

Juho-Pekka Korhonen

SEBA KMT SPG 5-1000 -VIANPAIKANNUSLAITE

Käyttöohje asentajille

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Joulukuu 2018**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Joulukuu 2018	Tekijä/tekijät Juho-Pekka Korhonen
Koulutusohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Työn nimi SEBA KMT SPG 5-1000 -VIANPAIKANNUSLAITE, Käyttöohje asentajille		
Työn ohjaaja Jari Halme	Sivumäärä 22 + 1	
Työelämäohjaaja		
<p>Opinnäytetyössä laadittiin selkokielineen yksinkertaistettu ohje Voiman Oy:n käytössä olevalle maakaapeliverkon vianpaikannuslaitteistolle. Työssä tutkittiin sähkömarkkinalain vaikutuksia sähköjakeluverkkoon sekä selvitettiin maakaapeloidun sähköjakeluverkon erilaisia vikoja ja niiden paikannusmenetelmiä. Lopuksi tutustuttiin hyvän ohjeen määritelmiin ja arvioitiin maakaapeloidun sähköverkon vianpaikannuksen tulevaisuuden näkymiä.</p>		

Asiasanat Käyttöohje, maakaapeli, vianpaikannus

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date December 2018	Author Juho-Pekka Korhonen
Degree programme Electrical Engineering		
Name of thesis SEBA KMT SPG 5-1000 -FAULT LOCATING SYSTEM, an Operating manual for technicians		
Instructor Jari Halme	Pages 22+1	
Supervisor		
<p>The goal of the thesis was to create a simplified operating manual for the cable network fault locating system of Voiman Oy. The thesis studied the effects of electricity market laws for electricity distribution network and investigated the various faults of a cabled distribution network and the methods of locating its faults. Finally, the thesis familiarizes the reader with the definitions of a good manual and evaluates the future of the cabled distribution network.</p>		

<p>Key words Cable, fault locating, operating instruction</p>
--

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 VOIMAN OY	2
3 SÄHKÖVERKON RAKENTEEN MUUTOS	3
3.1 Sähkömarkkinalaki.....	3
3.2 Maakaapeloitu sähköverkko	4
4 KAAPELIVIAT	6
4.1 Maasulku.....	6
4.1.1 Maasulkuvirran laskeminen maasta erotetussa verkossa	6
4.1.2 Maasulkuvirran laskeminen kompensoidussa verkossa.....	8
4.1.3 Maasulkuvirran laskenta suuren resistanssin kautta maadoitetussa verkossa.....	10
4.2 Oikosulku	11
4.3 Vaippavika	13
4.4 Johdin poikki -vika	13
5 SEBAKMT SPG 5-1000 OMINAISUUDET	15
5.1 Eristysresistanssimittaus	15
5.2 Läpilyöntitesti.....	16
5.3 Esipaikannus.....	16
5.4 Polttaminen.....	17
5.5 Vian paikannus.....	17
5.5.1 Askeljännite	17
5.5.2 Syöksyaalto	18
6 OHJEEN TEKEMINEN	19
6.1 Hyvän ohjeen tunnusmerkit.....	19
6.2 Ohjeen hyödyt Voiman Oy:ssä	20
7 TULEVAISUUS	21
LÄHTEET	22
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Maasulku	6
KUVIO 2. Oikosulku	11
KUVIO 3. Johto poikki.....	14
KUVIO 4. Johto poikki ja maasulku.....	14
KUVAT	
KUVA 1. Vaippavika.....	13
KUVA 2. Seba KMT SPG 5-1000.....	15
KUVA 3. Vikakohtaan muodostuva jännitegradientti	18
KUVA 4. Syöksyaaltomenetelmän periaate	18

1 JOHDANTO

Sähkönjakeluverkon maakaapelointiasteen kasvaessa sekä sähkön toimitusvarmuusvaatimusten tiukentuessa yhä tärkeämmäksi osaksi jakeluverkon vianhoitoa on tullut maakaapeliverkon vikojen paikallistaminen. Tarve opinnäytetyölle löytyi omalta työpaikalta Voiman Oy:stä, kun havaittiin, että yrityksen vianpaikannuslaitteiston kaikkien ominaisuuksien hyödyntäminen sekä laitteen käytön osaaminen on puutteellista. Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia selkokielineen ja yksinkertaistettu ohje Voiman Oy:n käytössä olevalle vianpaikannuslaitteistolle. Työssä tutustutaan sähkömarkkinalain vaatimukseen, selvitettiin maakaapeloidun sähköverkon vikoja sekä perehdytään erilaisten vikojen paikantamismenetelmiin. Lisäksi tutustutaan hyvän ohjeen tunnusmerkkeihin ohjeen laatimisen tukena sekä arvioidaan tulevaisuuden näkymiä.

2 VOIMAN OY

Voiman Oy on sähköalan yritys, joka tuottaa palveluita verkkoyhtiöille, kuntasektorille sekä tuulivoimayhtiöille. Yritys on perustettu Karstulassa vuonna 2005. Nykyään yrityksellä on kolme toimipistettä, Karstulassa, Saarijärvellä ja Viitasaarella. Voiman Oy:n toiminta sijoittuu pääasiallisesti pohjoiseen Keski-Suomeen. Yrityksen liikevaihto vuonna 2017 oli lähes 8 miljoonaa euroa. (Voiman Oy 2018.)

Voiman Oy:n ydinliiketoimintaa on sähköjakeluverkon rakentaminen, joka kattaa uudis- ja saneerausrakentamisen ilmajohto- ja maakaapeliverkoissa. Merkittävänä osana yrityksen toimintaa ovat sähköjakeluverkon kunnossapito ja vianhoito sekä erilaiset palvelutyöt. Voiman Oy tuottaa myös sähköasemakunnossapitoa sähköverkkoyhtiöille ja tuulivoimayhtiöille. (Voiman Oy 2018.)

Voiman Oy työllistää noin 50 henkilöä, yrityksen yhteistyökumppaneina on maanrakennusurakoitsijoita sekä raivausurakoitsijoita. Voiman Oy:n visiona on olla halutuin vaihtoehto asiakkailleen. Tavoitteina ovat tyytyväiset asiakkaat ja yhteistyökumppanit sekä työssään viihtyvä henkilökunta. Voiman Oy kuuluu TLT-Group -konserniin. (Voiman Oy 2018.)

3 SÄHKÖVERKON RAKENTEEN MUUTOS

Suomen sähköverkon rakenne on muuttumassa, kun Suomen sähköistyessä 1950-1970-luvuilla rakennettu sähköverkko alkaa tulla käyttöikänsä päähän. Samalla sään ääri-ilmiöiden aiheuttamat haasteet sähkön toimitusvarmuudelle sekä vuonna 2013 uudistetun sähkömarkkinalain vaatimukset ovat pakottaneet sähköverkkoyhtiöt investoimaan valtavasti sähköjakeluverkkoihinsa. Käytännössä vaatimukset ovat aikaan saaneet sähköjakeluverkon mittavan uusimisen säävarmaksi joko siirtämällä ilmajohtoja pois metsän keskeltä teiden varsille tai yleisimmin käytettynä menetelmänä sähköjakeluverkon uusiminen maakaapeloiduksi sähköjakeluverkoksi.

3.1 Sähkömarkkinalaki

Sähkömarkkinalaki ja Energiavirasto ohjaavat sähköjakeluverkon haltijoiden toimintaa. Sähkömarkkinalain tarkoituksena on huolehtia, että sähkön loppukäyttäjille voidaan varmistaa hyvä sähkön toimitusvarmuus, kilpailukykyinen sähkön hinta ja kohtuulliset palveluperiaatteet. Näiden vaatimusten saavuttamisen tärkeimpinä keinoina ovat terveen ja toimivan taloudellisen kilpailun turvaaminen sähkön tuotannossa ja toimituksessa sekä kohtuullisten ja tasapuolisten palveluperiaatteiden ylläpitäminen sähköverkkojen toiminnassa. Sähköverkkoyhtiöiden tulee huolehtia asiakkaittensa sähkönhankintaan liittyvistä palveluista. (Sähkömarkkinalaki 588/2013; Energiavirasto 2018.)

Sähkömarkkinalakia sovelletaan sähkön tuotantoon, vientiin, tuontiin sekä sähkön siirtoon ja jakeluun. Energiavirasto on viranomainen, joka valvoo ja edistää energiamarkkinoita, päästöjen vähentämistä, energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian käyttöä. Viraston tehtäviin kuuluu sähköverkkolupien myöntäminen, sähkön siirtohinnan valvominen ja sähkömarkkinalain toteutumisen valvominen. (Sähkömarkkinalaki 588/2013; Energiavirasto 2018.)

