



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jonne Laurila

VAMP 265 -SUOJARELEEN KÄYT- TÖÖNOTTOKOESTUSOHJE

Tekniikka ja liikenne

2010

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoulun sähkötekniikan koulutusohjelmassa Vamp Oy:lle.

Opinnäytetyön ohjaajana toimi Vaasan ammattikorkeakoulussa yliopettaja Olavi Mäkinen. Kiitän Olavi Mäkistä työssäni saamasta ohjauksesta. Kiitän myös Vamp Oy:stä työn valvojana toiminutta tekniikan lisensiaattia Lauri Kumpulaista opinnäytetyön ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää insinööri Pekka Hämäläistä, diplomi-insinööri Seppo Sauna-ahoa, insinööri Tero Virtalaa sekä muita Vamp Oy:n työntekijöitä, jotka auttoivat ja neuvoivat opinnäytetyön liittyvissä asioissa.

Vaasa 11.5.2010

Jonne Laurila

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikka koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jonne Laurila
Opinnäytetyön nimi	VAMP 265 -suojareleen käyttöönotto-koestusohje
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	75+48 Liitettä
Ohjaaja	Olavi Mäkinen

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan nykyaikaiseen relesuojaustekniikkaan ja erityisesti numeerisen suojareleen koestusperiaatteisiin. Työn tavoitteena oli laatia VAMP 265 -suojareleelle käyttöönotto-koestusohje. Koestusohjeen avulla voidaan koestaa kaikki VAMP 265 -suojareleen sisältämät suojaustoiminnot. Lisäksi koestusohjeessa käydään läpi muut suojareleen käyttöönottoon liittyvät perusasiat.

Työssä on perehdytty VAMP 265 -suojareleen perusominaisuuksiin sekä suojausfunktioihin. Käyttöönotto-koestusohjeessa on esitetty ohjeet VAMP 265 -suojareleen suojausfunktioiden koestukseen sekä laskettu esimerkkiarvot koestuksia varten. Käyttöönotto-koestusohjeen yhteyteen luotiin Excel-pohjainen laskentasovellus koestusarvojen laskemista varten, jota voidaan käyttää erityisesti differentiaalisuojausfunktion koestusvirtojen laskennan helpottamiseen.

Käyttöönotto-koestusohjeen on tarkoitus palvella Vamp Oy:n tarpeita. Koestusohjeen avulla relevalmistaja voi taata, että suojareleen toiminta on tarkoituksenmukaista. Koestusohje on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi ja johdonmukaiseksi. Koestusohjetta täydentävä laskentasovellus on pyritty tekemään mahdollisimman helppokäyttöiseksi.

Koestusohjeen kielenä on käytetty englantia, koska suurin osa Vamp Oy:n tuotteista menee vientiin. Varsinainen käyttöönotto-koestusohje ja relekoestuspöytäkirja ovat opinnäytetyön liitteenä. Käyttöönotto-koestusohje ja laskentasovellus tulevat olemaan Vamp Oy:n asiakkaiden käytössä koestusohjeina.

Asiasanat	suojarele, käyttöönotto, koestus
-----------	----------------------------------

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Jonne Laurila
Title	Testing Manual for VAMP 265 Protection Relay
Year	2010
Language	Finnish
Pages	75 + 48 Appendices
Name of Supervisor	Olavi Mäkinen

In this thesis modern numerical protection and its testing in a reliable way was studied. The purpose of this thesis was to create a testing manual for the VAMP 265 -protection relay. All protection stages of VAMP 265 protection relay can be tested according to this testing manual.

The basic features and protection stages of differential protection relay were first looked into. The instructions for testing the VAMP 265 protection stages were drawn up and example values for testing calculated. An Excel-based calculation program was also created with which the test points can be calculated. It can be used to calculate the test currents, especially for differential function. The calculation program gives also possibility to test difficult differential function where the calculation of test points is very complicated.

The purpose of testing manual is to serve Vamp Inc. interests. With this manual the relay manufacturer can guarantee that the relay working properly. The objective was to make the testing manual a simple and logical guideline. Another objective was to make a simple program which can complement the properties of the manual.

The language in the testing manual is English, because most of Vamp products are exported. The testing manual and calculation program will be used by Vamp Inc. customers

Keywords	Protection Relay, Commissioning, Electrical Testing
----------	---

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

DT	Definite time, vakioaikaohidastus
DSP	Digital Signal Processing, digitaalinen signaalinkäsittely
EI	Extremely Inverse, IEC 60255-3 -standardin mukainen toimintakäyrä, jossa suojausfunktion toiminta-aika on riippuvainen vikavirran suuruudesta
FFT	Fast Fourier muunnos
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, kansainvälinen tekniikan alan järjestö
LTI	Long Time Inverse, IEC 60255-3 -standardin mukainen toimintakäyrä, jossa suojausfunktion toiminta-aika on riippuvainen vikavirran suuruudesta
NI	Normal Inverse, IEC 60255-3 -standardin mukainen toimintakäyrä, jossa suojausfunktion toiminta-aika on riippuvainen vikavirran suuruudesta
RET -545	ABB Oy:n valmistama differentiaalisuojarele
RTU	Remote Terminal Unit, kaukokäytön ala-asema
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition, käytönvalvontajärjestelmä
SEL- 387	Schweitzer Engineering Laboratories valmistama differentiaalisuojarele

- SPAD -346 ABB Oy:n valmistama differentiaalisuojarele
- TCP Transmission Control Protocol, tietoliikenneprotokolla, jolla luodaan yhteyksiä tietokoneiden välille ja mahdollistetaan pääsy internetiin.
- 7UT316 Siemens Oy:n valmistama differentiaalisuojarele.
- VI Very Inverse, IEC 60255-3 –standardin mukainen toimintakäyrä, jossa suojausfunktion toiminta-aika on riippuvainen vikavirran suuruudesta

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	5
LIITELUETTELO	9
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tausta	10
1.2 Työn tavoite	11
1.3 Työn toteutus	11
2 VAMP OY	12
3 RELESUOJAUS	13
3.1 Yleistä relesuojauksesta	13
3.2 Relesuojauksen tavoitteet ja tehtävät	15
4 MITTALAITTEET	16
4.1 Yleistä suojaajissa käytettävistä mittalaitteista	16
4.1.1 Virtamuuntajat	17
4.1.2 Jännitemuuntajat	20
5 KILPAILIJOIDEN KÄYTTÖÖNOTTOKOESTUSOHJEET	23
5.1 ABB	23
5.2 SIEMENS	24
5.3 SEL	24
5.4 AREVA T&D	25
6 VAMP 265 -DIFFERENTIAALISUOJARELE	26
6.1 VAMP 265 -differentiaalisuojarele	26
6.2 Muuntajan ylivirtasuojaus	30
6.2.1 VAMP 265 -suojareleen 3I> ylivirtasuojausfunktio	31
6.3 Muuntajan differentiaalinen ylivirtasuojaus	32
6.3.1 VAMP 265 -suojareleen ΔI> differentiaalisuojausfunktio	34
6.4 Muuntajan vinokuormitussuojaus	40

6.4.1	VAMP 265 -suojareleen I_2 > vinokuormitussuojausfunktio.....	41
6.5	Muuntajan ylikuormitussuojaus	42
6.5.1	VAMP 265 -suojareleen T> ylikuormitussuojausfunktio.....	43
6.6	Muuntajan maasulkusuojaus	44
6.6.1	VAMP 265 -suojareleen I_0 > maasulkusuojausfunktio.....	45
6.7	Muut VAMP 265:n suojat	46
6.7.1	VAMP 265 -suojareleen ArcI> valokaarisuojausfunktio	47
6.7.2	VAMP 265 -suojareleen I_{f2} > toisen harmonisen lukitusfunktio ...	48
6.7.3	VAMP 265 -suojareleen katkaisijavikasuoja CBFP	48
7	KÄYTTÖÖNOTTOKOESTUS	50
7.1	Suojareleiden käyttöönotto	50
7.2	Koestuksessa käytettävät laitteet	52
7.3	Suojausportainen koestaminen	54
7.4	Ylivirtasuojausfunktion koestaminen	57
7.5	Differentiaalisuojausfunktion koestaminen	60
7.5.1	Differentiaalisuojaukseen liittyvät virtamuuntajat.....	63
7.5.2	Muuntajan kytkentäryhmän toteaminen	64
7.6	Vinokuormitussuojausfunktion koestaminen	64
7.7	Ylikuormitussuojausfunktion koestaminen	65
7.8	Maasulkusuojausfunktion koestaminen.....	65
7.9	Valokaarisuojausfunktion koestaminen.....	66
8	KÄYTTÖÖNOTTOKOESTUKSEN APUSOVELLUS	67
9	LOPPUPÄÄTELMÄT	72
	LÄHDELUETTELO.....	73

LIITELUETTELO

LIITE 1. Työssä laadittu käyttöönotto-ohje VAMP 265 suojarielelle

LIITE 2. Mittauspöytäkirja laskentasovelluksen toiminnasta

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Sähköenergian turvallinen ja luotettava saanti kuluttajille on tärkeää. Sähkölaitokset pyrkivät siihen, että sähköjakeluverkon käyttövarmuus saadaan mahdollisimman korkealle tasolle. Yksi tärkeimmistä osista sähköjakeluverkkojen suojaamisessa ja sähköjakelun häiriöttömyyden takaamisessa on tehokas relesuojaus. Nykyaikaisten numeeristen suojauslaitteiden avulla saadaan viallinen verkon osa rajattua pysyvässä vikatilanteessa ja palautettua verkko normaalitoimintaan ohimenevissä vikatilanteissa.

Numeeriset suojauslaitteet sisältävä monipuolisia ominaisuuksia, joiden avulla saadaan verkon suojaus toimimaan nopeasti ja näin olleen myös häiriöiden aiheuttamat vahingot jäävät pieniksi. Tämän vuoksi suojauslaitteiden toimintavarmuuden on oltava erittäin korkealaatuista. Toimintavarmuutta pyritään edistämään valmistusvaiheen monipuolisella lopputestauksella ja käyttöönottovaiheen koestuksella.

Sähköverkon suojausta suunniteltaessa jaetaan sähköverkko eri suoja-alueisiin. Suoja-alueella tarkoitetaan sitä verkoston osaa, jossa syntyneen vian seurauksena suoja toimii. Tämä aiheuttaa sen, että verkon osat tarvitsevat suojaukseensa erilaisilla ominaisuuksilla varustettuja suojauslaitteita. Suojauslaitteen luotettavan toiminnan takaamiseksi suojauslaitteelle tehdään kattava käyttöönotto-koestus. Kojeistoon asennetulle suojauslaitteelle on sen ominaisuuksista riippumatta tehtävä käyttöönotto-koestus, jonka avulla varmistetaan siitä, että suoja toimii oikein. Suojauslaitteista on saatavilla valmistajan käyttöohjeen lisäksi käyttöönotto-koestusohje. Vamp Oy:n ongelmana tällä hetkellä on se, että käyttöönotto-koestusohjeistus kattaa suojauslaitteiden yleisimpien suojausportaiden lisäksi ainoastaan yhden suojauslaittemallin ominaisuudet.

1.2 Työn tavoite

Työn ensimmäisenä tavoitteena on perehdyttää lukija suojuareleisiin ja niiden käyttöön liittyviin asioihin. Toisena ja varsinaisena työn tavoitteen oli laatia mahdollisimman kattava englanninkielinen käyttöönottokeustusohje Vamp Oy:n suojuarele ja valokaarisuojausjärjestelmiin jo aikaisemmin luodun suunnitelman pohjalta. Aikaisemmalla suunnitelmalla tarkoitetaan yhdelle suojuarelemallille luotua kattavaa käyttöönottokeustussuunnitelmaa. Aikaisemmassa VAMP 255 - johdonsuojuareleelle tehdyssä suunnitelmassa on suunniteltu yleisesti Vamp Oy:n valmistamissa suojuareleissa käytössä olevien suojausportaiden koestus. Näin olen ei lähdetty keksimään pyörää uudestaan vaan käytettiin pohjana suojausfunktioita, jotka olivat samoja sekä VAMP 255:ssä että VAMP 265:ssä. Differentiaalisuojuareleen käyttöönottokeustusohjeen lisäksi kolmantena tavoitteena oli luoda Excel- laskentamalli, jonka avulla koestaja voi koestuksen aikana laskea VAMP 265 -suojausareleissa olevien suojausfunktioiden koestamiseen tarvittavat virrat. Lisäksi Excel- laskentamallin avulla voidaan tarkastaa suojuaren koestuksessa saatuja tuloksia ja luoda koestuksen yhteydessä koestusraporttiin liitettävää koestuspöytäkirjaa.

1.3 Työn toteutus

Työ toteutettiin pääosin Vamp Oy:n tiloissa, mutta työhön sisältyi sekä vierailu käyttöönottopaikalla Siilinjärven sähköasemalla että Nokian Capacitorsin tiloissa. Vamp Oy:n tiloissa tehtyjen koestuksien tarkoituksena oli testata laskettujen esimerkkien paikanpitävyyttä eli käytännössä saatiin todennettua Excel- ohjelmalla luodun apusovelluksen toimivuus. Työ päätettiin rajata yhdelle suojuareletyypille tehtävään käyttöönottokeustusohjeeseen, koska aikaa työn tekemiselle ei ollut paljon ja kyseisen suojuareletyyppin koestaminen ilman kunnon ohjeistusta on mutkasta. Käyttöönottokeestuksen apusovelluksen luominen differentiaalisuojan koestamisen apuvälineeksi oli lähes välttämätöntä, koska aina ei ole käytössä ominaisuuksiltaan monipuolista koestuslaitetta, vaikka koestuksen tavoitteena olisikin koestaa koko differentiaalisuojan ominaiskäyrä.

2 VAMP OY

Vamp Oy on vuonna 1994 perustettu yritys, joka on erikoistunut pien-, keskijännite- ja alueverkkojen suojaraleisiin, valokaarisuojauksiin sekä mittaus- ja valvontatekniikkaan. Joulukuussa 2009 Vamp Oy liittyi yrityskaupan yhteydessä osaksi ranskalaista Areva T&D:tä, joka on maailman johtava sähkönsiirto- ja jakelutekniikan yritys. Vamp Oy:n pääkonttori sijaitsee Vaasassa. Vaasa Parks Oy:n vuokratiloissa Futura II:ssa toimii yrityksen hallinto, markkinointi ja tuotekehitys. Tuotteiden valmistus suoritetaan alihankintana Crimppi Oy:n toimesta. Henkilöstöä Vamp Oy:llä on vuoden 2010 keväällä noin 40 henkilöä.

Vamp Oy:n tuotteita käytetään tällä hetkellä jo 80 maassa suojaamaan erilaisia kohteita, voimantuotannosta ilmajohtolähtöihin, sähköasemiin ja teollisuuteen. Tuotevalikoimasta löytyy johtolähtösuoijat, moottorisuoijat, differentiaalisuoijat, generaattorisuoijat, valokaarisuoijat, tehon valvontaan tarkoitetut laitteet sekä puistomuuntamoissa käytetyt monitorointi- ja mittalaitteet. Viimeiseksi mainitut tuotteet tulivat Vamp Oy:n tuotevalikoimaan vuonna 2006 tapahtuneen yrityskaupan yhteydessä, jossa Vamp Oy osti Wimotec Oy:n liiketoiminnan. Suojareleiden suunnittelun ja toteuttamisen lisäksi Vamp Oy tarjoaa asiantuntijapalveluita, jotka toimivat linkkinä yritykselle, yhteistyökumppaneille että asiakkaille. Asiantuntijapalvelut käsittävät valokaarisuojaukseen ja relesuojaukseen liittyvän konsultoinnin, koulutuksen, suojaraleiden esiasettelut ja sähköjakelujärjestelmäsimuloinnit.

