



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Reijo Kankaanpää

MONITAAJUUSADMITTANSSISUOJAUKSEN KÄYTTÖÖNOTTO KESKIJÄNNITEVERKOSSA

Seiverkot Oy Kärmeskydön sähköasema

Tekniikka
2021

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön sähkötekniikan koulutusohjelman päättötyönä Seiverkot Oy:n toimeksiannosta. Seiverkot Oy on Seinäjoen Energia Oy:n omistama sähköverkkoyhtiö, joka huolehtii sähkön jakelusta ja sähköverkosta Seinäjoen kantakaupungin alueella.

Opinnäytetyön valvovana opettajana toimi lehtori Mikko Västi, ja työn ohjaajana Seiverkot Oy:n verkkojohtaja Martti Ijäs.

Kiitän Seiverkot Oy:tä tilaisuudesta tämän opinnäytetyön tekemiseen, sekä mielenkiintoisesta aiheesta.

Kiitos ABB:lle ja Maviko Oy:lle ammattitaidolla toteutetuista kenttäkokeista. Eri-tyiskiitos Senior Principal Engineer Ari Wahlroosille ja Senior Application Specialist Janne Altoselle asiantuntijuudesta ja tuesta.

Kiitos Vaasan ammattikorkeakoulun henkilökunnalle ja opettajille laadukkaasta opetuksesta sekä opiskelukavereille hyvästä yhteishengestä.

Eri-tyiskiitos laboratoriotyöryhmä EVC:n Olli Kontiokarille, Ossi Perälälle ja Mathias Skyttelle hyvästä yhteistyöstä ja toveruudesta.

Vaasassa 18.5.2021

Reijo Kankaanpää

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Reijo Kankaanpää
Opinnäytetyön nimi	Monitaajuusadmittanssisuojauksen käyttöönotto sähköjakeluverkossa
Vuosi	2021
Kieli	Suomi
Sivumäärä	55 + 1 liite
Ohjaaja	Mikko Västi

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin keskijänniteverkon sähköaseman maasulkusuojauksen uuden suojausfunktion käyttöönottoon liittyvän maasulkukokeen toteutusta ja käytönaikaista maasulkusuojauksen toimintaa. Keskijänniteverkon kaapelointiasteen nousun myötä myös vikatyypit ovat muuttuneet. Suuren vikavastuksen omaavien vikojen lisäksi katkeilevat maasulkuvat ovat yleistyneet, jonka vuoksi uusia suojausmenetelmiä on kehitettävä.

Monitaajuusadmittanssisuojauksen käyttöönottoon liittyvän maasulkukokeen aikana Kärmeskydön sähköaseman keskijänniteverkkoon tehtiin erityyppisiä maasulkuvikoja. Vikapaikat sijaitsivat kahdessa eri keskijänniteverkon johtolähdössä. Koestuksen aikana seurattiin sekä viallisten että terveiden lähtöjen toimintaa eri vikatyypeillä.

Työn tuloksena havaittiin, että uuden sähköaseman käyttöönottokoestusten yhteydessä suoritettava maasulkukoe on syytä toteuttaa kaiken kattavasti erilaisilla vikatyypeillä aseman koko suojausketju huomioiden.

ABSTRACT

Author	Reijo Kankaanpää
Title	Commissioning Tests of Multi-frequency Admittance Protection in Electrical Distribution Network
Year	2021
Language	Finnish
Pages	55 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Mikko Västi

The purpose of this thesis was to analyse performance and execution of primary earth-fault tests in medium-voltage substation, including commissioning of new earth-fault protection function. When ground-cable rate in medium-voltage network has increased, also fault types have changed. Along with high-ohmic faults, also intermittent earth-faults have become common. Because of that, new protection functions must be developed.

During commissioning tests of multi-frequency admittance protection, various types of earth-faults were made in the medium-voltage network of the Kärmeskytö substation. Faults were located in two different medium-voltage lines. Both faulty and healthy lines were analysed during tests.

The result of this thesis is that the commissioning of a new substation must include earth-fault tests including various types of faults regarding the entire chain of protection.

Keywords	distribution network, medium-voltage, earth-fault protection, multi-frequency admittance
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LIITELUETTELO

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

1	JOHDANTO.....	10
1.1	Toimeksiantajan esittely.....	10
1.2	Työn sisältö ja tavoitteet.....	11
2	TEORIAA.....	13
2.1	Maasulkuilmiö.....	13
2.2	Maadoitusjännite.....	14
2.3	Jakelujärjestelmän maadoitusmenetelmät.....	16
2.3.1	Maasta erotettu keskijänniteverkko.....	17
2.3.2	Kompensoitu keskijänniteverkko.....	18
3	RELESUOJAUS.....	20
3.1	Relesuojaukselle asetettavat vaatimukset.....	20
3.2	Suojareleet.....	21
3.3	Suojausfunktiot.....	22
3.4	Suojareleiden koestus.....	24
3.4.1	Ensiökoestus.....	25
3.4.2	Toisiokoestus.....	25
4	KOMPENSOIDUN VERKON MAASULKUSUOJAUS.....	26
4.1	Suunnattu maasukusuojaus.....	26
4.2	Katkeileva maasulku.....	28
4.3	Monitaajuusadmittanssipohjainen MFA-maasukusuojaus.....	29
5.2	Koestusohjelman määrittely.....	34
5.3	Kokeen tulokset.....	43
6	SEURANTAJAKSO.....	49
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	52

LÄHTEET	55
LIITTEET	56

LIITELUETTELO

LIITE 1. Kärmeskydön sähköaseman pääkaavio

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Seiverkot Oy:n verkkoalue.	s. 11
Kuva 2. Maasulkutilanteet maasta erotetussa verkossa.	s. 14
Kuva 3. Maadoitusjännitteen muodostuminen.	s. 15
Kuva 4. Maasulussa sallittava kosketusjännite.	s. 16
Kuva 5. ABB suojarleiden kehitys.	s. 21
Kuva 6. I ₀ SIN-toimintasektori.	s. 27
Kuva 7. I ₀ COS-toimintasektori.	s. 28
Kuva 8. Jäykän maasulun käyrämuotoja.	s. 29
Kuva 9. Suuri-impedanssisen maasulkuvian käyrämuotoja.	s. 30
Kuva 10. Katkeilevan maasulun käyrämuotoja.	s. 30
Kuva 11. Ohimenevän maasulun käyrämuotoja.	s. 30
Kuva 12. Ilmakuva Kärmeskydön sähköasemasta.	s. 33
Kuva 13. Kärmeskydön sähköaseman pääkaavio.	s. 33
Kuva 14. Kärmeskydön sähköaseman 20 kV kojeisto.	s. 34
Kuva 15. Vikakärry.	s. 35
Kuva 16. Vikakärryn varusteet.	s. 35
Kuva 17. Katkeileva maasulku testikaapelissa.	s. 36
Kuva 18. Normaali käyttötilanne.	s. 37
Kuva 19. Vika lähdössä J13.	s. 37

Kuva 20. Vika lähdössä J01.	s. 38
Kuva 21. Lähdön J13. MFADPSDE asettelut kokeen aikana.	s. 41
Kuva 22. Kompensointikelan lisävastuksen I – 0 – I vastuslogiikka.	s. 42
Kuva 23. Kompensointikelan lisävastuksen 0 – I – 0 vastuslogiikka.	s. 42
Kuva 24. Esimerkki jatkuvasta maasulkuviasta lähdössä J13.	s. 47
Kuva 25. Esimerkki katkeilevasta maasulkuviasta lähdössä J13.	s. 48
Kuva 26. Vuoden 2018 häiriötallenteet asemalla.	s. 49
Kuva 27. Vuoden 2018 laukaiseva maasulkuvika lähdössä J13.	s. 50
Kuva 28. Vuoden 2019 häiriötallenteet asemalla.	s. 50
Kuva 29. Vuoden 2019 laukaiseva maasulkuvika lähdössä J13.	s. 50
Taulukko 1. Relion [®] -funktioiden nimet ja IEC 61850-tunnus.	s. 22
Taulukko 2. Ensimmäisen päivän koestusohjelma.	s. 39
Taulukko 3. Toisen päivän koestusohjelma.	s. 40
Taulukko 4. Ensimmäisen koestuspäivän toteutus.	s. 45
Taulukko 5. Ensimmäisen koestuspäivän tulokset.	s. 45
Taulukko 6. Toisen testipäivän toteutus.	s. 46
Taulukko 7. Toisen testipäivän tulokset.	s. 46

1 JOHDANTO

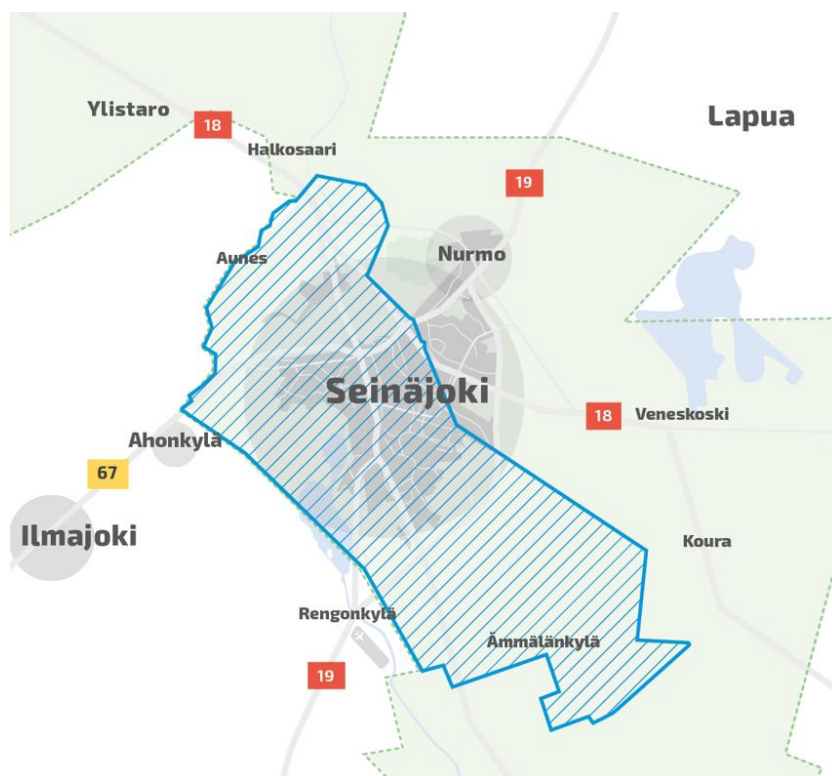
Tämä opinnäytetyö tehtiin Seiverkot Oy:lle keskijänniteverkon suojausmenetelmien suunnittelua ja kehittämistä varten. Työ oli kehitysprojekti liittyen maasulkusuojaukseen ja uuden suojausfunktion käyttöönottoon.

1.1 Toimeksiantajan esittely

Seiverkot Oy on Seinäjoen Energian omistama sähköverkkoyhtiö, joka huolehtii sähkön jakelusta ja sähköverkosta Seinäjoen kantakaupungin alueella. Yhtiön tehtäviin kuuluvat sähkön jakelu, sähköverkon suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito. Kuvassa 1 on esitetty Seiverkot Oy:n verkkoalue. /5/

Seiverkot Oy lukuina 2020:

Asiakkaita	26769
Sähköasemat	6
Henkilöstö	34
Siirretty energia	452 GWh
Verkkopituus	1117 km



Kuva 1. Seiverkot Oy:n verkkoalue.

1.2 Työn sisältö ja tavoitteet

Keskijänniteverkon kaapelointiasteen lisääntyminen on asettanut uusia haasteita jakeluverkkoyhtiöille. Sähköasemien johtolähtöjen maasulkuvirrat ovat kasvaneet, ja tämän myötä asemien kompensointikuristimien kokoja on jouduttu kasvattamaan. Myös johtolähtöjen varsille on joissain tapauksissa jouduttu lisäämään hajautettuja kompensointikeloja. Kaapelointiasteen kasvaminen on vaikuttanut myös verkon maasulkuvikojen vikatyyppeihin. Aiemmin verkon ollessa ilmajohtopainotteinen, olivat suuriohmiset maasulkuviat yleisiä. Ilmajohtoverkkoa on viime vuosina saneerattu maakaapeliverkoksi, ja uutta jakeluverkkoa rakennettaessa maakaapelointi on tullut yleiseksi tavaksi ilmajohtoverkon sijasta. Tästä johtuen maakaapeliverkolle tyypilliset katkeilevat maasulut ovat yleistyneet. Perinteiset maasulkusuojaukseen kehitetyt suojausfunktiot eivät kykene riittävällä tavalla ha-

vainnoimaan katkeilevia maasulkuvikoja, koska ne tyypillisesti perustuvat katkeilemattoman maasulkuvirran ja maasulkujännitteen mittaamiseen. Sähkönjakelija ja suojausjärjestelmiä valmistavat yritykset ovat joutuneet kehittämään uusia suojausfunktioita. ABB:n kehittämä monitaajuusadmittanssisuojaus on erittäin luotettava ja kattava suojausfunktio, joka pystyy havainnoimaan kaiken tyyppiset maasulkuviat.

Opinnäytetyön tavoitteena on toteuttaa Kärmeskydön sähköaseman käyttöönotto, jonka yhteydessä suoritettujen maasulkukokeiden rinnalla käyttöönottaa monitaajuusadmittanssiin perustuva maasulkusuojaus keskijänniteverkon johtolähdöissä. Käyttöönottokeustusten ja sähköaseman vastaanoton jälkeisellä seurantajaksoilla pyritään havainnoimaan ja analysoimaan, miten monitaajuusadmittanssiin perustuva maasulkusuojaus toimii verkon normaalin käyttötilanteen aikana ilmenevissä vioissa.