Sähkömarkkinalaki uudistui vuonna 2013. Uudistuneen lain keskeisimmät sähköjakeluverkon toimintaa ohjaavat kohdat keskittyvät sähkön toimitusvarmuuden parantamiseen. Sähkömarkkinalain 51 § toetaan:

51 §

Jakeluverkon toiminnan laatuvaatimukset

Jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava, ja sitä on ylläpidettävä siten, että:

- 1) verkko täyttää järjestelmävastaavan kantaverkonhaltijan asettamat verkon käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset;
- 2) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asema-kaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä;
- 3) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta muulla kuin 2 kohdassa tarkoitettulla alueella verkon käyttäjälle yli 36 tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä.

Jakeluverkonhaltija voi määrittää käyttöpaikkaan sovellettavan tavoitetason 1 momentin 3 kohdasta poiketen paikallisten olosuhteiden mukaisesti, jos:

- 1) käyttöpaikka sijaitsee saarella, johon ei ole siltaa tai vastaavaa muuta kiinteää yhteyttä taikka säännöllisesti liikennöitävää maantielauttayhteyttä; tai
- 2) käyttöpaikan vuotuinen sähkönkulutus on ollut kolmen edellisen kalenterivuoden aikana enintään 2 500 kilowattituntia ja 1 momentin 3 kohdan vaatimuksen täyttämisen edellyttämien investointien kustannukset olisivat käyttöpaikan osalta poikkeuksellisen suuret sen muista käyttöpaikoista etäisen sijainnin vuoksi. (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 51 §)

Sähkömarkkinalain 119 § mukaan sähkönjakeluverkon haltijan on pantava täytäntöön edellä mainitun 51 §:n 1 momentin vaatimukset 2 ja 3 viimeistään 31.12.2028, jolloin sähkönjakelun keskeytysten maksimipituudet astuvat voimaan. Tavoitteen täyttymistä seurataan kahdella välitavoitteella. Lain vaatimusten on toteuduttava 50 prosentilla sähkönjakeluverkon käyttäjistä pois lukien vapaa-ajan asunnot viimeistään 31.12.2019 sekä 75 prosentilla sähkönjakeluverkon käyttäjistä pois lukien vapaa-ajan asunnot viimeistään 31.12.2023. (Sähkömarkkinalaki 588/2013.)

Sähkönjakeluverkon toimintavarmuutta parantavien vaatimusten ohella vuonna 2013 uudistuneessa sähkömarkkinalaissa määritellään vakiokorvaukset, jotka sähkön jakeluverkonhaltijan tai sähkön myyjän on maksettava sähkön loppukäyttäjälle, mikäli sähkönjakelu tai sähköntoimitus keskeytyy. Sähkömarkkinalain 100 § mukaan vakiokorvausten määrä loppukäyttäjän vuotuisesta siirtopalvelumaksusta on 10-200 prosenttia, kuitenkin enintään 2000 euroa. (Sähkömarkkinalaki 588/2013.)

3.2 Maakaapeloitu sähköverkko

Käytetyin ja tehokkain ratkaisu sähkönjakeluverkon muuttamiseen kohti sähkömarkkinalain vaatimuksia on maakaapelointi. Maakaapeloitu sähkönjakeluverkko on suojassa sääilmiöiltä, kuten myrskyiltä ja

lumikuormilta, jolloin tällä vuosikymmenelläkin nähtyjä myrskyjen tai lumikuormien aiheuttamia mitattavia sähkökatkoja ei pääse syntymään. Maakaapeloidun sähköverkon laskennallinen käyttöikä on 40-50 vuotta, mutta on olemassa kaapeleita, jotka ovat olleet käytössä lähes 100 vuotta. (Elenia 2018.)

Maakaapeloidun sähköverkon suurimpia vikojen aiheuttajia määrällisesti ovat muut syyt, joka tarkoittaa ulkopuolisen aiheuttamia vikoja sekä tekniset syyt, jotka tarkoittavat asennus- tai materiaalivirheistä johtuvia vikoja. Vuonna 2017 muut syyt ja tekniset syyt aiheuttivat energiateollisuuden keskeytystilaston mukaan 37 % kaikista maakaapeliverkon keskeytyksistä. Loppuosa maakaapeliverkon keskeytyksistä on suunniteltuja keskeytyksiä 31 % osuudella ja luonnonilmiöt ainoastaan 7 % osuudella. Maakaapeliverkon keskeytysten määrä suhteessa keskeytysten määrään vuonna 2017 koko jakeluverkossa oli 7 prosenttia, kun avojohdoverkon osuus kaikista keskeytyksistä oli 66 %. (Sähkön keskeytystilasto 2017.)

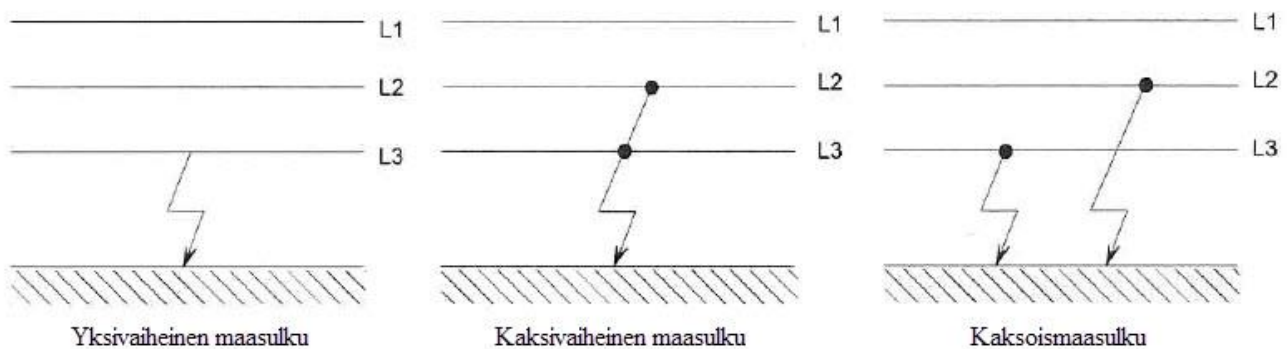
Sähkönjakeluverkon kaapelointiaste kasvaa jatkuvasti verkkoyhtiöiden investoidessa säävarmaan kaapeliverkkoon. Kun vuonna 2014 jakeluverkon kaapelointiaste oli 29 prosenttia, odotetaan kaapelointiasteen nousevan vuoteen 2019 mennessä 44 prosenttiin. (Sähköverkkojen rakenne 2018.) Vaikka maakaapelointi vähentää vikojen kokonaismäärää, tulee maakaapelivikojen osuus vikojen kokonaismäärästä nousemaan väistämättä. Tästä johtuen jakeluverkkoyhtiöiden ja urakoitsijoiden on oltava ajan tasalla kaapeliverkon vikojen paikannuksen menetelmistä sekä henkilöstön riittävästä osaamisesta.

4 KAAPELIVIAT

Maakaapeleiden vioista valtaosa syntyy joko ulkopuolisten aiheuttamana tai materiaali- tai asennusvirheistä. (Sähkön keskeytystilasto 2017.) Ulkopuolisten aiheuttamat viat ovat käytännössä maan kaivamisesta aiheutuneita vaurioita, kuten kaivinkoneen aiheuttamia kaapelin katkeamisia tai vaurioita. Materiaali- ja asennusvirheet voivat aiheuttaa vikoja kaapeliin, kaapelin jatkoihin sekä päätteisiin.

4.1 Maasulku

Maasulku on käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan osan välinen eristysvika. Kaksoismaasulussa maasulku esiintyy verkon kahdessa eri vaiheessa kahdessa eri kohdassa yhtäaikaisesti. Käyttömaadoittamaton verkko jaetaan maasta erotettuun ja kompensoituun verkkoon. Maasulkuvirtaa ja nollijännitettä laskettaessa täytyy tuntea koko galvaanisesti yhteen kytketty verkko. Käyttömaadoitetussa verkossa maasulku käyttäytyy kuten yksivaiheinen oikosulku. (ABB 2000)



KUVIO 1. Maasulku (Kiwa Inspecta 2018)

4.1.1 Maasulkuvirran laskeminen maasta erotetussa verkossa

Normaalitilanteessa maasta erotetussa verkossa jännitteet muodostuvat symmetrisesti ja jännitteiden summa on nolla. Vastaavasti verkon maakapasitanssien kautta kulkevat varausvirrat ovat symmetrisiä ja niiden summa on nolla. Maasulun syntyessä viallisen vaiheen jännite sekä varausvirta pienenee ja

vastaavasti terveiden vaiheiden jännite ja varausvirta maahan nähden kasvaa. Kaksoismaasulku on usein seurausta yksivaiheisesta maasulusta, jolloin terveiden vaiheiden jännite voi kasvaa hetkellisarvoltaan pääjännitettä suuremmaksi. (Mörsky 1992.)

