

Miika Vehmasto

## SÄHKÖASEMAN KOESTAMINEN

Sähkötekniikan koulutusohjelma  
2016

# SÄHKÖASEMAN KOESTAMINEN

Vehmasto, Miika  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Syyskuu 2016  
Ohjaaja: Nieminen, Esko  
Sivumäärä: 50  
Liitteitä: 13

Asiasanat: sähköasema, koestus, suojaus

---

Opinnäytetyössä selvitettiin miten sähköasemien yleisimpien suojausfunktioiden ja kojeiden koestus suoritetaan käyttämällä Sverker 900 koestuslaitetta. Opinnäytetyöhön sisältyi lisäksi yleisten koestusohjeiden ja kytkentäkuvien laatiminen koestettava sähköasemaa.

Se tehtiin syksyn 2016 aikana ja osana Satakunnan ammattikorkeakoulun sähkötekniikan koulutusohjelmaa. Opinnäytetyön ohjaajana toimi lehtori Esko Nieminen ja työn tilaajan edustajana kehityspäällikkö Ari Pätsi.

## TESTING OF SUBSTATION

Vehmasto, Miika

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

Month 2016

Supervisor: Nieminen, Esko

Number of pages: 50

Appendices: 13

Keywords: substation, testing, protection relay

---

The purpose of this thesis was to find out how testing of different protection functions of protection relay can be done by using Sverker 900. Thesis also included drafting of testing instruction and drawings about how to connect device to the system to being tested.

Thesis was made for VEO Oy during autumn of 2016. It was made as part of programme in electrical engineering of Satakunta University of Applied Sciences. As instructor of this thesis was lecturer Esko Nieminen and development manager Ari Pääsi represented VEO Oy.

## SISÄLLYS

KÄYTETYT MERKINNÄT .....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 VEO OY .....	8
3 SÄHKÖASEMA .....	10
3.1 Sähköasema yleisesti .....	10
3.2 110 kV kojeet .....	11
3.2.1 Katkaisija .....	11
3.2.2 Erotin .....	13
3.2.3 Mittamuuntajat .....	15
3.2.4 Ylijännitesuoja.....	18
3.2.5 Päämuuntaja .....	20
3.3 Keskiännitekojeisto.....	23
3.4 Automaatiojärjestelmät .....	25
4 RELESUOJAUS .....	26
4.1 Verkon suojaus.....	26
4.2 Relesuojauksen toiminnalliset vaatimukset .....	27
4.3 Selektiivisyys .....	28
4.4 Jälleenkytkennät.....	29
5 TÄRKEIMMÄT SUOJAUSFUNKTIOT .....	30
5.1 Ylivirta .....	30
5.2 Yli- ja alijännite sekä nollajännite .....	31
5.3 Maasulkusuoja.....	32
5.4 Vaihekatko- ja vinokuormasuoja.....	33
5.5 Distanssisuoja .....	33
5.6 Differentiaalisuoja.....	34
5.7 Katkaisijavikasuoja .....	35
5.8 Valokaarisuoja .....	36
6 KOESTUS .....	38
6.1 Suurjännitekatkaisijan koestus .....	39
6.2 Erottimen koestus.....	40
6.3 Suurjännitevirtamuuntaja .....	40
6.4 Suurjännitejännitemuuntajan koestus .....	41
6.5 Maadoituksen eheys .....	41
6.6 Suojausfunktioiden koestus .....	42
7 SVERKER 900.....	43

7.1	Liitännät .....	43
7.2	Käyttöliittymä .....	44
7.3	Käyttö koestuksessa .....	48
TIIVISTELMÄ .....		49
LÄHTEET .....		50
LIITTEET		

## KÄYTETYT MERKINNÄT

A	Ampeeri
I	Virta
V	Voltti
U	Jännite
VA	Volttiampeeri
f	Taajuus
Hz	Hertsi
$\Omega$	Ohmi
P	Pätöteho
Q	Loisteho
S	Näennäisteho
$\varphi$	Vaihe-ero
G	Konduktanssi
B	Suskeptanssi
Y	Admittanssi
AC	Vaihtovirta
DC	Tasavirta
N	Käämin kierrosluku
PJK	Pikajälleenkytkentä
AJK	Aikajälleenkytkentä
$I_e$	Maasulkuvirta
$\omega$	Kulmataajuus
$C_0$	Maakapasitanssi
SF6	Rikkiheksafluoridi
ONAF	Oil Natural Air Forced
ONAN	Oil Natural Air Natural
OFAF	Oil Forced Air Forced
OFWF	Oil Forced Water Forced

## 1 JOHDANTO

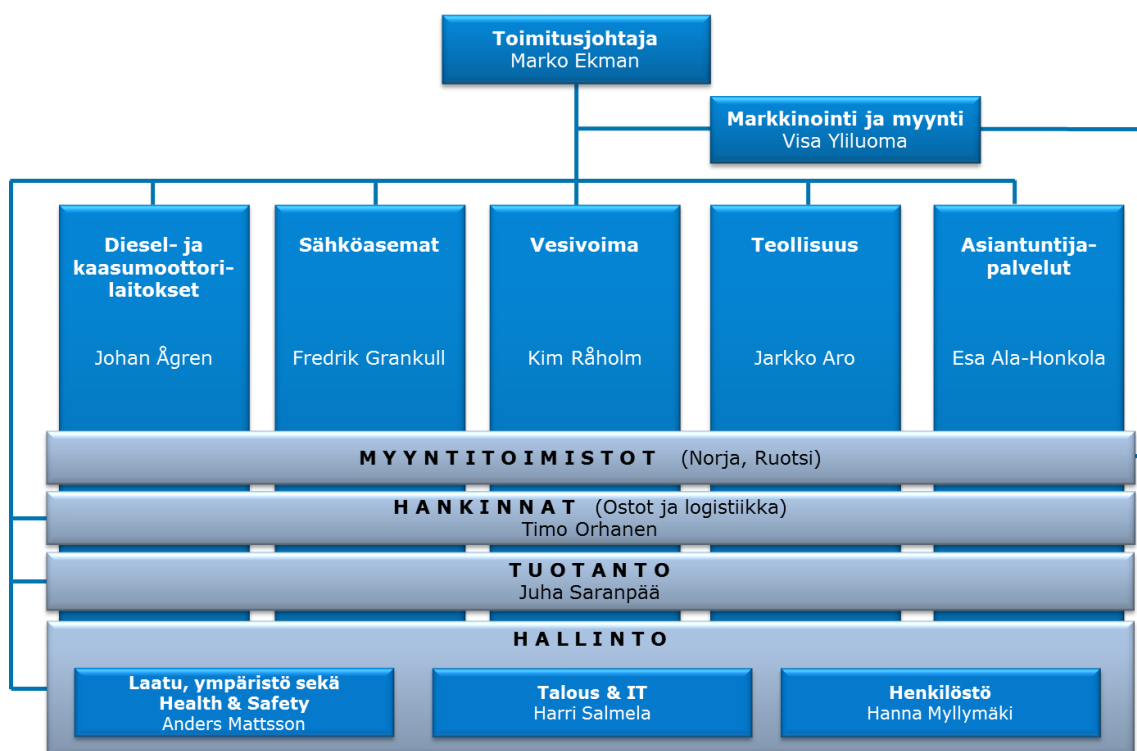
Opinnäyte työ tehtiin syksyn 2016 aikana VEO Oy:lle. Työn tarkoituksena oli perehtyä sähköasemien koestamiseen käyttäen yritykseen hankittua Megger Sverker 900 koestuslaitetta ja laatia sen käytöstä koestusohjeet ja kytkentäkuvat kullekin suojausfunktiolle ja kojeelle.

Työhön kuuluneet koestusohjeet ja kytkentäkuvat pyrittiin tekemään mahdollisimman yksinkertaisiksi ja yleispäteviksi, jotta niitä voidaan soveltaa yleispätevästi erilaisten kojeistojen koestuksessa.

Varsinaisen sähköasemien koestuksen ja koestuslaite Sverker 900 lisäksi opinnäytetyössä käsitellään sähköasemia ja relesuojausta yleisesti ottaen. Tämä on tarpeen, jotta voidaan ymmärtää koestuksen merkitys laitteiston toiminnallisen varmuuden varmistamisessa. Opinnäytetyö esittelee sähköaseman toimintaa ja sen eri kojeiden toimintaa ja merkitystä, relesuojauksen tarkoituksen, toimintaperiaatteen sekä perusfunktiot. Lopuksi työssä esitellään Sverker 900 sekä sen käyttöä koestuksessa.

## 2 VEO OY

VEO Oy on Vaasassa vuonna 1989 nimellä Vaasa Engineering perustettu energia-alan moniosaaja. Yritys työllisti vuonna 2015 noin 350 henkilöä pääosin Suomessa, mutta sillä on myös myyntikonttorit Ruotsissa ja Norjassa. Suomessa pääkonttori sijaitsee Vaasassa ja muut konttorit Seinäjoella, Paimiossa ja Rovaniemellä. VEO:n päämarkkina-alueina toimivat Pohjoismaat ja Iso-Britannia. Viennin osuus yrityksen liikevaihdosta on yli 70 %. Liikevaihto vuonna 2015 oli 74 miljoonaa euroa. (VEO vuosikertomus 2015 ja yhtiön esite.)



Kuva 1. VEO Oy organisaation rakenne (VEO intra)

Seuraavasta listauksesta käy ilmi VEO:n eri liiketoimintayksiköiden toiminta ja niiden tuottamat ratkaisut eri aloille:

- Diesel- ja kaasuvoimalaitokset liiketoimintayksikkö toimittaa automaatio- ja sähköistysratkaisuja voimalaitoksiin laitoksen käyttämästä polttoaineesta riippumatta.
- Sähköasemat liiketoimintayksikkö toimittaa avaimet käteen periaatteella kokonaisratkaisuja sähköasemien sekä suorittaa vanhojen asemien saneerauksia.



- Vesivoima liiketoimintayksikkö toimittaa myös avaimet käteen periaatteella kokonaisvaltaisia järjestelmiä ja laitteistoja sekä uusiin että vanhoihin voimaloihin.
- Teollisuus liiketoiminta yksikkö tarjoaa laaja-alaisesti erilaisille teollisuuden aloille sähkönkäyttö- ja -jakelu sekä ohjausjärjestelmiä.
- Asiantuntijapalvelut tarjoaa sähkö- ja automaatio kunnossapitopalveluita.

Edellä mainittujen liiketoimintayksiköiden lisäksi VEOlla on oma kojeistotehdas Vaasassa. Kojestotehtaalla VEO valmistaa omalla tuotemerkillään keskijännitekojeistoja, pienjännitekojeistoja, sähkönkäyttö- ja ohjauskeskuksia. Kojestotehdas ja sen tuotanto ovat omalla alallaan tällä hetkellä Pohjoismaiden suurimmat.

Yhtiön omia, Vaasassa valmistettavia, tuotemerkkejä ovat:

- VEKE keskijännitekojeisto
- VEDA pienjännitekojeisto
- VEBA pienjännitekojeistojärjestelmä



Kuva 2. VEO:n VEKE keskijännitekojeisto (VEO verkkosivut)

### 3 SÄHKÖASEMA

#### 3.1 Sähköasema yleisesti

Sähköasema on siirto- tai jakeluverkon solmukohta. Sen tehtävänä on toimia paikkana, jossa voidaan suorittaa verkon käyttöön liittyviä toimenpiteitä. Tällaisia toimenpiteitä ovat verkon kytkentöjen muutokset, jännitetasojen muuntamiset ja verkon eri osien erottaminen toisistaan. Sähköasemat voidaankin jakaa käyttötarkoituksiensa mukaan kahteen ryhmään: kytkin- ja muuntoasemiin. Kytkeinlaitos on paikka, jossa verkon eri piirejä voidaan hallitusti ja turvallisesti yhdistää ja erottaa toisistaan. Muuntoaseman tehtävänä on toimia paikkana, jossa suoritetaan jännitetason muutos esim. suurjännitteestä keskijännitteeksi. Sähköasemilla suoritetaan myös valta-osa sähköverkkoon liittyvistä suojaus-, ohjaus- ja valvontatoimenpiteistä.

Tyypillisesti sähköaseman voidaan sanoa koostuvan: sähköverkkoon kytketyistä pääpiirin kojeista ja sisäiseen verkkoon kytketyistä apulaitteista ja niiden tehonsyöttölaitteista.



Kuva. 3 Eräs 110/20 kV muuntoasema.

## 3.2 110 kV kojeet

### 3.2.1 Katkaisija

Katkaisija on suojalaite, joka kykenee turvallisesti katkaisemaan virtapiirin äkillisesti normaalissa kuormitustilanteessa sekä vikatilanteessa siten, ettei se itse kuitenkaan vaurioidu. Katkaisija pyrkii tekemään katkaisun vaihevirran minimissä, jolloin syntynyt valokaari sammuu helpoiten. (Elovaara & Laiho, 1988, 245.)

Katkaisijat voidaan jakaa ryhmiin sammutusväliaineensa mukaan:

- ilmatäytteiset katkaisijat
- öljytäytteiset katkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF<sub>6</sub>-katkaisijat
- tyhjökatkaisijat

(Elovaara & Laiho, 1988, 250.)

