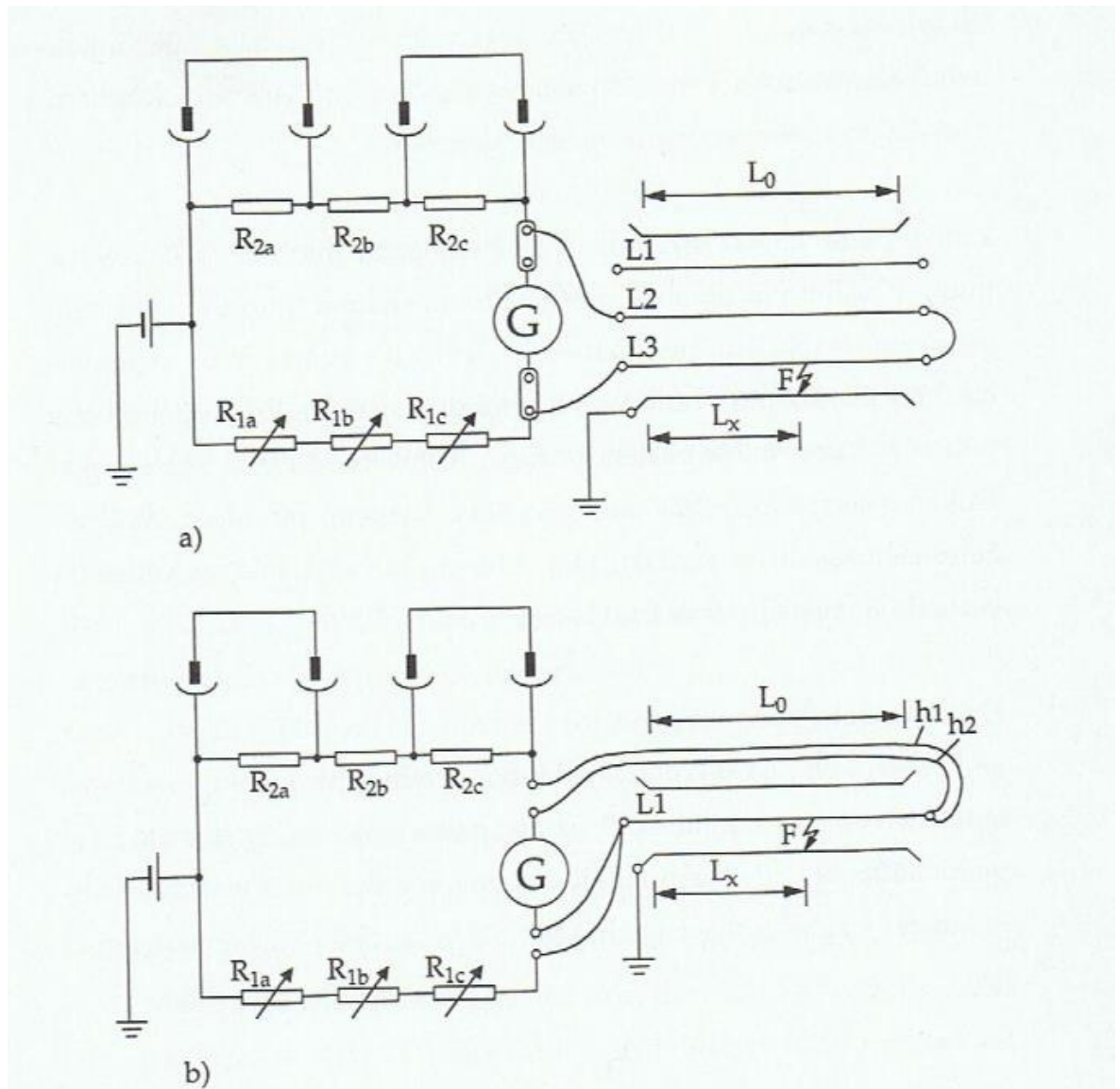
### 3.2.2 Mittasillat

Vian laadun ja sen likimääräisen paikan selvittämiseksi on jo vuosikymmeniä käytetty erilaisia mittasiltoja, kuten Murray-siltaa, Graf-siltaa ja Wheatstone-siltaa. Kehittyvä tekniikka ei ole vielä syrjäyttänyt näitä perinteisiä menetelmiä, vaan kyseisten laitteiden merkitys on kasvamassa. Mittasillat eivät kuitenkaan sovellu ajoittaisen vian paikannukseen, vaan ne vaativat jatkuvan vian. (Relesuojaustekniikka 1992)