Vamp- suojaraleperhe on suunniteltu kansainvälisiä markkinoita varten ja näin ollen noin 80 % tuotteista menee vientiin. Kansainvälisen toimintansa lisäksi Vamp Oy tukee monin tavoin Vaasassa tapahtuvaa sähköalan koulutusta, esimerkiksi tekemällä lahjoituksia Vaasan ammattikorkeakoululle, Vaasan yliopistolle ja ruotsinkieliselle Ammattikorkeakoulu Novialle. /28/

3 RELESUOJAUS

3.1 Yleistä relesuojauksesta

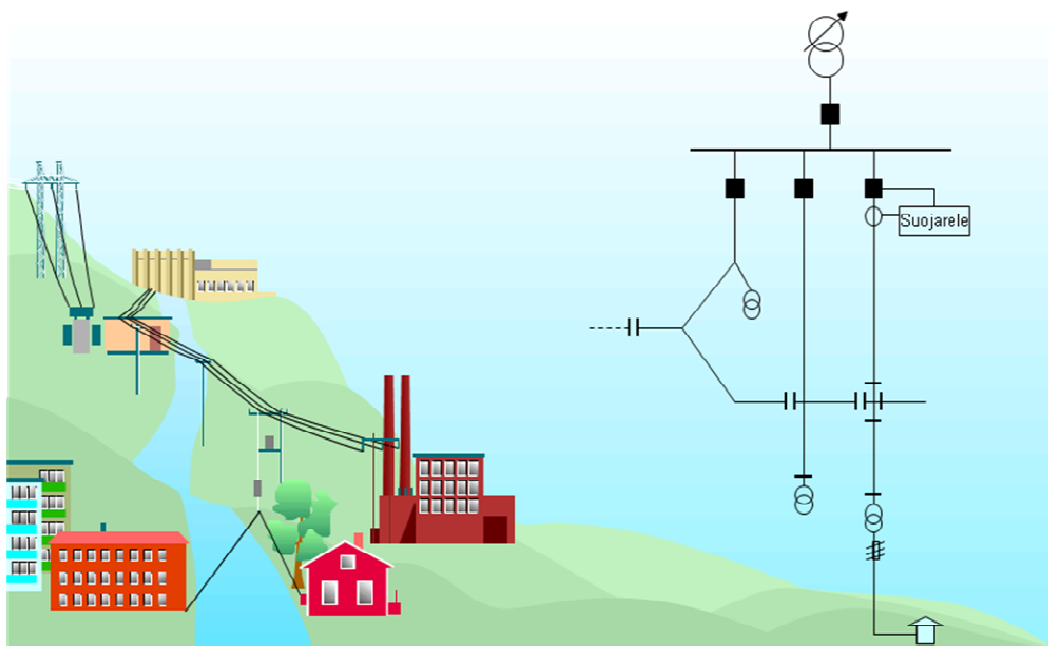
Sähköverkkojen rakentamisessa ja käytössä on käytetty käyttöjännitteen ja virran alaisena olevien verkkokomponenttien lisäksi relesuojausta jo 1900-luvulta alkaen. Sähköverkon automaatioon liittyvällä relesuojaustekniikalla on keskeinen merkitys sähköverkkojen suojauksessa. Relesuojauksen tehtävänä ei ole suoranaisesti vikojen ehkäiseminen, vaan pyrkimys mahdollisimman tehokkaasti rajoittamaan jo syntyneen vian vaikutusta. Poikkeuksen muodostaa sähköverkon stabiilin toiminnan ylläpito, jolloin relesuojaustekniikkaa käytetään laajan sähköhäiriön ennaltaehkäisyyn.

Suojareleet ovat mittalaitteiden kaltaisia laitteita, jotka tarkkailevat verkon sähköisiä suureita ja pystyvät havaitsemaan verkon epänormaalit tilat, esimerkiksi ylikuormituksen tai eristyksen pettämisen. Mikroprosessorien myötä digitaalinen signaalinkäsittely on syrjäyttänyt aiemman staattisten suojareleiden toteutustekniikan. Nykyään käytössä olevat suojareleet ovat mikroprosessoritekniikalla valmistettuja numeerisia suojareleitä. Monipuolisuutensa ansiosta on kaikki mittauksessa ja suojauksessa tarvittavat laitteistot pystytty kokoamaan yhdeksi kokonaisuudeksi, jota kutsutaan kennoterminaaliksi. Kennoterminaalit kuuluvat osaksi sähköasema-automaatiota, jossa niillä korvataan aiemmin sähköverkon ohjaus ja valvontaa toteuttaneet kaukokäyttöön erikseen suunnitellut ala-asemat eli RTU:t. Asematasolla kennoterminaalit suorittavat asematasoisia toimintoja, esimerkiksi syötönvaihtoja, kuormanpudotuksia ja tapahtumaraportointia. Vastaavasti johtotasolla suojausominaisuuksien lisäksi kennoterminaalit välittävät tietoja asematasolle ja ottavat tietoja vastaan asematasolta.

Numeeriset suojareleet sisältävät kaikki verkkokomponenttien eli muuntajien, generaattoreiden, johtolähtöjen ja moottoreiden suojaamiseen tarvittavat suojausfunktiot. Näitä suojausfunktioita ovat esimerkiksi ylivirtasuojaja, maasulkusuojaja ja ylijännitesuojaja, jotka yleensä koostuvat useammista suojausportaista, joista kerrotaan myöhemmin lisää. Suojausfunktioiden suojausportaiden asetteluarvojen ylityminen on epänormaali tila sähköverkolle, jolloin suojarele antaa koskettimiensa

välityksellä ohjauskäskyn tavallisimmin katkaisijalle viallisen verkon osan irrottamiseksi verkosta. Tämä lisää huomattavasti sähköjakelun luotettavuutta ja turvallisuutta. Sähköenergian saanti pystytään normaalitilanteessa turvaamaan vika- paikan ulkopuolella käyttäen hyväksi sähköjakeluverkon varasyöttöyhteyksiä eli rengasyhteyksiä.

Relesuojausta voidaan myös ajatella taloudellisesta näkökulmasta, jolloin suojausjärjestelmiin yhtenä osana kuuluvat suojarieleet ovat sähkölaitoksille kuin vakuutusmaksu, joka suojaa taloudellisilta vahingoilta verkon vikatilanteissa. Sähköjakeluverkkoihin investoidaan vuosittain Suomessa noin 250 miljoonaa euroa, josta suojarieleytyksen osuus on ainoastaan 1-2 %:a. Suojaukseen käytettävien kustannusten kohtuullisuutta arvioitaessa on arvioitava suojauskustannuksia suoraan mahdollisen vikatapauksen suojaamattomana aiheuttamiin kustannuksiin. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki suojarieleen sijoittumisesta sähköjakelussa /8/ /12/ /18/



Kuva 1. Suojareleen sijoittuminen sähköjakelussa. /8/

3.2 Relesuojauksen tavoitteet ja tehtävät

Suojareleen tehtäviin kuuluu pyrkiä mahdollisimman tehokkaasti rajoittamaan jo syntyneen vian vaikutusta. Suojareleet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja suorittavat tarpeen vaatiessa kytkentöjä automaattisesti, luotettavasti ja nopeasti. Jotta suojarele toimii oikeaan aikaan vikatilanteissa sille on määritelty suoja-alue, joka tarkoittaa sitä sähköverkon osaa, jossa syntyneen vian seurauksena suoja toimii. Suojaus ei toimi suoja-alueen ulkopuolella tapahtuvissa vioissa. Suoja-alueita voivat olla esimerkiksi johdot, muuntajat, generaattorit ja moottorit, jotka rajoittuvat suojareleiden ohjaamiin katkaisijoihin.

Relesuojaukselle on tehtävien lisäksi annettu myös tavoitteita. Suojauksen toiminnan on oltava selektiivistä eli erotettava vikapaikka siten, että mahdollisimman pieni verkostosta jää vian seurauksena ilman sähköä. Suoja on absoluuttisesti selektiivinen silloin, kun se toimii vain omalla suoja-alueellaan tapahtuvissa vioissa. Esimerkkeinä absoluuttisesti selektiivisistä suojista ovat muuntajadifferentiaalisoija ja muuntajan kaasurele. Aikaporrastukseen perustuvaa selektiivisyyttä sanotaan aikaselektiivisyydeksi ja virtaporrastukseen perustuvaa virtaselektiivisyydeksi.

Vikavirran ja valokaaren tuhovaikutus riippuu syöttävän verkon oikosulkutehosta ja vian kestoajasta. Lisäksi valokaaren aiheuttama paineen nousu on riippuvainen laukaisuajasta. Näin ollen suojauksen on toimittava niin nopeasti, että vauriot ja häiriöt pysyvät kohtuullisina sekä verkon stabiilisuus säilyy. Relesuojauksella ei voida pienentää vikavirran suuruutta, kuten sulakkeilla, vaan ainoastaan pystytään rajoittamaan vian kestoaikaa.

Relesuojaukselta vaaditaan myös sitä, että suojaus on aukoton ja näin ollen suojaa koko sähköverkostoa. Silloin kun vierekkäiset suoja-alueet peittävät osaksi toisensa on suojaus aukoton. Suojauksen on oltava myös käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen. Lisäksi suojauksen on oltava hankintakustannuksiltaan kohtuullinen ja suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla. /16/ /18/

4 MITTALAITTEET

4.1 Yleistä suojarleissä käytettävistä mittalaitteista

Suojareleet eivät pysty suoriutumaan tehtävistään yksin vaan ne tarvitsevat avukseen muita komponentteja. Katkaisijat, apuenergianlähde, mittamuuntajien sopivuus, koestuslaitteet sekä muu suojarleiden ulkopuolinen johdotus ja johdotusten suojaaminen häiriöiltä vaativat oman tarkastelunsa.

Mittamuuntajat ovat erikoisversioita muuntajista, jotka on erityisesti suunniteltu virran ja jännitteen mittaamiseen. Mittamuuntajien toimintaperiaate on samanlainen kuin muuntajilla yleensä eli rautasydämen ympärillä on ensiö- ja toisiokäämit. Mittamuuntajien muuntosuhde on ensiö- ja toisiokäämien kierrossuhde. Mittamuuntajat kytketään ensiö- ja toisiokojeiden väliin ja näin ollen ensiöpiiristä saatavan mittaustiedon oikeellisuus riippuu mittamuuntajien kyvystä toistaa ensiösignaali. Mitattu ensiösignaali on toistettava mahdollisimman virheettömästi. Mittaustulokseen aiheutuu käytännössä kuitenkin virhettä tyhjäkäyntivirrasta ja hajaimpedansseista. Kyseisten virhetekijöiden aiheuttamat virheet näkyvät mittaustuloksessa virta-, jännite- ja kulmavirheinä.

Mittamuuntajien tehtävänä muuntaa suuret jännitteet ja virrat toisiokojeille sopiviksi, joita ovat esimerkiksi mittarit ja suojarleet. Suojareleillä toisiovirta on yleensä joko 1A tai 5A. Mittamuuntajat luovat galvaanisen erotuksen suurjännitteisen ensiöpiirin ja pienjännitteisen toisiopiirin välille suojaten pienjännitteisiä laitteita. Mittamuuntajat mahdollistavat myös mittareiden ja suojarleiden sijoittamisen kauas mittaustaikasta. Lisäksi mittamuuntajat suojelevat mittareita ylikuormitukselta mittavarmuuskertoimen avulla. /7/ /9/ /18/

4.1.1 Virtamuuntajat

Virtamuuntajia käytetään nimensä mukaisesti virran mittaamiseen, joka on sähköverkon suojaamisen kannalta tärkein mitattava suure. Näin ollen virtamuuntajien mitoittaminen on tehtävä erittäin huolellisesti, jotta virta saadaan mitattua mahdollisimman virheettömästi. Virran mittaaminen on oleellisesti haasteellisempaa kuin jännitteen mittaaminen, koska virran vaihtelu on paljon suurempaa. Vikavirtojen suhde normaaleihin kuormitusvirtoihin voi olla useita kymmeniä jopa satoja ampeereja siinä, kun vianaikaisen jännitteen suhde käyttöjännitteeseen on usein pienempi kuin yksi ja maasuluissakin vain maasulkukertoimen suuruinen. Vikavirroissa esiintyvä tasakomponentti aiheuttaa myös ongelmia virran mittauksessa. Tasakomponentti kasvattaa sydämen magneettivuota ja sydän kyllästyy aikaisemmin. Lineaarinen toiminta pyritään toteuttamaan laajalla virta-alueella valitsemalla magneettinen materiaali mahdollisimman lineaariseksi ja rautasydämen poikkipinta riittävän suureksi.

Virtamuuntajat ovat usein rakenteeltaan sellaisia, joissa on eri sydämet suojaus- ja mittauks tarkoituskeeseen. Erillisiin mittausydämiin on päädytty sen vuoksi, että suojaustarkoitukseen tulevan virtamuuntajan vaatimukset ovat erilaiset kuin mittauks tarkoituskeeseen tulevan virtamuuntajan. Fyysisesti samassa paketissa olevassa virtamuuntajassa on erilliset mittausydämet ja yhteinen ensiö, suojaustila ja eristys.

Mittaus- ja suojaustarkoituksiin tarkoitetuille virtamuuntajille on määritelty tarkkuusluokat. Tarkkuusluokka ilmoitetaan numeroarvona, joka antaa suoraan virran mittauksessa syntyvän suurimman sallitun virtavirheen suuruuden. Toisiovirran poikkeamista ideaalisen tilan arvosta kutsutaan virtavirheeksi, joka johtuu tyhjäkäyntivirrasta. Virtamuuntajaa voidaan kuormittaa kaikissa lämpötiloissa termisellä nimellisvirralla, joka on 100-120 % nimellisvirrasta. Virtamuuntajan tarkkuus taataan normaalista 120 % nimellisvirtaan asti. Virtamuuntajat on mitoitettu siten, että ne toistavat oikein 50 Hz taajuisia sinimuotoisia virtoja. Yliaallot, eli nimellistaajuuden 50 Hz kerrannaiset, aiheuttavat virheitä mittamuuntajien toimintaan.

Virtamuuntajiin liittyvät asennukselliset seikat ja kytkennät käydään läpi niiltä osin kuin se on tarpeellista kohdassa 6.1. Tämän osion tarkoituksena on käydä läpi asioita, jotka ovat oleellisia suoja-releiden kannalta. Yksi virtamuuntajien valintaan vaikuttava seikka on tarkkuusluokka. Valvontamittauksissa tyypillisiä ovat tarkkuusluokat 1 sekä 3 ja suojaussydämillä 5 ja 10P. Kumpi tarkkuusluokka valitaan, riippuu relesuojausratkaisusta sekä käytetyistä suoja-releistä ja niiden mittausperiaatteista. Yleisesti ottaen tarkkuusluokka 5P sopii keskijännitteille, koska siinä käytetään suljettuja sydämiä. Vastaavasti tarkkuusluokkaa 10P käytetään suurjännitteillä, koska sydämissä on ilmarako ja 5P tarkkuusluokan kulmavirhevaatimusten täyttäminen on mahdotonta. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävässä Vamp Oy:n valmistamassa differentiaalireleessä on käytettävä tarkkuusluokaltaan taulukon 1 mukaisia virtamuuntajia.