Ilmatäytteiset katkaisijat ovat ensimmäisiä kehitettyjä katkaisijoita. Nykyään niitä käytetään lähinnä pienjännitteellä, sillä sen katkaisukärjet ovat normaalissa ilmanpaineessa eivätkä täten anna riittävää sähkölujuutta suuremmilla jännitteillä. Suuremmilla jännitteillä ilmakatkaisijat on varustettu magneettisella puhalluksella. Sen tarkoituksena on ohjata valokaari katkaistavan virran muodostaman magneettikentän avulla sammutuskammioon. Tämä helpottaa valokaaren sammutusta huomattavasti.

Öljytäytteisiin katkaisijoihin kuuluu perinteiset mineraaliöljy täytteiset öljykatkaisijat sekä uudemmat vähäöljykatkaisijat. Molemmissa valokaaren katkaisu perustuu öljyn höyrystymiseen valokaaren seurauksena. Höyry ja sen kehittämän paineen nousun seurauksena valokaari alkaa jäähtyä. Perinteisten öljykatkaisijoiden vaatiman suuren öljyn määrän vuoksi öljytäytteisiä katkaisijoita ei enää asenneta uusiin tai saneerattaviin sähköasemiin, vaan ne ovat korvautuneet kehittyneemmillä katkaisijatekniikoilla. Vähäöljykatkaisijat ovat öljykatkaisijoiden kaltaisia ja sisältävät sammutuskammion jossa höyrystynyt öljy sammuttaa valokaaren. Erona niissä perinteisiin öljykatkaisijoihin verrattuna on niiden sisältämän öljyn huomattavasti pienempi määrä.

SF6-katkaisijoissa valokaaren sammutuskammiossa sammutusväliaineen toimii rikikiheksafluoridi. Sen käyttö nykyaikaisissa katkaisijoissa on yleistynyt sen hyvien käyttöominaisuuksien vuoksi. SF6-kaasun hyviä ominaisuuksia ovat: suuri jännitekestoisuus, palamattomuus, kemiallinen stabiilisuus, hyvä valokaarenjäähdytyskyky ja myrkyttömyys. Keskijännitekatkaisijoihin on kehitetty valokaaren katkaisua helpottavaa tekniikkaa, joka perustuu katkaistavan virran aiheuttamaan magneettikenttään. Siinä magneettikenttä pyörittää valokaarta ja saa täten aikaan kaasun virtausta ja valokaaren sammumista. Kaasunvirtausta voidaan tuottaa myös perinteisellä sylinterijärjestelmällä. Nykyään yleisin 110kV jännitetasolla käytettävä katkaisijatyyppe on SF6-katkaisija. (Elovaara & Laiho, 1988, 259.)



Kuva 4. 110 kV katkaisija

Tyhjökatkaisija muistuttaa ulkoisesti SF6-katkaisijaa, mutta sen valokaaren katkaisukammio on täytekaasun sijaan lähes tyhjiö. Tyhjiössä ilman sähkölujuus on erinomainen. Rakenteeltaan se on hyvin yksinkertainen, sillä siinä katkaisukärjistä toinen on kiinteä ja toinen on liikkuva. Toimintaperiaatteena tyhjökatkaisijassa on, että laukaisutilanteessa liikkuva kosketin alkaa erkautua kiinteästä koskettimesta, jolloin ilmaan alkaa höyrystyä ionisoitunutta metallihöyryä jonka kautta valokaari johtuu. Virran saavuttaessa nollakohtansa tapahtuu ionisaation katoaminen ja tämän seurauksena metallihöyryn tiivistyminen. Metallihöyryn tiivistymisestä seuraa valokaaren sammuminen. Vaikka katkaisija erottaa verkon osat toisistaan, niin se ei kuitenkaan muodosta riittävän luotettavaa erotusväliä, vaan piirissä on oltavat lisäksi erotin. (Elovaara & Laiho, 1988, 260.)

### 3.2.2 Erotin

Erottimen tarkoituksena muodostaa riittävän luotettava erotusväli erotettavan kohteen ja laitteiston muiden osien välille turvallista työskentelyä varten. Tästä syystä erottimen koskettimien avausvälin on oltava sähkölujuudeltaan suurempi kuin ympäristön ja muun eristykseen sähkölujuus. Erottimen koskettimien tila on oltava selkeästi silmin nähtävissä tai se on muutoin varustettava erotuskytkimellä, jonka tulee olla luottava mekaaninen asennonosoitin.

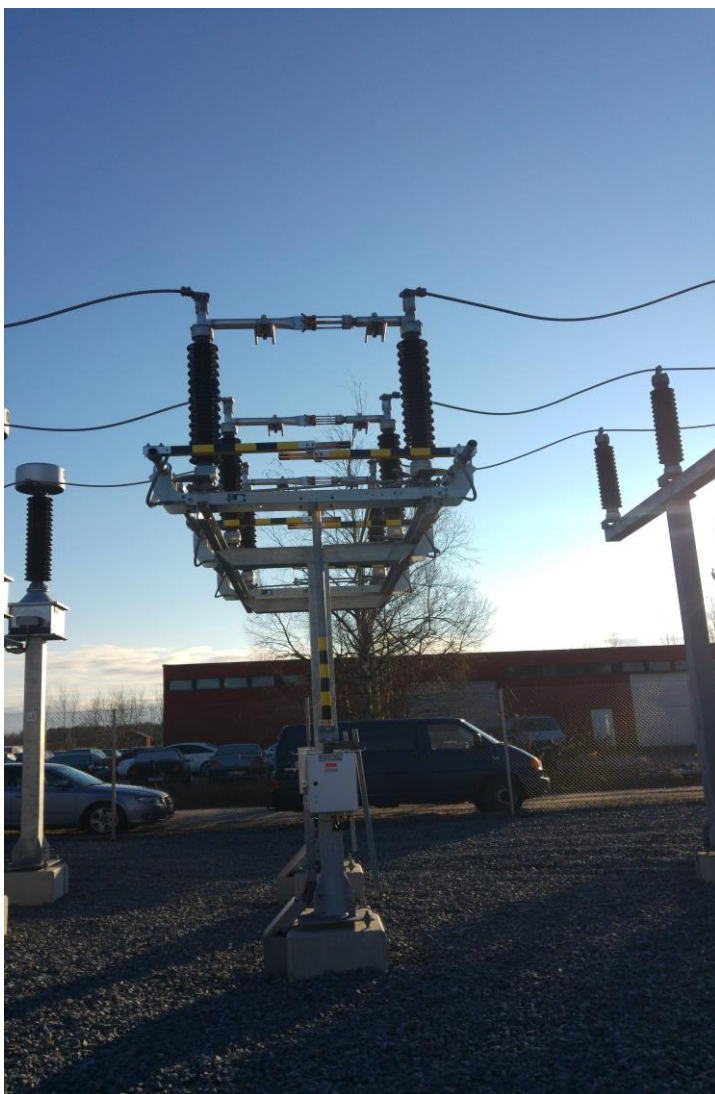
Avausvälin riittävän sähkölujuuden lisäksi erottimella on myös muita toiminnallisia vaatimuksia. Sen tulee kyetä kiinni ollessaan johtamaan virtapiirissä kulkeva normaalin käyttötilanteen kuormitusvirta ja kestettävä vikatilanteessa sen kautta johtuvan oikosulkuvirran vaikutukset ilman, että se vaurioituu, avautuu tai lämpenee liiaksi. Sen pääkoskettimia on oltava mahdollista avata ja sulkea vain ja ainoastaan erottimen ollessa kuormasta erotettuna vaikka se kykenisikin erottamaan pienen kuorman. Lisäksi erotin tulee voida lukita siten, että sen vaaraa aiheuttava käyttö on estetty. Erotin ei toisin sanoen ole tarkoitettu kuormallisen virtapiirin katkaisuun, eikä se täten kykene katkaisemaan vikavirtaa kuten katkaisija.

Perinteisten erottimien lisäksi on olemassa maadoituserottimia. Ne eroavat perinteisistä erottimista siten, että ne sisältävät maadoitusveitset, joiden avulla voidaan maa-

doittaa erottimella erotettu virtapiiri. Täten voidaan suojautua vikavirroilta ja induoituneilta jännitteiltä verkossa työskennellessä.

On myös olemassa kuormaerottimia. Ne ovat tavallaan erottimen ja katkaisijan väli-  
muotoja, sillä ne kykenevät perinteisten erottimien tapaan luomaan riittävän turvallisen avaus välin, mutta tämän lisäksi katkaisemaan nimellisen kuormitusvirran. Normaalin erottimen lisäksi ne on varustettu erillisillä kipinäveitsillä ja sammutuskammioilla. Tällaisia erottimia ei kuitenkaan yleensä ole sähköasemilla käytössä, vaan niitä käytetään lähinnä jakelumuuntamoiden katkaisijan korvaajana. Kuormaerotin on siis lähinnä 20 kV jännitetasolla käytettävä komponentti ja täten harvinainen sähköasemilla.

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



Kuva 5. 110 kV erotin

### 3.2.3 Mittamuuntajat

Mittamuuntajaa on erikoisrakenteinen muuntaja jota käytetään jännitteen tai virran mittaukseen ja virtapiirien suojaukseen. Niiden pääasialliset tehtävät ovat:

- mittauspiirien eristäminen mitattavasta piiristä
- mittalaitteiden suojaus
- mittalaitteiden ja releiden mahdollinen sijoitus muualle kuin mittauspaikalle
- mitattavien suureiden muuttaminen mittalaitteille sopiviksi

Suurimman osan mittamuuntajista toimintaperiaate perustuu sähkömagneettiseen induktioon, mutta myös kapasitiivisia jännitteenmuuntajia ja kapasitiivisen ulostulon sisältämiä virtamuuntajia on olemassa. Tulevaisuudessa mittamuuntajat tulevat kehittymään kohti optoelektroniikkaa hyödyntävää teknologiaa. Tällä hetkellä ne ovat kuitenkin hyvin kalliita ja kilpailukykyisiä perinteisiin mittamuuntajiin nähden vasta 400 kV ja sitä suuremmilla jännitteillä. (Elovaara & Laiho, 1988, 487.)

JÄNNITEMUUNTAJA

Malli	UTD-123	Nro	
U <sub>PR</sub>	A-N	110000/V3	kV
U <sub>SR</sub>	a-n	da-dn	
Toisio	100/V3	100/3	V
VA	100	30	
Luokka	0,2	3P	
Standardi	IEC 61869-3:2011		
Öljylaji	NYNAS NYTRO 10XN		
Lämpöt.alue	-40/+40°C		

kV	123/230/550
Hz	50
Nimellisjännitekerroin	
1.9Un30s	
Term.Taak.800 VA	

Kokonaispaino	300	kg	Öljyn paino	85	kg
---------------	-----	----	-------------	----	----

TÄRKEÄÄ: HERMEETTISESTI SULJETTU, AVAAMINEN KIELLETTY

TÄRKEÄÄ: HERMEETTISESTI SULJETTU, AVAAMINEN KIELLETTY

Kuva 6. Erään jännitemuuntajan arvokilpi

Edellisessä kuvassa on teksti: ”Tärkeää: hermeettisesti suljettu. Avaaminen kielletty.” Se merkitsee, että kyseinen mittamuuntaja on öljytäytteinen ja ilmatiiviisti suljettu. Ilmatiiviisti sulkeminen on tarpeen, sillä mittamuuntajan sisältämän öljyn ei ole suotavaa joutua alttiiksi ilman kosteudelle. Tällaisia mittamuuntajia käytetään useimmiten ulkoasennuksissa.



Jännitemuuntajille ilmoitettavat tekniset tiedot:

- $U_{PR}$ , joka ilmaisee nimellisen ensiöjännitteen
- $U_{SR}$ , joka ilmaisee nimellisen toisiojännitteen
- $S_n$ , joka ilmaisee suurimman nimellistaakan, jolla jännitemuuntaja pysyy tarkkuusluokassaan. Yksikkönä käytetään VA.
- Tarkkuusluokka, joka ilmaisee kuinka suuria jännitevirhe sekä kulmavirhe maksimissaan ovat kuormitettaessa jännitemuuntajaa 80–120% mitoitusjännitteellä. Kirjain P arvon perässä ilmaisee, että kyseessä on suojauskäämille tarkoitettu luokka.
- Nimellisjännitekerroin ilmaisee kuinka monikertaiseksi ensiöjännite voi nousta, ja että muuntajaa voidaan silti vielä käyttää määritelty aika.