Opinnäytetyön toisessa luvussa tutustutaan maasulkuilmiöön yleisesti, maasulkutyyppihin ja maadoitusjännitteen syntyyn sekä sähkönjakelujärjestelmän maadoitusmenetelmiin.

Kolmannessa luvussa esitellään relesuojauksen vaatimuksia, suojareleitä yleisesti sekä suojausten koestustavat. Neljännessä luvussa tarkastellaan kompensoidun verkon maasulkusuojausta ja siihen liittyvää suojauksen perusasettelujen laskentaa.

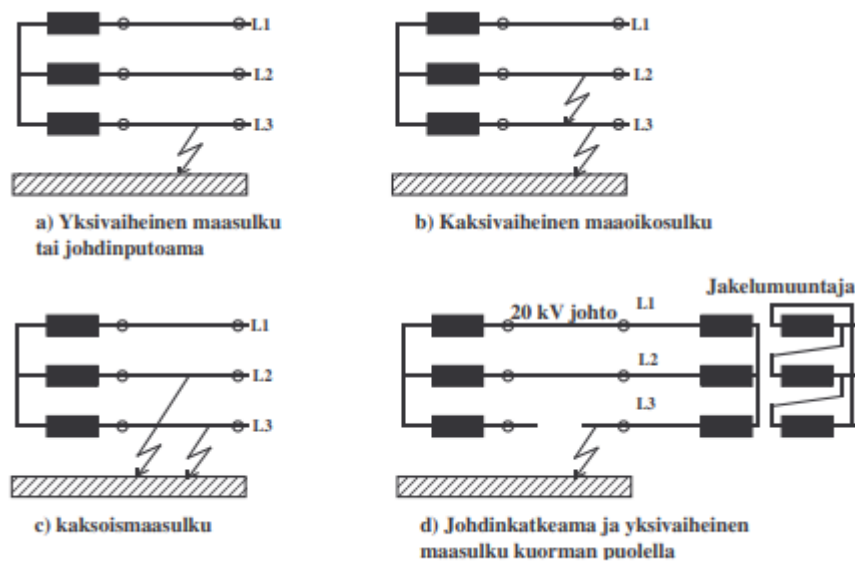
Opinnäytetyön viidennessä luvussa esitellään koestettu sähköasema, koestusohjelman laadinta ja koestuksen suoritus. Kuudennessa luvussa käsitellään sähköaseman käyttöönoton jälkeisen seurantajakson aikana ilmenneitä verkon maasulkuvikoja ja sen myötä monitaajuusadmittanssisuojauksesta saadut käyttökokemukset, johtopäätökset ja yhteenveto sekä mahdolliset kehitysideat.

2 TEORIAA

2.1 Maasulkuilmiö

Maasululla tarkoitetaan äärijohtimen ja maan tai maahan yhteydessä olevan osan välistä eristysvikaa. Tällainen eristysvika voi esiintyä samanaikaisesti useammasakin vaiheessa, jolloin voidaan puhua 1-, 2- tai 3- vaiheisesta maasulusta, joista 1- vaiheinen on yleisin. Jos monivaiheisessa maasulussa eristysviat sattuvat samassa kohdassa järjestelmää, ja johtimien välillä on yhteys muutenkin kuin maan kautta, on kyseessä maaokosulku. Tapausta, jossa kahden eri vaiheen eristysviat sattuvat eri kohdissa, nimitetään kaksoismaasuluksi. Kuvassa 2 on esitetty erityyppiset maasulkuilanteet maasta erotetussa verkossa. Keskijänniteverkon vioista 60 – 70% on maasulkuja. Nämä voidaan jakaa neljään luokkaan seuraavasti:

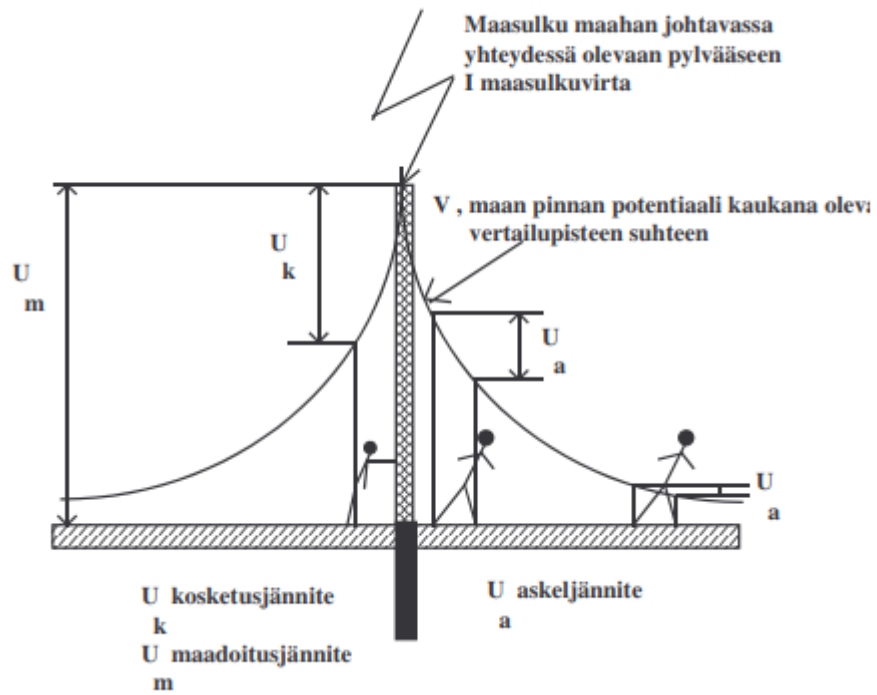
- Yksivaiheinen maasulku
- Kaksoismaasulku, jossa maasulkukohdat ovat eri paikoissa verkkoa
- Kaksivaiheinen maaokosulku
- Johdinkatkeama ja yksivaiheinen maasulku kuorman puolella /1/



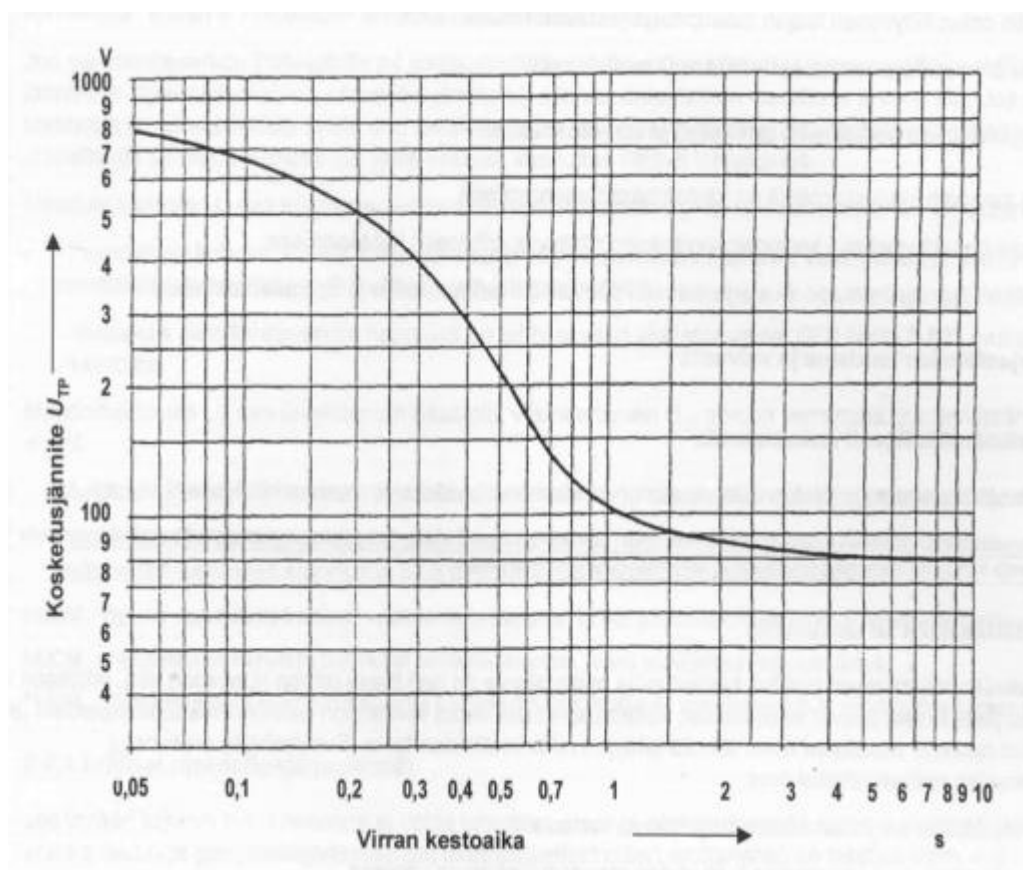
Kuva 2. Maasulkutilanteet maasta erotetussa verkossa. /1/

2.2 Maadoitusjännite

Suurjänniteasennuksia määrittelevä standardi SFS 6001 määrittelee sallittavan kosketus- ja askeljännitteen maasulun yhtäjaksoisen kestoajan funktiona. Pitkäaikaisesti sallittava kosketusjännite saa olla korkeintaan 75 V. Lyhytaikaisesti sallitaan tätä korkeampia kosketusjännitteitä, koska on varsin epätodennäköistä, että maasulkusuojuksen laukaisuajan ollessa nopea maasulkuvian aikana kosketetaan maasulkupaikkaa. Kuvassa 3 on esitetty maadoitusjännitteen muodostuminen, ja kuvassa 4 maasulussa suurin sallittava kosketusjännite. /1/



Kuva 3. Maadoitusjännitteen muodostuminen. /1/



Kuva 4. Maasulussa sallittava kosketusjännite. /1/ /7/

2.3 Jakelujärjestelmän maadoitusmenetelmät

Sähkönjakelujärjestelmän tähtipisteen käsittelytavan valinta on keskeistä taloudellisen ja luotettavan sähköenergian saannin kannalta. Tähän vaikuttavat mm. jännitetaso, verkon rakenne ja käyttötapa, sähkön laadulliset seikat, vikojen ominaispiirteet, maadoitus- ja suojalaitteiden kustannukset ja sähköturvallisuuden liittyvät määräykset ja standardit. Tähtipisteen maadoitusmenetelmät voidaan jakaa seuraavasti:

1. Maasta erotettu järjestelmä

Muuntajan tähtipiste on maasta erotettu tai se on maadoitettu suuri-impedanssisen mittaus- tai suojuslaitteen välityksellä.

2. Kompensoitu järjestelmä

Kompensoidussa, eli sammutetussa järjestelmässä, muuntajan tähtipiste on maadoitettu kompensointikuristimen (sammutuskuristimen, Petersen-kuristimen) kautta.

3. Pieni-impedanssinen maadoitus

Muuntajan tähtipiste on maadoitettu suoraan tai virtaa rajoittavan laitteen (vastuksen tai kuristimen) kautta. /1/

2.3.1 Maasta erotettu keskijänniteverkko

Maasta erotetulla verkolla tarkoitetaan verkkoa, jonka tähtipistettä ei ole kytketty maahan. Täysin symmetrisen ja terveeseen kolmivaihejärjestelmän tähtipisteen ja maan välinen jännite on nolla. Myös vaiheiden maakapasitanssien kautta kulkevien virtojen summa on tässä tapauksessa nolla. Jos jokin järjestelmän vaiheista kuitenkin joutuu eristysvian vuoksi johtavaan kosketukseen maan kanssa, pienee kyseisen vaiheen jännite maahan nähden samalla, kun muiden vaiheiden jännitteet maahan nähden kasvavat. Tällöin tähtipisteen ja maan välille syntyy ns. nollajännite. Koska syntyneen epäsymmetrian vuoksi eri vaiheiden maakapasitanssien kautta kulkevien virtojen summa olekaan enää nolla, syntyy summavirta, ns. maasulkuvirta, joka kulkee maakapasitanssien, maan, vikapaikan ja verkon yhdessä muodostamassa virtapiirissä.

Suomessa etenkin maaseutujen keskijänniteverkot (20 kV) ovat olleet aiemmin hyvin pitkälle maasta erotettuja. Nykyisin on siirrytty yhä enenevässä määrin sammutettuun verkkoon verkon kaapelointiasteen kasvun myötä. /1/

2.3.2 Kompensoitu keskijänniteverkko

Vikapaikan kautta maahan kulkeva kapasitiivinen maasulkuvirta voidaan kompensoida kytkemällä verkon kapasitanssien rinnalle, tavallisesti jonkin muuntajan tähtipisteen ja maan välille, induktanssi, jonka induktiivinen reaktanssi vastaa verkon nimellistaajuudella maakapasitanssien kapasitiivista reaktanssia. Maasulussa syntyvä nollajännite vaikuttaa sammutuskuristimen induktanssin ylitse, joka synnyttää kapasitiivisen maasulkuvirran suuruisen, mutta vastakkaismerkkisen virran, joka kumoaa vikapaikassa kulkevan kapasitiivisen maasulkuvirran.

