

MÄÄRÄAIKAISKOESTUS TUULIVOIMALOIDEN KESKI-
JÄNNITEKOJEISTOJEN SUOJARELEILLE

Rissanen Sanna

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri

2021

Sähkötekniikan koulutusohjelma
Insinööri AMK

Tekijä	Sanna Rissanen	Vuosi	2021
Ohjaaja(t)	Ins. (YAMK) Aila Petäjäjärvi		
Toimeksiantaja	Tuulivoimaloiden valmistaja, Sähkötöiden johtaja, Joonas Holopainen		
Työn nimi	Määräaikaiskoestus tuulivoimaloiden keskijännitekojeistojen suojarieleille		
Sivu- ja liitesivumäärä	42 + 2		

Opinnäytetyössä tutkittiin tuulivoimaloissa käytettyjä relesuojauksia ja koestuksia. Opinnäytetyössä tarkoitus oli laatia tuulivoimalan relekoestusohjeet tuulivoimaloita valmistavalle yritykselle. Relekoestusohjeet rajattiin opinnäytetyön julkisen osuuden ulkopuolelle. Voimaloiden suojarieleiden koestukset on aiemmin ostettu aliurakointina, mutta yritykseltä itsessään löytyy resurssit määräaikaiskoestuksiin, lukuun ottamatta koestuslaitteistoa ja ohjeita. Tätä mahdollisuutta pyrittiin hyödyntämään opinnäytetyön avulla.

Tässä työssä keskityttiin tutkimaan yleisellä tasolla suojarieleitä, -funktioita ja -laitteistoja. Lopussa eriteltiin kohteissa käytössä olevia suojarieleitä ja käytettävää koestuslaitteistoa. Tutkimusaineisto koostui aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta, laitemanuaaleista, standardeista, asetuksista ja määräyksistä.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi koestusohjeet REJ 603 suojarieleelle. Ohjeita tulaa päivittämään myöhemmin muiden suojarieleiden osalta. Tuloksia pystytään suoraan hyödyntämään toimeksiantajan määräaikaiskoestuksissa.

Avainsanat
Muita tietoja

suojariele, koestaminen
Työhön sisältyy suojarieleiden määräaikaiskoestusohje.

Electrical Engineering
Bachelor of Electrical Engineering

Author	Sanna Rissanen	Year	2021
Supervisor	Aila Petäjäjärvi, M.Sc		
Commissioned by	Manufacturer of wind turbines Electrical Supervisor, Joonas Holopainen		
Subject of thesis	Periodic testing of protection relays for medium voltage switchgear in wind turbines		
Number of pages	42 + 2		

The thesis studied the relay protections and tests used in wind power plants. The purpose of the thesis was to prepare relay test instructions for a wind power plant for a company manufacturing wind power plants. The relay testing instructions were excluded from the public part of the thesis. Testing of power plant protection relays has previously been a subcontract purchase, but the company itself has the resources for periodic testing, with the exception of testing equipment and instructions. The aim was to utilize this opportunity with the help of the thesis.

This work focuses on the study of protection relays, functions and hardware at a general level. In the end, the protection relays used at the sites and the test equipment used are specified. The research material consists of related literature, equipment manuals, standards and regulations.

As a result of the thesis, test instructions for the REJ 603 protection relay were created. The instructions will be updated later for other protection relays. The results can be used directly in the client's periodic tests.

Key words protective relay, testing
Special remarks The thesis includes instructions for periodical testing of safety relays.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 STANDARDIT, ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET	9
3 RELESUOJAUS	13
3.1 Distanssireleet	14
3.2 Ylivirtareleet	16
3.3 Nollavirta- ja suunnatut maasulkureleet	18
3.4 Differentiaalireleet	18
3.5 Muuntajan suojaus.....	19
4 VIKATYYPIT.....	21
4.1 Oikosulut.....	21
4.2 Maasulut	27
4.3 Johdinkatkokset	28
4.4 Ylikuormitus	29
5 KÄYTÖSSÄ OLEVAT SUOJARELEET	30
5.1 REJ 603.....	30
5.2 REF 615.....	31
5.3 SIPROTEC 7SJ45	32
6 KOESTAMINEN.....	33
6.1 Suojausfunktiot	33
6.2 Koestusmenetelmät ja suorittaminen	35
6.3 Koestuslaitteisto.....	35
7 POHDINTA.....	40
LÄHTEET.....	41
LIITTEET	42

ALKUSANAT

Haluaisin kiittää työnantajaani opinnäytetyöni mahdollistamisesta ja resurssien tarjoamisesta. Myös työnantajani puolelta opinnäytetyöni etenemistä seurannutta Joonas Holopaista joustavuudesta ja tuesta työhön liittyen.

29.04.2021

Sanna Rissanen

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

SFS- 60050-448	Sähkötekniillinen sanasto. Osa 448: Sähkövoimajärjestelmän relesuojaus
SFS- 6001	Suurjännitesähköasennukset
SFS-EN 60204-1	Koneiden sähköistyksen perusstandardi
2006/42/EY	Eurooppalainen konedirektiivi
VJV 2018	Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset
IEC- 60255-3	Suojareleitä ja toiminta- aikoja koskevat vaatimukset
IEC- 60255-4	Suojareleitä ja toiminta- aikoja koskevat vaatimukset
BS 142	Suojareleitä ja toiminta- aikoja koskevat vaatimukset
IEC- 60726	Tehomuuntajia koskeva standardisarja
CENELEC	Eurooppalainen standardisointijärjestö
HD 464 S1	Eurooppalaisen standardisointijärjestön julkaisu koskien kuivamuuntajia
IEC- 60909	Standardisarja oikosulkuvirtojen laskentaan
IEC- 60909-1	Oikosulkuvirtojen laskentaa koskevat vaatimukset
IEC- 60909-2	Oikosulkuvirtojen laskentaa koskevat vaatimukset
IEC- 60781	Ohjeistus oikosulkuvirtojen laskentaan pienjännite- järjestelmissä
IEC-60865-1	Virran mekaanisien- ja lämpövaikutuksien laskentaan ja mitoitukseen liittyvä ohjeistus
IEC- 60865-2	Virran mekaanisien- ja lämpövaikutuksien laskentaan ja mitoitukseen liittyvä ohjeistus

IEC- 61850	Sähköasemien tiedonsiirron vaatimukset
IEC- 60617	Sähkökaavioissa ja –piirroksissa käytettäviä symboleita koskeva standardisarja
SFS	Suomen Standardisoimisliitto, Finlands Standardiseringsförbund
IEC	International Electrotechnical Commission
ANSI	The American National Standards Institute
ABB	Asea Brown Boveri
USB	Universal Serial Bus

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään tuulivoimaloiden valmistajalle keskijännitekojeistojen muuntajan suojarleiden testaamista varten. Tässä työssä keskitytään Suomen alueella käytössä oleviin erilaisiin reletyyppeihin. Ohjeistuksen avulla voidaan voimalavalmistajan jo olemassa olevia resursseja käyttää tulevaisuudessa tehokkaammin voimaloiden määräaikaistarkastuksissa ja huolloissa.

Tuloksiin pääsemiseksi opinnäytetyössä on perehdytty suojarleisiin ja koestukseen myös yleisellä tasolla. Myös tuulivoimalat kohteena on otettu huomioon juuri niiden relesuojaukseen liittyvien standardien, asetusten ja määräysten osalta. Aineistona käytetään aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja tapauskohtaisia laitemanuaaleja.

Aihe valikoitui voimalavalmistajan yhteistyöhalukkuuden ja selkeän tarpeen kautta. Myös oma kiinnostukseni aihetta kohtaan auttoi sen valitsemisessa.

2 STANDARDIT, ASETUKSET JA MÄÄRÄYKSET

Tuulivoimalat, kuten verkon muutkin laitteet, tarvitsevat suojausjärjestelmän mahdollisten vikatilanteiden varalta. Tällaista suojausta tarvitaan, jotta verkon vikaantuneet osat saadaan irrotettua muusta verkosta. Suojausjärjestelmän määritelmä on rajattu standardissa SFS 60050-448 tarkoittamaan suojalaitteiden, johdotuksen, mittamuuntajien, laukaisupiirin, teholähteiden sekä mahdollisesti tiedonsiirron ja jälleenkytkentäautomaatiikan muodostamaa kokonaisuutta. Katkaisijoita itsessään ei lueta tämän standardin suojausjärjestelmän määritelmään. Sähköverkkojen ja -laitteistojen suojauksella puolestaan tarkoitetaan standardin SFS- IEC 60050-448 kykyä havaita viat tai epänormaalit olosuhteet voima- tai voimansiirtojärjestelmässä. Tällaisen määritelmän suojausta tarvitaan vikojen selvittämiseksi ja tällaisten epänormaalien olosuhteiden päättämistä varten. (Elovaara & Haarla 2011, 335-336.)

Suojauksen standardin mukaista toteutusta varten käytetään suojareleitä. Suojarele on mittaava rele, jonka tarkoituksena on osana suojausjärjestelmää havaita mahdolliset vikatilanteet. Vikaantunut verkon osa on erotettava muusta järjestelmästä oiko- tai maasulun tapahduttua, jotta se ei aiheuttaisi vaaraa eikä oikosulkuvirta tuhoa muita laitteita. (Elovaara & Haarla 2011, 335-336.)

Suojausjärjestelmän on täytettävä vähintään sähköturvallisuuden liittyvän standardisarjan SFS- 6001 asettamat minimivaatimukset. Sähkölaitteiden ja -laitteistojen on sähköturvallisuuslain mukaan rakennettava, suunniteltava, korjattava ja valmistettava siten, ettei niiden toiminta häiriinny kohtuuttoman helposti sähkömagneettisesti tai sähköisesti. Ne eivät saa olla myöskään vaaraksi kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle; ja lisäksi niistä ei saa aiheutua liikaa sähköistä- tai sähkömagneettista häiriötä. (Elovaara & Haarla 2011, 335-336.)