Kuva 7. Kolme 110 kV jännitemuuntaja



# VIRTAMUUNTAJA

Nro 2015 IEC 61869-2:2012

Eristystaso: 123/230/550 kV

l<sub>pn</sub>: 400A l<sub>cth</sub>: 120% f<sub>N</sub>: 50Hz Öljyn paino: 40kg  
 l<sub>th</sub>: 31,5kA 1s I<sub>dyn</sub>: 80kA T : -40/+40°C Kokonaispaino: 240kg

Toisio	1S1-1S2	2S1-2S2	3S1-3S2					
I <sub>pr</sub> (A)	400	400	400					
I <sub>sr</sub> (A)	200	200	200					
I <sub>sr</sub> (A)	5	5	5					
Taakka (VA)	30	30	30					
Luokka	0.2S	5P	5P					
SF-ALF	5	20	20					
Sisätoakka ~								
Öljylaji	NYNAS NYTRO 10XN							

TÄRKEÄÄ: HERMEETTISESTI SULJETTU. AVAAMINEN KIELLETTY

Kuva 8. Erään virtamuuntajan arvokilpi

Virtamuuntajille ilmoitettavia teknisiä tietoja:

- I<sub>PR</sub>, joka ilmaisee nimellisen ensiövirran
- I<sub>SR</sub>, joka ilmaisee nimellisen toisiovirran
- S<sub>n</sub>, joka ilmaisee suurimman nimellistaakan, jolla virtamuuntaja pysyy tarkkuusluokassaan. Yksikkönä käytetään VA.
- F<sub>s</sub>, joka ilmaisee mittarivarmuuskertoimen, eli monikokertainen ensiövirta tuottaa virta- ja kulmavirheenä yhteensä vähintään 10 % virheen.
- I<sub>dyn</sub>, joka ilmaisee kuinka suuren virran dynaamiset vaikutukset virtamuuntaja kestää toisio oikosuljettuna.
- I<sub>th</sub>, joka ilmaisee kuinka suuren virran termiset vaikutukset virtamuuntaja kestää yhden sekunnin ajan toisio oikosuljettuna.



Kuva 9. Kaksi 110 kV virtamuuntajaa

#### 3.2.4 Ylijännitesuoja

Ylijännitesuojan tehtävänä on suojata tärkeitä ja kalliita kohteita, kuten muuntajaa erityistä johtuvilta ylijännitteiltä. Ylijännitteet voidaan jakaa kolmeksi ryhmäksi: pienitaajuiset, kytkentä- ja ilmastolliset ylijännitteisiin. Edellä mainitut ylijännitteet eroavat toisistaan kestoajojensa ja syntymekanismiensa mukaan. Esimerkiksi verkon kytkinlaitteiden, kuten katkaisijoiden toiminnasta johtuvat ylijännitteet ovat kestoltaan aina alle 20 ms, eli alle 50 Hz taajuisen signaalin jaksonajan.

Erilaisia ylijännitteitä vastaan voidaan suojautua eri tavoin. Esimerkiksi pienitaajuisilta ylijännitteiltä voidaan parhaiten suojautua oikeanlaisella verkon suunnittelulla, sillä ne johtuvat useimmiten verkossa tapahtuvista vioista. Ilmastolliset ylijännitteet, jotka pääosin johtuvat salaman iskusta siirtolinjaan aiheuttavat hyvin jyrkkiä ja suurienergisiä ylijännitetransientteja. Niiltä voidaan suojautua venttiilisuojoilla ja ukkosköysillä, jotka kiinnitetään siirtolinjaan vaihejohtimien yläpuolelle. Tarkoituksena on, että ukkonen iskisi vaihejohtimen sijaan ukkosköyteen ja johtuisi sitä kautta maahan. Sähköasemilla voidaan myös käyttää ukkosmastoa. Kytkeytylijännitteiltä voidaan parhaiten suojautua käyttämällä venttiilisuoja.

Venttiilisuoja voi olla tyypiltään joko kipinävälillinen tai kipinävälitön. Kipinävälilliset suojat rakenteeltaan yksinkertaisia ja halpoja, mutta niiden huonona puolena on sen toiminnasta syntyvä maasulku. Sähköasemilla käytettävät venttiilisuojat ovat poikkeuksetta kipinävälittömiä. Ne ovat käytännössä katsoen maan ja suojattavan kohteen välille kytkettäviä sinkkioksidista valmistettuja epälineaarisia vastuksia.



Kuva 10. Koronasuojilla varustetut ylijännitesuojat

(ABB, <http://new.abb.com/high-voltage/surge-arresters/high-voltage-arresters>)

### 3.2.5 Päämuuntaja

Sähköasemalla päämuuntaja tarkoittaa muuntajaa, jolla on tarkoitus muuntaa siirtojännite 20 kV jakelujännitteeksi. Suomessa siirtoverkossa käytettävät jännitteet ovat 110, 220 ja 400 kV ja keskijänniteverkossa 20 kV. Teollisuusverkoissa tyypillinen jännite on 10 kV. 110/20 kV muuntoasemilla käytettävän päämuuntajan nimellisteho on 10–50 MVA. Samalla sähköasemalla voi olla useampikin päämuuntaja.

Muuntajan toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Tämä tarkoittaa, että kytkettäessä vaihtojännite rautasydämen ympärille olevaan ensiökäämiin, muodostuu rautasydämeen muuttuva magneettikenttä. Rautasydämen toiselle puolella olevaan toisiokäämiin indusoituu tämän seurauksena vaihtojännite. Muuntajan muuntosuhde tarkoittaa ensiöön muodostetun ja toisioon indusoituneen jännitteen suhdetta. Tämä suhde ideaalisessa muuntajassa voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Kuten edellä olevasta yhtälöstä voidaan todeta, niin ideaalisessa muuntajassa ensiön teho on yhtä kuin toisioion teho. Näin ei kuitenkaan käytännössä katsoen ole vaikka tehomuuntajien hyötysuhde onkin hyvin korkea. Muuntajissa tehohäviöitä aiheuttavat tyhjäkäynti eli rautahäviöt, jotka johtuvat magneettivuon vaihtelusta rautasydämissä. Kuormitushäviöt, eli virtalämpöhäviöt johtuvat käämien impedanssista.

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

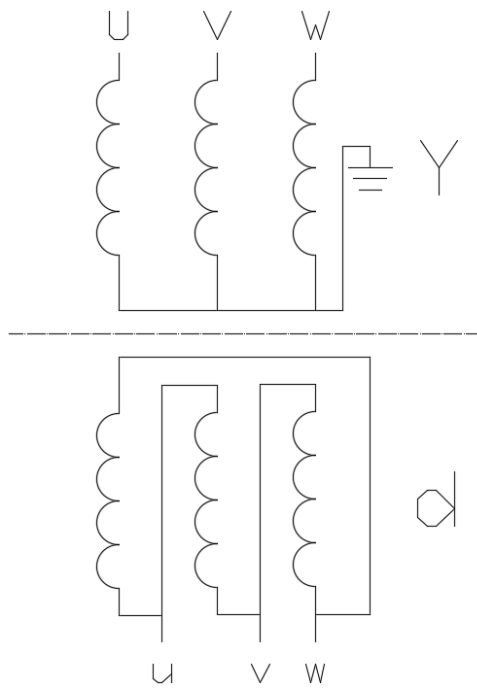
Koska muuntajan häviöt lämmittävät sen rautasydäntä ja käämityksiä ja täten aiheuttaen hyötysuhteen laskua sekä komponenttien ennen aikaista vanhenemista, on muuntajaa jäähdytettävä. Sähköasemilla muuntajat asennetaan ulos ja täten niissä käytettävät jäähdytystavat ovat ONAN (Oil Natural Air Natural) ja ONAF (Oil Natural Air Forced). ONAN tarkoittaa, että muuntajan lämpö siirtyy luonnollisesti öljyn välityksellä radiaattoreille, jotka luovuttavat lämmön ulkoilmaan. ONAF on kuten ONAN, mutta siinä jäähdytystä on tehostettu erillisillä puhaltimilla, jotka puhaltavat ilmaa radiaattorien jäähdytysrimoihin. Lisäksi on olemassa OFAF (Oil Forced Air Forced) ja OFWF (Oil Forced Water Forced) kutsutut jäähdytysmenetelmät. OFAF tarkoittaa pakotettua ilmaa ja öljyn kiertoa, jossa öljyn kiertoa on tehostettu pumppujen avulla ja ilman kiertoa puhaltimien avulla. OFWF eroaa merkittävästi edellä mainituista

jäähdytysmenetelmissä, sillä siinä öljyn jäähdytykseen käytetään ilman sijaan vettä. Tämä tarkoittaa, että radiaattorit on yhdistetty erilliseen vesitäytteiseen lauhduttimeen. Tällaisen jäähdytyksen käyttö jakelu- ja siirtoverkon sähköasemilla on kuitenkin harvinaista.

Muuntajan kytkennät voidaan tehdä kolmella eri tavalla: Y-, D- ja Z-kytkennöillä. Edellä mainituista Y-, eli tähtikytkentä on yleisin sähköasemien muuntajissa yläjännitepuolella käytössä oleva kytkentä. Siinä muuntajan kaikkien vaiheiden toiset päät on kytketty yhteen, ja niiden avulla muodostetaan tähtipiste. Tällä tavalla vaiheiden ja tähtipisteen välillä vaikuttaa vaihejännite, eli pääjännite jaettuna kolmen neliöjuurella. D-kytkentä, eli kolmiokytkentä on yleisesti muuntajan alajännitepuolella käytettävä kytkentä. Siinä jokaisen vaihekäämin loppupää on yhdistetty seuraavan vaihekäämin alkupäähän. Z-kytkentää, eli hakatähtikytkentää käytetään ainoastaan pienjännitemuuntajissa. Se on kuten Y-kytkentä, mutta siinä jokainen vaihekäämi on jaettu keskeltä kahteen osaan, joista toiset päät kytketään keskenään yhteen. Tällä tavoin saadaan muodostettua muuntajalle nollapiste.

Muuntajat voidaan jakaa edellä mainittujen kytkentöjen mukaisiin kytkentäryhmiin. Kytkentäryhmällä tarkoitetaan millaisen yhdistelmän muuntajan ylä- ja alajännitepuolien kytkennät muodostavat. Yleisin kytkentäryhmä sähköasemien päämuuntajilla on YND joka tarkoittaa, että muuntajan yläjännite on kytketty tähteen, alajännite kolmion ja tähtipiste on nollattu. Joillain kaupunkiverkkoja syöttävillä sähköasemilla käytetään YNyn kytkentäryhmää. Kyseissä kytkennässä sekä ylä- että alajännitepuolet on kytketty tähteen ja molempien tähtipisteet on nollattu.

Muuntajan kytkennöistä syntyvä vaihesiirto ilmoitetaan kellotaulun tuntien avulla. Tämä tarkoittaa, että asetettaessa yläjännitteen vaihejännitteen vektori osoittamaan kellotaulussa tasan kello 12:00 osoittaisi alajännitteen vastaavan vaiheen vaihejännitteen vektori jotain tiettyä kellonaikaa. Tämä kellonaika jota alajännitteen vektori osoittaisi kuvaa syntyvää vaihesiirtoa. Sähköasemilla päämuuntajan tyypillinen kellotaulun lukema on 11, joka tarkoittaa että alajännite on  $30^\circ$  yläjännitettä edellä. Mikäli vaihejännitteiden vektorit ovat samansuuntaiset, merkitään luvuksi 0.



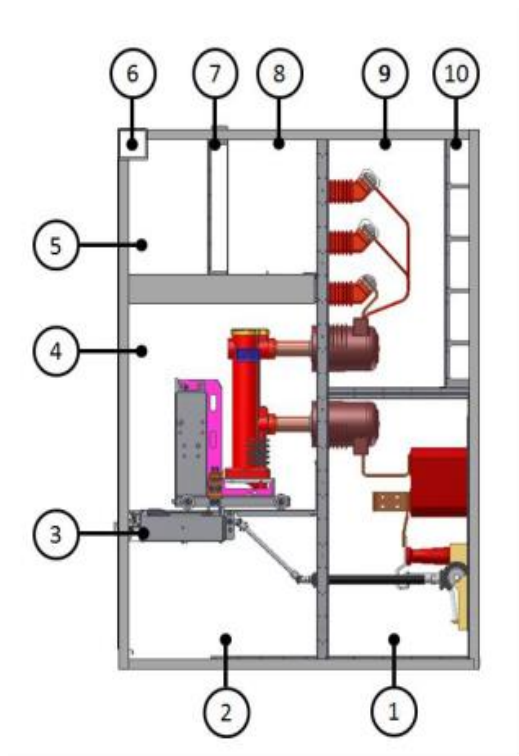
Kuva 11. Muuntajan YnD kytkentä.



Kuva 12. Eräs 110/20 kV muuntaja

### 3.3 Keskijännitekojeisto

Keskijännitekojeistolla tarkoitetaan kojeistoa, johon kuuluu muuntajan alajännitepuolen kokoojakiskoston ja katkaisijoiden kautta keskijännitejohtoihin yhdistävät laitteet. Keskijännitekojeisto rakentuu kennoista. Kenno taas koostuu katkaisijasta, maadoituskytkimestä, suoja- ja ohjauslaitteista, asennonosoittimista ja mittamuuntajista.