Murray-mittasillan käyttö toimii molemmissa tilanteissa, oli vikaresistanssi sitten pieni tai suuri. Mikäli tehonlähteenä on suurjännitegeneraattori, voidaan jopa 100 megaohmin eristysviat paikantaa ilman ongelmia. Murray-kytkentä soveltuu parhaiten muovikaapeleiden vianpaikannukseen. (Relesuojaustekniikka 1992)

Jos kyseessä on kolmivaihekaapeli (KUVIO 5a), voidaan yksivaiheisen maasulun etäisyys kaapelin alusta laskea kaavalla:

$$L_x = \frac{R_1}{R_1 + R_2} 2L_0 \quad (23)$$



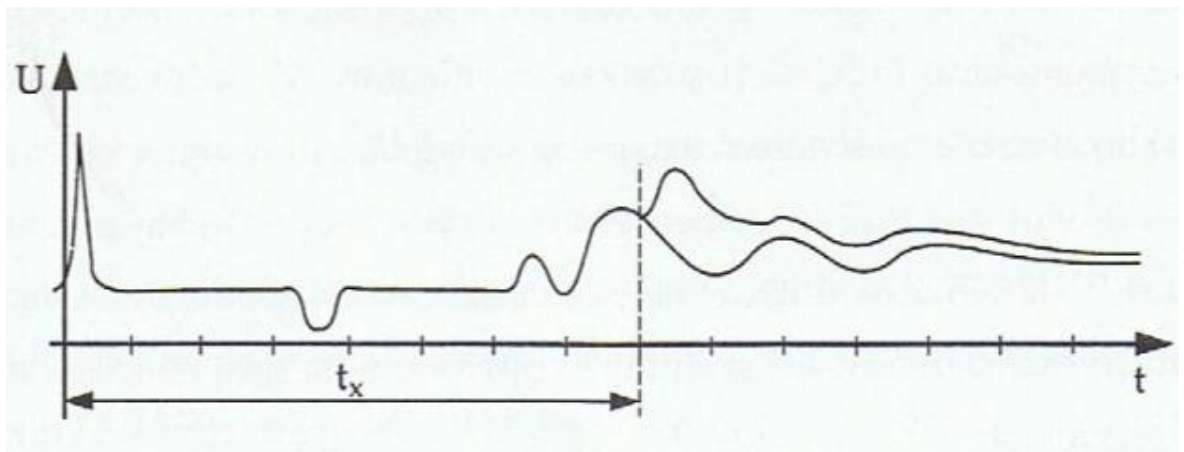
KUVIO 5. Murray-siltamittaus. Kuvassa a) kolmijohdinkaapeli ja kuvassa b) yksijohdinkaapeli (Relesuojaustekniikka 1992)

### 3.2.3 Kaapelitutka

Kaapelitutka kehitettiin jo vuonna 1946, sen toimintaa perustuu sähköimpulssien jatkuvaan lähettämiseen tutkittavalle johdolle. Impulssit etenevät vakionopeudella, koska kaapelin aaltoimpedanssi on koko ajan sama. Impulssin kohdatessa vikapaikan, jatkoksen, liitoksen, kaapelin pään tai muun kohdan, jossa aaltoimpedanssi muuttuu, heijastuu osa pulssista takaisin. Takaisin heijastuneen pulssin kulkuajasta voidaan esimerkiksi oskilloskoopin avulla laskea heijastumispaikka. Jos pääteheijastuma näkyy ruudulla ja tiedetään koko kaapelin pituus, voidaan vikapaikan etäisyys määrittää suhteena koko kaapelin pituuteen. Jos kaapelin pää on auki, heijastus näkyy positiivisena. Jos kyseessä on oikosulku, heijastus

näkyä negatiivisena. Kaapelitutka ei kuitenkaan sovellu suuriresistanssisten tai eristysvikojen paikannukseen. Yleensä kaapelitutka on tehokas noin 500 ohmin vikaresistanssiin asti. (Relesuojaustekniikka 1992, 409-410)

Jos halutaan paikallistaa kaapelin maasulku, vianpaikannusta voidaan tehostaa ns. kaikumittarilla (echometer). Kaikumittari kytketään viallisen kaapelin toiseen päähän, missä se releellä kytkee kaapelin pään vuorotellen oikosulkuun ja oikosulusta pois. Tämän ansiosta vikapaikasta saadaan eteenpäin kaksi erilaista heijastuskäyrää ja vika voidaan paikallistaa.