Suojauksen tehtävä on siis erottaa vikaantunut osa muusta verkosta, jotta tehon siirto voisi jatkua verkon muihin osiin. Relesuojausta edellytetään verkon suojaamiseksi myös jännitteen laadun osalta ja taloudellisista syistä. Oiko- ja maasulkuvirtojen nopean poiskytkennän puuttuminen voisi aiheuttaa myös vaaraa laitteistoille, eläimille ja ihmisille. Tällaiset edellä mainitut virrat ovat usein niin suuria, että niiden aiheuttamista jännitekuopista voi aiheutua suuriakin taloudellisia tappioita. Fyysistä vaaraa aiheutuu myös vikavirran tuottamasta lämpövaikutuksesta erityisesti rakennuksissa sijaitsevissa kohteissa valokaaren ja tulipalojen muodossa. Jotta vika saataisiin erotettua mahdollisimman vähillä vahingoilla pois verkosta, on suojauslaitteiden siis havaittava vika tarvittavan nopeasti. Käytännössä mitä suuremman virran suojauslaitteet havaitsee, sitä nopeammin laukaisun tulisi tapahtua. (Elovaara & Haarla 2011, 335-337.)

Tuulivoimalat luokitellaan koneiksi, ja niihin sovelletaan EU:n konedirektiiviä 2006/42/EY. Tämä on otettu Suomessa käyttöön valtioneuvoston koneiden turvallisuutta koskevassa asetuksessa 400/2008. Valtioneuvoston asetuksen 400/2008 ensimmäisen luvun neljännen pykälän mukaan kone määritellään seuraavasti:

”a) toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten;

b) a alakohdassa tarkoitettua yhdistelmää, josta puuttuvat ainoastaan komponentit, joilla se liitetään paikan päällä tai kytketään voiman- tai käyntilähteisiin;

c) a tai b alakohdassa tarkoitettua yhdistelmää, joka on valmis asennettavaksi ja joka voi toimia vasta kun se on kiinnitetty liikennevälineeseen tai asennettu rakennukseen tai rakennelmaan;

d) a, b tai c alakohdassa tarkoitettujen koneiden tai 7 kohdassa tarkoitettujen osittain valmiiden koneiden yhdistelmiä, jotka on tiettyjä toimintoja varten järjestetty ja ohjattu toimimaan yhtenä kokonaisuutena;

e) toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu kuormien nostamista varten

ja jonka ainoana voimanlähteenä on välitön ihmisvoima.” (Valtionneuvosto 400/2008.)

Konedirektiivin tarkoitus on saada koneen valmistaja suorittamaan omavalvontaa ja vastaamaan koneen turvallisuudesta. Euroopan unionilla on yhtenevät koneiden turvallisuusvaatimukset, joilla halutaan varmistaa EU:n sisämarkkinoiden toimivuus. Euroopan Unionin konedirektiivin vaatimusten mukaisuus osoitetaan koneesta löytyvällä CE-merkinnällä. Merkinnän saaminen edellyttää koneen korkeaa turvallisuustasoa, direktiivin mukaista laitteen suunnittelua ja kokoonpanoa. Lisäksi on huomioitava koneiden sähkölaitteistojen turvallisuutta koskeva standardi SFS-EN 60204-1. Tässä kerrotaan koneiden sähkölaitteistojen turvallisuuden todentamisesta ja testaamisesta. Koneeseen tehtävissä turvalaitteiden ja suojausten testauksissa täytyy ottaa huomioon standardien ja asetusten lisäksi myös koneen valmistajan ohjeet. (Kauppilainen & Saarelainen 2018, 76-78.)

Tuulivoimala on siis laite, joka luokitellaan sähköturvallisuuslain 1135/2016 kolmannen luvun ja 44- pykälän mukaan sähkölaitteistoihin 2 c (sähköturvallisuuslaki 1135/2016 3:44 §). Tällöin kyseessä on sähköistetty kone, ja ainoastaan sen sähkönsyöttöön liittyvät osat ovat kansallisen sähköturvallisuuslain tarkoittamaa erillistä asennusoikeutta vaativaa työtä. Liitäntäpisteeseen asti koneen sähkönsyöttöön liittyvät asennukset tehdään voimassa olevien standardien ja lakien mukaisesti. Tällaisia ovat tässä tapauksessa SFS 6001 ja sähkönsyöttöön liittyville asennuksille sähköturvallisuuslain 1135/2016 vaatima käyttöönottotarkastus. (Tukes 2021.)

Megawattiluokan tuulivoimalat määritellään Fingridin kantaverkon liitântäehtojen mukaan yli 0,8 kW:n voimalaitoksiksi, joka on suuntaajakytketty tyyppin C voimalaitos. Tällöin niiden täytyy täyttää voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Nämä vaatimukset on esitetty kantaverkkoyhtiön 2018 julkaisemassa liitteessä (VJV 2018), joka perustuu Euroopan komission asetukseen 2016/631: Eurooppalainen verkkosääntö. (Fingrid Oyj 2021.)

Voimalaitosten järjestelmäteknisissä vaatimuksissa on eritelty voimalaitokset neljään eri tyyppiin; A, B C ja D. Näitä tyyppejä koskevat vaatimukset eroavat joiltain osin toisistaan. Lähtökohtaisesti kuitenkin voimalaitostyypistä riippumatta järjestelmätekniisten vaatimusten noudattamisella tavoitellaan samoja asioita. Voimalaitosten täytyy kestää voimajärjestelmän jännite- ja taajuusvaihtelut, sen täytyy toimia eri käyttötilanteissa luotettavasti eikä se saa aiheuttaa häiriöitä voimajärjestelmään. Kantaverkkoon liittyvän täytyy ilmoittaa Fingridille mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, minkälaista tekniikkaa voimalaitokseen suunnitellaan. Todentamisvelvoite arvioidaan perus- ja hankekohtaisten tietojen perusteella. Todentamisvelvoite katsotaan toteutuneeksi, kun tiedonvaihtoa ja käyttöönottoa koskevat toimenpiteet on tehty voimalaitosten järjestelmätekniisten vaatimusten mukaisesti. (Fingrid Oyj 2021.)

Suuntaajakytketyille voimalaitostyypeille C ja D on määritelty voimalaitosten järjestelmäteknisissä vaatimuksissa loistehokapasiteettivaatimus. Tämä tarkoittaa sitä, että voimalaitoshankkeelta vaaditaan projektikohtaisesti loistehokapasiteettia. Mikäli kapasiteettia ei katsota olevan tarpeeksi, tulee kompensointi toteuttaa kiinteällä kompensointiparistolla. (Fingrid Oyj 2021.)

Käytännössä nämä edellä mainitut lait, asetukset ja määräykset tarkoittavat sitä, että tuulivoimala on keskijännitekojeistosta eteenpäin kone. Tällöin sen määräaikaistarkastuksiin huomioidaan konedirektiiviä. Liityntäpisteeseen asti siihen liittyviin tarkastuksiin sovelletaan sähköturvallisuuslakia. Konedirektiivin mukaan laitevalmistaja määrittelee itse valmistamalleen laitteelle tehtävät huolto- ja tarkastustoimenpiteet, sekä kuinka usein ne suoritetaan. Huolto- ohjelman noudattamisesta vastaa laitteen haltija. Kyseessä olevan laitteen valmistaja on määritellyt kojeiston suojarleiden koestamisen tapahtuvan toisiopuolelle vuosittain ja ensiopuolelle kerran neljässä vuodessa.

3 RELESUOJAUS

Toimiva ja hyvin suunniteltu relesuojausjärjestelmä toimii myös poikkeuksellisissa olosuhteissa, on luotettava, selektiivinen, herkkä ja nopea. Vikojen haittojen minimoimiseksi suojaus pyritään toteuttamaan siten, että ainoastaan vikaantunut osa erotetaan verkosta ja tätä kutsutaan selektiivisyydeksi. Oikean toiminnan varmistamiseksi releiden asettelut voidaan tehdä seuraavien periaatteiden mukaisesti. Asetteluarvo valitaan siten, että kerrotaan releeseen aseteltava tiedetty suure jollakin ykköstä pienemmällä luvulla, kun halutaan releen laukaisevan katkaisijan. Kun ei haluta releen laukaisevan katkaisijaa, kerrotaan tiedetty releeseen aseteltava suure jollakin ykköstä suuremmalla luvulla. (Elovaara & Haarla 2011, 342-343.)

Relesuojauksen tulisi olla myös luotettava. Tällä luotettavuudella tarkoitetaan toimintavarmuutta ja käyttövarmuutta. Toimintavarmuus todetaan siten, että rele ei lähetä laukaisukäskyä silloin kun se ei havaitse vikaa. Käyttövarmuudella puolestaan taas varmistetaan releen tarpeeksi nopea toiminta, kun sen suoja-alueella havaitaan vika. Suojauksen herkkyydellä tarkoitetaan sitä, että releen pitää pysyä toimimaan halutulla tavalla ja riittävän nopeasti myös silloin, kun käyttötilanne on muuttunut. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi vikavirtojen pienentyminen jonkin verkkokomponentin ollessa poissa. (Elovaara & Haarla 2011, 343-344.)

Suojareleet ovat siis verkon tai verkon osien erilaisia suureita mittaavia laitteita. Ne voivat olla yhteydessä toisiinsa, tai toimia täysin itsenäisesti. Niitä on valmistettu erilaisiin käyttötarkoituksiin, mutta kaikissa perustoimintaperiaate on samanlainen. Suojareleiden kuuluu havahtua, toimia ja palautua tarkkailemaan verkkoa siihen aseteltujen suureiden perusteella. Normaalitilassa rele on niin kauan, kunnes sen mittaama suure sivuaa siihen asetellun toiminta-arvon. Normaalitilanteen jälkeen releen kuuluu havahtua ja toimia. Havahtumisen ja toiminnan väliin jäävää aikaa kutsutaan toiminta-ajaksi, joka voidaan myös asetella releeseen. Suojareleeseen ollessa havahtuneena kyllin kauan, se lähettää joko hälytyksen tai laukaisukäskyn katkaisijalle. Joissakin tilanteissa rele suorittaa molemmat toiminnot samanaikaisesti. (Elovaara & Haarla 2011, 344.)

Kun suojareleen mittaama suure palautuu takaisin toiminta-alueelle havahtumisen tai toiminnan jälkeen, rele palautuu tarkkailemaan verkon tai sen osan tilanetta. Mitattavan suureen palautumisesta takaisin toiminta-alueelle tarkkailun alkamiseen kuluvaa aikaa sanotaan palautumisajaksi. Jos rele havahtuu vikaan ja lähettää laukaisukäskyn katkaisijalle toiminta-aikansa jälkeen, kuuluu katkaisijan erottaa vika verkosta. Tähän kuluvaa aikaa sanotaan erotusajaksi, ja se laskeaan havahtumisesta siihen pisteeseen, kun vika on erotettu verkosta. (Elovaara & Haarla 2011, 344.)

