

Suojareleiden koestuslaitteiden vertailu

Marko Jääskeläinen

Opinnäytetyö

Marraskuu 2019

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Sähkövoimatekniikka

| | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Tekijä Jääskeläinen, Marko | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Päivämäärä Marraskuu 2019 |
| | Sivumäärä 36 | Julkaisun kieli Suomi |
| | | Verkojulkaisulupa myönnetty: x |
| Työn nimi Suojareiden koestuslaitteiden vertailu | | |
| Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), Sähkö- ja automaatiotekniikka. | | |
| Työn ohjaajat Olli Väänänen, Vesa Hytönen | | |
| Toimeksiantaja Jyväskylän ammattikorkeakoulu | | |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Suojausfunktioiden toimivuuden testaaminen on erittäin tärkeä toimenpide suojareiden käyttöönnotossa. Jos suojauksien toimintaa ei varmisteta, seuraukset voivat olla hengenvaarallisia ja vahingot voivat aiheuttaa suuria taloudellisia tappioita. Numeeristen releiden kehittyminen on tarjonnut kattavat ominaisuudet suojauksien toteuttamiseksi. Myös mittamuuntajien kehittyminen on vastannut hyvin digitalisointuneeseen ympäristöön. Perinteisten rautasydämisten mittamuuntajien korvaaminen nykyaikaisemmilla mittasensoreilla luo omat haasteensa alalle.</p> <p>Jyväskylän ammattikorkeakoululla on tavoitteena kehittää sähkölaboratorion laitteistoa ja hankkia tulevaisuudessa nykyaikaiset suojareiden koestuslaite. Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia tarvittava tietoperusta mahdollista tulevaa hankintaa varten. Kyseessä on kehittämistutkimus, jossa tarkasteltiin markkinoilla olevia suojareiden testauslaitteistoja ja laitteistojen ominaisuuksia. Yhtenä avainkohtana tutkittiin uudenmallisten mittamuuntajien toimintaa ja koestusmahdollisuutta.</p> <p>Opinnäytetyö tarjoaa kattavat laitteistoesittelyt kolmelta laitevalmistajalta. Esittelyissä perehdytään koestuslaitteiden ulkoisiin liitäntöihin sekä listataan suojausfunktiot, joita voidaan koestuslaitteella suorittaa. Työn vertailuosiota voidaan hyödyntää laitehankintoja tehdessä, jolloin päästään parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen. Tietoa voidaan mahdollisesti hyödyntää tulevaisuudessa laboratoriotöiden ja opetuksen kehittämisessä.</p> | | |
| Avainsanat (asiasanat) Mittamuuntaja, sensorit, suojarele, testilaite | | |
| Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet) | | |

| | | |
|---|--|-------------------------------------|
| Author Jääskeläinen, Marko | Type of publication Bachelor's thesis | Date November 2019 |
| | | Language of publication: finnish |
| | Number of pages 36 | Permission for web publication: x |
| Title of publication Comparison of the testing equipment of protective relays | | |
| Degree programme Bachelor's Degree Programme in Electrical and Automation Engineering | | |
| Supervisors Väänänen, Olli & Hytönen, Vesa | | |
| Assigned by JAMK University of Applied Sciences | | |
| <p>Abstract</p> <p>The testing of safety applications and procedures are a very important part of implementing a new safety protocol. Without certainty of working safety measurements, consequences can be fatal and financial losses can be massive. The development of numerical relays has provided coverage features for implementing protection methods. The development of instrument transformers has also responded to a highly digitalized environment. Replacing traditional iron-core instrument transformers with more modern measuring sensors creates its own challenges for the industry.</p> <p>The aim of Jyväskylä University of Applied Sciences is to develop the equipment of and electric laboratory and to acquire a modern protective relay tester in the future. The aim of this thesis was to prepare the necessary knowledge base for possible future acquisition. This is a development study aimed at examining the protection relay testing equipment and equipment features available on the market. One of the key points was to investigate the functions and testing capability of the new model transformers.</p> <p>The thesis provides comprehensive hardware demonstrations from three device manufacturers. The demonstration introduces the external connections of the tester and lists the protection functions, that can be performed with the testing equipment. The comparison section of the thesis can be utilized when making equipment purchases to achieve the best possible result. This information provided here could be used in the future to develop laboratory work and teaching methods.</p> | | |
| Keywords/tags (subjects) Instrument transformer, sensors, protective relay, test equipment | | |
| Miscellaneous (Confidential information) | | |

Sisältö

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Johdanto | 3 |
| 2 | Mittamuuntaja | 4 |
| 2.1 | Virtamuuntaja..... | 4 |
| 2.2 | Jännitemuuntaja..... | 6 |
| 2.3 | Uudentyyppiset mittamuuntajat..... | 8 |
| 2.4 | Väylätekniikan hyödyntäminen mittamuuntajilla..... | 13 |
| 3 | Suojarele | 15 |
| 3.1 | Suojareleiden esittely | 15 |
| 3.2 | Suojareleen tehtävät | 16 |
| 3.2.1 | Ylivirtasuojaus..... | 17 |
| 3.2.2 | Maasulkusuojaus | 18 |
| 3.2.3 | Differentiaalisuojaus..... | 19 |
| 4 | Koestaminen | 21 |
| 5 | Koestuslaitteiston vertailu | 23 |
| 5.1 | Megger Sverker 900 -koestuslaite..... | 24 |
| 5.2 | Doble F6150sv -koestuslaite | 26 |
| 5.3 | Omicron CMC 356 -koestuslaite..... | 28 |
| 5.4 | Yhteenvedo koestuslaitteista..... | 30 |
| 6 | Pohdinta..... | 33 |
| | Lähteet | 34 |

Kuviot

| | |
|---|----|
| Kuvio 1. Virtamuuntajan kytkentäkaaviot..... | 5 |
| Kuvio 2. Jännitemuuntajan kytkentäkaaviot..... | 7 |
| Kuvio 3. ABB:n yhdistelmäsensori..... | 9 |
| Kuvio 4. Rogowski-käämi | 10 |
| Kuvio 5. Jännitesensorin rakenne | 11 |
| Kuvio 7. Sensorin kytkentä suojareleelle | 12 |
| Kuvio 8. Adapterin hyödyntäminen kytkennässä | 13 |
| Kuvio 9. Perinteinen ja nykyaikainen jakeluasema | 14 |
| Kuvio 10. ABB:n kennotermiäli | 16 |
| Kuvio 11. Maasulusta aiheutuvat vaarajännitteet | 18 |
| Kuvio 12. Pienimpedanssidifferentiaalisuojan toimintaperiaate..... | 20 |
| Kuvio 13. Suurimpedanssidifferentiaalisuojan toimintaperiaate | 21 |
| Kuvio 13. Sverker 900 -laitteen etupaneeli..... | 25 |
| Kuvio 14. F6150sv -laitteen etupaneeli..... | 27 |
| Kuvio 16. CMC 356 -laitteen etupaneeli | 28 |
| Kuvio 17. CMC 356 -laitteen takapaneeli..... | 29 |

Taulukot

| | |
|---|----|
| Taulukko 1. Suojauksen raja-arvot..... | 8 |
| Taulukko 2. Koestuslaitteiden yhteenveto..... | 32 |

1 Johdanto

Suojausjärjestelmä on erittäin kriittinen osa sähkönjakelua. Ilman hyvää suojausjärjestelmää viat voivat olla hengenvaarallisia ja aiheuttavat taloudellisia seurauksia. Suojauksia voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Yksi yleisemmin käytetyistä on rele-suojaus. Nykypäivänä suojareleet ovat kehittyneet sille tasolle, että ne kykenevät hoitamaan ja tarkkailemaan tehokkaasti verkon eri osia itsenäisesti.

Relesuojausjärjestelmän tulee olla selektiivinen, nopea ja toimintavarma, jotta kyettään minimoimaan riskit. Suojareleiden toimintakunnon valvonta on tärkeää ennaltaehkäisevää toimintaa. Tässä opinnäytetyössä keskitytään suojauksen komponentteihin, koestukseen sekä testauslaitteiston vertailuun. Pääpaino suojauksen komponenteissa on mittamuuntajissa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Paremminkin nimeltään tunnettu JAMK tarjoaa korkeakoulututkintoon johtavaa koulutusta, avoimia korkeakouluopintoja, täydennyskoulutusta sekä ammatillista opettajakoulutusta. Koulussa opiskelee lähes 8 500 opiskelijaa sekä heidän parissaan työskentelee henkilöstöä noin 700. (Tietoa JAMKista. N.d.)

Opinnäytetyön tavoite on saada kokonaisvaltainen vertailu eri valmistajien testauslaitteistojen välillä. Vertailulla pyritään tarjoamaan kattava informaatiopaketti Jyväskylän ammattikorkeakoululle. Kyseessä on kehittämistutkimus, jota voidaan hyödyntää sähkölaboratorion laitteistojen kehittämisessä tulevaisuudessa. Samalla kyetään tarjoamaan sähkövoimatekniikan opiskelijoille ajantasaista opetusta nykyaikaisilla laitteilla.

Tehtävänä oli perehtyä suojalaitteisiin sekä suojareleiden koestukseen. Tavoitteena on ymmärtää suojalaitteita osana suojausjärjestelmän kokonaisuutta. Opinnäytetyössä keskitytään mittamuuntajiin ja niiden toimintaan suojareleiden rinnalla. Samalla perehdytään uudenmallisiin mittamuuntajiin, jotka hyödyntävät Rogowskin -kelaa mittauksessa sekä väylätekniikkaa tiedonsiirrossa.

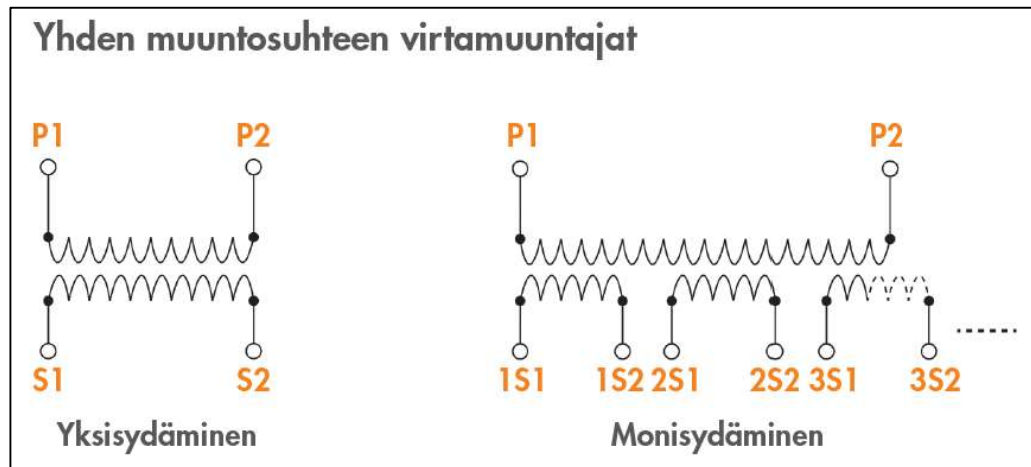
2 Mittamuuntaja

Mittamuuntajat ovat laitteita, joita hyödynnetään suojaus- sekä mittaustekniikassa. Mittamuuntajien toimintaperiaate on samankaltainen kuin muuntajilla, eli rautasydämen ympärillä on ensiö- sekä toisiokäämit. Muuntosuhde muodostuu näiden kahden käämien kierroslukujen suhteesta. Mittamuuntajat kytketään ensiö- ja toisiokojeiden välille, eli ensiöpiiristä saatu mittaustulos muunnetaan sopivaan kokoluokkaan toisiopuolelle. Tällöin mitattu ensiösignaali muunnetaan mittamuuntajan kierrosluvun suhteen toisiopuolelle mahdollisimman virheettömästi. Mittaustuloksessa esiintyy kuitenkin pieniä virheitä johtuen hajaimpedanssista ja tyhjäkäyntivirrasta. Nämä virheet aiheuttavat tuloksessa virta-, jännite ja kulmavirhettä. (Aura & Tonteri 2000, 293-297.)