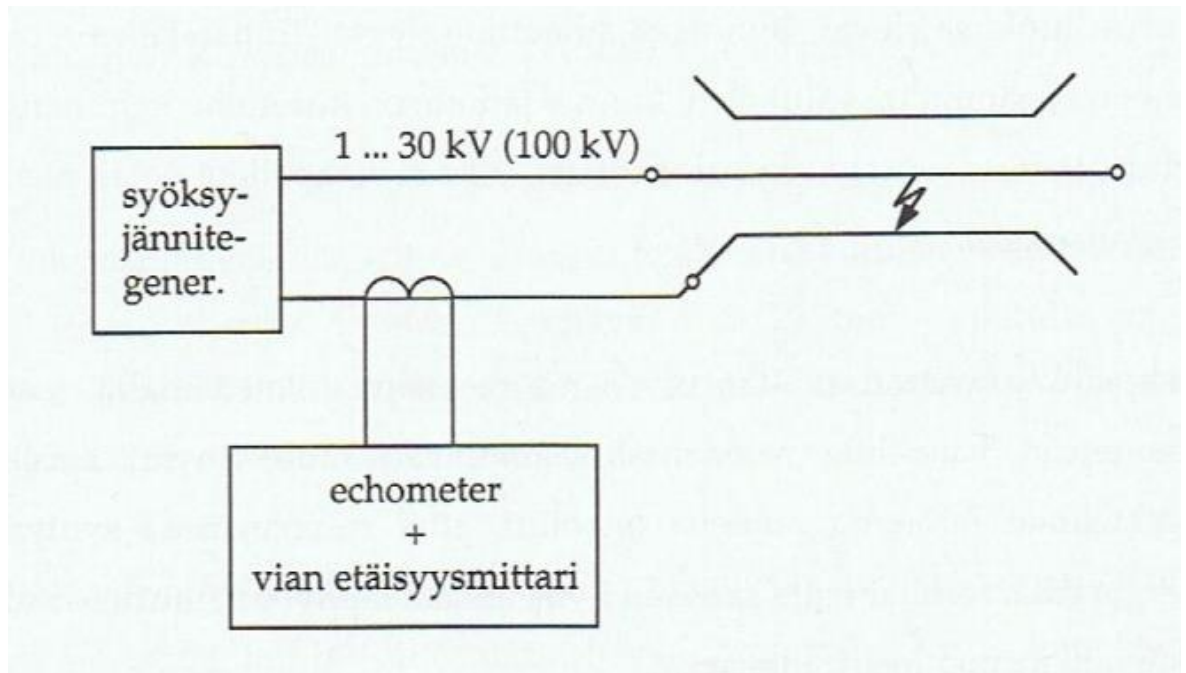


KUVIO Kaapelitutka ja kaikumittari.

(Relesuojaustekniikka 1992)

### 3.2.4 Impulssivirtamenetelmä

Impulssivirtamenetelmä on yhdistelmä kaapelitutkasta sekä syöksyjännitemenetelmästä. Tässä menetelmässä jännitteet ovat paljon suuremmat (n. 1...30 kV) kuin pelkkää kaapelitutkaa käytettäessä. (n. 10...100 V). Impulssivirtamenetelmän periaatteena on lähettää pulssit niin voimakkaina, että syöksyaallon kohdatessa vikapaikan, siihen syttyä valokaari. Tämän ansiosta mahdollinen suuriresistanssinen vika muuttuu hetkeksi pieniresistanssiseksi koska valokaari on aina pieniresistanssinen. Tämän seurauksena kaapelitutka pystyy paikallistamaan vikapaikan. Syöksyaalto koetetaan saada mahdollisimman loivaksi ja riittävän pitkäksi, jotta kaapelitutkalla kerkeäisi paikantaa vian. (Relesuojaustekniikka 1992) Alla olevassa kuvassa on esitetty impulssivirtamenetelmän mittauskytkennän periaate.



KUVIO 7 Impulssivirtamenetelmän periaatekaavio (Relesuojaustekniikka 1992)

### 3.2.5 Vikapaikan polttaminen

Vikapaikan polttamisella tarkoitetaan suuriresistanssisen vian tekemistä pieniresistanssiseksi. Tämä tapahtuu johtamalla niin suuri virta vikapaikkaan, että syttyy valokaari, mikä polttaa vian pieniresistanssiseksi. Tämä toteutetaan muuntajilla, joilla on hyvä oikosulkukestoisuus eli ns. polttomuuntajilla. Aluksi kaapelille johdetaan sen nimellijännitteen aiheuttama virta, jonka jälkeen jännitettä aloitetaan pienentämään vähitellen. Jännitettä pienennetään niin kauan, että se on vain muutamia kymmeniä voltteja ja virta useita satoja ampeereita, jolloin vikapaikka palaa pieniresistanssiseksi. Toinen tapa on ns. resonanssimenetelmä. Resonanssimenetelmässä kaapelille aiheutetaan resonanssi säädettävän induktanssin avulla. Menetelmän huono puoli on, että resonanssissa syntyvä energia ei aina riitä, tällöin vikapaikkaa ei saada pieniresistanssiseksi, vaikka läpilyönti tapahtuukin. (Relesuojaustekniikka 1992)

