

Rene Paju

Netcon 100 -järjestelmän suojaustoimintojen vaikutus toimitusketjussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

5.5.2015

Alkulause

Tämä insinööriyö on tehty Netcontrol Oy:lle. Kiitän tuotekehitysinsinööri, ins. (AMK) Panu Loistaa saamistani neuvoista ja ohjeista.

Lisäksi kiitän insinööriyöni valvojaa, yliopettaja, tekn.lis. Jarno Vartevaa Metropolia Ammattikorkeakoulusta.

Helsingissä 5.5.2015

Rene Paju

Tekijä Otsikko	Rene Paju Netcon 100 -järjestelmän suojaustoimintojen vaikutus toimitusketjussa
Sivumäärä Aika	59 sivua + 1 liite 5.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Yliopettaja Jarno Varteva Tuotekehitysinsinööri Panu Loisa
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin Netcon 100 -verkostoautomaatiojärjestelmään lisättävien keskijänniteverkon suojaustoimintojen tuomaa vaikutusta tuotteen toimitusketjuun. Vaikutuksia tutkittiin erityisesti liittyen tuotteen laitetoimitukseen, suojauksen vaatimiin ennakkotietoihin, testauspalveluihin, käyttöönottoon ja ylläpitotoimiin.</p> <p>Merkittävä osa työstä oli tuotekehitysvaiheessa tapahtuvien tyyppitestausten laatiminen ja niiden suorittaminen, joista saatiin toimintamallia myös osaksi toimitusketjua liitettävälle FAT- ja SAT-testeille. Suurimmat suojaustoimintojen tuomat vaikutukset tuotteen toimitusketjuun ovat tuotteen MOTS-tilausten yhteydessä tehtävät tehdas- ja käyttöönottotestit. Näitä testejä päästiin toteuttamaan oikean asiakastoimituksen yhteydessä, jossa päästiin myös käymään läpi alussa mainitut toimitusketjun eri vaiheet onnistuneesti.</p> <p>Insinööriyössä kuvattiin jakeluverkkoautomaation nykytilaa sekä kasvavia vaatimuksia, säännöksiä ja lakeja liittyen sähkön käyttövarmuuteen, joihin suojaustoimintojen lisäämisellä voidaan tarjota ratkaisu. Työssä käytiin läpi tulevaisuuden tuomien sovellusten, kuten hajautetun tuotannon verkkoon liittämisen vaikutuksia ja vaatimuksia verkon suojaukseen, joissa perinteiset ratkaisut eivät enää riitä. Työn aikana huomattiin, että automaattisten suojaustoimintojen lisäys on yksi kilpailukykyinen ratkaisu kohonneiden käyttövarmuusvaatimusten täyttämiseksi.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena syntyi kattava raportti suojaustoimintojen lisäysten vaikutuksista Netcon 100 -tuotteen toimitusketjussa sekä ennakkotietolomake, koestusohje ja koestuspöytäkirja, jota käytetään toimitusketjuun lisättävien testien dokumentoimiseksi sekä suojaustoiminnallisuuden oikean toiminnan osoittamiseksi asiakkaalle.</p>	
Avainsanat	Netcon 100, keskijänniteverkon suojaus, verkostoautomaatio, älykäs sähköverkko, tehdastesti, käyttöönottotesti, toisiotestaus

Author Title	Rene Paju Netcon 100 System Protection Features Impact on Supply Chain
Number of Pages Date	59 pages + 1 appendice 5 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Panu Loisa, Design Engineer Jarno Varteva, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis investigates how the medium voltage protection features, recently added to the Netcon 100 product, affect the supply chain of that product. Attention is paid particularly to impacts on product delivery, the required preliminary data, test services, commissioning and maintenance.</p> <p>An important part of the work consisted of the preparation and execution of type tests during the product development phase. Those tests provided a model for the factory acceptance and site acceptance tests which will be part of the product supply chain.</p> <p>The largest impacts of the protection on the supply chain are the manufacturing and commissioning tests involved in the product modified off-the-shelf orders. These tests were executed as part of a delivery for a distribution network company. The different phases of the supply chain were carried out successfully.</p> <p>The thesis describes the current state of distribution network automation, as well as the increasing requirements, regulations and laws, for which the protection features can provide a solution. The challenges for future applications are described, including the connection of decentralized production to the network, where traditional protection solutions are no longer working. During the work, it was found that automatic protection functions are one competitive solution to meet the increased requirements for reliability.</p> <p>The end result of this thesis is a comprehensive report of added protection features impacts on the supply chain. Another result was a testing protocol, commissioning guide and a form used to document the supply chain tests and to point the correct functionality to the customer.</p>	
Keywords	Netcon 100, medium voltage network protection, distribution automation, Smart Grid, FAT, SAT, secondary testing

Sisällys

Alkulause

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Netcontrol-yhtiö	2
3	Keskijänniteverkko Suomessa	2
3.1	Maasta erotettu keskijänniteverkko	3
3.2	Kompensoitu keskijänniteverkko	4
3.3	Maadoitettu keskijänniteverkko	6
4	Keskijänniteverkon viat	7
4.1	Oikosulku	7
4.2	Maasulku	8
4.3	Kaksoismaasulku	9
4.4	Jännitekuoppa	9
4.5	KytKentäsäysäsvirta	10
5	Keskijänniteverkon suojaus	10
5.1	Relesuojaus	12
5.1.1	Ylivirtarele	13
5.1.2	Distanssirele	13
5.1.3	Differentiaalirele	13
5.1.4	Suunnattu maasulkurele	14
5.2	Katkaisijat keskijänniteverkon suojauksessa	14
5.3	Jälleenkytkentäautomaatiikka	14
5.4	Vyöhykejattelu keskijänniteverkon suojauksessa	15
5.5	Suojauksen selektiivisyys	16
6	Jakeluverkkoautomaatio	17

6.1	Jakeluverkkoautomaation nykytilanne	18
6.2	Tulevaisuuden vaikutukset jakeluverkkoautomaatioon	19
6.2.1	Smart Grid eli älykäs sähköverkko	19
6.2.2	Hajautettu pientuotanto	20
6.2.3	Hajautettu keskisuuri tuotanto	21
6.2.4	Sähkön varastointi	23
6.3	Sähköasema-automaatio	25
6.4	Verkostoautomaatio	26
6.5	IEC 61850 -standardi	26
7	Netcon 100 -tuotteen esittely	27
7.1	Netcon 100 -suojaustoiminnallisuudet	28
7.2	Suojaukseen käytettävä laitteisto	31
7.3	Suojausasetteluiden konfigurointi	32
8	Suojaustoiminnallisuuden tyyppitestaus	38
8.1	Toisiotestit	39
8.2	Ensiötestit suurjännitelaboratoriossa	39
9	Yhteenveto	41
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1 Koestuspöytäkirja	

Lyhenteet

COTS	Commercial off-the-shelf; massoittain tuotettu toimitus
DMS	Distribution Management System; käyttötukijärjestelmä
EF	Earth Fault; Netcon 100 -maasulkuporras
FAT	Factory Acceptance Test; käyttöönottoa edeltävä tehdastesti
FDM	Fault Detection Module; Netcon 100 -ala-aseman mittauskortti
gateway	tietoliikenteen yhdyskäytävä ja keskitin
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event; mikroprosessoripohjaisten suojarleiden välinen nopea viestintä
HMI	Human Machine Interface; käyttäjän ja laitteen välinen rajapinta
I>	ylivirtalaukaisu
I>>	momenttilaukaisu ylivirrasta
MOTS	Modified off-the-shelf; asiakkaan määritysten mukaan räätälöity toimitus
OC	Over Current; Netcon 100 -ylivirtaporras
RCM	Remote Control Module; Netcon 100 -ala-aseman ohjauskortti
RTU	Remote Terminal Unit; kaukokäytön ala-asema
SAT	Site Acceptance Test; asennuskohteessa tapahtuva käyttöönottotesti
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition; valvonta- ja ohjausjärjestelmä
WebGUI	Graphical User Interface; Web-selaimesta käytettävä Netcon 100 -ala-ase- man graafinen käyttöliittymä

1 Johdanto

Tämä insinööritö toteutettiin toimeksiantona Netcontrol Oy:lle. Yrityksen olemassa olevaa muuntamoautomaatiojärjestelmää laajennettiin keskijänniteverkon suojaustoiminnoilla, joiden tuotekehitys oli jo aloitettu tätä työtä tehtäessä.

Aluksi työssä kuvataan keskijänniteverkkoa Suomessa ja sen eri maadoitustapoja, jotka vaikuttavat suurilta osin maasulkuvian havainnointiin. Työssä käydään läpi yleisimpiä keskijänniteverkon vikoja ja tilanteita, joissa verkkoa yritetään suojata. Työssä tarkastellaan myös eri menetelmiä suojautua vioilta ja siihen käytettävää laitteistoa, kuten erilaiset suojarieleet toimintoiheen sekä automaation integrointi osaksi sähkönjakeluverkkoa.

Työssä kuvataan Netcon 100 -muuntamoautomaatiojärjestelmään lisättävät suojaustoiminnot ja -menetelmät sekä niihin käytettävät laitteistot. Työssä tutkitaan, miten näiden suojaustoimintojen lisäys vaikuttaa tuotteen toimitusketjuun ja toimitusketjua kehitetään kehitysprojektina syventymällä muutamaa toimitusketjun osa-alueisiin: 1. tilausten käsittely ja ennakkotiedot, 2. suojausmäärittelyt, 3. laitetoimitus ja siihen liittyvät testauspalvelut sekä suojauskoestukset, 4. käyttöönottopalvelut sekä 5. ylläpito- ja huoltopalvelut.

Sähköverkoilta vaaditaan nykyään yhä enemmän luotettavuutta, käyttövarmuutta ja lyhyempikestoisia katkoksia. Yleisin syy näihin katkoksiin on keskijänniteverkossa tapahtuva häiriö. Keskijänniteverkossa esiintyvä vika aiheuttaa laajan katkoksen, jossa jopa satoja sähkönkäyttäjiä jää katkoksen takia ilman sähköä. Jakeluverkkoyhtiöt ovat valvontaviranomaisen asettaman veloitteen mukaan velvollisia tehostamaan käyttövarmuutta taloudellisin keinoin.

Tässä työssä esiteltävä muuntamoautomaatiojärjestelmä ja siihen lisättävät suojaustoiminnot ovat yksi keino parantaa jakeluverkon käyttövarmuutta ja ratkaisu tulevaisuuden tuomiin vaativiin tavoitteisiin verkon suojauksen kannalta. Muuntamoautomaatiojärjestelmän avulla keskijänniteverkko voidaan jakaa pienempiin suojausvyöhykkeisiin, joiden avulla pystytään maksimoimaan sähkön jakelu kuluttajille myös vikatilanteessa.

2 Netcontrol-yhtiö

Netcontrol on vuonna 1991 perustettu yhtiö, jonka päätoimipiste sijaitsee Helsingissä Pitäjänmäellä. Muut toimipisteet sijaitsevat Ruotsissa, Norjassa ja Iso-Britanniassa. Yhtiön asiakkaita ovat sähkönsiirto- ja jakeluyhtiöt, voimalaitokset, kaukolämpö- ja kaukokylmäyhtiöt, raideliikenteen rakennuttajat, öljy- ja kaasuyhtiöt sekä energiantensiivinen teollisuus.

Yhtiön tuotteisiin kuuluu erilaisia järjestelmiä ja palveluja, jotka liittyvät sähköverkkojen automaattioratkaisuihin. Näistä tärkeimpiä ovat verkosto- ja muuntamoautomaatio, sähköasema-automaatio ja SCADA-järjestelmät sekä näitä yhdistävät tietoliikennetkaisu. Netcontrol toimii maailmanlaajuisilla markkinoilla, ja sillä on yhteistyökumppaneita ja jälleenmyyjiä eri puolella maailmaa.

Yhtiön organisaatorakenne on divisioonarakenne, jossa johdon alaisuudessa toimii eri tulosyksiköitä, joilla kaikilla on omat toimintonsa. Netcontrol työllistää noin sata henkilöä. Kaikki toimipisteet tarjoavat myynti-, projekti- ja tukipalveluita. Tuotekehitys on keskitetty Suomeen ja Ruotsiin.

Netcontrol on sataprosenttisesti henkilökuntansa omistama. Netcontrolin laatu- ja ympäristöjärjestelmä toimii tunnettujen kansainvälisten standardien mukaisesti ja järjestelmät on sertifioitu perustuen ISO 9001:2008 ja ISO 14001:2004 -standardeihin. Netcontrol Oy:n liikevaihto vuonna 2013 oli 5,9 M€. Koko konsernin liikevaihto vuonna 2013 oli 17,9 M€. [1.]

3 Keskijänniteverkko Suomessa

Keskijänniteverkko muodostaa yhdessä 110 kV:n alueverkon, 110/20 kV:n sähköasemien, 20/0,4 kV:n jakelumuuntamoiden ja 0,4 kV:n pienjänniteverkon kanssa toimivan sähkönjakelujärjestelmän. Suomen jakelujärjestelmässä on keskijännitejohtoa 150 000 km, ja sen jännitetasona on 20 kV. Joissakin kaupungeissa on käytössä 10 kV:n jännitetaso jäänteinä ajalta, jolloin erot 20 kV:n ja 10 kV:n johtojen hankintahinnoissa olivat suuremmat. Suurin osa jakeluverkosta on avojohtorakenteista ilmajohtoverkkoa, lukuun ottamatta kaupungit ja taajamat, joissa käytetään maakaapelointia. [2, s. 11, 69.]

Keskijänniteverkko on tietyiltä osin rakennettu rengasverkoksi kuten suuremmilla jänniteillä käytettävät siirtoverkot, mutta sitä käytetään silti säteittäisenä. Eli johtorenkaassa on jakoraja, josta erotin on auki. Verkkoa ajetaan rengasmuodossa pääasiassa vain vian etsinnässä ja verkon kytkennän muutostilanteissa. [3, s. 57.]

Suomessa ja muissa maissa käytetyissä jakeluverkkokäytännöissä saattaa olla suuria eroja. Myös saman maan eri sähköverkkoyhtiöillä voi olla eri käytäntöjä rakennerratkaisuissa. Keskijänniteverkon jännitetasot saattavat olla erisuuruisia tai niitä on käytössä useita, ja tähtipisteiden maadoitustavat vaihtelevat alueittain.

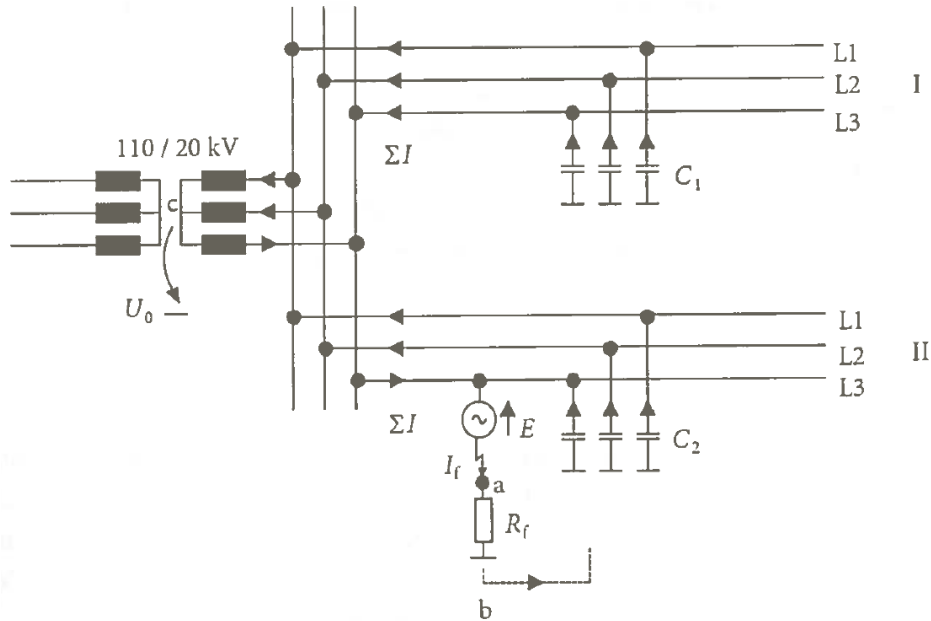
Suomessa maaperän ominaisjohtavuus on tietyillä alueilla niin huonoa, ettei jakelumuntamoilla ja erotinasemilla käytettyjen suojamaadoitusten maadoitusresistansseja saada tarpeeksi pieniksi. Tämä on suurin syy siihen, että keskijänniteverkkoa käytetään Suomessa maasta erotettuna. Tällöin esimerkiksi maasulkutilanteessa virrat pysyvät pieninä ja maasulussa syntyneen maadoitusjännitteen osalta voidaan täyttää sähköturvallisuussäännökset.