Taulukko 1. VAMP 265 -suoja-releen vaatimat virtamuuntajien tarkkuusluokat /29/

Tarkkuus	Virtavirhe	Kulmavirhe	Yhdistetty
Luokka	[%]	[°]	virhe
5P	±1	±1	5
10P	±3	-	10

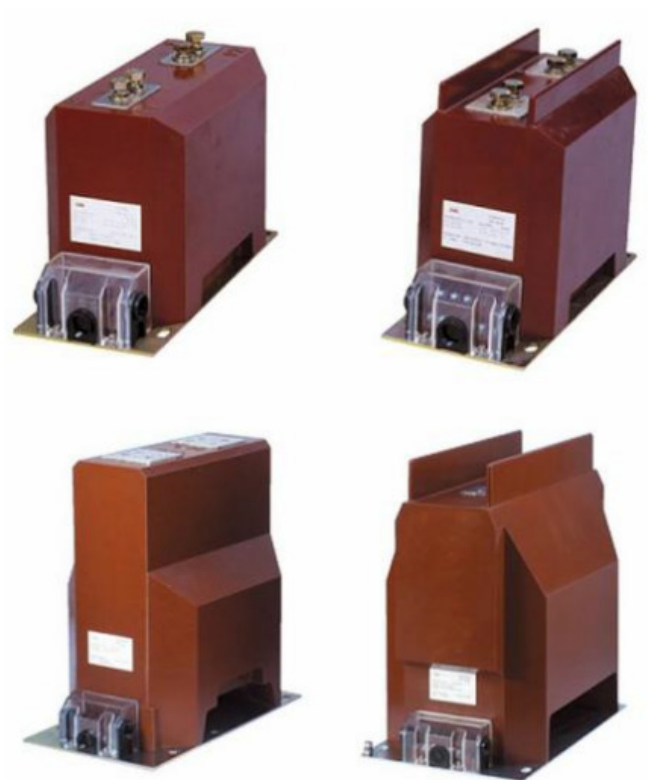
Taulukossa 1 on lisäksi esitetty virta-, kulma- ja yhdistettyjen virheiden maksimi suuruudet. Kulmavirheellä tarkoitetaan ensiö- ja toisiovirtojen vaihesiirtoa toisiinsa nähden. Kulmavirhe on positiivinen silloin, kun toisiovirta on ensiövirtaa edellä. Yhdistetty virhe ottaa huomioon toisiovirran epäsinimäisyyden ja virtamuuntajan tyhjäkäynnistä aiheutuvat virheet. Kuten taulukosta 1 voidaan huomata, tarkkuusluokalla 10P ei ole kulmavirhevaatimusta, joka helpottaa olennaisesti ilmaraon mitoittamista. Virtamuuntajien erilaisista virheistä johtuen, virhe näkyy suoja-releen kannalta erovirtana.

Virtamuuntajien standardoidut ensiövirrat ovat 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60 ja 75 A sekä näiden kymmenpotenssin kerrannaiset. Alleviivatut virta-arvot ovat suositeltuja. Ensiövirrat mitoitetaan käyttökohteen vikavirtojen mukaisesti, mutta ensiövirtaa ei kannata valita liian suureksi, koska tällöin voidaan joutua vaikeuksiin mittarien tai suojauslaitteiden herkkyyden kanssa. Suojaustarkoituksessa olevan virtamuuntajan tulisi toistaa oikein sijoituspaikkansa suurin vikavirran huippuarvo. Virtamuuntajien toisiovirrat ovat 1 A, 2 A ja 5 A, joista VAMP 265 -differentiaalisuojarele käyttää 1 A ja 5 A toisiovirtoja. Lyhyillä etäisyyksillä käytetään toisiovirtana viittä ampeeria, koska pienillä toision nimellisvirroilla on kiinnitettävä huomiota toisiopuolen ylijännitteisiin. Vastaavasti, jos toisiopiiri on pitkä, tulee toisiokaapelien kuluttama teho viidellä ampeerilla suureksi, mikä otetaan huomioon nimellistehon valinnassa.

Suojausvirtamuuntajan sydämessä voi olla merkintä 10P50, jossa 10 tarkoittaa yhdistettyä virhettä, P suojausta (protection) ja 50 tarkoittaa tarkkuusrajakerrointa. Tarkkuusrajakertoimella tarkoitetaan tarkkuusrajavirran ja nimellisen ensiövirran suhdetta. Näin ollen tarkkuusrajavirta on se ensiövirran tehollisarvo, jolla yhdistetty virhe tarkkuusluokassa 5P on enintään 5 %:a ja tarkkuusluokassa 10P enintään 10 %:a. Tarkkuusrajakerroin on määritelty puhtaalla vaihtovirralla ja näin ollen esiintyvä tasavirtakomponentti voi suurentaa virhettä ratkaisevasti. Tasavirran esiintyminen aiheuttaa usein sen, että on siirryttävä huomattavasti suurempaan tarkkuusrajakertoimeen. Tarkkuusrajakertoimen standardoidut arvot ovat 5; 10; 15; 20 ja 30. Tarkkuusrajakertoimeen vaikuttaa myös virtamuuntajan taakka, jos se poikkeaa nimellisarvostaan. Nimellistaakkaa pienempi toisiotaakka kasvattaa tarkkuusrajakerrointa ja vastaavasti nimellistaakkaa suurempi toisiotaakka pienentää tarkkuusrajakerrointa.

Virtamuuntajien valintaan vaikuttaa olennaisesti myös virtamuuntajien taakka. Taakalla tarkoitetaan toisioliittimien väliin kytketyssä kokonaisimpedanssissa nimellisvirralla kuluva tehoa. Taakan kasvaessa virtavirhe muuttuu negatiiviseen suuntaan. Näin ollen ylisuurelle taakalle mitoitettun virtamuuntajan virheet ovat positiivisia, mikä tarkoittaa sitä, että mitattu toisiovirta on suurempi kuin muun-
tosuhteen mukaan tulisi olla. Taakan laskenta suoritetaan tapauskohtaisesti ja vali-

taan käyttöön lähin nimellistaakalle standardoiduista arvoista, jotka ovat 2,5; 5,0; 10; 15; 30; 45 ja 60 VA. Kuvassa 2 on esitetty yleisesti käytössä olevia virtamuuntajia. /17/ /18/ /23/



Kuva 2. Virtamuuntajat /3/

4.1.2 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajien tehtävänä on jännitteiden syöttäminen mittausta varten mittareilla ja suojarileille. Nämä tehtävät asettavat jännitemuuntajille erilaisia vaatimuksia. Vaatimusten erilaisuus kuvastuu hyvin jännitemuuntajien rakenteissa. Yleensä jännitemuuntajat ovat rakenteeltaan sellaisia, että niissä on ainoastaan yksi rautasydän, joka palvelee sekä mittaus- että suojaustarkoitusta. Toinen yleinen rakenne on maasulkusuojauksessa käytetty avokolmiokäämitys, jossa on yhteisellä rautasydämellä yhteinen mittaus- ja suojauskäämi, joka täyttää sekä mittaus- että suojausvaatimukset. Myös ensiökäämitys on yhteinen. Suojareleet kytketään rinnan jännitemuuntajien toisioon.

Jännitemuuntajien nimellistoisiojännitteet Suomessa ovat SFS 3109:E:n mukaan $100/\sqrt{3}$ V ja $200/\sqrt{3}$ V silloin, kun jännitemuuntajan ensiö on kytketty vaiheen ja maan väliin. Avokolmioon kytkettyjen käämien nimellisarvot ovat $100/3$ V ja $200/3$ V sekä vaiheiden väliin kytkettyinä 100 V ja 200 V. Kun kolme yksivaihemuuntajaa on kytketty yhteen ja avokolmiokäämit on kytketty yhdestä kulmasta avoimeksi kolmioksi on täydessä maasulussa liittimien välinen jännite 100 V.

Jännitemuuntajien valinta lähtee liikkeelle samalla tavalla kuin virtamuuntajienkin valinta eli valintaan vaikuttaa suojattava kohde ja siellä nyt ja tulevaisuudessa esiintyvät jännitteet. Jännitemuuntajan ensiöjännitteiden valitseminen on joustavampaa IEC:n antaman mahdollisuuden mukaan. Standardoidut ensiöjännitteet ovat 3; 6; 10; 20; 30; 45; 110; 220; ja 380 kV. IEC:n antamaa joustavuutta kuvaava se, että esimerkiksi $110\sqrt{3}$ kV tilalle voitaisiin valita Suomeen paremmin sopiva ensiöjännite $115\sqrt{3}$ kV. Ensiöjännitteen ilmoittamistapoja on useita, esimerkiksi 3-vaiheverkon pääjännitteeseen kytketty jännitemuuntajan ensiöjännite ilmoitetaan pääjännitteenä 20000 V.

Jännitemuuntajien nimellistaakka on mittalaitteiden ja suojareiden taakkojen summa nimellistoisiojännitteellä eli vastaa suurinta kuormitusta VA, jolla jännitemuuntajaa voidaan kuormittaa sen pysyessä tarkkuusluokassaan. Standardoidut arvot nimellistaakalle ovat 10; 15; 20; 25; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400 ja 500 VA. Jännitemuuntajan nimellistaakkaa valittaessa ei kannata valita, varmuuden vuoksi, liian suurta nimellistaakkaa, koska liian suuri nimellistaakka aiheuttaa tarkkuuden heikkenemisen.

Jännitemuuntajan tarkkuusluokat määräytyvät suurimpien sallittujen virheiden avulla. Kaikille jännitemuuntajille on määritetty kulma- ja jännitevirhe. Mittausasettaa suojausta suurempia vaatimuksia jännitemuuntajan tarkkuudelle. Taulukossa 2 on esitetty suojausjännitemuuntajien jännite- ja kulmavirheiden rajat.

Taulukko 2. Suojausjännitemuuntajien jännite- ja kulmavirheiden rajat

Tarkkuusluokka	Jännitevirhe[%]	Kulmavirhe[μ min]
3P	3	120
6P	6	240

Suomessa yleisin käytettävä tarkkuusluokka on 3P. Jotkut suojaretyypit, esimerkiksi distanssirele ovat herkkiä jännitteiden virheille, jolloin tarkkuusluokaksi usein vaaditaan 3P. Ylijännitereleillä eivät jännitevirheet juurikaan aiheuta toimintahäiriöitä. Kuvassa 3 on esitetty yleisesti käytössä olevia jännitemuuntajia.



Kuva 3. Jännitemuuntaja /4/

5 KILPAILIJOIDEN KÄYTTÖÖNOTTOKOESTUSOHJEET

Tässä osiossa käsitellään Vamp Oy:n kilpailijoiden eli muiden suojauslaitteita valmistavien yritysten tarjoamia ohjeita liittyen käyttöönottokoestukseen. Valmistajista mukaan valittiin relesuojauksen saralla ison markkinaosuuden omaavia yrityksiä, joilla on jo ison markkinaosuutensa ansiosta paljon internetistä saatavissa olevaa materiaalia. Osion tarkoituksena on lähinnä tutkia kilpailijoiden materiaalien saatavuutta ja löytää mahdollisesti niistä myös uusia ideoita tämän opinnäytetyön tavoitteen saavuttamiseksi. Tässä osuudessa ei kuitenkaan ole lähdetty pohdimaan muiden yritysten tekemiä materiaaleja syvällisesti.

Malliesimerkkinä voidaan pitää saksalaista suojauslaitteiden valmistavaa teknologia- ja palveluyritystä Siemens Oy:tä, joka on varmasti yksi keskeisimmistä yrityksistä suojauslaitteisiin liittyvän materiaalin tuottajana. Siemens Oy:llä on pitkät perinteet suojauslaitteiden valmistuksesta ja kehittämisestä. Siemens Oy on tuottanut mm. useita suojauslaitteisiin liittyviä kirjoja, joista ”Numerical Differential Protection- kirjaa” on käytetty myös tässä opinnäytetyössä lähteenä.

5.1 ABB

Ruotsalais-sveitsiläisen ABB Oy:n uusin markkinoilla oleva vastaava differentiaalisuojarele on RET 545 -differentiaalisuojarele. ABB:n kotisivuilta löytyy erittäin paljon aineistoa koskien RET545 -differentiaalisuojarelettä. Käyttöönottokoestukseen oli myös saatavissa koestusohje, mutta siinä ei oltu erityisen tarkasti kerrottu itse suojausfunktioiden koestamisesta. Lisäksi koestusohjetta ei oltu tehty huomioiden erilaisten koestuslaitteiden suorituskykyä, vaan oletettiin koestuslaitteen olevan Omicron 265-5 tyyppinen todella monipuolinen koestuslaite. Sen sijaan ABB:ltä löytyy erittäin monipuolisia koestusohjeita vanhemmille differentiaalireleille, esimerkiksi SPAD 346 -suojareleelle. Näissä vanhoissa koestusohjeissa käydään jokaisen suojausfunktion koestus läpi riittävän syvällisesti. Koestuslaitteiden kytkentään liittyvissä kytkentäkuvissa on parantamisen varaa.

Uusille suojareletyypeille löytyi ABB:n kotisivuilta paljon käyttöönottokeustusmateriaalia liittyen erilaisiin tiedonsiirtoratkaisuihin ja niiden käyttöönottoon. Eri-laisten materiaalien suuren määrän vuoksi ABB:n materiaalit olivat varsin sekavia, lukuun ottamatta vanhoja ohjeita. Tällä tutustumisella täytyy myöntää, että saksalaisella tarkkuudella tehdyt Siemensin dokumentit ovat niskan päällä sekä aineiston luettavuuden että niiden kattavuuden osalta. /1/

5.2 SIEMENS

Siemens Oy:n vastaava differentiaalisuojarele on tyyppimerkinnältään 7UT612. Tätä differentiaalisuojarelettä varten löytyy Siemens Oy:n kotisivuilta manuaali, jossa käsitellään erittäin selkeästi differentiaalisuojareleen toiminta, niin käyttöönottokeustuksen kuin muidenkin kyseiseen suojareleeseen liittyvien asioiden osalta. Siemens Oy tarjoaa myös paljon muuta koulutusmateriaalia, esimerkiksi kirjojen muodossa liittyen differentiaalisuojareleisiin.

Siemens Oy:llä on käytössä kattavan manuaalin lisäksi asiakaspalvelu, joka palvelee kaikkia yritysasiakkaita. Käytössä on myös tuote- ja palvelukohtaisia numeroita, joiden antamat tukipalvelut ovat asiakkaiden käytössä kaikkina päivinä 24 tuntia vuorokaudessa. /27/

5.3 SEL

Schweitzer Engineering Laboratories eli SEL on Yhdysvaltalainen suojarelevalmistaja, jonka VAMP 265 -differentiaalisuojarelettä vastaava malli on tyyppimerkinnältään SEL -387. Myös SEL tarjoaa kotisivuillaan Siemens Oy:n tapaan kattavasti manuaaleja, jotka ovat kuitenkin ainoastaan asiakkaiden käytössä ja manuaalien saamiseksi täytyy tehdä asiakastili.

Käyttöönottokeustukseen liittyen SEL tarjoaa ilman asiakkaaksi rekisteröintiä kotisivuillaan koulutusmateriaalia liittyen differentiaalisuojareleisiin ja niiden käyttöönottokeustukseen. Näissä materiaaleissa ei kuitenkaan kovin selkeästi oteta kantaa testauslaitteisiin. Käyttöönottokeustusta varten löytyy valmis raportointipohja, johon koestaja voi täyttää koestukseen liittyvät merkinnät. Tämäkin on erit-

täin pelkistetty versio, mutta voi olla, että SEL tarjoaa varsinaisille asiakkailleen kattavampia versioita raportoinnin parantamiseksi. /25/

5.4 AREVA T&D

Areva on ranskalainen monikansallinen energia-alan teollisuuskonserni, jonka osana oleva Areva T&D vastaa sähkön siirrosta ja jakelusta. Areva konserni on tullut tunnetuksi viime aikoina Suomessa Suomen uusimman ydinvoimalaitoksen pääurakoitsijana. Areva T&D osti Vamp Oy:n liiketoiminnan vuoden 2009 marraskuussa.