Sähköasemalle sijoitettuna sammutuskuristin kompensoi sähköaseman syöttömuuntajan (päämuuntaja) takaisen sähköverkon. Kompensointi voidaan toteuttaa myös hajautetusti, jolloin riittävä määrä kompensointikuristimia sijoitetaan keskijänniteverkon johtolähtöjen varsille. Johdon varrelle sijoitettu kompensointikuristin on mitoitettu kyseisen keskijännitejohdon tuottaman kapasitiivisen maasulkuvirran mukaisesti riittävän suureksi. Hajautetussa kompensoinnissa verkon ylikompensoinnilta vältytään mitoittamalla kuristimet siten, että vain osa verkon kapasitiivisesta maasulkuvirrasta kompensoidaan. Keskijänniteverkon maakaapelointiasteen voimakkaan lisääntymisen vuoksi sähköasemalle sijoitetun kompensointikuristimen kapasiteetti saattaa jäädä liian pieneksi. Näissä tapauksissa joudutaan lisäämään hajautettuja, kiinteitä kompensointikuristimia verkon johtolähtöihin, jotka kompensoivat johto-osuutensa kapasitiivista maasulkuvirtaa. Tällöin puhutaan keskitetyn ja hajautetun kompensoinnin yhdistelmästä. Sammutuskuristimen induktanssia (virtaa) voidaan säätää joko portaattain käämin kierroslukua muuttamalla tai portaattomasti rautasydämen ilmaväliä säätämällä. Sähköasemalle sijoitetussa keskitetyssä kompensoinnissa sammutuskuristimen säädössä hyödynnetään automaattisäätöä ja kauko-ohjausta. /1/

Kompensoinnin ansiosta vikapaikan vikavirtavirta saadaan mahdollisimman pieneksi. Sammutuskuristimen rinnalle kytkettävää vastusta käytetään lisäämään kei-

notekoisesti jäännösvirran aktiivista komponenttia maasulkureleitä varten. Suurennettu jäännösvirta parantaa nollavirran pätökomponenttia mittaavien suojiin toimintaa erityisesti pienillä vikaresistanssin arvoilla.

Kompensoidussa verkossa verkon kapasitiivista maasulkuvirtaa kompensoidaan verkon tähtipisteeseen kytketyn kuristimen avulla. Sähköaseman 110 / 20 kV päämuuntajat ovat yleensä YNd11-kytkentäisiä, jolloin aseman 20 kV alajännitepuolella ei ole kompensointikuristimen tarvitsemää tähtipistettä. Tämän vuoksi joudutaan muodostamaan keinotekoinen tähtipiste ZN-kytkentäisellä muuntajalla, jonka tähtipisteeseen kompensointikuristin liitetään. Tätä muuntajaa kutsutaan maadoitus- tai tähtipistemuuntajaksi. /1/

3 RELESUOJAUS

3.1 Relesuojaukselle asetettavat vaatimukset

Sähköenergian toimitusketjun häiriötön toiminta on tärkeätä sähkön käyttäjille. Tämän takia sähköverkon ja sähkön tuotantolaitosten käyttövarmuus pyritään saattamaan mahdollisimman hyvälle tasolle. Tehokkaalla, tarkoituksenmukaisella ja toimintavarmalla relesuojauksella on tärkeä rooli vikaantuneen sähkönjakeluverkon osan rajaamisessa muusta verkon osasta pysyvässä viassa. Ohimenevissä vikatilanteissa on relesuojauksen palautettava sähköverkko nopeasti normaalitilanteeseen. Suojareleiden tehtävänä on tarkkailla sähkönjakeluverkon tilaa, ja vian ilmetessä ohjata katkaisijan auki, jolloin sähkönjakeluverkon viallinen osa tulee erotetuksi muusta sähköverkosta. /2/

Sähköverkon relesuojaukselle voidaan asettaa seuraavat vaatimukset:

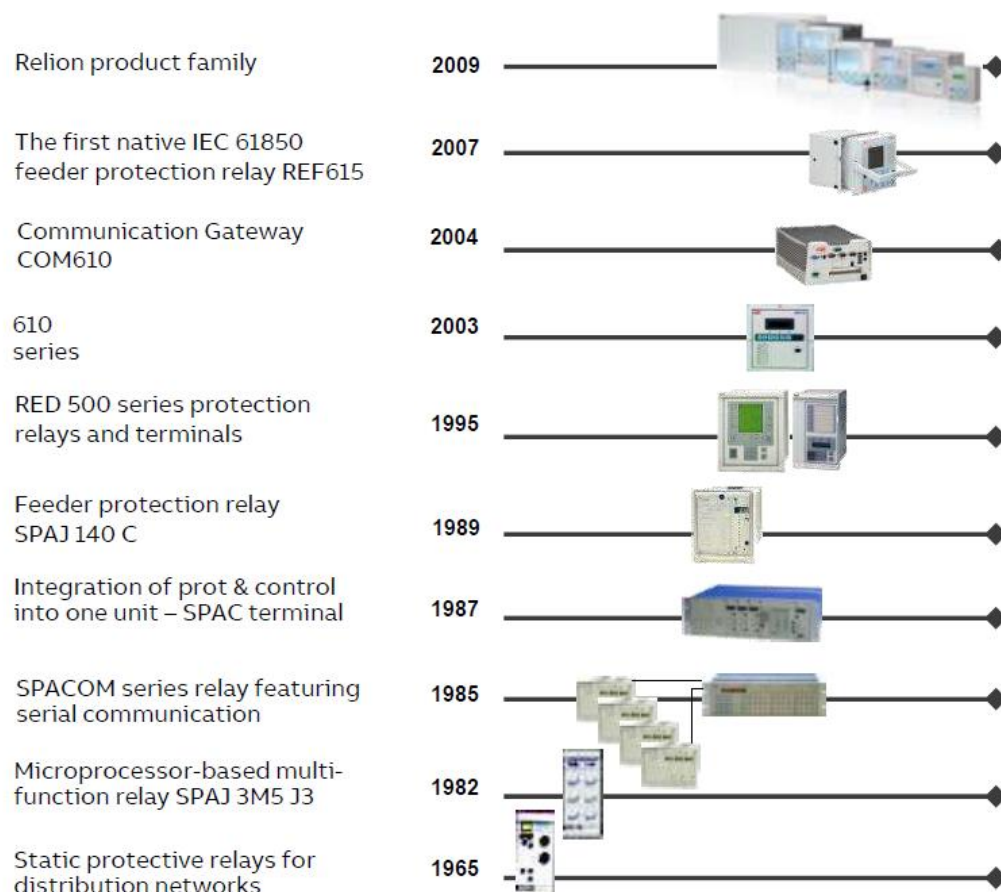
1. Suojauksen on toimittava mahdollisimman selektiivisesti.
2. Suojauksen on oltava riittävän nopea pahojen vaurioiden välttämiseksi.
3. Suojauksen on oltava riittävän herkkä.
4. Suojauksen on katettava aukottomasti koko järjestelmä.
5. Suojauksen on oltava yksinkertainen ja luotettava.
6. Suojattaville kohteille on järjestettävä riittävä varasuojaus.
7. Suojaus on voitava koestaa käytön aikana.

Suojauksen selektiivinen toiminta tulee varmistaa. Suojauksen selektiivisellä toiminnalla tarkoitetaan, että keskijänniteverkossa syntyneen vian eristämiseksi joutuu mahdollisimman pieni osa muusta verkosta eroon kytketyksi. Suojauksen selektiivisyys on absoluuttista, jos kukin suojarele toimii vain omalla suoja-alueellaan ilmenevissä vioissa. /2/

3.2 Suojareleet

Suojareleet ovat kehittyneet viimeisten vuosikymmenien aikana merkittävästi. Sähkömekaanisten ja elektronisten suojareleiden tilalle ovat tulleet numeeriset suojareleet. Parempi nimitys niille on kennoterminaali, vaikka puhekielessä usein edelleen käytetään nimeä suojarele. Numeeriset kennoterminaalit ovat mikroprosessoritekniikalla toteutettuja laitteita, jotka mahdollistavat erilaisten suojausfunktioiden hyödyntämisen sekä monipuolisen ohjelmoinnin ja tiedonsiirron. /2/

Kuvassa 5 ABB:n suojareleiden kehityskaari ensimmäisistä staattisista suojareleistä tämän hetken Relion-tuoteperheeseen.



Kuva 5. ABB suojareleiden kehitys.

3.3 Suojausfunktiot

Nykyaikaiseen numeeriseen suojareleeseen on mahdollista ohjelmoida erilaisia suojausfunktioita riippuen suojattavasta kohteesta. Varsinaisten suojausfunktioiden lisäksi mittauksille, ohjauksille, valvonnalle ja laskennalle on omat funktionsa. Taulukko 1 sisältää ABB Relion®-suojiin sisältyvät funktiot ja niiden IEC 61850-tunnukset. Työn kannalta oleelliset maasulkufunktiot on korostettu keltaisella. /1/ /4/

Taulukko 1. Relion®-funktioiden nimet ja IEC 61850-tunnus. /4/

611/615/620	
FUNKTIOT:	IEC 61850
Three-phase non-directional over current, low	PHLPTOC
Three-phase directional overcurrent, high	PHHPTOC
Three-phase directional overcurrent, instantaneous	PHIPTOC
Three-phase directional overcurrent, low	DPHLPDOC
Three-phase directional overcurrent, high	DPHHPDOC
Three-phase voltage-dependent overcurrent	PHPVOC
Three-phase thermal protection cables, transformers	T1PTTR
Three-phase thermal overload	T2PTTR
Motor load jam protection	JAMPPTOC
Loss of load supervision	LOFLPTUC
Loss of phase, undercurrent	PHPTUC
Thermal overload protection for motors	MPTTR
Non-directional earth-fault, low	EFLPTOC
Non-directional earth-fault, high	EFHPTOC
Non-directional earth-fault, instantaneous	EFIPTOC
Directional earth-fault protection, low	DEFLPDEF
Directional earth-fault protection, high	DEFHPDEF
Transient/intermittent earth-fault	INTRPTEF
Admittance-based earth-fault	EFPADM
Harmonics-based earth-fault	HAEFPTOC
Wattmetric-based earth-fault	WPWDE
Third harmonic based stator earth-fault	H3EFPSEF
Multifrequency admittance-based earth-fault	MFADPSDE

Line differential prot. with in-zone power transformer	LNPLDF
Stabilized and instantaneous diff.prot. for twowinding	TR2PTDF
Stabilized low-impedance restricted earth-fault	LREFPNDF
High-impedance based restricted earth-fault	HREFPDIF
High-impedance differential prot. Phase A	HIAPDIF
High-impedance differential prot. Phase B	HIBPDIF
High-impedance differential prot. Phase C	HICPDIF
Differential prot for machines	MPDIF
Negative-sequence overcurrent	NSPTOC
Phase discontinuity	PDNSPTOC
Phase reversal protection	PREVPTOC
Negative-sequence overcurrent prot. for machines	MNSPTOC
Three-phase overvoltage protection	PHPTOV
Three-phase undervoltage protection	PHPTUV
Residual overvoltage protection	ROVPTOV
Negative-sequence overvoltage	NSPTOV
Positive-sequence undervoltage	PSPTUV
Overexcitation protection	OEPVPH
Low-voltage ride-through protection	LVRTPTUV
Voltage vector shift protection	VVSPAM
Frequency protection	FRPFRQ
Load-shedding and restoration	LSHDPFRQ
Out-of-step protection	OOSRPSB
Three-phase underexcitation protection	UEXPDIS
Three-phase under impedance protection	UZPDIS
Underpower protection	DUPPDPR
Reverse power/directional overpower	DOPPDPR
Directional reactive power undervoltage	DQPTUV
Arc protection	ARCSARC
Motor start-up supervision	STTPMSU
Multipurpose protection	MAPGAPC
Three-phase overload for capacitors	COLPTOC
Current unbalance for capacitors	CUBPTOC
Three-phase current unbalance for capacitors	HCUBPTOC
Capacitor switching resonance	SRCPTOC

PROTECTION RELATED FUNCTIONS	IEC 61850
Three-phase inrush detector	INRPHAR
Circuit breaker failure protection	CCBRBRF
Master trip	TRPPTRC
High-impedance fault detection	PHIZ
Binary signal transfer	BSTGGIO
Emergency start-up	ESMGAPC
Fault locator	SCEFRFLO
Switch onto fault	CBPSOF
Trip circuit supervision	TCSSCBR
Current circuit supervision	CCSPVC
Current tr superv. High-impedance phase A	HZCCASPVC
Current tr superv. High-impedance phase B	HZCCBSPVC
Current tr superv. High-impedance phase C	HZCCCSPVC
Autoreclose	DARREC
Protection communication supervision	PCSITPC
Fuse failure supervision	SEQSPVC

3.4 Suojareleiden koestus

Sähköaseman suojareleet on koestettava määräajoin verkkoyhtiön huolto-ohjelmassa määritellyn koestusvälin mukaisesti. Sähköturvallisuusnormit määrittävät koestusvälin. Vanhemman sukupolven suojareleillä koestusvälinä käytettiin yleisesti kolmea vuotta. Tietyissä tapauksissa koestusväli saattoi olla tätäkin lyhempi. Nykyaikaisilla kennoterminalireleillä on mahdollista käyttää pidempää koestusväliä mm. releiden itsevalvontaominaisuuden (IRF) ansiosta. Relekoestusta varten koestaja tarvitsee seuraavat lähtötiedot:

- Suojausten asetteluarvot
- Releen konfiguraatio kaaviona tai tiedostona
- Koestettavan kentän piirikaaviot ja johdotustaulukot
- Edellisen koestuksen koestuspöytäkirjan

Suojausten koestus voidaan suorittaa joko ensiökoestuksena (primäärikoestus) tai toisiokoestuksena (sekundäärikoestus). Koska esim. sähköaseman suojausten koetuksessa on tärkeää huomioida koko suojausketjun toiminta ensiöpiirin mittamuuntajalta kennoterminaaliin ja katkaisijalle asti, olisi relekoestuksen sijasta parempi suosia käsitettä suojausten koestus.