Maadoitusjännite voi muodostaa ihmiselle vaarallisen kosketusjännitteen. Tähän liittyvät maasulkusuojauksen vaatimukset ovat erityisen tärkeitä ja ohjaavat myös keskijänniteverkon suunnittelua. Vaihtoehtoinen verkon maadoitustapa maasta erotetulle verkolle on käyttää kompensoitua keskijänniteverkkoa tai maadoitettua verkkoa. Verkon maadoitustapa vaikuttaa muun muassa maasulkuvirtojen suuruuteen sekä vikapaikassa esiintyviin vaarallisiin kosketusjännitteisiin maasulun aikana. [2, s.14, 72.]

3.1 Maasta erotettu keskijänniteverkko

Maasta erotetuissa verkoissa tähtipisteitä ei yhdistetä suoraan maahan. Tällöin maadoitusimpedanssi muodostuu ainoastaan johtojen maakapasitansseista ja verkon nollaimpedanssi on hyvin suuri. Maakapasitanssin suuruus riippuu galvaanisesti yhteen kytkettyjen johtojen pituudesta. Maasta erotetussa verkossa maasulkuvirta kulkee vikapaikasta maahan, yleensä vikaresistanssin kautta. Esimerkiksi johdolle kaatunut puu toimii vikaresistanssina. Maasulussa verkon vaiheiden ja tähtipisteen jännitteet muuttuvat ja verkossa esiintyy johtojen maakapasitanssien kautta kulkevia vikavirtoja.

Kuvassa 1 esitetään maasulkuvirran kulku maasta erotetussa verkossa. Taajamien ulkopuolelle rakennettu 20 kV:n avojohtoverkko on pääosin maasta erotettu säteittäin käytettävä verkko. [3, s. 210.]



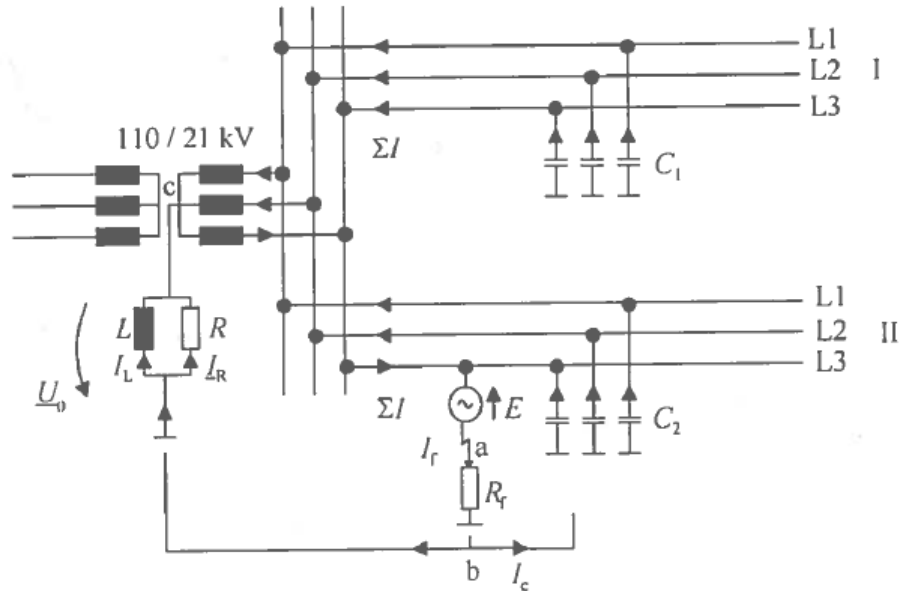
Kuva 1. Maasta erotettu verkko [2]

3.2 Kompensoitu keskijänniteverkko

Kompensoidussa keskijänniteverkossa eli sammutetussa verkossa tähtipisteen ja maan välille on asennettu sammutuskuristin eli reaktori, joka kompensoi johtojen maakapasitanssit. Kuvassa 2 (ks. seur. s.) nähdään tähtipisteeseen kytketty reaktori sekä sen rinnalla oleva lisävastus. Reaktorin induktanssi mitoitetaan siten, että reaktorin läpi kulkeva induktiivinen virta vastaa maasulkutilanteessa johtojen ja maan välillä olevan maakapasitanssin C_0 läpi kulkevaa kapasitiivistä virtaa. Vikatilanteessa maasulkuvirta, joka aiheuttaa maadoitusjännitteen, pysyy hyvin pienenä, koska induktiivinen ja kapasitiivinen virta kumoavat toisensa vikapaikassa. Sammutuskuristin mitoitetaan siten, että kuristin kautta kulkeva virta ja maakapasitanssien kautta kulkeva virta on lähes sama.

Tähtipisteeseen kytketyn induktanssin tulisi olla myös säädettävä, sillä verkon pituus saattaa vaihdella vikatilanteiden seurauksena, kun osa verkosta kytkeytyy irti. Tällöin johtojen maakapasitanssi muuttuu, joten tämänkaltaisessa vikatilanteessa myös

induktanssin määrän on muututtava maakapasitanssia vastaavaksi, jotta se voidaan kompensoida. Tällaista säädettävää sammutuskelaa kutsutaan Petersenin kelaksi (*Petersen coil*).



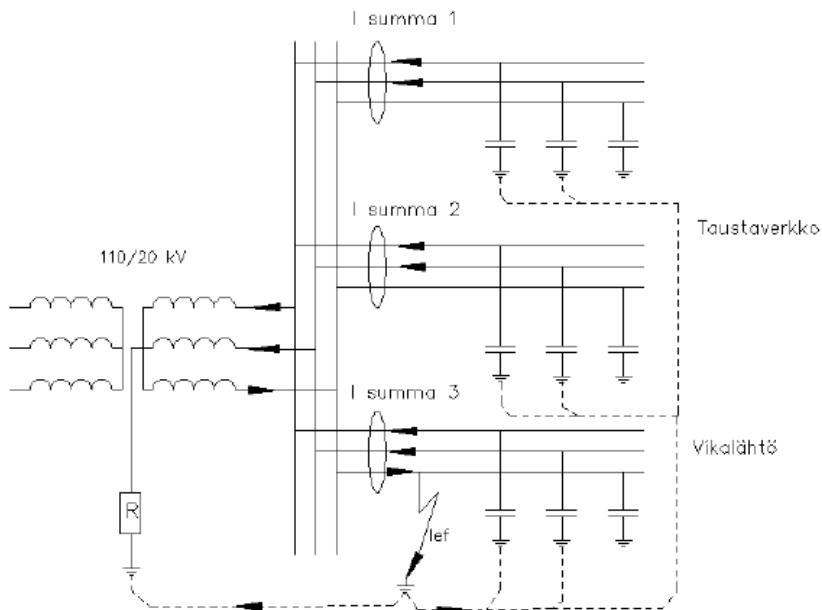
Kuva 2. Kompensoitu verkko [2]

Kompensointia voidaan toteuttaa keskitetysti ja hajautetusti. Keskitetyssä mallissa 110/20 kV:n sähköasemalle asennetaan reaktori tähtipisteeseen, kuten edellä kuvattiin. Hajautetussa kompensoinnissa käytetään 5 A:n tai 10 A:n maadoitusmuuntajia keskijännitelähdöille. Hyötynä kompensoidussa verkossa ovat vähentyneet reletoinnit, sillä osa maasulun synnyttämistä valokaarista sammuu itsestään ilman, että katkaisija tekee verkon jännitteettömäksi.

Hajautetussa kompensoinnissa valokaarta ei useinkaan kyetä sammuttamaan. Maaseutuverkon kaapeloinnin yhteydessä joudutaan käyttämään hajautettua kompensointia sarjareaktanssin muodostumisen takia. Valokaaren sammuttamiseksi laajassa maaseudun kaapeliverkossa voidaan käyttää yhdessä keskitettyä ja hajautettua kompensointia. Kompensoinnin vaikutuksesta pienentyneiden maasulkuvirtojen ansiosta tällaista verkkoa voidaan käyttää myös maasulkutilanteessa. Kompensointikelan lisävastuksella voidaan lisätä resistiivistä maasulkuvirtaa, jotta relesuojaus havaitsee vian ja toimii selektiivisesti. [2, s. 72; 3, s. 210; 4, s. 337 - 338.]

3.3 Maadoitettu keskijänniteverkko

Maadoitetussa verkossa suurin osa sen tähtipisteistä on kytketty, joko suoraan maahan tai vaihtoehtoisesti kytketty maahan virtaa rajoittavan impedanssin välityksellä. Isomäki on opinnäytetyössään kuvannut maasulkuvirran kulkua maadoitetussa verkossa. Kuvassa 3 esitetään tähtipisteestä maahan kytketty verkko. Suomessa kantaverkko (400 kV ja 220 kV) on maadoitettu virtaa rajoittavien kuristimien kautta. Myös 110 kV:n jakeluverkkoa käytetään maadoitettuna.



Kuva 3. Resistanssin kautta maadoitettu verkko [5]

Pienjänniteverkkoa 400/230 V käytetään suoraan maadoitettuna, minkä avulla saadaan pidettyä maadoitusvastus ja kosketusjännitteet pieninä ja saavutetaan parempi sähkön käytön turvallisuus. Suoraa maadoitettaessa maasulkuvirta on oikosulkuvirran suuruisen. Tämän vuoksi suojaus saadaan toimimaan nopeasti, ja se on helpompi toteuttaa. Suomessa keskijänniteverkkoa ei käytetä suoraan maadoitettuna. [3, s. 211; 5.]

4 Keskijänniteverkon viat

Yleisimpiä keskijänniteverkossa esiintyviä vikoja ovat kaksi- tai kolmivaiheinen oikosulku sekä yksivaiheinen maasulku ja kaksoismaasulku. Näiltä vioilta pyritään suojautumaan myös Netcon 100 -järjestelmällä (ks. 7.1).

Verkossa esiintyvien epäsymmetristen vikojen seurauksena vaiheiden ja maan väliset jännitteet muuttuvat sekä verkon tähtipisteen potentiaali maahan nähden muuttuu myös. Nämä aiheuttavat ylijännitteitä ja määrävät muun muassa eristysten ja ilmäväljen suuruuden. Epäsymmetrisiä vikoja ovat esimerkiksi maasulku ja kaksoivaiheinen oikosulku. Vikojen esiintyessä jakeluverkossa ne saattavat aiheuttaa laitevikoja, johtojen ylikuumentumista ja pahimmassa tapauksessa henkilövahinkoja. Nämä johtavat edelleen sähkönjakelun keskeytyksiin ja häiriöihin. [3, s. 166 - 177.]

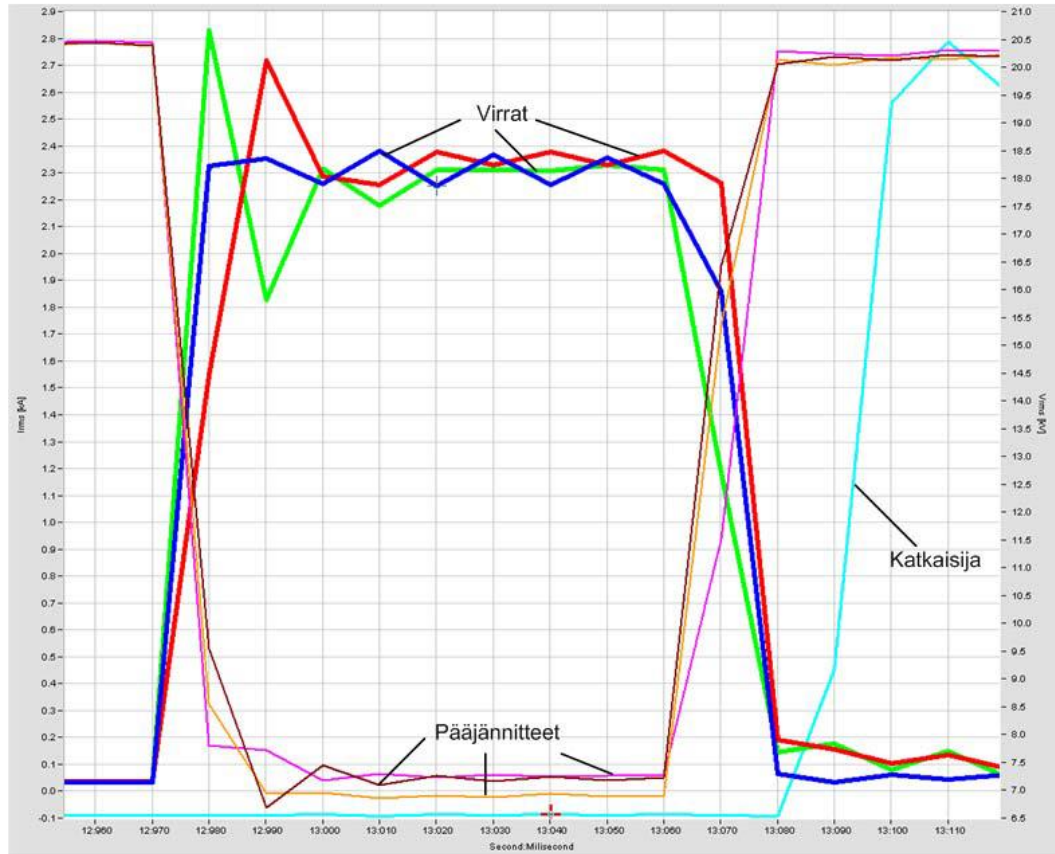
Edellä mainituilta tilanteilta pyritään välttymään suojaustoimintojen avulla, joille on asetettu vaatimukset voimassa olevissa sähköturvallisuusstandardeissa. Liittämällä vaatimuksissa esiintyvään minimisuojaukseen verkostoautomaatiota päästään huomattavasti parempaan sähkönjakelun luotettavuuteen. Luotettavuutta kuvaa sähkönjakelun käyttövarmuus ja sähkötoimituksen keskeytysten määrä. Keskeytys on seurausta verkon vikatilanteista, ja standardissa SFS-EN 50160 keskeytys määritellään tilanteeksi, jossa jännite liittämiskohdassa on alle 1 % sopimuksen mukaisesta jännitteestä. [2, s. 72 - 78.]