Kuva 13. VEO:n osastoitu keskijännitekojeiston kenno (VEO suunnitteluopas)

1. Kaapelin sisääntuloaukko
2. Kaapelitila jossa sijaitsee maadoituskytkin mittamuuntajat ja kaapelipäätteet
3. Toimilaite sisältää pääkojeen ja maadoituskytkimen käsittelyssä tarvittavat laitteet, toimilaite sijaitsee pääkojelassa
4. Katkaisijatila
5. Toisiokojetila sisältää ohjauslaitteet ja -virtapiirit
6. Koko kojeiston läpi kulkeva johtokouru
7. Tuuletuskanava
8. Purkauskanava valokaaren aiheuttamille kaasuille
9. Kokoojakiskosto
10. Kaapelitilan purkauskanava



Katkaisijoiden tehtävänä on keskijännitekojeistossa suojata kennoa ja siitä lähtevää johtolähtöjä, kiskoa tai muuta siihen yhdistettyä osaa keskijännitejohdoilla tapahtuvilta vioilta. Maadoituskytkimellä varustettu kenno voidaan maadoittaa erillisen maadoituskytkimen kautta kennolle tehtäviä huolto- tai käyttötoimenpiteitä varten. Katkaisijan ohjauksesta huolehtii pääasiallisesti suojarile, mutta yleensä kennot varustetaan sen lisäksi sähköisellä paikallisohjauksella sekä mekaanisella ohjausmahdollisuudella. Kojisto koostuu yleensä useammasta yksittäisestä kennosta, jotka yhdistetään toisiinsa kokoojakiskostolla.



Kuva 14. VEKE-keskijännitekojeiston kenno, jossa tyhjökatkaisija on vedettynä ulos katkaisijatilasta. (VEKE 24 kunnossapito-ohje)

Johtolähdöt muodostavat määrällisesti suurimman osan keskijännitekojeiston kennoista. Ne muodostavat rajapinnan jakeluverkon ja sähköaseman välille. Keskijännitekojeistoon kuuluvat johtolähtöjen lisäksi muuntajaan yhdistetty ja kokoojakiskostoa syöttävä kenno, omakäyttömuuntajaa syöttävä kenno, kiskokatkaisijat sekä kiskoston jännitemittauskennot. Nykyään rakennettavat keskijännitekojeistot useimmiten varustetaan myös maasulun sammutusjärjestelmällä, johon kuuluu maadoitusmuuntaja ja maasulun kompensoiva sammutuskela. Etenkin paljon maakaapelia si-



sältävät verkot varustetaan poikkeuksetta maasulun sammutusjärjestelmällä, sillä maakaapelointi aiheuttaa verkkoon huomattavasti ilmajohtoa enemmän maakapasitanssia.

$$I_e = \sqrt{3} \times \omega \times C_0 \times U$$

Kuten edellä olevasta kaavasta huomataan, niin maasulkuvirran suuruus kasvaa maakapasitanssin kasvaessa, jolloin paljon maakaapelia sisältävissä verkoissa kompensoimaton maasulkuvirta on avojohtoverkkoa suurempi.

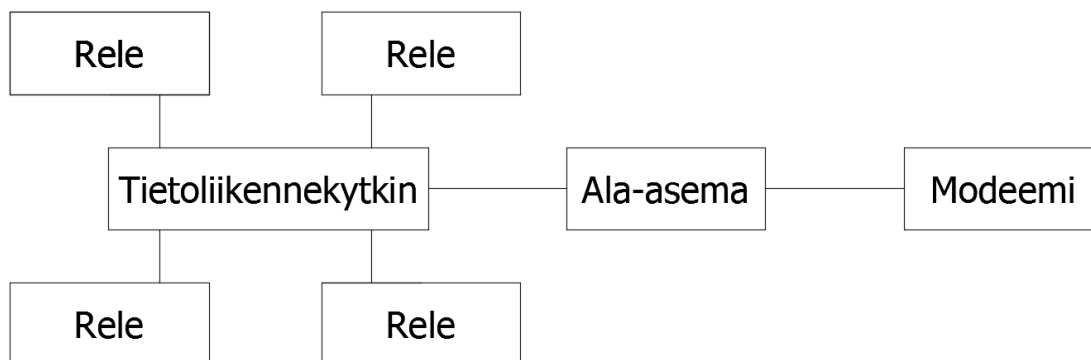
### 3.4 Automaatiojärjestelmät

Nykyaikaiset sähköasemilla käytettävät automaatio- ja kaukokäyttöjärjestelmät joustavoittavat ja helpottavat sähköasemien operointia ja valvontaa. Lisäksi niiden avulla voidaan lisätä verkon toimintavarmuutta ja samalla vähentää häiriöiden kestoaikaa, koska kytkentä- ja erotustoimenpiteet voidaan suorittaa etäältä, eikä asemalle ole täten pakko mennä paikanpäälle. Myös mitattavien suureiden reaaliaikainen seuranta etäältä on mahdollista nimenomaan sähköasema-automaation ansiosta.

Fyysisesti sähköasema-automaatio koostuu seuraavista komponenteista:

- väylään liitettävät laitteet (releet, hälytyskeskus, sammutussäätäjä yms.)
- tietoliikenneväylä
- tietoliikennekytkin
- ala-asema
- tiedonsiirron aseman rajapinnasta suoritettava laite (radiolinkki, valokuitu, puhelinkaapeli yms.)

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), eli valvomo-ohjelmisto tarkoittaa sähköasemien yhteydessä graafista käyttöliittymää, jonka avulla on mahdollista operoida ja valvoa sähköasemaa.



Kaavio 1. Periaatteellinen sähköaseman liikennöintikaavio

## 4 RELESUOJAUS

### 4.1 Verkon suojaus

Tässä opinnäytetyössä puhuttaessa verkon suojauksesta, tarkoitetaan laitteistoa johon kuuluvat katkaisijat, mittamuuntajat ja suojareleet. Sen sijaan SFS 60050-448 standardi määrittelee suojausjärjestelmään kuuluvaksi: suojauslaitteet, mittamuuntajat, johdotukset, laukaisupiirit, teholahteet, tiedonsiirtojärjestelmät ja jälleenkytkentä automatiikan. Katkaisijat eivät edellä mainitun standardin mukaan kuulu suojausjärjestelmään. (SFS 60050-448)

Vaikka SFS 60050-448 standardi ei katkaisijaa suojausjärjestelmään luekaan, on se keski- ja suurjänniteverkkojen suojauksen kannalta välttämätön komponentti. Se on yleensä sähköasemalla ainut komponentti, jolla vikaantunut verkon osa voidaan riittävän nopeasti erottaa muusta verkosta. Se ei itse kuitenkaan kykene valvomaan tai analysoimaan verkon tilaa vaan se on toteuttava suojareleiden avulla. Toisin sanoen suojarele tarkastelee verkon tilaa mittamuuntajien välityksellä ja vian havaitessaan antaa toimintakäskyn katkaisijalle.

#### 4.2 Relesuojauksen toiminnalliset vaatimukset

Kuten aiemmin mainittu: releiden tarkoitus on suojata verkkoa. Tämä tulee kuitenkin toteuttaa siten, että vain vioittunut osa tai muuten mahdollisimman pieni osa verkosta eristetään muusta verkosta. Tämä tarkoittaa selektiivistä suojausta.

Suojausfunktioiden tulee aina olla mitoitettu ja määritelty suojattavan kohteen tarpeiden mukaisiksi siten, että sekä henkilö- että laitteistolle koituvat vahingot voidaan minimoida vikatilanteessa. Suojaus ei kuitenkaan saa olla rakenteeltaan liian monimutkainen, koska se saattaa vähentää suojauksen käyttövarmuutta ja oikeanlaista toiminnallisuutta. Tärkein tekijä kuitenkin on toiminnan riittävä nopeus ja herkkyys, jolla saadaan minimoitua syntyvät vauriot. Erilaiset käyttötilanteet saattavat aiheuttaa vikavirtojen pienentymistä, mikä otettava huomioon suojauslaskentaa tehdessä. Tästä syystä suojausjärjestelmän on oltava riittävän herkkä havaitakseen erilaisissa käyttötilanteissa syntyvät viat. Asia tulee huomioida releiden asetteluita määriteltäessä.



Kuva 15. VAMP 255 suojarele

### 4.3 Selektiivisyys

Relesuojauksen selektiivisyys voidaan yksinkertaisimmillaan toteuttaa käyttämällä aikaselektiivisyyttä. Tällä tarkoitetaan portaittaisien aikahidastuksien käyttöä siten, että lähimpänä vikapaikkaa oleva rele toimii ensimmäisenä. Aikaselektiivisyys voidaan toteuttaa vakioaikaisena, eli releen toimintanopeus ei riipu mitattavan suureen suuruudesta tai vaihtoehtoisesti käänteisaikaisena, jolloin toimintanopeus on riippuvainen mitattavan suureen suuruudesta. Käänteisaikaisen suojauksen etuna on, että sen avulla suojaus voidaan toteuttaa sitä nopeammin mitä suurempi vika on. Sillä voidaan myös varmistaa, ettei verkon eri osien aikaan suhteutettu virtakestoisuus ylitä.

Aikaselektiivisyyden lisänä voidaan käyttää virtaselektiivisyyttä. Tällaista suojausta on syytä käyttää, mikäli pelkällä aikahidastuksen porrastuksella ei saada riittävää selektiivisyyttä. Koska vikavirran suuruus on sitä suurempi mitä lähempänä syöttävää pistettä ollaan, voidaan käyttää virtaporrastusta.

Muita tapoja toteuttaa selektiivinen suojaus on lukitussuojaus ja suuntaselektiivisyys. Lukitussuojauksella tarkoitetaan suojausta, jossa vian havainnut rele lähettää suojausketjussa itseään edellä olevalle releelle lukitussignaalin. Lukitussignaalin tarkoituksena on ilmaista toiselle releelle olla ohjaamatta katkaisijaa auki tai vähintään hidastamaan toiminta-aikaansa, jotta vian havainnut rele ehtii antaa laukaisukäskyn katkaisijalle ja eristää täten vian. Tällaista suojausta käytetään esim. kiskostojen ja säteittäisten verkkojen suojaukseen.

Suuntaselektiivisellä suojauksella tarkoitetaan suojausta, jossa tarkastellaan vian suuntaa releen sijaintipaikan suhteen. Tällaisissa suojissa suojattava alue on jaettu suojavyöhykkeisiin. Tällaisesta suojauksesta esimerkkinä on myöhemmin tarkemmin käsiteltävä distanssisuoja ja maasulkusuojaukset, jotka ovat lähes poikkeuksetta suuntaselektiivisiä suojia.

Ylivirtasuojauksessa selektiivisyyden saavuttamiseen keskijänniteverkossa käytetään yleensä yhdistettyä ”aika + virta” lukituksia. Edellä mainitut selektiivisyyden toteuttamistavat ovatkin käytössä lähinnä keskijänniteverkon suojauksessa. 110 kV ver-

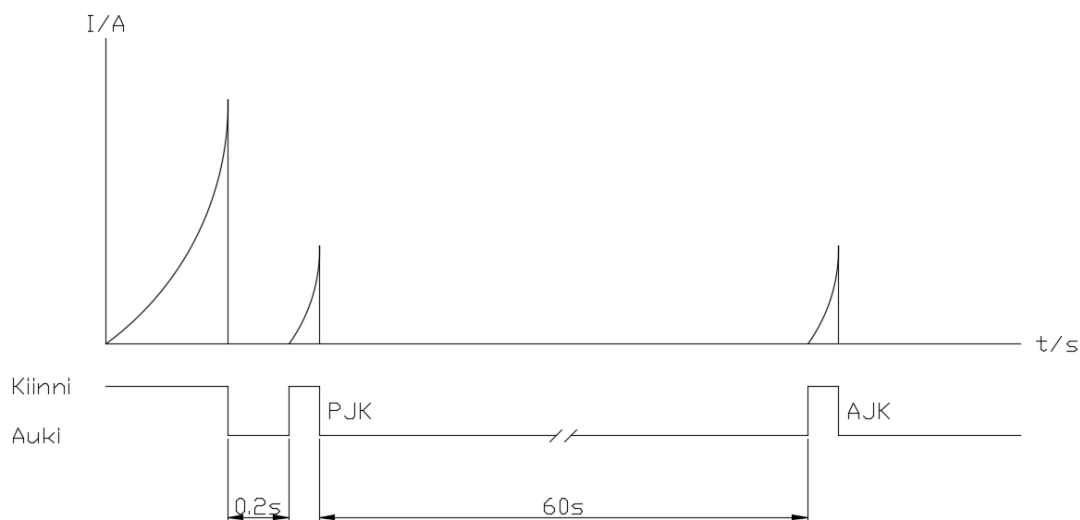
kossa selektiivisyys toteutetaan käyttämällä distanssi- ja linjadifferentiaalisuojia. Edellä mainituista suojista ja niiden toimintaperiaatteista kerrotaan enemmän edempänä tässä opinnäytetyössä.

#### 4.4 Jälleenkytkennät

Valtaosa jakeluverkon laukaisuista johtuu ohimenevistä vioista. Tällaisia vikoja syntyy esimerkiksi salaman, oksan tai jopa puun osuessa siirtolinjaan. Jotta edellä mainituista syistä ei suoritettaisi heti vian ilmetessä lopullisia laukaisuja, ja siten aiheutettaisi turhia katkoksia sähkönjakelussa. Ovat johtolähdöt syytä varustaa jälleenkytkentäautomatiikalla. Tämä tarkoittaa, että vian sattuessa tehdään normaalisti laukaisu avaamalla katkaisija, mutta lyhyen ajan kuluttua yritetään kytkeä lähtö takaisin verkkoon.