Vaikka suojareleiden perimmäinen tarkoitus on releestä riippumatta sama, suojata verkkoa tai sen osaa, on niitä lukuisia erilaisia. Suojareleitä on valmistettu ja valmistetaan eri käyttötarkoituksiin. Suojattavan kohteen suojaustarpeet määrittävät sen, minkä tyyppisiä releitä valitaan käyttöön. Vanhimpien sähkömekaanisten suojareleiden toiminta perustuu virran kasvun myötä kasvavaan magneettikenttään. Tällaiset releet ovat epätarkkoja, mutta kestäviä ja yksinkertaisia. Tekniikan kehittyttyä suojareleistä on tullut tarkempia, ja ollessaan digitaalisia tai elektronisia ne eivät tarvitse liikkuvia osia kuten sähkömagneettiset releet. Tällaisilla releillä on mahdollista toteuttaa useita erilaisia suojaustoimintoja, mikä tekee niiden asettelusta monesti monimutkaista. (Elovaara & Haarla 2011, 344-345.)

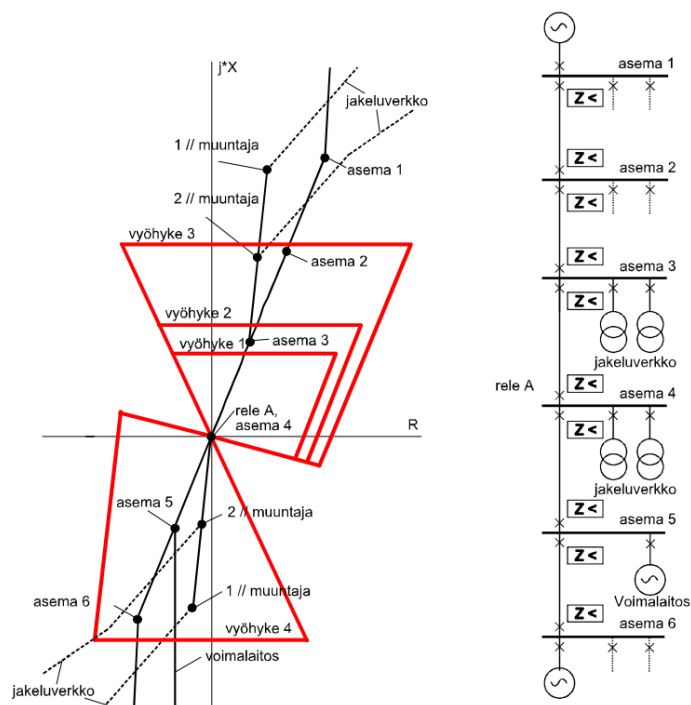
Seuraavissa luvuissa kerrottu hieman yleisimmistä suojareleistä, ja mihin niitä käytetään. Niillä voidaan suojata ja valvoa johtojen ja kiskostojen lisäksi myös erilaisia verkkoon liitettäviä komponentteja. Tällaisia voivat olla esimerkiksi generaattorit, reaktorit ja muuntajat. Releillä pystytään valvomaan verkon eri suureita, valvomaan vallitsevia olosuhteita, erottamaan ja kytkemään takaisin. Työssä keskitytään pääasiassa megawattiluokan tuulivoimalan eli koneen suojaukseen, joten sitä on tarkennettu lopussa enemmän.

3.1 Distanssireleet

Distanssireleitä (Z-rele) käytetään yleisesti siirtoverkoissa, silmukoiduissa tai renkaana käytettävissä jakeluverkoissa. Näin siksi, että ne pystyvät havaitsemaan vian suunnan ja ylivirtareleillä ei voi toteuttaa selektiivistä suojausta pienimpien vikavirtojen ollessa suurempia kuin suurimpien kuormitusvirtojen. Distanssireleiden toiminta perustuu impedanssin laskentaan virta- ja jännitemuuntajien avulla

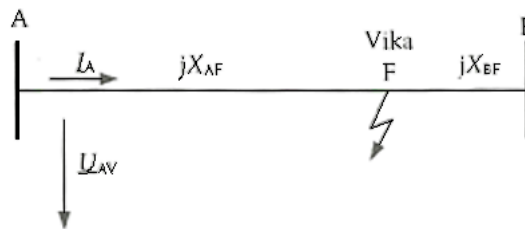
johdon alkupäästä. Rele pystyy päättelemään vikavirran suunnan jännitteen ja virran välisestä vaihesiirtokulmasta. Jos virta on noin 90 astetta jännitettä jäljessä, on havaittu vika releen edessä eli alueella johon distanssirele on suunnattu. Jos taas vika on releen takana eli johdolla jolle relettä ei ole suunnattu, on virta jännitettä noin 90 astetta edellä. Jotta tällaisilla releillä pystyttäisiin saavuttamaan hyvä ja selektiivinen suojaus, on monesti tarpeellista käyttää useampaa suunnattua distanssirelettä. Tällöin suojattava verkko tulee jaettua vyöhykkeisiin Kuva 1 mukaisesti. (TTT- käsikirja 2000-07, 30.)

Vyöhykkeet 2 ja 3 ovat yliulottuvia, eli niiden valvoma alue ulottuu seuraaville suoja-alueille. Nämä ovat osoitettu toimimaan aikaselektiivisesti myötäsuntaan. Vyöhyke 4 on osoitettu toimimaan vastasuuntaan aikaselektiivisesti. Se siis toimii varasuojana, joka havahtuu myös vikoihin, jotka tapahtuvat jakeluverkkoa syöttävien muuntajien takana. Vyöhyke 1 on aliulottuva, jolloin aikaselektiivisyyttä ei tarvitse huomioida. Näin se pystyy toimimaan pienimmällä mahdollisella toiminta-ajalla. (TTT- käsikirja 2000-07, 30.)



Kuva 1 Distanssireleen käyttöesimerkki neljällä vyöhykkeellä avonaisessa rengasverkossa. 1// muuntaja- tai 2// muuntaja- merkinnät tarkoittavat jakeluverkkoa syöttävien muuntajien lukumäärää (TTT- käsikirja 2000-07, 30).

Distanssireleen toiminta perustuu tehon loiskomponenttiin, joten se ei pysty havaitsemaan vikaa, jonka resistanssi on suuri. Normaalisti distanssireleet pystyvät havaitsemaan vian vielä noin 20 ohmin vikaresistanssiin saakka. Kuva 2 on esitetty distanssireleen toimintaperiaate. Uudemmat releet havahtuvat noin 10 prosenttia toiminta-arvon ylittävällä virran arvolla ja vanhemmat sähkömekaaniset releet noin 50 prosenttia nimellisarvon ylittävällä arvolla. (Elovaara & Haarla 2011, 349.)



Kuva 2 Distanssireleen toimintaperiaate 3- vaiheisessa oikosulussa (Elovaara & Haarla 2011, 349).

Johdon reaktanssi $X = X_{AF} + X_{BF}$. Distanssirele on asemalla A ja se mittaa vaihevirran I_A ja vaihejännitteen U_{AV} . Kirjaimella F merkitään vikaa.

3.2 Ylivirtareleet

Ylivirtarele, toisin kuin distanssirele, ei havaitse vikavirran suuntaa. Näitä releitä voidaan käyttää säteittäisissä verkon osissa, kun vikavirta on suurinta kuormitusvirtaa suurempi. Ylivirtarele havahtuu nimensä mukaisesti silloin, kun virta ylittää asetellun arvon, ja ne voidaan jakaa karkeasti vakioaika- ja käänteisaikaylivirtareleisiin. Vakioaikareleitä ($I>$) voidaan käyttää muuntajien, generaattoreiden, reaktoreiden, kondensaattorien ja säteittäisten johtojen suojaamiseen. Näillä toiminta tapahtuu virran ylittäessä asetellun arvon releeseen asetetun toiminta-ajan jälkeen ja laite palautuu, kun virta alittaa asetteluarvon tarpeeksi. (Elovaara & Haarla 2011, 346.)

Käänteisaikareleen (I/t) toiminta- aika on virtaan nähden käänteinen. Tämä tarkoittaa sitä, että rele laukaisee suurivirtaiset viat nopeammin kuin pienivirtaiset. Näille laukaisuajoille erilaisilla virran arvoilla on asetettu ohjevaatimukset stan-

dardeissa: IEC 60255-3, IEC 60255-4 ja BS 142. Näissä standardeissa määritellään neljä erilaista toimintakäyrää: Normal, Very Inverse, Extremely Inverse ja Long Time Inverse. Standardien mukaan kolmea ensimmäistä toimintakäyrää käytettäessä suojausten tulee havahtua viimeistään, kun mitattu virta ylittää 1,3- kertaisesti releelle asetetun virta-arvon. Kun käytetään Long time inverse-toimintakäyrää, suojausten tulee toimia 1,1- kertaisella releeseen asetetulla virran arvolla. (TTT- käsikirja 2000-07, 21.)

Käänteisaikakäyrien toiminta- aika voidaan laskea Kuva 3 kaavan mukaisesti käyttämällä Taulukko 1 standardissa IEC 60255-3 käänteisaikakäyrän vakioita α ja β . (TTT- käsikirja 2000-07 21-22.)

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I>} \right)^\alpha - 1} \quad [s]$$

k = asetettava aikakerroin

I = vaihevirran arvo

I > = virta-asettelu

α , β = toimintakäyräkohtaiset vakiot

Kuva 3 Käänteisaikakäyrien laukaisuaikojen laskenta (TTT- käsikirja 2000-07, 22).

Taulukko 1 IEC- standardin käänteisaikavakioita eri jyrkkyyksille.

Käyrän jyrkkyys	α	β
NORMAL	0,14	0,02
VERY INVERSE	13,5	1
EXTREMELY INVERSE	80	2
LONG TIME INVERSE	120	1

Aikaselektiivisyyden toteuttaminen aika- ja käänteisaikaylivirtareleillä täytyy kiinnittää huomiota porrasaikojen valintaan. Porrasajalla tarkoitetaan perättäisten suojausportaiden toiminta-aikojen erotusta. Suojausportaalla, missä oikosulkuvirta on kaikkein suurin, ei toiminta-aika saa muodostua kohtuuttoman pitkäksi. Toisaalta se täytyy olla riittävä, että selektiivisyys toteutuisi. (TTT- käsikirja 2000-07, 22.)