4.1 Oikosulku

Oikosulku on vikatilanne, jossa virtapiiri sulkeutuu suoraan esimerkiksi valokaaren tai vikaimpedanssin kautta. Oikosulkuun johtava virtapiirin sulkeutuminen johtuu eristysviasta tai ulkoisesta kosketuksesta, joka yhdistää vaihejohtimet toisiinsa. Tällaisessa tilanteessa syntyy oikosulkuvirta, joka on kuormitusvirtaa suurempi. Oikosulku voi syntyä kahden tai kolmen vaiheen välille. Suurimman vikavirran aikaan saa kolmivaiheinen vastukseton oikosulku, jossa vikavirran suuruus voi olla 10 - 40 kertainen verrattuna nimelliseen kuormitusvirtaan. Tällaiset viat on laukaistava nopeasti suojausautomaatiikan avulla, ettei verkko menetä stabiiliuttaan. [2, s. 28 - 30; 3, s. 170 - 177.]

Hurkalan diplomityössä on analysoitu virtojen ja jännitteiden käyttäytymistä oikosulussa. Vastuksettomassa kahden vaiheen välille tapahtuvassa oikosulussa yksi pääjännitteistä

tippuu nollian ja kaksi muuta pääjännitettä pienenee noin 87 %:iin. Kolmivaiheisessa oikosulussa kaikki kolme vaihevirtaa nousevat reilusti kuormitustilanteeseen nähden ja pääjännitteet tippuvat nollian tasolle (kuva 4). [6.]



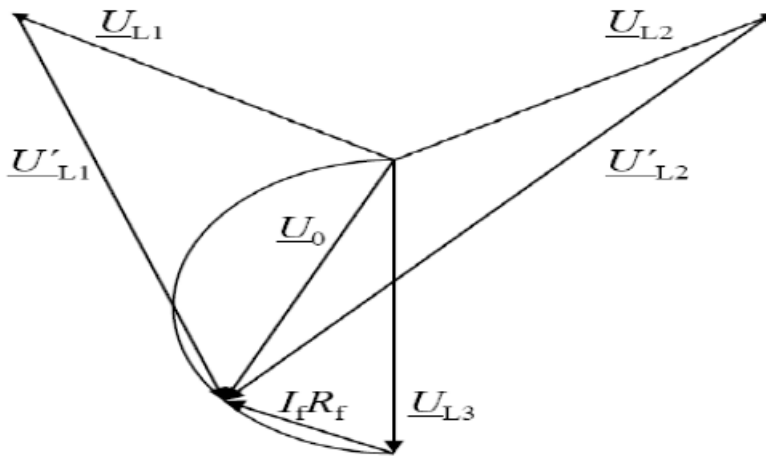
Kuva 4. Kolmivaiheinen oikosulku [6]

Oikosulkusuojauksen avulla ehkäistään johdoille ja laitteille aiheutuvat vauriot, sekä erotetaan vikaantunut osa terveestä verkosta. Oikosulkusuojaus toteutetaan releillä, jotka saavat virtatiedon kaapelivirtamuuntajasta tai Rogowski-kelasta ja havahtuvat, kun mitattu virta ylittää asetellun virtarajan.

4.2 Maasulku

Vikatilannetta, jossa vikavirta syntyy vaihejohtimen ja maapotentiaalin välille kutsutaan maasulkuksi. Maasulkuvika synnyttää maapotentiaaliin kosketusjännitteen, jonka suuruus on riippuvainen maasulkuvirran suuruudesta sekä suojamaadoituksen resistanssista. Maasulkutilanteessa maasta erotetuissa verkoissa ja sammutetuissa verkoissa

verkon tähtipiste siirtyy pois maapotentiaalista, ja maadoitusjännite U_0 kasvaa vaihejännitteen suuruiseksi, ja vaihejännitteet kasvavat pääjännitteiden suuruiseksi, kun vikaresistanssi R_f on 0Ω . Tietyillä vikaresistanssin arvoilla saattaa terveiden vaiheiden jännitteet kohota suuremmaksi kuin pääjännite. Kuva 5 esittää jännitteiden osoittimet maasulkutilanteessa, kun vikaresistanssi on erisuuri, kuin 0Ω . Maasulkutilanteista vaikein havaita on katkeileva maasulku ja suuriresistanssiset maasulkuviat. [2, s. 187 - 194; 4, s. 14 – 15, 340.]



Kuva 5. Jännitteen osoittimet maasulussa [2]

4.3 Kaksoismaasulku

Kaksoismaasulussa kaksi vaihejohtinta on maasulussa. Vikavirta on yleensä oikosulkuvirran tasolla. Tilanne voi syntyä esimerkiksi siten, että yksivaiheisen maasulun aikana kahden muun vaiheen jännitteet nousevat, ja jokin eriste ei enää kestä jännitteen nousua ja syntyy läpilyönti verkon eri kohdassa. Tällöin verkossa on kaksi maasulkua eri vaiheissa ja maadoituksia pitkin kulkee oikosulkuvirran suuruinen maasulkuvirta, joka voi aiheuttaa vaarallisen kosketusjännitteen ja rikkoa samaan maadoitukseen kytkettyjä kaapeleita, esimerkiksi telekaapeleiden maadoitukset. [2, s. 198; 4, s. 342.]

4.4 Jännitekuoppa

Oikosulussa vikaantuneiden vaiheiden jännite romahtaa vikapaikassa nolnaan, tämä näkyy muualle verkkoon suurena jännitteen laskuna eli jännitekuoppa. Suojareleiden

asetteluilla voidaan vaikuttaa, miten kauan tilan odotetaan palaavan normaaliksi, eli releistys kytkee oikosulussa olevan verkon osan irti muusta verkosta. Radikaalisti alentunut jännite nostaa johdoissa kulkevaa virtaa, joka aiheuttaa lämpenemää ja laitteiden ylikuormitusta, jotka johtavat usein lisääntyneihin vikoihin.

Jännitekuopan kesto riippuu verkon suojauksen toiminnan nopeudesta. Mitä nopeammin oikosulkuvikaantunut lähtö kytketään irti, sitä lyhyempi on taustaverkossa havaittava jännitekuoppa. On tärkeää suorittaa nopea suojauksen laukaisu etenkin lähellä sähköasemaa esimerkiksi viiveettömällä laukaisulla. Verkkoyhtiön mahdollisuudet vaikuttaa jännitekuopan keston suojausasetteluilla ovat kuitenkin rajalliset, johtuen suojauksen selektiivisyysvaatimuksista. Jännitekuoppien lukumäärää voidaan pienentää, jos sähköaseman syöttö jaetaan eri päämuuntajien kesken ja myös lähdöt sähköasemalla jaetaan eri päämuuntajille [2, s.31 - 33.]

4.5 Kytkeänsysäysvirta

Kytkeänsysäysvirta on virtapiikki, joka syntyy ja näkyy verkossa, kun esimerkiksi muuntaja kytketään verkkoon. Tämä saattaa aiheuttaa suoja-releistyksen turhan toimimisen. Verkon suoja-releet eivät siis saa laukaista tässä tilanteessa. Muuntajan kytkeytyessä jännitteiseksi se ottaa magneetoimisvirran, jonka suuruus riippuu jännitteen kytkemishetkestä ja muuntajan rautasydämessä olleesta jäännösvuosta eli remanenssista. Kytkeänsysäysvirta voi ylittää muuntajan mitoitusvirran moninkertaisesti. Suurin sysäysvirta syntyy, kun kytkentä tapahtuu jännitteen nollakohdassa. Tällöin muuntajan magneettivuo on huippuarvossaan. Virrassa esiintyy yliaaltoja, joita voidaan hyödyntää, kun halutaan estää muuntajan laukeaminen irti verkosta. Tähän käytetään yliaaltosalparelettä. Salpareleen havaitessa 100 Hz:n komponentti virrassa, se antaa lukituskäskyn muulle releistykselle, jolloin muuntajaa ei laukaista turhaan irti verkosta. [4, s.153 - 154.]

5 Keskijänniteverkon suojaus

Tässä luvussa käsitellään keskijänniteverkon suojausmenetelmiä sekä suojausjärjestelmää laajempänä kokonaisuutena että yksityiskohtaisemmin suojaukseen käytettävien laitteiden osalta. Verkon suojauksella pyritään pitämään vikatilanteen sattuessa mahdollisimman suuri osa verkosta ns. terveessä tilassa eli vian sattuessa mahdollisimman

suuri osa verkkoon liittyneistä käyttäjistä voisi jatkaa sähkön käyttöä. Käyttövarmuusvaatimukset ovat tiukentuneet ja standardin SFS 6001 mukaan ilmajohto on suunniteltava ja rakennettava vaurioitumatta kestävä oikosulku- ja maasulkuvirtojen aiheuttamat mekaaniset ja termiset vaikutukset. [7.]

Verkon käyttökunnossa pitämiseen voidaan vaikuttaa jo suunnitteluvaiheessa, sillä päätetäänkö verkko rakentaa rengasmuotoon vai säteittäiseksi. Rengasmuotoon rakennetulla verkolla saadaan vikatilanteessa vaihtoehtoinen syöttö toisesta suunnasta. Käyttämällä päällystettyä avojohtoa (PAS-johdin) säästytään katkoksilta tilanteissa, joissa vaihejohtimet koskettavat toisiaan myrskyn, lumikuorman tai johdolle kaatuneen puun seurauksena. Haittana PAS-johtojen käytössä on, ettei relesuojaus välttämättä havaitse maasulkuvikaa ja vikakohtan löytäminen saattaa olla vaikeaa.

Johtojen sijoituksella voidaan myös vaikuttaa vikaherkkyyteen. Nykyisin johdot pyritäänkin suunnittelemaan rakennettavaksi teiden viereen, jolloin jo toinen puoli johtokadusta on raivattu puista ja vian sattuessa sitä päästään helpommin korjaamaan. Maakaapeloinnin lisääminen poistaa ilmastosta johtuvia ongelmia ja sitä kautta myös jälleenkytkenöistä aiheutuvia keskeytyksiä. Maakaapelivian korjaaminen vie kuitenkin enemmän aikaa ja kaapeloinnin seurauksena maasulkuvirrat kasvavat suuremmiksi, jolloin joudutaan käyttämään verkon kompensointia eli maasulkuvirran sammutusta. Nykyään on yleistä, että muuntamovalmistaja voi integroida valmiiksi kompensointikelan jakelumuuntamoon tai sille on jätetty optio, jolloin esimerkiksi joka viides muuntamo voidaan varustaa kompensointikelalla. Näin saavutetaan riittävä kompensointiaste maasulkuvirtojen pienentämiseksi. [2, s. 142 - 147.]

Keskijänniteverkon suojaus keskittyy pitkälti sähköasemille, joissa jokainen johtolähtö on suojattu omalla releistyksellään. Tässä insinööriyössä keskitytään verkon suojaamiseen suojareleistyksellä ja katkaisijoilla, jotka muodostavat suojausjärjestelmän. Verkon optimaaliseen käyttöön vikatilanteessa vaikuttavat myös verkon jako vyöhykkeisiin ja suojausobjektien selektiivisyys.

5.1 Relesuojaus

Verkkoa suojataan kokonaisuudella, johon kuuluvat mittamuntajat, suojareleet ja katkaisijat. Hyvällä relesuojausjärjestelmällä minimoidaan sähkökäyttäjälle aiheutuneet haitat.

Suojareleen toiminta perustuu yksinkertaistettuna siihen, että rele pysyy normaalitilassa niin kauan kuin sen saama mitattu suure ei ylitä, tai tilanteesta riippuen alita aseteltua toiminta-arvoa. Kun releelle tuotu mitta-arvo ylittää asetellun arvon, rele havahtuu, ja kun se on havahtuneena tarpeeksi pitkän ajan, rele antaa laukaisukäskyn katkaisijalle ja lähettää hälytyksen esimerkiksi jakeluverkkoyhtiön käyttökeskukseen. Suojareleen toiminta-ajaksi kutsutaan aikaa, joka kuluu vian alkamisesta laukaisukäskyyn. Aikaväliä vian alkamisesta katkaisijan koskettimien avautumiseen kutsutaan vian erotusajaksi.

Käytössä on edelleen vanhoja sähkömekaanisia ja elektronisia releitä, mutta kohteita modernisoitaessa ja rakennettaessa uusia sähköasemia ja muuntamoita, käytetään nykyisin digitaalisia mikroprosessorireleitä. Nykyaikaisiin mikroprosessoripohjaisiin digitaalireleisiin voidaan integroida paljon erilaisia toimintoja suojaustoimintojen lisäksi, kuten häiriötallenteet ja tapahtumien indikoinnit ja niiden tallennus sekä siirtäminen muualle tietoliikenneyhteyden avulla. On kuitenkin muistettava, että suojareleen tärkein tehtävä on havaita vika ja lähettää laukaisukäsky katkaisijalle, eivätkä muut toiminnot saa häiritä suojausta.

Hyvän relesuojausjärjestelmän ominaisuuksia ovat muun muassa luotettavuus, nopeus ja selektiivisyys sekä suojausjärjestelmän toiminta myös poikkeuksellisissa käyttötilanteissa. Releen toimintanopeus on erittäin tärkeää, sillä riittävällä nopeudella pystytään minimoimaan vikatilanteessa syntyvien vikavirtojen aiheuttamat vahingot ihmisille ja laitteille. [4, s. 335 - 345.]

Releet voidaan jakaa niiden toiminnan perusteella eri ryhmiin. Sähköverkon suojaamisessa käytettävät yleisimmät suojareleet ovat ylivirta-, distanssi- ja differentiaalireleet sekä suunnatut maasulkureleet.

5.1.1 Ylivirtarele

Ylivirtarelettä käytetään oikosulku- tai ylikuormitussuojana. Rele havahtuu ja toimii, jos virta ylittää releelle asetellun virtaraja-arvon. Vakioaikaylivirtarele havahtuu, kun mitattava virta ylittää asetteluarvon ja lähettää laukaisukäskyn, kun se on ollut havahtuneena releeseen asetellun ajan verran. Käänteisaikaylivirtarele laukaisee suurivirtaiset viat nopeammin. Tämä on tarpeen, jotta saavutetaan oikeanlainen selektiivisyys. Nykyaikaiset digitaaliset ylivirtareleet sisältävät eri portaita, joihin voidaan totetuttaa viiveillä, toimintaajoilla ja virtarajojen asetteluilla nämä edellämainittujen releiden toiminnot. [4, s. 346.]

5.1.2 Distanssirele

Distanssirele havaitsee vian suunnan, siksi sitä käytetään silmukoidun verkon suojauksessa, koska tällöin vikavirta voi tulla mistä suunnasta tahansa, eikä ylivirtareleellä voida toteuttaa selektiivistä suojausta. Distanssirele päättelee vikavirran suunnan virran ja jännitteen välisen vaihesiirtokulman avulla. Rele mittaa jännite- ja virtamuuntajien avulla suojattavan johdon virran sekä alkupään jännitteen ja laskee näistä johdon impedanssin. Kun vika on ns. edessä, virta on 90 astetta jännitettä jäljessä. Jos vika on releen ns. takana eli saman sähköaseman eri lähdöllä, virta on 90 astetta jännitettä edellä. [4, s. 348.]

5.1.3 Differentiaalirele

Differentiaalirele eli erovirtarele tarkkailee suojattavaan kohteeseen tulevia ja lähteviä virtoja. Verkon ollessa normaalitilassa näiden virtojen summa on nolla. Differentiaalirele havahtuu, kun tulevien ja lähtevien virtojen erotus on suurempi kuin asetteluarvo releessä. Differentiaalireleitä käytetään muuntajien ja kiskojärjestelmien suojauksessa. Differentiaalirele vaatii kuormitusvirran kasvaessa myös suuremman virtaeron toimiakseen. Tätä kutsutaan stabiloinniksi. Stabiloinnilla pyritään välttämään kiskojärjestelmän suojauksessa tilannetta, jossa lähellä oleva vika aiheuttaa releen virhelaukaisun ja kaikki kiskoon liitetyt lähdöt kytketään irti verkosta. [4, s. 354 - 355.]