Areva T&D:n kotisivuilta löytyy useita manuaaleja suojaroleisiin liittyen, joista osa on tehty suojaroleiden käyttöönottoa varten. VAMP 265 - differentiaalisuojarolettä vastaava tuote Areva T&D:llä on Micom 63. Kyseiseen suojaroleeseen ei löytynyt Areva T&D:n käyttöönotto-manuaalia, mutta ns. yleisessä käyttöönotto-koestusmanuaalissa sivuttiin differentiaalisuojausta generaattorin suojauksen osalta. Areva T&D tekemät manuaalit löytyvät sekä ranskankielisinä että englanninkielisinä. Manuaalit ovat erittäin selkokielisiä ja helposti luettavia. Areva T&D järjestää kuitenkin aktiivisesti asiakaskoulutuksia perehdyttääkseen asiakkaitaan tuotteidensa ominaisuuksiin. Muutaman päivän kestävässä koulutuksessa sivutaan joltakin osin myös käyttöönotto-tilanteita, vaikka niitä ei olekaan koulutusten ohjelmissa erikseen mainittu. /5/ /6/

6 VAMP 265 -DIFFERENTIAALISUOJARELE

6.1 VAMP 265 -differentiaalisuojarele

VAMP 265 -differentiaalisuojarele on tarkoitettu ennen kaikkea muuntajien suo-
jaukseen, mutta myös moottoreiden, generaattoreiden ja lyhyiden kaapeleiden
suojaamiseen. Suojaus perustuu taulukossa 3 esitettyyn listaan VAMP 265 -
differentiaalireleen suojausfunktioista, sekä suojausfunktioiden standardien mu-
kaiset IEEE(ANSI)- ja IEC- tunnistet.

Taulukko 3. VAMP 265 -suojareleen suojaustoiminnot /29/

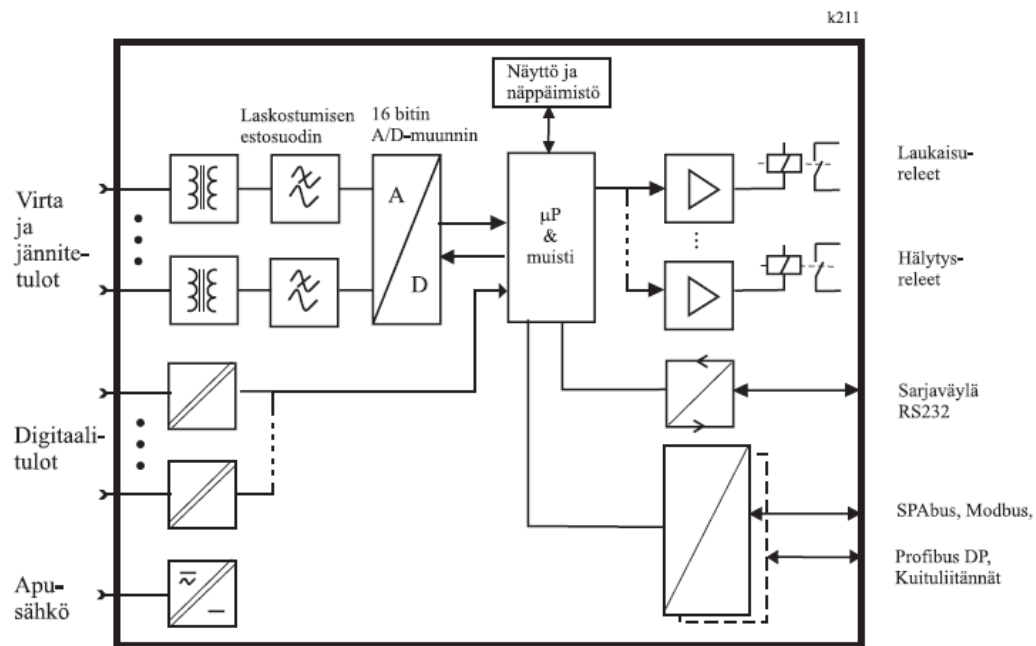
IEEE-tunniste	IEC- tunniste	Suojaustoiminto
50/51	$3I>, 3I>>, 3I'>, 3I'>>$	Ylivirtasuoja
87	$\Delta I>, \Delta I>>$	Differentiaalinen ylivir- tasuoja
46	I_2, I_2'	Vinokuormitussuoja
49	$T>$	Ylikuormitussuoja
50N/51N	$I_0>, I_0>>, I_0>>>, I_0>>>>$	Maasulkusuoja
50F2	$I_{f2}>$	Toisen harmonisen lukitus
50BF	CBFP	Katkaisijavikasuoja
99	Prg1...8	Ohjelmoitavat suojat
50ARC, 50NARC	$ArcI>, ArcI'>, ArcI_{01}>, ArcI_{02}>$	Valokaarisuoja

VAMP 265 -suojarele muodostaa monipuolisten ominaisuuksien ja kattavien re-
lesuojaustoimintojen avulla kaikki mittaukseen ja suojaukseen tarvittavat laitteis-
tot ja näin ollen sitä kutsutaan kennoterminaaliksi. Kennoterminaalin suurimpia
etuja ovat etäkäyttöisyys ja monipuolisuus.

Kennoterminaalista voidaan lukea halutut mittaustiedot käytönvalvontajärjestelmään. Käytönvalvontajärjestelmän eli SCADAN tehtävänä on sähkönjakeluverkon reaaliaikainen valvonta. SCADA:sta saadaan ajantasaista tietoa sähkönjakelujärjestelmästä ja sen kautta voidaan toteuttaa monia kriittisiä toimintoja, esimerkiksi voidaan muuttaa suojareleen asetusarvoja.

VAMP 265 -suojareleen numeerinen tekniikka perustuu FFT:n eli nopean Fourier- muunnoksen soveltamiseen. FFT:n ansiosta mittaussuureiden laskentaan tarvittavien laskutoimitusten määrä pysyy kohtuullisena. Vamp Oy:n tuotteissa numeerinen tekniikka on toteutettu siten, että käytetään 16 bittistä mikroprosessoria, joka puolestaan käyttää FFT:tä ja synkronoitua näytteistystä. Tällä tekniikalla päästään ratkaisuun, jossa signaalin käsittelyyn ei tarvita erillistä DSP:tä eli digitaalista signaalinkäsittelyä. Lisäksi mittaustarkkuus säilyy hyvänä kaikilla asettelualueilla tarkan 12-bittisen A/D-muunnintekniikan avulla.

Käyttämällä synkronoitua näytteistystä mitattavasta signaalista, otetaan jaksosta 2^n mukainen määrä näytteitä per jakso, esimerkiksi 16 tai 32 näytettä/jakso. Käytetty tekniikka edellyttää taajuuden mittaamista, jonka perusteella näytteenottoväliä säädetään niin, että näytemääräyksellä pysyy koko ajan samana taajuuden muutoksista riippumatta. Eräissä suojausfunktioissa symmetrisen komponentin laskentaa käytetään FFT:n lisäksi myötä-, vasta- ja nollakomponentin pelkistämiseksi. Kuvassa 4 on esitetty kennoterminaalin periaatteellinen lohkokaavio. /17/
/29/



Kuva 4. Numeerisen suojarleen periaatteellinen lohkokkaavio /29/

Suojareleen periaatteellisesta lohkokkaaviosta näkee elektroniikkapiirien lukumäärän pelkistymisen numeerisen tekniikan ansiosta. Numeerisen tekniikan ansiosta tarvitaan signaalinkäsittelyyn kuvan 4 mukaisesti tulopiirin mittamuuntajat, digitaalisovitin, lähtöreleet, A/D- muunnin ja mikrokontrolleri muistipiireineen. Näiden lisäksi suojarle tarvitsee tehonlähteen ja käyttöliittymän.

Tehonlähteenä toimii yleensä sähköaseman tasasähkökeskus, joka on tavallisesti varmennettu akustolla. Varmennuksen ansiosta suojarleet pysyvät käyttökuntoisina vikatilanteessa. Itse releessä ulkoinen apujännite sallitaan olevan välillä 40-265 V AC/DC tai 24 VDC:tä. Käyttöliittymänä VAMP 265 -suojarleessä käytetään Vampset- ohjelmaa, jonka avulla suojarleen konfigurointi, parametointi ja mittaukset tehdään helposti.

Lisäksi VAMP 265:ssä on monipuoliset sarjaliikenneväylät ja protokollat, joiden ansiosta suojarle on helppo liittää osaksi sähköaseman automaatiojärjestelmää. Käytettäviä tiedonsiirtoprotokollia ovat esimerkiksi Modbus, Spabus, IEC 60870-5-103, Profibus DP sekä TCP/IP. Uusimpana käytettävissä olevana tiedonsiirto-protokollalla on mm. Microscadan kanssa yhteensopiva IEC 61850. Käytössä on 3 kpl kommunikointiporotteja, joista kaksi on paikalliskäyttöä varten. Kaukokäyttö-

portteja suojarleessä on 1 kpl, jonka sähköinen kytkentä suoritetaan, jollakin seuraavista vaihtoehdoista.

- TTL (vakiona käytössä)
- RS 485
- RS 232
- muovikuitu
- lasikuitu.

VAMP 265 -suojarleessä on suojausominaisuuksien lisäksi erittäin kattavat mitausominaisuudet, joista on kerätty alla oleva taulukko 4. Myös häiriötallennus, lähtörelematriisi ja lukitusmatriisi ovat Vamp Oy:n suojarleissä erittäin käyttökelpoisia apuvälineitä, niin verkossa olevan vian selvittämiseen kuin verkon selektiivisen toiminnan aikaansaamiseksi. /29/

Taulukko 4 VAMP 265 -suojarleen mittaustoiminnot /29/

Mittausfunktio	Mittausalue
Vaihevirrat I_1, I_2, I_3	0-50xIn
Nollavirrat I_{01}, I_{02}	0-5xIn
Pääjännitteet U_{12}, U_{23}, U_{31}	0-175 VAC
Nollajännite U_0	0-175 VAC
Taajuus f	16-75 Hz
Tehokerroin	0...+1 induktiivinen, -1...0 kapasitiivinen
Näennäisteho S	0...±2xSn ($S_n = I_n * U_n * \sqrt{3}$)
Pätöteho P	0...±2xSn
Loisteho Q	0...±2xSn

6.2 Muuntajan ylivirtasuojaus

Muuntajan suojaaminen on yksi tärkeimmistä osista sähkönjakelun verkon suojausta ajateltaessa. Muuntajavikoja tapahtuu yleensä harvoin, yksi muuntajavika 100 vuotta kohti, mutta silloin muuntaja yleensä vaurioituu pahoin ja edessä on pitkä ja kallis korjaaminen. Tästä syystä muuntajia suojataan ja valvotaan erittäin huolellisesti.

Muuntajan ylivirtasuojaus toteutetaan siten, että suojaus kattaa muuntajan ulkopuoliset oikosulut ja ylivirrat. Päätehtävän eli ulkopuolisten ylivirtojen lisäksi ylivirtasuojaa suojaa muuntajaa myös sisäpuolisilta oikosuluilta, kuten käämisululta ja kierrossululta. Näissä sisäpuolisissa oikosuluissa ylivirtasuojaus toimii usein differentiaalisuojan varasuojana. Riippuen muuntajan sijoitustilanteesta täytyy muuntajan ylivirtasuojaus järjestää sisäisien vikojen varalta muuntajan ylä- ja alajännitepuolelle, jos tehonsyöttö tapahtuu molempiin suuntiin. Vastaavasti tilanteessa, jossa muuntaja voi saada virtansa vain yhdeltä puolelta, ylivirtasuojaus on välttämätön ainoastaan ensiöpuolella.

Suojausalueensa puolesta muuntajan yläjännitepuoli kuuluu sekä syöttävän johdon suojausalueeseen että muuntajan suojausalueeseen. Tämä asettaa suojalle vaatimuksen, että muuntaja on saatava laukaistua irti verkosta johdon pikajälleenkytkennän aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että muuntajan yläjännitepuolen ylivirtasuojauksen on toimittava pikalaukaisulla. Jos käytössä ei ole differentiaalista ylivirtasuojaa eli erovirtasuojaa, toimii pikalaukaisuporras muuntajan yläjännitepuolen vioissa ja vastaavasti hidastettu laukaisuporras toimii alajännitepuolen navoissa sattuvissa vioissa sekä varasuojana alajännitepuolen kiskoston vioissa.

Muuntajan ylivirtasuojauksessa on pyrittävä siihen, että ylivirtarele laukaisee viiveettä muuntajan sisäisessä oikosulussa ja aikahidastettuna silloin, kun vika on muuntajan toisella puolella. Huomioitavaa on myös se, että tarkastetaan asetteluarvojen riittävyys muuntajan kytkentävirtasysäyksen suhteen. Yksi vaihtoehtopulmaan on ylivirtareleen asetteluarvon automaattinen kahdentaminen kytkentävirraksi.

Generaattoreita suojattaessa ylivirtasuojia käytetään oikosulkusuojana, jolloin varmin selektiivisyys saavutetaan käyttämällä vakioaikahidastusta suojausportaisissa. Kun virtamuuntajat on sijoitettu siten, että ne sijaitsevat staattorin tähtipiste- puolella, suojaavat ylivirtaportaat myös staattorin sisäisissä vioissa myös silloin, kun staattori on irti verkosta. Ainoa nopea suoja käänisulussa on kuitenkin differentiaalisuoja, joten normaalit ylivirtaportaat toimivat differentiaalisuojan varasuojina käänisulkutilanteessa ja varsinaisena suojana käynnistystilanteessa. /18/

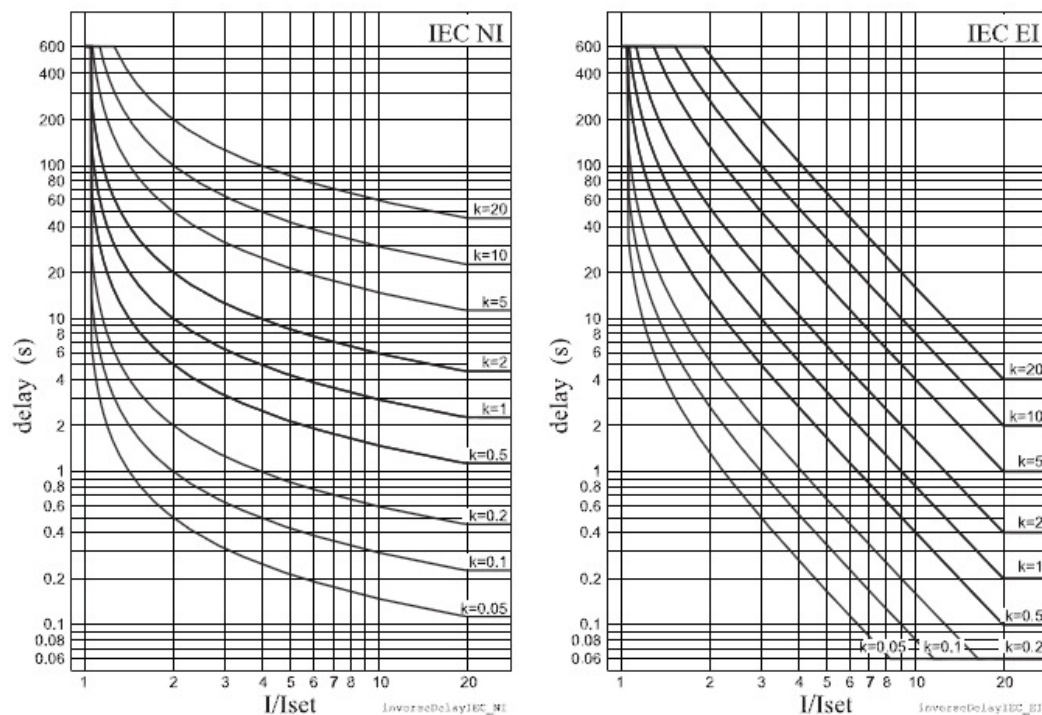
6.2.1 VAMP 265 -suojareleen 3I> ylivirtasuojausfunktio

VAMP 265 -suojareleessä oleva ylivirtasuoja on kolmivaiheinen, sisältäen neljä erikseen aseteltavaa porrasta, 3I>, 3I>>, 3I'> ja 3I'>>. Näistä suojausportaista 3I> ja 3I>> asetellaan yleensä toimimaan ensiöpuolen ylivirroissa ja suojausportaat 3I'> ja 3I'>> toisiopuolen vioissa. Suojan toiminta perustuu perustaajuuden 50 Hz virtakomponentin mittaamiseen. Alin porras 3I> on aseteltavissa toimimaan joko vakioaikahidasteisesti (DT) tai käänteisajakahidasteisesti. Käänteisajakatoiminnalle on valittavissa IEC60255-3 standardin mukaiset neljä ominaiskäyrää:

- NI (normal inverse)
- VI (very inverse)
- EI (Extremely inverse)
- LTI (Long time inverse).