3.4.1 Ensiökoestus

Käsite ensiökoestus tarkoittaa ylivirtasuojauksen koestuksen tapauksessa sitä, että koestuslaitteella syötetään suojausasettelujen mukainen virta virtamuuntajien ensiövirtapiiriin. Ylivirtasuojan annetaan tehdä laukaisu katkaisijalle saakka mukaan lukien PJK- ja AJK-kytkennät. Koestuksen yhteydessä mitataan katkaisijasta toiminta-ajat. Vastaavalla tavalla voidaan koestaa maasulkusuojat ja muut releet. Koetuslaitteilla ei aina päästä riittävän suurin koestusvirtoihin eritoten hetkellislaukaisuja koestettaessa. Sähköaseman jännitemuuntajien koetuksessa ei ensiökoestusta pystytä suorittamaan johtuen jännitemuuntajan suuresta ensiöjännitteestä (20 kV). /2/

3.4.2 Toisiokoestus

Toisiokoestus tehdään syöttämällä koestusvirta riviliittimiltä suojarileen mittauspiiriin. Toisiokoestus voidaan tehdä, vaikka kenttä olisi käytössä. Laukaisupiiri on tällöin avattava. Tällöin laukaisupiiriä ja siten koko suojausketjua ei kuitenkaan tule koestettua kaiken kattavasti. Suositeltava tapa on ottaa kyseinen kenttä pois käytöstä, jolloin laukaisut voidaan ajaa katkaisijalle asti. Toisiokoetuksessa ei tarvita suuria koestusvirtoja, joten koestamisessa voidaan käyttää pienempiä koetuslaitteita verrattuna ensiökoestukseen.

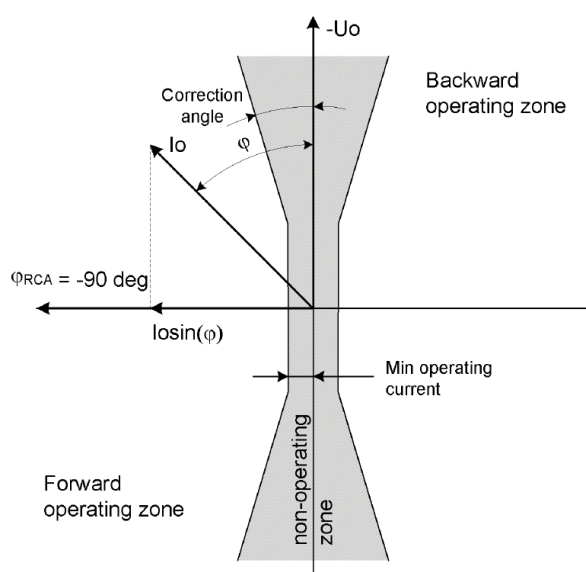
4 KOMPENSOIDUN VERKON MAASULKUSUOJAUS

Keskijänniteverkon syöttöpisteeseen kytkettävällä kompensointikuristimella voidaan maasulkuvirtaa pienentää huomattavasti. Mikäli kuristimen induktiivinen reaktanssi on yhtä suuri kuin syötettävän verkon maakapasitanssien kapasitiivinen reaktanssi, kulkee vikapaikassa ainoastaan häviöiden aiheuttama jäännösvirta. Normaalisti kyseinen virta on niin pieni, että maasulku sammuu itsestään aiheuttamatta laukaisevaa vikaa johtolähdölle. Vikavirran pienentyessä myös maasulusta aiheutunut maadoitusjännite pienenee. Maasulkusuojaus voidaan toteuttaa joko hälyttävänä tai laukaisevana suojauksena. Kompensoinnin ansiosta jopa hälyttävä maasulkusuojaus on joissain tapauksissa mahdollista, jolloin vikapaikka voidaan paikallistaa, valmistautua korjaustöihin sekä rajata vikapaikka muusta verkosta ennen keskeytystä. Käytännössä hälyttävän maasulkusuojauksen käyttäminen on mahdollista rengasmaisissa kaapeliverkoissa, joissa maadoitusjännitteet ovat hyvin pienet. Tällaisissa verkoissa muuntamot ovat kauko-ohjattuja sekä varustettu vikaindikoitilaitteilla. Kompensoidussa keskijänniteverkossa selektiivinen maasulkusuojaus on mahdollista toteuttaa ainoastaan suunnatulla maasulkusuojauksella. /2/

4.1 Suunnattu maasulkusuojaus

Suunnatussa maasulkusuojassa nollavirran I_0 lisäksi mitataan nollajännite U_0 , jolloin voidaan päätellä vikavirran kulkusuunta. Verkon tähtipisteen jännite on teoriassa nolla, kun verkossa ei ole maasulkuvikaa. Maasulkuviassa nollajännite kasvaa, jolloin viallisen johdon suojarele havahtuu ja laukaisee lähdön. Nollajännitteen mittausta toteutetaan tyypillisesti vaihejännitemittamuuntajien avokolmiokäämityksellä. Verkon tähtipisteen ja maan väliin sijoitettavalla mittamuuntajalla voidaan nollajännite myös mitata. Nollavirta mitataan tyypillisesti kaapelivirtamuuntajalla. Suunnatun maasulkusuojauksen asetteluissa tulee huomioida I_0 virtamuuntajan mittaustarkkuus sekä vaihekulman tarkkuus virhetoimintojen välttämiseksi. /1//2/

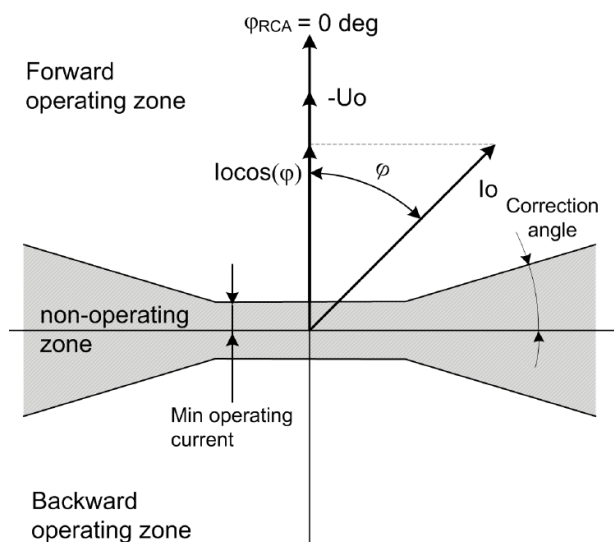
Suunnatun maasulkusuojausns. peruskulma (φ_{RCA}) valitaan sähköverkon maadoitustavan mukaan. Peruskulma maasta erotetussa verkossa on -90° (johtuen verkon kapasitanssin muodostamasta vaihesiirrosta, jonka kautta yhteys verkon tähtipisteeseen muodostuu kapasitiivisesti), maasulkuvirran ollessa kapasitiivista. Galvaanista yhteyttä ei ole, jolloin maasulkuvirta jää avojohdoilla vikatilanteessa pieneksi. Maasta erotetussa verkossa suunnatun maasulkusuojausns. toimintasuure on nollavirran reaktiivinen komponentti, ns. $I_0\text{SIN}$ -komponentti, vrt. kuva 6. /1//2/



Kuva 6. $I_0\text{SIN}$ -toimintasektori. /4/

Keskijänniteverkkojen kaapelointiasteen kasvu on kasvattanut myös sähköasemien kokonaismaasulkuvirtoja. Johtolähdöissä muodostuvaa kapasitiivista maasulkuvirtaa kompensoidaan verkon tähtipisteen ja maan välille kytkettävällä kompensointikuristimella. Nykyaikainen sammutuskela eli kompensointikela on varustettu automaattisella kelan säätäjällä, jolloin kelan virta säätyy automaattisesti verkon topologiamuutosten mukana. Seiverkoilla kelan säätäjälle määrätty kompensointiaste pitää verkon hieman alikompensoituna. Kela on induktanssi, jolla verkon kapasitanssi kompensoidaan säätämällä kela lähelle resonanssitaajuutta.

Resonanssissa maasulkuvirran kulma on 0° , joka valitaan kompensoidussa verkossa suunnatun maasulkusuojauksen peruskulmaksi (φ_{RCA}). Kompensoidussa verkossa suunnatun maasulkusuojauksen toimintasuure on nollavirran pätökomponentti, ns. $I_0\cos$ -komponentti, vrt. kuva 7. /1//2/



Kuva 7. $I_0\cos$ -toimintasektori. /4/

4.2 Katkeileva maasulku

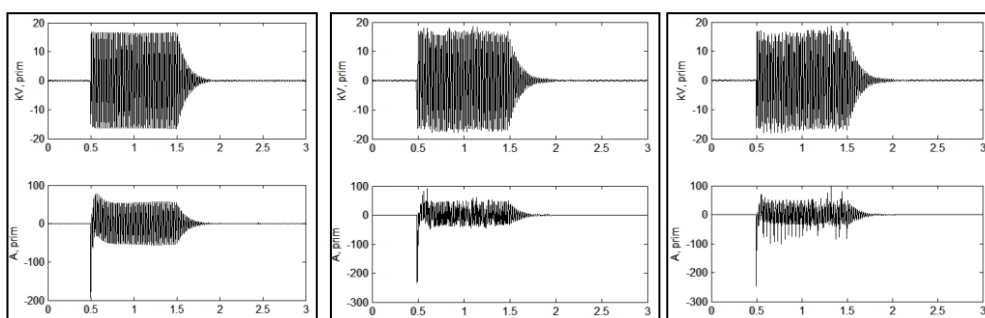
Katkeileva maasulku on vikatilanne, jossa maasulku ilmenee hetkellisinä virtapiikkeinä. Perinteinen suunnattu maasulkusuoja palautuu piikin jälkeen, eikä näin ollen reagoi luotettavasti katkeilevaan maasulkuvikaan. Katkeilevat maasulkuviat esiintyvät usein maakaapeleissa, joiden käyttö on viime aikoina lisääntynyt huomattavasti. ABB Relion[®]-suojiin katkeilevan maasulun suojausfunktion IEC 61850-tunnus on INTRPTEF, joka tulee sanoista "Intermittent earth fault protection". Katkeilevan maasulun suojausfunktio suojaa sekä pysyvissä että hetkellisissä maasulkuvikatilanteissa. Suojausfunktio käyttää maasulun tunnistamiseen U_0 ja I_0 tietoa yhdistettynä virtapiikin tietoon. Suojausfunktioon voidaan valita joko katkeileva tai hetkellistoiminto. Katkeileva toiminto tunnistaa virtapurkauksen aiheuttamat

virtapiikit laskien piikkien määrän asetellussa ajassa samalla kun nolajännite ylittää asetteluarvon. Hetkellistoiminnossa toimintakriteerinä on yksi virtapiikki (vian alussa) sekä nolajännitteen asetteluarvon ylittyminen. /4/

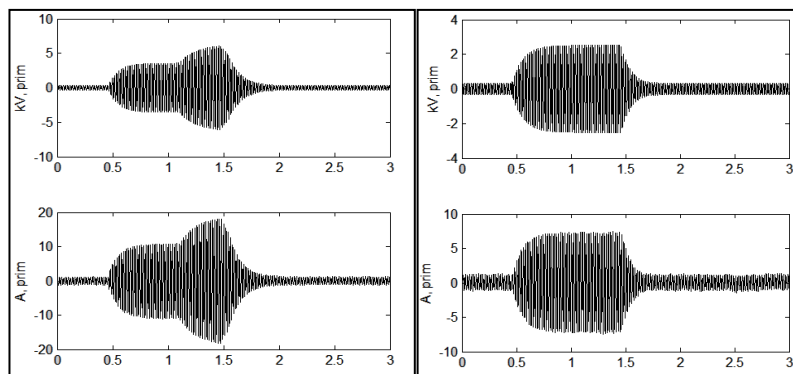
4.3 Monitaajuusadmittanssipohjainen MFA-maasulkusuojaus

Monitaajuusadmittanssipohjainen MFADPSDE-maasulkusuojaus on käytössä uusimmissa Relion®-suojareleissä. /4/ Se suojaa kaikissa maasulun vikatyypeissä, eikä sen lisäksi tarvitse aktivoida muita maasulkusuojia. Tämän lisäksi sen toimintavarmuus on parempi kuin perinteisten maasulkusuojien, jotka voivat tietyissä tilanteissa tehdä virhelaukaisuja. Myös katkeileva suojaus toimii tarkemmalla laskentametodilla. Perustaajuuden lisäksi monitaajuusadmittanssisuoja mittaa yliaaltoja järjestysluvusta 2, 3, 5, 7, 9. /3/ /6/

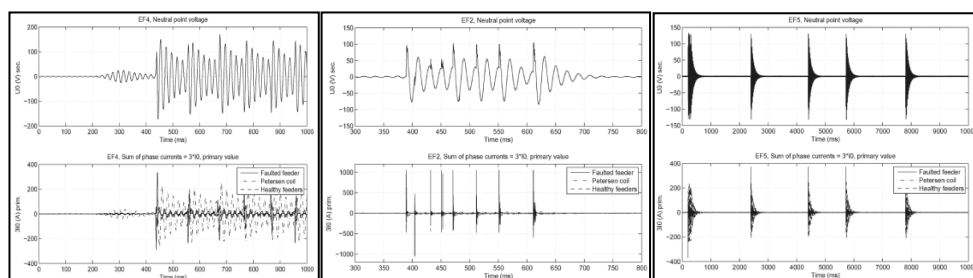
Kuvissa 8 – 11 esitellään maasulun erilaiset tilanteet, joita aikaisemmin ei voinut suojata yhdellä suojaustoiminnolla. Tällä suojausfunktiolla voidaan suojata kaikki erilaiset maasulkuviat. /4/



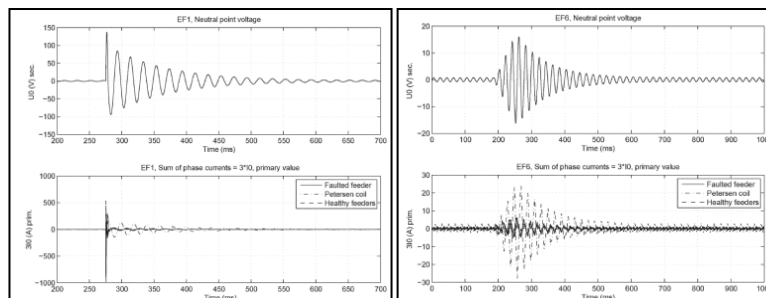
Kuva 8. Jäykän maasulun käyrämuotoja.