3.3 Nollavirta- ja suunnatut maasulkureleet

Nollavirtarele (I_0) on ylivirtarele, joka toimii maasulussa ja mittaa vaihevirtojen summavirtaa. Rele kytketään virtamuuntajien toisiokäämeihin, eikä se kykene tunnistamaan vikavirran suuntaa. Yleisesti käytössä on sekä karkeita että herkkiä nollavirtareleitä, jotka poikkeavat asetteluarvoiltaan. Uusissa kaksiporraisissa releissä nämä voivat olla sama laite. (Elovaara & Haarla 2011, ss. 353-354.)

Virta-asettelultaan pienellä ja aikahidastukseltaan suurella tarkoitetaan herkkää nollavirtarelettä. Karkeassa nollavirtareleessä virta-asettelu on suurempi ja hidastus lyhyempi kuin herkässä. Arvot myös asetellaan aina vikavirtalaskelmien mukaan. Nollavirtareleitä voidaan käyttää johdonsuojauksen lisäksi myös muuntajan maasulkusuojana, jolloin pystytään laukaisemaan myös sellaiset viat, joiden muodostama epäsymmetria on pieni. Nollavirtarelettä, joka mittaa nollavirran ja jännitteen välistä vaihekulmaa kutsutaan suunnatuksi maasulkureleeksi (Q_0). Suunnatulla maasulkureleellä pystytään päättelemään vikavirran lisäksi myös vikavirran suunta. (Elovaara & Haarla 2011, 354.)

3.4 Differentiaalireleet

Differentiaalireleet (D) mittaavat niiden suojausalueelle tulevien ja lähtevien virtojen summaa. Kun virtojen summa on nolla tai pienempi kuin siihen aseteltu erovirran arvo, ei suojausalueella ole vikaa. Differentiaali- eli erovirtareleen kuluu toimia, kun suojattavan kohteen virtojen erotus on suurempi kuin siihen aseteltu arvo. Tällainen rele ei pysty toimimaan varasuojana muille alueille, sillä se pystyy suojaamaan kuin vain siihen kytkettyjen virtamuuntajien välisen alueen. Toiminta-aika on noin 30 ms, ja siihen ei aseteta hidastusta. Jotta välttyttäisiin virhe-

laukaisuilta, toimintavirraksi on asetettava suurempi virran arvo, kuin mitä mitattavan kohteen suurin kuormitusvirta on. Releeseen kuuluu yleensä myös stabiiloiva ominaisuus, joka sallii asetettavan virtaeron kasvun kuormitusvirran kasvaessa. Tämän ominaisuuden suuruus voidaan määrittellä. (Elovaara & Haarla 2011, 355.)

Differentiaalirelettä käytetään yleisesti jakelumuuntajan tärkeimpänä suojarieleenä. Sillä pystytään havaitsemaan kaikki sellaiset viat, jotka aiheuttavat riittävän suuren eron virtamuuntajiin. Jakelumuuntajien suojana toimiessaan releille täytyy asetella myös muuntajan kytkentäryhmä. Differentiaalireleissä on myös niin sanottu yliaaltosalpa, joka estää releen laukaisukäskyn muuntajaa kytkettäessä. Rele tunnistaa kytkentäsysäysvirran kokonaisuudessaan erovirtana, mutta pystyy tunnistamaan kytkentävirrassa olevat 100 ja 150 Hz komponentit ja estämään turhan laukaisun. (Elovaara & Haarla 2011, 356.)

3.5 Muuntajan suojaus

Muuntajan suojaus toteutetaan eri tavoin muuntajan koosta riippuen. Kaikista parhaiten on suojattu suurimmat ja kalleimmat muuntajat. Muuntajan suoja-alueeseen kuuluu tavallisesti virtamuuntajien välinen alue, ja tällä alueella havaittu vika laukaisee kaikki muuntajan katkaisijat välittömästi. Hidastettua laukaisukäskyä käytetään sellaisilla suojilla, joiden on toimittava myös muuntajan ulkopuoliset viat. Asemalla sijaitsevien ylivirta-, differentiaali-, maasulku- ym. suojien lisäksi muuntajista valvotaan releiden avulla monia muunkin tyyppisiä suureita, kuin sähköisiä. (Elovaara & Haarla 2011, 378.)

Öljyeristeisestä muuntajasta mitataan sähköisten suureiden lisäksi esimerkiksi öljyn lämpötilaa, määrää, kaasuuntumista ja virtausta. Öljyn lämpötilaa valvotaan lämpötilamittarilla, joka mittaa muuntajaöljyn huippulämpötilaa. Mittariin voi asettaa raja-arvot hälytykselle ja laukaisulle. Tällaisen muuntajan käämikytkintä suojataan käämikytkimen suojarieleellä. Se estää käämikytkimen vaurioitumisen ja sen laukaisukosketin kytketään muuntajan pääkatkaisijoiden laukaisupiiriin. Öljyn kaasuuntumista seurataan siihen tarkoitukseen sopivalla kaasureleellä. Kaasurele toimii öljyeristeisen muuntajan suojana niissä tilanteissa, kun vika sijaitsee muuntajan sisällä. Kaasureleen toiminta perustuu muuntajan sisällä tapahtuvaan

kaasun kehitykseen ja suurien vikojen aiheuttamaan öljysyöksyyn. Kaasureleissa on niin ikään hälytys- ja laukaisukoskettimet, ja laukaisukosketin kytketään aina muuntajan pääkatkaisijoiden laukaisupiiriin. Öljyn pintaa tarkkaillaan öljynpinnan osoittimella tavallisesti paisuntasäiliön päädystä. Suurissa muuntajissa osoitin pystyy myös hälyttämään öljyn ylä- ja alarajasta. Öljyeristeinen muuntaja tarvitsee myös paisuntasäiliötä, jonka koko vastaa öljyn tilavuuseroa minimi- ja maksimilämpötiloissa. Monissa öljyeristeisten muuntajien kansissa on myös ylipaineventtiili, joka estää paineen nousun liian suureksi. Tämän toimintaan voidaan liittää myös laukaisukäsky, joka kytketään muuntajan pääkatkaisijoiden laukaisupiiriin. (Hietalahti 2011, 31-32.)

Muuntajatekniikkaa koskevat ympäristömääräykset ovat nousseet, ja öljymuuntajien käyttö joissain kohteissa on muuttunut hankalaksi tai vaatii erikoisia paloturvallisuus toimenpiteitä. Tällöin käytetään kuivamuuntajia pienen palokuorman ja nykyään myös itsestään sammuvuuden takia. Kuivamuuntajat mitoitetaan standardien IEC 60726 ja CENELEC:n julkaisun HD 464 S1 mukaan. Nämä standardit sallivat myös vanhempaa tekniikkaa olevan lakkapaperieristeisen kuivamuuntajan, joka on erittäin herkkä kosteudelle. Loppujen lopuksi on tilaajan asiantuntemuksen varassa, päätyykö nykyaikaisempaan hartsimuuntajaan vai vanhempaan lakkapaperiseen. Kylmään ympäristöön sijoitettavilla kuivamuuntajilla on usein epoksi-lasikuitueristys, joka suojaa sitä kosteudelta, kylmyydeltä ja kuoritusvaihteluilta. Kuivamuuntajia valmistetaan 36 kV käyttöjännitteeseen asti ja noin 15 MVA maksimiteholle, joten joka paikkaan eivät nekaan sovi. (Hietalahti 2011, 32-33.)

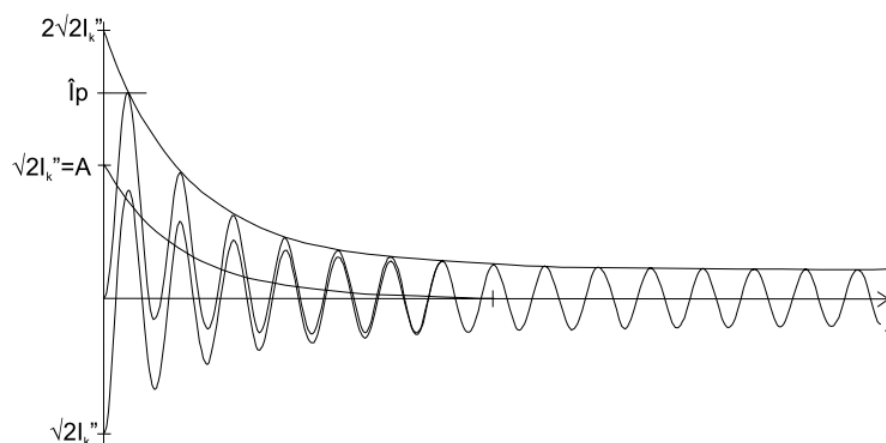
4 VIKATYYPIT

Suojareleillä pyritään havaitsemaan, erottamaan ja minimoimaan erilaisten sähköverkossa ja siihen liittyvissä laitteissa tapahtuvien vikojen vaikutuksia. Jotta suojausjärjestelmä saataisiin täyttämään sille asetetut vaatimukset, on tiedettävä millaisia vikoja suoja-alueilla voi esiintyä. Vikojen vaikutukset verkossa täytyy pystyä ennakoimaan, että osataan asetella releille sopivia toiminta-arvoja ja -aikoja. Tässä luvussa on kerrottu tavallisimmista vioista ja niiden vaikutuksesta, sekä käyty läpi joitain laskentamenetelmiä. Toisinaan verkossa voi esiintyä myös useampia erityyppisiä vikoja samaan aikaan.

4.1 Oikosulut

Oikosulut ovat vaiheiden välisiä vikoja ilman kosketusta maahan. Niitä voi esiintyä 2- tai 3-vaiheisena. Oikosululle tavallista on, että virta kasvaa suureksi ja vikakohtan jännite on pieni. Tällaiset viat on aina laukaistava pois verkosta. Joh-tojen ja muuntajien ominainen impedanssi pienentää oikosulkuvirtaa, joten oikosulkuvirta on sitä pienempi, mitä kauempana vikapaikka esiintyy verkkoa syöttävästä generaattorista. Oikosulkusuojana voidaan käyttää ylivirtareleitä, differentiaalireleitä ja distanssireleitä. (Elovaara & Haarla 2011, 340.)