5.1.4 Suunnattu maasulkurele

Maasulun havaitsemiseksi on käytetty nollavirta- eli summavirtarelettä. Se mittaa vaihevirtojen summavirtaa ja toimii maasuluissa, jolloin epäsymmetrian aiheuttamana nollavirta kasvaa. Nollavirtarele ei kuitenkaan tunnista virran suuntaa, joten puhuttaessa suunnatuista maasulkureleistä, tarkoitetaan nollavirtarelettä, joka maasulkuvirran lisäksi havaitsee myös vian suunnan. Suunta saadaan selville mittaamalla nollavirran ja nollajännitteen välistä vaihekulmaa.

Suunnattu maasulkusuojaus ja sen havaitseminen perustuu vikatilanteen aiheuttamaan vaihevirtojen epäsymmetriaan ja kohonneeseen tähtipistejännitteeseen. Mitattava nollavirta kuvaa vaihevirtojen epäsymmetriaa, joka saadaan vaihevirtojen osoitinsummasta. Suunnatun maasulkureleen toimintaehtona on, että molemmat sekä nollavirta I_0 ja tähtipistejännite U_0 ylittävät asetteluarvot. Ehtona suuntauksessa on myös, että vikavirta kulkee summavirtamittauksen läpi vikapaikkaan. Suuntauksessa mitataan nollajännitteen U_0 ja vikavirran I_0 välistä kulmaa, joka maasta erotetussa verkossa vian aikana on lähellä 90 astetta ja kompensoidussa verkossa lähellä nollaa astetta. [2, s. 191 - 198; 4, s. 353 - 354.]

5.2 Katkaisijat keskijänniteverkon suojauksessa

Katkaisijat ovat sähköverkon suojauskomponentteja, joilla voidaan toteuttaa sulakkeeton suojaus. Niiden pitää pystyä katkaisemaan suurimmatkin virrat, joita verkossa esiintyy vikatilanteessa. Katkaisijoita käytetään keskijänniteverkoissa ja ylemmillä jännitetasoilla verkon suojauksessa. Katkaisijoita käytetään johtolähtöjen suojana. Niillä voidaan vikatilanteen sattuessa avata ja sulkea virtapiiri nimellisvirtaa moninkertaisemmilla virroilla. Keskijänniteverkoissa ja suuremmilla jännitetasoilla käytetään SF₆-katkaisijoita (eristeaineena rikkiheksafluoridi) ja tyhjiökatkaisijoita. [4, s. 161; 8, s. 219 - 220.]

5.3 Jälleenkytkentäautomaatiikka

Jälleenkytkentätoiminnot voivat olla omassa releessään tai kyseiset toiminnot on voitu integroida johonkin muuhun laukaisevaan suojarleeseen. Jälleenkytkentä on toiminto, joka katkaisijan avauduttua ohjaa katkaisijan automaattisesti kiinni releeseen asetellun jännitteettömän väliajan kuluttua. Jännitteetön aika on aika katkaisijan avautumisen ja

jälleenkytkennän välissä. Yleisesti käytössä on kaksi jälleenkytkentää: pikajälleenkytkentä eli PJK (*high speed automatic reclosing*), tehdään heti katkaisijan avauduttua lyhyen jännitteettömän väliajan jälkeen sekä aikajälleenkytkentä eli AJK (*delayed automatic reclosing*), joka tehdään pidemmän, yleensä noin minuutin kestävän, jännitteettömän väliajan jälkeen. Releistä ja niiden valmistajasta riippuen ajat ja jälleenkytkentöjen määrä on aseteltavissa käyttäjän tarpeen mukaisiksi. [4, s. 356.]

Suurin osa avojohdoilla esiintyvistä jälleenkytkennän aiheuttavista vioista ovat salaman aiheuttamia valokaarivikoja. Valokaaren syntyessä rele havahtuu ja laukaisee katkaisijan auki, jolloin valokaari saadaan sammumaan. Jälleenkytkentäautomaatti kytkee katkaisijan uudelleen kiinni ja nopeuttaa näin käyttötilanteen palautumista. Muita vikoja, jotka aiheuttavat jälleenkytkentöjä ovat tuulen seurauksena johtoihin osuvat puiden oksat, sekä talvisin puiden oksilta putoavat lumikuormat, minkä seurauksena oksat oikenevat ja saattavat osua metsässä kulkevaan avojohtolinjaan. Energiategollisuus ry:n teettämän keskeytystilaston 2013 mukaan selviää, että keskijänniteverkon keskeytyksistä PJK:lla ja AJK:lla on pystytty selvittämään yhteensä 75 % vioista (kuva 6). [9; 10.]

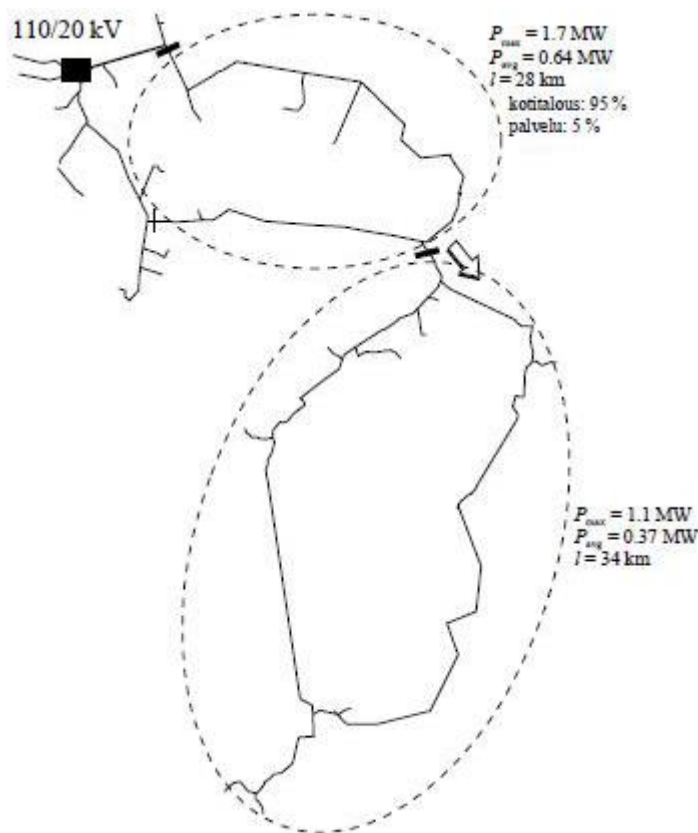


Kuva 6. PJK:n ja AJK:n selvittämät viat [10]

5.4 Vyöhykejajattelu keskijänniteverkon suojauksessa

Puhuttaessa vyöhykejajattelusta sähköverkon suojauksen yhteydessä, tarkoitetaan verkon jakamista pienempiin suojausalueisiin eli vyöhykkeisiin, joissa johtolähtö varustetaan katkaisijalla niin, että vian sattuessa ilman sähköä jäävien käyttäjien määrä

minimoituu. Kuva 7 esittää, miten maaseudun avojohtoverkko jaetaan kahteen suojausvyöhykkeeseen pylväskatkaisijan avulla. Vyöhykkeisiin jaolla pystytään rajoittamaan jakelukeskeytysten laajuutta jakamalla vika-altis verkon osa erilliseksi suojausvyöhykkeeksi muusta verkosta. Yksi tapa lisätä verkkoon suojausvyöhykkeitä on jakaa haarajohdot omiksi vyöhykkeiksi. Selektiivisyyden toteuttaminen useille peräkkäisille vyöhykkeille on teknisesti vaikeaa perinteisillä suojausmenetelmillä. Toteuttamiseen vaaditaan distanssisuojia tai kehittyneempiä nopeita releitä ja nopeita katkaisijoita. Rinnakkaiset verkon osat taas voidaan helposti jakaa vyöhykkeiksi ja toteuttaa niille oikenlainen selektiivisyys. Rinnakkaista vyöhykejakoa toteutetaan esimerkiksi jakamalla haarajohdot omiksi suojausvyöhykkeiksi. [11.]



Kuva 7. Vyöhykejako pylväskatkaisijan avulla [2]

5.5 Suojauksen selektiivisyys

Releen toimintanopeus on yksi tekijä, jolla voidaan vaikuttaa suojausten selektiivisyyteen. Selektiivisyys toteutetaan usein siten, että releiden toimintanopeutta muuttamalla

lähellä olevat viat laukaistaan nopeammin kuin kaukana olevat viat. Suojausten selektiivinen toiminta on edellytys toimivalle verkon vyöhykejaolle. Tällä pyritään pitämään mahdollisimman suuri osa verkosta terveessä tilassa. Vian sattuessa ja selektiivisyyden toimiessa ainoastaan sen vyöhykkeen lähimpänä vikaa oleva katkaisija laukeaa, missä vika havaitaan. Jos selektiivisyys ei toimisi, laukeaisi myös toisen suojausvyöhykkeen katkaisija irrottaen käyttäjiä turhaan verkosta. Selektiivisyyttä toteutetaan katkaisijoiden lukituksien, aikahidastuksien ja virtarajojen avulla.

Selektiivisyyden toteutustavat jaetaan seuraavasti: *Virtaselektiivisyys* eli selektiivisyys toteutuu, kun oikosulkuvirta kuorman puolella on pienempi kuin syötön puoleisen katkaisijan havahtumisarvo ylivirrasta; *vyöhykeselektiivisyys*, jossa selektiivisyys perustuu syötönpuoleisen katkaisijan suojausalueen lukitukseen siksi aikaa, kunnes kuorman puoleinen katkaisija toimii; *aikaselektiivisyys*, jossa selektiivisyys saavutetaan hidastamalla syötönpuoleisen katkaisijan laukaisuaikaa kuorman puoleiseen katkaisijaan nähden. Tällöin vikaantuneen lähdön katkaisija laukaisee vian eikä esimerkiksi kiskokatkaisija, jolloin myös muut lähdöt laukaistaisiin irti verkosta. Verkkokatkaisijoilla lukituksia ei käytetä, vaan selektiivinen suojaus perustuu virta- ja aika-asetteluihin. [12.]

6 Jakeluverkkoautomaatio

Jakeluverkon haltijalla on verkon kehittämisvelvollisuus, josta on säädetty sähkömarkkinain 19. pykälässä, jonka mukaan verkonhaltijan tulee riittävän hyvälaatuisen sähkön saannin turvaamiseksi verkkonsa käyttäjille ylläpitää, käyttää ja kehittää sähköverkkoon sekä yhteyksiä toisiin verkkoihin sähköverkkojen toiminnalle säädettyjen vaatimusten ja verkon käyttäjien kohtuullisten tarpeiden mukaisesti. [13.]

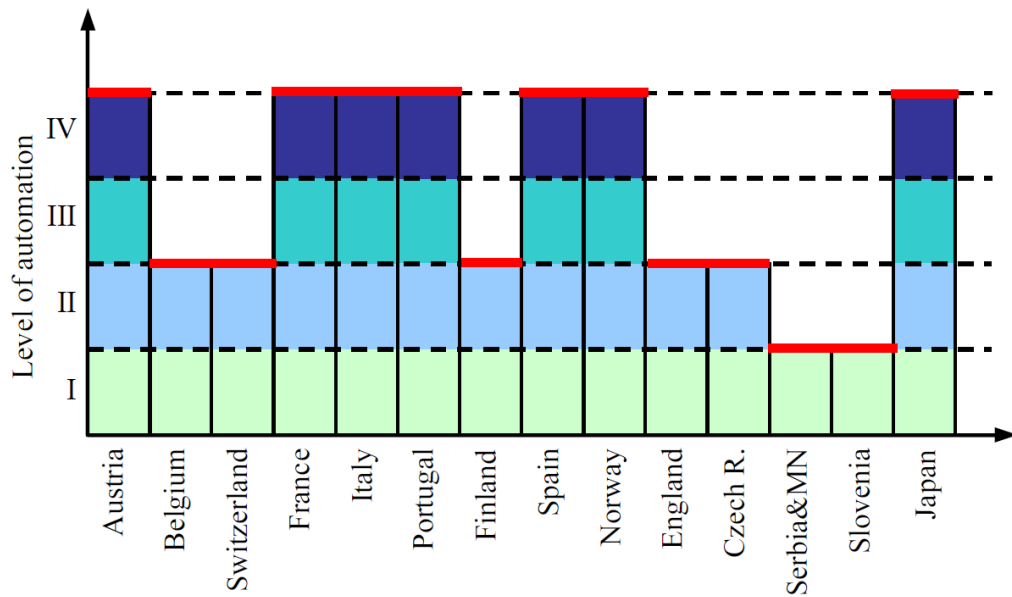
Keskijänniteverkon käyttövarmuusvaatimukset tiukentuvat huomattavasti, kun periaatena on, että sähkönjakelua on pystyttävä jatkamaan vioista huolimatta verkon terveissä osissa. Tämä lisää haasteita myös suunnittelutyölle. Vikakohdan erottamisen tai vikaantuneen laitteen irtikytkemisen nopeuttamiseksi on nähty tarvetta ja myös ryhdytty toteuttamaan kytkinlaitteiden, kuten erottimien ja katkaisijoiden kauko-ohjausta ja automaatiointia osaksi jakeluverkkoa. Käyttövarmuuden nostamista ja siihen pyrkimistä ohjataan ja valvotaan taloudellisen regulaation avulla. Siinä verkon haltijaa ohjataan panostamaan verkon käyttövarmuuden kehittämiseen ja parantamiseen taloudellisen sanktion uhalla. Suomessa tätä valvoo energiavirasto. [2, s. 78; 3.]

Jakeluverkkoautomaatiosta puhuttaessa tarkoitetaan sähköverkon käyttötoiminnan apuvälineitä, jotka on yhdistetty kokonaisuudeksi eli automaatiojärjestelmäksi. Jakeluverkkoautomaatio voidaan jakaa esimerkiksi valvomo-, sähköasema-, verkosto- ja asiakasautomaatioon. Keskijänniteverkon automaatiojärjestelmään kuuluu mittaukset, suoja releet, RTU:t ja tietoliikennejärjestelmät. Jakeluverkkoautomaatio tuo tulevaisuudessa mukanaan lisäsovelluksia ja käyttökohteita, jotka lisäävät tarvetta verkon automaattisille hallinta- ja ohjausjärjestelmille, sillä nykyisellään suojauslaitteistot eivät toimi yhdessä tulevaisuuden tuomien muutosten kanssa.

6.1 Jakeluverkkoautomaation nykytilanne

VTT:n koordinoimassa Verkkovisio 2030 -tiekarttahankkeessa on käyty läpi jakeluverkon nykytilaa haastattelujen ja kirjallisuustutkimusten avulla. Tiekarttahankkeesta selviää, että vikaherkkyttä lisäävinä ongelmina nykyverkossa haja-asutusalueilla ovat muun muassa metsiin sijoitetut keskijännitejohdot, jotka ovat sijoituspaikan takia vika-alttiita. Lisäksi keskijännitejohtojen pylväät alkavat ikääntyä. Taajamissa tietyin aluein ongelmia teettää kuormitusten kasvu. Taajamaverkon haasteita ovat myös lisääntynyt jäähdytyskuorman kasvu, josta on seurannut tarve parantaa jakelumuuntamoiden jäähdytystä.

Tiekarttahankkeessa esitettyjen kansainvälisten luotettavuusvertailujen mukaan Suomen jakeluverkkojen luotettavuus on eurooppalaisittain keskitasoa ja sen heikkoja kohtia ovat alttius ilmastosta johtuville häiriöille sekä verrattain suuret suojausalueet. Kuvassa 8 (ks. seur. s.) esitetään automaation taso eräissä maissa. Tasoon 1 kuuluvat vian havainnointi ja indikointi paikallisesti ja valvomoon. Tasoon 2 kuuluvat kytkinlaitteiden kaukokäyttö ja indikoinnit sekä mittaukset valvomoon. Tasoon 3 kuuluvat paikallisautomaation sovellukset, kuten jälleenkytkentäautomaatio. Taso 4 on kaukokäytön ja paikallisautomaatiosovellusten kombinaatio sisältäen mittaukset ja vikaindikoinnit. [11.]