Kuva 9. Suuri-impedanssisen maasulkuvian käyrämuotoja.



Kuva 10. Katkeilevan maasulun käyrämuotoja.



Kuva 11. Ohimenevän maasulun käyrämuotoja.

Kaapelivirtamuuntajaksi suositellaan tarkkaa kaapelivirtamuuntajaa, jossa kulman mittausvirhe on mahdollisimman pieni. Nollajännitteen mittaamiseen suositellaan avokolmiokäämitystä. Katkeilevan suojan laskurisuositus on 3, jota MFADPSDE-suojassa käytetään erottelemaan katkeileva maasulku, ei-katkeilevista maasuluista. Suositeltu palautumisviive tulisi olla vähintään 300 ms. Suojan toimintasuunta voidaan asettaa samalla tavalla kuin perinteisissä suunnatuissa maasulkuosuoissa. MFADPSDE-suojan laukaisusektori on ns. laajennettu, eli se kattaa sekä maasta erotetun (IoSIN) että kompensoidun verkon (IoCOS). Jos verkko voi olla

joissain tilanteissa sammutettu ja joskus taas erotettu, tällöin toimintamoodi tulee asetella adaptiiviseksi. Asettelussa huomioitavaa ovat nollajännitejänniteasettelu, joka asetellaan suurimman resonanssiarvon yläpuolelle. Pienin toimintavirta perustuu rinnakkaisvastuksen virtaan. Kippikulman (tilt angle) asettelulla huomioidaan nollajännitteen ja nollavirran kulmavirhettä. Tyypillinen asettelu on välillä 5 – 10 astetta. /3/

5 KOESTUS

5.1 Koestettu sähköasema

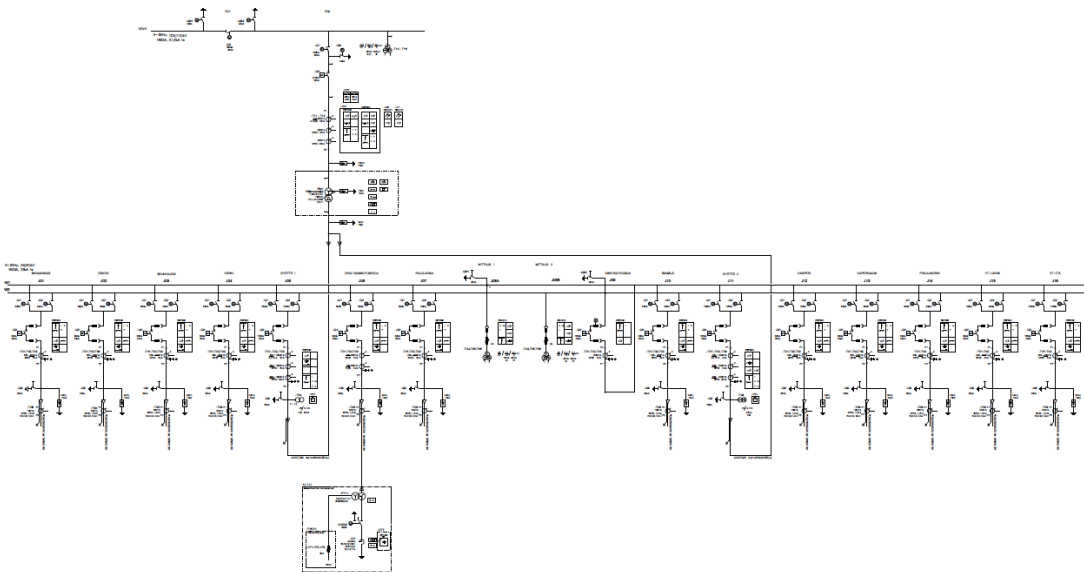
Seiverkot Oy:n rakennuttama ja ABB:n toteuttama Kärmeskydön sähköasema sijaitsee valtatie 19 Seinäjoen itäisen ohikulkutien varrella. Tarve uuden sähköaseman rakennuttamiselle tuli uuden ohikulkutien myötä. Tulevina vuosina ohikulkutien varteen sijoittuu liike-elämän ja teollisuuden toimijoita, ja tämä luonnollisesti edellyttää riittävää ja luotettavaa sähköenergian toimitusketjua. Sähköenergian toimitusvarmuus parani myös koko kaupungin alueella, koska uudella sähköasemalla voidaan korvata muita jo olemassa olevia asemia niiden huolto- ja kunnossapitotöiden aikana. Seuraavan sivun kuva 12 esittää Kärmeskydön sähköaseman lintuperspektiivistä. Kuvassa 13 on Kärmeskydön sähköaseman pääkaavio.

Kärmeskydön sähköasema lyhyesti:

- 1 kpl päämuuntaja 16 MVA (varaus toiselle päämuuntajalle)
- 2 kpl 20 kV syöttökennoja
- 11 kpl 20 kV johtolähtöjä
- Maasulun kompensointikuristin
- Trench EFC 50 maasulkuvirran kompensointisäätäjä
- REF 630 kennoterminaalit



Kuva 12. Ilmakuva Kärmeskydön sähköasemasta.



Kuva 13. Kärmeskydön sähköaseman pääkaavio.

Kärmeskydön sähköaseman 20 kV kojeisto sisältää 16 kpl kenttää. Kaikissa lähtökentissä kennoterminaalina on ABB REF630 v1.3. Maasulkusuojausten ensisijaisena suojausfunktiona käytössä on monitaajuusadmittanssisuojaus (MFADPSDE). Kuvassa 14 näkymä 20 kV kojeistotilasta.



Kuva 14. Kärmeskydön sähköaseman 20 kV kojeisto.

5.2 Koestusohjelman määrittely

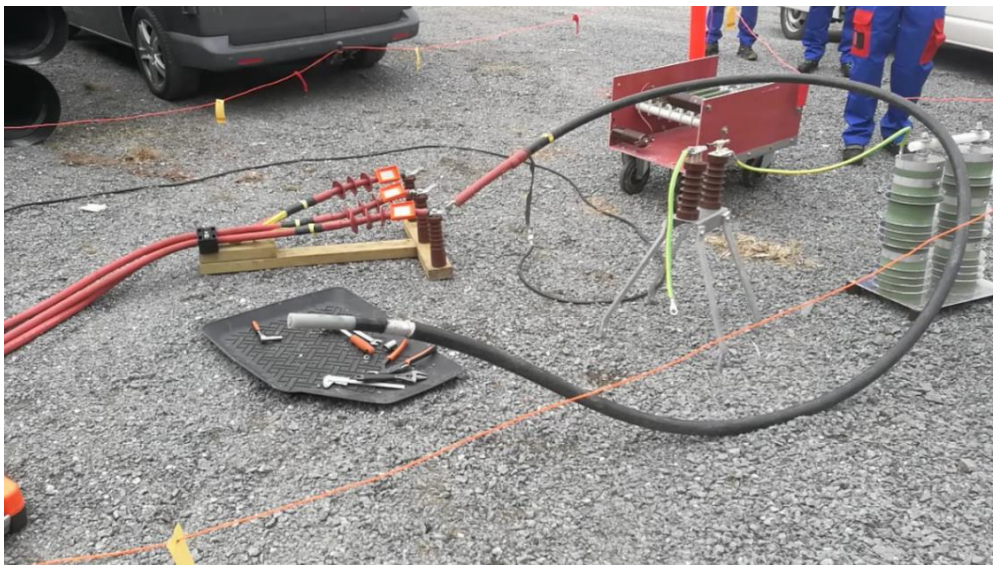
Aseman maasulkukokeen koestusohjelma määriteltiin seuraavalla tavalla:

- Kaksi vikapaikkaa (kaapeli- ja avojohtolähtö)
- Kaikki viat ajettiin aseman suojauksille asti
- Jatkuva ja katkeileva vikatyyppe
- Vikaresistanssi: 0, 3, 5, 10 (20) kohm.
- Kompensointiaste: -2 A, -22 A, +18 A sekä kompensoimaton

Vikapaikat sijaitsivat kahdessa eri johtolähdössä. Vikapaikkaan sijoitettiin 20 kV kojeistolla varustettu vikakärri, johon kuuluvien varusteiden kautta oikeat ja erityyppiset maasulkuviat voitiin tehdä. Kuvissa 15 ja 16 vikakärri ja maasulkuvikojen tekemiseen tarvittavat varusteet.



Kuva 15. Vikakärry

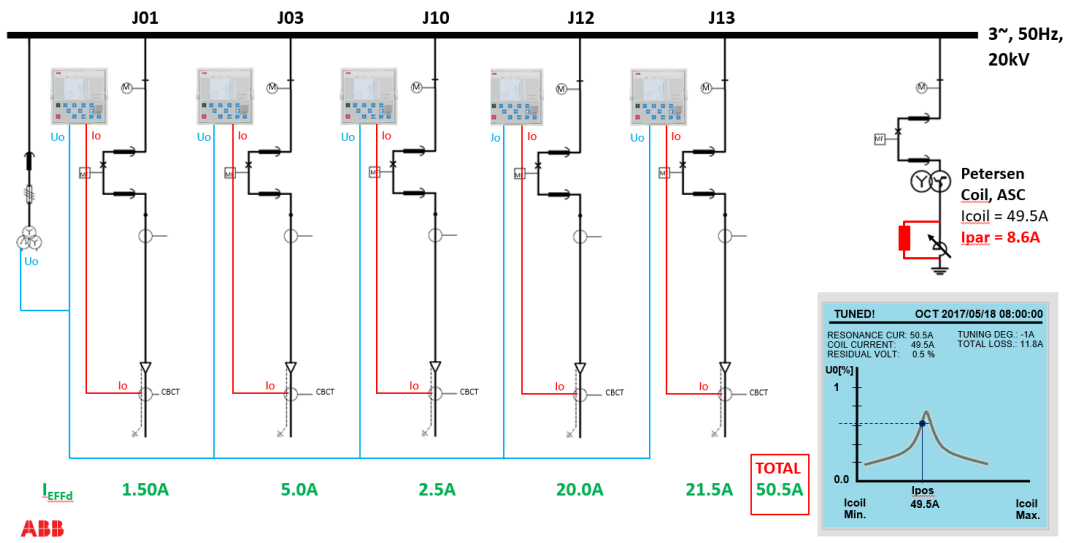


Kuva 16. Vikakärryn varusteet

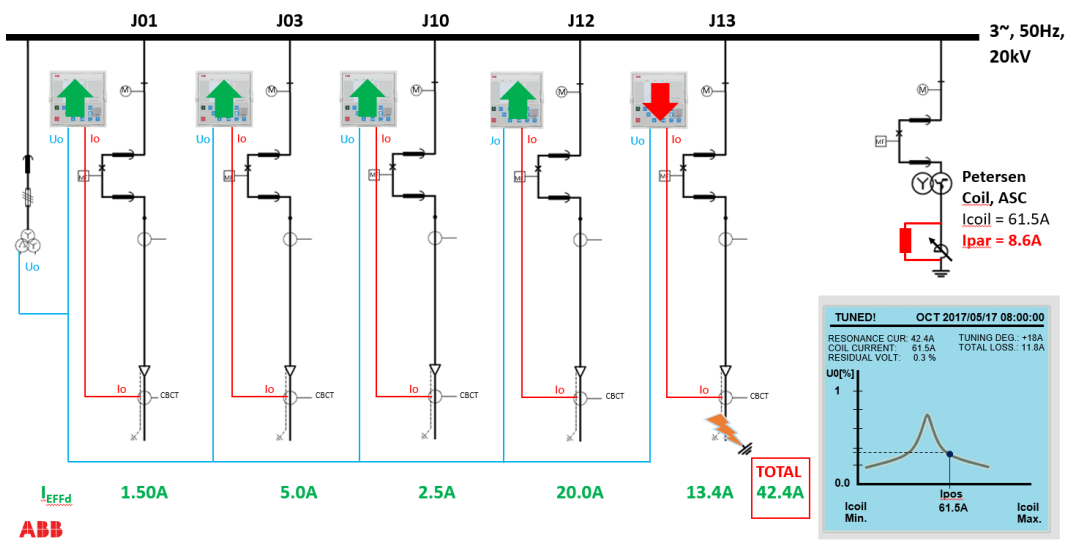


Kuva 17. Katkeileva maasulku testikaapelissa.