Oikosulkuvirran laskemista ja vaikutuksia käsitellään standardeissa IEC-60909, 60909-1, 60909-2, 60781, 60865-1 ja 60865-2. Kuva 4 esitetään oikosulkuvirran suuruutta ajan funktiona. Oikosulkuvirta sisältää tasavirtakomponentin A , ja vaihtovirtakomponentin. Näiden vaimenemisen nopeus riippuu piirin resistanssin ja reaktanssin suhteesta. Alkuoikosulkuvirta I''_k tarkoittaa symmetrisen oikosulkuvirran suuruutta vian alkuhetkellä. Se vastaa generaattoreiden reaktanssien suuruutta vian alkuhetkellä, ja reaktanssien kasvaessa ajan kuluessa virta vaimenee oikosulun jatkuvuusarvoon I_k . Oikosulkuvirran hetkellisen huipun arvossa I_p on otettu huomioon myös tasavirtakomponentti A . (TTT- käsikirja 2000-07, 1.)



Kuva 4 Oikosulkuvirran käyrämuoto (TTT- käsikirja 2000-07, 1.)

Oikosulkuvirran arvoja voidaan laskea käyttämällä standardin IEC 60909- mukaista jännitekerrointa c Taulukko 2 mukaisesti.

Taulukko 2 IEC 60909- mukaisia jännitekerroimia.

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

Kolmivaiheisessa oikosulkuvirrassa oikosulkuimpedanssi muodostuu myötäim-
pedanssista ja oikosulkuvirta saadaan kaavalla 1.

$$I''k_3 = \frac{c \times U_n}{\sqrt[3]{Z_1}} \quad (1)$$

missä

c	on	IEC 60909- mukainen jännitekerroin
U _n	on	syöttävän verkon jännite
Z ₁	on	myötäkomponenttiverkon impedanssi

Kaksivaiheiseen oikosulkuvirtaan vaikuttaa myötäkomponenttiverkon impedans-
sin lisäksi myös vastakomponenttiverkon impedanssi. Kaksivaiheinen oikosulku-
virta saadaan kaavalla 2.

$$I''k_2 = \frac{c \times U_n}{|Z_1 + Z_2|} \quad (2)$$

missä

c	on	IEC 60909- mukainen jännitekerroin
U _n	on	syöttävän verkon jännite
Z ₁	on	myötäkomponenttiverkon impedanssi
Z ₂	on	vastakomponenttiverkon impedanssi

Oikosulkupiirin myötä-, vasta- ja nollakomponenttien impedanssien suuruus voi-
daan laskea eri verkkokomponenteille seuraavilla kaavoilla.

Verkkosyötön oikosulkuimpedanssi lasketaan kaavan 3 mukaisesti.

$$Z''_Q = \frac{c \times U_n}{\sqrt[3]{I''_{kQ}}} \quad (3)$$

missä

c on IEC 60909- mukainen jännitekerroin

U_n on syöttävän verkon jännite

I''_{kQ} on alkuoikosulkuvirta

Muuntajien oikosulkuimpedanssi –resistanssi ja -reaktanssi voidaan laskea muuntajan kilpiarvojen avulla kaavan 4, 5 ja 6 mukaan.

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} \times \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (4)$$

$$R_T = \frac{u_{rT}}{100\%} \times \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (5)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (6)$$

missä

u_{kr} on oikosulkujännite

U_{rT} on nimellisjännite

S_{rT} on nimellisteho

R_T on nimellinen resistanssi

P_{kRT} on kuormitushäviöt

I_{rR} on nimellisvirta

U_{rR} on resistiivinen oikosulkujännite

Sarjakuristimen oikosulkuimpedanssi saadaan kaavalla 7.

$$Z_r = \frac{\Delta U_n}{100\%} \times \frac{U_{rR}^2}{S_{rR}} \quad (7)$$

ΔU_n on nimellinen jännitteenalenema

U_{rR} on nimellisjännite

S_{rR} on nimellisteho

I_{rR} on nimellisvirta

Kaapeleiden ja kiskostojen resistanssit voidaan laskea kaavalla 8.

$$R_L = \frac{\rho}{q_n} \times L \quad (8)$$

R_L on johtimen resistanssi

ρ on johtimen ominaisresistanssi

1 / 54 Ω mm² / m kuparijohtimille

1 / 34 Ω mm² / m alumiinijohtimille

1 / 31 Ω mm² / m alumiiniseoksille

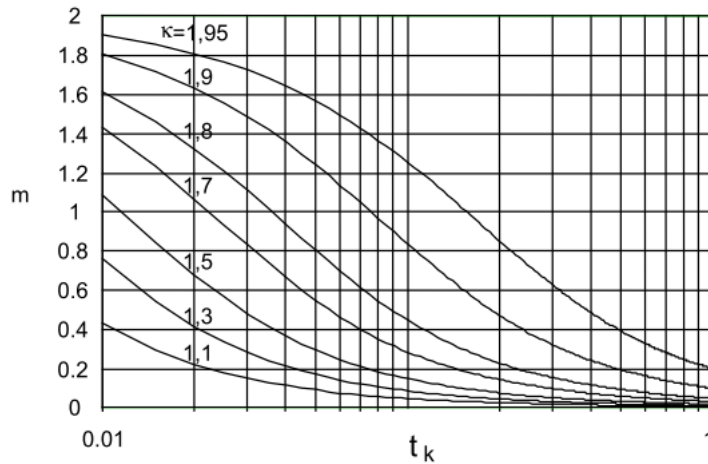
q_n on johtimen pinta-ala / m²

L on johtimen pituus / m

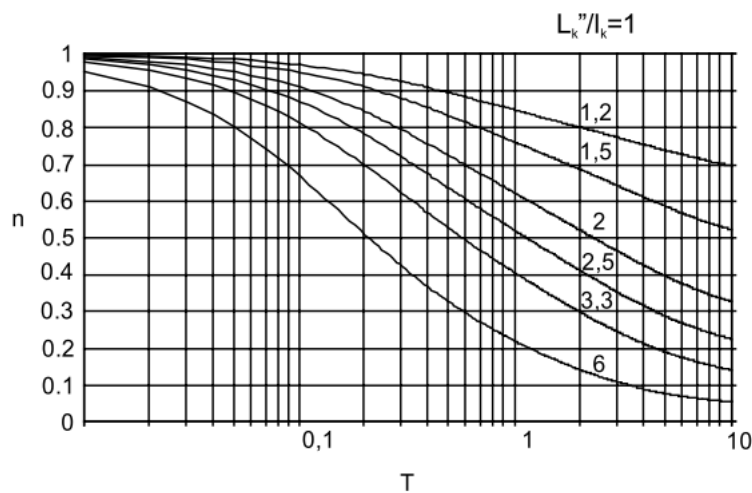
Oikosulkuvirran aiheuttaman lämpövaikutuksen seurauksena verkon komponentit tai siihen liittyneet laitteet ovat voivat olla vaarassa vaurioitua, mikäli vikapaikka ei eroteta riittävän nopeasti. Laitteille ja komponenteille ilmoitetaan oikosulkukestoisuus, josta käy ilmi, minkä verran oikosulkuvirtaa laite kestää ja kuinka kauan. Jotta riittävä suojaus voitaisiin mitoittaa, on laskettava oikosulkuvirrasta terminen oikosulkuvirta. Jos laskettu terminen oikosulkuvirta on pienempi kuin laitteelle ilmoitettu oikosulkukestoisuus ja oikosulun kesto on pienempi kuin laitteelle ilmoitettu oikosulun kesto aika, kestää laite oikosulkuvirran.

Terminen oikosulkuvirta I_{th} voidaan laskea käyttämällä kaavaa 9, jossa kerroin m kuvaa vaihtovirtakomponentin vaimenemaa ja nähdään katsomalla Kuva 5. Kerroin n puolestaan kuvaa tasavirtakomponentin vaimenemaa ja nähdään katsomalla Kuva 6. (TTT- käsikirja 2000-07, 1-9.)

$$I_{th} = I''_k \times \sqrt{m + n} \quad (9)$$



Kuva 5 Kertoimen m riippuvuus oikosulkupiirin X/R suhteesta (k) ja oikosulun kestoajasta (TTT- käsikirja 2000-07, 8).



Kuva 6 Kertoimen n riippuvuus oikosulkuvirran alkuarvon ja pysyvän arvon suhteesta (TTT- käsikirja 2000-07, 9).

4.2 Maasulut

Maasuluksi kutsutaan sellaista vikaa, jossa yksi tai useampi vaihejohdin on yhteydessä maahan tai maadoitettuun kohteeseen. Maasulku aiheuttaa jännitteen epäsymmetriaa terveissä vaiheissa ja vaarajännitteitä erityisesti maadoitetuissa verkoissa, joissa se johtaa hengenvaaraan vikapaikassa ja sen läheisyydessä. Maasulkuvirran suuruuteen vaikuttaa vikaresistanssin lisäksi myös se, montako tähtipistettä on maadoitettu ja ovatko ne maadoitettu suoraan vai kuristimen kautta. Jos verkko taas on sammutettu tai maasta erotettu, ovat maasulkuvirrat pieniä. Maasulkuja pystytään havaitsemaan nollavirtareleillä, jotka mittaavat vaihevirtojen summaa tai distanssireleillä. Distanssireleillä on kuitenkin vaikea havaita maasulku, kun vikaresistanssi on suuri. Maasulut, kuten oikosulutkin on erotettava verkosta mahdollisimman nopeasti. (Elovaara & Haarla 2011, 340-341.)

Maasulkuvirran suuruus vikaresistanssittomassa maasulussa voidaan laskea käyttäen kaavaa 10.

$$I_e = \sqrt{3}C_0U\omega \quad (10)$$

missä

C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

U on verkon pääjännite

ω on $2\pi f$

Avojohtoverkolle maasulkuvirta puolestaan voidaan laskea riittävän tarkasti kaavalla 11.

$$I_e \approx \frac{U \times l}{300} \quad (11)$$

U on verkon pääjännite (kV)

l on johtimen pituus (km)

Kaapeleille on valmiiksi laskettuja taulukoita, joissa ilmoitetaan maakapasitanssi kunkin kaapelin pituusyksikköä kohden. Tällöin maasulkuvirran laskemiseksi tarvitsee tietää vain kaapelin tyyppi ja pituus.

Vikaresistanssin vaikutus maasulkuvirtaan saadaan lausekkeesta 12.