Vastaavasti ylempi porras 3I>> tai ylempät portaat, jos suojareleessä on useampi porras toimivat, ne vakioaikahidasteisesti. VAMP 265- suojareleessä näitä ylempää ylivirtasuojaportaita on yksi. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki IEC- 60255-3 mukaisesta toimintakäyrästä. Kuten kuvasta 5 voidaan huomata että, käänteisajakahidasteinen ylivirtaporrasta toimii toimintaperiaatteensa mukaisesti eli mitä suurempi ylivirta syystä tai toisesta muuntajassa esiintyy sitä nopeammin suojaus toimii, laukaisee muuntajan irti verkosta. Ylivirtasuojaportaita on saatavilla vikatiedot kahdeksasta viimeisimmästä viasta. Tämä VAMP 265 -suojareleessä käytössä oleva suojausporras sisältää rajoituksia käänteisajakatoimintaan liittyen.

Käänteisajan laskenta päättyy arvoon $50 \times I_N$ ja nopein mahdollinen toiminta-aika VI- ja EI- käyrätyypeillä on noin 60 ms. Jokaisessa suojarieleen suojausportaassa on kaksi asetteluryhmää, joita voidaan ohjata digitaalituloilla. Kyseinen toiminta mahdollistaa eri asettelujen käytön erilaisissa kytkentätilanteissa. /29/

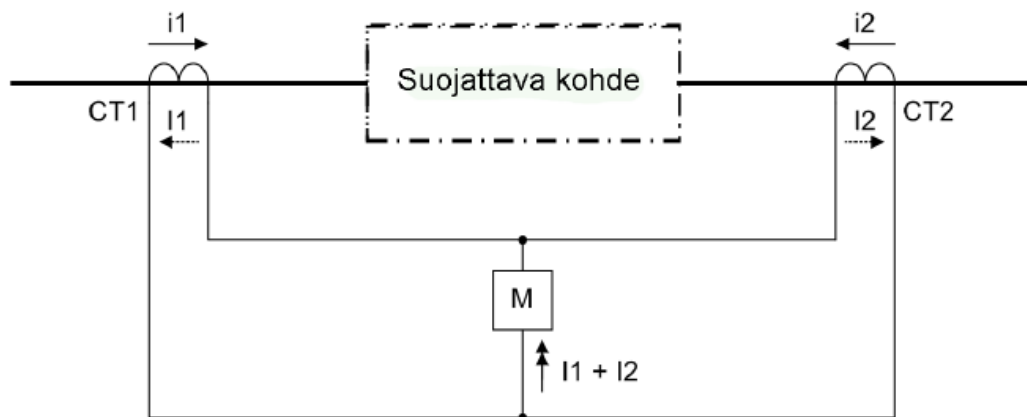


Kuva 5. Normal Inverse ja Extremely Inverse toimintakäyrät /29/

6.3 Muuntajan differentiaalinen ylivirtasuojaus

Differentiaalisen ylivirtasuojauksen eli erovirtasuojauksen peruseriaatteena on virtamuuntajien rajaaman alueen ylivirtasuojaaaminen. Suojaus perustuu siihen, että normaalitilanteessa virtamuuntajien läpimenevien virtojen summa on nolla ja vastaavasti vikatilanteessa kyseiset virrat poikkeavat toisistaan, joko amplitudin vaiheen tai molempien osalta enemmän kuin suojarieleeseen asetellun kynnsarvon verran, jolloin suojariele laukaisee. Differentiaalisuojarele on toiminnaltaan hyvin nopea, toiminta-aika on tyyppillisesti vaihtovirran jakson luokkaa. VAMP 265 -suojarieleessä toiminta-aika on noin 30-40 ms:a.

Virtamuuntajat rajaavat tarkoin kohteen ja näin ollen muodostavat suojauksen suoja-alueen. Erovirtarele toimii omalla suojausalueella tapahtuvissa vioissa ja sitä sanotaankin tästä syystä absoluuttisesti selektiiviseksi, vian ollessa alueen ulkopuolella suoja ei toimi. Kuvassa 6 on esitetty differentiaalisuojauksen periaate.



Kuva 6. Differentiaalisuojauksen periaate /11/

Periaatteena differentiaalinen ylivirtasuojaus on melko yksinkertainen, mutta siihen liittyy stabiilisuusongelmia, jotka on ratkaistava jollakin tavalla. Suojauksen yhteydessä stabiilisuudella tarkoitetaan kykyä erotella suojausalueella olevan vian aiheuttama erovirta muista erovirran lähteistä. Suojauksen stabiilisuutta voidaan kyllä kasvattaa, mutta siihen liittyy ongelmia, jotka näkyvät suojan herkkyydessä vikatilanteissa.

Stabiilisuutta huonotavat mm. seuraavat tekijät:

- muuntajan tyhjäkäyntivirta
- virtamuuntajien virheet
- käämikytken asennon vaihtelu
- muuntajan kytkentävirrasyösy
- muuntajan ylimagnetoituminen
- virtamuuntajien kyllästyminen.

Kun differentiaalireleellä suojataan generaattoria, toteutetaan sillä yleensä ainakin käämisulkusuojaus, johon differentiaalirele on ainoa nopea toteutustapa. Eri puolilla staattorikäämiä olevien virtamuuntajien mittaamat virrat ovat käämisulussa erisuuret ja erisuuntaiset. Näin ollen toisiovirtojen erotus kulkee differentiaalireleen läpi, joka havaitsee erovirran ja toimii nopeasti. Suojattaessa differentiaalireleellä generaattoria tai moottoria ei tähtipisteen maadoitustapaa huomioida. Vaihevirrat ovat suojattavan kohteen molemmilla puolilla yhtä suuret ulkoisessa viassa. Vastaavasti sisäisissä vioissa vikavirta synnyttää aina erovirran.

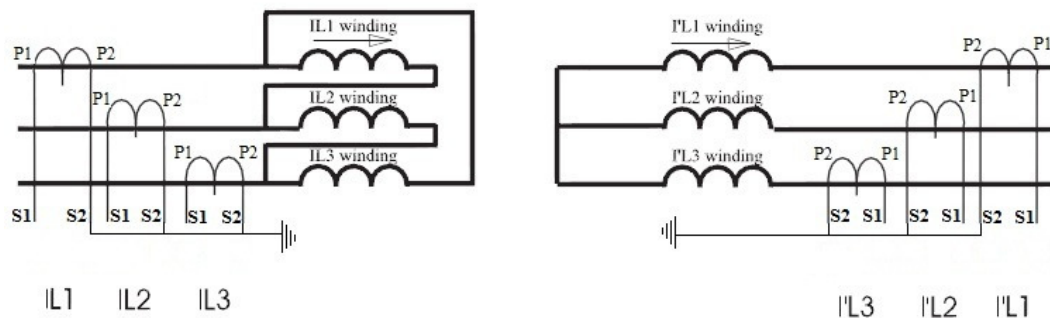
Differentiaalisuojarele voidaan sijoittaa joko siten, että se suojaa pelkästään generaattoria tai generaattorin ja sitä syöttävän muuntajan yhdistelmää. Pelkästään generaattoria suojaava differentiaalirele asetellaan herkemmäksi kuin generaattorin ja muuntajan yhdistelmää suojaava differentiaalisuojarele. Kun generaattori syöttää tehoa verkkoon blokkimuuntajan välityksellä, toimii generaattorin käämisulkusuojan varasuojana oleva differentiaalisuojarele suojausalueella, joka ulottuu blokkimuuntajan yläjännitepuolella oleviin virtamuuntajiin saakka. Generaattorin varsinaisena käämisulkusuojana on tällöin generaattorin oma differentiaalisuojarele, jonka varasuojana toimii hidastetusti koko blokin differentiaalisuojarele.

Moottorinsuojauksessa differentiaalisuojarelettä käytetään lähes ainoastaan suurempien tahtimoottoreiden käämisulkusuojaukseen, jolloin saadaan koko käämisuojattua. Tässä tilanteessa on kuitenkin kiinnitettävä erityistä huomiota virtamuuntajien kyllästymiseen käynnistysvirran aiheuttaman tasakomponentin vuoksi. /11/ /16/ /18/ /23/

6.3.1 VAMP 265 -suojareleen $\Delta I >$ differentiaalisuojausfunktio

VAMP 265 -suojareleen differentiaalisuojausfunktioita voidaan käyttää muuntajien, generaattoreiden, moottoreiden ja lyhyiden kaapeleiden suojaukseen. Suojattavat kaapelit eivät voi olla pitkiä, koska muutoin kaapelin molempiin päihin johdotettavista toisiojohdoista tulisi liian pitkiä. VAMP 265 -differentiaalinen ylivirtasuojas sisältää kaksi erikseen aseteltavaa porrasta, $\Delta I >$ ja $\Delta I >>$ - portaat. Differentiaalisuojaus perustuu ensiö- ja toisiokäämivirtojen väliseen erovirtaan. Kun diffe-

rentiaalirelettä käytetään muuntajansuojaukseen edellyttää laskenta muuntajan kytkentäryhmän tietämistä, koska kytkentäryhmästä riippuen on muuntajan eripuolien vaihevirroilla erilaisia kulmaeroja. Vastaavasti käytettäessä differentiaalirelettä generaattorin suojaukseen asetellaan kytkentäryhmäksi Yy0, jolloin eripuolien välillä ei ole kulmaeroa. Kuvassa 7 on esitetty käämivirtojen mittauksen periaate, jossa muuntajankytkentä ryhmänä on Dy11 eli ensiökäämi on kytketty kolmioon ja toisiokäämi tähteen. Virtojen laskennan kannalta tämä tarkoittaa sitä, että ensiökäämin virta on kahden käämivirran erotus ja vastaavasti toisiokäämin virta on yhden käämin läpi menevä virta. Vamp Oy suosittelee, että differentiaalisuojauksessa käytetään virtamuuntajien toisiovirtana yhtä ampeeria 5 A:n sijasta.



Kuva 7. Käämivirtojen mittaaminen /29/

Alemmassa differentiaalisuojan portaassa on käytössä virtavakavointilaskenta. Vakavoinnin ansiosta virtamuuntajien virheistä ja vähäisistä kyllästymisistä aiheutuvat erovirrat eivät saa suojarelettä toimimaan suojausalueen ulkopuolisissa vioissa. Vakavointi esitetään suhteessa muuntajan virtojen keskiarvoon. Mikäli muuntaja on maadoitettu, kuten kytkentäryhmässä Dyn11, täytyy nollavirta kompensoida ennen kuin vakavointivirran ja erovirran laskenta suoritetaan. Nollavirta voidaan kompensoida erikseen sekä ensiökäämille että toisiokäämille. Erityisesti verkossa, jossa muuntajan tähtipiste on maadoitettu, täytyy ensiöpuolen nollavirtakomponentin kompensoinnin olla päällä, koska muuten maasulkuvirta voi häiritä erovirtasuojauksia. Sellaisissa muuntajakytkennöissä, joissa joko ensiö- tai toisiokäämi on kytketty kolmioon ei käytännössä koskaan käytetä nollavirran kom-

pensointia. Taulukossa 5 on esitetty muuntajan eri kytkentäryhmille olevat nollavirran kompensoinnit.

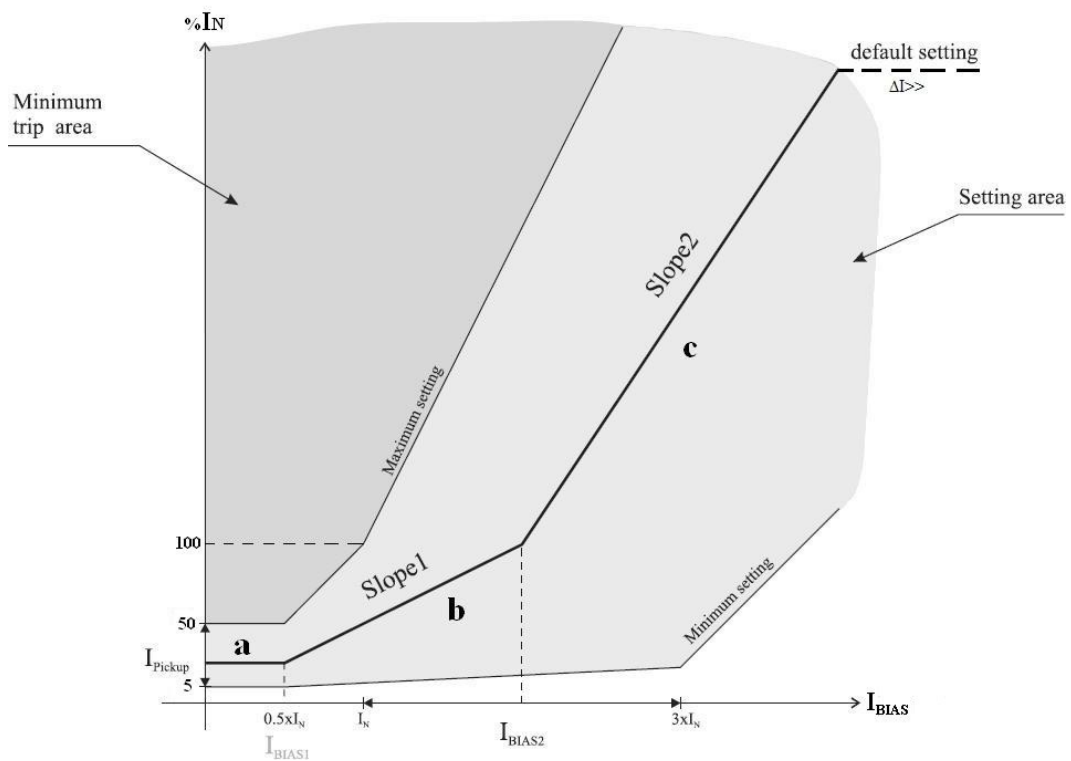
Alemmassa portaassa $\Delta I >$ on käytössä kuvan 8 mukainen kaksoiskarakteristika, joka sallii isoilla virroilla suuremman erovirran ennen kuin trippaa eli laukaisee. Differentiaalisuojan alemmassa portaassa on myös käytössä toisen harmonisen komponentin lukitus, jota käytetään silloin kun muuntaja kytketään verkkoon. Ylemmässä portaassa eli nopeassa portaassa $\Delta I >>$ kyseistä toimintoa ei ole. Kytkettäessä muuntaja verkkoon ottaa muuntaja kytkentävirtasysäyksen, joka sisältää runsaasti toista harmonista yliaaltoa eli 100 Hz:n komponenttia, joka puuttuu oikosulkutilanteessa lähes täysin. Yliaaltosalvan avulla suojarele tunnistaa kytkentävirtasysäyksen eikä näin ollen laukaise turhaan muuntajaa irti verkosta.