Kuva 8. Jakeluverkkoautomaation taso eri maissa [11]

6.2 Tulevaisuuden vaikutukset jakeluverkkoautomaatioon

Suurin osa Suomessa kulutettavasta sähköenergiasta tuotetaan keskitetysti suurissa vesivoimalaitoksissa ja voimalaitoksissa, joissa polttoaineena käytetään hiiltä, maakaasua, turvetta, dieselöljyä tai uraania kuten ydinvoimalaitoksissa. Näiden rinnalle on nousemassa uusiutuvia vaihtoehtoja, joilla energiaa tuotetaan hajautetusti ja myös pienemässä mittakaavassa. Tähän on johtanut EU:n asettamat tavoitteet uusiutuvan energian lisäämisestä, ilmastotavoitteet hiilidioksidipäästöjen pienentämiseksi ja puhtaasti kuluttajien kiinnostus sähkönkulutuksesta sekä kiinnostus oman sähkölaskunsa pienentämisestä. [14.]

6.2.1 Smart Grid eli älykäs sähköverkko

Yksinkertaisemmillaan älykäs sähköverkko tarkoittaa automaatiota, jonka avulla pystytään parantamaan sähköverkon luotettavuutta ja kannattavuutta. CLEEN Oy:n johtamassa tutkimusohjelmassa SGEM (Smart Grid and Energy Markets) eli Älykäs sähköverkko ja energiamarkkinat – on kehitetty tulevaisuuden energijärjestelmää. Tutkimuksesta käy ilmi, että esimerkiksi hajautetun tuotannon lisääminen vaatii verkolta lisää älyä.

Hajautetun tuotannon lisääntyessä paranevat edellytykset sähköverkkojen saarekekäytölle, joka tarkoittaa tietyn alueen mikroverkon erottamista muusta verkosta esimerkiksi verkkovian seurauksena jos alueen omalla tuotannolla voidaan kattaa kulutus. Ohjelmassa on tutkittu mikroverkon ja sen sisäisen sähköntuotannon ohjausta ja saarekekäytön automaattista tunnistamista ja verkon suojausta. Saarekekäyttöön siirtyminen ja siitä takaisin saattaa tapahtua useita kertoja päivässä riippuen saarekkeen oman sähköntuotannon määrästä. Tämä asettaa vaatimuksen sille, että saarekekäyttöön siirtymisen tunnistuksen jälkeen verkon suojaus on muutettava tilannetta vastaavaksi nopeasti ja automaattisesti. Kehittynyt etähallinta on myös ehto hajautetun sähköntuotannon luotettavaan hallintaan. Esimerkiksi tuulivoimala on irrotettava vioittuneesta verkosta nopeasti vaaratilanteen välttämiseksi.

Nykyinen sähköverkko liittää toisiinsa sähkön käyttäjien, tuottajien ja siirtäjien laitteet. Tulevaisuudessa sähköverkkoon liittyneiden sähkön käyttäjien, siirtäjien ja tuottajien välillä kulkee yhä enemmän tietoa nopeiden tietoliikenneyhteyksien avulla, mikä mahdollistaa kulutuksen ja tuotannon jouston sekä sähkön varastoinnin sähkön tuntihinnan mukaan. Tätä voidaan kutsua älykkääksi sähköverkoksi. [15.]

6.2.2 Hajautettu pientuotanto

Hajautettu pientuotanto eli mikrotuotanto käsittää sellaisen sähköntuotannon, joka on ensisijaisesti tarkoitettu tuotantolaitoksen yhteydessä olevan kulutuskohteen omaan käyttöön pienjänniteverkossa, esimerkiksi siis yksityiset kuluttajat, kuten kotitaloudet tai pienet yritykset. Näissä kohteissa tuotantolaitoksen tuottaman sähkön syöttäminen verkkoon ei ole ensisijainen motiivi. [14.]

Hajautetusta tuotannosta merkittävimpiä tällä hetkellä ovat aurinko- ja tuulienergia. Myös biopolttolaitokset ovat yleistymässä. Kyseisillä tuotantomuodoilla tuotettua sähköenergiaa voidaan syöttää myös verkkoon jos tuotantolaitos täyttää tekniset ehdot, joita verkkoon liittymisessä vaaditaan. Tämän takia tarvitaan kehittyneempiä suojausratkaisuja sekä suojaamisen ja ohjaamisen avuksi kehittyneempiä verkostoautomaattioratkaisuja. [3, s. 39 - 40.]

Liitettäessä hajautettua tuotantoa osaksi jakeluverkkoa, verkossa kulkeva tehon suunta ei ole enää yksiselitteisesti isosta keskitetystä tuotantolaitokselta kohti sähkön kuluttajaa, vaan tehoa saattaa kulkea myös kuluttajan hajautetusta tuotantolaitoksesta verkkoon

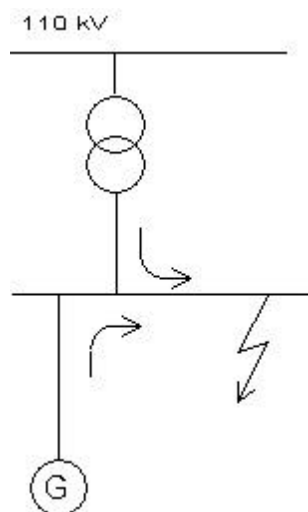
päin. Tätä kutsutaan takasyötöksi, eli hajautettu mikrotuotantolaitos saattaa syöttää sähköä verkkoon, vaikka verkko muutoin olisi jännitteetön. Suojauksen tulee kyetä havaitsemaan tehon suunta tai sen muutos, jotta suojaus toimisi oikein. Muuntamoissa lähdöt, joihin on liitetty mikrotuotantoa pitää merkitä asianmukaisesti, jotta muuntamoissa työskentelevä henkilö tiedostaa takasyöttöriskin.

Mikrotuotantolaitos ja sen laitteisto tulee varustaa suojalaitteilla, jotka kytkevät laitoksen irti yleisestä verkosta mikäli jännite tai taajuus eivät pysy standardin EN 50438 esittämissä rajoissa. Suojalaitteiden tulee irrottaa tuotantolaitos kaikissa laitevioissa muusta verkosta, eikä laitos saa syöttää sähköä verkkoon, jos sähkön laatu ei täytä sille asetettuja vaatimuksia. Mikrotuotantolaitoksen generaattorin synkronointi verkon kanssa pitää olla täysin automatisoitua. Hyvin suunnitellulla hajautetulla sähkön tuotannolla saadaan helpotusta verkon jännitteen alenemiin. [14.]

6.2.3 Hajautettu keskisuuri tuotanto

Hajautetulla keskisuurella tuotannolla tarkoitetaan tuotantoa, joka liittyy suoraan jakeluverkon 20 kV:n tasoon. Näistä tuotantolaitoksista yleisimpiä ovat uusiutuvaa energialähdettä hyödyntävät tuulivoimalat, pienet vesivoimalat, aurinkovoimalat ja vähäpäästöiset CHP-laitokset (Combined Heat and Power). Keskijänniteverkkoon liitettävät tuotantolaitokset ovat suuruudeltaan 200 kW:n ja 10 MW:n välissä. EU-tason poliittiset päätökset edellyttävät uusiutuvan energian käytön lisäämistä, jonka takia aihe on ajankohtainen. Tuulivoimaa voidaan pitää hajautettuna sähköntuotantona, jos se liitetään jakeluverkkoon, ja se on verrattain pientä. Tuulivoimalla tuotetun energian määrä onkin kasvanut runsaasti johtuen osin sen syöttötariffista ja sille maksettavista tuista. Useiden tuulivoimaloiden muodostamia isoja, satojen megawattien tuulipuistoja ei pidetä hajautettuna tuotantona ja ne liitetäänkin siirtoverkkoon. [3, s. 39 - 42.]

Käytettäessä hajautettua tuotantoa rinnan jakelunverkon kanssa se kasvattaa vikavirtoja ja muuttaa vikavirtojen kulkusuuntaa, jolloin vikavirtaa saatetaan syöttää vikapaikkaan useasta suunnasta, kuten kuvasta 9 nähdään. Tämän takia on otettava huomioon johtojen ja laitteiden oikosulkukestoisuus, suojauksen toiminta ja katkaisijoiden katkaisukyky. Voimala voidaan kytkeä verkkoon suoraan generaattorilla tai välimuuntajalla. Kytkemismenetelmästä sovitaan verkonhaltijan kanssa.



Kuva 9. Vikavirran syöttö hajautetulla tuotannolla [16]

Hajautetun tuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon asettaa suojaukselle monia vaatimuksia. Perusvaatimuksia ovat toiminnan selektiivisyys ja toimintavarmuus. Näiden avulla varmistetaan voimalan käyttö jakeluverkossa ilman verkolle, kuluttajille ja siellä työskenteleville henkilöille aiheutuvaa häiriötä ja vaaratilannetta. Voimala on voitava viikatilanteessa erottaa verkosta työturvallisuuden varmistamiseksi ja jos sen syöttämä jännite tai taajuus poikkeaa normaalista. Voimala ei saa aiheuttaa jälleenkytkennän epäonnistumista eikä sitä saa kytkeä verkkoon jos kaikki vaiheet eivät ole jännitteisiä.

Voimalan suojauksen on oltava selektiivinen verkon muun suojauksen kanssa eikä voimalan tule tarpeettomasti irtautua verkosta. Esimerkiksi maasulusta käynnistyneen jälleenkytkennän jännitteettömänä aikana pitää myös voimala erottaa verkosta, jottei se syötä vikapaikkaa ja maasulun aiheuttama valokaari saadaan sammumaan, ja jälleenkytkentä onnistumaan. Jos voimala on sijoitettu lähelle sähköaseman kiskostoa, yliviirtasuojauksen pitää havaita vikavirran suunta, ettei terveitä johtolähtöjä eroteta verkosta. Voimalan sijaitessa kauempana sähköasemasta ja vian ollessa voimalan lähellä samalla

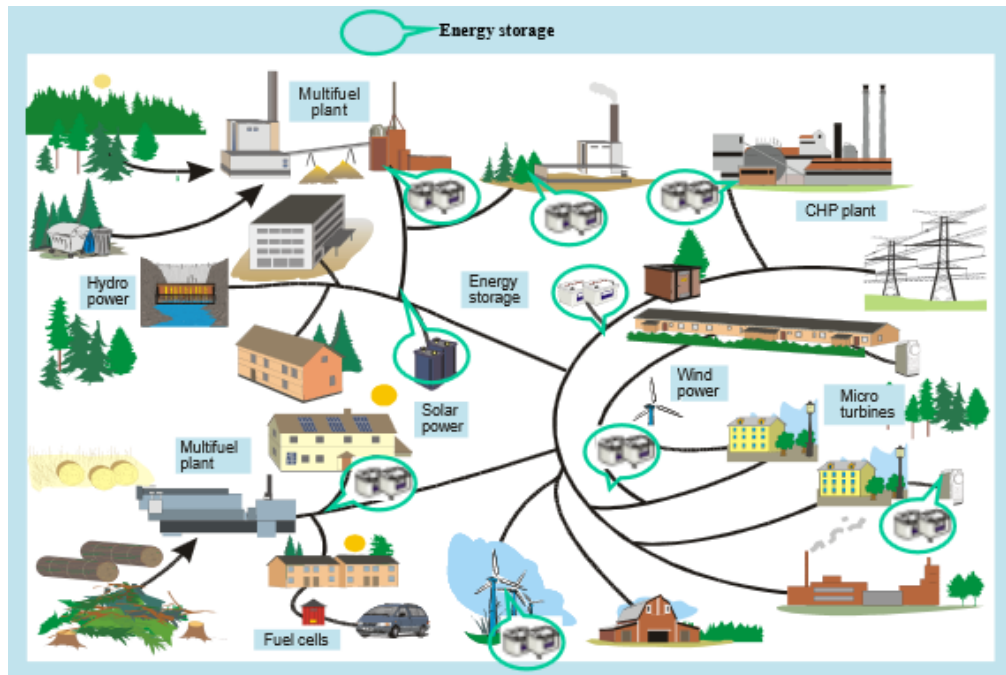
johtolähdöllä, saattaa oikosulkuimpedanssi muodostua paljon suuremmaksi vian ja sähköaseman välillä, kuin vian ja voimalan välisen verkon oikosulkuimpedanssi. Tällöin johtolähdön suojaus voi hidastua. Edellytyksenä johtolähdön suojaukselle voimalan oman suojauksen on ensin erotettava laitteisto verkosta. Tähän tarvitaan uusia modernimpia suojauslaitteita, jotta päästään riittävän nopeaan toiminta-aikaan. Liittämällä voimala omalla johtolähdöllä sähköasemaan, edellä mainittua ongelmaa ei tule.

Vian tapahtuessa viereisellä lähdöllä, johon voimala on liitetty, ei voimalan tai sen johtolähdön suojaus saa toimia. Keskijänniteverkkoon kytketyillä voimaloilla käytetään suojaukseen katkaisijoilla varustettuja vakioaikaylivirtareleitä, jännite- ja taajuusreleitä ja nolajännitteen havaitsevia maasulkureleitä. Täydentävänä suojauksena käytetään syötönestoreleistystä. [16.]

6.2.4 Sähkön varastointi

Keskeytymättömän sähköjakelun alkaessa olla ehdoton vaatimus tänä päivänä, sen täyttämiseksi on jouduttu kehittämään sähköenergian varastointiteknologiaa. Menetelmät sähkön varastoinnissa ovat osin vanhaa tekniikkaa, mutta materiaalitekniikan kehitys ja lisääntynyt tietämys mikro- ja nanotekniikasta ovat vieneet sähkön varastointitekniikkaa eteenpäin. Useat uudet sähköenergian varastointitekniikat vaativat tehokkaan ja monipuolisen hallintajärjestelmän, joka integroidaan myös muihin järjestelmiin, kuten suojauksen ja ohjauksen hallintajärjestelmiin ja laitteisiin. Tähän integroituun tekniikkaan tarvitaan siis myös kehitystä ja siihen liittyvää panostusta. Kykyä varastoida sähköä tarvitaan liitettäessä hajautettua tuotantoa osaksi jakeluverkkoa, jolloin saadaan käyttöön puskuri sellaisten tilanteiden varalle, joissa tuotanto keskeytyy. Tämä koskee esimerkiksi aurinko- ja tuulivoimaa. [17.]

Lähitulevaisuudessa on yleistymässä energiavarastoja, joilla tasataan eri kulutusyksiköiden ja -ryhmien (omakotitalot, kerros- ja toimistotalot) ja jopa kuntien kulutushuippuja sekä hajautetun energiatuotannon vaihteluita. Sovelluskohteita sähköenergian varastoinnille ovat sähköjakeluverkon stabiilisuuden ja hajautetun tuotannon hallinta, sähkönsyötön varmistaminen, huipputehon ja kuormien hallinta ja ajoneuvoihin käytettävät energiavarastot. Kuva 10 esittää mahdollisten sähkövarastojen sijoituspaikkoja osaksi hajautettua ja keskitettyä tuotantoa (ks. seur. s.).