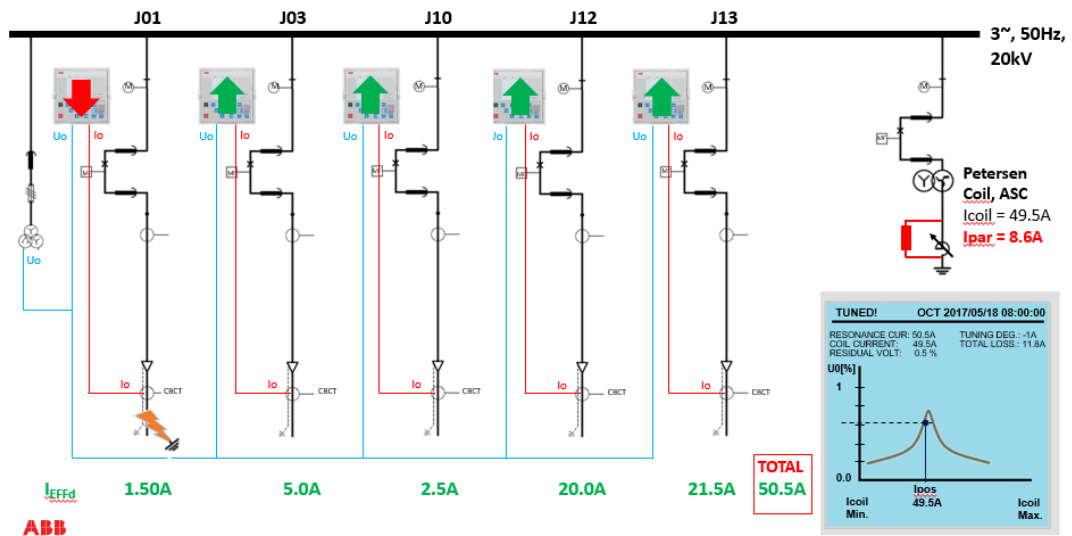
Koestuksen aikana seurattiin sekä viallisten- että terveiden lähtöjen toimintaa eri vikatyypeillä. Ensimmäisenä koestuspäivänä vikapaikka sijaitti maakaapelilähdössä KÄR J13. Toisena koestuspäivänä vikapaikka siirrettiin avojohtolähtöön KÄR J01. Kuvassa 17 on esimerkki testikaapelin valokaaresta katkeilevan maasulkuvian testauksen aikana. Seuraavan sivun kuvassa 18 on esitetty tarkasteltavien johtolähtöjen maasulkuvirtojen suuruudet verkon normaalissa käyttötilanteessa. Kuvissa 19 ja 20 on esitetty virtojen käyttäytyminen koestustilanteissa.



Kuva 18. Normaali käyttötilanne.



Kuva 19. Vika lähdessä J13.



Kuva 20. Vika lähdessä J01.

Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty koestusten eteneminen koestuspäivinä. Ensin koestettiin suorat maasulut kaikilla kolmella vaiheella. Sen jälkeen pieni- ja suuriohmiset maasulut ja katkeilevat maasulut. Näiden jälkeen kompensointikelan kompensointiaste muutettiin ylikompensoiduksi, ja koestettiin suora ja pieniohmisen maasulku. Tämän jälkeen kompensointiaste palautettiin normaaliksi, ja koestettiin kompensointikelan lisävastuslogiikan toiminta erilaisilla vikatyypeillä.

/3/

Taulukko 2. Ensimmäisen päivän koestusohjelma.

Test	Fault type	Feeder	Fault Location	Fault time (s) (flt trailer)	Phase	Fault resistance (ohm)	Compensation degree (controlled in SS)	Network configuration
Fault location in the test feeder #1, J13 Kapernaumi, 1st day (Wed)								
Vikalähdön toiminta-aika 0.6 -> 1 s !!!!!								
1	solid	J13	M104	0,3	L1E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
2	solid	J13	M104	1,5	L1E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
3	solid	J13	M104	1,5	L2E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
4	solid	J13	M104	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
5	low-ohmic	J13	M104	1,5	L1E	3000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
6	low-ohmic	J13	M104	1,5	L1E	5000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
7	high-ohmic	J13	M104	1,5	L1E	10000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
8	high-ohmic	J13	M104	30	L1E	20000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
9	high-ohmic	J13	M104	30	L1E	20000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
10	high-ohmic	J13	M104	30	L1E	20000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
11	high-ohmic	J13	M104	30	L1E	20000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
12	high-ohmic	J13	M104	60	L1E	20000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
13	intermittent	J13	M104	1,5	L1E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
14	intermittent	J13	M104	1,5	L1E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
15	intermittent	J13	M104	1,5	L1E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
16	intermittent	J13	M104	1,5	L1E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
17	intermittent	J13	M104	1,5	L1E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
18	intermittent	J13	M104	1,5	L1E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
i) Change of compensation degree to overcompensated								
19	solid	J13	M104	1,5	L2E	0	overcomp (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
20	low-ohmic	J13	M104	1,5	L2E	5000	overcomp (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1
ii) Change of compensation degree back to normal								
iii) Activate parallel resistor logic I-O-I								
21	solid	J13	M104	2	L1E	0	normal (IR=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1
22	solid	J13	M104	2	L1E	0	normal (IR=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1
23	low-ohmic	J13	M104	2	L1E	5000	normal (IR=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1
24	intermittent	J13	M104	2	L1E	0	normal (IR=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1
25	intermittent	J13	M104	2	L1E	0	normal (IR=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1
26	solid	J13	M104	0,5	L1E	0	N/A	acc. to test fdr #1

Taulukko 3. Toisen päivän koestusohjelma.

Test	Fault type	Feeder	Fault Location	Fault time (s) (flt trailer)	Phase	Fault resistance (ohm)	Compensation degree (controlled in SS)	Network configuration
Fault location in the test feeder #2, J01 Sikakangas, 2nd day (Thu)								
Vikalähdön toiminta-aika 0.6 -> 1 s !!!!!								
27	solid	J01	M357	1,5	L1E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
28	solid	J01	M357	1,5	L2E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
29	solid	J01	M357	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
30	low-ohmic	J01	M357	1,5	L3E	5000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
31	high-ohmic	J01	M357	1,5	L3E	10000	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
32	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
33	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
34	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
35	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
36	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
37	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
i) Change of compensation degree to overcompensated								
38	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	overcomp (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
39	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	overcomp (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
ii) Change of compensation degree to undercompensated								
40	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	undercomp (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
41	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	undercomp (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
42	solid	J01	M357	1,5	L3E	0	undercomp (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
43	low-ohmic	J01	M357	1,5	L3E	5000	undercomp (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
iii) Change of compensation degree back to normal								
iv) Activate parallel resistor logic O-I-O								
44	solid	J01	M357	2	L2E	0	normal (IR=8.4A, switching O-I-O)	acc. to test fdr #2
45	low-ohmic	J01	M357	2	L2E	5000	normal (IR=8.4A, switching O-I-O)	acc. to test fdr #2
46	intermittent	J01	M357	2	L2E	0	normal (IR=8.4A, switching O-I-O)	acc. to test fdr #2
47	intermittent	J01	M357	2	L2E	0	normal (IR=8.4A, switching O-I-O)	acc. to test fdr #2
48	intermittent	J01	M357	2	L2E	0	normal (IR=8.4A, switching O-I-O)	acc. to test fdr #2
49	intermittent	J01	M357	2	L2E	0	normal (IR=8.4A, switching O-I-O)	acc. to test fdr #2
v) Change of compensation degree back to normal, resistor logic OFF								
50	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
51	intermittent	J01	M357	1,5	L3E	0	normal (IR=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #2
52	solid	J01	M357	0,5	L2E	0	N/A	acc. to test fdr #2

Monitaajuusadmittanssisuojan (MFADPSDE) asettelut kokeen aikana

- Lähdön maasulun pääsuoja, kompensoitu verkko

Ennen kokeita tehdyt asettelumuutokset:

- Tilt angle 5 Deg
- Voltage start value 0,07 pu (tavoiteherkkyys RF=10k)
- Operate delay time 1,00 s.

Kokeiden jälkeiset, normaalin käytön aikaiset asetellut:

- Operate delay time 0,6 s
- Muut asetellut kuten kokeen aikana virta-asettelun 1pu = 100A, jännite-asettelun 1pu = 20000/sqrt(3)V):

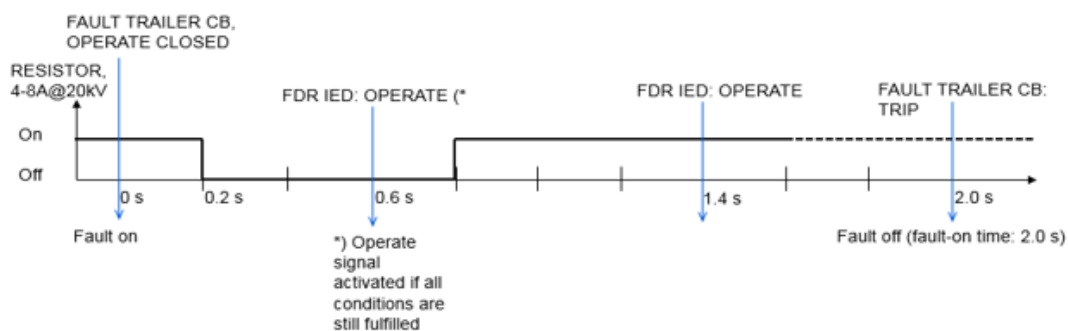
Kuvassa 21 on kuvakaappaus REF 630 MFADPSDE-suojauslohkon asetteluista.

J13_REF630_FEEDER - Parameter Setting			
Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit
MFADPSDE: 1			
Operation		On	
Base value Sel Res		Residual Grp 3	
Operation mode		General EF	
Min Fwd Op current		0.03	pu
Min Rev Op current		0.03	pu
Tilt angle		5.0	Deg
Peak counter limit		3	
Reset delay time		0.500	s
Start delay time		0.030	s
Pol reversal		No	
✓ Setting Group1		<input checked="" type="checkbox"/>	
✓ Directional mode		Forward	
✓ Operating quantity		Adaptive	
✓ Voltage start value		0.07	pu
✓ Operate delay time		1.00	s

Kuva 21. Lähdön J13. MFADPSDE asetellut kokeen aikana.

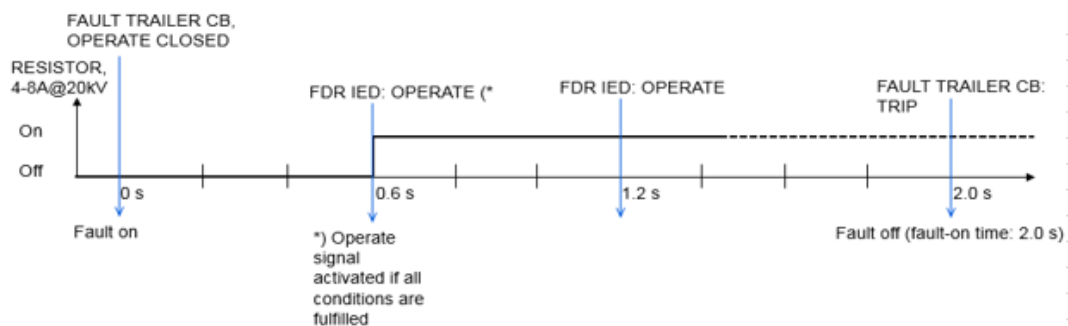
Maasulkukokeen aikana koestettiin myös kompensointikelan lisävastuksen kytkentälogiikoita ja niiden toimintaa. Kuvissa 22 ja 23 on esitetty vastuslogiikkojen toiminnot kokeen aikana.

I – 0 - I



Kuva 22. Kompensointikelan lisävastuksen I – 0 – I vastuslogiikka kokeen aikana.

0 – I - 0



Kuva 23. Kompensointikelan lisävastuksen 0 – I – 0 vastuslogiikka kokeen aikana.

Kokeiden aikana REF630 kennotermiinalien suojauskonfiguraatiossa otettiin käyttöön myös perinteinen suunnattu maasulkusuoja, DEFLPDEF, seuraavilla asetuksilla (virta-asettelun 1pu = 100A, jänniteasettelun 1pu = 20000/sqrt(3)V):

- Correction angle: 5 Deg.

- Min operate current: 0.01 pu (1A)

- Reset delay time: 0.04 s
- Start value: 0.01 pu (1A)
- Voltage start value: 0.07 pu (tavoiteherkkyys: RF=10k)
- Operate delay time: 2.00 s

DEFLPD toimi kokeiden aikana vaihtoehtoisena lähdön maasulun pääsuojana. Tämä mahdollisti perinteisen nollavirtaperusteisen ja uuden monitaajuusadmittanssipohjaisen suunnatun maasulkusuojan toiminnan vertailun erilaisissa maasulkuvioissa. DEFLPDEF:n laukaisuviive aseteltiin pidemmäksi kuin kokeiden vikaaika, jolloin DEFLPDEF-suojalta saatiin kokeissa ainoastaan havahtuminen (ei laukaisua). MFADPSDE-suoja aseteltiin siten että kokeiden aikana sen tuli tehdä sekä havahtuminen että laukaisu, asetellussa toiminta-ajassa (1.0sek).

5.3 Kokeen tulokset

Maasulkukokeen aikana havaittiin, että MFADPSDE monitaajuusadmittanssisuojaus toimi kaikilla koestetuilla vikatyypeillä, eikä aseman terveiden lähtöjen suojauksissa ilmennyt virheellisiä toimintoja. MFADPSDE toimi asetellussa toiminta-ajassa riippumatta vikatyypistä, mukaan lukien katkeilevat maasulkuviat. MFADPSDE toimi myös selektiivisesti kaikissa kokeissa pois kytkien viallisen lähdön. Terveillä lähdöillä ei havaittu yhtään virheellistä havahtumaa, ei edes katkeilevien vikojen aikana. MFADPSDE:lle saavutettu herkkyys oli 10 000 ohm, yhdessä kokeessa nol-lajännitteen havahtumisarvo laskettiin 3%:iin, joka mahdollisti jopa 20 000 ohm maasulkuvian havaitsemisen. Toisaalta perinteisellä maasulkusuojalla, DEFLPDEF, havaittiin seuraavia puutteita sen toiminnassa:

- epävarmaa havahtumista katkeilevan vian aikana viallisella lähdöllä, ts. havahtuminen ei pysynyt päällä, tai se myöhästyi katkeilevan vian aikana. Tämä on selkeä riski viallisen lähdön selektiiviselle poiskytkennälle asetellussa toiminta-ajassa.