Johtolähdön takaisin kytkemistä verkkoon kutsutaan jälleenkytkennäksi. Vian ilmetessä yritetään ensin suorittaa pikajälleenkytkentä, jonka jälkeen yritetään aikajälleenkytkentää. Pikajälleenkytkentää, PJK, yritetään yleensä alle sekunnin kuluttua siitä ajanhetkestä kun lähtö on laukaistu irti verkosta. Pikajälleenkytkentä on aseteltava siten, että valokaari ehtii itsestään sammua sen aikana. Myös valokaaren aiheuttama ilman ionisoituminen on otettava huomioon, jotta valokaari ei syttyisi uudelleen. Mikäli vika ei poistu verkosta pikajälleenkytkennän aikana, voidaan vielä yrittää aikajälleenkytkentää. Aikajälleenkytkentää, AJK, yritetään huomattavasti pidemmän ajan kuluttua kuin pikajälleenkytkentää. Aikajälleenkytkentää yritetään yleensä 0,5-2 minuutin jälkeen laukaisusta. Mikäli vika ei ole poistunut aikajälleenkytkennäkään aikana, suoritetaan lopullinen laukaisu jolloin katkaisija jää auki kunnes vika on poistunut ja katkaisija ohjataan erikseen kiinni.

Jälleenkytkentäsekvenssiä määriteltäessä on otettava huomioon vikavirran aiheuttama johtimien lämpeneminen ja kuormituksen puuttumisen aikana tapahtuva jäähtyminen. On varmistuttava, ettei vikaantuneen verkon osan yhdenkään komponentin terminen yhden sekunnin vikavirtakestoisuus ylitä.



Kaavio 2. Katkaisijan toiminta vikatilanteessa: katkaisija aukeaa virran noustessa asetteluarvon yli ja suorittaa jälleenkytkentäsekvenssin. Kuvassa vika jää päälle sekvenssin päätteeksi ja katkaisija suorittaa lopullisen laukaisun jättäen katkaisijan auki.

## 5 TÄRKEIMMÄT SUOJAUSFUNKTIOT

### 5.1 Ylivirta

Ylivirtasuojaa käytetään generaattorien, muuntajien ja johtojen ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen. Sen toiminta perustuu perustaajusten vaihevirtojen mittaamiseen ja niiden vertaamiseen aseteltuihin portaisiin. Asetteluportaita on yleensä kolme ja ne ovat:  $I>$ ,  $I>>$  ja  $I>>>$ . Suojauksen eri portaille voidaan asettaa halutut laukaisuja havahtumisvirrat sekä toiminta-ajan hidastus. Hidastuksen käyttö on usein tarpeen sillä, ylivirtasuojan hidastamaton toiminta-aika voi olla haluttua pienempi.

Tyypillisiä ylivirtoja aiheuttavia tilanteita ovat: ylikuormitus, oikosulku tai ilmastollisista ylijännitteistä johtuvat ylivirrat. Edellä mainittujen ylivirtojen luonteet ovat keskenään hyvin erilaiset. Ylikuormitusvirta tarkoittaa tilannetta, jossa normaalissa käyttötilanteessa virta kasvaa yli nimellisvirran, mutta kuitenkin huomattavasti vähemmän kuin oikosulusta tai transienttijännitteestä johtuvissa tilanteissa. Tästä syystä sen aiheuttama ongelma on johdon tai kaapelin liian suuri lämpeneminen. Oikosulkuvirtoja syntyy kahden tai useamman äärijohtimen välillä tapahtuvassa eris-

tysviassa. Tällaisissa tilanteissa ylivirta on äärimmäisen suuri ja aiheuttaa termisten vaikutusten lisäksi huomattavia dynaamisia vaikutuksia. Lisäksi oikosulkuilanteessa valokaaren syntyminen on hyvin todennäköistä.

## 5.2 Yli- ja alijännite sekä nollajännite

Jännitesuojauksella varmistetaan verkon pysyminen oikeassa jännitetasossa. Normaalissa toimintatilanteessa päämuuntajan käämikytkin pitää huolen jännitteen pysymisestä oikeissa rajoissa. Käämikytkimen mekaanisesta toiminnasta johtuen suoji- en  $U>$  ja  $U<$  toimintaa on yleensä syytä hidastaa, jotta ne eivät toimisi liian herkästi. Myös  $U>>$  ja  $U<<$  suoji- en toiminta-aikaa on hyvä hidastaa, mutta huomattavasti vähemmän kuin ensimmäisiä portaita. Lyhyempi hidastus johtuu siitä, että toiset portaat on aseteltu yleensä siten, että käämikytkin ehtii korjata normaalissa käyttötilanteessa syntyvät jännitetaso- muutokset jo ensimmäisten portaiden havahtumisten aikana, eli vika johtunee muusta syystä kuin käämikytkimen hitaudesta. Kuormituksen muutoksen lisäksi ylijännitettä voi syntyä indusoitumalla toisista samansuuntaisista siirtolinjoista tai ilmastollisista syistä, kuten ukkosen iskusta linjaan. Sekä yli- että alijännitesuojien toiminta perustuu verkon perustaajusten pääjännitteiden mittaukseen.

Vaiheiden yli- ja alijännitteiden lisäksi on olemassa maasulkuvian aiheuttama jännite-epäsymmetria, jonka seurauksena verkon tähtipistejännite muuttuu ja eikä enää vastaa maan potentiaalia. Tällaista jännitettä kutsutaan nolla- tai maasulkujännitteeksi joka merkitään  $U_0$  ja se voidaan laskea kaavalla:

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

Jossa:  $U_V$  on vaihejännite  
 $I_e$  on verkon maasulkuvirta  
 $U$  on pääjännite  
 $R_e$  on maasulkuresistanssi

Nollajännitettä voidaan valvoa mittaamalla kiskoston jännitettä avokolmiokäämillä.

### 5.3 Maasulkusuojaus

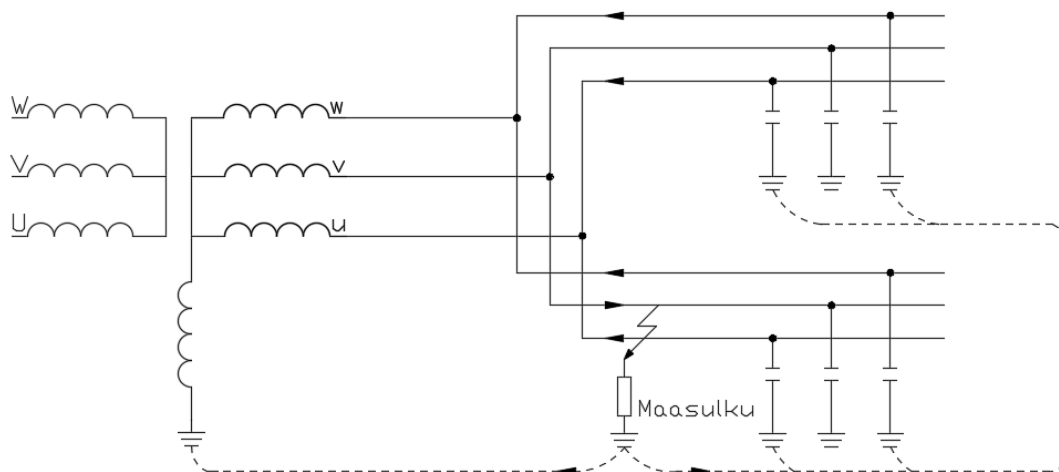
Maasulkusuojauskella pyritään suojautumaan verkon virtajohtimen ja maan välisiltä eristysvioilta. Tällaisia vikoja voi syntyä kaapelin eristyksen vaurioituessa tai puun kaatuessa avojohdon päälle.

Sekä maasta erotetussa että sammutetussa verkossa kaikkien vaiheiden jännitteet maata vasten ovat symmetriset verkon ollessa terveessä tilassa ja täten niiden summa muodostuu 0. Vikatilanteessa tämä symmetria rikkoutuu, koska terveiden vaiheiden jännite maata vasten alkaa nousta. Tästä on seurauksena verkon tähtipisteen jännitteen nouseminen kohti vaihejännitettä. Sammutetussa verkossa päämuuntajan tähtipisteeseen, eli alajännitepuolen ollessa Y-kytketty, on liitetty sammutuskela. Toisena vaihtoehtona on käyttää kelalla varustettua Zn-kytkentäistä maadoitusmuuntajaa. Kelan tarkoituksena on tuottaa vikatilanteessa maasulun kapasitiivisen loisivirran suuruinen, mutta vastakkaisvaiheinen induktiivinen loisvirta. Tämän seurauksena verkossa syntynyt maasulun aiheuttama valokaari sammuu, koska vikapaikassa maasulkuvirta laskee liian pieneksi.

Perinteinen maasulkusuojaus voi olla joko suunnattu ( $I_{0>->}$ ) tai suuntaamaton ( $I_{0>}$ ). Suuntaamaton suojaus perustuu terveiden johtojen kautta palaavaan maasulkuvirran mittaukseen. Suunnattu maasulkusuojaus taas perustuu maasulkuvirran ja nollajännitteen suunnan ja suuruuden mittaukseen. Suunnattu suoja siis toimii kun virta ja jännite kasvavat riittävän suuriksi ja niiden välinen vaihe-ero on toiminta-alueen sisällä. Erotetussa verkossa toiminta-alue välillä on  $0^{\circ}$ - $180^{\circ}$  ja sammutetussa verkossa välillä  $270^{\circ}$ - $90^{\circ}$ . Katkeilevilta maasuluilta suojaudutaan suunnatun maasulun tapaan, mutta sen lisäksi rele laskee syntyneitä nollajännitepulsseja.

([http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/08\\_0\\_Maasulkusuojaus.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/08_0_Maasulkusuojaus.pdf))





Kuva 16. Virtojen kulku maasulussa.

Maasulkusuojaus voidaan toteuttaa myös admittanssisuojauksen avulla. Se soveltuu erinomaisesti kompensoitujen verkkojen suojaukseen, jossa maasulussa syntyvät virrat ovat äärimmäisen pieniä. Suojan toiminta perustuu perustaajuisen nollakomponentin suskeptanssin, konduktanssin ja nollajännitteen mittaamiseen. ([https://library.e.abb.com/public/70e4864e2722af17c1257ba5002842d4/24-28%202m310\\_EN\\_72dpi.pdf](https://library.e.abb.com/public/70e4864e2722af17c1257ba5002842d4/24-28%202m310_EN_72dpi.pdf))

#### 5.4 Vaihekatko- ja vinokuormasuojaus

Vaihekatko- ja vinokuormasuojat molemmat perustuvat vaihevirtojen suuruuksien mittaukseen. Molemmat analysoivat esiintyykö vaiheiden välillä epäsymmetriaa. Vaihekatkosuojaa käytetään täydentämään perinteistä maasulkusuojausta. Ilmajohdon katketessa ja pudotessa maahan saattaa syntyä niin pieni maasulkuvirta, että normaali maasulkusuojaus ei kykene sitä havaitsemaan.

#### 5.5 Distanssisuoja

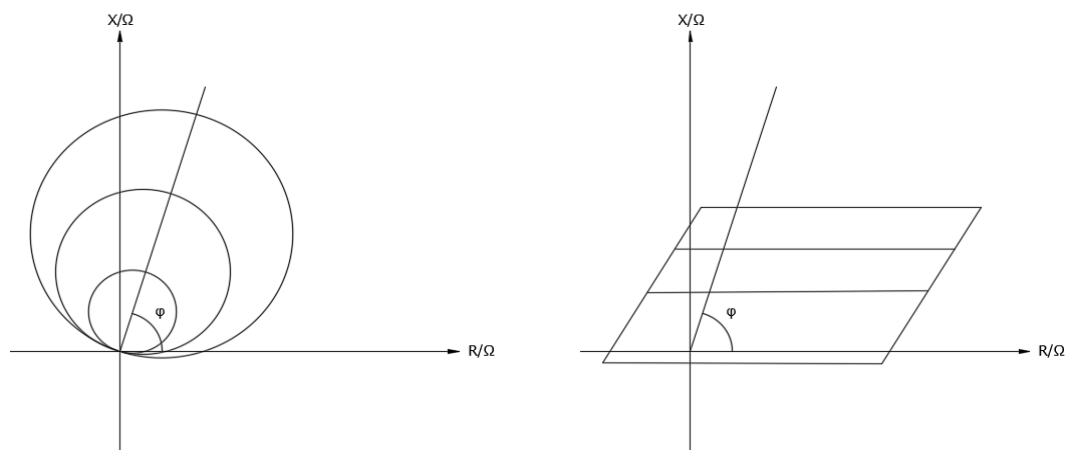
Distanssisuoja käytetään harvoin 20 kV suojauksessa, sen sijaan se on yleisin suoja 110 kV johtojen suojauksessa. Sen toiminta perustuu suojattavan johdon impedanssin mittaukseen. Se kykenee myös havaitsemaan vian suunnan, eli onko vika mitatta-

valla johdolla vai sen takana. Vian ollessa takana on se jollain toisella johdolla. Tästä syystä distanssisuoja sopii silmukoidun verkon suojaukseen.