Kuva 10. Energiavarastojen sijoituskohteita sähköverkossa [17]

Sähköverkon tuotannon ja kulutuksen tasapainoilasta Suomessa vastaa kantaverkko-yhtiö Fingrid. Tasapainoilan säilyminen varmistetaan muun muassa varavoimalaitoksilla. Tulevaisuudessa tasapainoilua ylläpidetään varavoimaloiden ohessa sähkönkulutusta ohjaamalla. Energiavarastoja ja hajautettua mikrotuotantoa käytetään pienkulutuksen ohjaamiseen, jolla voidaan toteuttaa kysyntäjoustoa. Kysyntäjousto lyhyesti tarkoittaa sähkönjakeluverkosta otettavan sähkönkäytön siirtämistä korkean kulutuksen ja korkean hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan. Kuluttajan oma energiavarasto tai pientuotanto rinnastetaan kysyntäjousto, mikäli se reagoi vallitsevaan sähkön markkinatilanteeseen ja sillä pienennetään otetun sähkön määrää jakeluverkosta. Vuorokausitasolla sähköenergia varastoitaisiin yöllä matalan kuormituksen ja edullisemmän hinnan aikana ja purettaisi käyttöön huippukuormituksen aikana päivällä. [3, s. 50; 18; 19.]

Sähköenergian varastointiin voidaan käyttää sähkökemiallista tekniikkaa eli erilaisia akuteknologioita tai mekaanisia sovelluksia. Mekaanisia sähköenergian varastoinnin sovelluksia ovat muun muassa pumpattu vesivarasto ja paineilmaparastot. [20.]

6.3 Sähköasema-automaatio

Sähköasema on sähkön siirto- tai jakeluverkon kohta, jossa voidaan muuntaa jännite eri tasolle, suorittaa kytkentöjä ja tehon jakoa eri johdoille. Asemat sijaitsevat verkon solmukohtissa. Sähköasemat voivat toimia kytkinlaitoksena tai muuntoasemana tai näiden kombinaationa. Muuntoasema sijoitetaan sinne, missä on myös kulutuksen painopiste. Sähköasemalla sijaitsee vielä nykyisin suuri osa verkon suojarleistyksistä ja automaatiosta. Jakelumuuntamoiksi kutsutaan verkon solmukohtia, joissa jännite muunnetaan keskijännitteestä (20 kV) pienjännitteeksi (0,4 kV). Sähköasemat ovat Suomessa miehittämättömiä. Niitä ohjataan ja valvotaan muun jakeluverkon ohella keskitetysti ja aseman paikallisautomaatio hoitaa verkon suojaus. Hyödyntämällä kauko-ohjausta, -mittausta, -asettelua, -säätöä ja -indikointia kyetään parantamaan jakeluverkon ja sen käytön laatutasoa, kuten toimitusvarmuutta ja lyhyempiä häiriökeskeytyksiä. Tätä kutsutaan kaukokäytöksi.

Verkon käyttö, ohjaus, valvonta, suojaus ja hallinta kaukokäytön avulla vaatii paljon erilaisten tietojen keräämistä ja prosessointia, jotta se toimisi luotettavasti. Järjestelmää, joka kerää kaiken tämän tiedon, kuten johtojen virrat, jännitteet, tehot ja tilatiedot kytkinlaitteiden asennosta kutsutaan SCADA-järjestelmäksi. SCADA-järjestelmä välittää tietoja eteenpäin muille järjestelmille kuten DMS-järjestelmälle, joka tekee laskentaan perustuvaa analysointia verkon käytön tarpeisiin.

Sähköaseman automaatiojärjestelmä mahdollistaa pääsyn voimajärjestelmään paikallisesti ja kaukokäytön avulla sekä manuaaliset ja automaattiset toiminnot. Automaatiojärjestelmä huolehtii myös tiedonsiirrosta, liittynöistä ja tiedon uudelleen koodaamisesta eri laitteille, jotta kommunikointi SCADA:n ja paikallisten kytkinlaitteiden välillä olisi mahdollista. Sähköasemalla mitatut ja kerätyt tiedot siirretään automaatiojärjestelmän kaukokäytön ala-asemalle, eli RTU:lle, joka koodaa tiedon tarvittavaan muotoon ja toimittaa sen eteenpäin SCADA:lle.

Nykyaikaisella automaatiojärjestelmällä on hajautetumpi rakenne sen huolehtiessa lähes kaikista aseman hallintaan liittyvästä automaattisesta toiminnasta. Tämä onnistuu mikroprosessoripohjaisten laitteiden avulla, jotka muodostavat asemalla oman kokonaisuutensa. Mikroprosessoritekniikkaan perustuvien laitteiden avulla kerätty tieto voidaan käsitellä digitaalisesti jo sähköaseman tai muuntamon päässä. Osa tiedoista saadaan valmiiksi binäärisenä välireleiden koskettimilta, muut tiedot muutetaan digitaaliseksi. Tiedon

digitalisoinnin ja kehittyvän prosessointi- ja muistikapasiteetin avulla mahdollistetaan aiempaa monimutkaisempien toimintojen suoritus. Lisäksi data saadaan aiempaa tarkempaan, reaaliaikaisesti ja digitaalisen tiedon lähettäminen on yksinkertaisempaa. [4, s. 385 - 391.]

6.4 Verkostoautomaatio

Verkostoautomaatio on keskijänniteverkkoon sijoitettua automaatiota ja voidaan puhua myös muuntamoautomaatiosta. Aiemmin verkostoautomaatioon on katsottu sisältyvän erottimien kauko-ohjaukset ja tilatiedot, virta- ja jännitemittaukset ja vikojen indikointi sekä näiden kaikkien tietojen tiedonsiirto. Verkostoautomaatioon on katsottu sisältyvän myös paikallisesti tapahtuvia viallisen haarajohtojen erotustoimintoja jälleenkytkentäsevenssin aikana.

Nykyisin verkkoa uudistettaessa on huomattu olevan kysyntää ja vaatimusta myös suojaustoinnallisuudelle keskijänniteverkon kytkinasemilla ja muuntamoilla, joiden toiminta muistuttaakin sähköasemien suojaus- ja automaatiojärjestelmiä. Automaatiojärjestelmiin sisältyneet suojaustoiminnot ovat tähän asti sijainneet useasti vain sähköasemilla, jota voidaan pitää keskitettynä suojauksena. Suojaustoimintoja integroitaessa myös osaksi verkostoautomaatiota, voidaan sitä kutsua hajautetuksi suojaukseksi. Hajautetulla suojauksella voidaan toteuttaa verkon osien jako omiksi suojausvyöhykkeiksi, mikä taas lisää verkon käyttövarmuutta ja luotettavuutta. [2, s. 235.]

6.5 IEC 61850 -standardi

IEC 61850 on kansainvälinen standardi asema-automaation tietoliikenteelle. Nykyaikaisia digitaalisia mikroprosessorireleitä varten kehitetyn standardin avulla voidaan integroida suojaukset, ohjaukset, mittaukset ja valvonta nopealla tietoliikenneyhteydellä sähköaseman sisällä.

IEC 61850 -verkossa suojausreleet kommunikoivat keskenään ja RTU:n tai *gateway*-laitteen kanssa. Releiden välinen kommunikointi – esimerkiksi lukitustietojen vaihto – tapahtuu nopeilla GOOSE-viesteillä. RTU tai *gateway* kommunikoi käyttökeskuksen

SCADA-järjestelmän kanssa jollakin kaukokäyttöprotokollalla. Tyypillisesti kommunikointi tapahtuu standardien IEC 60870-5-101 tai IEC 60870-5-104 mukaisella protokollalla. [4, s. 388 - 391; 21.]

7 Netcon 100 -tuotteen esittely

Netcon 100 on keskijänniteverkon valvonta- ja ohjausjärjestelmä muuntamoihin, erotinasemille ja kytkinasemille. Se sisältää mittaustoiminnot keski- ja pienjänniteverkolle, sekä ohjausvalmiudet kytkinlaitteille. Netcon 100 -muuntamoautomaatiojärjestelmän avulla voidaan seurata etäyhteyden välityksellä reaaliaikaisesti sähkönlaatua, vikailmaisuja ja hälytyksiä, jotka myös tallentuvat laitteeseen asetettavalle muistikortille. Netcon 100 -järjestelmällä saavutetaan katkostilanteiden lyhyempi kesto aika, sekä tarkan mitausdatan avulla parempi komponenttien elinkaaren hallinta ja näin ollen kyetään myös optimoimaan jakeluverkkoon tehtäviä investointeja. Kuvassa 11 nähdään modulaarinen Netcon 100 -ala-asema. Ala-asemaa on saatavissa eri korttikokoonpanoilla.



Kuva 11. Netcon 100-144 -ala-asema

Netcon 100 -järjestelmän avulla erottimia ja katkaisijoita voidaan ohjata paikallisesti muuntamosta tai erotinasemalta Netcon 100:n HMI-paneelista (kuva 12), sekä kauko-ikäytöllä käyttökeskuksesta. Netcon 100:n mittaus- ohjaus- ja tilatiedot liitetään kauko-ikäyttöyhteyden avulla jakeluverkkoyhtiön DMS- ja SCADA-järjestelmiin. Yhteyden toteuttamiseksi on useita eri tietoliikennemedioita kuten: IP-liikenne (GPRS ja 3G VPN-tunnelin läpi ja 10/100 Ethernet) ja sarjaliikenne (Netcontrolin PDR-radiomodeemit). Protokollavaihtoehtoina on IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, DNP3, RP570, Procol, Netman ja Netcon NFE -link.



Kuva 12. Netcon 100 HMI -paneeli

7.1 Netcon 100 -suojaustoiminnallisuudet

Tätä insinööriyötä tehdessä julkaistiin Netcon 100 -järjestelmään automaattisia keskijänniteverkon suojaustoimintoja tammikuussa 2015. Järjestelmän suojaustoiminnallisuudet saadaan käyttöön tilaamalla ja lataamalla laitekohtainen lisenssiedosto Netcontrolilta laitteen konfiguraatioon. Lisenssin tilauksen yhteydessä määritellään kuinka monelle suojausobjektille lisenssi tarvitaan. Erillisiä lisäyksiä ei siis laitepuolelle tarvita jos aiemmin hankitusta järjestelmästä löytyy kokoonpano, johon sisältyy mittauskortti keskijännitteelle (FDM - Fault Detection Module) ja ohjauskortti (RCM - Remote Control Module). Suojasasettelujen konfigurointi tapahtuu järjestelmän WebGUI-käyttöliittymästä.

Suojaustoiminnallisuudet kattavat laukaisun ylivirrasta, laukaisun maasulkutilanteessa, kummatkin maksimissaan kolmella jälleenkytkennällä, viiveiden asettelut eri katkaisijoille, jotta verkko voidaan jakaa eri vyöhykkeisiin ja saadaan toimimaan selektiivisesti.

Selektiivisyys toimii siten, että vikaa lähinnä oleva katkaisija kytkee verkon vikaantuneen osan irti. Jos vikaa lähinnä oleva katkaisija menee jännitteettömäksi kesken jälleenkytkentäsekvenssin, eli jos verkossa esiintyy vika myös muualla, jonka sähköaseman releistys kytkee irti, ei ensimmäisen vian havainnut katkaisija jatka enää jälleenkytkentäsekvenssiä. Kyseisen tilanteen jälkeen katkaisija ohjataan manuaalisesti kiinni esimerkiksi kaukokäytön kautta. Jos vika ei ole poistunut, vaan katkaisija ohjataan kiinni vikaa vasten, se avautuu automaattisesti eikä myöskään jatka enää jälleenkytkentäsekvenssiä.

Suojaustoiminnallisuuksien myötä käyttöön on tullut myös lukitustoiminto, jolla voidaan lukita asemaa syöttävä katkaisija. Ylivirtasuojausta varten voidaan konfiguroida neljä eri porrasta OC1, OC2, OC3 ja OC4, joista useimmiten keskijänniteverkon suojauksen yhteydessä käytetään kahta ensimmäistä porrasta, vakioaika ylivirtalaukaisu I> ja viiveetön momenttilaukaisu I>>.

Maasulkusuojausta varten on konfiguroitavissa kaksi eri porrasta EF1 ja EF2. Lisäksi ylivirta- ja maasulkusuojausta varten voidaan konfiguroida kaksi eri asetteluryhmää SG1 ja SG2 (*Setting Group*). Asetteluryhmistä ensimmäiseen SG1:een asetellaan ensisijaisesti käytössä olevat asetukset. Asetteluryhmään SG2 voidaan asetella tausta-asettelut, jotka otetaan käyttöön käyttökeskuksen SCADA-järjestelmästä esimerkiksi verkon kytkentätilanteen muuttuessa tai vuoden ajan mukaan. Tällainen tilanne tulee eteen, jos syöttösuunnat lähdoissä muuttuvat, mikä vaikuttaa vikojen havainnointiin. Toinen mahdollinen tilanne on kompensointikelan kytkentä verkon tähtipisteeseen, jolloin maasulkusuojauksen toimintaehto pitää muuttaa kapasitiivisestä resistiiviseksi.

Ylivirtaportilla (OC) vian havaitseminen suuntaamattomassa tilanteessa perustuu asetellun virtarajan ylitykseen ja toimintaviiveeseen. Kun vaihevirta IL1 mitataan esimerkiksi oikosulkutilanteessa suuremmaksi kuin aseteltu arvo, Netcon 100 havahtuu ja vian kestäessä pidempään kuin aseteltu toimintaviive, Netcon 100 antaa laukaisukäskyn katkaisijalle. Ylivirtaportilla on mahdollista käyttää myös suunnattua toimintamoodia, jossa mitattujen vaihevirtojen ja jännitteiden vaihekulmia vertaillaan. Netcon 100 saa virran

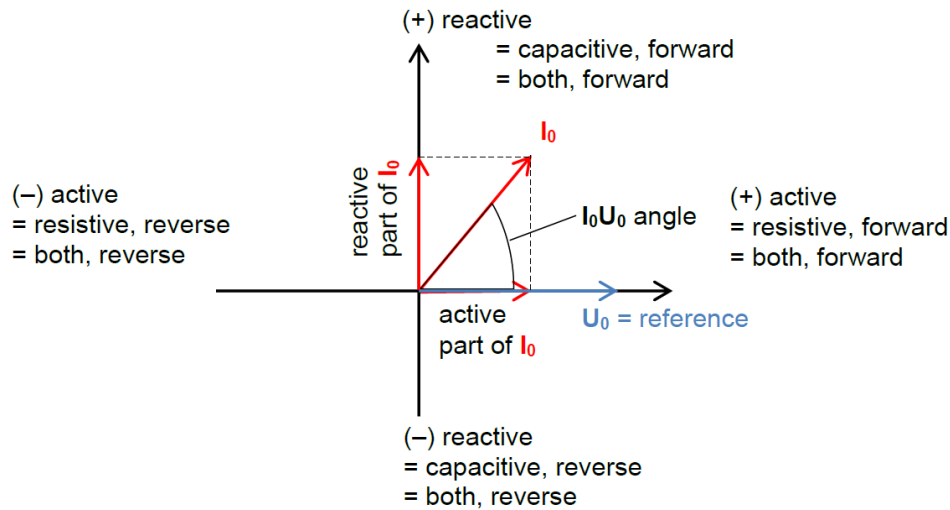
mittaustiedot Rogowski-keloilta ja on määritelty, että positiivinen tehon suunta eli *forward*-suunta on kelan nuolen suuntaisesti. Tällöin negatiivinen tehon suunta, *reverse* on nuolen suuntaa vastaan. Kuva 13 esittää Rogowski-kelan virran kulkusuuntaa kuvaavan nuolen.