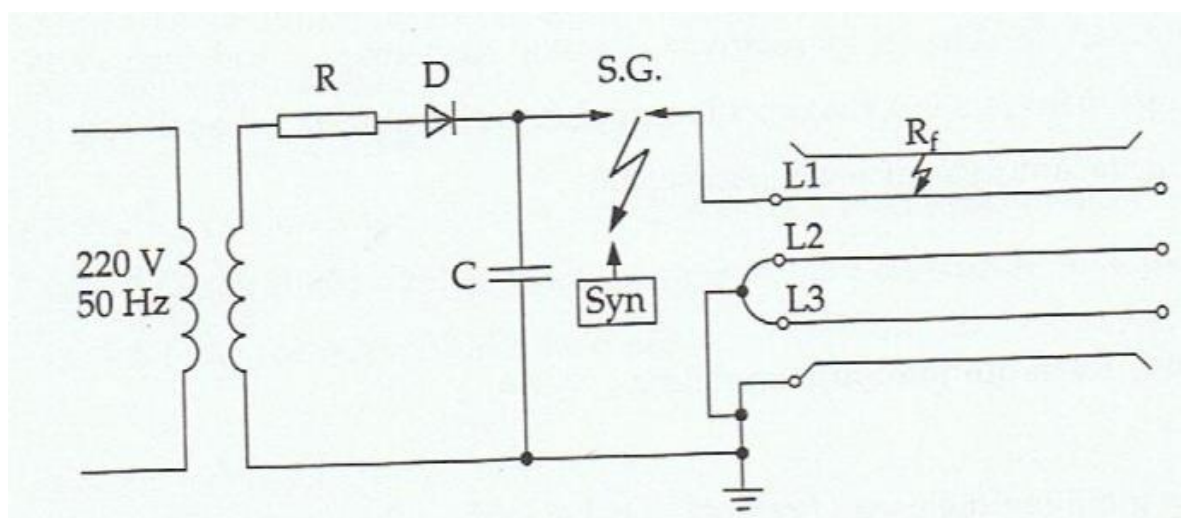
### 3.3 Kaapelivikojen paikallistaminen

#### 3.3.1 Yleistä

Kun vika on saatu esipaikallistettua muutamien kymmenien metrien päähän, aloitetaan vian tarkempi paikannus. Jotkin paikallistamismenetelmät soveltuvat paremmin eri tarkoituksiin, joten menetelmä täytyy aina valita vikatyypin mukaan. Esim. johdinkatkoksien, eristysvikojen tai vaippavaurioiden paikantamiseen soveltuvat toiset menetelmät toisia paremmin. (Relesuojaustekniikka 1992)

#### 3.3.2 Syöksyjännitemenetelmä

Käytetyin menetelmä vikojen tarkkaan paikantamiseen on ns. syöksyjännitemenetelmä. Nimensä mukaisesti menetelmässä kaapeliin lähetetään syöksyaalto. Järjestely on esitetty kuviossa 8. Periaatteena on varata kondensaattorit tasajännitteellä ja sen jälkeen purkaa niiden energia kipinävälin (S.G.) kautta johdolle. Tämä aiheuttaa läpilyönnistä kuuluvan pamahdusäänen, jota paikallistetaan maamikrofonin ja kuulokkeiden avulla. Syöksyjännitemenetelmällä voidaan paikallistaa kaikki viat lukuun ottamatta vikaresistanssitonta oikosulkua.



KUVIO 8. Kuviossa C on varauskondensaattori, R vaimennusvastus, D diodi, S.G. ohjattu kipinäväli ja  $R_f$  on vikaresistanssi. (Relesuojaustekniikka 1992)

### **3.3.3 Kerratun johdon menetelmä**

Kerratun johdon menetelmässä vian etsintä perustuu magneettikentän muutokseen. Kun vähintään kaksijohtimiseen kaapeliin lähetetään signaali, syntyy magneettikenttä, joka vaihtelee sen mukaan, miten johtimet ovat kierretty toisiinsa eli kerrattu. Tällä tavoin pystytään paikantamaan vikojen lisäksi myös kaapelijatkokset. Vaikka magneettikentän muutoksena näkyvät sekä viat että jatkot, on niitä vaikea sekoittaa keskenään. Aaltomuoto pysyy samana jatkoksen jälkeen, ainoastaan vikapaikan jälkeen kenttä katoaa. (Relesuojaustekniikka 1992).