Mittamuuntajat jaetaan virtamuuntajiin sekä jännitemuuntajiin, joiden päätehtävänä on sähköpiirissä muuntaa mitattava virta tai jännite sopivan suuruiseksi mittareille ja muille piirissä oleville releille, sillä näiden komponenttien valmistaminen suurille virta- ja jännitearvoille ei ole taloudellisesti tai teknillisesti kannattavaa. Muita tärkeitä tehtäviä mittamuuntajilla on suojata mittareita ylikuormitukselta sekä mahdollistaa vapaan sijoittelun mittareille ja releille. (Aura & Tonteri 2000, 293-297.)

2.1 Virtamuuntaja

Virtamuuntajan tarkoitus sähköpiirissä on ensiövirran pienentäminen. Tästä johtuen toisiokäämin kierrosluku on suurempi kuin ensiökäämin. Virtamuuntajia käytetään suojaus- tai mittaustehtävissä. Yleisesti samaa virtamuuntajaa käytetään samanaikaisesti molempiin tehtäviin, jolloin itse kojeessa on useampi sydän (ks. kuvio 1). Tämän kaltaisissa tapauksissa virtamuuntajalla on yhteinen ensiökäämi, mutta kahdesta kolmeen erillistä toisiokäämiä, jotka nimetään mitta- tai suojaussydämiksi. Virtamuuntajan ensiöpuoli kytketään aina sarjaan kuorman kanssa, jotta laite voi lukea virta-arvon. (Korpinen 1998, luku 9.3.)



Kuvio 1. Virtamuuntajan kytkentäkaaviot (Mittamuuntajien yleiset ominaisuudet 2017, 4)

Virtamuuntajien ensiövirrat suuruudet on standardoitu arvoihin: 10; 12,5; 20; 30; 40; 50; 60; ja 75 A sekä lisäksi arvojen kymmenpotenssikerrannaiset arvot. Suositellut käytettävät virta-arvot ovat yleensä 10; 15; 20 ja 75 A. Virtamuuntaja mitoitetään yleensä käyttökohteen vikavirtojen mukaan, sillä liian suuri mitoitus voi aiheuttaa ongelmia mittareiden ja suojareleiden herkkyyksien kanssa. Optimitilanteessa suojaus-tarkoitukseen suunnitellun virtamuuntajan tulisi kyetä toistamaan oikein vikavirran huippuarvo sijoituspaikassaan. Virtamuuntajien toisiovirran standardoidut arvot ovat 1, 2 ja 5 A. Suositeltavat arvot ovat 1 ja 5 A. Arvojen valinnassa pitää huomioida etäisyydet. Yleisesti 5 A:n toisiovirtoja käytetään lyhyillä etäisyyksillä, sillä pitkillä matkoilla käyttö johtaisi toisiokaapeleiden kasvavaan tehon kulutukseen, jolloin teho pitäisi huomioida mitoituksessa ja nimellistehon valinnassa. (Mittaus-, ohjaus- ja suojalaitteistot. 2000, luku 10.1.)

Mittaus tai suojaustarkoituksiin suunnitelluille virtamuuntajille on määritelty omat tarkkuusluokat. Tarkkuusluokka ilmaistaan numeroarvolla, joka kertoo virran mitauksessa suurimman sallitun virtavirheen suuruuden. Virtavirheeksi kutsutaan tilannetta, kun tyhjäkäyntivirta aiheuttaa toisiovirran muuttumisen ideaalitalasta. Virtamuuntajat on suunniteltu ja mitoitettu siten, että ne kykenevät toistamaan 50 Hz:n

taajuisia sinimuotoisia virtoja oikein. Yli 50 Hz:n nimellistaajuiset yliaallot aiheuttavat virtamuuntajan toiminnassa virhettä. (Laurila 2010, 17.)

On myös tärkeää ymmärtää mihin virtamuuntajassa syntyvät virheet vaikuttavat. Magnetoimisvirta, käämien resistanssit ja hajareaktanssit aiheuttavat toiminnalle virhettä. Virtamuuntajalla syntyy kahdenlaisia virheitä, joita ovat virtavirhe ja kulmavirhe. Virtavirhe aiheuttaa nimensä mukaan virtamuuntajalla virhettä virranmittauksessa, kun taas kulmavirhe aiheuttaa virhettä tehon- ja energianmittauksessa. Virtamuuntajat jaetaan virheen suuruuden mukaan tarkkuusluokkiin.

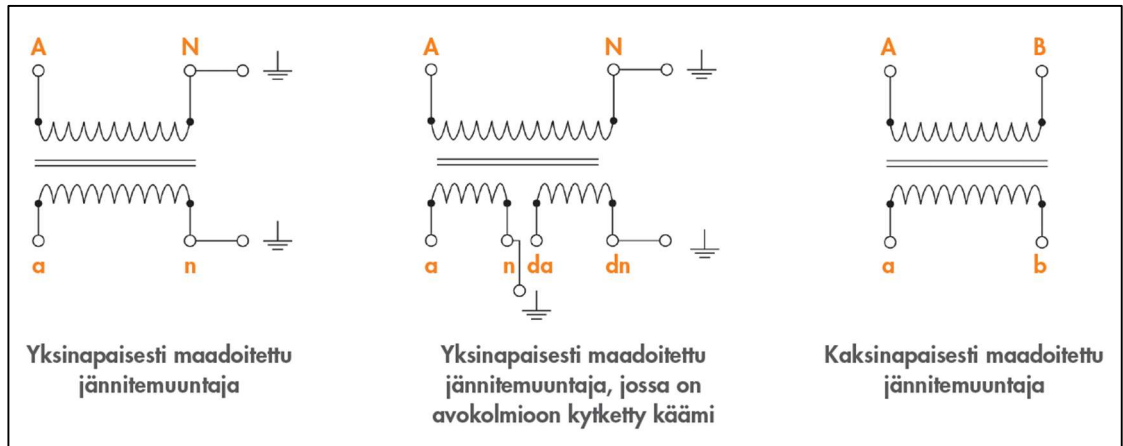
Virtamuuntajan valintaan vaikuttaa myös virtamuuntajien taakka. Taakka on toisioliittimien välillä kokonaisimpedanssilla kuluva tehoa. Mikäli taakka kasvaa, vaikutus virtavirheeseen on negatiivinen. Tästä johtuen liian suurelle taakalle mitoitettu virtamuuntaja toistaa mitatun toisiovirran suurempana kuin muuntosuhteen kuuluu olla. Mitoitus tulee tehdä aina tapauskohtaisesti ja valita lähimpänä nimellistaakkaa oleva standardiarvo, joita ovat 2,5; 5; 10; 15; 30; 45 ja 60 VA. (Puttonen 2018d.)

Käytettäessä virtamuuntajia on tärkeää muistaa, että virtamuuntajan toisiopiirin avaaminen käytön aikana on kielletty. Avatessaan syntyy toisiopiiriin suuri toisiojännite, joka on erittäin vaarallinen käyttäjälle ja lisäksi voi aiheuttaa vahinkoa eristyksille toisiopiirissä. Avauksesta syntyy myös suuri magnetointivirta. Tilanteen jatkussa riittävän kauan magnetointivirta voi rikkoa muuntajan. Tästä johtuen on kiellettyä asentaa sulaketta toisiopiiriin, sillä sulakkeen lauetessa ongelmat astuvat voimaan. (Puttonen 2018d.)

2.2 Jännitemuuntaja

Jännitemuuntajan tehtävänä on muuntaa ensiöpuolen jännite sopivalle tasolle toiskojeille. Samalla jännitemuuntaja toimii eristäjänä ensiö- ja toisiopiirin välillä. Jännitemuuntajassa samalla sydämellä voi olla toisiokäämejä yhdestä kahteen, kuten kuviossa 2 on esitelty. Tällöin käyttökohteet voidaan jakaa kolmeen kategoriaan:

- mittauskäämi mittaukseen
- suojauskäämi suojaukseen sekä mittaukseen
- avokolmiokäämiä maasulkusuojauksen toteutukseen.



Kuvio 2. Jännitemuuntajan kytkentäkaaviot (Mittamuuntajien yleiset ominaisuudet 2017, 7)

Jännitemuuntajan valinnassa jokainen tapaus pitää myös tarkastella erikseen, sillä valintaan vaikuttavat suojattava kohde ja käytettävät jännitteet. Standardoidut ensiöjännitteet IEC:n standardin mukaan ovat 3; 6; 10; 20; 30; 45; 110; 220 ja 380 kilovoltia eli kV. (Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. 2000, luku 10.2.)

Nimellistaakka jännitemuuntajilla muodostuu suojarleiden ja mittalaitteiden taakkojen summasta nimellistoistojännitteellä. Kyseessä on suurin mahdollinen kuormitus, jolla jännitemuuntaja kykenee pysymään tarkkuusluokassaan kuormitustilanteessa. Nimellistaakka ilmaistaan yksiköllä VA eli volttilampeeri. Kuten virtamuuntajalla myös jännitemuuntajallakin on standardoidut arvot nimellistaakalle, joita ovat 10; 15; 25;

30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400 ja 500 VA. Liian suuren nimellistaakan valinta mittauksessa heikentää mittaustuloksen tarkkuutta. (Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. 2000, luku 10.2.)

Jännitemuuntajan tarkkuusluokat muodostuvat suurimpien sallittujen virheiden perusteella. Jokaisella käytössä olevalla jännitemuuntajalla on määritelty kulma- ja jännitevirhe. Mittaukseen tai suojaukseen käytettävien jännitemuuntajien rajat ovat erilaiset. Taulukossa 1 on esiteltynä suojauksessa käytettävät raja-arvot.

Taulukko 1. Suojauksen raja-arvot (Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. 2000, taulukko 10.2d)

| Tarkkuusluokka | Jännitevirhe ($\pm \%$) | Kulmavirhe ($\pm \text{min}$) |
|----------------|---------------------------|---------------------------------|
| 3P | 3,0 | 120 |
| 6P | 6,0 | 240 |

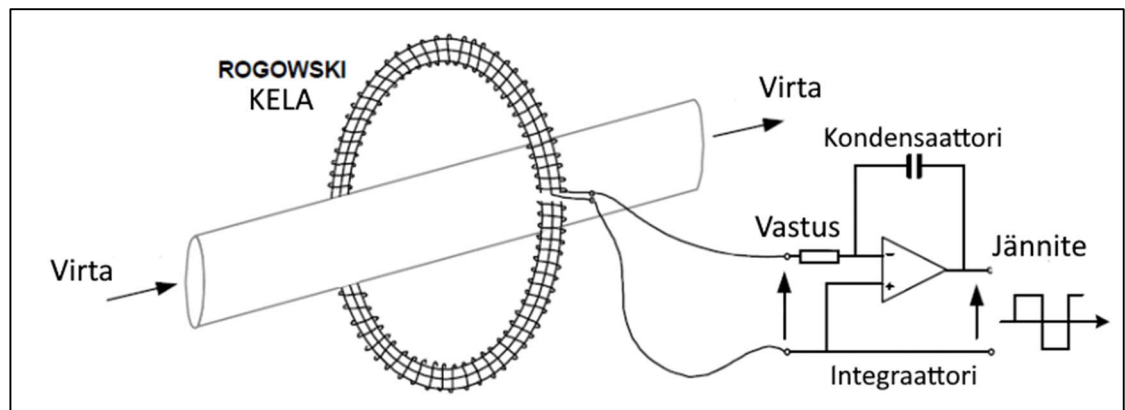
2.3 Uudentyyppiset mittamuuntajat

Keskijännitekojeistossa on ollut käytössä perinteisiä rautasydämiä ja magneettisia mittamuuntajia jännitteen ja virran mittaukseen. Teknologian kehittymisen myötä uudentyyppiset jännite- ja virtasensorit tarjoavat paremman mittausjärjestelmän vanhaan perinteiseen verrattuna. Mittaukseen ja suojaukseen käytettävät sensorit tarjoavat toiminnallisuuden, henkilöturvallisuuden ja ympäristöystävällisyyden puolesta selkeästi paremmat ominaisuudet kuin vanhat perinteiset mittamuuntajat. Uudessa sensoreissa rautasydämeistä on luovuttu, jolloin on ollut mahdollista integroida molemmat virta- ja jännitesensorit yhdeksi yhdistelmäsensoriksi, joita esimerkiksi löytyy valmistaja ABB:n tuotteista (ks. kuvio 3). (Indoor combined sensors KEVCD n.d.)