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

C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

R_f on vikaresistanssi

U on verkon pääjännite

ω on $2\pi f$

(TTT- käsikirja, 2000-07)

4.3 Johdinkatkokset

Johdinkatkoksia eli sarjavikoja ovat sellaiset viat, jossa yksi tai useampi vaihe puuttuu ilman maakosketusta tai kosketusta toisiin vaiheisiin. Tällaisia voivat olla avojohdon katkeaminen tai katkaisijan vajaanapainen toiminta. Sarjaviat aiheuttavat kuormitusvirran epäsymmetriaa, jota kaikkien verkkoon liitettyjen laitteiden on hankala kestää vaurioitumatta. Kosta tällainen vika ei aiheuta maasulkua tai oikosulkua, ei syöttävän verkon suojaus välttämättä aina toimi. Johdinkatkoksen aikana nollavirta voi olla joissain tapauksissa niin pientä, ettei sitä pysty havaitsemaan herkilläkään maasulkureileillä. Monesti suojaus tällaisia tilanteita varten on toteutettu kulutuskojeiden puolella esimerkiksi kolmivaiheisilla alijännitereleillä. Nollavirran suuruus riippuu verkon maadoitustavasta ja johdinkatkoksen sijainnista. (Elovaara & Haarla 2011, 341.)

4.4 Ylikuormitus

Ylikuormituksen aiheuttaman lämpenemisen seurauksena voivat muuntajat, reaktorit, kondensaattorit, generaattorit ja moottorit vaurioitua. Näitä yleensä suojataankin kuumenemiselta laukaisevilla ylikuormitusreleellä. Ylikuormitus, kuten oiko- ja maasulkukin, johtaa virran nousuun laitteiden nimellisvirtoja suuremmaksi. Laukaiseva ylikuormitussuojaus on kuitenkin ajallisesti sallivampi kuin oikosulkusuojaus. Tällöin lyhytaikaiset kuormituspiikit ovat mahdollisia ilman laukaisukäskyä.

Siirtoverkon johdoilla harvoin käytetään laukaisevaa ylikuormitussuojaa. Suojaus on toteutettu siten, että kuormitusta mittaava rele antaa hälytyksen ylikuormasta käytönvalvontajärjestelmään. Tällöin verkonvalvoja voi ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin ylikuormituksen loppumiseksi.

5 KÄYTÖSSÄ OLEVAT SUOJARELEET

Tässä osiossa kerrotaan opinnäytetyön kohteena olevista releistä ja niiden ominaisuuksista. Tässä esitellään pintapuolisesti ainoastaan Suomen kohteissa tällä hetkellä asennettuina oleviin laitteita. Yleisimmin näistä on otettu käyttöön toiminnot ylivirta ja ylikuorma. Joissain uudemmissa asennuksissa on käytössä myös suojaus maavuodolta.

5.1 REJ 603

ABB:n REJ603 on suunniteltu oiko- ja maasulkusuojaus jakeluverkkoihin ja pienille muuntajille. Se sähköistetään virtamuuntajien kautta, joka tekee siitä oikeinkin sopivan sellaisiin kohteisiin, joissa ulkoista virtalähdettä ei voi käyttää tai virran syöttöä ei voida taata.



Kuva 7 ABB REJ603 suojarele (ABB 2021).

Releen päätoimintoja ovat ei suuntaa havaitseva oiko- ja maasulkusuojaus, ylikuormitus ja suuren kytkentävirran tunnistus. Releen asettelu tapahtuu siinä olevilla DIP-kytkimillä. (ABB 2021.)

5.2 REF 615

ABB:n valmistama REF615 on tarkoitettu syötön suojaksi, valvonnaksi ja monitoroinniksi sähköasemille, teollisuuteen ja jakeluverkkoihin. Releet ovat pienikokoisia, ja niissä käytetään irrotettavia yksiköitä. Saatavilla on 12 eri vakiokonfiguraatiota, mutta käyttäjä voi muokata niitä mieleisikseen yhdistelemällä toimilohkoja ja suojaustoimintoja.



Kuva 8 ABB REF615 suojarele (ABB 2021).

Releen päätoiminnot riippuvat valituista vakiokonfiguraatioista ja ostetuista lisävarusteista. Saatavilla ovat suunnattu ja suuntaamaton maa- ja oikosulkusuojaus, suojaus termiseltä ylikuormalta ja suunnattu sekä suuntaamaton ylivirtasuojaus. Lisäksi releessä on herkkä maasulkusuojaus, vaihekatkon suojaus, hetkellisen maasulun suojaus, ylijännite- ja alijännitesuojaus, nolлайlijännitesuojaus, myötäkomponentin alijännitesuojaus ja jännitteen epäbalanssisuojaus. Näiden lisäksi on mahdollista saada vielä yli- ja alitaajuussuojaus ja valinnaisena avojohdoille kolminapainen automaattinen jälleenkytkentä. (ABB 2021.)

5.3 SIPROTEC 7SJ45

Siemensin SIPROTEC 7SJ45 on pienikokoinen numeerinen suojarole, joka on tarkoitettu säteittäisten jakeluverkkojen ja pienten muuntajien suojaksi. Suojarele sähköistetään virtamuuntajien kautta, joten se ei välttämättä tarvitse erillistä virtalähdettä.



Kuva 9 SIPROTEC 7SJ45 suojarole (Siemens 2021).

Suojareleen päätoimintoja ovat kaksi portainen ylivirtasuojaus, vakioaikahidasmainen tai Inverse- toimintakäyrän mukainen käänteisaikahidasteinen toiminta. Toiminnan voi toteuttaa joko 24V jännitepulssilla tai releen sisäänrakennetulla vaihtokoskettimella. Toiselle eli ylemmälle portaalle on mahdollisuus valita joko ylivirtaporras vaihevirroille tai laskennallinen maasulkusuojaus. Releen koskettimelle pystyy valitsemaan joko havahtumis- tai laukaisutoiminnon, ja sillä on yksi ulostulo monitorointia varten. (Siemens 2021.)

6 KOESTAMINEN

Suojareleiden ja relesuojaukseen liittyvien laitteiden oikeanlainen toiminta ja asettelut tulee todentaa käyttöönoton yhteydessä ja määräaikojen välein. Tätä toiminnan todentamista kutsutaan koestamiseksi. Kojeille on määritelty nimellisiä ja koestusarvot, joista muodostavat sen tärkeimmät tekniset tiedot. Nimellisarvot määritellään normaalissa käyttötilanteessa. Koestusarvoilla puolestaan pyritään takaamaan suojauksen tarkoituksenmukainen toiminta normaali- ja poikkeustilanteessa. Todentamisen lähtökohtana pidetään, että relesuojauksen on pystyttävä valvomaan suojattavaa verkon osaa kaikkina hetkinä ja pystyttävä toimimaan sen asetteluarvojen mukaisella tavalla häiriötilanteessa. (Niemelä 2015.)

Koestamisen onnistumiseksi on tunnettava suojareleen lisäksi koko järjestelmä. Kuten luvussa 3 on mainittu, suojauspiiri käsittää myös mittamuuntajat, apuvirtalähteet, katkaisijat ja releiden yhteydet. Näiden lisäksi täytyy tiedostaa juuri koestettavan kohteen suojauksen tarkoitus, jotta toiminta voidaan todeta. Koestuksen suorittamiseen vaaditaan lähtökohtaisesti yksi siihen perehtynyt henkilö, mutta joissain tilanteissa useampi. Tällainen voi olla esimerkiksi tilanne, jossa suojarele sijaitsee paikassa, jossa työskentelemiseksi vaaditaan vähintään kaksi henkilöä.

6.1 Suojausfunktiot

Suojausfunktioilla tarkoitetaan suojareleessä käyttöönotettuja ominaisuuksia. Jokaiselle suojausfunktiolle on määritelty standardien IEC 61850, IEC 60617 ja IEC-ANSI mukainen koodi. Nämä löytyvät yleensä suojareleiden käyttöohjeista releiden ominaisuuksia käsittelevästä osiosta esimerkiksi Kuva 10 REF615 Suojausfunktioita (ABB 2021)

Toiminto	IEC 61850	IEC 60617	IEC-ANSI
Suojaus			
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuojaus, alempi porras	PHLPTOC1	3I>(1)	51P-1 (1)
	PHLPTOC2	3I> (2)	51P-1 (2)
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuojaus, ylempi porras	PHHPTOC1	3I>>(1)	51P-2 (1)
	PHHPTOC2	3I>>(2)	51P-2 (2)
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuojaus, pikalaukaisuporras	PHIPTOC1	3I>>> (1)	50P/51P (1)
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuojaus, alempi porras	DPHLPDOC1	3I> -> (1)	67-1 (1)
	DPHLPDOC2	3I> -> (2)	67-1 (2)
Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuojaus, ylempi porras	DPHHPDOC1	3I>> -> (1)	67-2 (1)
Suuntaamaton maasulkusuojaus, alempi porras	EFLPTOC1	Io> (1)	51N-1 (1)
	EFLPTOC2	Io> (2)	51N-1 (2)
Suuntaamaton maasulkusuojaus, ylempi porras	EFHPTOC1	Io>> (1)	51N-2 (1)
Suuntaamaton maasulkusuojaus, pikalaukaisuporras	EFIPTOC1	Io>>> (1)	50N/51N (1)
Suunnattu maasulkusuojaus, alempi porras	DEFLPDEF1	Io> -> (1)	67N-1 (1)
	DEFLPDEF2	Io> -> (2)	67N-1 (2)
Suunnattu maasulkusuojaus, ylempi porras	DEFHPDEF1	Io>> -> (1)	67N-2 (1)
Admittanssiin perustuva maasulkusuojaus ¹⁾	EFPADM1	Yo> -> (1)	21YN (1)
	EFPADM2	Yo> -> (2)	21YN (2)
	EFPADM3	Yo> -> (3)	21YN (3)
Tehonmittaukseen perustuva maasulkusuojaus ¹⁾	WPWDE1	Po> -> (1)	32N (1)
	WPWDE2	Po> -> (2)	32N (2)
	WPWDE3	Po> -> (3)	32N (3)
Hetkellinen/katkeileva maasulkusuojaus	INTRPTEF1	Io> -> IEF (1)	67NIEF (1)
Harmonisiin perustuva maasulkusuojaus ¹⁾	HAEFPTOC1	Io>HA (1)	51NHA (1)
Suuntaamaton (moniportainen) maasulkusuojaus, laskettu Io	EFHPTOC1	Io>> (1)	51N-2 (1)
Virran epäbalanssisuojaus	NSPTOC1	I2> (1)	46 (1)
	NSPTOC2	I2> (2)	46 (2)
Vaiheen epäjatkuvuusuojaus	PDNSPTOC1	I2/I1> (1)	46PD (1)
Nollaylijännitesuojaus	ROVPTOV1	Uo> (1)	59G (1)
	ROVPTOV2	Uo> (2)	59G (2)
	ROVPTOV3	Uo> (3)	59G (3)
Kolmivaiheinen alijännitesuojaus	PHPTUV1	3U<(1)	27 (1)
	PHPTUV2	3U<(2)	27 (2)

Kuva 10 REF615 Suojausfunktioita (ABB 2021).