### **3.3.4 Vaippavian paikannus**

Yleisin syy kaapelin maasulkuun on vaippavika. Kaapelinvaippa voi syöpyä ja tämän jälkeen sen sisään pääsee kosteutta mikä tuhoaa kaapelin lopullisesti. Alkavia vaippavikoja voidaan kuitenkin paikallistaa ennen kuin se muuttuu maasuluksi. Paikannusmenetelmässä maan ja vaipan väliin kytketään säädettävä vakiovirta. Virtaa täytyy kuitenkin säätää varovasti, ettei aiheuta mahdollista lisävahinkoa alkavaan vikapaikkaan. Maassa kulkee myös paljon erilaisia häiriövirtoja ja tämän vuoksi paikannusmenetelmän virta lähetetään sakara aaltona. Käytännössä vaippavian paikannus tapahtuu vastaanottimen ja kahden maahan työnnettävän sauvan avulla. Näiden ansiosta kaapelin reitti voidaan paikantaa, sekä löytää vikapaikka kohdasta, jossa signaalin polariteetti vaihtuu. (Relesuojaustekniikka)

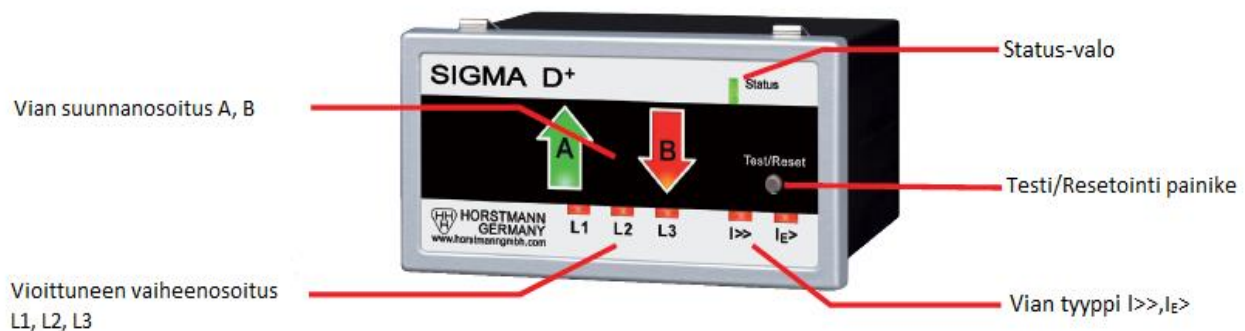
## 4 VALITTU LAITTEISTO

### 4.1 Yleistä

Markkinoilla oli tarjolla monia eri laitevalmistajan laitteita. Tässä projektissa kyseiseen muuntajaan valittiin Horstmann-yhtiön valmistama laite Sigma D+. Lähtötulevaisuudessa, kun laitteista saadaan käyttökokemuksia sekä niitä testataan enemmän, asetelmat voivat vielä muuttua.

### 4.2 Sigma D+

Dipl.-Ing. H. Horstmann GmbH



KUVIO 9 Sigma D+ (Instructions for use Sigma D+)







Kun laite havaitsee maasulun tai oikosulun, nuoli osoittaa joko ylöspäin (A) tai alaspäin (B) ja välkkyä samalla punaisena tai vihreänä.

Osoitustapa	Tarkoitus	Tehdasasetus
	Havaittu vika kojeistoa kohti	Vihreä
	Havaittu vika kaapelia kohti	Punainen
	Vian suunnannäyttö ei mahdollista Molemmat suuntanuolet vilkkuvat samanaikaisesti (Jos vika tapahtuu lähellä kojeistoa voi olla, että mitattu vaihejännite on riittämätön määrittämään vikasuunnan)	

KUVIO 10 Suunnanosoitustavat (Instructions for use Sigma D+)

Laite erottaa vikatyypin ja kertoo, onko kyseessä oikosulku vai maasulku, ja kyseinen vikavalo syttyy. Vikatyypin lisäksi laite ilmoittaa, mikä vaihe on vioittunut. L1 ja/tai L2 ja/tai L3. Sigma D+:-ssa on Status-led, joka on varustettu kahdella eri toiminnolla. Jos vihreä Led palaa jatkuvasti, tarkoittaa se, että Apujännitesyöttö on kytketty. Jos Led vilkkuu, laite ilmoittaa tilaansa välkyttämällä valoa tavalla joka on määritelty kuviossa 11. Merkkivalo vilkkuu enintään 10 minuutin ajan minkä jälkeen se sammuu tai palautuu vihreäksi tapauksessa missä apuvirta on kytketty. (Ola K)