Differentiaalisuojauksessa voi tulla eteen tilanne, jossa muuntajassa on sisäinen vika kytkettäessä sitä verkkoon. Tällainen tilanne voi tapahtua esimerkiksi siten, että muuntajan sisälle on päässyt joku eläin, joka aiheuttaa muuntajaan sisäisen oikosulun. Tällöin muuntajan kytkennästä aiheutuvassa virrassa on, kuten terveessäkin tilanteessa, toista harmonista yliaaltoa ja myös ylivirta ylittää asetellun rajan. Terveessä tilanteessa tapahtuisi edellä mainittu kytkentävirtasysäyksen tunnistaminen, mutta toisen harmonisen osuuden pienennettyä suojarele huomaa tilanteen ja laukaisee. Terveessä tilanteessa muuntajan kytkennästä aiheutuvassa kytkentävirtasysäyksessä toisen harmonisen osuus säilyy pidempään eli useamman jakson ajan riippuen siitä onko muuntajassa kytkettäessä kuormitusta vai ei.

/24/ /26/ /29/

Taulukko 5. Nollavirran kompensointi muuntajan suojauksessa /29/

Muuntajan kytkentäryhmä	Releen asetukset		
	ConnGrp	I _o cmps	I' _o cmps
YNy0	Yy0	ON	OFF
YNyn0	Yy0	ON	ON
Yy0	Yy0	OFF	OFF
Yyn0	Yy0	OFF	ON
YNy6	Yy6	ON	OFF
YNyn6	Yy6	ON	ON
Yy6	Yy6	OFF	OFF
Yyn6	Yy6	OFF	ON
Yd1	Yd1	OFF	OFF
YNd1	Yd1	ON	OFF
Yd5	Yd5	OFF	OFF
YNd5	Yd5	ON	OFF
Yd7	Yd7	OFF	OFF
YNd7	Yd7	ON	OFF
Yd11	Yd11	OFF	OFF
YNd11	Yd11	ON	OFF
Dy1	Dy1	OFF	OFF
Dyn1	Dy1	OFF	ON
Dy5	Dy5	OFF	OFF
Dyn5	Dy5	OFF	ON
Dy7	Dy7	OFF	OFF
Dyn7	Dy7	OFF	ON
Dy11	Dy11	OFF	OFF
Dyn11	Dy11	OFF	ON
Generaattorin suo- jaus	Releen asetukset		
Ei maadoitusta	Yy0	OFF	OFF



Kuva 8. Differentiaalitoimilohkon ominaiskäyrä ja sen asettelut

Kuvassa 8 esitetystä differentiaalitoimilohkon ominaiskäyrästä x- akselin muodostaa vakavointivirta, joka lasketaan VAMP 265 -suojareleessä kaavan 1 mukaisesti. Vastaavasti y-akselin muodostava erovirta johon differentiaalisuojaus perustuu lasketaan kaavan 2 mukaisesti.

$$I_b = \frac{|I_w| + |I'_w|}{2}, \quad (1)$$

jossa I_b = vakavointivirta

I_w = ensiöpuolen käämivirta

I'_w = toisiopuolen käämivirta

$$I_d = |I_w - I'_w|, \quad (2)$$

jossa I_d = erovirta

I_w = ensiöpuolen käämivirta

I'_w = toisiopuolen käämivirta

Differentiaalitoimilohkon ominaiskäyrän alue a I_{BIAS1} :een asti kuvaa erovirtasuojan herkkää havahtumisaluetta havahtumisrajan ollen kuitenkin suurempi kuin normaalitilanteessa esiintyvät virrat. Kyseinen alue rajoittuu virtaan, joka voi olla, esimerkiksi puolet nimellisvirrasta, kuten kuvassa 8. Vastaavasti alue b, eli kuvassa 8 esitetty Slope1 on ominaiskäyrän alue, jolla kompensoidaan muuntajan käämikytkimen vaikutus. Alueen asettelu annetaan prosentteina, kuten myös muuntajan käämikytkimen asettelu yleensä annetaan.

Käytännössä alue b sallii enemmän erovirtaa muuntajan nimellisvirralla. Ominaiskäyrän alue c eli Slope2 on alue, joka sallii virtavirheet, jotka ovat syntyneet virtamuuntajien tai mittauspiirien virheistä. Viimeinen alue huomioi myös suurilla virroilla syntyvät virheet virtamuuntajien kyllästyessä. Laukaisukäyrällä olevan alueen- c asettelut vaativat yleensä simulointeja. Käytännössä viimeisen alueen lopussa voi olla vielä yksi alue, joka on tarkoitettu ylemmälle differentiaalipor- taalle $\Delta I \gg$. Kuvassa 8 tämä ylemmän portaan ominaiskäyrä on esitetty katkoviivalla ja sen toiminta on samanlainen kuten ominaiskäyrän alussa olevalla alueella a, mutta ylempi porrass toimii suuremmalla erovirralla. VAMP 265 -suojareleen laukaisu tapahtuu, kun muuntajan erovirta menee kuvassa 8 näkyvän ominaiskäyrän yläpuolelle. Vastaavasti virran ollessa käyrän alapuolella ei suojareleen laukaisua saa tapahtua. Jos differentiaalisuojausta käytetään pelkästään generaattorin suojaamiseen on ominaiskäyrän alue b eli Slope1 aseteltava mahdollisimman pieneksi, käytännössä sen saa aseteltua noin 5 %:iin. /29/

6.4 Muuntajan vinokuormitussuojaus

Epäsymmetrisellä kuormituksella tarkoitetaan tilannetta, jossa muuntajaa ei kuormiteta tasaisesti kaikkien vaiheiden kesken. Generaattoreilla ja moottoreilla vinokuormitus aiheuttaa vastakkaisen kentän, joka vaikuttaa roottoriin kaksinkertaisella taajuudella. Virrat indusoituvat roottorin pinnalle ja aiheuttavat paikallisia kuumia pisteitä roottorin rakenteiden epäjatkuvuuskohtiin. Vinokuormitus aiheuttaa muuntajaan jännite-epäsymmetriaa, mutta myös yliaaltoja. Muita haittavaikutuksia jännite-epäsymmetriasta sähkömoottoreissa ovat suurentuneet roottorihäviöt ja vääntömomentin pieneneminen.

Jännite-epäsymmetria ei ole hyväksi muuntajalle, koska se aiheuttaa virtojen muuttumisen. Virtojen muuttuminen puolestaan aiheuttaa sen, että muuntajan sisälle syntyy kuumia pisteitä, jotka aiheuttavat muuntajan vanhenemista. Muuntajan vanheneminen riippuu öljyn ja käämien lämpötilasta sekä eristeiden kosteudesta ja puhtaudesta. Muuntajan kuormitettavuus rajoittuu muuntajan eristeiden vanhetessa. Muuntajan käämin kuumin piste saa lämmitä korkeintaan +98 °C:een, jolloin vanheneminen on vielä normaalia. Muuntajan eristyksen vanhenemisnopeus kaksinkertaistuu ja vastaavasti muuntajan elinikä lyhenee puoleen aina jokaista kuutta astetta kohden, joka ylittää +98 °C:ttä.

Muuntajan kestäminen epäsymmetristä kuormitusta riippuu myös muuntajan kytkentäryhmästä ja sitä kautta muuntajaan aiheutuneista epäsymmetrisistä virroista. Muuntajan kytkentä Yyn on erittäin altis epäsymmetriselle kuormitukselle. Yyn on kytkentä, jossa ensiö- ja toisiokäämit on kytkettynä tähteen ja näin ollen käämien läpi kulkeva virta on suuri. Jakelumuuntajissa usein käytetty kytkentä Dyn sitä vastoin kestää paremmin epäsymmetristä kuormitusta. Paras vaihtoehto epäsymmetrisen kuormituksen kannalta on kuitenkin kytkentä Yzn, jossa ensiö on kytketty tähteen ja toisio puolestaan hakatähteen. Periaatteessa hakatähtikytkennän sähköiset ominaisuudet ovat samat kuin tähtikytkennän. Kun toisio on hakatähdessä, voidaan ensiö kytkeä tähteen, jolloin jännite-epäsymmetriaa ei pääse syntymään. Hakatähtikytkentää on käytössä yleensä vain pienitehoisissa muuntajissa. /11/ /18/ /26/

6.4.1 VAMP 265 -suojareleen I_2 > vinokuormitussuojausfunktio

VAMP 265 -suojareleessä on epäsymmetriasuojausporras, joka suojaa muuntajia, generaattoreita ja moottoreita epäsymmetrisiä vaihevirtoja ja yksivaihekyntiä vastaan. Suojan toiminta perustuu virran vastakomponenttiin, jota verrataan virran myötäkomenttiin ja asetusarvo on näiden kahden tekijän välinen suhde prosentteina. Suojausporrasta voidaan käyttää sekä vakioaikahidasteisena että käänteisaikahidasteisena. Vastakomponentin laskennassa on käytössä ainoastaan vaihevirran perustaajuinen komponentti.

VAMP 265 -suojareleessä on varauduttu myös siihen, että tarvitaan enemmän kuin yksi vakioaikahidasteinen suojausporras epäsymmetriasuojaukseen, jolloin siihen voidaan käyttää vapaasti ohjelmoitavia portaita. Kuvassa 9 on esitetty käänteisaikatoiminnan laukaisukäyrät. Vaaka-akselina koordinaatistossa on virran vastakomponentti suhteessa virtamuuntajan toisiovirtaan ja pystyakselina on suoja-portaan toiminta-aika. Pisin asetettava viive epäsymmetria suojausportalle on 1000 sekuntia.

Käänteisaikatoiminta perustuu alla olevaan kaavaan:

$$t = \frac{K_1}{\left(\frac{I_2}{I_N}\right)^2 * K_2}, \quad (3)$$

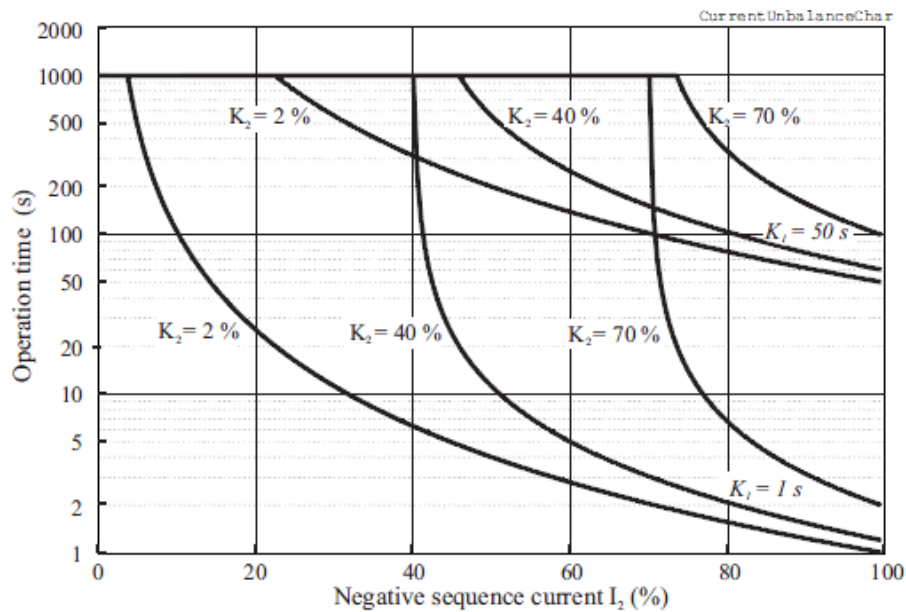
jossa t = toiminta-aika

K_1 = viive kerroin

I_2 = virran vastakomponentti

I_N = toision nimellisvirta

K_2 = havahtumisraja p.u.



Kuva 9. Vinokuormitussuojan käänteisaikatoiminnan laukaisukäyrät /29/

6.5 Muuntajan ylikuormitussuojaus

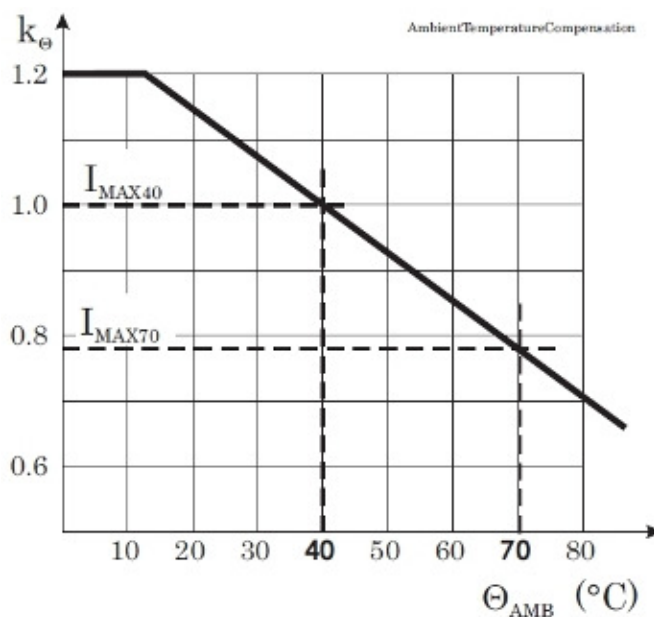
Muuntajan ylikuormitussuojaus voidaan tehdä sekä relesuojauksella että muuntajan öljyn lämpötilaa valvovilla laitteilla. Ylikuormittumisen suojaamisella on erittäin tärkeä merkitys muuntajan eliniän ja sitä kautta myös huollosta syntyneiden kustannusten vuoksi. Muuntajan käämien elinikä laskee aina, kun ylitetään sallittu nimellinen virta ja vanheneminen on sitä nopeampaa mitä enemmän nimellinen virta ylitetään. Tämä sama asia pätee myös generaattori- ja moottorikäyttöihin ja siellä ylikuormitussuojalla on vielä suurempi merkitys, koska muuntaja on harvoin ylikuormassa.

Generaattoreissa, kuten myös muuntajissa ylikuormitussuoja on yleensä kaksiporainen, aluksi suojareleestä saadaan hälytys ja korkeamassa lämpötilassa laukaisu. Isommille generaattoreille ja muuntajille voidaan järjestää myös automaattinen lämpötilanvalvonta, esimerkiksi käämeihin ja perustaa ylikuormitussuojaaminen todelliseen lämpötilaan. Täytyy osata valita kriittiset lämpötilan mittausspaikat, jotta suojauksesta tulee kattava. Generaattorissa lämpötilavalvottavia kohtia ovat esimerkiksi staattoriurat ja laakeripesät. Vastaavasti muuntajissa voidaan valvoa muuntajaöljyn lämpötilaa ja käämien lämpötilaa. /18/

6.5.1 VAMP 265 -suojareleen T> ylikuormitussuojausfunktio

VAMP 265 -suojareleessä on yksi ylikuormitussuojaukseen tarkoitettu suojausporras T>. Ylikuormitussuojauksen toiminta perustuu lämpenemän laskentaan, joka lasketaan vaihevirtojen rms- arvoista, josta muodostetaan IEC 60255-6 mukainen lämpömalli. Rms- arvot lasketaan virran harmonisista komponenteista, joita käytetään aina viidenteentoista yliaaltoon asti. Suoja havahtuu, kun lämpenemä ylittää asetellun rajan T> asetellun aikavakion τ kuluessa.