Suojausfunktioiden määrä ja laatu riippuvat suojareleen asennuskohteesta ja siitä, miten suojattava kohde sijoittuu verkkoon ja vaikuttaa sen muihin osiin. Opinnäytetyön kohteena olevassa laitteistossa esimerkiksi keskitytään ainoastaan keskijännitekojeiston, muuntajan ja kaapeleiden suojaukseen oikosululta ja ylikuormalta.

6.2 Koestusmenetelmät ja suorittaminen

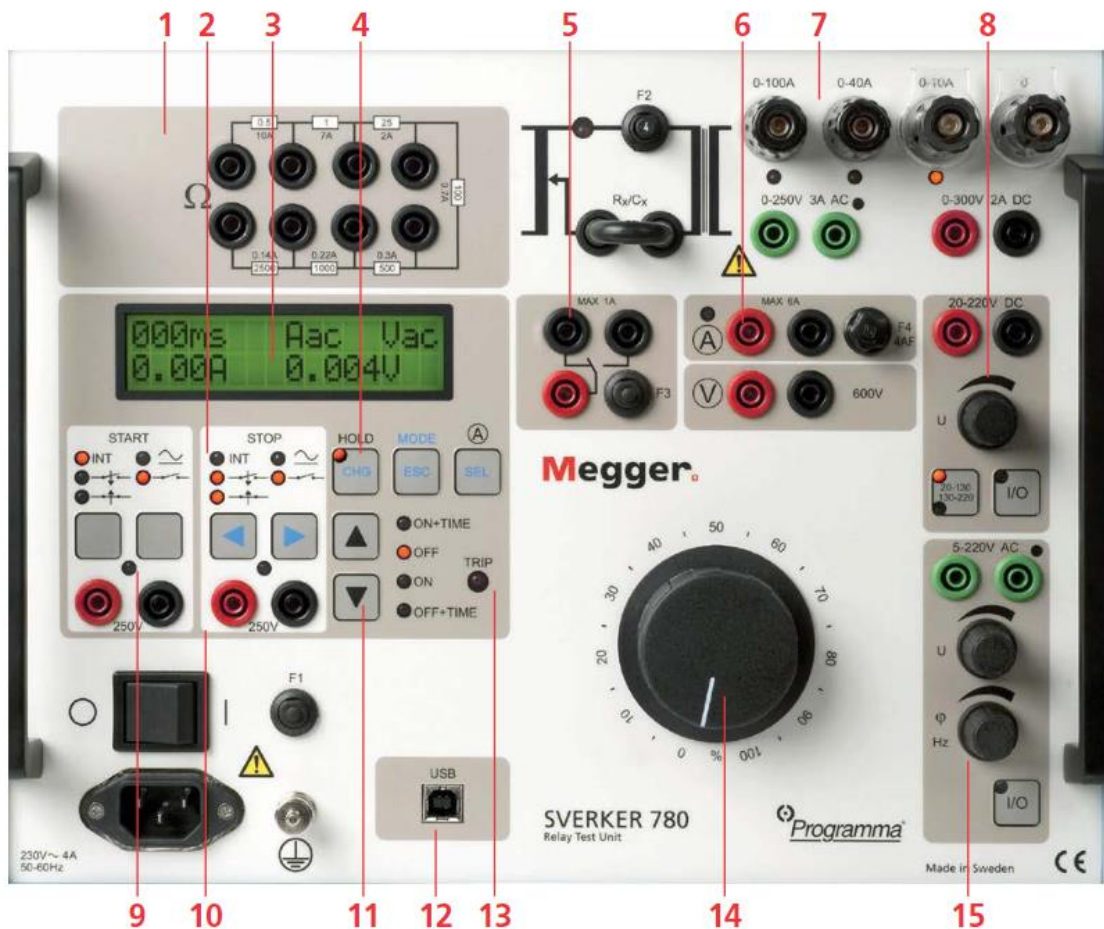
Suojareleiden koestuksia voidaan suorittaa erilaisin menetelmin ja –laajuuksin. Koestuksen ajankohta suojausjärjestelmän elinkaarella määrittelee yleensä koestuksen laajuuden. Esimerkiksi suojariele voidaan itsessään koestaa ilman mittamuuntajia ja suojausjärjestelmän muita komponentteja. Tällainen koestus voi olla paikallaan, kun halutaan testata releen suojausfunktioita ennen kohteeseen asennusta. Koestustapana voidaan käyttää myös suojarieleen valehäiriökoestusta. Tässä menetelmässä releen toiminta voidaan todeta luomalla ensiöpuolelle tarkoituksella vika. (Laurila 2010, 50.)

Kaikista laajin koestusmenetelmä on ensiökoestus, jossa koestuslaitteisto kytketään virtamuuntajien ensiöpuolelle ja tuotetaan vaadittava vikavirta. Tämä menetelmä käsittää kaikki laitteet, jotka ovat mukana suojauspiirissä. Toisiokoestuksessa koestuslaitteisto kytketään virtamuuntajien toisiopuolelle ja koestetaan ainoastaan suojariele. (Nordex Energy GmbH 2016.)

6.3 Koestuslaitteisto

Koestuksessa todennetaan suojauspiirin toiminta suojausfunktio kerrallaan. Tätä tarkoitusta varten on saatavilla eri valmistajilta koestuslaitteistoja erilaisilla ominaisuuksilla. Koestuslaitteistoja on saatavilla yksi- ja kolmivaiheisia, erilaisilla määrillä ja –laaduilla virta- ja jännitelähteitä, toisistaan poikkeavilla käyttöliittymillä, binääritulojen ja -lähtöjen määrällä, sekä muilla liitännöillä. Tarjolla olevista vaihtoehdoista käyttäjä voi valita omiin tarpeisiinsa sopivimman. Yksinkertaisiin koestuksiin riittää monesti yksivaiheinen koestuslaitteisto. Vastaavasti vaativimmissa ja laajimmissa kohteissa käytetään ominaisuuksiltaan kattavampia kolmivaiheisia testauslaitteistoja. (Jääskeläinen 2019.)

Tässä työssä käytetään Meggerin Sverker 780 -koestuslaitteistoa. Sverker 780 on yksivaiheinen testauslaitteisto, ja on tarkoitettu käytettäväksi sähköasemien releiden koestukseen ja teollisuusympäristössä. Laitte on suhteellisen pienikokoinen ja painoksi on ilmoitettu 18,1 kiloa ilman lisävarusteita. Käyttölämpötilaksi on ilmoitettu nolasta viiteenkymmeneen celsiusastetta. Tämä rajoittaa hiukan relekoestuksien ajankohtaa kohteissamme, sillä ne eivät sijaitse lämmitetyissä tiloissa. Laitteessa on lämpötilaan perustuva käytönesto ja automaattinen ylikuormitussuojaus. Meggerin manuaalin mukaan kahden laitteiston yhdistäminen ja synkronointi on siten mahdollista, että niitä voi yhdessä käyttää kolmivaiheisena koestuslaitteistona. Sverker 780 on tarkoitettu pääasiassa yksivaiheisiin toisiokestuksiin, mutta sillä voidaan toteuttaa myös sellaisia kolmivaiheisiä koestuksia, joita voidaan testata yksi vaihe kerrallaan. Laitteisto on yhteensopiva EU-standardien kanssa ja siihen on saatavilla SVERKER Vin- niminen ohjelmisto ja käyttöliittymä, jota voidaan USB- portin kautta käyttää tietokoneella.



Kuva 11 Megger Sverker 780 (Megger, 2021)

Kuva 11 Megger Sverker 780 on esitelty koestuslaitteiston eri komponentit ja toiminnallisia ominaisuuksia.

1. Vastukset. Virran ja jännitteen hienosäätö sisäänrakennetuilla vastuksilla.
2. Käynnistys- ja pysäytysnäyttö. Ajastimien käynnistys- ja pysäytystulot. Reagoi muutoksiin koskettimien tilassa ja jännitteessä. Ajastimien sisääntuloa käytetään myös, kun halutaan testata releitä, jotka on varustettu uudelleenkytkentä- ominaisuudella ja kun halutaan synkronoida kaksi Sverker- yksikköä.
3. Näyttö. Esittää ajan, virran, jännitteen ja muut yksiköt. Käytetään myös asetusten vaihtamiseen painamalla ensin MODE- näppäintä.
4. Jäädystoiminto (HOLD). Tällä toiminnolla voidaan mitata virtoja ja jännitteitä jopa neljänneksellä verkon jakson ajasta. Jännitteen ja virran lukema jäädystetään näytölle ajastimen pysähtyessä, ja mikäli ajastin ei pysähdy jäädystetään lukemat virran kulun katketessa.
5. Yhteyden muodostaminen ja katkaisu. Tila vaihtuu automaattisesti, kun testi käynnistetään. Voidaan käyttää esimerkiksi toisen Sverker- yksikön tai muun ulkoisen laitteen synkronointiin.
6. Jännite- ja virtamittari. Sisäänrakennettu virta- ja jännitemittaus, joiden mittaamat suureen näytetään näytöllä. Näillä voidaan mitata myös resistanssi, impedanssi, vaihesiirtokulma ja tehokerroin. Jännitemittaria voidaan käyttää myös toisena virtamittarina esimerkiksi testatessa differentiaalireleitä.
7. Virtalähde. 0-250 A AC, 0-250 V AC tai 0-300 V DC riippuen käytettävästä lähdestä. Asetukset tehdään käyttämällä päävalitsinnuppia (14). Virran, jännitteen ja muiden suureiden arvot näkyvät näytössä. Virtalähteen voi käynnistää ja sammuttaa painamalla Start- painiketta (11). Kun halutaan mitata aikaa, täytyy virtalähde synkronoida ajastimen kanssa.
8. Apujännitelähde 20-220 V DC. Varustettu ylikuormitussuojalla ja erotettu muista lähdoistä. Käytetään usein testattavan kohteen syöttöön.