Kuva 13. Rogowski-kela

Maasulkuportailla (EF) suuntaamattomassa moodissa vian havaitseminen perustuu nollavirran I_0 ja nollajännitteen U_0 itseisarvoihin. Maasulkuvian havaitsemiseksi kummankin arvon tulee ylittää aseteltu arvo. Maasulkujännitteen U_0 mittausta perustuu vektorisummaan: $U_{L1} + U_{L2} + U_{L3} + U_0 = 0$. Suunnattua moodia käytettäessä maasulkuvirran suunta mitataan U_0 -jännitteen vaihekulmaan nähden. Resistiivisellä kulmamoodilla laukaistaan vika, jossa maasulkuvirran I_0 resistiivinen komponentti $I_0 \cdot \cos\phi$ on suurempi kuin aseteltu virtaraja. *Forward*-moodissa maasulkuvirran I_0 resistiivinen komponentti $I_0 \cdot \cos\phi$ pitää olla positiivinen ja vastaavasti *reverse*-moodissa negatiivinen. Kapasitiivisella kulmamoodilla edellä kuvattu vertailu tehdään maasulkuvirran I_0 reaktiiviselle komponentille $I_0 \cdot \sin\phi$. Kuva 14 esittää maasulun havainnointiin käytettävät kulmat ja suunnat sekä niiden positiivisen ja negatiivisen napaisuuden (ks. seur. s.). *Both*-moodissa sekä kapasitiivinen, että resistiivinen ehto on voimassa rinnakkain.

Kiinteiden suuntamoodien (*forward*, *reverse*) lisäksi valittavana on automaattinen suuntamoodi, jossa maasulkusuojauksen suunta määräytyy mitatun tehon suunnan mukaan. Tätä moodia käytetään tällä hetkellä vikojen indikoinnissa, mutta ei suojaussovelluksissa, sillä automaattinen suuntamoodi ei pysty havaitsemaan vikoja kaikissa verkon käyttötilanteissa.



Kuva 14. Suunnat ja kulmat maasulussa [22]

Netcon 100 -järjestelmä suojaustoimintoinen on kustannustehokas ratkaisu keskijänniteverkon suojaukseen. Järjestelmän etuja kustannustehokkuuden lisäksi ovat sen sopivuus jälkiasennuksiin eli jo käytössä oleviin muuntamoihin sekä uusiin muuntamoihin. Verrattuna esimerkiksi sähköaseman johtolähdön suojauksiin, jossa vaaditaan jokaiselle johtolähdölle oma releistys, voidaan Netcon 100 -järjestelmän peruskokoonpanolla toteuttaa kolmen johtolähdön suojaus kytkinasemalla. Suojaustoiminnot ovat laajennettavissa yhdeksälle suojausobjektille. [22.]

7.2 Suojaukseen käytettävä laitteisto

Suojaustoinnallisuus on toteutettu Netcon 100:aan ohjelmallisesti. Ulkoisia komponentteja, joita tarvitaan suojauksen toteuttamiseksi käytännössä, ovat virran ja jännitteen mittaamiseen tarvittavat komponentit ja laitteet. Virran mittaustiedot tuodaan Netcon 100:aan Rogowski-kelojen välityksellä (kuva 15, ks. seur. s.). Yhden lähdön mittaukseseen tarvitaan kolme kela. Yksi kela asennetaan L1-vaihejohtimen ympärille, yksi kela L2-vaihejohtimen ympärille sekä nollavirtakela, eli summavirtakela kaikkien kolmen vaihejohtimen ympärille. Kelat ovat avattavia ja näin ollen helposti asennettavissa ilman kaapelipäätteen irroitusta. Jännitemittaukset tuodaan kojeiston integroidusta kapasitiivisesta jännitesensorista FDM112-kortille, tai jos kojeistoon on hankittu jännitemuuntajat, jännitemittaukset tuodaan FDM-kortille jännitteenmittaussovittimen kautta.



Kuva 15. Rogowski-kelat asennettuina kaapelitilassa

7.3 Suojasasetteluiden konfigurointi

Suojaustoimintojen lisäämisen myötä muutoksia on tullut WebGUI-käyttöliittymän kautta tapahtuvaan laitteen konfigurointiin. Suurimpia muutoksia ovat OC- ja EF-portaille tehtävät jälleenkytkentäasettelut ja *substation*-välilehdellä tapahtuva suojausobjektien ja niiden mittausten valinta (kuva 16, ks. seur. s.).

Protection ON
Updates BLOCKED
Refresh

Substation: M28096
 Lillskog
 2015-04-02 09:23:14+0000

Realtime I/O
 Controls
 Test data
 Events
 HMI
 System

Settings
 Substation
 External IEDs
 Mimic displays
 Serial SCADA
 IP SCADA
 Sum alarm
 Signal mirror
 Card parameters
 Line protection
 Disturbance recorder
 Fault logger
 History recorder
 History displays
 Other displays
 HMI panel
 Password
 Management
 Internal modem
 License

Substation

Substation label

Substation name

Select language

Select HMI type

Select license type

Choose substation type

Choose substation configuration
 4 controlled objects
 4 controlled objects with 3 feeder protection

Select objects on PSU152 card in rack 1 slot 1
 -

Select objects on RCM130 card in rack 1 slot 4 for switchgear U1

	Q01	Q02	Q03	Q04	Q05	Q06
Control objects	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 2	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6
Protection objects	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4		

Select objects on FDM112 card in rack 1 slot 5 for switchgear U1

	Q01	Q02	Q03
Voltage meas. objects	<input checked="" type="checkbox"/> 1		
Current meas. objects	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 2	<input checked="" type="checkbox"/> 3

Kuva 16. WebGUI:n *substation*-välilehti

Substation-sivulla valitaan ohjattavien kytkinlaitteiden määrä. Netcon 100 -peruskokoonpanossa kytkinlaitteiden maksimimäärä on neljä, joista maksimissaan kolme voi olla suojaukseen käytettäviä kytkinlaitteita. Tällöin yksi ohjaus jää esimerkiksi erottimelle. Kokoonpano on laajennettavissa yhdeksälle suojausobjektille. Valittavana ovat myös keskijännitepuolen mittaukset FDM-kortille. Jännite mitataan kiskostosta, joten valitaan yksi jännitteenmittaus. Virranmittaus valitaan jokaiselle johtolähdölle erikseen tarpeen mukaan. Käytettäessä Netcon 100 -ala-asemaa jakelumuuntamalla voidaan valita jännitteen- ja virranmittaukset myös pienjännitepuolelle sekä muuntajan lämpötilan mittaus. Lämpötilan mittaus on toteutettu Pt100- tai Pt1000-anturin avulla, joita Netcon 100:n LVM111-kortti tukee.

Suojausasettelut ja eri portaat sekä niiden laukaisurajat konfiguroidaan *Line protection* -sivulla. Suojausten konfigurointi alkaa ylivirtaportaiden OC1, OC2, OC3 ja OC4 asetellulla, kuten kuvasta 17 nähdään. Tässä tilanteessa käytössä on kaksi ensimmäistä porrasta, mitkä on aseteltu toimimaan suuntaamattomasti, kun virtaraja 150 A ylittyy ja kestää yli 300 ms virran tullessa kummasta suunnasta tahansa, Netcon 100 lähettää laukaisukäskyn. Toinen porras lähettää laukaisukäskyn viiveettömästi, kun virta ylittää arvon 1 800 A.

Fault detection of switchgear U1 switch Q01

Over current stage OC1

	SG1	SG2
Enable stage (yes/no)	yes ▼	no ▼
Directional mode (none/forward/reverse)	none ▼	none ▼
Operation delay [ms] (0 - 32767)	300	300
Pickup current value [A] (10 - 5000)	150	150
Pickup current hysteresis [% of pickup value] (0 - 100)	5	5

Over current stage OC2

	SG1	SG2
Enable stage (yes/no)	yes ▼	no ▼
Directional mode (none/forward/reverse)	none ▼	none ▼
Operation delay [ms] (0 - 32767)	0	0
Pickup current value [A] (10 - 5000)	1800	1800
Pickup current hysteresis [% of pickup value] (0 - 100)	5	5

Over current stage OC3

	SG1	SG2
Enable stage (yes/no)	no ▼	no ▼
Directional mode (none/forward/reverse)	none ▼	none ▼
Operation delay [ms] (0 - 32767)	100	100
Pickup current value [A] (10 - 5000)	100	100
Pickup current hysteresis [% of pickup value] (0 - 100)	5	5

Over current stage OC4

	SG1	SG2
Enable stage (yes/no)	no ▼	no ▼
Directional mode (none/forward/reverse)	none ▼	none ▼
Operation delay [ms] (0 - 32767)	100	100
Pickup current value [A] (10 - 5000)	100	100
Pickup current hysteresis [% of pickup value] (0 - 100)	5	5

Kuva 17. Ylivirtaportaiden asetellut

Kuva 18 esittää maasulkuportaiden EF1 ja EF2 asetellut. Porras EF1 on aseteltu maasta erotetulle verkolle eli kapasitiiviseen toimintamoodiin. Porras EF2 taas on

aseteltu kompensoidulle verkolle eli resistiiviseen toimintamoodiin. Maasulkuportaille asetellaan virtarajan lisäksi havahtumisraja U_0 -jännitteelle. Pienin maasulkuvirta, jonka laite kykenee luotettavasti havaitsemaan, on 0,5 A. Portaista ja niiden asetteluryhmistä voidaan muodostaa eri tilanteiden varalle sopivat asettelut. Portaita ja asetteluryhmiä voidaan ottaa käyttöön WebGUI:n kautta Netcon 100:n HMI-paneelista. Asetteluryhmiä voidaan vaihtaa käyttökeskuksen SCADA-järjestelmästä.

EARTH FAULT STAGE EF1		
	SG1	SG2
Enable stage (yes/no)	yes ▾	yes ▾
Directional mode (none/forward/reverse/automatic)	reverse ▾	forward ▾
Angle mode (capacitive/resistive/both)	capacitiv ▾	capacitiv ▾
Operation delay [ms] (0 - 32767)	300	300
Pickup voltage value [%] (0 - 100)	4	4
Pickup current value [A] (0.5 - 500)	0.5	0.5

EARTH FAULT STAGE EF2		
	SG1	SG2
Enable stage (yes/no)	yes ▾	yes ▾
Directional mode (none/forward/reverse/automatic)	reverse ▾	forward ▾
Angle mode (capacitive/resistive/both)	resistive ▾	resistive ▾
Operation delay [ms] (0 - 32767)	300	300
Pickup voltage value [%] (0 - 100)	4	4
Pickup current value [A] (0.5 - 500)	0.5	0.5

Kuva 18. Maasulkuportaiden suojausasettelut

Suojaustoiminnallisuuten liittyen ylivirta- ja maasulkulaukaisulle voidaan määrittää jälleenkytkentäasettelut. Jälleenkytkentäasettelut tehdään *line protection* -sivulla ja jokaiselle lähdölle erikseen enintään neljällä jälleenkytkentäsekvenssillä. Eri portaiden havahtumis- ja hälytyssignaaleja voidaan ryhmitellä vapaasti eri sekvensseille halutun toiminnallisuuden toteuttamiseksi. Tyypillisesti ensimmäistä sekvenssiä käytetään ylivirtasuojauksille ja toista sekvenssiä maasulkusuojauksille. Jos jokin porras ei saa aiheuttaa jälleenkytkentää, se pitää ryhmitellä omaksi sekvenssiksi, jossa jälleenkytkennät on pois päältä, eli jälleenkytkentöjen määrä asetettu nolaksi. Esimerkiksi kaksoismaasulun tapauksessa jälleenkytkentää ei haluta toteuttaa.

Auto-reclosing logic of switchgear U1 switch Q01

Common parameters

Control object selection (none/1/2/3/4/5/6)	1
Enable protection (off/on)	on
Enable earth fault protection (off/on)	on
Enable auto-reclosing (off/on)	on
Reclaim time [s] (10 - 180)	10

	Object	Signal
Setting group control input (int)	U1.Q01	I_Feeder_ActSetGrpN:1(Chg)
Auto-reclose blocking input 1 (si)	U1.F1	I_Waveform_Uinterrupt:1(Chg)
Auto-reclose blocking input 2 (si)	none	none
Auto-reclose blocking input 3 (si)	none	none
Auto-reclose blocking input 4 (si)	none	none

Kuva 19. Jälleenkytkentäasettelut lähdölle Q01

Kuvassa 19 on esitetty miten lähdölle Q01 on valittu yksi suojausobjekti ja aseteltu sille käyttöön suojaustoiminnot, maasulkusuojaus ja jälleenkytkennät. Jälleenkytkentäsekvenssi on aseteltu keskeytymään (*Auto-reclose blocking input 1*), kun suojattava lähtö menee jännitteettömäksi, eli signaalista *I_Waveform_Uinterrupt:1(Chg)*.

Auto-reclosing sequence 1

Operation mode [number of shots] (0/1/2/3)

	SG1	SG2
Start delay of shot 1 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Dead time of shot 1 [10ms] (0 - 30000)	30	30
Discrimination time of shot 1 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Start delay of shot 2 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Dead time of shot 2 [10ms] (0 - 30000)	6000	6000
Discrimination time of shot 2 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Start delay of shot 3 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Dead time of shot 3 [10ms] (0 - 30000)	6000	6000
Discrimination time of shot 3 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Start delay of shot 4 [10ms] (0 - 30000)	0	0

	Type	Object	Signal
Input 1 (none/pr/ef/prb/efb)	pr	U1.Q01	A_OC1_alarm:1(Chg)
Input 2 (none/pr/ef/prb/efb)	pr	U1.Q01	A_OC2_alarm:1(Chg)
Input 3 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 4 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 5 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 6 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 7 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 8 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 9 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 10 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 11 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 12 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 13 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 14 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 15 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 16 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none

Kuva 20. Ylivirtaportaiden jälleenkytkentäasettelut

Kuvassa 20 on esitetty ylivirtaportaiden jälleenkytkentäasettelut. Jälleenkytkentöjen määräksi on valittu kaksi kappaletta eli PJK ja AJK. Jälleenkytkentäsekvenssi käynnistyy ilman viivettä ja PJK:ta edeltävä jännitteetön aika on 300 ms. AJK:ta edeltäväksi jännitteettömäksi ajaksi on aseteltu 60 000 ms. Jälleenkytkentäsekvenssi käynnistyy lähdön Q01 OC1- ja OC2-hälytyssignaaleista (*A_OC1_alarm:1*, *A_OC2_alarm:1*). Tyhjille *input*-riveille voidaan asettaa katkaisijan lukituksia toimivaksi esimerkiksi toisen lähdön Q02 hälytyssignaaleista, jolloin tyypiksi valitaan *prb* (*protection block*).

AUTO-RECLOSING SEQUENCE 2

Operation Mode [number of shots] (0/1/2/3)

	SG1	SG2
Start delay of Shot 1 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Dead time of Shot 1 [10ms] (0 - 30000)	30	30
Discrimination time of Shot 1 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Start delay of Shot 2 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Dead time of Shot 2 [10ms] (0 - 30000)	6000	6000
Discrimination time of Shot 2 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Start delay of Shot 3 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Dead time of Shot 3 [10ms] (0 - 30000)	6000	6000
Discrimination time of Shot 3 [10ms] (0 - 30000)	0	0
Start delay of Shot 4 [10ms] (0 - 30000)	0	0

	Type	Object	Signal
Input 1 (none/pr/ef/prb/efb)	ef	U1.Q01	A_EF1_alarm:1(Chg)
Input 2 (none/pr/ef/prb/efb)	ef	U1.Q01	A_EF2_alarm:1(Chg)
Input 3 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 4 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 5 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 6 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 7 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 8 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 9 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none
Input 10 (none/pr/ef/prb/efb)	none	none	none

Kuva 21. Maasulkuportaiden jälleenkytkentäasettelut

Kuvassa 21 on esitetty maasulkuportaiden jälleenkytkentäasettelut. Sekvenssin viiveet ja jännitteettömät ajat ovat samat kuin ylivirtaportilla Jälleenkytkentäsekvenssi on konfiguroitu käynnistyväksi maasulkuportaiden EF1- ja EF2-hälytys-signaalista.