Dipl.-Ing. H. Horstmann GmbH

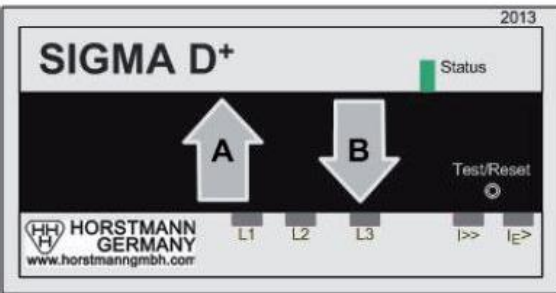
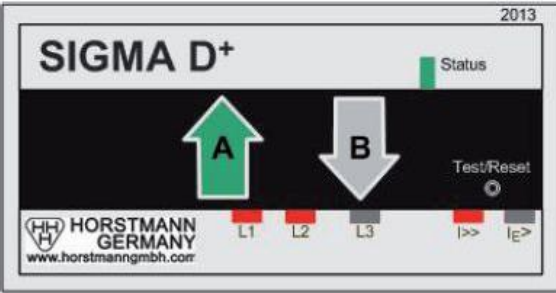
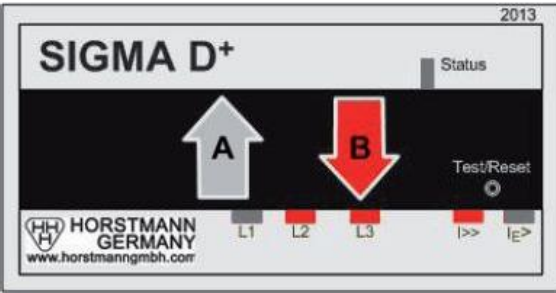
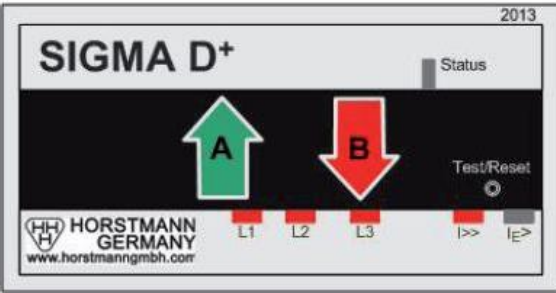
Väri	Valokoodi	Toiminto	Kommentti
Vihr.		Järjestelmä toimii oikein	Sytyy vain kerran
Kelt.		Kalibrointi aloitettu	
Kelt.		Laitetta ei kalibroitu	Suorita kalibrointi
Kelt.		Akulla heikko varaustaso	Akku täytyy vaihtaa. Ota yhteys valmistajaan
Pun.		Laitevika	Ota yhteys valmistajaan
Pun.		WEGA:n mittaama jännite <ul style="list-style-type: none"> <li>Liian korkea: Suuntanuoli A syttyy</li> <li>Liian matala: Suuntanuoli B syttyy</li> </ul> Jännitekalibrointi ei ole mahdollista	Mahdollisia vikoja: <ul style="list-style-type: none"> <li>Väärät kytkennät</li> <li>Ei jännitettä</li> </ul>
Pun.		Jännitekalibrointi epäonnistui	Mahdollisia vikoja: <ul style="list-style-type: none"> <li>Virheellinen Johdotus</li> <li>Liian korkeat jännitevaihtelut kalibroinnin aikana</li> </ul>

KUVIO 11 Valokoodit (Instructions for use Sigma D+)