Vikaresistanssittoman maasulkuvirran suuruus vikapaikassa voidaan laskea kaavalla:

$$I_e = \sqrt{3}\omega C_0 U \quad (1)$$

jossa C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi, U on verkon pääjännite ja ω on kulmataajuus

Vikaresistanssin kautta kulkevan maasulkuvirran suuruus vikapaikassa voidaan laskea kaavalla:

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

jossa C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi, R_f on vikaresistanssi, U on verkon pääjännite ja ω on kulmataajuus.

Maasulussa olevan johdon vaihevirtojen summa syöttöpäässä ei sisällä johdon omien maakapasitanssien kautta kulkevaa osaa maasulkuvirrasta. Syöttöpään summavirta saadaan kaavalla:

$$\sum I_v = \frac{C_0 - C_{0j}}{C_0} I_{ef} \quad (3)$$

jossa C_{0j} on suojattavan johdon yhden vaiheen maakapasitanssi ja C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi.

Jos johdoille on laskettu johdon itsensä syöttämä maasulkuvirta suorassa maasulussa, saadaan taustaverkon syöttämä maasulkuvirta kaavalla:

$$\sum I_v = \frac{I_e - I_{ej}}{I_e} I_{ef} \quad (4)$$

jossa I_e on verkon kokonismaasulkuvirta suorassa maasulussa, I_e on johdon syöttämä maasulkuvirta suorassa maasulussa ja I_{ef} on vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta.

Maasulkuvirran aiheuttama jännite-epäsymmetria aiheuttaa verkon tähtipisteeseen nollajännitteen. Nollajännite on sama, minkä maasulkuvirta aiheuttaa kulkiessaan maakapasitanssien kautta. Nollajännite voidaan laskea kaavalla:

$$\frac{U_0}{U_v} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{3}I_e R_f}{U}\right)^2}} \quad (5)$$

jossa I_e on koko galvaanisesti yhteenkytetyin verkon maasulkuvirta suorassa maasulussa, R_f on vikaresistanssi, U on verkon pääjännite ja U_v on verkon vaihejännite. (ABB 2000.)

4.1.2 Maasulkuvirran laskeminen kompensoidussa verkossa

Kompensoidussa verkossa verkon tähtipiste on kytketty maahan kompensointikuristimen kautta. Kuristimen induktiivisella reaktanssilla pyritään kumoamaan verkon maakapasitanssit. Yksivaiheisessa maasulussa valtaosa vikavirrasta kulkee kuristimen kautta ja vikakohtaan kautta kulkee ainoastaan kuristimen jäännösvirta, verkon ja kuristimen häviöiden suuruinen pätövirta sekä yliaallot. (Mörsky J. 1992.)

Kompensoidun verkon kompensointia kuvataan kompensointiasteella K . Verkko on täysin kompensoitu, mikäli K on lähellä yhtä, alikompensoitu, mikäli K on alle yksi ja ylikompensoitu mikäli K on yli yksi. Kompensointiaste saadaan laskettua kaavalla:

$$K = \frac{I_L}{I_C} \quad (6)$$

jossa K on kompensointiaste, I_L on kuristimen virta suorassa maasulussa ja I_C on verkon kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa.

Täysin kompensoidussa verkossa maasulkuvirta vikapaikassa on kuristimen ja verkon häviöiden muodostama jäännösvirta sekä mahdollisen kuristimen aiheuttama pätövirta sekä yliaallot. Vikapaikan virta voidaan laskea kaavalla:

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{1 + R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}{\sqrt{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

jossa ωL on kompensointikuristimen reaktanssi, R_0 on kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteen redusoitu kokonaisresistanssi, C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi, ω on kulmataajuus, U on verkon pääjännite ja R_f on vikaresistanssi.

Maasulkuvirran, verkon maakapasitanssien, kuristimen induktanssin ja häviöresistanssien rinnankytkennän muodostama tulo on nollajännite. Nollajännite voidaan laskea kaavalla:

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_0}\right)^2 + \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} I_{ef} \quad (8)$$

jossa R_0 on kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteen redusoitu kokonaisresistanssi ja ωL on kompensointikuristimen reaktanssi.

Vikapaikan virran päätökomponentti voidaan laskea kaavalla:

$$I_{efp} = \frac{1}{\sqrt{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

jossa ωL on kompensointikuristimen reaktanssi, R_0 on kompensointikuristimen ja verkon häviöitä vastaavan resistanssin sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin tähtipisteen redusoitu kokonaisresistanssi, C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi, ω on kulmataajuus, U on verkon pääjännite ja R_f on vikaresistanssi.

Maasulussa olevan johdon lähtöpään vaihevirtojen summa voidaan laskea kaavalla:

$$\Sigma I_v = \frac{\sqrt{((1-K)I_e - I_{ev})^2 + (I_r - I_{rj})^2}}{\sqrt{((1-K)I_e)^2 + I_r^2}} I_{ef} \quad (10)$$

sekä vaihekulma kaavalla:

$$\varphi = -\arctan\left(\frac{(1-K)I_e - I_{ej}}{I_r - I_{rj}}\right) \quad (11)$$

jossa I_e on verkon kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa, I_{ej} on johdon syöttämä kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa, K on kompensointiaste, I_r on kompensointikuristimen ja verkon häviöiden sekä mahdollisen kuristimen toisioresistanssin aiheuttama pätövirta suorassa maasulussa, I_{rj} on lähdön häviöiden aiheuttama pätövirta suorassa maasulussa ja I_{ef} on vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta. (ABB 2000.)

4.1.3 Maasulkuvirran laskenta suuren resistanssin kautta maadoitetussa verkossa

Suuren resistanssin kautta maadoitetussa verkossa tähtipisteeseen kytketyllä resistanssilla kasvatetaan maasulkuvirtaa ja pienennetään kytkentä- ja katkaisutilanteissa syntyneitä ylijännitteitä ja katkeilevan maasulun ylijännitteitä. Vikapaikan virta muodostuu maadoitusresistanssin ja verkon maakapasitanssien kautta kulkevien virtojen summasta. Vikapaikan virta voidaan laskea kaavalla:

$$I_{ef} = \frac{\sqrt{1+(R_e 3\omega C_0)^2}}{\sqrt{(R_f+R_e)^2+(R_f R_e 3\omega C_0)^2}} \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

jossa R_e on maadoitusresistanssi, R_f on vikaresistanssi ja C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi.

Maasulkuvirran, maadoitusresistanssin ja verkon kapasitanssien rinnankytkennän muodostamien impedanssien tulosta saadaan nollajännite. Nollajännite voidaan laskea kaavalla:

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_e}\right)^2+(3\omega C_0)^2}} I_{ef} \quad (13)$$

jossa R_e on maadoitusresistanssi, I_{ef} on maasulkuvirta vikapaikassa ja c_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi.

Maasulussa olevan johdon lähtöpään vaihevirtojen summa voidaan arvioida kaavalla:

$$\Sigma I_v = \frac{\sqrt{(I_e-I_{ej})^2+I_r^2}}{\sqrt{I_e^2+I_r^2}} I_{ef} \quad (14)$$

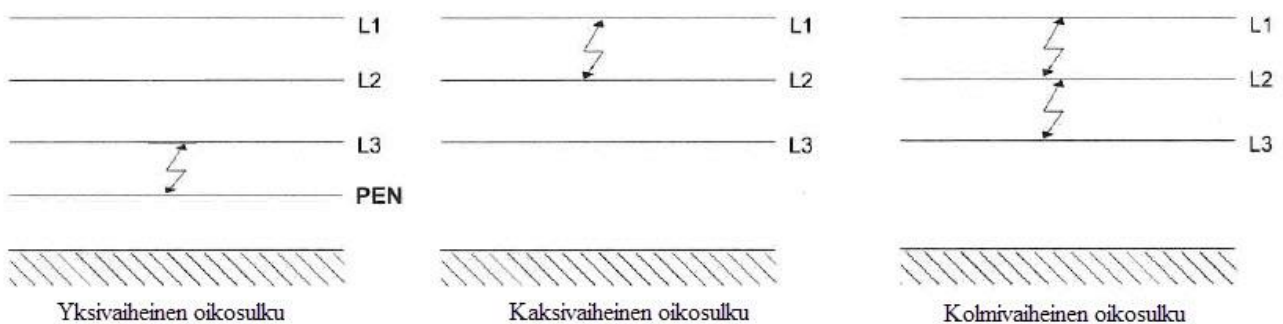
sekä vaihekulma negatiiviseen nollajännitteeseen nähden kaavalla:

$$\varphi = -\arctan\left(\frac{I_e - I_{ej}}{I_r}\right) \quad (15)$$

jossa I_{ef} on vikaresistanssin vaikutuksesta pienentynyt maasulkuvirta, I_e on verkon kapasitiivinen kokonaismaasulkuvirta suorassa maasulussa, I_{ej} on johdon syöttämä kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa, ja I_r on maadoitusresistanssia vastaava pätövirta suorassa maasulussa. (ABB 2000.)