8 Suojaustoiminnallisuuden tyypitestausta

Suojaustoiminnot ovat uusi toiminnallisuus Netcon 100 -järjestelmässä ja näin ollen niiden toiminnan, sekä luotettavuuden testaaminen on vaatinut useita eri tyypitestejä. Osallistuminen tuotekehityksen aikaisiin suojaustoimintojen tyypitesteihin oli merkittävä tilaisuus perehtyä periaatetasolla testeihin, joista selviää suojauksen toiminta ja eri testaustapoja. Testaustavat muodostuivat ensiö- ja toisiotesteistä, joista saatiin hyödyllistä tietoa ja kokemusta osaksi toimitusketjua tulevia testikäytäntöjä. Osaa näistä tyypitesteistä voidaan käyttää tarpeellisin osin tuotteen toimitusketjun testausvaiheissa.

8.1 Toisiotestit

Netcon 100 -järjestelmän kaikki suojaustoiminnallisuus testattiin Omicron CMC356 -laitteella. Testiin laadittiin 26 kohdan taulukko, jossa käytiin läpi kaikki toimintakombinaatiot kattaen suunnan eri ylivirtaportilla, suunnan ja kulman eri maasulkuportilla, jälleenkytkennät eri ylivirta- ja maasulkuportaalla sekä katkaisijan lukitukset eri ylivirta- ja maasulkuportilla. Testissä kaikilla kolmella lähdöllä oli mittaukset ja suojaukset käytössä, millä oli tarkoitus kuormittaa järjestelmää. Toimintamoodit ja toimintaehdot käytiin systemaattisesti läpi. Samoja periaatteita voi soveltaa myös toimitusketjun rutiinitesteissä tarvittavin osin.

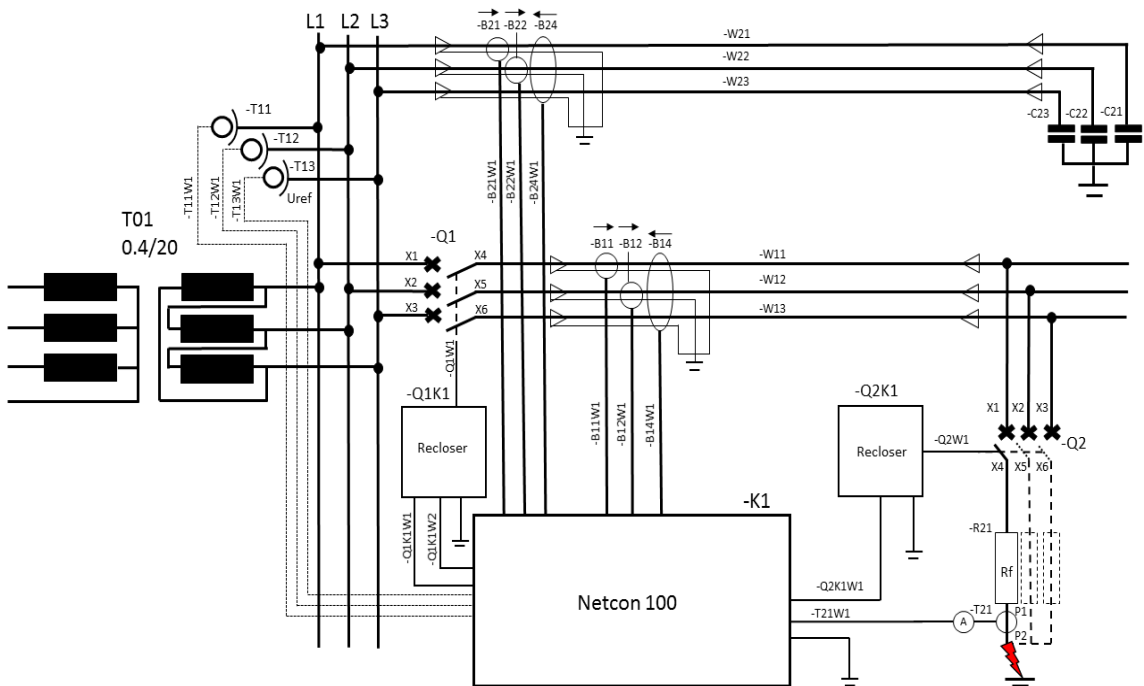
Testin aikana huomattiin Omicron-koestuslaitteen monipuolisuus ja monet edut tämänkaltaisessa testauksessa. Koestuslaitteelle voidaan ohjelmoida yksittäiset testin vaiheet kattavemmiksi kokonaisuuksiksi, jotka käynnistetään tietokoneesta yhdellä painalluksella ja koestuslaite suorittaa automaattisesti koko testisekvenssin. Yksinkertaistettuna tämä tarkoittaa sitä, että useat erilaiset käyttötilanteet ovat simuloitavissa laitteen ohjelmoitavien sisään- ja ulostulojen ansiosta.

8.2 Ensiöttestit suurjännitelaboratoriossa

Maasulun havaitseminen suuren vikaresistanssin tapauksessa vaatii käytettävältä suojauslaitteistolta suurta herkkyyttä ja tarkkoja mittauksia pienen maasulkuvirran takia. Tämän takia maasulun havaitsemiseen liittyviä tyyppitestejä tehtiin ensiöttestinä maasta erotetussa verkossa 20 kV:lla suurjännitelaboratoriossa. Testiä varten suunniteltiin kytkentä, jossa on kaksi keskijännitelähtöä mittauksilla. Lähtö 1 on varustettu katkaisijalla. Lähtöön 1 kytkettiin vika manuaalisesti toisen katkaisijan avulla. Vian kytkentä tapahtui suoraan maata vasten, eli kyseessä oli vikaresistanssiton maasulku. Vika kytkettiin myös erikokoisten vikaresistanssien kautta.

Lähdölle 2 lisättiin kapasitanssia kuormaksi kuvaamaan taustaverkon kapasitanssia (kuva 22). Kapasitanssikuorman arvoksi mitoitettiin 110 nF, jolla maasulkuvirta saatiin hyvin pieneksi. Maasulkuvirta haluttiin pieneksi, sillä juuri se tekee maasulkuvian havaitsemisen vaikeaksi. Vastaavaa ensiöttestiä voidaan soveltaa myös kentällä tehtävässä rutiininomaisessa käyttöönottotestissä, jolla todennetaan suunta-asetteluiden oikeellisuus ja selektiivisyys eri suojausvyöhykkeiden välillä. Kenttättestissä vikaresistanssi tai

suora maasulku kytketään testattavan katkaisijan suojaamaan verkkoon. Resistanssin avulla vikavirta voidaan rajoittaa halutulle tasolle.



Kuva 22. Maasulun primääritestissä käytetty kytkentä

Ennen testejä laitteisto konfiguroitiin ja sille aseteltiin ennalta mitoitettuja suojausasetteluita sekä varmistettiin sen toiminta toimisto-olosuhteissa Sverker 780 -testauspakilla.

Varsinaisessa primääritestissä 20 kV:n jännitteellä testattiin järjestelmän toimintaa maasta erotetussa verkossa. Eri maasulkutilanteita testattiin säätämällä vesivastuksen R21 resistanssia. Resistanssi R21 kuvaa maasulkuresistanssia R_f . Kun haluttu resistanssi on säädetty vastukseen, systeemiin kytketään jännitteet ja katkaisijan Q2 avulla voidaan manuaalisesti ohjata maasulkuvika aktiiviseksi. Vesivastuksen käyttö suurjännitelaboratorion toimesta oli nerokas ratkaisu, sillä suurjännitevastukset ovat kalliita ja tarkoituksena oli testata maasulkuvirran havainnointia erisuuruuksilla vastuksilla, jolloin yhden suurjännitevastuksen säädettävyys ei olisi välttämättä riittänyt, vaan olisi pitänyt hankkia useampia vastuksia. Vesivastuksessa resistanssin arvoa säädeltiin tislattun veden ja vesijohtoveden suhteella, sekä suolaa lisäämällä.

9 Yhteenveto

Sähköverkon kehityksen ollessa eräänlaisessa murrosvaiheessa ja vaatimusten kasvavassa verkon käyttövarmuudessa ja sähkön laadussa Netcon 100 -järjestelmän kaltaiselle keskijänniteverkon ohjaus- ja suojausjärjestelmälle on yhä enemmän tarvetta. Myös regulaatio ohjaa sähköyhtiöitä tämän tyyppisiin hankintoihin, kun sähköverkkoa uudistetaan ja tehdään älykkäämmäksi. Tulevaisuuden tuomat muutokset asettavat vaatimuksia, joihin voidaan tarjota ratkaisu tämänkaltaisella ala-asema-automaatiolla ja sen suojausominaisuuksilla. Hajautetun tuotannon liittäminen verkkoon ja sen oikeanlainen suojausten toteutus ja automatisointi tukee kestävästä kehityksestä mallia verkon suunnittelussa pitkälle aikajänteelle.

Tässä insinööriyössä oli tavoitteena tutkia suojaustoimintojen lisäyksen tuomia vaikutuksia Netcon 100 -tuotteen toimitusketjussa. Näitä vaikutuksia olivat muun muassa tilausten yhteydessä selvitettävät tarkemmat ennakkotiedot suojausten asettelua ja konfigurointia varten. Suojaustoimintojen lisäyksen vaikutuksesta myös Netcon 100 -laitteen konfigurointi on muuttunut oleellisesti. Suojaustoiminnallisuus on korkeamman prioriteettin toiminto, kuin esimerkiksi tapahtuman indikointi. Tämän takia suojaustoimintojen konfigurointi vaatii tekijältään entistä enemmän asiantuntemusta liittyen keskijänniteverkon suojaukseen, kun joudutaan huomioimaan suojausten toimivuus luotettavasti ja selektiivisesti.

Osaksi toimitusketjua on tullut myös erilaiset testit ja suojausten koestus. FAT:n ja SAT:n mukaiset toisiotestit voidaan tehdä Netcon 100 -kohteille erikseen myytävänä suojaustestipalveluna. Testit tehdään asiakkaan antamalla arvoilla ja asetteluilla. Ennen laitteen toimittamista suojaustoiminnallisuus testataan tehtaalla ja dokumentoidaan sitä varten laadittuun pöytäkirjaan. Kun laite on liitetty osaksi muuta järjestelmää muuntamalla tai kytkinasemalla, kentällä sille tehdään SAT-testaus yhdessä asiakkaan tai tilaajan kanssa, sekä suojauskoestus toisiotestilaitteilla. Suoritettujen testien tulokset dokumentoidaan pöytäkirjaan, joka luovutetaan tilaajalle täytettynä FAT:n ja SAT:n osalta. Ensio-testien osalta on toistaiseksi päätetty, ettei niitä myydä palveluna, vaan niiden toteuttaminen jää jakeluverkkoyhtiön vastuulle.

Muita suojaustoimintojen lisäysten tuomia vaikutuksia näiden vakiintuvien testauspalveluiden lisäksi ovat lukuisat tyyppitestit, joissa on tutkittu järjestelmän toimintaa tarkat vaatimukset omaavassa tilanteessa, kuten maasulun havaitsemisessa. Suoritettujen testien

perusteella päädyttiin hankkimaan Netcontrolille yrityksen käyttöön myös oma Omicron-koestuslaite. Netcon 100 -järjestelmän käytöstä on järjestetty kaksipäiväisiä koulutuksia. Suojaustoimintojen lisäys on niin iso osa uutta toiminnallisuutta, että koulutuspäivien määrä kasvatetaan nyt kolmipäiväiseksi. Osana tätä insinööriä valmistui ennakkotietomake, suojaustoimintojen koestusohje ja käyttöönoton yhteydessä täytettävä pöytäkirja, joka luovutetaan käyttöönoton yhteydessä asiakkaalle.

Suojaustoimintojen lisäys Netcon 100 -järjestelmään kasvattaa tuotteen kilpailuetua ja se on kustannustehokas ja kilpailukykyinen ratkaisu verkkojen ohjaamiseen, suojaamiseen ja valvontaan verkostoautomaatiomarkkinoilla, missä perinteiset useasta eri laitteesta koostuvat ratkaisut eivät enää ole tarpeeksi kustannustehokkaita.

Lähteet

- 1 Netcontrol yhtiö. Verkkodokumentti. <<http://www.netcontrol.com/fin/tietoameis-tae/netcontrolyhtioe/>>. Luettu 28.12.2014
- 2 Lakervi, Partanen. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
- 3 Elovaara, Haarla. 2011. Sähköverkot I. Helsinki: Otatieto.
- 4 Elovaara, Haarla. 2011. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto.
- 5 Isomäki, Rami. 2010. Sammutetun keskijänniteverkon kompensointilaitteiston li-sävastuksen ohjaus. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- 6 Hurkala, Marcin. 2009. Sähkönjakeluverkon vikojen automaattinen analysointi. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu.
- 7 SFS 6001 + A1 + A2 Suurjännitesähköasennukset. 2009. Helsinki: Suomen stan-dardisoimisliitto SFS ry.
- 8 Hietalahti. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: AMK-Kustannus Oy Tammertekniikka
- 9 Rinta, Perttu. 2006. Savon voima asiakaslehti. <<http://www.digipaper.fi/savon-voima/4672/index.php?pgnumb=25>>. Luettu 11.2.2015.
- 10 Keskeytystilasto 2013. Verkkodokumentti. <http://energia.fi/sites/default/files/do-kumentit/sahkomarkkinat/Sahkoverkko/keskeytystilasto_2013.pdf/>. Luettu 9.2.2015.
- 11 Heine, P., Imris, P., Järventausta, P., Kaipia, T., Kauhaniemi, K., Kivikko, K., Ko-mulainen, R., Kumpulainen, L., Laaksonen, H., Lassila, J., Lehtonen, M., Långland, H., Martikainen, A., Partanen, J., Saaristo, H., Silvast, A., Verho, P., Vil-jainen, S. 2006. Verkkovisio 2030. VTT tiedote 2361.
- 12 ST-kortti 53.45 sulakkeeton suojaus.
- 13 Sähkömarkkinalaki 588/9.8.2013
- 14 Verkostosuositus YA9:09 Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon.
- 15 CLEEN Oy. Älykäävät sähköverkot ja energiamarkkinat. 2015. Loppuraportti.

- 16 Pienvoimaloiden liittäminen jakeluverkkoon 2001. Verkkodokumentti. <<http://energia.fi/sites/default/files/10930.pdf>>. Luettu 31.3.2015
- 17 Alanen, R., Koljonen, T., Hukari, S., Saari, P. 2003. Energian varastoinnin nykytila. VTT tiedote. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>>. Luettu 20.2.2015.
- 18 Sähkön kysyntäjousto. Verkkodokumentti. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/yrityksille/palvelumme/uudet-sahkopalvelut/sahkon-kysyntajousto/>>. Luettu 20.2.2015
- 19 Kysyntäjousto. Verkkodokumentti. Fingrid Oyj. <<http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/Kysyntajousto/Sivut/default.aspx>>. Luettu 20.2.2015
- 20 Karppinen, Antti. 2014. Paikallinen ja hajautettu energiantuotanto toimitilarakentamisessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- 21 RE Form - IEC 61850 tietoliikennedemonstraatio. Verkkodokumentti. Vaasa Energy Institute. <<http://www.vei.fi/content/fi/11501/759/759.html>>. Luettu 13.3.2015
- 22 Netcon 100 Engineering and Configuration Guide
- 23 Omicron CMC356 The Universal Relay Test Set and Comissioning Tool Brochure
- 24 Sverker 750/780 Relay Test Sets datasheet
- 25 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä 5.7.1996/517