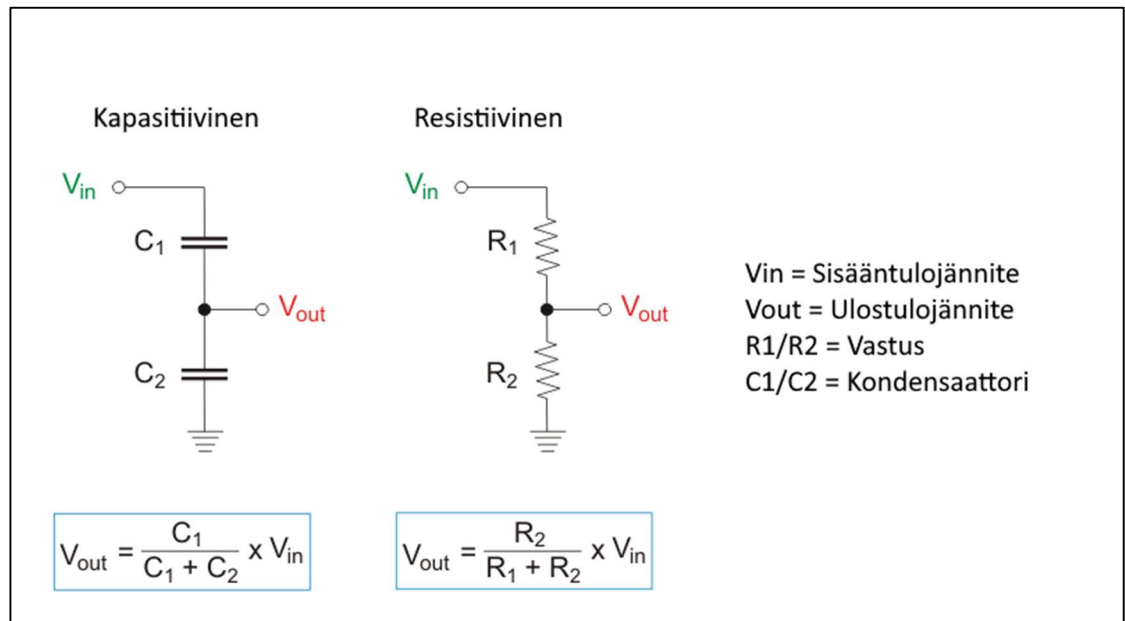
Kuvio 3. ABB:n yhdistelmäsensori (Indoor combined sensors KEVCD n.d)

Toimintaperiaate virtasensorissa perustuu Rogowski-käämiin (ks. kuvio 4), jossa ei-magneettinen materiaali korvaa perinteisen rautasydämen. Sensorin kattavan dynaamisen mittausalueen avulla on mahdollista mitata suuria virtoja muutamasta milliampeerista aina kiloampeereihin ilman, että sydän kyllästyy. Lähtösignaalina toimii jännite, mikä on aikariippuvalle virranmuutokselle verrannollinen. Jännite integroidaan digitaalisesti ulos lähdöstä. Lähdöstä tulevasta jännitteestä saadaan selville virtasensorin arvo. Käytettäessä sensoria keskijännitekojeistoissa on mahdollista saavuttaa erittäin suuri tarkkuus, mikäli sensorin sydän ja käämitys on valmistettu laadukkaasti. Epätarkkuutta sensorissa aiheuttavat lämpötila, muut vaihevirrat sekä ensiöjohtimen pituus. (Uniswitch keskijännitekojeisto n.d, luku 5.10.)



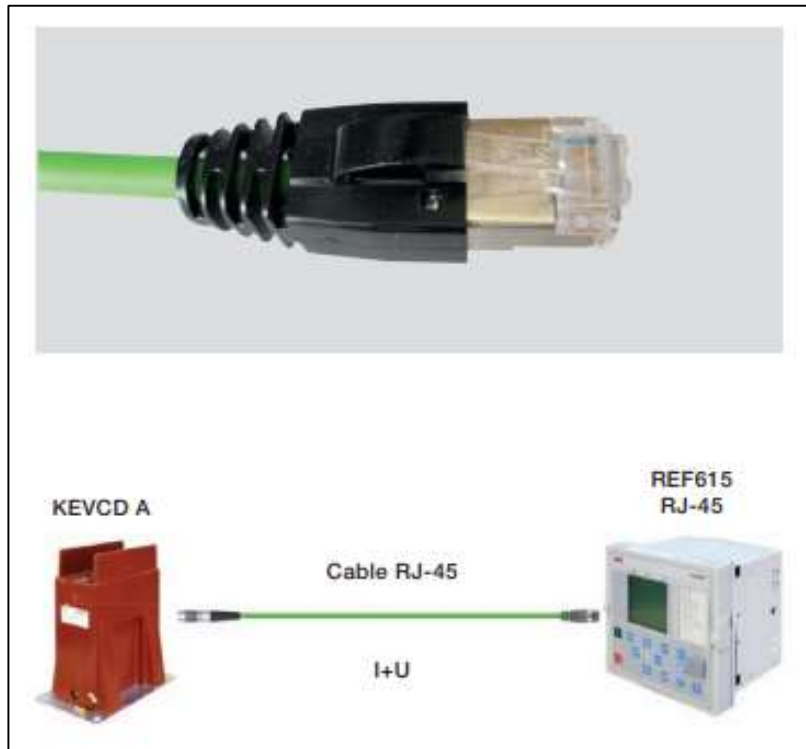
Kuvio 4. Rogowski-käämi (Rogowski coil current probe 2017)

Jännitesensorin mittausmenetelmä perustuu resistiiviseen tai kapasitiiviseen jännitteen jakajaan, jossa tärkein ominaisuus on rautasydämen häviäminen. Jännitesensorin tarkkuus on riippuvainen jakosuhteen tarkkuudesta resistoreiden välillä. Tällä tarkoitetaan, että vastuksien resistanssit voivat muuttua, mikäli muutos on suhteessa samaan suuntaan. Epätarkkuutta jännitesensorissa aiheuttavat resistanssin lämpötilakerroin, jännitekerroin tai poikkeama. Kuviossa 5 on esitelty resistiivisen ja kapasitiivisen jännitesensorin rakenne. (Uniswitch keskijännitekojeisto n.d, luku 5.12.)



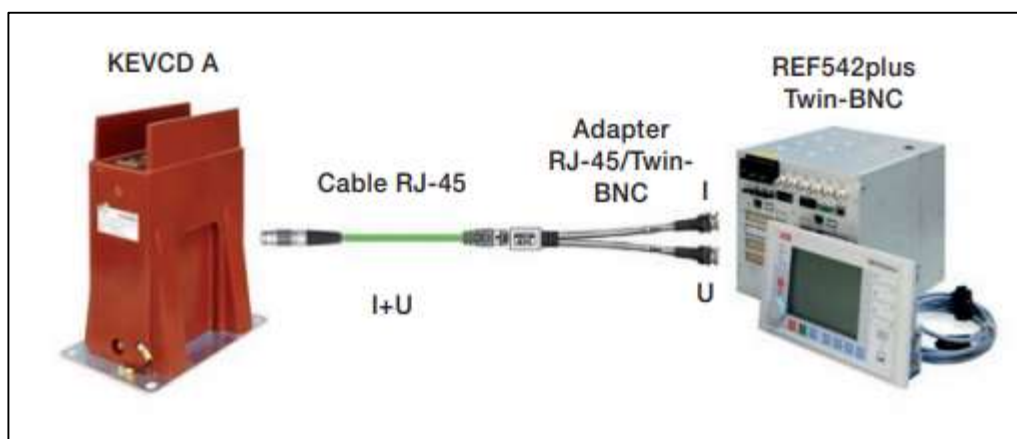
Kuvio 5. Jännitesensorin rakenne (Voltage sensor 2018)

Nykyaikaiset sensorit kytketään hyödyntäen RJ-45 Ethernet -kaapelia. Kaapeli kytketään suoraan älykkäälle elektroniikkalaitteelle (Intelligent Electronic Device, IED). IED:t ovat sähköasemalla verkkoon kytkettyjä automaatiolaitteistoja. Niiden käytännölläheisempi termi on suojarele. Esimerkkinä kuviossa 6 näkyy valmistajalta havainnollistava kuva, kuinka sensorit voidaan kytkeä suojareleelle.



Kuvio 6. Sensorin kytkentä suojarielelle (Indoor combined sensors KEVCD n.d)

Tapauksessa, jossa virtasensorilta lähetettävä signaali on liian suuri IED:n prosessoitavaksi, tarvitsee välille kytkeä virta-adapteri. Adapterin avulla saavutetaan suurempi muuntosuhde, jolloin suojariele kykenee arvon lukemaan sensorilta. Valmistajalta ABB on tarjolla havainnollistava esitys kytkennän toteutuksesta, joka on esitetty kuviossa 7.



Kuvio 7. Adapterin hyödyntäminen kytkennässä (Indoor combined sensors KEVCD n.d)

2.4 Väylätekniikan hyödyntäminen mittamuuntajilla

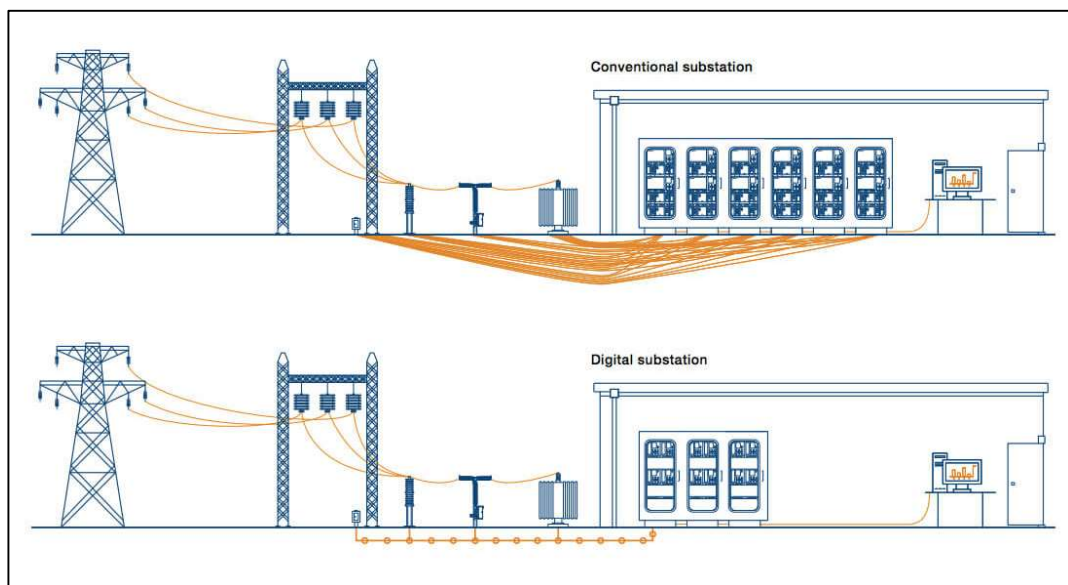
Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio IEC on määrittänyt standardin IEC 61850, joka on sähköasema-automaation ja sähköjakelun ethernet-pohjainen tiedonsiirto- ja järjestelmäarkkitehtuuristandardi. Tarvittaessa tietoa voidaan siirtää myös ethernet-kaapelin sijasta valokuidun avulla. Standardin tarkoitus on määrittää yhteiset säännöt laitteistojen väliselle kommunikoinnille. Lyhyesti kuvailtuna eri valmistajien laitteistojen tulee kyetä kommunikoimaan keskenään, jolloin turvallisen kokonaisuuden luominen ei vaadi valmistajasta riippuvaista toteutusta. (Mustonen 2018, 14.)