4.2 Oikosulku

Oikosulku tarkoittaa eri potentiaalissa olevien jännitteellisten osien välistä johtavaa yhteyttä muun kuin kuormituksen kautta. Oikosulkuvirta sisältää vaimenevan tasavirtakomponentin, jonka suuruus riippuu oikosulun syntyhetkestä ja vaimenemisnopeus piirin impedanssista, sekä vaihtovirtakomponentin, jolla voi myös olla vaimeneva osa. Alkuoikosulkuvirran suuruus määräytyy symmetrisen oikosulkuvirran teollisarvon perusteella. Alkuoikosulkuvirta vaimenee jatkuvuustilassaan oikosulkuvirraksi. (ABB 2000; Elovaara & Laiho 1990.)



KUVIO 2. Oikosulku (Kiwa Inspecta 2018)

Oikosulkuvirta voidaan laskea Theveninin menetelmän yksivaiheisella sijaiskytkennällä, jossa komponentit ja lähteet korvataan oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikka ekvivalenttisella jännitelähteellä. Oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla:

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (16)$$

jossa c on jännitekerroin, U_n on syöttävän verkon jännite, R_k on resistanssi vikapaikasta katsottuna ja X_k on reaktanssi vikapaikasta katsottuna.

Yksi- ja kaksivaiheisissa oikosuluissa sijaiskytkentä muodostetaan myötä-, vasta-, ja nollaverkkojen avulla. Komponenttien keskinäisen kytkeytymisen määrää vikatyypin. Komponenttien impedanssit kytkeytyvät samalla tavalla myötä- ja vastaverkkoihin, nollaverkon kytkeytymisen määrää muuntajan kytkentäryhmä.

Kolmivaiheisen oikosulun oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla:

$$I_{k3}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_1} \quad (17)$$

jossa c on jännitekerroin, U_n on syöttävän verkon jännite ja Z_1 on myötäverkon impedanssi.

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla:

$$I_{k2}'' = \frac{cU_n}{|Z_1 + Z_2|} \quad (18)$$

jossa c on jännitekerroin, U_n on syöttävän verkon jännite, Z_1 on myötäverkon impedanssi ja Z_2 on vastaverkon impedanssi.

Yksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla:

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3}cU_n}{|Z_1 + Z_2 + Z_0|} \quad (19)$$

jossa c on jännitekerroin, U_n on syöttävän verkon jännite, Z_1 on myötäverkon impedanssi, Z_2 on vastaverkon impedanssi ja Z_0 on nollaverkon impedanssi. (ABB 2000.)

4.3 Vaippavika

Vaippavika tarkoittaa kaapelin maadoitetun vaipan yhteyttä maahan kaapelin ulkovaipassa olevan vaurion välityksellä. Vaippavikakohdasta pääsee kaapelin sisälle kosteutta ja epäpuhtauksia, jotka ajan myötä voivat vaurioittaa kaapelin eristystä. Vaippavika on usein perimmäinen syy kaapelissa tapahtuvalle maasululle. Vaippaviat onkin syytä paikantaa ja korjata hyvissä ajoin ennen vian muuttumista maasuluksi. (Mörsky 1992.)



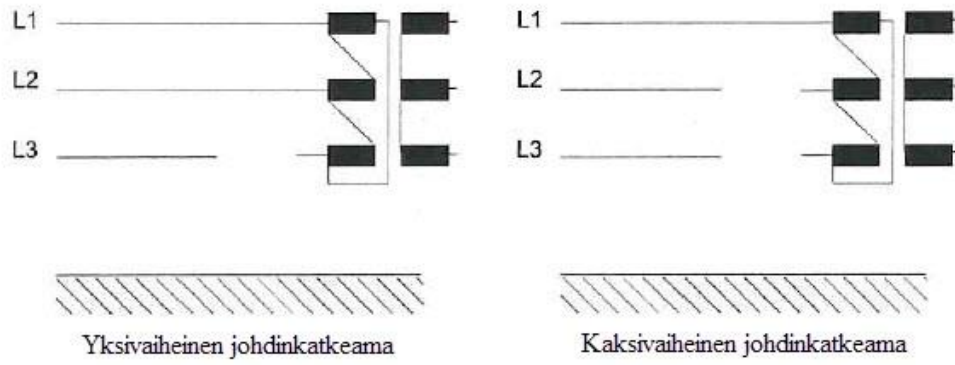
KUVA 1. Vaippavika (Voiman Oy 2018)

4.4 Johdin poikki -vika

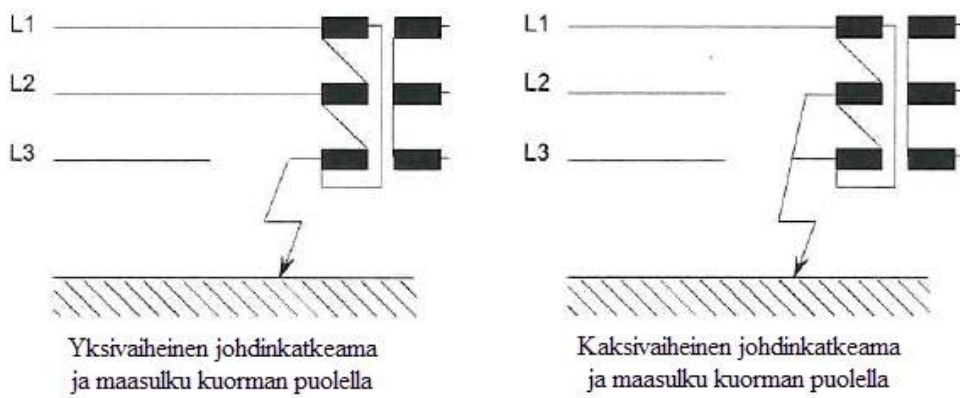
Johdin poikki -vika voi syntyä niin, ettei siitä aiheudu samalla muuta vikaa. Toisaalta johtimen katkeaminen voi aiheuttaa maasulun. Mikäli johdinkatkoksen syötön puolelle syntyy maasulku, voidaan syntynyt vikavirta laskea yksivaiheisen maasulun tavoin. Mikäli maasulku syntyy kuorman puolelle, pienee maasulkuvirta ja nollajännite huomattavasti. Nollajännite voidaan laskea kaavalla:

$$\underline{U}_0 = \frac{-1}{2+j3\omega C_0(3Z+2R_f)} \underline{U}_V \quad (20)$$

jossa U_V on vaihejännite, C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi, Z on verkon kuorman puoleinen impedanssi, R_f on vikaresistanssi ja ω on kulmataajuus. (Mörsky 1992.)



KUVIO 3. Johto poikki (Kiwa Inspecta 2018)



KUVIO 4. Johto poikki ja maasulku (Kiwa Inspecta 2018)

5 SEBAKMT SPG 5-1000 OMINAISUUDET

SebaKMT SPG 5-1000 on yhdistetty vian esipaikannuslaite, syöksyaaltogeneraattori ja vaippavian etsintälaite. Laite on tarkoitettu pienjännitekaapeliverkkojen vian etsintään, mutta laite soveltuu kaikkien kaapeleiden vaippavian paikannukseen sekä esipaikannukseen ja syöksyaaltopaikannukseen maksimissaan 5 kV läpilyöntijännitteisissä vioissa. (Seba KMT SPG 5-1000 operating manual.)



KUVA 2. Seba KMT SPG 5-1000 (Megger 2018.)