Vian suunnan mittaamiseksi rele tarkastelee johdon jännitteen ja siinä kulkevan virran välistä vaihesiirtoa. Mikäli vika on suojattavalla johdolla, eli releen näkökulmasta edessä, mitattu virta on jännitettä  $90^\circ$  jäljessä. Vian ollessa releen takana, jännite on  $90^\circ$  virtaa jäljessä. (Elovaara & Haarla, 2011, 348.)

Vikatilanteessa virta kasvaa ja jännite pienenee releen sijaintipaikalla, joten impedanssi laskee normaalitilaan nähden. Vian etäisyys releen sijainnista onkin täten suoraan verrannollinen impedanssi suuruuteen. (Elovaara & Haarla, 2011, 349.)

Suojaus toteutetaan jakamalla suojattava johto niin kutsuttuihin vyöhykkeisiin, joista jokainen edustaa tiettyä etäisyyttä suojattavalla johdolla.



Kaavio 3. Vasemmalla on mekaaniselle releelle tyypillinen impedanssikuvi. Oikealla on digitaaliselle releelle tyypillinen impedanssikuvi.

## 5.6 Differentiaalisuoja

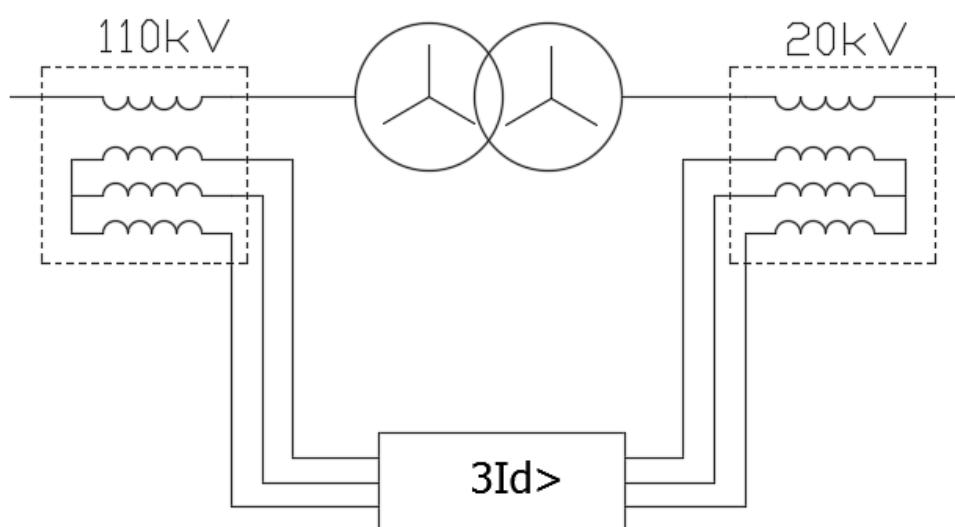
Differentiaalisuojaa voidaan käyttää verkon kaikkien yksittäisten osien suojaukseen. Se soveltuu niin muuntajan, kiskoston kun johtolähtöjenkin suojaukseen. Suoja vertailee suojattavaan kohteeseen tulevia ja siitä lähtevien vaihevirtojen vaiheita ja suuruuksia. Sen avulla voidaan helposti toteuttaa täysin selektiivinen suojaus, sillä sen suoja-alue rajoittuu ainoastaan sen mittamuuntajien väliselle alueelle. Sähköaseman

päämuuntajan suojauksessa tämä alue käsittää 110 kV ja 20 kV virtamuuntajien välisen alueen pitäen sisällään itse päämuuntajan ja sille menevät kaapelit.

Päämuuntajan suojauksessa differentiaalirele sopii hyvin suojaamaan oikosuluilta ja tietyiltä maasuluilta. Differentiaalirele ei kuitenkaan välttämättä toimi suuren resistanssin maasulkuvioissa, joten pelkkä differentiaalisuoja ei riitä, vaan tällaisia vikoja varten muuntajat on syytä varustaa suunnatulla maasulkusuojalla. Myös mittamuuntajien epätarkkuudet voivat aiheuttaa ongelmia käytettäessä differentiaalisuojausta. Tämä tuleekin ottaa huomioon määrittäessä suojan asetteluja.

(Piironen Mikko, 2015, Sähköasemien kunnossapitoprosessin kehittäminen

[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16242/master\\_Piironen\\_Mikko\\_2015.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16242/master_Piironen_Mikko_2015.pdf?sequence=1))



Kuva 17. Muuntajan differentiaalisuojaus

## 5.7 Katkaisijavikasuoja

Katkaisijavikasuojan tarkoituksena on vikatilanteessa seurata katkaisijan toimintaa ja sen mahdollista toimimattomuutta. Sen toiminta perustuu katkaisijan apukoskettimilta saatavan tilatiedon seuraamiseen. Suojareleen antaessa laukaisusignaalin omalle katkaisijalleen, käynnistyy myös katkaisijavikasuojan aikaviive. Mikäli tämän aika-

viiveen jälkeen apukoskettimelta tulee edelleen tieto, että katkaisija on kiinni, niin katkaisijavikasuoja antaa laukaisusignaalin seuraavaksi lähimpään syöttöpisteeseen.

## 5.8 Valokaarisuoja

Valokaari on kahden erillisen johtimen tai vaiheen ja maan välille syntyvä sähköinen purkaus, jossa normaalitilanteessa sähköä johtamaton materiaali, kuten ilma, alkaa johtaa sähköä ionisoitumisen seurauksena. Syttynyt valokaari synnyttää räjähdysmäisen lämpötilan nousun seurauksena myös suuren paineaallon. Valokaaren seurauksena ilmaan saattaa höyrystyä myös myrkyllisiä metallihöyryjä. Edellä mainituista syistä valokaari saattaa aiheuttaa merkittävää vaaraa sekä kojeistolle että ihmisille.

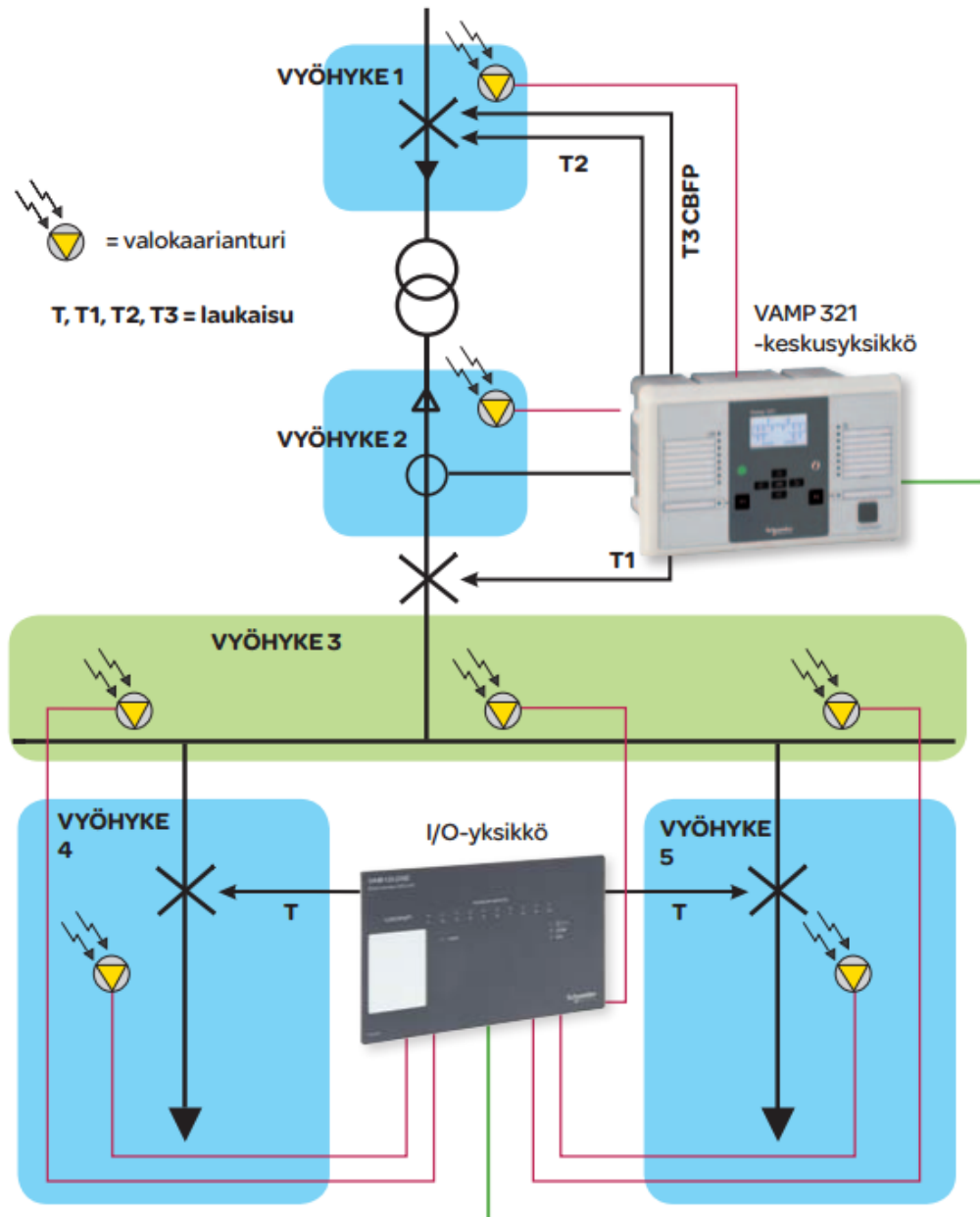
Valokaari voi aiheutua seuraavista syistä:

- johtimen eristevika
- huono liitos
- työkalun tai muun putoaminen kahden johtimen tai kiskon välille
- liiallinen pöly tai kosteus ilmassa

Syntyneen valokaaren aiheuttamia vahinkoja voidaan vähentää käyttämällä valokaarisuojaa. Sen toiminta perustuu virran ja valon määrän mittauksiin. Liian suuri virta ja samaan aikaan havaittu valo tulkitaan valokaareksi, jolloin valokaarisuoja antaa laukaisusignaalin katkaisijalle, joka minimoi virran kulun valokaareen.



Kuva 18. Ylhäällä VAMP 321 keskusyksikkö ja alla VAM 4C sekä VAM 4CD I/O-yksiköt (VAMP 321 esite)



Kuva 19. Valokaarisuojauksen periaatteinen toimintakaavio (VAMP 321 esite)

## 6 KOESTUS

Sähköaseman koestus tarkoittaa koko laitteiston läpikäyntiä ja sen toiminnallisuuden varmentamista kaikissa käyttötilanteissa. Koestuksen tavoitteena on todeta kaikkien mitta-, suoja- ja toimilaitteiden varma toiminta niin normaalissa käyttötilanteessa kuin myös vikatilanteessa. Koestus on tehtävä aina ennen laitteiston lopullista käyttöönottoa, jotta varsinainen käyttö voidaan todeta turvalliseksi.

Koestukseen kuuluu kaikkien sähköisten ja mekaanisten asennusten tarkastus. Tämä onkin yleensä ensimmäinen tehtävä toimenpide sähköaseman koestuksessa. Tässä vaiheessa käydään koko laitteisto silmämääräisesti läpi ja tarkistetaan kaikkien johtojen ja kaapelien asennusten siisteys, turvallisuus ja että ne on asennettu oikein. Lisäksi jokaisen kaapelin jokainen johdin on syytä tarkistaa. Tämä tarkoittaa, että varmistetaan jokaisen johtimen perille meno ja että ne on kytketty oikeaan liittimeen. On myös huomattava varmistaa ettei missään ole kytkemättömiä tai ainakaan suojaamattomia kaapelien tai johtimien päitä.

Silmämääräisen tarkastuksen lisäksi laitteistolle ja sen osille on suoritettava mekaaninen testaus. Mekaanisessa testauksessa käydään läpi kojeiston sisäisten mekaanisten lukituksien, paikalliskäytön mekaanisten ohjainlaitteiden sekä ohjaustaulujen, jakokaappien ja muiden erityisellä avaimella avattavien lukkojen toiminta.

Kun edellä mainitut testaukset on suoritettu ja koko laitteisto todettu olevan varovaisuutta noudattaen riittävän turvallisessa tilassa, voidaan aloittaa porrastetusti apujännitteiden kytkentä laitteistoon. Tämän jälkeen on kuitenkin muistettava noudattaa erityistä varovaisuutta, kunnes kaikki suojalaitteet ja mekaaniset suojaukset kuten kosketussuojalevyt on asetettu lopullisille paikoilleen.

Kun laitteistoon on kytketty sähkö, voidaan suorittaa sähköiset ja sähkömekaaniset testaukset. Tässä kohtaa testataan kaikkien laitteiden sähkömekaaniset lukitukset, käyttö-, turva- ja varavalaistukset sekä rakennuksen ja koteloiden lämmitykset. Lisäksi testataan kaikki paikallisohjatut sähköiset ohjauspiirit.