VAMP 265 -suojareleessä on otettu huomioon myös sellaiset muuntajat, joissa jäähdytys on toteutettu puhaltimella. Kun jäähdyttävä puhallin pysähtyy on muuntaja altis yllilämmölle. Tämä on otettu huomioon siten, että lämpöaikavakiolle annetaan kerroin, joka on käytössä silloin kuin virta on alle $0,3 \times I_N$. Jäähdytyksen pysähtymisestä on tärkeää saada myös hälytys, jotta voidaan ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin jäähdytyksen korjaamiseksi. Varsinainen ylikuormittuminen estetään asettelemalla suojausportaaseen laukaisuraja, joka ottaa huomioon ympäristön lämpötilan. Ympäristön lämpötila sovitetaan lämpötilakertoimen avulla jatkuvaan sallittuun kuormitusvirtaan. Kuvassa 10 on esitetty ympäristön lämpötilan vaikutus lämpötilan korjauskertoimeen. /29/



Kuva 10. Ympäristön lämpötilan vaikutus lämpötilan korjauskertoimeen /29/

6.6 Muuntajan maasulkusuojaus

Maasulkusuojaus voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, esimerkiksi suunnattuna ja suuntaamattomana riippuen käyttökohteesta. Tässä osiossa tutustutaan suuntaamattomaan maasulkusuojaukseen, koska VAMP 265 -suojareleessä on käytettävissä ainoastaan suuntaamaton maasulkusuoja. Maasulku määritellään siten, että se on käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan osan välinen eristysvika. Maasulusta tekee haitallisen sen aiheuttamat kiertovirrat, jotka aiheuttavat jännitteiden nousua terveissä vaiheissa. Aiheutuneen jännite-epäsymmetrian seurauksena varausvirtojen summa poikkeaa nolasta ja tämä osa kulkee vikapaikan kautta maahan muodostaen maasulkuvirran.

Muuntajalle tarvitaan erillinen maasulkusuojaus, koska maasulkuvirran suuruus riippuu toisiopuolen maasuluissa seuraavista asioista:

- vikapiirin impedanssi
- muuntajan kytkentäryhmä
- vikapaikan ja maan välinen vikaresistanssi.

Pieni maasulkuvirta on pelkistettävä kuormitusvirrasta muuntajan ensiöpuolelle. Vikavirran pelkistämisen toteutus riippuu muuntajan kytkentäryhmästä ja verkon maadoitustavasta. Kaikissa tapauksissa käytetään toisiovirtamuuntajien summakytkeä, kaapelivirtamuuntajaa tai vaihevirtasensoreista laskettua laskennallista summavirtaa maasulkusuojauksen perustana. Mittamuuntajien muuntosuhteet sekä maasulkuvirran suuruus määräävät suojareleiden herkkyden. Kun maasulkusuojausta varten valitaan mittamuuntajia, täytyy ottaa huomioon mahdollinen kuormituksen kasvu ja sitä kautta virtamuuntajien muuntosuhteen suureneminen. Kasvatettaessa virtamuuntajien muuntosuhdetta huononee suojareleiden herkkyys, mikäli käytetään virtamuuntajien summakytkeä. Tällaisissa tilanteissa on syytä käyttää maasulkuvirran mittaamiseen kaapelivirtamuuntajaa, jolloin pystytään säilyttämään suojareleen herkkyys kasvattamatta muuntosuhdetta.

Suuntaamattoman maasulkusuojan selektiivisyys on riippuvainen kytkentätilanteesta ja vikaresistanssin suuruudesta. Tämän vuoksi suuntaamaton suojaus soveltuu kohteisiin, joissa suuriresistanssisten vikojen syntyminen on epätodennäköistä. Pyrittäessä herkkään suuntaamattomaan maasulkusuojaukseen suositellaan, että nollavirtareleen toiminta varmistetaan nollajännitereleellä, joka näin ollen lukitsee suojan. Lukitus poistuu silloin, kun nollajänniterele havahtuu. Kyseisellä toteutuksella virhelaukaisujen määrä pienenee oleellisesti.

Suuntaamatonta maasulkusuojausta voidaan täydentää VAMP 265 -suojareleessä olevalla vaihekatkosuojalla. Tämä mahdollistaa suojauksen toiminnan maasuluisissa, joissa vika syntyy johtimen katketessa ja pudotessa maahan. /2/ /18/

6.6.1 VAMP 265 -suojareleen $I_{0>}$ maasulkusuojausfunktio

Maasulkusuojausta varten VAMP 265 -suojareleessä on 4 aseteltavaa porrasta, $I_{0>}$, $I_{0>>}$, $I_{0>>>}$ ja $I_{0>>>>}$. Tätä, niin sanottua epäsuoraa maasulkusuojausta eli nollavirtasuojausta, käytetään maasulkujen pääsuojana matalaimpedanssisissa verkoissa ja varasuojana suuri-impedanssisissa, maasta erotetuissa ja kompensoiduissa verkoissa. Suojarele mittaa perustajuista virtaa, jolloin kolmannen harmonisen suodatus on vähintään 60 dB. Tämä mahdollistaa maasulkusuojan erittäin korkean tarkkuuden, joka ei reagoi harmonisiin yliaaltoihin. Suoja havahtuu silloin, kun mitattu vikavirta ylittää asetellun arvon. Jos havahtuminen kestää pidempää kuin asetellun havahtumisviiveen verran, laukaisee suojarele muuntajan irti verkosta.

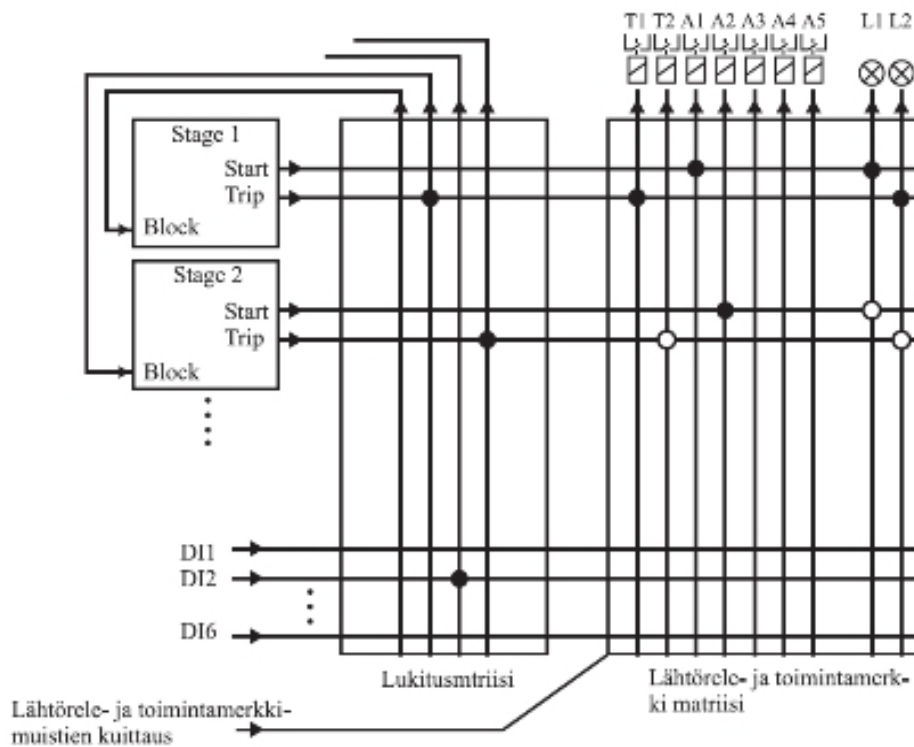
Alin suojausporras $I_{0>}$ voidaan asetella sekä käänteisaikahidasteiseksi että vakioaikahidasteiseksi. Sen sijaan muut portaat voidaan asetella ainoastaan vakioaikahidasteiseksi. Mittaukset eri portaille tulevat sisääntulokanavista I_{01} ja I_{02} . Vastavasti tulosignaalit voivat olla laskennallisia, joko ensiö- tai toisiopuolelta. Alimalle suojausportalle tuodaan myös I_{01} - ja I_{02} -mittauksista huippuarvot käänteisaikahidasteista toimintaa varten. Mitatun toisiovirran maksimiarvo on $10 \times I_{0N}$ ja vaihevirran $50 \times I_{0N}$.

Sellaisissa tilanteissa, joissa maasulkuvika on lyhyt eikä aiheuta suojuareleen laukaisua liian lyhyen havahtuneenaoloajan takia, käytetään suojausportaassa laskuri-toimintoa. Suojuarele huomioi I_{01PEAK} ja I_{02PEAK} huippuarvomittauksien avulla jopa yhden millisekunnin virtapiikit ja lisää tällöin yhdestä piikistä 20 ms viivelaskuriin. Kun laskuriin täyttyy 120 ms:a eli kuudennella kerralla suojuarele laukaisee. /29/

6.7 Muut VAMP 265:n suojuat

VAMP 265 -suojuarele sisältää edellä käsiteltyjen suojausportaiden lisäksi muitakin suojausfunktioita, esimerkiksi katkaisijavikasuojuan ja valinnaisena olevan valokaarisuojuan. Tässä osiossa käsitellään nämä yksittäiset suojuat, joiden käyttömuuntajan suojuuksen yhteydessä ei niinkään ole pakollista, mutta antavat kuitenkin sopivaa lisäsuojaa täydentäen muita suojausfunktioita.

Suojausfunktioiden lisäksi VAMP 265 -differentiaalisuojuarele sisältää muiden Vamp Oy:n valmistamien suojuareleiden tapaan lähtörelematriisin ja lukitusmatriisin. Lukitusmatriisin avulla voidaan estää suojausportaita toimimasta. Lukitseva signaali voi olla kosketintulo DI1-DI6 tai jonkun muun suojausportaan havahtumis- tai laukaisusignaali. Toisin sanoen lukitukseen voidaan käyttää suojuareleen sisäisiä signaaleja tai ulkoisia kosketintietoja digitaalitulojen kautta. Vastaavasti lähtörelematriisin avulla voidaan suojausportaiden ja kosketin tulojen signaalit ryhmitellä tarpeen mukaan lähtöreleille T1 ja T2, hälytysreleille A1-A5 sekä toimintamerkeille L1 (hälytys) ja L2 (laukaisu). Kuvassa 11 on esitetty lukitusmatriisin ja lähtörelematriisin toimintaperiaate. /29/



Kuva 11. Lukitus- ja lähtörematriisiin periaate /29/

6.7.1 VAMP 265 -suojareleen $\text{ArcI}>$ valokaarisuojausfunktio

Valokaarisuojauksen tavoitteena on ehkäistä valokaaren tuhoisilta vaikutuksilta. Vikavirran ja valokaaren tuho vaikutus riippuu syöttävän verkon oikosulkutehosta ja vian kestoajasta. Lisäksi valokaaren aiheuttama paineen nousu on riippuvainen laukaisuajasta. Näin ollen suojauksen on toimittava niin nopeasti, että vauriot ja häiriöt pysyvät kohtuullisina sekä verkon stabiilisuus säilyy.

VAMP 265 -suojareleessä valokaarisuojaus on toteutettu optisella valoanturiliitännällä ja erittäin nopealla ylivirtaportilla. Suoja toimii siten, että valoanturi havaitsee valoa ja samanaikaisesti virtaporras $I_{\text{arc}}>$ mittaa esiintyvää ylivirtaa. Valokaarisuojausportaan toiminta-aika on 15 ms:a. VAMP 265:ssä on neljä valinnaista valokaarisuojausporrasta, $\text{ArcI}>$, $\text{ArcI}'>$, $\text{ArcI}_{01}>$ ja $\text{ArcI}_{02}>$.

Valokaarisuojan suojausportaat toimivat seuraavasti:

- vaiheiden välinen valokaari, käytettävät virtatulot I_{L1} , I_{L2} ja I_{L3}
- vaiheiden välinen valokaari, käytettävät virtatulot I'_{L1} , I'_{L2} ja I'_{L3}
- vaiheen ja maan välinen valokaari, käytettävä virtatulo I_{01}
- vaiheen ja maan välinen valokaari, käytettävä virtatulo I_{02} .

Valokaarisuojauksesta saadaan myös ulos signaali, jonka avulla valokaarisuoja voidaan liittää muuhun suojaukseen, esimerkiksi automaattisiin C_{02} - sammutusjärjestelmiin. /29/

6.7.2 VAMP 265 -suojareleen $I_{2>}$ toisen harmonisen lukitusfunktio

Toiseen harmoniseen yliaaltoon eli 100 Hz:n komponenttiin perustuvan lukitusportaan päätarkoituksena on mitata perusaallon suhdetta toiseen harmoniseen yliaaltoon ja tämän perusteella lukita muita suojausportaita. Vaikka kyseinen lukitusfunktio on periaatteessa esitetty suojausfunktiona, ei sen tarkoituksena ole missään nimessä toteuttaa laukaisuja vaan ainoastaan lukita muiden suojausfunktioiden laukaisuja ja tällä tavoin voidaan parantaa varsinaisten suojausportaiden toiminnan tarkoituksenmukaisuutta. $I_{2>}$ - lukitusfunktio toimii differentiaalisuojausfunktion kanssa rinnakkain. Kyseistä lukitusfunktiota voidaan käyttää, esimerkiksi tilanteissa, joissa muuntaja kytketään valmiiksi kuormitettuun verkkoon. Differentiaalisuojausfunktiossa toisen harmonisen lukitus perustuu siihen, että virta nousee nolosta kytkentävirtasysäykseen ja tässä lukitusfunktiossa huomioidaan jo pohjalta olevan kuormitusvirran vaikutus. /24/ /29/

6.7.3 VAMP 265 -suojareleen katkaisijavikasuoja CBFP

Katkaisijan toimimattomuuteen voidaan varautua katkaisijavikasuojuksella. Katkaisija on mekaanisesti monimutkainen komponentti ja vaikka sitä kokeillaankin määrääjain ja sen kuntoa valvotaan, erilaiset toimintaviat ovat varsin yleisiä, joten niihin on syytä varautua.

Katkaisijavikasuojan tarkoituksena on toimia nopeana varaporttana tilanteissa, joissa jonkin suojan laukaisu ei saa paikallista katkaisijaa auki. Katkaisijavikasuojan toiminta perustuu katkaisijan toiminta-ajan tarkkailuun, kyseinen aika lasketaan asetellun laukaisureleen laukaisusta saman releen palautumiseen. Mikäli aika on pidempi kuin katkaisijavikaportaan toiminta-aika, aktivoi katkaisijavikasuoja ulostuloreleen, joka pysyy aktiivisena kunnes laukaisurele palautuu. Katkaisijavikasuojan toiminta-aika on valittava niin pitkäksi, että katkaisija ehtii toimia ja suojarile palautua. Katkaisijavikaportaan toiminta perustuu ulostuloreleen ohjauksen valvontaan ja näin ollen toimii sekä ylivirta että maasulkutilanteissa.

/18/ /26/ /29/

7 KÄYTTÖÖNOTTOKOESTUS

7.1 Suojareleiden käyttöönotto

Relesuojauksen merkitys sähköverkon komponenttien kannalta on erittäin olennainen, mutta yhtä olennainen asia on myös saada relesuojaus toimimaan suunnitellulla tavalla. Suunniteltua toiminnallisuutta testataan ensimmäisen kerran käyttöönottokoestusvaiheessa, jolloin eri suojareleiden suojausasetusten toimivuus tarkastetaan. Pelkästään jo sähköturvallisuusmääräykset edellyttävät käyttöönottokoestuksen tekemistä, mutta varmuus suojalaitteiden toiminnasta on saatava, jotta tiedetään suojauksen olevan toimintavalmis joka hetki.