Informaation siirtämiseen tarvitaan tiedonsiirtopalveluita. Standardissa on määritelty käytettäväksi Abstract Communication Service Interface eli ASCI -tiedonsiirtopalvelua. ASCI on yksinkertainen rajapinta, jota hyödyntäen voidaan jakaa esimerkiksi virta- tai jännitemuuntajilta saatuja arvoja IED-laitteille. Käytettäessä ASCI-rajapintaa eri valmistajien laitteiden ei tarvitse tietää vastaanottavasta laitteesta mitään, sillä tiedonsiirto tapahtuu rajapinnassa. (Mäkelä 2018, 45.)

Perinteisiltä mittamuuntajilta tuleva tieto on analogisessa muodossa. Jotta IEC 61850-standardia noudattava IED kykenee tiedon käsittelemään, tarvitsee tieto muuntaa

analogisesta digitaaliseen muotoon. Tähän tehtävään on kehitelty Merging Unit -laitteet. Yksinkertainen toimintaperiaate MU -laitteella on muuntaa analogiset mittausarvot digitaalisiksi arvoiksi, jonka jälkeen digitaalinen tieto lähetetään prosessiväylää pitkin IED-laitteelle, joka kykenee tulkitsemaan mittausarvot. (Mäkelä 2018, 45.)

Verratessa vanhoja jakeluasemia nykyaikaisiin digitaalisiin jakeluasemiin erot ovat valtavia. Digitaalisella jakeluasemalla tarkoitetaan tässä tapauksessa niitä asemia, jotka hyödyntävät IEC 61850 – standardia vastaavia Merging Unit -laitteistoja ja IED -laitteita. Suurimpana etuna toteutuksessa on perinteisten kuparijohdotusten vähentyminen, mikä on esitelty kuviossa 8.



Kuvio 8. Perinteinen ja nykyaikainen jakeluasema (Froese 2017)

Merging Unit asennetaan yleisesti lähelle komponentteja, joista halutaan tietoa jakeluaseman valvontalaitteille. Tällöin ei ole enää tarpeellista johdottaa kuparikaapeleilla pitkiä matkoja asemalla sisällä oleviin keskuksiin. Kaapeleiden vähentyessä asennuksiin käytettävä aika vähenee. Lisäksi aseman modernisointi on tulevaisuudessa helpompaa, sillä uuden laitteen liittäminen väylälle on vähemmän työläämpää, kuin uusien kaapeleiden vetäminen maan alle. Sähköturvallisuus paranee huomattavasti nykyaikaisen järjestelmän myötä.

Muita etuja kuparikaapeleiden korvaamisesta prosessiväylällä ovat nopeampi tiedon-siirto, kustannusten lasku ja järjestelmän täyden potentiaalin hyödyntäminen. Mitta-muuntajien näkökulmasta ajateltuna digitaalinen jakeluasema on turvallinen, sillä testauksen kykenee suorittamaan digitaalisesti kokonaan koskematta johdotuksiin.

3 Suojarele

3.1 Suojareleiden esittely

Suojareleet ovat mittaavia laitteita, jotka toimivat tietyillä arvoilla, riippuen käytettävästä mitoitusesta. Toimintaperiaate suojareleillä on toimia katkaisijan laukaisimena. Laukaisu tapahtuu, kun mitattava arvo ylittää toimintarajan releellä, mikä havahduttaa suojareleen ja toiminta-ajan jälkeen antaa laukaisuvirikkeen katkaisijalle. Päävirtapiirissä sijaitsevia suojareleitä kutsutaan primääri- eli ensioreleiksi. Primäärireleen tarkoitus on toimia mekaanisesti ohjaavana laukaisimena katkaisijalle. Suurilla ylivirta arvoilla toimintatarkkuus on hyvä, mutta mittamuuntajan puuttuessa asettelutarkkuus on huono. Rajoituksena ensioreleen käytölle voi olla dynaaminen kestoisuus, apukoskettimien puute tai asettelun hankaluus jännitteisissä laitoksissa. Tästä johtuen yleisempi tapa on hyödyntää mittamuuntajia kytkennässä, jolloin suojareleet toimivat toisioreleinä virtapiirissä ja ohjaavat apusähkön avulla katkaisijaa. Mittaus tapahtuu sähkömekaanisessa releessä vertailemalla mittasuuresta johtuvaa sähkömagneettista voimaa mekaaniseen. (Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. 2000, luku 10.4.)

Mikroprosessoreiden kehityksen myötä digitaalinen signaalinkäsittely on yleistynyt myös suojareleiden parissa ja syrjäyttänyt markkinoilla pääosin staattiset suojareleet. Nykyaikaiset mikroprosessoidut eli numeeriset releet toimivat pääosin suojareleen toteutustekniikkana. Suurimpana etuna näillä releillä on monipuolisuus, sillä kaikki mittaukseen ja suojaukseen vaadittavat laitteistot on koottu yhdeksi laitteeksi, kenoterminaaliksi. (Puttonen 2018c.)

Kennotermiinaalit ovat osa sähköasema automaatiota. Nykyaikainen kennotermiinaali, joka on kuviossa 9, sisältää verkkokomponenttien tarvittavat suojausfunktioita. Verkkokomponenteilla tarkoitetaan generaattoreita, johtolähtöjä, moottoreita sekä muuntajia. Esimerkiksi maasulkusuoja, ylijännitesuoja ja ylivirtasuoja ovat suojausfunktioita, jotka koostuvat suojausportaista. Kuten aikaisemmin on mainittu toimintarajojen ylittämisestä, myös numeerisella releellä suojausportaan poikkeama aiheuttaa suojareleen lähettämään laukaisukäskyn katkaisijalle. Relesuojauksen taloudellinen hyöty on erittäin suuri. Hyvin aseteltu ja määritelty relesuojaus suojaa vikatilanteissa taloudellisilta vahingoilta. (Laurila 2010, 13.)



Kuvio 9. ABB:n kennotermiinaali (REF630 IEC)

3.2 Suojareleen tehtävät

Tärkein tehtävä suojareleellä on tehokkaasti rajoittaa syntynyttä vikatilanteen vaikutusta. Oikein aseteltu ja määritelty suojarele tarkkailee virtapiiriä ja tarpeen vaatiessa kykenee suorittamaan poiskytkentöjä automaattisesti. Tilanne vaatii oikean suoja-alueen määrittämistä. Suoja-alueella yksinkertaisuudessa tarkoitetaan verkon osaa, johon suojaus keskittyy. Kohteita suojattavalla alueella voivat esimerkiksi olla johdot,

muuntajat sekä moottorit, jotka ovat suoja-alueen ohjaamien katkaisijoiden vaikutuspiirissä. (Laurila 2010, 15.)

Tehtävän lisäksi suoja-alueelle on asetettu tavoitteita. Tärkeimpänä tavoitteena suoja-alueella on suojausten toiminta selektiivisesti. Selektiivisyydellä tarkoitetaan vikapaikan erottamista, että mahdollisimman pieni osa verkosta jää ilman sähköä vikatilanteessa. Toisin sanoen vikapaikka eristetään mahdollisimman läheltä, jotta sen vaikutus muualla verkossa on mahdollisimman pieni. Suunnitellessa suojausta tarvitsee tehdä kompromisseja selektiivisyyden ja nopeuden välillä. Selektiivisyys voidaan jakaa kahteen luokkaan, joita ovat aikaporrastus tai virtaporrastus. (Mts. 15.)

Relesuojauksen yleinen vaatimus on, että suojausten tulee olla aukoton ja kattaa suojauksellaan koko sähköverkko. Jotta tilanne toteutuisi, tulee suoja-alueiden kattaa aukottomasti suojattava sähköverkko. Käyttövarmuus ja yksinkertainen rakenne on olennainen osa suojausta. Huomioitavia asiakohtia suojausten suunnittelussa ovat kustannustehokkuus ja koestus mahdollisuus. (Mts. 15.)

3.2.1 Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojaus perustuu ylivirtareleen toimintaan. Rele havahtuu, kun suojattavan kohteen virta-arvo ylittää asetellun arvon. Nykyisissä kennotermiinaaleissa on kaikki ylivirtareleen toiminnot yhdistettyinä. Käyttäjän näkökulmasta ajateltuna yhdistetyt toiminnot ovat selkeämpi ratkaisu, koska tällöin voidaan valita käyttökohteesta riippuen tarvittavat suojaustoiminnot. Ylivirtareleet ovat yksisuurireleitä ja yleisesti ne jaotellaan kolmeen luokkaan, jotka on kuvailtu alla. (Mörsky 1992, 36.)

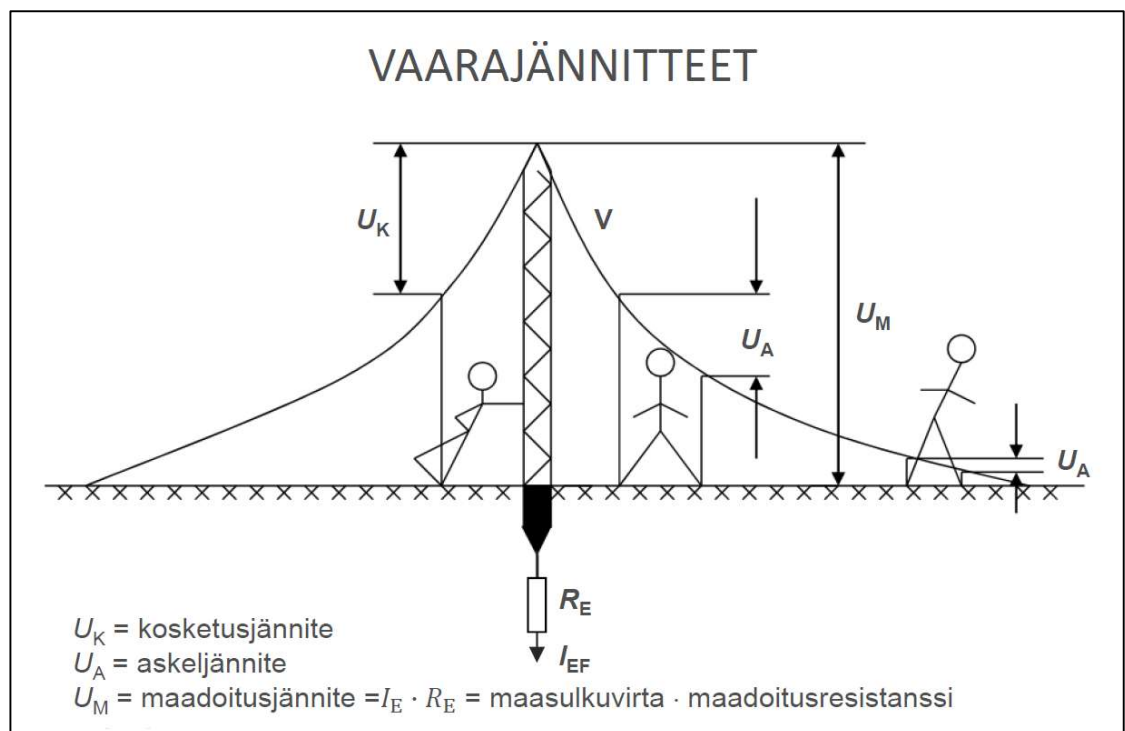
1. Hetkellinen ylivirtarele: toimintaperiaate perustuu välittömään toimintaan ilman viivettä, kun virta-arvo ylittää asetellun arvon.