9. Tilan merkkivalo. Ajastimet ovat varustettu merkkivalolla, jotka ilmoittavat suljetusta tai avonaisesta virtapiiristä. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi jännitteen havaitsemiseksi, virtapiirien testaamiseksi ennen koestuksen aloittamista ja katkaisijan tilan tunnistamiseksi.
10. Ajastimen käynnistys- ja pysäytystulot. Tätä voidaan käyttää niin ulkoisten jaksojen ja Sverkerin käynnistämien mittausjaksojen aikojen monitorointiin. Mitatut ajat ilmaantuvat näytölle ja tulot voidaan asettaa havahtumaan joko vaihto- tai tasavirran olemassaoloon tai puuttumiseen.
11. Start- painike. Käynnistää ja sammuttaa virtalähteet sekä ajastimet. Voidaan asettaa neljään eri tilaan. ON+TIME- tila käynnistää virtalähteen ja ajastimen samanaikaisesti. Virtalähde on tässä tilassa päällä siihen asti kunnes suojarеле toimii, ajastimen aika on kulunut loppuun tai Start-painike vapautetaan. OFF asettaa virtalähteet pois päältä ja ON käynnistää virtalähteet. OFF+TIME- tila sammuttaa virtalähteet ja käynnistää ajastimet.
12. USB-portti tietokoneen yhdistämistä ja SVERKER Vin ohjelmiston käyttöä varten.
13. Suojareleen toiminnasta ilmoittava merkkivalo. Merkkivalo syttyy kun rele toimii. Jos suoritettava testi sisältää ajastuksen merkkivalo alkaa vilkkua suojarелеen toimiessa.
14. Päävalitsinnuppi. Käytetään virtalähteiden säätöön.
15. AC- jännitelähde. Tämä on erotettu muiden virtalähteiden säädöistä, ja on tarkoitettu ensisijaisesti suojausjärjestelmän jännitelähteeksi.

Esimerkkejä suojausfunktioista, joita Meggerin Sverker 780 voi testata löytyy Taulukko 3 Suojausfunktioita (Megger 2021).

Taulukko 3 Suojausfunktioita (Megger 2021).

Testattava suojausfunktio	ANSI Nro.
Ylivirtasuoja	50
Inverse ylivirtasuoja	51
Alivirtasuoja	37
Maasulkusuoja	50N, 51N

Suunnattu ylivirtasuoja	67
Suunnattu maasulkusuoja	67N
Ylijännitesuoja	59
Alijännitesuoja	27
Suunnattu tehorele	32
Tehokerroinrele	55
Differentiaalisuoja	87
Distanssirele	21
Negatiivisen jakson ylivirtasuoja	46
Moottorin ylikuormitussuoja	51/66
Automaattisesti jälleenkytkevät laitteet	79
Laukaisevat releet	94
Jännitteensäätörele	
Ali- impedanssirele	21
Lämpörele	49
Aikahidastettu rele	
Taajuusrele	81

Liitteessä 1 on esitelty Megger Sverker 780 käyttöesimerkki. Laitekohtaiseen käyttöohjeeseen tulee perehtyä aina ennen työn aloittamista ja on varmistuttava, että käyttäjä on riittävän hyvin perehdytetty laitteen käyttöön.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli toimittaa koestusohjeet voimalavalmistajalle, jotta olemassa olevia resursseja voitaisiin käyttää tulevaisuudessa määräaikaikoes- tuksiin. Ohjeiden tuli olla helppolukuisia, ymmärrettäviä ja niiden tuli sisältää juuri ne laitteet ja laitteistot, joita voimalavalmistajalla on käytössä. Itsessään koestus- ohje päätettiin olla julkaisematta opinnäytetyön toimeksiantajan tahdosta, joten työn teoriaosuuteen keräsin paljon aiheeseen liittyvää informaatiota.

Minulle tuli osittain yllätyksenä kohteeseen vaikuttavat standardien, lakien ja ase- tusten määrä. Suojareleistä löytyi kaiken kaikkiaan hyvin tietoa erilaisista läh- teistä, mutta itsessään koestamisesta hiukan heikosti. Työssä päästiin kuitenkin tavoitteeseen eli koestusohjeet saatiin toimitettua voimalavalmistajalle yhden suojareletyypin osalta. Loput suojareletyypit täydennetään ohjeisiin myöhemmin.

Haasteita syntyi aikataulun suhteen jonkin verran. Koestuslaitteistoa ei ollut ole- massa työtä aloittaessa ja se tilattiin työn ollessa siinä pisteessä, että ainoastaan koestusohje puuttui. Lisäksi keväinen ajankohta ei ollut otollisin koestuksien kan- nalta. Työstä ja sen tuloksista on kuitenkin välitöntä hyötyä toimeksiantajalle, ja muille relesuojaustekniikasta kiinnostuneille.

LÄHTEET

ABB 2021. e- library ABB REF615. Viitattu 3.1.2021 https://library.e.abb.com/public/63f24f53d4a84effc12577f20036a373/RE_615_oper_756792_Flc.pdf

ABB 2021. Self- powered feeder protection REJ603. Viitattu 4.1.2021 https://library.e.abb.com/public/e053e59dedb2e611c1257d58001fa231/REJ603_um_1MDU07206-YN_ENe.pdf

ABB 2000. TTT- käsikirja 2000-07. ABB Oy.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 2. Otatieto Helsinki University Press

Fingrid Oyj 2021. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Viitattu 10.2.2021 <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/voimalaitosten-jarjestelmatekniset-vaatimukset/>

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Vantaa: Tammertekniikka.

Jääskeläinen, M. 2019. Suojareleiden koestuslaitteiden vertailu. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kauppilainen, J. & Saarelainen, K. 2018. ST- käsikirja 33. Espoo: Sähkötieto ry.

Laurila, J. 2010. VAMP 265- suojareleen käyttöönotto-ohje. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Megger 2021. Single phase relay testing SVERKER 750/ 780. Viitattu 10.2.2021 <https://megger.com/relay-test-sets-sverker750/780>

Niemelä, J. 2015. Suojareleen automaattinen koestus projektikohtaisilla asetuksilla. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Nordex Energy GmbH 2016. Testing the transformer protection and the medium-voltage. Central Engineering. Hamburg, Germany.

Siemens 2021. Catalog Siemens 7SJ45. Viitattu 3.1.2021 <https://www.downloads.siemens.com>

Säköturvallisuuslaki. 44.1135/2016

Tukes 2021. Koneiden sähkölaitteistoja koskevat turvallisuusvaatimukset ja sähkötyöt. Viitattu 15.1.2021 <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/koneiden-sahkolaitteistoja-koskevat-turvallisuusvaatimukset-ja-sahkotyot>

Valtionneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. 12.6 400/2008

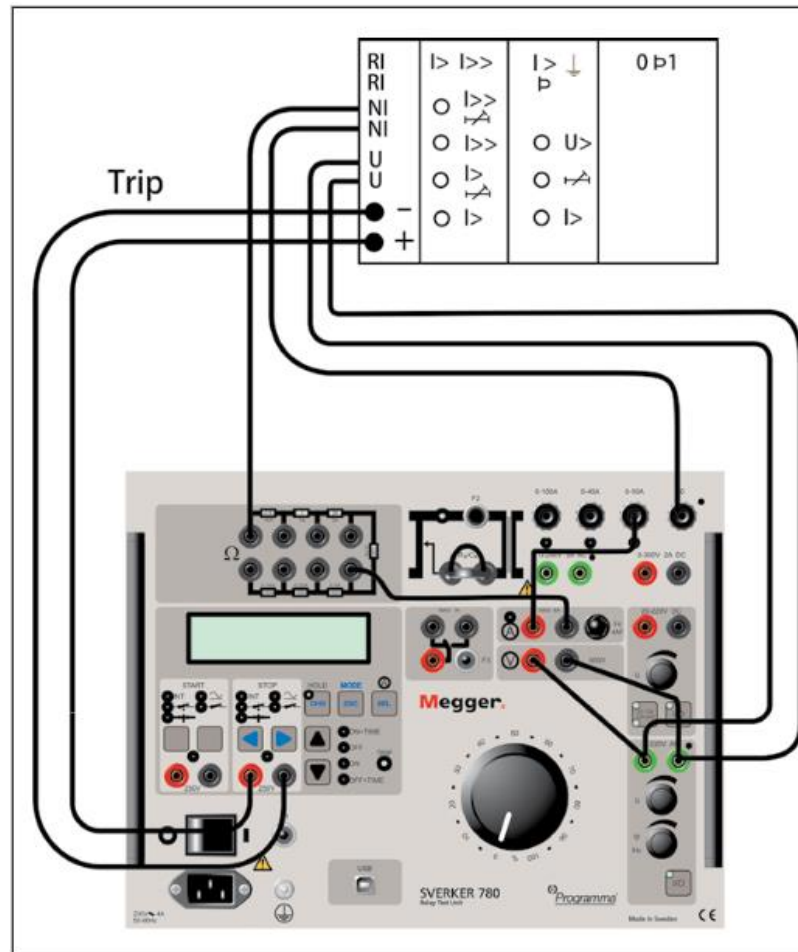
LIITTEET

Liite 1. Koestuslaitteiston käyttöesimerkki

Liite 1. Koestuslaitteiston käyttöesimerkki

Esimerkissä koestuslaitteisto on kytketty Kuva 12 Suojareleen havahtumisen ja laukaisun testaus – mukaisesti. Koestuslaitteiston käyttöohjeet on luettava ennen testauksen aloittamista.

1. Kytke Sverker 780 suojareleeseen Kuva 12 Suojareleen havahtumisen ja laukaisun testaus osoittamalla tavalla.
2. Valitse pysäytysolosuhteista kostea tai kuiva kontakti.
3. Valitse HOLD- painiketta painamalla virtalukeman jäädytys näytölle.
4. Paina SEL/A- painiketta kunnes punainen valo syttyy virtamittariin. Tämän esimerkin mukaisessa kytkennässä valittu virtamittari on suurimmalta sallitulta virraltaan 6 ampeeria.
5. Paina MODE- painiketta.
6. Paina ▼ valitaksesi Ω , φ , W, VA...
7. Paina CHG.
8. Valitse φ ($^\circ$, Iref) tai ($^\circ$, Uref) painamalla ▼.
9. Paina SEL.
10. Paina ESC.
11. Asetta jännitteen arvo pienemmästä ylempänä olevasta nupista.
12. Tarkista että päävalitsinnuppi on 0 asennossa.
13. Käynnistä Sverkerin ulostulo valitsemalla ON käyttäen ▼ - painiketta.
14. Säädä vaihesiirtokulma. Alemmalla nupilla tehdään hienosäätö ja keskimmaisella voidaan vaihtaa kulmaa 90° kerrallaan.



Kuva 12 Suojareleen havahtumisen ja laukaisun testaus (Megger 2021)