Kun kaikki sähkön käyttöön liittyvät testaukset ja mittaukset on tehty, voidaan keskittyä laitekohtaisiin ja muihin koestuksiin. Laitekohtaisiin koestuksiin luokitellaan kaikki suurjännitekomponentit ja kaikki suur- ja keskijännitepiirien suojarieleet. Muita koestuksia ovat muuntajien, kaapelipäätteiden ja kiskostojen eristysvastusmittaukset sekä maadoitusten eheyden ja jatkuvuuden mittaukset.

## 6.1 Suurjännitekatkaisijan koestus

Suurjännitekatkaisijan koestaessa tulee ensimmäisenä kiinnittää huomiota oikeanlaiseen asennukseen. Lisäksi ennen varsinaista koestusta on varmistettava, että kaikki eristerakenteet, kuten posliiniset eristimet, ovat ehjät ja puhtaat. Teline rakenteiden osalta on tarkistettava telineen riittävä kiinnitys perustuksiin ja telineiden sinkityksen eheys.

Mikäli kyseessä on kaasutäytteinen katkaisija, kuten SF<sub>6</sub>-katkaisija, on tarkistettava kaasun oikea paine suhteutettuna ympäristön lämpötilaan.

Kun edellä mainitut tarkastukset on suoritettu, voidaan aloittaa katkaisijan varsinainen koestus. Katkaisijalta mitattaviin suureisiin kuuluvat kunkin vaiheen auki- ja kiinnimenoaajat sekä ylimenovastukset. Mittauksien lisäksi on varmistettava kaikkien laukaisu- ja kiinniohjauskelojen toisistaan riippumattomat toiminnot, katkaisijan antamat hälytykset ja tilatiedot.

Ohjattaessa suurjännitekatkaisijaa ensimmäistä kertaa joko auki tai kiinni, on muistettava että katkaisijan jousi on voinut vahingoittua kuljetuksen tai asennuksen aikana. Tällainen vahingoittuminen, jota ei silmämääräisesti voi huomata, on hyvin epätodennäköistä. Silti katkaisijaa ensimmäistä kertaa ohjattaessa on syytä noudattaa erityistä varovaisuutta. Tämä tarkoittaa, että ohjaus tulee suorittaa etäältä eikä katkaisijan ohjauskotelolta. Lisäksi on varmistettava, ettei myöskään muita henkilöitä ole katkaisijan läheisyydessä.

## 6.2 Erottimen koestus

Kuten suurjännitekatkaisijaa koestaessa ensimmäisenä on varmistuttava erottimen oikeanlaisesta asennuksesta ja suorittaa silmämääräinen tarkastus. Silmämääräiseen tarkastukseen kuuluu kaikki samat tarkastukset kuin suurjännitekatkaisijaa koestettaessa, mutta niiden lisäksi on tarkastettava erottimen pääkoskettimien voitelu.

Erottimen ollessa maadoituserotin on varmistettava, että maadoitusveitset on varmasti yhdistetty maan potentiaaliin.

Erottimen toiminnalliseen koestukseen kuuluu pääkoskettimien ja mahdollisten maadoitustenveitsien liikeratojen ja mekaanisten rajojen toimivuus. Mekaanisen toiminnallisuuden lisäksi on varmistettava kaikkien tilatietojen, hälytysten ja ohjauksen estävän sähkömekaanisen lukituskelan toiminta. Mikäli erotin on sähkömoottorilla ohjattu, on testattava myös moottorinsuojauksen toiminta.

Mitattavia suureita erotinta koestettaessa ovat ainoastaan pääkoskettimien ja maadoitusveitsien ylimenovastukset. Näiden arvojen tulisi olla mahdollisimman pieniä erottimen toimivuuden kannalta. Suoritettaessa mittaus 100 A virralla kun mittajohdot on kytketty erottimen liittimiin, tulisi ylimenovastuksien olla alle 200  $\mu\Omega$ .

## 6.3 Suurjännitevirtamuuntaja

Suurjännitevirtamuuntajan koestuksessa on kuten kaikkien muidenkin kojeiden kohdalla ensimmäisenä tarkistettava asennukset silmämääräisesti. Koska suurjännitevirtamuuntajat ovat yleensä öljytäytteisiä, on öljyn määrä syytä tarkistaa esim. tarkastusikkunan kautta, mikäli sellainen on.

Toisiokäämien kytkentöihin koestuksen yhteydessä on kiinnitettävä tarkasti huomiota. Koska virtamuuntajia käytetään virran mittauksen lisäksi suojauspiireissä, on niiden toiminta oltava äärimmäisen varmaa. Tästä syystä onkin syytä tarkistaa toision liitoksien luotettavuus erityisellä huolellisuudella. Lisäksi on varmistettava että kaikki käyttämättömät toisiopiirit on oikosuljettu ja maadoitettu toisesta navasta. On



myös syytä varmistaa, että virtamuuntajan mahdollinen kapasitiivinen ulostulo on oikosuljettu.

Virtamuuntajille suoritettavia mittaamalla suoritettavia tarkastuksia ovat: muuntosuhde, polariteetti ja magnetointikäyrän mittausta. Näistä kaksi edellä mainittu on syytä tehdä aina koestuksen yhteydessä, mutta magnetointikäyrän mittausta toimintavarmuuden kannalta yhtä tärkeää asia tarkistaa vaikkakin suotavaa. Toisinaan vaaditaan myös virtamuuntajan eristysvastusten mittausta. Se suoritetaan syöttämällä 500 V jännite 15 sekunnin ajan vuorollaan sekä ensiön että toision ja maan välille. Lisäksi on mitattu eristysvastus edellä mainitulla tavalla ensiön ja toision välillä.

(VEO koestusohjeet)

#### 6.4 Suurjännitejännitemuuntajan koestus

Suurjännitejännitemuuntajien koestus on kutakuinkin samanlainen kuin suurjännitevirtamuuntajien, mutta pieniä eroja löytyy. Silmämääräinen tarkastus ja se sisältämät huomiot ovat molemmissa samat.

Ensimmäinen ero virta- ja jännitemuuntajien koestuksessa tulee siinä, että jännitemuuntajan runko tulee olla yhdistetty erillisellä maadoituksella maadoitusverkkoon. Jännitemuuntaja sisältää yleensä avokolmiotosiokäämin. Tämän kohdalla tulee tarkistaa, että maadoitus on tehty ainoastaan viimeisestä navasta, toisin kuin tavallisessa mittauskäämissä, jossa toisen navan on oltava aina maadoitettu.

Koestuksessa jännitemuuntajalle suoritettavat mittaukset ovat samat kuin virtamuuntajalle suoritettavat, paitsi että jännitemuuntajalle ei suoriteta magnetointikäyrän mittausta.

#### 6.5 Maadoituksen eheys

Hyvä ja riittävän kattava maadoitus on tärkeä turvallisuustekijä sähköasemalla. Tästä syystä on erittäin tärkeää mitata sähköasemalla erikseen jokaisen maadoituspisteen jatkuvuus ja resistanssi maadoitusverkkoa vastaan. Tällä tavalla varmistetaan, ettei

esimerkiksi asemalla tapahtuvan maasulun seurauksena askeljännite kasva liian suureksi. Käyttämällä 100 A mittausvirta päästään hyvin maadoitetussa verkossa yleensä alle 10 mΩ arvoihin. Käytännössä kuitenkin osa mitatuista arvoista saattaa olla hieman yli 10 mΩ, mutta kuitenkin alle 20 mΩ. Mittausarvoihin vaikuttavia tekijöitä ovat mittapisteen etäisyys toisistaan, käytettyjen johtimien paksuus, maaperä ja liitokset.

## 6.6 Suojausfunktioiden koestus

Suojausfunktioiden koestus tarkoittaa vikatilanteiden simulointia syöttämällä kunkin eri vikatilanteen mukaiset parametrit vuorollaan releelle.

Koestettaessa suojausfunktioita on syytä katkaista kaikkien laukaisupiirien katkaisijalle ja mittamuuntajille menevät piirit. Ellei näin toimita, niin katkaisijan kohdalla ongelmaksi muodostuu tarpeettomat ohjaukset. Kun taas jännitemuuntajien toisiota syötettäessä ensiön jännite saattaa nousta vaaralliselle tasolle. Piirien katkaisu onnistuu helpoiten käytettäessä katkaistavia riviliittimiä. Kuitenkin käytettäessä katkaistavia riviliittimiä tulee huomata laittaa koestuslaitteelta tulevat johtimet riviliittimen suojarileen puolelle. Ainoastaan jälleenkytkentöjä koestettaessa katkaisijalle menevät piirit tulee olla suljettuina, jotta sekvenssin oikeanlainen toiminta voidaan varmistaa.

Suojausfunktioita koestettaessa tulee kirjata relekoestuspöytäkirjaan releen kunkin suojausfunktion ja niiden eri portaiden havahtumis- sekä päästöarvot. Lisäksi on suotavaa myös kirjata kunkin suojausfunktion kohdalla koestuksessa käytetyt ja releelle syötettyjen suureiden arvot ja suojausfunktion toiminta-aika.

## 7 SVERKER 900

SVERKER 900 on Megger Groupin valmistama relesteri, joka soveltuu kaikkien 3- ja 1-vaiheisten releiden ja mittamuuntajien testaamiseen. VEO Oy käyttää kyseistä laitetta työmaillaan suoja-releiden, katkaisijoiden ja mittamuuntajien käyttöönottoon ja koestamiseen. Laite on hankittu VEO Oy:n käyttöön vuonna 2016.

### 7.1 Liitännät

Sverker 900 sisältää neljä erillistä ohjelmoitavissa olevaa binaarisisääntuloa joita voidaan käyttää jännitteen tai kosketintiedon seurantaan. Ensimmäiseen sisääntuloporttiin voidaan asettaa haluttu kynnyksjännite. Laite sisältää myös erillisillä start- ja stop-koskettimilla varustetun ajastinpiirin sekä yhden avutuvalle ja sulkeutuvalle koskettimella varustetun uloslähdön.

Virranmittausta varten laitteessa on yksi portti, jolla voidaan mitata maksimissaan 10 A virta. Jännitteenmittausta varten on myös yksi portti, joka soveltuu maksimissaan 900 V jännitteen mittaukseen. Näitä kahta porttia voidaan käyttää yhdessä myös resistanssin, impedanssin, vaihekulman, tehojen ja tehokertoimen mittaukseen.

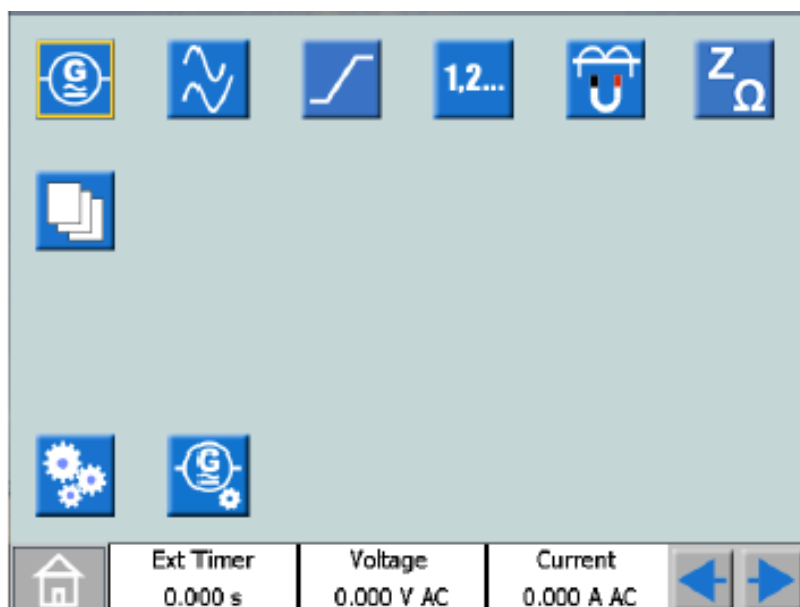
Laitteen tärkeimmät liitännät ovat kuitenkin virta- ja jännitelähteet. Virtalähteitä on kolme kappaletta ja niitä voidaan käyttää yksittäin sekä kytkeä sarjaan tai rinnan. Jokaisesta virtalähteestä saadaan ulos maksimissaan 35 A virta. Jännitelähteitä on yhteensä neljä kappaletta, joita jokaista voi käyttää yksinään tai kytkeä yhteen toistensa kanssa. Jokainen niistä kykenee tuottamaan 300 V jännitteen. Sarjaan kytkettynä niillä voidaan tuottaa 900 V jännite ja 450 VA teho. Rinnankytkettynä niillä voidaan tuottaa 300 V jännite ja 375 VA teho. Lisäksi jännitelähde U4 voidaan käyttää DC-jännitelähteenä, josta saadaan maksimissaan 300 V DC jännite.

USB-portin kautta laitteeseen voidaan liittää ulkoinen näppäimistö, hiiri tai USB-massamuisti. Sen kautta voidaan myös siirtää laitteesta dataa tietokoneelle. Tämä ei kuitenkaan onnistu suoraan kytkemällä laite USB-johdolla tietokoneeseen, vaan data on siirrettävä laitteesta USB-massamuistiin, josta se voidaan tietokoneella lukea. Datat siirto onkin yksi laitteen käytön kannalta suurimmista kompastuskivistä. Laitteen

ethernet-portti on tarkoitettu ainoastaan huoltotoimenpiteitä varten, eikä siitä täten ole mitään hyötyä laitteen käyttäjälle.