5.1 Eristysresistanssimittaus

Laitteella voidaan mitata kaapelin eristysresistanssi kuten muillakin eristysresistanssimittareilla. Mittauksen maksimijännite on 5000 VDC ja maksimivirta 100 mA. Laite laskee vikakohdasta maahan tai toiseen vaiheeseen vuotavan virran perusteella kaapelin eristysresistanssin Ohmin lain mukaisesti kaavalla:

$$R = \frac{U}{I} \quad (21)$$

jossa U on mittausjännite ja I vikapaikasta vuotava virta.

Mittaus voidaan suorittaa manuaalisesti tai vaihtoehtoisesti voidaan asettaa ajastin, jonka ajan mittausta suoritetaan. Ajastimen ollessa käytössä laite tunnistaa läpilyöntijännitteen, jos vikapaikan virta pyrkii kasvamaan yli 100 milliampeerin. (Megger 2018.)

5.2 Läpilyöntitesti

Laitteella voidaan mitata vikapaikan läpilyöntijännite. Läpilyöntitestin maksimijännite on 5000 V. Laite nostaa jännitettä automaattisesti 250 V/s kunnes läpilyönti tapahtuu. Läpilyönnin tapahduttua laite näyttää läpilyöntijännitteen ja lopettaa mittauksen. Mikäli läpilyöntiä ei tapahdu, mittaus jatkuu, kunnes käyttäjä lopettaa mittauksen. Saatua läpilyöntijännitettä voidaan hyödyntää vian esipaikannuksessa sekä vian tarkassa paikannuksessa. (Megger 2018.)

5.3 Esipaikannus

Laitteella voidaan tehdä vialle esipaikannus, kun tiedetään kaapelin pituus, poikkipinta-ala, johtimien lukumäärä, osuukien lukumäärä ja vikaväli. Esipaikannus perustuu impulssivirtamenetelmään, jossa vialliseen kaapeliin lähetetään sähköisiä impulsseja niin voimakkaana, että impulssit sytyttävät vikakohdassa valokaaren. Laite mittaa valokaaren syttymisaikaa suhteessa lähetettyyn impulssiin, joiden perusteella vian etäisyys voidaan laskea. Vian etäisyys voidaan laskea kaavalla:

$$L_f = \frac{1}{\omega^2 C_s (1 + 1/4Q^2)} \quad (22)$$

jossa ω on mittausimpulssin kulmataajuus, C_s on resonanssipiirin kapasitanssi ja Q laatukerroin. (Megger 2018.)

Vian esipaikannus on erityisen tärkeää, koska esipaikannuksella voidaan lyhentää vian tarkkaan paikannukseen käytettävää aikaa ja matkaa merkittävästi. Tällöin tarkkaa vikapaikkaa etsiessä voidaan kaapeliin lähetettävien syöksyaaltojen määrää vähentää, joten riski kaapelin lisävaurioille pienentyy.

5.4 Polttaminen

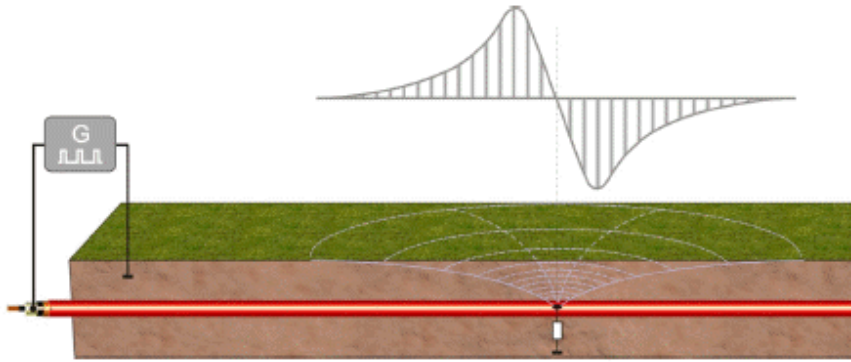
Mikäli vika on suuriresistanssinen ja sitä ei kyetä paikantamaan, voidaan laitteella polttaa vikapaikka pieniresistanssiseksi. Polttaminen tarkoittaa suuren energian johtamista vikapaikan läpi, jolloin valo-kaari polttaa vian pieniresistanssiseksi ja vika voidaan paikantaa. Polttaminen tapahtuu oikosulkukestoisella muuntajalla. Kaapeliin syötetään aluksi läpilyöntijännitteen suuruinen jännite, jotta läpilyönti eli palaminen saadaan aikaiseksi. Tämän jälkeen jännitettä aletaan laskemaan ja vastaavasti virtaa kasvatamaan polttamisen tehostamiseksi. Tavoitteena on polttaa vikapaikka niin pieniresistanssiseksi, että se kyetään varmasti paikantamaan. (Mörsky 1992.)

5.5 Vian paikannus

Kun tiedetään kaapelivian läpilyöntijännite ja esipaikannus on tämän perusteella suoritettu, voidaan siirtyä vian tarkkaan paikantamiseen. Tarkka paikannus tehdään joko syöksyaaltomenetelmällä maamikrofonia käyttäen tai askeljännitemenetelmällä maasauvavastaanotinta käyttäen.

5.5.1 Askeljännite

Askeljännitemenetelmällä voidaan paikallistaa kaikki kaapeliviat, joissa esiintyy maavuotoa. Kaapelin vaippaan tai maahan yhteydessä olevaan vaiheeseen kytketään tasajännitepulsseja, jotka muodostavat vikakohtaan jännitegradientin. Edellytys vian löytymiselle on riittävän suuri jännite, jotta vikapaikassa kulkee virtaa maahan. Vikapaikka paikallistetaan maasauvoja ja vastaanotinta käyttäen. Jännitegradientti kasvaa vikaa lähestyttäessä ja on suurimmillaan juuri ennen vikapaikkaa. Vikapaikassa jännitegradientti on nolla ja heti vikapaikan jälkeen taas suurimmillaan, mutta vastakkaispolariteettisena. (Mörsky 1992; Megger 2018.)



KUVA 3. Vikakohtaan muodostuva jännitegradientti (Seba KMT SPG 5-1000 operating manual)

5.5.2 Syöksyaalto

Syöksyaaltomenetelmällä kyetään löytämään kaikki viat pois lukien vikaresistanssiton oikosulku. Tässä menetelmässä syöksyaaltogeneraattorin kondensaattori varataan tasajännitteellä ja puretaan kipinävälin kautta vialliseen kaapeliin. Vialliseen kaapeliin purettu syöksyaalto synnyttää vikakohdassa läpilyönnin, josta syntyy ääntä. Ääni on paikallistettavissa maamikrofonilla. Äänen lisäksi mikrofonivastaanotin vastaanottaa syöksyaallon sähkömagneettikentän. Koska läpilyönnistä aiheutuva ääni ja syöksyaallon aiheuttama sähkömagneettinen kenttä kulkevat eri nopeutta maassa, vastaanotin kykenee laskemaan äänen ja sähkömagneettikentän signaalien kulku-aikojen erotuksesta vikapaikan etäisyyden. Tarkka vikapaikka löytyy kohdasta, jossa ääni on kovimmillaan sekä äänen ja sähkömagneettikentän aikaero on pienimmillään. (Mörsky 1992; Megger 2018.)



KUVA 4. Syöksyaaltomenetelmän periaate (Megger 2018.)

6 OHJEEN LAATIMINEN

6.1 Hyvän ohjeen tunnusmerkit

Hyvän käyttöohjeen laatimisen merkittävin haaste on ihmisten haluttomuus lukea ohjeita. Helposti laitteen käyttäjä kysyy neuvoa tai kokeilee ennen kuin turvautuu ohjeen lukemiseen. Toinen haaste on käyttöohjeen kirjoittamisessa yksiselitteisyys. Mikäli joku asia voidaan ymmärtää väärin, se ymmärretään väärin. Valtaosa ohjeista, joita maailmasta löytyy, on tasoltaan huonoja ja epäselviä. Käyttöohjeita laaditaan kiireessä, ja niiden tekemiseen ja laatuun kiinnitetään usein liian vähän huomiota. Tuloksena saadaan ohjeita, joita kukaan ei lue ja vaikka lukisikin, ne eivät lukijaa toivotulla tavalla hyödytä. (Korpela 2007.)