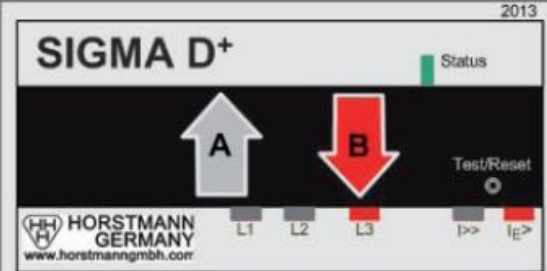
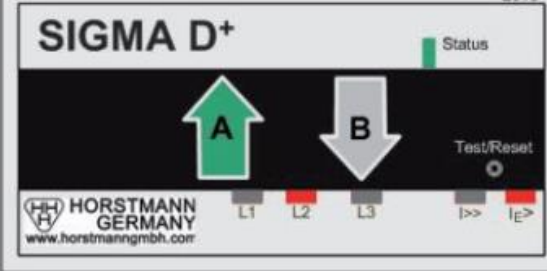
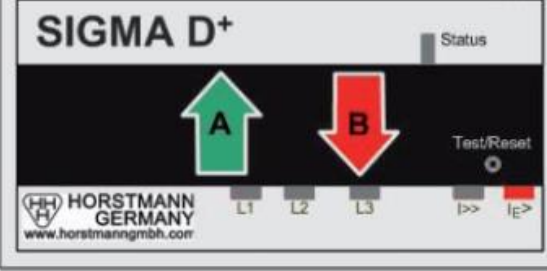
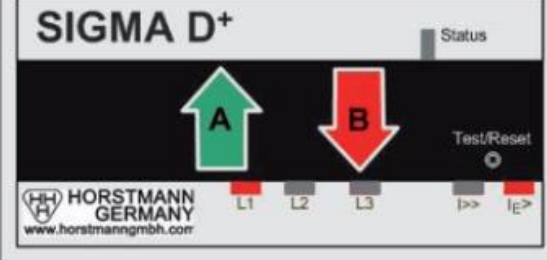
Testaus tai kuittaus voidaan tehdä etäyhteydellä tai paikallisesti test/reset-painikkeella. Kun laite on oletusasetuksilla, sen sisäinen testi käynnistetään aktivoinnin jälkeen kyseisellä painikkeella. Jos järjestelmä on kunnossa, status-valo vilkkuu kerran ja testi-toiminto käynnistyy. (Instructions for use Sigma D+)

### 4.3 Vian osoitus eri vikatilanteissa

Laitteiston näytöstä on luettavissa minkä tyyppinen vika on kyseessä.

Osoitustapa	Tarkoitus
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laitteeseen on kytketty ulkoinen virtalähde.</li> <li>Järjestelmä on ok. Vihreä LED-valo palaa jatkuvasti.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laitteeseen on kytketty ulkoinen virtalähde.</li> <li>I&gt;&gt; Oikosulku tapahtui vaiheissa L1/L2.</li> <li>Vian suunta kojeistoon päin.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laitteeseen ei ole kytketty ulkoista virtalähdettä.</li> <li>Oikosulku tapahtui vaiheissa L2/L3.</li> <li>Vian suunta kaapeliin päin.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laitteeseen ei ole kytketty ulkoista virtalähdettä.</li> <li>I&gt;&gt; Oikosulku tapahtui vaiheissa L1/L2/L3.</li> <li>Molemmat suuntanuolet vilkkuvat samanaikaisesti.</li> <li>Vian suuntaa ei voida määrittää.</li> </ul>

KUVIO 12 Vikatilanteet (Instructions for use Sigma D+)

 <p>2013 SIGMA D<sup>+</sup> Status A B Test/Reset L1 L2 L3 I&gt;&gt; Iε&gt; HORSTMANN GERMANY www.horstmanngmbh.com</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitteeseen on kytketty ulkoinen virtalähde</li> <li>• Iε&gt; Maasulku tapahtui vaiheessa L3.</li> <li>• Vian suunta kaapelin päin.</li> </ul>
 <p>2013 SIGMA D<sup>+</sup> Status A B Test/Reset L1 L2 L3 I&gt;&gt; Iε&gt; HORSTMANN GERMANY www.horstmanngmbh.com</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitteeseen on kytketty ulkoinen virtalähde.</li> <li>• Iε&gt; Maasulku tapahtui vaiheessa L2.</li> <li>• Vian suunta kojeistoon päin.</li> </ul>
 <p>2013 SIGMA D<sup>+</sup> Status A B Test/Reset L1 L2 L3 I&gt;&gt; Iε&gt; HORSTMANN GERMANY www.horstmanngmbh.com</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitteeseen ei ole kytketty ulkoista virtalähdettä.</li> <li>• Iε&gt; Maasulku tapahtui vaiheessa L1.</li> <li>• Molemmat suuntanuolet vilkkuvat samanaikaisesti.</li> <li>•</li> </ul>
 <p>2013 SIGMA D<sup>+</sup> Status A B Test/Reset L1 L2 L3 I&gt;&gt; Iε&gt; HORSTMANN GERMANY www.horstmanngmbh.com</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitteeseen ei ole kytketty ulkoista virtalähdettä.</li> <li>• Iε&gt; Maasulku tapahtui vaiheessa L1.</li> <li>• Molemmat suuntanuolet vilkkuvat samanaikaisesti.</li> <li>• Vian suuntaa ei voida määrittää.</li> </ul>

KUVIO 13 Vikatilanteet (Instructions for use Sigma D+)

## 5 LAITTEISTON ASENNUS

Sigma D+ on yhteydessä HSA Oy:n toimittamaan Beckhoff-yhtiön valmistamaan logiikkaan, jonka kautta tiedot välittyvät eteenpäin. Projektissa oli kyse vianilmaisulaitteiston asentamisesta vanhaan ilmaeristeiseen kojeistoon, mikä toi omat haasteensa. Nykyään kojeistoissa on kapasitiivisen jännitemittaukseen soveltuvat HR-interface-portit, joista jännitetieto saadaan ulos. Tässä tapauksessa jännitemittaukseen käytettiin Horstmann-yhtiön tarjoamaa Wega-nimistä tuotetta jolla Sigma saa jännitetiedon.