2. Vakioaikaylivirtarele: havahtuminen tapahtuu virran ylittäessä asetteluarvon ja toimii asetteluajan kuluttua. Virta-arvon palaututtua asetteluarvon alapuolelle, vakioaikaylivirtarele palautuu ja on jälleen valmis havahtumaan uudestaan.

3. Käänteisaikaylivirtarele: havahtuminen tapahtuu virta-arvon ylittäessä sille asetetun arvon ja toimii ajassa, joka perustuu verkon vikavirran ja havahtumisvirran suhteeseen. Tästä johtuen rele laukaisee suurivirtaiset viat nopeammin kuin pienivirtaiset.

3.2.2 Maasulkusuojaus

Maasulku on tilanne kun vaihejohtimen ja maan välille muodostuu johtava yhteys muuten kuin sähkölähteen kautta. Tämänkaltaisia tilanteita ovat esimerkiksi vieras esine johtimien välillä, vanhan eristeen hajoaminen tai salamaniskusta syntyvä ylijännite, joka aiheuttaa ylilyönnin eristimessä. Maasulkuvirran suuruuteen vaikuttaa sähköverkon tähtipisteen maadoitustapa, vikaresistanssin suuruus sekä johtopituus ja johtolaji. Syntyessään maasulku aiheuttaa kuvion 10 mukaisen hengenvaarallisen jännitteen vikapaikkaan ja ympäristöön sekä mahdollisen tulipalovaaran valokaaresta johtuen. (Puttonen 2018a.)



Kuvio 10. Maasulusta aiheutuvat vaarajännitteet (Puttonen 2018a)

Maasulkusuojauksen toteutus perustuu perustaajuisen nollajännitteen mittaukseen aikaisemmin mainitulla avokolmiokytkennällä jännitemittamuuntajalla. Lisäksi virtamuuntajien avulla toteutettava summakytkennällä tai kaapelivirtamuuntajalla. Sulkusuojauksen on kuitenkin toimittava vikaresistanssilla $500\ \Omega$.

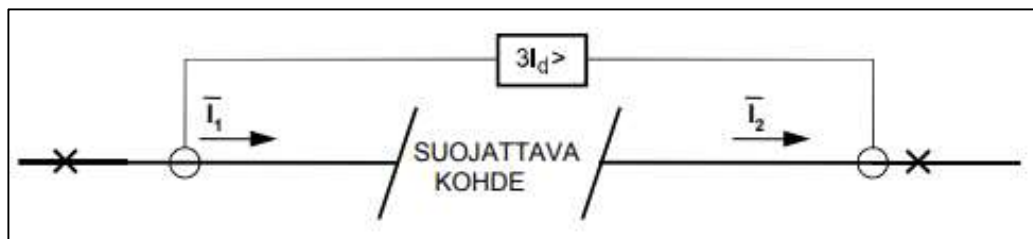
Maasulusta syntyviä vaarallisia jännitteitä voidaan pienentää maadoituksien parannuksilla sekä maasulkuvirtaa pienentämällä. Maasulkuvirran pienentäminen tapahtuu muuttamalla sähköverkkoa pienempiin osiin muuntajien avulla. Toinen tapa virran pienentämiseen on verkon sammuttaminen vikatilanteessa. (Puttonen 2018b.)

3.2.3 Differentiaalisuojaus

Differentiaalisuojaus on suojaustapa, jota voidaan käyttää kaikkien verkon osien kanssa, kuten esimerkiksi muuntajien, johtojen tai kiskostojen suojaamisessa. Suojauksen periaate perustuu lähtevien ja tulevien vaihevirtojen vertailuun. Tapauksessa kun virtojen amplitudit tai vaihekulmat poikkeavat toisistaan, suojan laukaisu tapahtuu. Differentiaalisuojaus toimii ainoastaan mitattavalla alueella tapahtuvissa vioissa, jolloin suojaus on absoluuttisesti selektiivinen. Suojauksella on monia etuja, kuten hyvä toimintanopeus. Suojausalue koostuu virtojen mittauspaiikkojen välillä olevasta alueesta. Toisena etuna suojauksella on suuri herkkyys. Suuren herkkyyden vuoksi voidaan pienetkin vikavirrat havaita. Herkkyyteen vaikuttaa olennaisesti suojareleen tyyppi, suojattava kohde ja virtamuuntajan ominaisuudet. Differentiaalisuojat jaotellaan toimintaperiaatteen mukaan kahteen kategoriaan, joita ovat suurimpedanssi- ja pienimpedanssidifferentiaalisuoja. (Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. 2000, luku 7.5.6.)

Pienimpedanssidifferentiaalisuojan periaate perustuu virran mittaukseen molemmin puolin suojattavaa kohdetta, jolloin saadaan muodostettua erovirta. Havainnollistamisen helpottamiseksi periaate on esitelty kuvioissa 11. Todellisessa tapauksessa erovirta ei ole nolla vaikka vikaa ei olisi suojattavalla alueella. Heitto erovirran ar-

vossa johtuu pääosin mittausvirheestä virtamuuntajalla. Muita tapauksia jolloin erovirran poikkeamia voi ilmetä ovat muuntajien tyhjäkäyntivirrat, käämikytkimien asennosta tai kytkentävirtasysäyksestä hetkellisesti muuntajalla. (Mts. luku 7.5.6.)



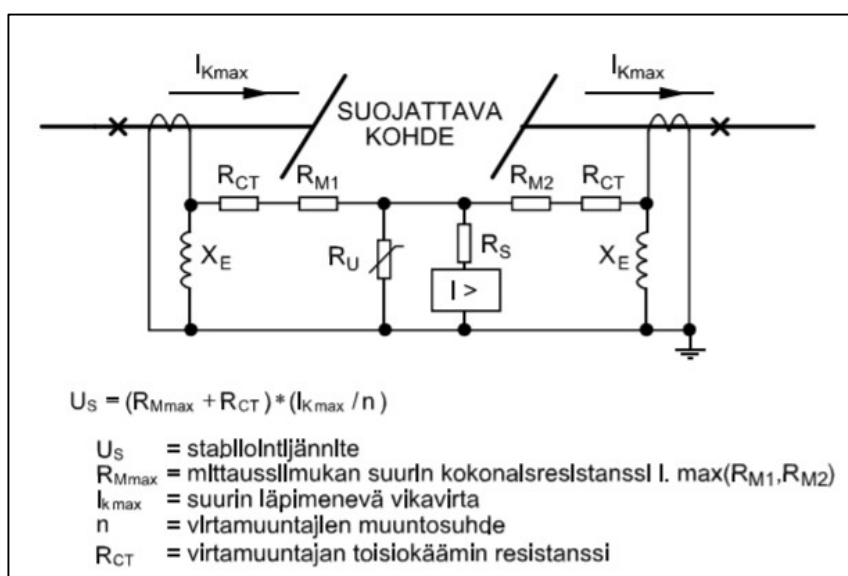
Kuvio 11. Pienimpedanssidifferentiaalisuojan toimintaperiaate (Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. 2000, kuva 7.5g)

Erovirran poikkeama esimerkkinä käämikytkimien asennosta on suoraan verrattavissa muuntajan läpi kulkevan virran suuruuteen. Erovirran kanssa huonoin tilanne syntyy, kun vika ilmenee ulkopuolella suojausaluetta. Tällöin virran arvo on suuri ja voi mahdollisesti vaikuttaa virtamuuntajien eriaikaiseen kyllästymiseen, jonka syystä erovirta kasvaa hetkellisesti. Tämän kaltaisen tilanteen välttämiseksi suoja tarvitsee vakavoida. Vakavointivirta muodostuu suojattavan kohteen molemmin puolin mitausta vaihevirroista. Tällöin laukaisuun tarvitaan suurempi erovirta, mitä suurempi on läpimenevä virta. (Mts. luku 7.5.6.)

Suurimpedanssidifferentiaalisuojauksen toimintaperiaate on yksinkertainen ja käytövarma ratkaisu. Kytkennän stabilointiin käytetään erillistä stabilointivastusta. Vastuksen avulla pyritään estämään erovirran aiheuttama virhetoiminta suojattavan kohteen alueella estämällä virtamuuntajien eriaikainen kyllästyminen. Koska virtaa mittaavat piirit ovat galvaanisesti yhdessä, pitää virtamuuntajien muuntosuhteiden olla samaa luokkaa. Käyttökohteita, joihin suurimpedanssiperiaate sopii, ovat johtojen, koneiden sekä kiskostojen oikosulkusuojauksen toteutus. (Mts. luku 7.5.6.)

Kytken­nän stabilointimitoit­us suurimpedanssisuojalla perustuu siihen, että oletuk­senä yksi virtamuuntajista kyllästyy suojattavan kohteen alueen ulkopuolella samalla, kun sisäpuolella olevat virtamuuntajat eivät kyllästy ollenkaan. Tämän jäl­keen tarkoi­tus on ohjata näennäinen erovirta relepiiriin sijasta kyllästyneen virtamuuntajan läpi.

Impedanssi kyllästyneellä virtamuuntajalla on erittäin pieni, joten relepiirille kytetään sarjaan suuri resistanssi eli tässä tapauksessa stabilointivastus. Näennäinen erovirta kulkee tällöin kyllästyneen virtamuuntajan mittaussiirin kautta, jossa jännitehäviö on samaa luokkaa kuin kuviossa 12 olevan relepiirin yli. Tästä aiheutuva stabilointijännite ei saa aiheuttaa suojauksen laukeamista. (Mts. luku 7.5.6.)



Kuvio 12. Suurimpedanssidifferentiaalisuojan toimintaperiaate (Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. 2000, kuva 7.5h)

4 Koestaminen

Koestus on erittäin kriittinen toimenpide laitteiston käyttöönotossa. Tällä pyritään tarkistamaan laitteiston toiminta, asettelut, suojaukset ja kunto. Sähköturvallisuuslaissa 1135/2016 on määritelty yleiset vaatimukset sähkölaitteistoille. Sähkölaitteistot eivät saa aiheuttaa vaaraa henkilölle tai omaisuudelle. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016.)

Sähköturvallisuuslaki määrittelee pykälässä 48, että sähkölaitteistojen haltijaa veloitetaan huolehtimaan kunnossapito-ohjelmasta. Kunnossapidosta huolehtiminen on haltijan vastuulla. Samassa pykälässä myös määritellään luokan 3 sähkölaitteistoille

määräaikaistarkistus, joka on tehtävä viiden vuoden välein. Eri valmistajat saattavat suositella määräaikaistarkistuksen tekemisen useammin.