Hyvässä ohjeessa tulee tuoda esille ohjeen aihe ja kohderyhmä. Yhtä tärkeää on tuoda heti ohjeen alussa esille kaikki tärkeimmät asiat, jotta jo ohjeen nopealla silmäilyllä saadaan lukija ymmärtämään merkittävämät asiat. Hyvän ohjeen on syytä olla riittävän lyhyt ja keskittyä olennaisiin käyttöön vaikuttaviin asioihin. On eri asia lukea yksinkertaistettua pikaohjetta kuin monisatasivuista käsikirjaa. Käyttöohjeen on myös tarkoitus varoittaa käyttäjää virheistä, jotka saattavat vaurioittaa laitetta tai muuta ympäristöä. Varoitusten on oltava järkeviä, jottei varoitusten lukemiseen tuskastu ja jätä ohjeen muuta olennaista sanomaa lukematta. Hyvän ohjeen pitää edetä siinä järjestyksessä kuin käyttäjä laitetta käyttää. Ensiksi esitetään käytön aloittaminen, josta edetään varsinaiseen laitteen käyttöön. Mikäli aikajärjestyksellä ei ole laitteen käytön kannalta merkitystä, tulee tämäkin ilmaista selkeästi. Jos ohjeessa jätetään tulkinnanvaraa toimintojen suorittamiseen, tulee tulkinnanvaraisuuksien päättelyyn tarjota ohjeessa apua. Laite tarvitsee yhden hyvän käyttöohjeen, ei useita eri ohjeita eri toiminnoille. Useiden eri ohjeiden olemassaolo tuskastuttaa ohjeen lukijaa ja riski ohjeiden lukematta jäämiselle lisääntyy. (Korpela 2007.)

Hyvää ohjetta on myös syytä testata. Ohjeen laatija helposti olettaa ohjeen olevan selkeä ja helposti käytäntöön vietävä, koska laatija voi tuntea laitteen toiminnan liian hyvin. Ohjeen laitetta tuntemattomilla testaaminen kertoo ohjeen onnistumisesta. Jos ohjeen luettuaan kykenee toimimaan sen mukaan, ohje on ilmeisen onnistunut. Toisaalta ohje voi olla luotu kohdennetulle käyttäjäryhmälle, jolloin se, että kohderyhmään kuulumaton lukija ymmärtäisi ohjeen, ei ole tarpeellista.

6.2 Ohjeen hyödyt Voiman Oy:ssä

Sähköverkon maakaapelointiasteen kasvaessa kaapeliverkon vikojen paikantaminen muodostuu tärkeäksi osaksi jokaisen sähköverkkoalalla vianhoitoa tekevän henkilön perusammattitaitoa. Voiman Oy:llä käytössä olevalla laitteistolla pystytään löytämään lähes kaikki maakaapeliverkon vikatapaukset, joten koko vianhoitoon osallistuvan henkilöstön on osattava käyttää laitetta. Vianpaikannuslaitteeseen tehty selkokielineen yksinkertaistettu käyttöohje madaltaa kynnystä laitteen käytön opetteluun sekä toimii muistilistana käyttäjälle, jonka tarvitsee paikantaa maakaapelivikoja harvemmin. Ohjeella voidaan myös varmistaa, että laitetta ei käytetä virheellisesti ja käytössä otetaan huomioon käyttäjän, asiakkaiden sekä sähköverkon turvallisuus. Kokonaisuudessaan ohjeen avulla voidaan laajentaa maakaapeliverkon vianpaikannusosaamista Voiman Oy:ssä.

Ohjeen käytännön hyödyt saadaan ulosmitattua ajan kuluessa, kun ohjeesta saadaan lisää käyttökokeimuksia laajemmalla käyttäjäkunnalla. Saatavaa osaamisen kasvua olisi mahdollista nopeuttaa rakentamalla testikenttä, jossa erilaisia vikatapauksia pystyisi hallitusti sekä kiireettömästi simuloimaan. Näin oikeassa vikatilanteessa käyttäjä osaisi tunnistaa erilaiset viat ja hyödyntää laitteen oikeita ominaisuuksia kyseisessä kaapeliviassa.

7 TULEVAISUUS

Suomen sähkönjakeluverkon maakaapelointiaste on kasvamassa valtavasti seuraavan 10 vuoden aikana. Vaikka maakaapelointiasteen kasvaminen vähentää jakeluverkon vikakeskeytysten määrää, tulee vastaavasti maakaapelivikojen osuus kokonaisvikamäärästä kasvamaan väistämättä jo pelkästään maankaivutöistä aiheutuneiden vaurioiden takia. Vaikka maakaapeliverkon vianhoidossa keskitytään sähköjen mahdollisimman nopeaan palautukseen esimerkiksi varavoimakonetta käyttämällä, on viat kuitenkin paikannettava ja korjattava. On hyvinkin perusteltua, että jo nyt jakeluverkon vianhoitoa toteuttavilla yhtiöillä on käytössä monipuolinen vianpaikannuslaitteisto.

Vianpaikannuslaitteistot kehittyvät jatkuvasti paremmiksi. Laitteiden helppokäyttöisyys lisääntyy ja samalla laitteisiin tulee uusia vianpaikannusta helpottavia ominaisuuksia. Tulevaisuudessa kehityksessä mukana pysyminen ja laitteiden mahdollinen päivittäminen nykyaikaisimpaan on tarpeellista. Yhtä lailla laitekannan kasvattaminen on tulevaisuudessa välttämätöntä, kun maakaapeliverkon viat yleistyvät jatkuvasti. Tehokkaamman vianpaikannuksen takia vianpaikannuksen hinnoittelua on syytä tarkistaa. Kun vianpaikannus muuttuu tehokkaammaksi, on hinnoittelun järkevää perustua yksikköhinnoitteluun tunti hinnoittelun sijaan. Sopivalla paikannetun vian yksikköhinnalla ja matkakustannusten hinnoittelulla voidaan laitetta hyödyntää osana kannattavaa liiketoimintaa.

LÄHTEET

ABB. 2000. ABB TTT-Käsikirja. 9. painos, Vaasa: ABB.

Elenia. Elenia säävarma - kysymyksiä ja vastauksia. Saatavissa: http://www.elenia.fi/sahko/saa-varma_ukk. Viitattu 29.9.2018.

Elovaara, J. & Laiho, Y. 1999. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto.

Energiavirasto 2018. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/>. Viitattu 29.9.2018.

Kiwa Inspecta. 2018. Relesuojauksen peruskurssi.

Korpela, J. 2007. Ohjeen kirjoittaminen. Saatavissa: <http://www.cs.tut.fi/~jkorpela/kirj/7.7.html>. Viitattu 30.9.2018.

Megger. 2018. SPG 5-1000 Operating manual.

Mörsky J. 1992. Relesuojaustekniikka. Espoo: Otatieto.

Sähkömarkkinalaki 588/2013. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588> Viitattu 29.9.2018.

Sähkön keskeytystilasto 2017. Energiateollisuus ry. Saatavissa https://energia.fi/files/2785/Sahkon_keskeytystilasto_2017.pdf. Viitattu 29.9.2018.

Sähköverkkojen rakenne 2018. Energiateollisuus ry. Saatavissa: https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/sahkoverkot/. Viitattu 29.9.2018.

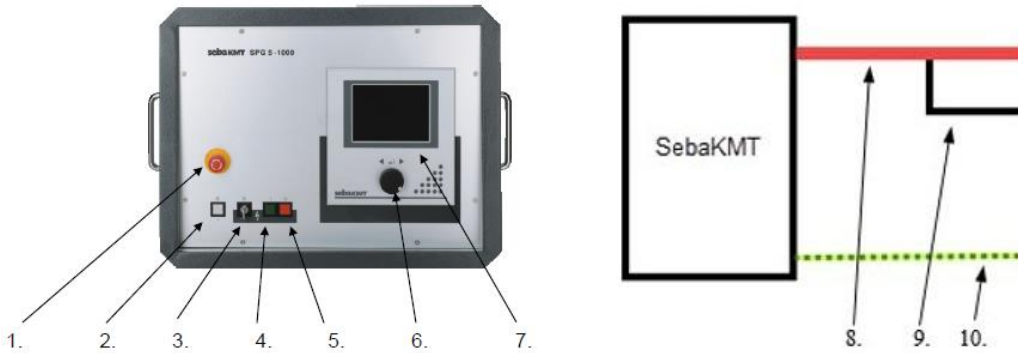
Voiman Oy 2018. Saatavissa: <http://www.voiman.fi/> Viitattu 29.9.2018.