Kuvio 14 Logiikkakaappi ja Sigma D+ ja Wega 1.2C

Muuntajakellarista ei olisi ollut kuuluvuutta joten parhaan yhteyden takaamiseksi laite jouduttiin sijoittamaan sen kerrostalon katolle jonka kellarissa muuntaja sijaitsee. Lisähaastetta päätelaitteen asennukseen toi RJ45-kaapelin asentaminen kellarista katolle, koska jokaisen kerroksen välille oli rakennettu palokatko. Päätelaite kommunikoi Kokkolan Energian Wimax-tukiaseman kanssa, joka sijaitsee vesitornissa. Tätä kautta muuntamon mittaukset ja hälytykset siirretään valvomo-ohjelmaan.



KUVIO 15 Wimax-päätelaite

Mittamuuntajien tehtävä on muuntaa mitattava jännite tai virta mittareille tai releille sopivaksi. Mittamuuntajia on alettu käyttämään, koska mittareiden ja releiden rakentaminen suurille virroille ja jännitteille on teknisesti vaikeaa. Käytännössä mittamuuntajat laajentavat mitta-alaa. (Muuntajat ja sähkölaitteet)



Kuvio 16: Sigma D+ virtamuuntajat

Pienempi kaapelivirtamuuntaja asennetaan jokaisen vaiheen ympärille. Isompi summavirtamuuntaja taas asennetaan koko kaapelin ympärille niin, että jokainen vaihe kulkee sen läpi. Kaapelin asennuksessa on tärkeä ottaa huomioon, että nuoli osoittaa kojeistosta pois päin ja että kaapelin maadoitus palaa virtamuuntajan läpi. (Mäkitalo T)

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyönä aiheeni oli kiinnostava, sopivan monipuolinen ja haastava. Erityisesti pidin siitä, että sain olla mukana projektin alusta loppuun asti. Projekti alkoi markkinoilla olevien laitteiden kartoituksesta ja jatkui laitteistovalinnan kautta aina asennustyöhön saakka. Opin paljon uutta kaikista keskijänniteverkon komponenteista sekä sain arvokasta kokemusta projektityöskentelystä.

Opinnäytetyön aikana välttyttiin isoilta virheiltä ja se eteni kutakuinkin sovitussa aikataulussa. Laitteiston asentamisessa vanhaan kojeistoon ilmeni kuitenkin monia uusia asioita, joita ei heti osattu ottaa huomioon. Nämä asiat kuitenkin tekivät työstä vain monipuolisemman.

Laite on tällä hetkellä varsin hyvä paketti ja melko helppo myös asentaa. Tulevaisuudessa vianilmaisulaitteistolta odotetaan suunnan näytön lisäksi tarkkaa vikakohtaa kaapelissa ja uskonkin, että tulevaisuudessa kilpailua käydään sellaisten laitteiden kesken.

## LÄHTEET

Teknisiä tietoja ja taulukoita – käsikirja (TTT) ABB. 2000-07

Aro M, Elovaara J, Karttunen M, Nousiainen K, Palva V, 2003. Suurjännitetekniikka. Otatieto/yliopistokustannus Oy

Elovaara, J. Haarla, L. 2011 Sähköverkot Osa 1. Otatieto/Gaudeamus Oy

Elovaara, J. Haarla, L. 2011 Sähköverkot osa 2. Otatieto/Gaudeamus Oy

Horstmann Germany. Instructions for use Sigma D+. Saatavissa:

<https://www.horstmannmbh.com/products/short-circuit-and-earth-fault-indicators/directional-short-circuit-and-directional-earth-fault-indicators/sigma-d-1>

Lakervi E, Partanen J, 2008. Sähkönjakelutekniikka. Otatieto

[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)

Mäkitalo T, 2015. henkilökohtainen tiedonanto, keskustelu. 9.4.2015.

Mörsky J, 1992. Relesuojaustekniikka. Otatieto/Yliopistokustannus Oy.

Ola K. Keskustelu. 28.1.2015