Määräaikaistarkistuksella tarkoitetaan koestustapahtumaa, jolloin voidaan mahdollisesti huomata erilaiset puutteet ja viat sähkölaitteistoissa. Tarkistusta valvoo Suomessa Turvallisuus ja kemikaalivirasto, paremmin tunnettu nimellä TUKES. Mikäli tarkistuksen yhteydessä löytyy puutteita tai vikoja, laitteisto on tarkistettava uudestaan korjauksien jälkeen. Suojareleiden määräaikaiskoestuksessa keskitytään ainoastaan havaitsemaan suojareleen viat, asetteluvirheet ja puutteet. Tarkistukseen ei sisälly muita verkossa olevia komponentteja tai verkon osia. Määräaikaistarkistuksien lisäksi yleinen käytäntö on suorittaa uuden sähkölaitteiston asennuksien yhteydessä käyttöönotto-koestus. (Niemelä 2015, 14.)

Käyttöönotto-koestuksen päätavoite on testata eri laitteistojen toimintaa ja käytännön toimintoja. Koestuksessa tarkoitus on simuloida erilaisia käyttötilanteita ja vikatilanteita, millä voidaan varmistaa laitteiston käytännön toiminta. Mittaukset tapahtuvat käyttökohteen asettamilla vaatimuksilla, joiden avulla varmistetaan normaalitilanteessa laitteiston virheetön toiminta. Ennen käyttöönotto-koestusta pitää tietää suojalaitteiden merkitys järjestelmässä, jotta ymmärretään oikeat vaatimukset. Käyttöönotto-koestuksen tavat voidaan lajitella neljään tapaan:

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

Ensiökoestus on näistä luotettavin ja kattavin, sillä se kattaa kaikki suojauksessa käytettävät laitteet. Käytännön tasolla ensiökoestus on erittäin haasteellinen suurten koestusjännitteiden ja koestusvirtojen takia. Helpommin suoritettava tapa on toisiokoestus, jolloin jännitteet ja virrat ovat huomattavasti pienemmät. Valehäiriökoestuksella pyritään luomaan ensiöpuolelle vikatilanne, jonka avulla pyritään tarkistamaan suojan oikeanlainen toiminta. (Mts. 14.)

Kun suojareleelle tehdään koestus, pitää suojarele irrottaa suojauspiiristä ja kytkeä koestuslaitteistoon. Relekoestus soveltuu tapauksiin, joissa halutaan testata toimintaa määritetyillä parametreilla ennen laitteen kytkemistä kojeistoon. Suurimpana etuna on muutoksien ja säätöjen helppo muuttaminen ennen varsinaista asennusta. Yleinen tapa suojareleiden koestuksen jälkeen on tehdä toisiokojeistus, jolloin varmistetaan järjestelmän yhtenäinen toiminta halutulla tavalla ja varmistutaan oikeasta toimintatavasta. (Mts. 14.)

Toisiokoestuksen toteuttamiseen tarvitaan erillinen koestuslaite, joka on yksi- tai kolmivaiheinen. Koestuslaitteistoja on monenlaisia, joten ennen koestuksen ja järjestelmän suunnittelua on hyvä miettiä etukäteen omiin tarkoituksiin soveltuvaa koestuslaitetta. Koestuslaitteissa on eroja virtalähtöjen määrissä, ominaisuuksissa ja kanavien määrissä. Yksinkertaisiin koestuksiin sopivat parhaiten yksivaiheiset testilaitteistot käyttäjäystävällisyytensä ja hintansa puolesta. Kolmivaiheiset testilaitteet ovat hieman monimutkaisempia käyttöliittymältään ja hinnaltaan kalliimpia ominaisuuksiensa vuoksi. Kolmivaiheinen testilaitteiston suurin ero yksivaiheiseen on nopeampi ja suorituskykyisempi toiminta. (Mts. 15.)

Koestusta suorittaessa pitää huomioida myös erilaiset riskit, joita voi syntyä koestustapahtuman aikana. Sähköturvallisuusmääräysten huolellinen noudattaminen vähentää riskeistä aiheutuvan vaaran syntymistä. Sähköturvallisuuteen liittyvät huomioitavat kohdat ovat laitteiden jännitteettömyys, työskentelysuojat, työmaadoitukset, koestuslaitteiden kytkennät sekä ammattitaitoinen henkilöstö ja laitteiston tuntemus. Laitteistoa purkaessa on tärkeää noudattaa varovaisuutta ja huolellisuutta. Lopuksi työmaadoitukset pitää purkaa ennen kuin järjestelmä kytketään jännitteelliseksi. (Mts. 16.)

5 Koestuslaitteiston vertailu

Seuraavaksi opinnäytetyössä perehdytään suojareleiden koestuslaitteisiin. Tämän luvun päätarkoitus on esitellä testilaitteiden ominaisuuksia ja vertailla niitä keskenään.

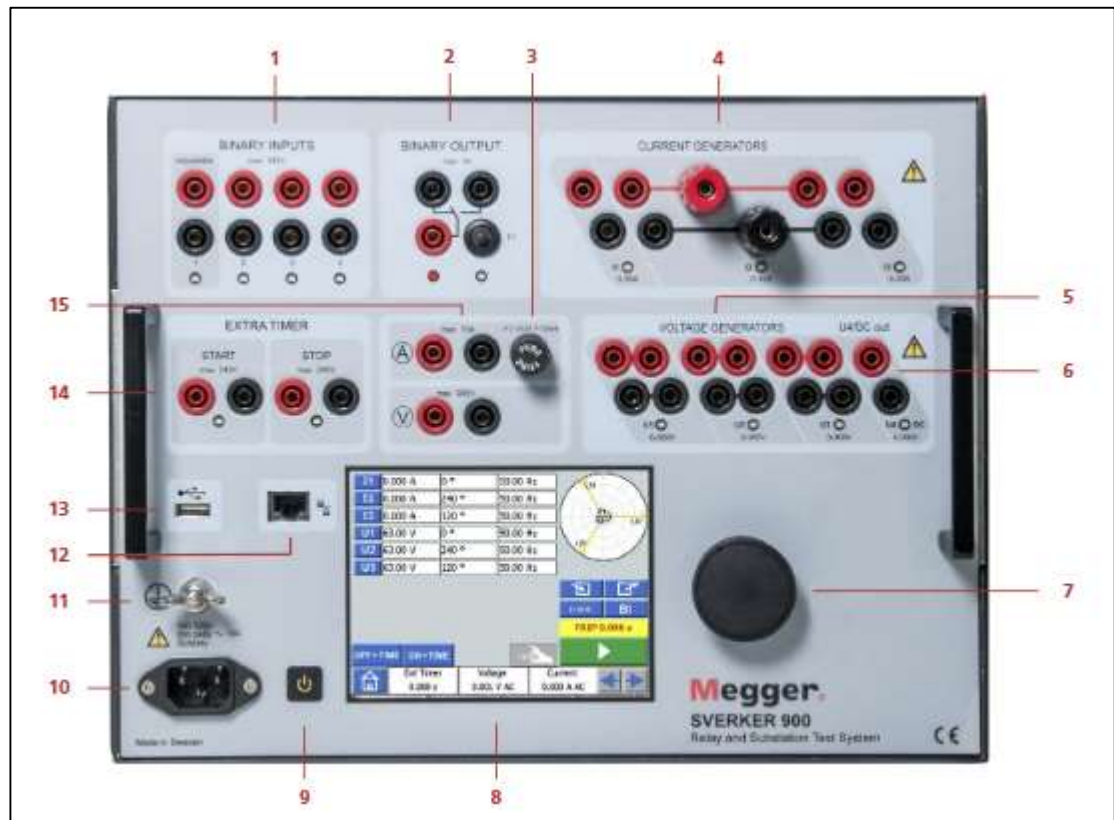
Opinnäytetyön toimeksiantajan ja ohjaajan kanssa kävimme keskustelun laitteista, johon tässä työssä keskitytään. Laitteet ovat valittu yhdessä toimeksiantajan kanssa. Laittevalmistajat ovat Megger, Doble sekä Omicron. Tarkoituksena on tutkia ja vertailla laitteiden ominaisuuksia keskenään sekä pohtia, mikä näistä laitteista vastaisi parhaiten JAMK:n tarpeisiin. Valitut koestuslaitteiden mallit ovat seuraavat:

- Megger Sverker 900
- Doble F6150sv
- Omicron CMC 356.

Laitteistoihin keskitytään yksilöllisesti omissa luvuissaan. Esittelyissä perehdytään laitteistoon yleisellä tasolla sekä tarkastellaan näiden koestuslaitteiden ominaisuuksia.

5.1 Megger Sverker 900 -koestuslaite

Sverker 900-koestuslaite on suunniteltu suojareleiden ja syöttöasemien testauksien toteuttamiseen. Laitteen kyky kolmivaiheiseen testaukseen mahdollistaa käytön sähkönjakeluasemilla sekä teollisuusympäristöissä. Sverker 900 on pääsääntöisesti kehitetty kolmivaiheiseen toisiopuolen koestukseen. (Sverker 900.)



Kuvio 13. Sverker 900 -laitteen etupaneeli (Sverker 900)

Sverker 900:n etupaneelissa on seuraavat toiminnot (ks. kuvio 13):

1. binääritulot
2. binäärilähdöt
3. sulake mittarille
4. virtageneraattorit
5. jännitegeneraattorit
6. tasajännite- / lisäjännitegeneraattorit
7. säätönuppi näytölle
8. kosketusnäyttö
9. pääkytkin
10. laitteen virtajohdon -liitin
11. suojamaan -liitin
12. Ethernet -portti huoltoon varten
13. USB -portti
14. ajastin
15. virta- ja jännitemittaus (Sverker 900).

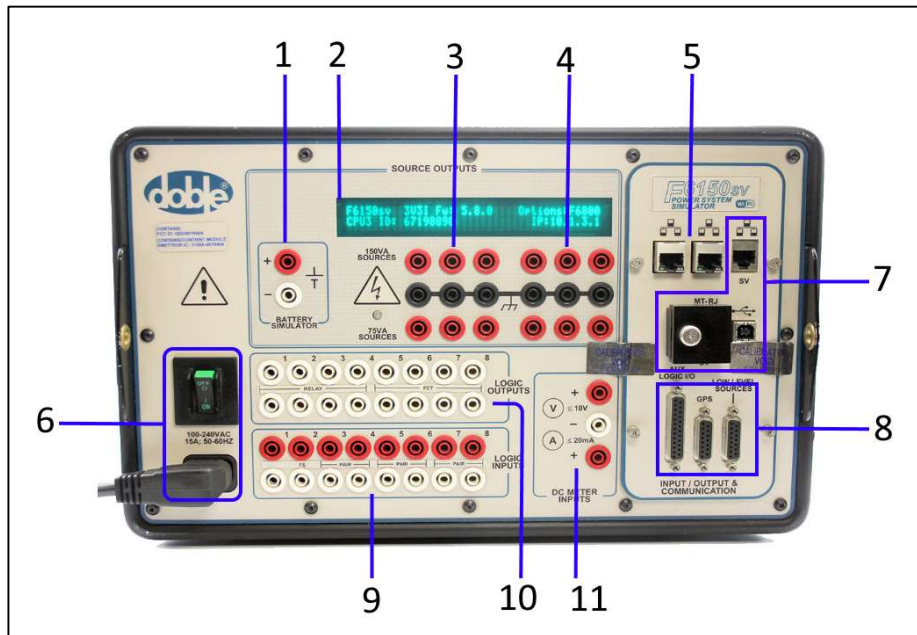
Laitteessa on kolme virtageneraattorisyyttöä ja neljä jännitegeneraattorisyyttöä. Ensiöpuolen koestus on mahdollinen sillä laitteella kyetään saavuttamaan 105 A:n virta-arvo ja 900 V:n vaihtojännite yhdistämällä virta- ja jännitelähtöjä.