SebaKMT SPG 5-1000 Käyttöohje

Sisältö

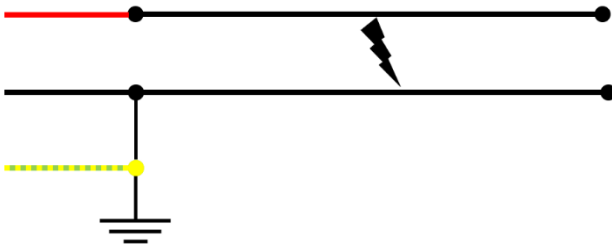
1 Laitteen käyttöpainikkeet ja kaapelit	1
2 Eristysvastusmittaus (Testing)	1
3 Lämpilyöntitesti (Breakdown recognition)	1
4 Esipaikannus (Prelocating)	1
5 Polttaminen (Burning)	1
6 Vian paikannus (Pinpointing)	1
6.1 Äänikenttä/Syöksyaalto (Sound field)	1
6.1.1 Koneen asetukset.....	1
6.1.2 Vianhakulaite	1
6.1.3 Vian etsintä.....	1
6.2 Askeljännite (Step voltage)	1
6.2.1 Koneen asetukset.....	1
6.2.2 Vianhakulaite	1
6.2.3 Vian etsintä.....	1

1 Laitteen käyttöpainikkeet ja kaapelit



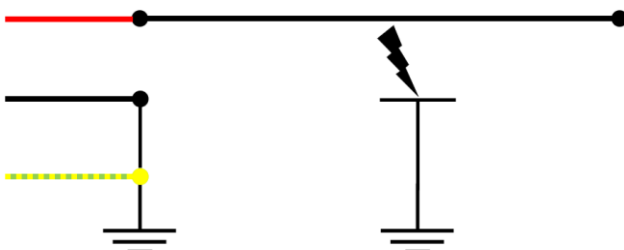
- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Hätäsammutus | 6. Valintakytkin |
| 2. Päälle-Pois | 7. Näyttö |
| 3. Avainkytkin | 8. Suurjännitekaapeli |
| 4. Mittauksen käynnistys | 9. Referenssikaapeli |
| 5. Mittauksen sammutus | 10. Suojamaadoitus |

Kaapeleiden kytkentä vaihe-vaihe ja vaihe-nolla vikatapauksissa.



- Suurjännitekaapeli kytketään viialliseen vaiheeseen, referenssikaapeli toiseen viialliseen vaiheeseen ja suojamaadoitus maahan. Referenssikaapeliin kytketty johto maadoitetaan samaan pisteeseen suojamaadoituksen kanssa. Loput johtimet maadoitetaan.

Kaapeleiden kytkentä vaippavikatapauksissa.



- Suurjännitekaapeli kytketään kaapelin maadoittamattomaan vaippaan. Referenssikaapeli ja suojamaadoitus maadoitetaan samaan pisteeseen. Loput johtimet maadoitetaan.

2 Eristysvastusmittaus (Testing)

Eristysvastusmittaus toimii kuten muillakin eristysvastusmittareilla. Lisäksi laite pystyy tunnistamaan läpilyöntijännitteen. Eristysvastusmittauksella voidaan myös haarukoida vaippavian paikannukseen soveltuvaa jännitettä.

1. Kytke kaapelit ohjeen mukaan
2. Valitse päävalikosta Testing
3. Aktivoi mittaus valitsemalla HV-ON
4. Aloita mittaus painamalla vihreää nappia
5. Aseta maksimi jännite
6. Aseta ajastin halutessasi
 - Mittaus ajastimella: Läpilyönnin tunnistus aktiivinen
 - Mittaus ilman ajastinta: Pelkkä eristysvastusmittaus
7. Lopeta mittaus valitsemalla HV-OFF tai painamalla punaista nappia

3 Läpilyöntitesti (Breakdown recognition)

Läpilyöntitestillä voidaan löytää viallisen kaapelin läpilyöntijännite, jonka perusteella voidaan valita so- piva jännite poltto- ja syöksyaaltotoimintoihin. Testin käynnistyttyä laite nostaa kaapeliin syötettävää jännitettä automaattisesti, kunnes läpilyönti tapahtuu.

1. Kytke kaapelit ohjeen mukaan
2. Valitse päävalikosta Breakdown recoqnition
3. Aktivoi testi valitsemalla HV-ON
4. Aloita testi painamalla vihreää nappia
5. Valitse maksimi jännite
 - Kun läpilyönti tapahtuu, näytölle ilmestyy läpilyöntijännite ja ilmoitus läpilyönnistä. Läpilyönnin jälkeen testi päättyy automaattisesti.
6. Mikäli läpilyöntiä ei tapahdu, lopeta testi valitsemalla HV-OFF tai painamalla punaista nappia

4 Esipaikannus (Prelocating)

Esipaikannustoiminnolla voidaan esipaikantaa vian sijainti, kun tiedetään kaapelin pituus, poikkipinta- ala sekä osuuksien(jatkojen) määrä. Esim. 2 jatkoa=3 osuutta.

Esivalmistelu

1. Kytke kaapelit ohjeen mukaan
2. Valitse päävalikosta Prelocating
3. Aseta kaapelin tiedot valitsemalla cable data. Alavalikosta cable input voit asettaa kaapelin tiedot
 - Accept old cable data: Käytä edellista kaapelitietoa
 - Modify cable data: Muokkaa edellista kaapelitieto

- Set new cable data: Määritä uusi kaapelitieto
- 4. Aseta kaapelin osuuskien määrä No. of sections
- 5. Aseta kunkin osuuden pituus erikseen vaihtamalla Section valintaa
- 6. Valitse kaapelin poikkipinta-ala Conductor diameter valinnalla
- 7. Valitse kaapelin rakenne Cable type valinnalla
- 8. Valitse kytkentätapa Connection valinnalla
- 9. Vahvista asetukset valitsemalla Continue

Mittaus

- 10. Aktivoi testi painamalla HV-ON
- 11. Aloita testi painamalla vihreää nappia
- 12. Valitse maksimijännite
 - Valitun jännitteen on oltava vähintään läpilyöntijännitteen suuruinen
- 13. Valitse Single pulse
 - Laite purkaa purkaa varauksen vialliseen kaapeliin ja näyttää vian etäisyyden näytöllä
- 14. Lopeta testi valitsemalla HV-OFF tai painamalla punaista nappia

5 Polttaminen (Burning)

Polttotoiminnolla voidaan polttaa suuriresistanssinen vika pieniresistanssiseksi, jolloin vika on mahdollista paikantaa. Polttaminen aloitetaan suurella jännitteellä läpilyönnin aikaansaamiseksi. Kun läpilyönti on tapahtunut, voidaan jännitettä pienentää ja vastaavasti virtaa kasvattaa polton aikaansaamiseksi. Polttaminen tapahtuu vakio teholla.

- 1. Kytke kaapelit ohjeen mukaan
- 2. Valitse päävalikosta Burning
- 3. Aktivoi poltto painamalla HV-ON
- 4. Aloita polttotoiminto painamalla vihreää nappia
- 5. Valitse maksimi jännite, jonka jälkeen valitse automaatti- tai manuaalipolttaminen
 - 5.1. Automaattitoiminto
 - Laite polttaa vikaa automaattisesti vakio teholla. Polttojännite laskee automaattisesti seuraavaan alemman jännite tasoon ja samalla polttovirta kasvaa.
 - 5.2. Manuaalitoiminto
 - Manuaalipoltossa jännite sekä polttovirta on määriteltävä erikseen. Virta on rajoitettu esiasetuksella 30% maksimivirrasta.
 - Polttovirta seuraa jännitettä, joten polttovirtaa pystyy säätämään jännitettä säätämällä

Jännitealueet ja maksimivirrat:

5000 V/100 mA

2000 V/ 250 mA

500 V/1000 mA

- 6. Lopeta polttaminen valitsemalla HV-OFF tai painamalla punaista nappia

6 Vian paikannus (Pinpointing)

Laitteella voidaan paikantaa vaippavika ja oikosulku. Vaippavian paikannukseen käytetään askeljännitemenetelmää ja oikosulun paikantamiseen äänikenttämenetelmää.

6.1 Äänikenttä/Syöksyaalto (Sound field)

Äänikenttämenetelmä perustuu vialliseen kaapeliin lähetettävään syöksyaaltoon. Syöksyaalto aiheuttaa vikakohdassa läpilyönnin, josta aiheutuu ääntä, jonka perusteella vika on mahdollista paikantaa. Käytä syöksyjännitteenä riittävän suurta jännitettä läpilyönnin aikaansaamiseksi, mutta kuitenkin mahdollisimman pientä jännitettä lisävaurioiden välttämiseksi. Ennen syöksyaaltomittausta vika kannattaa **esipaikantaa**, jolloin mikrofonin kanssa osataan mennä valmiiksi lähelle mahdollista vikapaikkaa.