- epäselektiivistä havahtumista katkeilevan vian aikana terveillä lähdoillä, joka on riski terveen lähdon virheelliseen poiskytkentään
- selkeästi suurempaa riippuvuutta kelan rinnakkaisvastuksen tuottamaan pätövirtaan. Tämä tuli ilmi kokeissa, joissa kelan rinnakkaisvastusta ohjattiin päälle/pois vian aikana. Usein DEFLPDEF:n havahtuminen seurasi rinnakkaisvastuksen kiinnioloa.
- Yhdessä kokeessa DEFLPDEF:n herkkyys ei riittänyt suojan havahtumiseen vikavastuksen ollessa 5000 ohm.

Taulukoissa 4, 5, 6 ja 7 on esitetty yhteenvetona molempien koestuspäivien koestusohjelmien taulukot täydennettynä koestustuloksilla. Suuriohmisissa vioissa 10 000 ohmin maasulkuviat pystyttiin vielä havainnoimaan. Tätä voidaan pitää hyvänä suojauksen herkkyytenä. MFA-maasulkusuojaus toimi virheettömästi niin suorissa, suuriohmisissa kuin katkeilevissakin maasulkuvioissa. Terveissä lähdoissä ei tapahtunut virhelaukaisuja. Katkeilevan maasulun INTRPTEF-suojausfunktiota käytetään Kärmeskydön sähköaseman johtolähdöissä kaapelipäätesuojaukseen. MFADPSDE-funktion havahtuminen lukitsee INTRPTEF-suojauslohkon, jolloin kaapelipäätesuojaus ei toimi maasulkuvian ollessa johtolähdöllä. Tämän vuoksi INTRPTEF-suojausfunktion toiminta ei ollut mukana maasulkukokeessa. /3/

Taulukko 4. Ensimmäisen koestuspäivän toteutus.

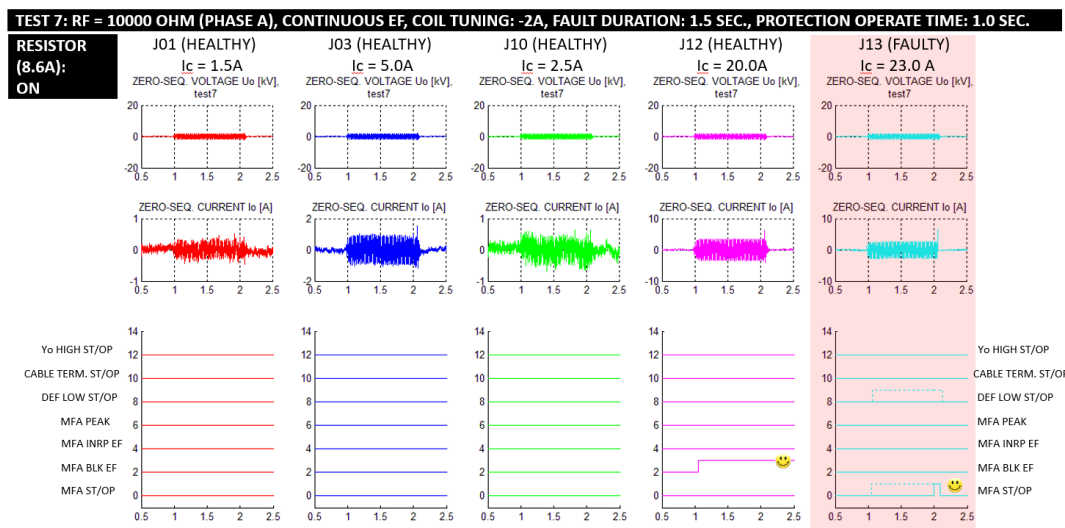
* Test feeder #2: J01 Sikakangas
 * All faults are tripped by the actual feeder protection at the primary substation (fault-on times at the fault trailer selected suitably longer than the set operate times in feeder IEDs)
 * Network configuration changes according to the test/faulty feeder
 * Tests with other fault resistance values may be added depending on the results and schedule
 * Each individual test case can be repeated if required, especially restriking faults
 * Tested compensation degrees: --22A (undercompensation), -2A ('normal' compensation), --+18A (overcompensation)

Test	Fault type	Feeder	Fault Location	Fault time (s)	Phase	Fault resistance (ohm)	Compensation degree (controlled in SS)	Network configuration	Purpose/Notes
Fault location in the test feeder #1, J13 Kapernaumi, 1st day (Wed)									
Vikalahdon toiminta-aika 0,6 s -> 1 s !!!!									
1	solid	J13	M 104	0,3	L1E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Check of measurement wiring and devices, pre-test
2	solid	J13	M 104	1,5	L1E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (IED)
3	solid	J13	M 104	1,5	L2E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (IED)
4	solid	J13	M 104	1,5	L3E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (IED)
5	low-ohmic	J13	M 104	1,5	L1E	3000	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (IED)
6	low-ohmic	J13	M 104	1,5	L1E	5000	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (IED)
7	high-ohmic	J13	M 104	1,5	L1E	10000	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (IED)
8	high-ohmic	J13	M 104	30	L1E	20000	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (Trench)
9	high-ohmic	J13	M 104	30	L1E	20000	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (Trench)
10	high-ohmic	J13	M 104	30	L1E	20000	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (Trench)
11	high-ohmic	J13	M 104	30	L1E	20000	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (Trench)
12	high-ohmic	J13	M 104	60	L1E	20000	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Performance of E/F protection (Trench)
13	intermittent	J13	M 104	1,5	L1E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Konfiguraatio säätö
14	intermittent	J13	M 104	1,5	L1E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Kaapellilla
15	intermittent	J13	M 104	1,5	L1E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Kaapellilla
16	intermittent	J13	M 104	1,5	L1E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Kaapellilla
17	intermittent	J13	M 104	1,5	L1E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Kipinäväällä
18	intermittent	J13	M 104	1,5	L1E	0	normal (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	Kipinäväällä
i) Change of compensation degree to overcompensated									
19	solid	J13	M 104	1,5	L2E	0	overcomp (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	
20	low-ohmic	J13	M 104	1,5	L2E	5000	overcomp (R=8.4A, no switching)	acc. to test fdr #1	
ii) Change of compensation degree back to normal									
iii) Activate parallel resistor logic I-O-I									
21	solid	J13	M 104	2	L1E	0	normal (R=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1	Toiminta-aika 0,6 s, vastuslogiikka ei toiminut
22	solid	J13	M 104	2	L1E	0	normal (R=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1	Toiminta-aika 0,6 s, logiikka OK
23	low-ohmic	J13	M 104	2	L1E	5000	normal (R=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1	Toiminta-aika 0,6 s, logiikka OK
24	intermittent	J13	M 104	2	L1E	0	normal (R=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1	Kipinäväli, toiminta-aika 0,6 s, logiikka OK
25	intermittent	J13	M 104	2	L1E	0	normal (R=8.4A, switching I-O-I)	acc. to test fdr #1	Kipinäväli, toiminta-aika 0,6 s, logiikka OK
26	solid	J13	M 104	0,5	L1E	0	N/A	acc. to test fdr #1	Toiminta-aika 0,3 s
iv) Change of compensation degree back to normal, resistor logic OFF									

Taulukko 5. Ensimmäisen koestuspäivän tulokset.

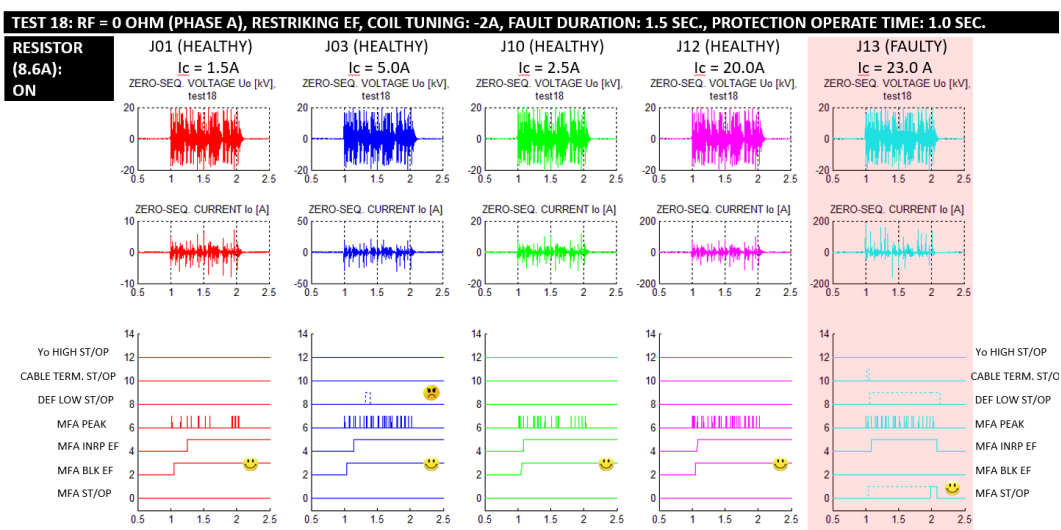
Fault Id	MFA	DEF	
1	OK	OK	
2	OK	OK	OK tarkoittaa MFA:n osalta oikeaa havahtumaa (ST) vian alussa ja laukaisua (OP) asetellussa toiminta-ajassa (1,0sek)
3	OK	OK	OK tarkoittaa DEF:n osalta oikeaa havahtumaa (ST) vian alussa. Laukaisu viive oli aseteltu niin pitkäksi ettei sitä voinut tulla vian aikana.
4	OK	OK	
5	OK	OK	
6	OK	OK	
7	OK	OK	
8	1)	1)	1) Vikavastus 20kohm liian suuri aseteltuun herkkyyteen verrattuna
9	1)	1)	
10	1)	OK 2)	2) MFA ST/OP kun nolajänniteraja laskettiin tilapäisesti 3%:iin
11	1)	1)	
12	1)	1)	
13	OK	OK	
14	OK	OK	
15	OK	OK	
16	OK	OK	
17	OK	OK	
18	OK	OK*	*Epäselektiivinen havahtuminen DEF-suojalla lähdöllä J03 (Ic=5A)
19	OK	OK	
20	OK	OK	
21	OK	OK	
22	OK	FAIL 3)	3) Vain tilapäinen havahtuminen vian alussa
23	OK 4)	OK 4)	4) Havahtuminen vian alussa ja vastuksen uudelleen kytketyssä
24	OK	FAIL 5)	5) Havahtuminen ei pysy päällä vaan resetoituu vian aikana
25	OK	FAIL 5)	
26	N/A	OK	Tässä kokeessa MFA:n tilalla oli EFPADM

Kuvissa 24 ja 25 on esitetty esimerkit jatkuvan ja katkeilevan maasulkuvian koestuksesta ja suojausten toiminnasta. Molemmissa tapauksissa MFADSPD-suojauslohko toimi moitteettomasti aseteltujen arvojen mukaisesti.



Kuva 24. Esimerkki jatkuvasta maasulkuviasta lähdössä J13.

Jatkuvan maasulun kokeen aikana vian kestoajaksi aseteltiin 1,5 sek. ja koestettavan johtolähdön J13 MFADPSD-suojauslohkon toiminta-aika oli 1,0 s. (tai 0,6 s vasta kokeiden jälkeen). Analyysiaika alkoi 0,5 sek. vian kytkentähetkeä ennen. Kuten kuvasta näkyy, 1 sekunnin kohdalla vika kytkeytyy, ja nollajännite sekä nollavirta kasvavat. Asetellun toiminta-ajan (1 sek.) jälkeen suojauslohko toimii, ja viallinen lähtö kytkeytyy irti verkosta. Terveissä lähdöissä ei tapahtunut virhetoimintoja. Lähdössä J12 havaittu maasulkuvirta on sen verran suuri, että terveen lähdön MFA-suojan esto kytkeytyi päälle. Terveissä lähdöissä maasulkuvirta on niin pieni, ettei suojausten esto kytkeytynyt. /3/



Kuva 25. Esimerkki katkeilevasta maasulkuviasta lähdössä J13.

Katkeilevan maasulun kokeen aikana vian kestoajaksi aseteltiin 1,5 sek. ja koestettavan johtolähdön J13. MFADPSD-suojauslohkon toiminta-aika oli 1,0 s. Analyysiaika alkoi 0,5 sek. vian kytkentähetkeä ennen. Kuten kuvasta näkyy, 1 sekunnin kohdalla vika kytkeytyy, ja nollajännite sekä nollavirta kasvavat. Asetellun toiminta-ajan (1 sek.) jälkeen suojauslohko toimii, ja viallinen lähtö kytkeytyy irti verkosta. Terveiden lähtöjen suojaukset eivät toimineet, ja kuten analysoiduissa terveissä lähdöissä näkyy, MFA-suojan esto kytkeytyy päälle. /3/

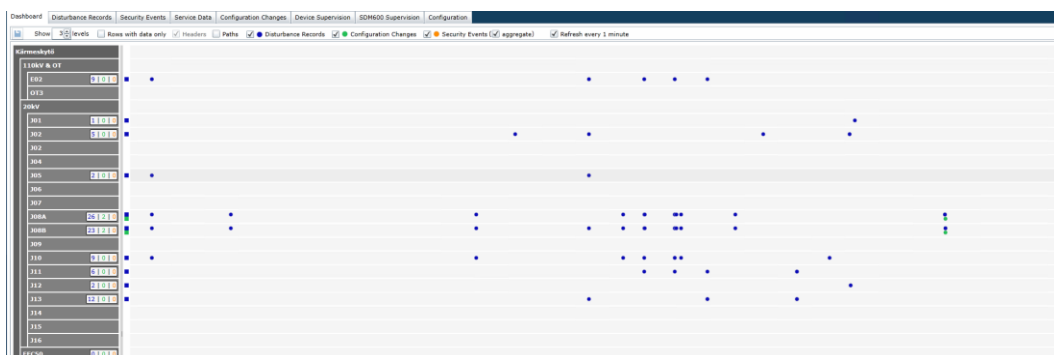
6 SEURANTAJAKSO

Seurantajakso käsitti maasulkukokeen jälkeisen normaalin käyttötilanteen ajan, jolloin seurattiin, miten aseman suojaukset toimivat. Erityisesti haluttiin tietää, miten monitaajusadmittanssipohjainen MFADPSDE- maasulkusuojaus toimii. Maasulkukokeen aikana todettiin, että suojaus toimii erilaisilla vikatyypeillä. Seurantajakson analysoinnille asetettiin seuraavat kriteerit:

1. Laukaisevien maasulkuvikojen määrä suhteessa ohimeneviin maasulkuvikoihin.
2. MFADPSDE-maasulkusuojauksen toiminta suhteessa muiden maasulun suojauslohkojen toimintoihin.