## 7.2 Käyttöliittymä





Sverkerissä on 5,7” värillinen kosketusnäyttö, jonka avulla voidaan tehdä kaikki laitteella suoritettavat toimenpiteet. Kosketusnäytön lisäksi laitetta voidaan käyttää mekaanisen säätökiekon avulla. Kosketusnäytön käyttö on silti huomattavasti käytännöllisempää ja täten useimmissa tapauksissa suositeltavaa.



Kuva 20. Sverker 900 päävalikko

Taulukko 1. Sverker 900 päävalikon työkalut

	Main instrument
	Pre-fault -> Fault instrument
	Ramping instrument
	Sequencer instrument
	CT-Magnetization instrument

	Impedance instrument
	Test file management
	System configuration
	Configuration of Voltage/Current generators

Main instrument on laitteen oletustyökalu ja aukeaa ensimmäisenä laitetta käynnistäessä. Tässä valikossa voidaan suorittaa kaikki tavallisimmat testaukset ja mittaukset. Se sisältää jännite- ja virtalähteet, suureiden mittauksen sekä NO- ja NC-koskettimilla varustetut ajastimet. Koestuksen kannalta tämä on henkilökohtaisen kokemukseni perusteella laitteen hyödyllisin työkalu.

Pre-fault -> Fault instrument avulla voidaan testata releen toimintaa vikatilanteessa. Tässä tilassa laitteelle on määriteltävä sekä vikaa edeltävän tilan että vikatilan arvot jännitteille ja virroille. Lisäksi voidaan valita vian päällä pysymiselle haluttu aika. Vikatila voidaan myös määritellä pysymään päällä kunnes laitteelle tuodaan trip-signaali tai kunnes painetaan STOP-painiketta. Henkilökohtaisesti en näe tälle työkalulle mitään järkevää käyttöä, sillä samat asiat voidaan suorittaa yksinkertaisemmin Main instrumentin avulla.

Ramping instrument on edellä mainitun Prefault -> Fault instrumentin kaltainen työkalu. Tärkeänä erona on, että tällä työkalulla voidaan määrittää, missä ajassa muutos kahden eri tilan parametrien välillä tapahtuu. Se soveltuu hyvin sellaisten suojien testaukseen, jotka vaativat joustavaa parametrien muutosnopeuden säätömahdollisuutta.

Sequence instrument voidaan hyödyntää sellaisten suojien ja toimintojen testaukseen, joissa tarvitaan tietyssä ennalta määritetyssä järjestyksessä tapahtuvia toimintoja. Tästä voidaan käyttää esimerkkinä automaattista jälleenkytkentää. Sequence instrumentilla voidaan luoda maksimissaan 16 portaan sekvenssi, joista jokaiseen voidaan tarvittaessa määrittää erilliset arvot kaikille jännitteille ja virroille. Lisäksi tässä työkalussa voidaan hyödyntää laitteen binaarisia sisääntuloja sekä binaarisia lähtöjä.

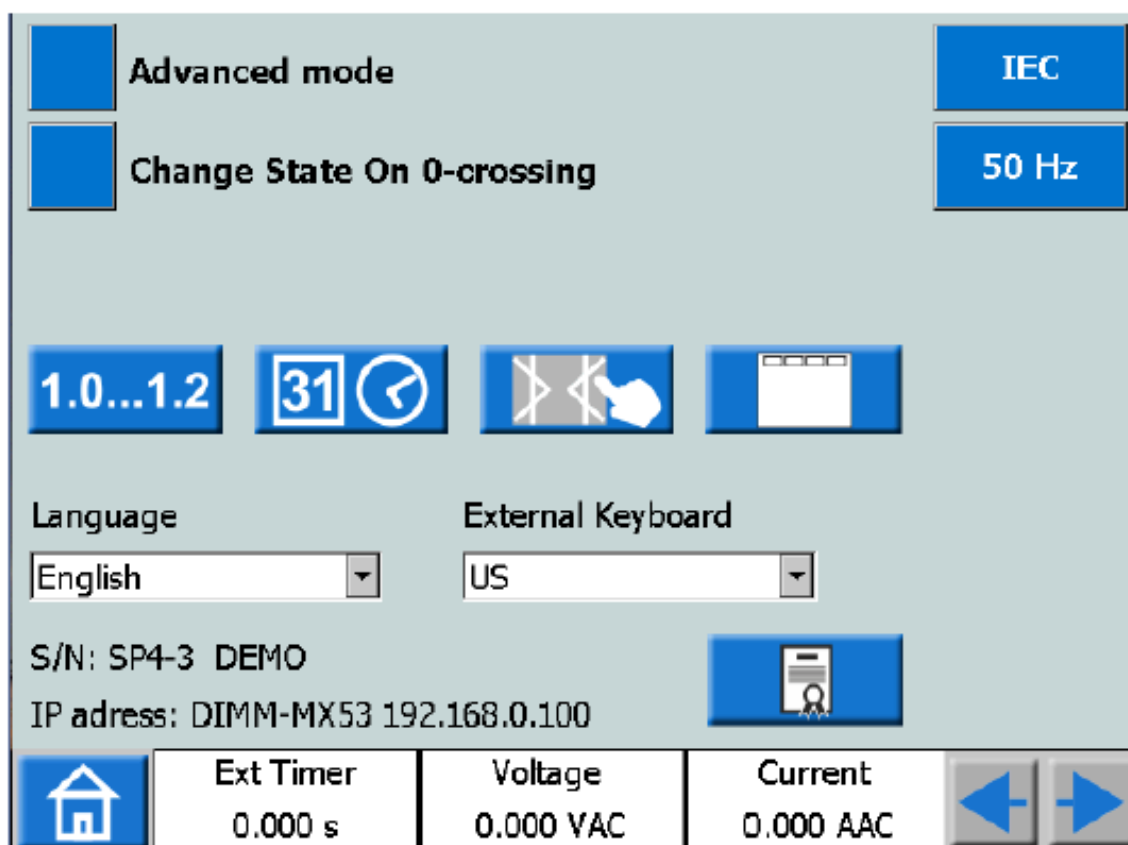
CT magnetization instrument, eli virtamuuntajan magnetointityökalu. Tällä työkalulla voidaan nimensä mukaisesti mitata virtamuuntajan magnetoitumiskäyrä, polariiteetti, muuntosuhde ja etsiä käännejännitteen taso. Mittauksen suorittamiseksi laitteella voidaan tuottaa 900V jännite kytkemällä kaikki laitteen jännitelähteet sarjaan tai 300V kytkemällä ne rinnan. Mittauksen suorittamiseksi tarvitaan myös erillinen adapteri, joka kytketään sarjaan mittauspiirin ja virtamuuntajan kanssa. Tämä kuitenkin sisältyy laitteen vakiovarusteisiin.



Kuva 20. Virtamuuntajan magnetointikäyrän mittauksessa käytettävä adapteri (SVERKER900 User manual)

Impedance instrument käytetään impedanssipohjaisten suojien testaukseen. Tällaisia suojia ovat seuraavat suojat: ali- ja linjaimpedanssisuojat sekä generaattorin alimagnetointisuoja.

Test file management valikon kautta voidaan siirtää koestustiedostoja laitteen ja USB-massamuistin välillä. Kuten aiemmin mainittu, tiedostojen siirto laitteen ja tietokoneen välillä onnistuu ainoastaan USB-massamuistia käyttäen. Sverker 900 käyttämä tiedostomuoto on .CSV, eli comma-separated values joka on taulukkomuotoista tietoa tekstimuodossa. Kyseinen tiedostomuoto voidaan avata tietokoneella esimerkiksi Microsoft Office Excel ja Word ohjelmilla. System configuration valikosta taas löytyy kaikki laitteen käyttöön liittyvät asetukset ja valinnat.



Kuva 3. System configuration valikko.

Valitsemalla kohta Advanced mode voidaan laitteen virta- ja jännitelähteillä tuottaa harmonisia yliaaltoja. Tämä kohdan valinta kuitenkin estää Measurement moden käytön Main instrumentissa. Mittauksissa käytettävä standardi voidaan valita IEC, IEEE30 ja IEEE45 välillä. Käytännön kannalta tällä ei koestuksessa kuitenkaan ole merkitystä. Laitteelle on myös määriteltävä koestettavan verkon taajuus, sillä laukaisuaikojen mittaustulokset perustuvat valittuun taajuuteen. Valittavana on 50 Hz, 60 Hz ja 16 2/3 Hz. Tässä valinnassa on suotavaa käyttää aina 50 Hz, sillä Suomessa ja koko muussa Euroopassa sähköverkon taajuus on 50 Hz. Valikoiden kieleksi voidaan valita joko englanti, espanja, ranska, ruotsi, saksa tai tšekki.

Configuration of Voltage/Current generators valikosta voidaan määritellä jännite- ja virtalähteiden keskinäiset kytkennät.

### 7.3 Käyttö koestuksessa

Sverker 900 soveltuu hyvin sekä suojausfunktioiden normaalien suojausfunktioiden että sähköaseman muiden koestusta vaativien kojeiden koestukseen. Alla olevassa listassa on luetteloitu suojausfunktiot jotka laitteella voidaan koestaa. Niiden lisäksi laitteella voidaan testata katkaisijan toiminta-aika ja automaattiset jälleenkytkennät, mittaamuntajien muuntosuhteet sekä virtamuuntajan magnetoituminen.

Suojat jotka voidaan koestaa käyttämällä Sverker 900:

- ylivirta
- yli- ja alijännitesuojaus
- yli- ja alitaajuussuoja
- erilaiset maasulkusuojat
- differentiaalisuoja
- vaihekatkosuoja
- vinokuormitussuoja
- katkaisijavikasuoja
- distanssisuoja



## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö toteutui odotetussa ajassa ja suunnitelmien mukaisesti. Työn alussa määritellyt tavoitteet toteutuivat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta: PC-ohjelmistolla luotavien koestuspohjien luonti.

Alkuperäiseen suunnitelmaan kuului sisäiseen käyttöön tarkoitettujen yhtenäisten koestusohjeiden sekä –pohjien luonti. Tavoitteita määriteltäessä laitteesta ja sisältämistä toiminnallisuuksista ei kuitenkaan ollut riittävästi lähtötietoa, koska laite oli vasta äskettäin hankittu. Opinnäytetyötä tehdessäni kuitenkin havaitsin, ettei laitteella ole olemassa varsinaista PC-ohjelmistoa, jolla koestuspohjien luonti onnistuisi. Tästä syystä se päätettiin jättää lopullisista tavoitteista pois.

Opinnäytetyön tuloksena kuitenkin saatiin luotua yhtenäiset koestusohjeet käytettäessä SVERKER 900. Tämän lisäksi laitteen sisältämistä ominaisuuksista ja sen käytöstä saatiin lisää tietoa, jota voidaan soveltaa yrityksen tulevien toimitusten koestuksessa.

Haluan osoittaa kiitokseni VEO:n suunnittelupäällikkö Ralf Söderholmille ja kehityspäällikkö Ari Pätsille, jotka yhdessä antoivat aiheen tälle opinnäytetyölle. Heidän lisäksi haluan kiittää projekti-insinööri Jukka Reunasta, joka on jakanut tietämystään sähköasemien koestuksesta, vanhempaa projektipäällikköä Erkki Pusaa sekä projekti-insinööri Rami Aihista, jotka ovat auttaneet työn sisällön kanssa.

## LÄHTEET

Elovaara & Laiho, 1988, Sähkölaitostekniikan perusteet

Elovaara & Haarla, 2011, Sähköverkot 1

SFS 60050-448

VAMP 321 User manual

VAMP 255 User manual

REF630 Feeder Protection and Control Application Manual

RET630 Transformer Protection and Control Application Manual

SVERKER 900 User manual

Erkki Pusa, Senior project manager, VEO Oy, haastattelu 2016

Raimi Aihinen, projekti-insinööri, VEO Oy, haastattelu 2016

Jukka Reunanen, projekti-insinööri, VEO Oy, Immalan sähköaseman koestus 2016

VEO Oy koestusohjeet

SÄHKÖVERKON AUTOMAATIO JA SUOJAUS

[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/5sahkoverkon\\_automaatio\\_ja\\_suojaus.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/5sahkoverkon_automaatio_ja_suojaus.pdf)

MUUNTAJAT JA SÄHKÖLAITTEET

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

MAASULKUSUOJAUS

[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/08\\_0\\_Maasulkusuojaus.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/08_0_Maasulkusuojaus.pdf)

Easy admittance

[https://library.e.abb.com/public/70e4864e2722af17c1257ba5002842d4/24-28%202m310\\_EN\\_72dpi.pdf](https://library.e.abb.com/public/70e4864e2722af17c1257ba5002842d4/24-28%202m310_EN_72dpi.pdf)

Piironen Mikko, 2015, Sähköasemien kunnossapitoprosessin kehittäminen

[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16242/master\\_Piironen\\_Mikko\\_2015.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16242/master_Piironen_Mikko_2015.pdf?sequence=1))

## LIITTEET

### **Liitteet salattu**