Sverker 900 on soveltuvainen koestamaan suojareleiden normaaleita suojausfunktioita sekä muita sähköasemalla sijaitsevia kojeistoja. Kyseisellä laitteella kyetään lisäksi testaamaan mittamuuntajan muuntosuhdetta, virtamuuntajan magnetoitumista, katkaisijan toiminta-aikoja ja automaattista jälleenkytkeytymistä. Suojausfunktioita, joita Sverker 900 kykenee koestamaan on lueteltu alla:

- yli- ja alijännite
- yli- ja alitaajuus
- ylivirta
- erilaiset maasulkusuojat
- vaihekatkosuoja
- differentiaali
- vinokuormitus
- katkasijavika
- distanssi. (Sverker 900.)

5.2 Doble F6150sv -koestuslaite

Doble on Yhdysvalloista kotoisin oleva valmistaja, joka tarjoaa suojarelekoestukseen tarkoitetun F6150sv -laitteen. Kyseisellä laitteella voidaan koestaa IEC 61850 -standardiin perustuvia suojauslaitteita. Perinteiset suoritettavat toiminnot ovat releiden kalibroinnit ja hyväksymistestaukset suojareleille. Koestuslaitteella kyetään myös testaamaan luokan 0,2 virta- ja mittamuuntajat. (F6150sv.)



Kuvio 14. F6150sv -laitteen etupaneeli (F6150sv)

Doble F6150sv:n etupaneelissa on seuraavat toiminnot (ks. kuvio 14):

1. tasajännitesyöttö
2. näyttö
3. jännitelähdöt 6 x 150V
4. virtalähdöt 6 x 35 A
5. Ethernet -portit
6. pääkatkaisija ja virransyöttö verkkovirrasta
7. IEC 61850 Goose & SV liitäntämahdollisuus
8. lisälaitteiden liittimet
9. binääritulot
10. binäärilähdöt
11. DC -mittaustulot (F6150sv).

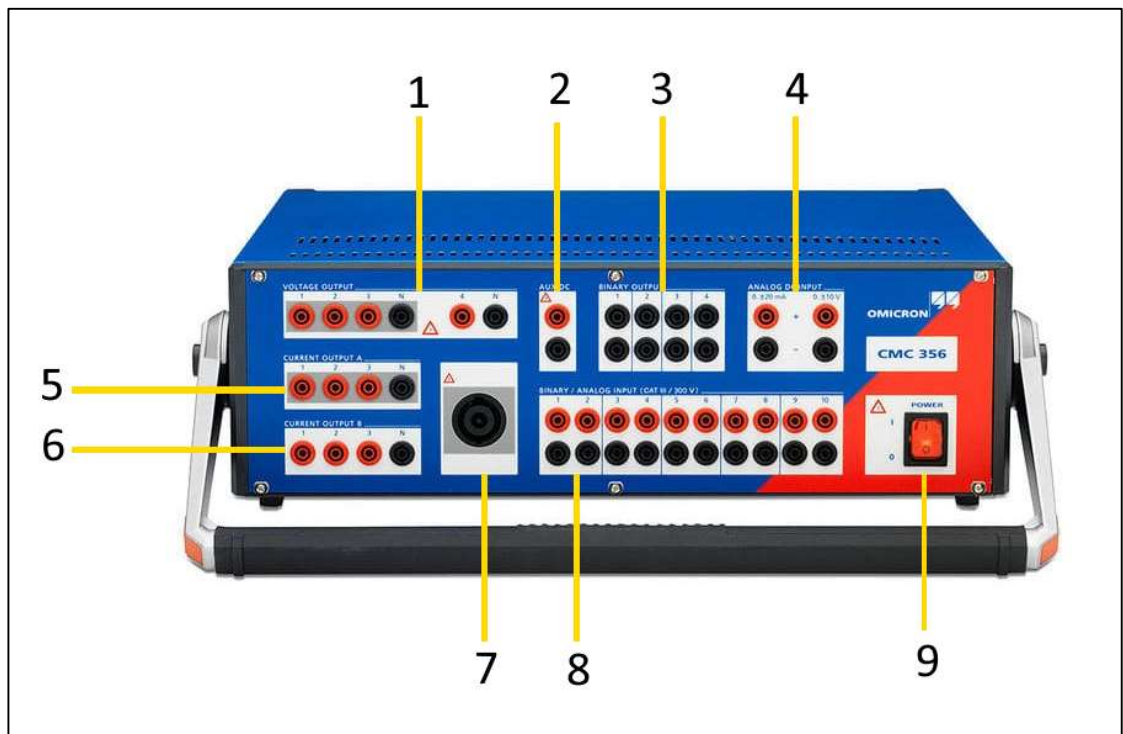
Koestuslaitteen käyttöön tarvitaan valmistajan oma ohjelmisto, joka on nimeltään Doble Protection Suite. Ohjelmistolla operoidaan laitetta ja kyetään suorittamaan koestuksia laidasta laitaan. Testattavia kohtia, joita voidaan F6150sv ja Protection Suite –ohjelmiston avulla testata ovat:

- differentiaali
- distanssi
- yli- ja alijännite
- yli- ja alitaajuus

- ylivirta
- 2. ja 5. harmonista yliaaltoa
- häiriötallenteiden toistomahdollisuus. (Suojareleiden koestus).

5.3 Omicron CMC 356 -koestuslaite

Omicron Electronics GmbH:n valmistava koestuslaite CMC 356 sopii kaikenlaisille suojareleille. Kyseessä on tietokoneohjattu laite, jolla voidaan tarpeen vaatiessa koestaa antureita, energiamittareita, laadunvalvontaan tarkoitettuja laitteita sekä suojareleitä. CMC 356 tarvitsee Omicron Test Universe -ohjelmiston, jolla hallitaan laitteen testiominaisuuksia ja käyttöä. (CMC 356 User Manual n.d.)



Kuvio 15. CMC 356 -laitteen etupaneeli (CMC 356)

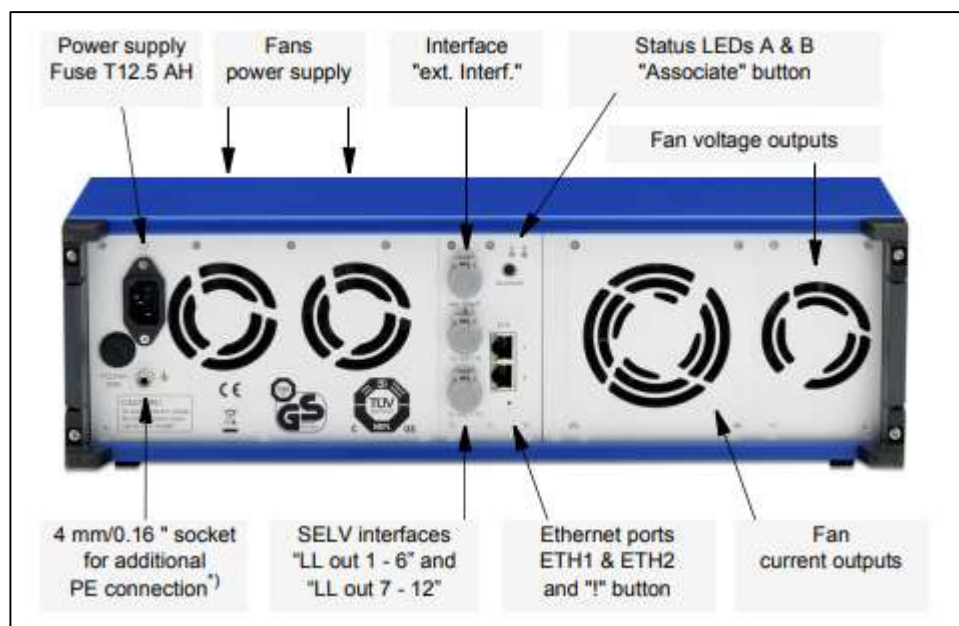
Omicron CMC 356:n etupaneelissa on seuraavat toiminnot (ks. kuvio 15):

1. jännitelähdöt
2. tasajännitesyöttö
3. binäärilähdöt
4. DC -mittaustulot
5. virtalähtö A
6. virtalähtö B

7. generaattorisyöttö
8. binääritulot
9. päävirtakytkin. (CMC 356.)

Etupaneelissa sijaitsevat lähdöt ovat suojattu ylikuormitukselta, oikosuluilta sekä ylikuumenemiselta. CMC 356 tukee IEC 61850 -protokollaa, jolloin laitteella on mahdollista testata standardiin pohjautuvia laitteistoja.

Koestuslaitteen takapaneeli on esitelty kuviossa 16. Takapaneelista löytyy tuulettimet laitteen jäähdyttämistä varten, pistoke virransyötölle verkkovirrasta sekä Ethernet- ja USB -portit. Laitteeseen on myös mahdollista kytketä erilaisia ulkoisia lisälaitteita. Lisälaitteilla tarkoitetaan ulkoisia mittareita tai vahvistimia. Yhdistäminen koestuslaitteen CMC 356 ja tietokoneen välillä tapahtuu takapaneelista löytyvältä Associate -painikkeella. Laitteen operointia varten tarvitaan erillinen ohjelmisto, jonka avulla voidaan suorittaa erilaisia testauksia. (CMC 356 user manual n.d.)



Kuvio 16. CMC 356 -laitteen takapaneeli (CMC 356 user manual n.d)

Omicron Test Universe -testiohjelmisto sisältää useita erilaisia testausmoduuleita, joiden avulla voidaan erikoistua tietynlaisten suojaustoimintojen testaukseen. Suojaustoimintoja, jota ohjelmiston avulla voidaan testata ovat seuraavanlaisia:

- distanssi
- ylivirta
- automaattiset jälleenkytkennät
- differentiaali
- synkronointilaitteiston toiminta
- verkon sammutustoiminnot
- vikatilanteiden tallennus ja toistomahdollisuus. (CMC User Manual.)

5.4 Yhteenveto koestuslaitteista

Laitteiden tutustumisen jälkeen tarkoitus oli syventyä ominaisuuksiin ja pohtia laitteistojen soveltuvuutta ja selvittää, mikä näistä kolmesta koestuslaitteista on järkevin ratkaisu. Yhteenvedossa ilmaisen mielipiteeni laitteistoista. Taulukossa 3 on koottu yhteenvetona tärkeimmät ominaisuudet koestuslaitteiden välillä.

Aiemmin opinnäytetyössä esitellyistä laitteista Megger Sverker 900 on näistä vaihtoehtoista huonoin. Huomattavimmat erot muiden laitteistojen välillä on virtaolostulojen maksimivirta, joka on 105 A. Laite ei myöskään ole IEC 61580 -yhteensopiva ja binääriulostuloja on ainoastaan yksi kappale. Merkittävin ero Sverker 900 koestuslaitteella muihin valmistajiin on operointi. Laitetta operoidaan ainoastaan kosketusnäytön avulla, mikä sijaitsee koestuslaitteen etupaneelissa. Toteutustapa soveltuu hyvin kentällä työskennellessä, mutta pohdittaessa laitteiston käyttöä sähkölaboratoriossa, on opetuksellisesti ja ominaisuuksien hyödyntämistä ajatellen järkevämpi operoida laitetta tietokoneella sovelluksen avulla.

Doble F6150sv-koestuslaite on tällä hetkellä markkinoilla olevista suojareleiden koestuslaitteista tehokkain, sillä laite kykenee syöttämään virtaa 210 A. Muita merkittävimpiä eroja muihin laitteistoihin on jännitelähtöjen lukumäärä sekä binäärisisääntulojen määrä. Laitteen operointiin tarvitaan erillinen ohjelmisto, jonka avulla testaukset kyetään suorittamaan. F6150sv on IEC 61850 -sopivuus, joten se sopii hy-

vin nykyaikaisten suojalaitteiden ja suojausjärjestelmän koestukseen. Muiden liitäntöjen ja ominaisuuksien osalta laite on erittäin kattava. Ohjelmiston avulla voidaan toistaa vikatallenteita, jolloin voidaan varmistua suojalaitteen toiminnasta vian tapahtuessa uudestaan.