Seurantajakson pituus oli kaksi kalenterivuotta käsittäen vuodet 2018 ja 2019.

Vuonna 2018 asemalla rekisteröitiin 11 kpl. ohimeneviä maasulkuvikoja ja 1 kpl. laukaisevia vikoja. Kaikissa tapauksissa toiminut suojauslohko oli MFADPSDE. Kuvassa 26 on estetty ABB SDM600-järjestelmään tallentuneet häiriötallenteet Kärmeskydön sähköasemalta vuodelta 2018. Kuvassa 27 on vastaavan aikajakson ainoa laukaiseva maasulkuvika ABB MicroSCADA-järjestelmästä.

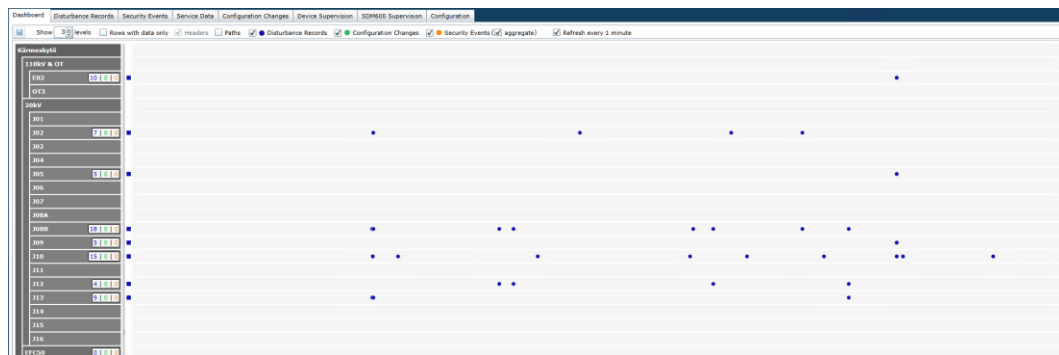


Kuva 26. Vuoden 2018 häiriötallenteet asemalla

Tapahtumat alkaen		Minne:					
01-01-2018 13:18:14		31-12-2018 13:18:14					
#	Rekisteröinti aika	Station	Bay	Device	Object Text	Event Text	
1	19-09-2018 13:39:33.659	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	
2	19-09-2018 13:39:16.800	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	

Kuva 27. Vuoden 2018 laukaiseva maasulkuvika lähdössä J13.

Vuonna 2019 asemalla rekisteröitiin 13 kpl. ohimeneviä maasulkuvikoja, ja 1 kpl. laukaisevia vikoja. Kaikissa tapauksissa toiminut suojauslohko oli MFADPSDE. Kuvassa 28 on estetty ABB SDM600-järjestelmään tallentuneet häiriötallenteet Kärmeskydön sähköasemalta vuodelta 2019. Kuvassa 29 on vastaavan aikajakson ai-
nut laukaiseva maasulkuvika ABB MicroSCADA-järjestelmästä.



Kuva 28. Vuoden 2019 häiriötallenteet asemalla

Tapahtumat alkaen		Minne:					
01-01-2019 09:06:44		31-12-2019 09:06:44					
#	Rekisteröinti aika	Station	Bay	Device	Object Text	Event Text	
1	04-04-2019 22:00:00.426	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	
2	04-04-2019 21:53:23.602	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	
3	04-04-2019 21:46:06.249	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	
4	04-04-2019 16:17:56.549	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	
5	04-04-2019 15:56:41.905	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	
6	04-04-2019 15:26:28.910	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	
7	04-04-2019 15:25:28.394	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	
8	04-04-2019 15:24:25.149	Kärmeskyt	J13	REF	Montaajuusadmittanssimaasulkusuoja 1.porras komp. laukaisu	Hälytys	

Kuva 29. Vuoden 2019 laukaiseva maasulkuvika lähdössä J13.

Vuonna 2018 Seiverkot Oy:n 20 kV verkossa oli yhteensä 361 kpl.verkkohäiriötä, joista Kärmeskydön asemalla oli 95 kpl. Soukkajoen sähköasemalla, jota verkkorakenteensa osalta voidaan parhaiten verrata Kärmeskytöön, ja jossa on perinteinen suunnattu maasulkusuojaus, häiriöitä oli 132 kpl. Vuonna 2019 Seiverkot Oy:n 20 kV verkossa oli yhteensä 300 kpl verkkohäiriötä, joista Kärmeskydön asemalla oli 73 kpl. Soukkajoen sähköasemalla häiriöitä oli 132 kpl. Seurantajakson tuloksia

vertailemalla voidaan todeta, että sähköasemalla, jossa maasulkusuojaukseen käytetään monitaajuusadmittanssipohjaista MFADPSDE- maasulkusuojausta, kirjattuja häiriötallenteita oli vähemmän verrattuna sähköasemaan, jossa käytössä on perinteinen suunnattu maasulkusuojaus. Kärmeskydön ja Soukkajoen verkko-rakenne on suurin piirtein samanlainen, mutta vikatyypit eroavat jonkin verran toisistaan. Soukkajoen sähköaseman avojohtoja sisältävissä johtolähdöissä on seurantajakson aikana ollut enemmän ylivirta- ja oikosulkusuojaukseen perustuvia vikalähdön irtikytkentöjä, vaikka kyseiset viat ovat usein olleet maasulkuvian tyyppisiä, esim. puiden kaatumisia sähkölinjaan. Tämä voi johtua siitä, että kyseisissä tapauksissa maasulkuvian vikavastus on ollut niin suuri, ettei maasulkusuoja ole vikaa havainnut, ja vika on jonkin ajan kuluttua muuttunut oikosuluksi vaiheiden välillä. Kärmeskydön sähköasemalla vastaavien johtolähtöjen vastaavanlaisissa vi-oissa on maasulkusuojaus havainnut vian, ja kompensoidun verkon pääsuojana oleva MFADPSDE-maasulkusuojaus on toiminut odotetulla tavalla.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Seiverkot Oy:lle. Työn tarkoituksena oli tutkia keskijänniteverkon sähköaseman maasulkusuojauksen uuden monitaajuusadmittanssipohjaisen MFADPSDE-maasulkusuojauksen toimintaa sähköaseman käyttöönottoon liittyvän maasulkukokeen aikana. Työhön sisältyi myös seurantajakso, jonka aikana selvitettiin, kuinka MFADPSDE-suojaus toimii normaalin käyttötilanteen aikana.

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin maasulkuilmiötä yleisesti, jakelujärjestelmien maadoitustapoja sekä maasta erotetun ja kompensoidun keskijänniteverkon ominaisuuksia. Teoriaosuudessa esitettiin myös relesuojauksen perusteita, keskeisimmät suojausfunktiot sekä suojauslaitteiden koestustavat. Teoriaosuuden lopuksi käsiteltiin kompensoidun keskijänniteverkon maasulkusuojauksista sekä esitettiin monitaajuusadmittanssipohjainen MFADPSDE-maasulkusuojaus.

Työn tutkimusosassa esitettiin koestettava Kärmeskydön sähköasema, käytiin läpi koestusohjelma sekä suoritettujen maasulkukokeiden tulokset. Kokeet suoritettiin yhteistyössä ABB:n ja Maviko Oy:n kanssa. Maasulkukokeen aikana sähköaseman keskijänniteverkkoon tehtiin erityyppisiä maasulkuvikoja. Vikapaikat sijaitsivat kahdessa eri keskijänniteverkon johtolähdössä. Koestuksen aikana seurattiin sekä viallisten- että terveiden lähtöjen toimintaa eri vikatyypeillä.

Työn tuloksena havaittiin, että uuden sähköaseman käyttöönottokoestusten yhteydessä suoritettava maasulkukoe on syytä toteuttaa kaiken kattavasti erilaisilla vikatyypeillä aseman koko suojausketju huomioiden. Tällöin koko suojausketju tulee koestettua aina vikapaikasta sähköaseman suojauslelle ja katkaisijalle asti. Samalla sähköaseman suojausketjuun liittyvien suojauslaitteiden ja toimilaitteiden keskinäinen toiminta ja suojausten selektiivisyys tulee koestettua.

Keskijänniteverkon kaapelointiasteen kasvuun liittyvien vikatyypien muutos, maasulkuvirtojen kasvu sekä verkkoyhtiöiden asiakkaiden kuormitustyyppien

muutokset asettavat suuria haasteita sekä laitetoimittajille että verkkoyhtiöille. Keskijänniteverkon vikojen kestoaikaa pyritään koko ajan pienentämään niiden aiheuttamien kustannusten välttämiseksi.

Työtä tehdessä nousi esille seuraavat jatkokehitysaiheet:

1. Sähköasemien relesaneeraukset

Suojareleiden valmistajat kehittävät koko ajan uusia tuotteita, ja jossain vaiheessa vanhat laitteet poistuvat tuotannosta. Varaosien, kuten laitekorttien, teholähteiden ja näyttöyksikköjen saatavuus heikkenee, ja ohjelmointityökalujen toimivuus vanhoissa reletyypeissä saattaa muodostua ongelmaksi.

Tutkimusaiheena voisi olla elinkaari- / teknistaloudellinen analyysi siitä, milloin relesaneeraus olisi tarpeen. Mikä on koko sähköaseman elinkaari, ja joudutaanko sen aikana tekemään yksi tai jopa useampi relesaneeraus? Sähköaseman suojareleistyksen uusimistarpeeseen voi myös vaikuttaa hajautetun energiantuotannon lisääntyminen.

2. Suojausten ja automaation vienti syvemmälle verkkoon

Sähkömarkkinalainsäädäntöön on kirjattu sähkön loppukäyttäjille maksettavat korvaukset sähkönjakelun tai sähköntoimituksen keskeytymisestä aiheutuneesta haitasta. Vakiokorvauksen määrä loppukäyttäjän vuotuisesta siirtopalvelumaksusta on prosentuaalinen, ja se on suhteutettu keskeytyksen pituuteen. Pitkittyneet sähkönjakelukeskeytykset aiheuttavat verkkoyhtiöille merkittäviä kustannuksia.

Tutkimusaiheena voisi olla, voidaanko muuntamoautomaation lisäämisen avulla vaikuttaa keskeytysten pituuteen lyhentävästi, ja toisiko muuntamoautomaation lisääntyminen parannusta myös normaalin käyttötilanteen aikaiseen verkon valvontaan ja käyttöön. Tutkimuksessa tulisi määritellä tyyppiratkaisut saneerattaviin ja uudiskohteisiin; Mitä laitteistoja tulee olla liittyen ohjauksiin, ja mitä tietoja

muuntamolta halutaan näkyville käyttökeskukseen. Tutkimuksessa tulisi myös selvittää, minkälaisiin jakeluverkon osiin kaukokäytettäviä muuntamoja tulisi sijoittaa.

3. Henkilöstön koulutus

Suojausjärjestelmien kehittymisen myötä käyttö- ja vianselvityshenkilöstön asiantuntijuus suojausjärjestelmien uusista ominaisuuksista saattaa jäädä puutteelliseksi. Tämä voi vaikuttaa vian analysointiin ja vikapaikan löytymiseen. Sähköaseman johtolähtöjen kennoterminaaleilta tehdään myös tarvittaessa paikallisohjauksia, joten laitetuntemuksen puutteellisuus voi pitkittää vianselvitystyötä sekä vaikuttaa negatiivisesti työturvallisuuteen.

Henkilöstön koulutuksen tutkimusaiheena voisi olla koulutustarpeen määrittely käyttö- ja varallaolohenkilöstölle. Koulutustarpeen määrittelyssä tulisi huomioida valvomotoiminnot ja paikallistason koulutus sähköasemilla sekä koulutustiheys. Huomioitavia seikkoja ovat myös koulutusmateriaalit sekä tarvittavat käyttöohjeet sähköasemille.

LÄHTEET

/1/ Mäkinen, O. 2017. Sähköverkot opetusmoniste.

/2/ Mäkinen, O. 2017. Relesuojaus opetusmoniste.

/3/ Wahlroos, A.& Altonen, J. Commissioning tests of MFA, Kärmeskytö 17-18.5.2017.

/4/ ABB 615 Series Technical Manual, Product version 5.0 FP1, 20.5.2016.

/5/ Seinäjoen Energia Oy Vuosikertomus 2020. <https://seinajoenenergia.fi/tietoa-meista/vuosikertomukset/vuosikertomus-2020/avainluvut/> Viitattu 12.5.2021.

/6/ Application of Novel Multi-frequency Neutral Admittance Method into Earth-Fault Protection in Compensated MV-networks, Ari Wahlroos, Janne Altonen. 2017.
https://library.e.abb.com/public/0c81c5d6647d4bcea2ece4bdf5f01f6c/Application%20of%20novel%20multi-frequency%20neutral%20admittance%20method%20into%20earth-fault%20protection%20in%20compensated%20MV-networks%20758718_LR_ENa.pdf. Viitattu 12.5.2021

/7/ SFS6001 Suurjännitesähköasennukset. 2018

LIITTEET

LIITE 1

Kärmeskydön sähköaseman pääkaavio