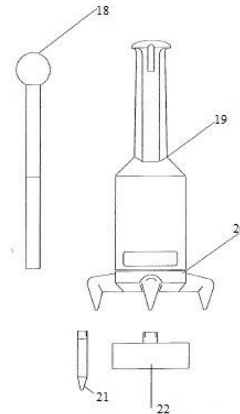
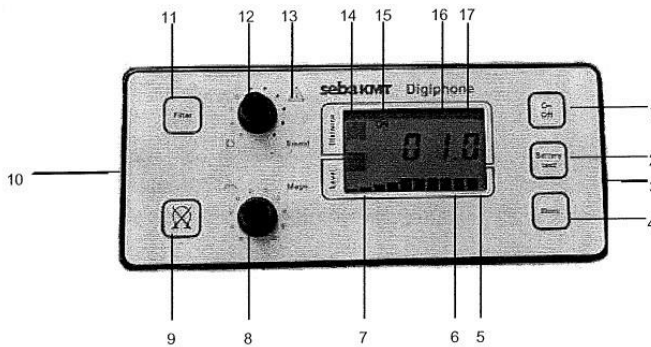
6.1.1 Koneen asetukset

1. Kytke kaapelit ohjeen mukaan
2. Valitse päävalikosta Pinpointing → Sound field
3. Esivalitse syöksyjännite
4. Aktivoi mittaus valitsemalla HV-ON
5. Aloita mittaus painamalla vihreää nappia
6. Valitse maksimi jännite
7. Valitse yksittäinen pulssi tai ajastetut pulssit 3-10 sekunnin väliltä
8. Lopeta mittaus valitsemalla HV-OFF tai painamalla punaista nappia

Jännitealueet ja tehot 2 kV alueella
2000 V/ 1000 J
1000 V/ 250J

Jännitealueet ja tehot 4 kV alueella
4000V/1000J
2000V/250J

6.1.2 Vianhakulaite



- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Päälle-Pois | 12. Äänen voimakkuuden säätö |
| 2. Patteritesti | 13. Merkki |
| 3. Maamikrofonin liitäntä | 14. Äänikentän näyttö |
| 4. Näytön valo | 15. Päällä -merkki |
| 5. Magneettikentän voimakkuus/
patterien varaus | 16. Ylipäästö suodatin käytössä |
| 6. Ääni/magneettikentän voimakkuus | 17. Valaistus käytössä |
| 7. Magneettikentän näyttö | 18. Kahva |
| 8. Magneettikentän herkkyyden säätö | 19. Mikrofoni |
| 9. Kuulokkeiden vaimennus | 20. Jalka |
| 10. Kuulokkeiden liitäntä | 21. Piikki |
| 11. Ylipäästö suodatin | 22. Lantti |

6.1.3 Vian etsintä

- Valitse mikrofonin päähän sopiva kärki maan lajin mukaan: Kovalla maalla lantti, pehmeällä maalla piikki.
- Laita mikrofoni maahan nuoli oletetun kaapelireitin suuntaisesti
- Säädä magneettikentän herkkyyttä niin, että mittaussignaali näkyy näytön palkeissa
- Säädä äänen voimakkuutta niin, että ääni on kuultavissa
- Kulje kaapelireittiä pitkin ja laske mikrofoni nuoli kaapelireitin suuntaisesti sopivin lyhyin välimatkoin
- Säädä magneettikentän herkkyyttä ja äänen voimakkuutta tarvittaessa
- Vikapaikkaa lähestyttäessä magneettikentän ja äänikentän ero pienenee
- Vikakohtadassa ääni on selkeästi kuultavilla ja magneettikentän ja äänen ero lyhimmillään
- **Käytännössä vika on löydettävissä pelkällä äänen kuuntelulla!**

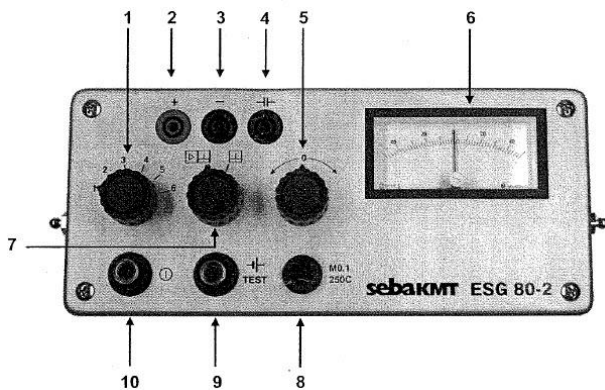
6.2 Askeljännite (Step voltage)

Askeljännitemenetelmä perustuu vialliseen kaapeliin lähetettävään tasajännitepulssiin, joka vuotaa viikakohdassa maahan. Vikakohtaan syntyy jänniteviivakenttä, joka on havaittavissa vianhakulaitteen viisarin heilahduksena. Vikaa lähestyttäessä kentänvoimakkuus kasvaa ja vikakohdan jälkeen kentänvoimakkuuden polariteetti vaihtuu. Polariteetin vaihtumiskohta on vian sijainti. Käytä vian etsinnässä enintään 5 kV jännitettä PE-eristeisillä kaapeleilla ja 2 kV jännitettä PVC-eristeisillä kaapeleilla. Useimmiten riittää huomattavasti pienempikin jännite. Sopivaa jännitettä voi haarukoida eristysvastusmittauksen jännitteellä, jolla vikakohdasta saadaan kulkemaan virtaa maahan.

6.2.1 Koneen asetukset

1. Kytke kaapelit ohjeen mukaan
2. Valitse päävalikosta Pinpointing → Step voltage
3. Aktivoi toiminto valitsemalla HV-ON
4. Aloita toiminto painamalla vihreää nappia
5. Valitse sopiva jännite, jolla läpilyönti maahan saadaan aikaan
6. Valitse pulssi vaihtoehdoista tasajännite (DC), 1:3, 1:4 tai 1:6
7. Valitse maksimi virta. Virran kulku vikakohdasta maahan on edellytys vian löytymiselle.
8. Lopeta etsintä valitsemalla HV-OFF tai painamalla punaista nappia

6.2.2 Vianhakulaite



1. Herkkyyden säätö
2. +Maapikin liitântä
3. -Maapiikin liitântä
4. -Maapiikin liitântä eristyskondensaattorin kautta
5. Kompensoinnin säätö
6. Indikaattorinäyttö
7. Vahvistin päälle-pois
8. Sulake
9. Patteritesti
10. Päälle-Pois nappi

6.2.3 Vian etsintä

Vikaa etsitään kulkemalla kaapelireittiä pitkin ja painamalla maapiikit maahan sopivin välimatkoin. Piikit kannattaa painaa maahan esim. 15 metrin välein ja kun neulassa alkaa näkyä liikettä, väliä kannattaa tihentää. Kun neulan heilahdus vaihtaa suuntaa, on kuljettu vikapaikan ohi. Tämän jälkeen palataan taaksepäin, kunnes suunta vaihtuu uudelleen. Tätä jatketaan, kun vika on saatu haarukoitua tarpeeksi tarkasti. Heilahduksen suunnan vaihtumiskohta on vikapaikka.

- Pidä maapiikit aina samassa järjestyksessä, eli sama piikki aina esim. vianhakulaitteen puolella!
- **Virran kulkeminen vikakohtasta maahan on vian löytymisen edellytys.** Normaalisti reilu 20 mA riittää.
- Aluksi herkkyys kannattaa pitää isolla ja lähestyttäessä vikakohtaa sitä kannattaa pienentää. Liian herkällä asetuksella viisari heilahtaa asteikosta yli helposti tai ei mahdu asteikkoon ollenkaan.
- Mitä pidempi maapiikkien (+ ja – piikki) väli, sitä suuremman sähkökentän mittari havaitsee ja sitä helpommin vika on löydettävissä.
- Kompensoinnilla säädetään neula asteikon keskelle, jotta heilahdus voidaan havaita. Jos neula ei pysy luettavalla alueella, paina piikkejä syvemmälle paremman kontaktin saamiseksi tai vaihda vähän paikkaa. Sääda tarvittaessa neula luettavalle alueelle kompensoinnilla.
- Liitä – maapiikki eristyskondensaattorin kautta, jos alueella on häiriöitä aiheuttavia komponentteja. (Esim. Sähkörata)