Omicron CMC 356-koestuslaite tarjoaa erittäin hyvät ominaisuudet. Omicronin kotisivu oli erittäin selkeä ja informaatio oli helposti saatavilla. Datalehdistä selvisi laitekohtaisesti helposti mahdolliset liitettävät lisälaitteet ja ominaisuudet. Koestuslaite CMC 356:n merkittävin ero Doblen ja Meggerin laitteistojen välillä on binääriulostulosten lukumäärä, joka on kymmenen. Lisäksi muiden mahdollisten liitäntöjen laajuus. Virtaustulosten lukumäärä on sama verrattessa Doblen laitteistoon, mutta virransyötön maksimivirta on pienempi. Laitteen operointia varten tarvitaan oma sovelluspohja, jonka avulla voidaan suorittaa toimenpiteet koestukselle. Omicron Test Universe – sovelluksen avulla kyetään toistamaan vikatilanteiden tallenteita, jolloin vikatilanteiden uudelleen simulointi onnistuu helpommin. Mielestäni kyseinen koestuslaite soveltuisi parhaiten sähkölaboratorion käyttöön, sillä uuden käyttäjän on helppo tutustua laitteen käyttöön ja toimintoihin selkeiden ohjeiden avulla. Lisäksi laitteeseen on mahdollista saada lisälaitteistoja tarvittaessa. Lisälaitteet olivat selkeästi esillä valmistajan tuote-esittelyissä.

Taulukko 2. Koestuslaitteiden yhteenveto

| Valmistaja | Megger | Doble | Omicron |
|-----------------------------|--|--|---|
| Malli | Sverker 900 | F6150sv | CMC 356 |
| Jännitelähtöjen lukumäärä | 4 | 6 | 4 |
| Jännitelähtöjen vaihtoehdot | 4 x 300 V 1 x 900 V | 6 x 150 V 3 x 300 V 1 x 600 V | 4 x 300 V 3 x 300 V 1 x 600 V |
| Tasajännite syöttö | 1 Kpl: 0 - 300 VDC | 1 Kpl: 6 - 300 VDC | 1 Kpl: 0 - 264 VDC |
| Mittaus sisääntulo | Jännite: 0 - 900 V Virta: 0 - 10 A | DC Jännite: 0 - 10 VDC Virta: 0 - 20 mA | DC Jännite: 0 - 10 VDC Virta: 0 - 20 mA |
| Virtalähtöjen lukumäärä | 3 | 6 | 6 |
| Virtaustulojen vaihtoehdot | 3 x 35 A 1 x 105 A | 6 x 35 A 3 x 70 A 1 x 210 A | 6 x 32 A 3 x 64 A 1 x 128 A |
| Binäärisisääntulot | 4 | 8 | 4 |
| Binääriulostulot | 1 | 8 | 10 |
| IEC 61850 sopivuus | Ei | Kyllä | Kyllä |
| Muut liitännät | 1 x USB 1 x Ethernet 1 x Timer Start 1 x Timer Stop | 3 x Ethernet 1 x USB 1 x Logic I/O & GPS 1 x Low level source WIFI | 2 x Counter sisääntuloa 4 x binäärilähdöt (Transistor) 1 x USB 6 x Low level lähtöä 2 x PoE (Power over Ethernet) |
| Laitteen operointi | Kosketusnäyttö + Massamuistilla tiedonsiirto PC:lle | Doble Protection Suite + PC | Omicron Test Universe + PC |
| Paino | 14,9 Kg | 19,05 Kg | 16,8 Kg |
| Mitat | 320 x 270 x 220 mm | 380 x 240 x 457 mm | 450 x 145 x 390 mm |

Mielestäni näiden koestuslaitteiden välillä valitsisin F6150sv:n tai CMC 356:n koestuslaitteiston, sillä Sverker 900-koestuslaite ei kykene samalle tasolle kuin muut laitevalmistajat. Opinnäytetyön toimeksiantaja tekee kuitenkin lopullisen valinnan. Mikäli koestukseen tarvitaan 210 A virransyöttöä tulee valita Doble F6150sv. Toinen mahdollinen ratkaisu on keskittyä liitäntöihin. Jos halutaan keskittyä laitteiston kytkentävalmiuksiin, kuten binääriulostulojen lukumäärään tai muihin liitäntöihin, parempi vaihtoehto on Omicron CMC 356 -koestuslaite. Lopulliseen päätökseen vaikuttaa myös laitteiston hankintahinta. Tässä opinnäytetyössä en selvittänyt laitteistojen hankintahintoja, joten laitteistojen hintaerot jäävät avoimeksi.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön päätehtävänä oli tutkia suojaeleiden koestuslaitteita ja vertailla laitteita keskenään. Laitteisto tulisi mahdollisesti tulevaisuudessa Jyväskylän ammattikorkeakoululle koulutuskäyttöön. Suojaeleiden koestuslaitteiden osilta tarkasteltiin ominaisuuksia ja liitäntöjä. Tarkoituksena oli tutkia, mikä näitä laitteista olisi soveltuvin JAMK:n käyttöön.

Työn aikana opin paljon mittamuuntajien ominaisuuksista, käyttökohteista ja sovelluksista. Perehtyminen Rogowskin-kelaa hyödyntäviin mittamuuntajiin toi lisäsisältöä niin opinnäytetyöhön kuin omaan ammatilliseen tietämykseen. Alan kehittyminen on lisännyt väylätekniikan hyödyntämistä tiedonsiirrossa mittamuuntajilla ja jakeluaseman muilla laitteistoilla. Väylätekniikan periaatteiden ymmärtäminen tulee varmasti tulevaisuudessa nousemaan isompaan rooliin osaamisessa alalla työskentelevillä.

Koestuslaitteita tarkempia tietoja etsiessä törmäsin ongelmaan: valmistajan sivustoilta ei löytynyt tarpeeksi laajaa infopakettia laitteesta, joten tietoa piti hakea jälleenmyyjien sivustoilta. Vertailua hankaloittivat myös erilaiset datalehtien merkintätavat. Tietojen koonti yhtenäiseen taulukkoon vei aikaa, mutta loppujen lopuksi sain toteutettua järkevän lopputuloksen.

Loppujen lopuksi koen omasta mielestäni työn onnistuneen hyvin ja täyttäneen vaaditut kriteerit, jotka sovimme toimeksiantajan kanssa. Mielestäni tämä työ tarjoaa kattavan informaatiopaketin eri koestuslaitteista sekä uudenmallisista mittamuuntajista. Työtä voidaan käytännössä hyödyntää tulevaisuudessa osana laitehankinnan toteuttamista Jyväskylän ammattikorkeakoululla.

Lähteet

Aura, L. & Tonteri, A. 2000. Teoreettinen sähkötekniikka. 3.painos. Porvoo: WSOY.

CMC 356 User Manual. N.d. Koestuslaitteen manuaali. Omicron. Viitattu 30.10.2019.
<http://userequip.com/files/specs/6011/CMC%20356%20User%20Manual.pdf>.

Froese, M. 2017. Going digital: A look at the modern substation. Windpower Engineering & Development. Viitattu 14.10.2019.
<https://www.windpowerengineering.com/going-digital-look-modern-substation/>.

F6150sv. N.d. Tuote-esittely Doblen sivustolla. Viitattu 8.10.2019.
<https://www.doble.com/product/f6150sv/>.

Indoor combined sensors KEVCD. N.d. Esite ABB:n sivustolla. Viitattu 20.9.2019.
<https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/instrument-transformers-and-sensors-id/products/sensors-new/indoor-combined-sensors-kevcd>.

Korpinen, L. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus.

Laurila, J. 2010. VAMP 265 -suojareleen käyttöönottokoestusohje. Opinnäytetyö, AMK. Vaasan ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Viitattu 20.9.2019
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16768/laurila_jonne.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Mittamuuntajien yleiset ominaisuudet. 2017. Esite Eurolaitteen sivustolla. Viitattu 27.9.2019.
https://www.eurolaite.fi/fileadmin/user_upload/eurolaite/pdfs/Esitas/Mittamuuntajien_yleiset_ominaisuudet.pdf.

Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. 2000. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07 luku 10. Viitattu 18.9.2019.
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/10_1_Mittaus-%20ohjaus-%20ja%20suojalaitteet.pdf.

Mustonen, M. 2018. Sähköaseman älykkään elektroniikkalaitteen viestien tilaus ja prosessointi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tietotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 9.10.2019.
<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/26893/Mustonen.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

Mäkelä, K. 2018. IEC 61850 -standardin käyttö ja vaikutus sähköasemien kunnossapidossa. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 14.10.2019.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/158522/Makela_Kalle.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka 2.painos. Espoo: Otatieto.

Niemelä, J. 2015. Suojareleiden automaattinen koestus projektikohtaisilla asetuksilla. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 25.9.2019.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102442/Niemela_Jaakko.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Niemi, M. 2017. ABB suojareleiden tiedonsiirto koestustietokantaan. Opinnäytetyö, AMK. Vaasan ammattikorkeakoulu. Tekniikan ala. Viitattu 25.9.2019.
<https://www.theseus.fi/handle/10024/137371>.

CMC 356. N.d. Tuote-esittely Omicronin sivustolla. Viitattu 30.10.2019.
<https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-356/>.

Puttonen, P. 2018a Maasulku. Opetusmateriaali Sähkön tuotanto ja jakelu -kurssilta. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 15.9.2019.

Puttonen, P. 2018b. Maasulkusuojaus. Opetusmateriaali Sähkön tuotanto ja jakelu -kurssilta. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 15.9.2019.

Puttonen, P. 2018c. Suojareleet. Opetusmateriaali Sähkön tuotanto ja jakelu -kurssilta. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 16.9.2019.

Puttonen, P. 2018d. Virta- ja jännitemuuntajat. Opetusmateriaali Sähkön tuotanto ja jakelu -kurssilta. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 15.9.2019.

REF630 IEC. N.d. Tuote-esittely ABB:n sivustolla. Viitattu 7.10.2019
<https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/relion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref630-iec>.

Rogowski coil current probe. 2017. Artikkelin Rs-Online sivustolla. Viitattu 17.9.2019.
<https://www.rs-online.com/designspark/what-is-a-rogers-coil-current-probe>.

Suojareleiden koestus. N.d. Tuote-esittely Multirelin sivustolla.
<https://multirel.fi/sahkonlaatu-ja-mittalaitteet/koestuslaitteet/suojareleiden-koestus>.

Sverker 900 N.d. Tuote-esittely Meggerin sivustolla. Viitattu 8.10.2019.
<https://us.megger.com/sverker-900-relay-and-substation-test-system-sverker900#overview>.

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Laki sähköturvallisuudesta. Viitattu 10.9.2019.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>, ajantasainen lainsäädäntö.

Tietoa JAMKista. N.d Koulun esittely JAMKin sivustolla. Viitattu 7.9.2019
<https://www.jamk.fi/fi/Tietoa-JAMKista/Tutustu-JAMKiin/>.

Uniswitch keskijännitekojeisto. N.d. Esite ABB:n sivustolla. Viitattu 21.9.2019
<https://library.e.abb.com/public/0c8cf4b3a630586fc12573d2004b1e1d/UNIS5FI%200801.pdf>.

Voltage sensor. 2018. Kirjoitus Electrical4U sivustolla. Viitattu 17.9.2019.
<https://www.electrical4u.com/voltage-sensor/>.