Sähköturvallisuusmääräysten mukaan on yli 1000 V sähköaseman ylivirta- ja maasulkusuojien asettelut, toiminta ja kunto tarkastettava käyttöönoton yhteydessä sekä vähintään kolmen vuoden välein. Tämän lisäksi sähköturvallisuusmääräyksissä todetaan, että sähkölaitteet- ja laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava siten, että niistä ei aiheudu henkeen, terveyteen tai omaisuuteen kohdistuvaa vaaraa. Sähkölaitteet- ja laitteistot eivät saa myöskään aiheuttaa sähköisesti tai muulla tavoin kohtuutonta vaaraa ympäristölleen.

Suojareleen käyttöönottokoestuksella on vaikutusta myös sähkönlaatuun. Suojauksen oikean toiminnan varmistamisella taataan, että sähkönjakelu jatkuu suojareleen rajaaman vika-alueen ulkopuolella. Tämä vähentää sähkönjakelussa tapahtuvien keskeytysten määrää ja näin ollen parantaa sähkönlaatua. Määräaikaiskoestuksien yhteydessä voidaan huolellisella huollon suunnittelulla vähentää kuluttajien kokemia keskeytyksiä, jolloin voidaan, esimerkiksi syöttää tarvittava teho toiselta sähköasemalta.

Tärkeää on myös käyttöönottokoestukseen liittyen ymmärtää, että se koskettaa kokolaitteistoa, joka liittyy relesuojaukseen. Suojarele ei yksinään pysty suorittamaan tehtävistään, vaan tarvitsee toimiakseen muita komponentteja. Näin ollen mittamuuntajien, katkaisijoiden ja apusähköyhteyksien toiminta on tunnettava, jotta pystytään määrittelemään toimiiko suojaus selektiivisesti oikein.

Käyttöönottokestuksen tavoitteena on kokeilla käytännön toimintoja ja eri laitteiden toimintaa. Käyttöönottokestuksessa mitataan suojauslaitteiden ja säätimien suureita ja simuloidaan sekä käyttötilanteita että vikatilanteita. Mittaukset suoritetaan käytön vaatimalla tarkkuudella, jolla varmistetaan laitteiston moitteeton toiminta. Ennen kestuksen aloittamista on tiedettävä kunkin suojauslaitteen merkitys järjestelmässä, jotta voidaan todeta järjestelmälle asetetut vaatimukset.

Käyttöönottokestuksen käytetään seuraavia kestuustapoja:

- suojauslaitteen ensiökestu
- suojauslaitteen toisiökestu
- suojauslaitteen valehäiriökestu
- suojauslaitteen kestu.

Kyseisistä kestuustavoista kaikkein luotettavin on ensiökestu, koska se kattaa kaikki laitteet jotka ovat mukana suojauksessa. Käytännössä kuitenkin ensiökkestäminen on niin työlästä, että kestuukset suoritetaan yleensä toisiökestuksina. Suojauslaitteen valehäiriökestuksessa tehdään tarkoituksellisesti ensiöpuolen vika, josta sitten todetaan suojauslaitteen toiminta. Käytettäessä kestuustapana suojauslaitteen kestuusta, irrotetaan suojauslaitteet suojauspiiristään ja kytketään kestuuslaitteistoon. Tämä kestuustapa puolestaan soveltuu, esimerkiksi siihen, että suojauslaitteen toiminta testataan asetuilla parametreilla ennen sen asentamista kestuistoon. Näin ollen voidaan vielä rauhassa korjata suojauslaitteen asetuksia, mikäli ongelmia ilmenee. Kuitenkin sen jälkeen, kun kestuisto asennetaan paikalleen, tehtäisiin suojauslaitteelle toisiökestu, jotta saadaan varmuus toiminnasta järjestelmässä.

Riippumatta käytettävästä kestuustavasta, ei niistä mikään ole täysin riskitön sähköturvallisuutta ajatellen. Kuitenkin huolellisuudella ja sähköturvallisuusmääräysten noudattamisella voidaan pienentää riskiä.

Koestuksessa on otettava huomioon seuraavat sähköturvallisuusnäkökohdat:

- laitteiden jännitteettömyys
- työskentelysuojat
- työmaadoitukset
- koestuslaitteiden kytkennät
- ammattitaito ja laitoksen sähkönjakelun tuntemus.

Vaikka koestuslaitteiden kytkennät on tehtävä sähköturvallisuusnäkökohtien mukaisesti, voivat virheelliset kytkennät aiheuttaa vaaratilanteita. Myös koestuskytke-
ntöjen purkaminen huolellisesti ja oikeassa järjestyksessä on erittäin tärkeää. Järjestyksessään viimeisenä ennen jännitteiden kytkemistä, puretaan työmaadoitukset. Erityisen tärkeää on myös muistaa asettaa suojareleelle oikeat toiminta-arvot.

Käyttöönotto-koestuksen voi suorittaa yksi henkilö, mutta testausvaiheissa tarvitaan avuksi myös toinen koestaja, esimerkiksi sähköaseman käytöstä vastaava henkilö. Useamman koestajan käyttö on usein tarkoituksenmukaista, esimerkiksi suurissa kohteissa. Kun käytössä on useampi koestaja, voidaan tehtäviä jakaa ja näin ollen saadaan toiminnasta nopeampaa, minkä lisäksi inhimillisten erehdyksi-
en määrä pienenee. /8/

7.2 Koestuksessa käytettävät laitteet

Suojareiden käyttöönotto-koestus tehdään useimmiten toisiokoestuksena, jolloin koestuslaitteilta ei vaadita yhtä suurta suorituskkyä kuin ensiökoestuksessa. Lisäksi toisiokoestaminen on taloudellisempaa ja helpompaa kuin ensiökoestaminen. Koestuslaitteen suorituskkyyn ei tarvitse olla suuri, esimerkiksi testauksessa käytettävien virtojen osalta, mutta koestuslaitteilta vaaditaan monipuolisuutta. Koestuslaitteen on kyettävä syöttämään suojareleen mittauskanaviin haluttua virtaa, jännitettä, taajuutta ja myös jännitteen ja virran välistä vaihesiirtokulmaa on joissakin koestuksissa pystyttävä muuttamaan. Usein koestuslaitteet sisältävät myös ajan mittaamiseen tarkoitettuja toimintoja, joita käytetään yleensä suojare-

leen toiminta-aikojen tarkkaan mittaamiseen. Suojareleessä käytettävät toiminta-ajat ovat suhteellisen lyhyitä, jolloin selektiivisen toiminnan kannalta on suojaisportaiden toiminnan on oltava täsmällistä.

Toisiokoestamiseen tarvitaan koestuslaite, joka on joko kolmi- tai yksivaiheinen. Monipuolisimmissa koestuslaitteissa on jopa kuusi erikseen aseteltavaa virtalähtöä. Kyseinen kuusikanavainen toisiokoestuslaite on erityisen käyttökelpoinen, esimerkiksi differentiaalisuojaa koestettaessa. Esimerkiksi sähkölaitokset suosivat vähäisen koestustarpeen vuoksi yksivaiheisia koestuslaitteita, koska ne ovat huomattavasti halvempia ja käyttäjäystävällisempi kuin kolmivaiheiset koestuslaitteet. Kolmivaiheisten koestuslaitteiden etuna on se, että toiminta on nopeampaa ja suorituskyky on parempi kuin yksivaiheisilla koestuslaitteilla. Kolmivaiheisia koestuslaitteita käyttävätkin sekä käyttöönottokoestuksiin erikoistuneet yritykset että suojarelevalmistajat.

Suojareleiden koestuksessa käytettäviä laitteita valmistavat useat eri valmistajat, joista suosituimpia ovat itävaltalainen OMICRON sekä yhdysvaltalainen MEGGER GROUP. Keväästä 2009 lähtien MEGGER GROUPin on kuulunut ruotsalainen koestuslaitevalmistaja PROGRAMMA ELECTRIC AB, jonka nimi on nykyisin MEGGER SWEDEN AB. Ruotsalaisvalmistaja MEGGER SWEDEN AB on erikoistunut koestuslaitteiden valmistukseen ja yrityksen suosituimpia koestuslaitemalleja ovat GE-Energyn edustamat yksivaiheiset Sverker 750/780 ja Freja - 300.

Vamp Oy:llä on käytössä molempien valmistajien koestuslaitteita. Crimppi Oy:n toimesta tapahtuvassa suojareleiden tuotannossa on käytössä sekä Freja 300- ja OMICRON 256-6 -toisiokoestuslaitteet. Freja 300 -mallilla ei voida tehdä kolmivaiheisia koestuksia pienen virransyöttökykynsä vuoksi, joka on ainoastaan 3 x 15A, mutta MEGGER SWEDEN AB on tuonut markkinoille uuden Freja 306 -mallin, jossa virransyöttökyky on aikaisempaa parempi ollen 3 x 35A.

Toinen Vamp Oy:llä käytössä oleva MEGGER SWEDEN AB:n valmistama koestuslaite on Sverker 760, josta on myös nykyisin markkinoilla paranneltuversio Sverker 780. Sverker 760 -toisiokoestuslaite on myös sähkölaitosten suosiossa

hyvän suorituskykynsä ja kompaktin kokonsa ansiosta. Kuvassa 12 on esitetty Sverker 760 ja Omicron 256-6 -toisiokoestuslaitteet.



Kuva 12. Toisiokoestuslaitteet, vasemmalla Omicron 256-6 ja oikealla Sverker 650 /20/ /21/

Kuvassa 12 näkyvien toisiokoestuslaitteiden lisäksi suoja-releen käyttöönotto-koestuksessa on hyvä olla mukana digitaalinen yleismittari, jolla voidaan esimerkiksi koestaa laukaisukoskettimien toiminta. Kannettava tietokone on myös oltava matkassa koestustilanteessa, jotta suoja-rele saadaan aseteltua ja konfiguroitua. Vamp Oy:n valmistamissa suoja-releissä on käytössä VAMPSET- ohjelma, jota käytetään käyttäjälähtyntyä suoja-releeseen. VAMPSET- ohjelman viimeisin versio on ladattavissa Vamp Oy:n kotisivuilta. /15/ /19/

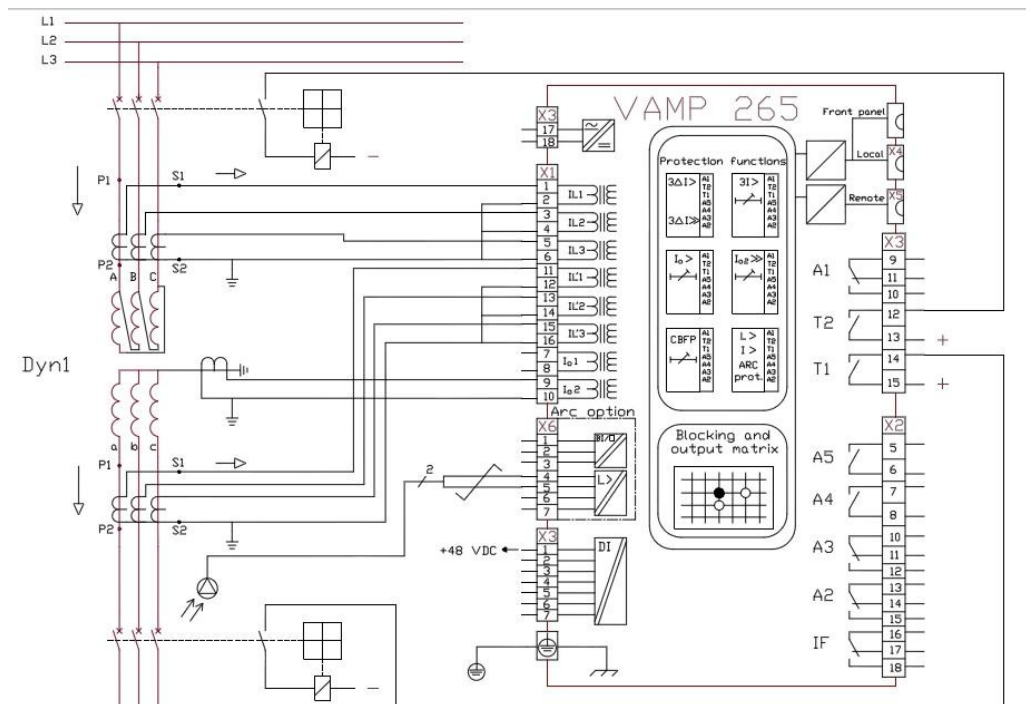
7.3 Suojausportainen koestaminen

Suojausportaiden koestamisella on tärkeä merkitys suoja-releen oikean toiminnan varmistamiseksi. Tässä käyttöönotto-koestusohjeessa tutustutaan suoja-releen toisiokoestukseen, joka on käyttöönoton kannalta helpompi tehdä ja vaatii vähemmän suorituskykyä koestuksessa vaadittavalta koestuslaitteelta. Tässä opinnäytetyössä luotavan ohjeistuksen tarkoituksena on pyrkiä välttämään koestuslaitesidonaisuutta. Tähän pyritään siksi, että käyttöönotto-koestajilla on käytössä erilaisia koestuslaitteita. Ennen kaikkea differentiaalisuojaus vaatii koestuslaite-

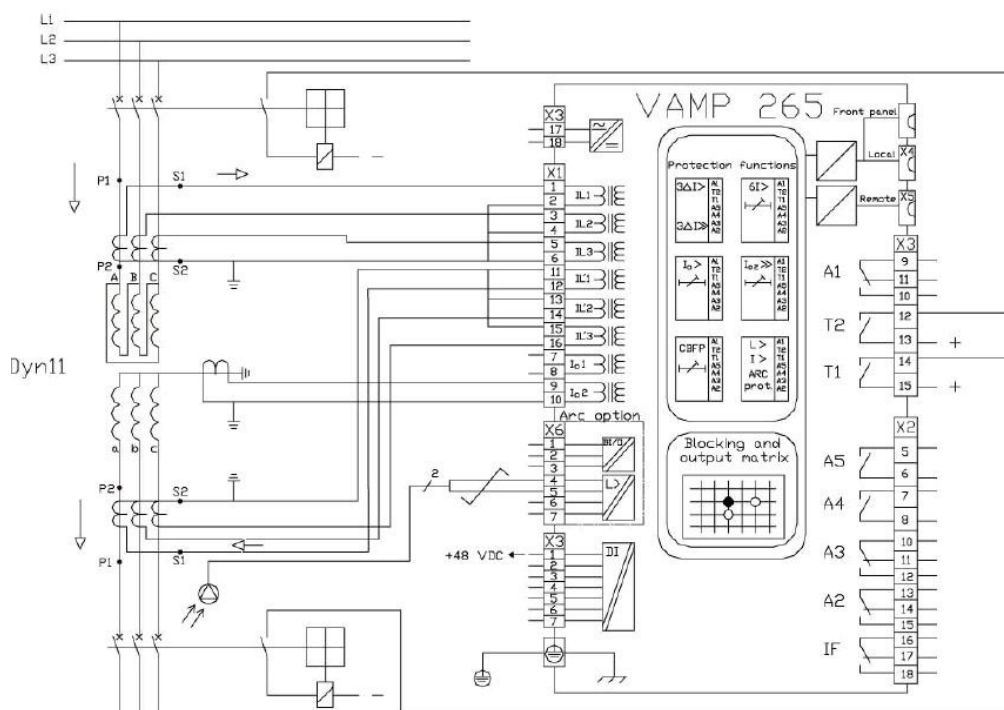
ta ominaisuuksia, joita ei kaikista koestuslaitteista löydy. Näin ollen tässä varsinaisessa käyttöönotto-ohjeessa annetaan esimerkkejä suojausportaiden koestukseen kuitenkin niin, että ohje ei opeta käyttämään koestuslaitetta, vaan antaa valmiudet suojausportaiden luotettavaan koestamiseen.

Käyttöönotto-ohjeessa annetaan myös suojausfunktioille esimerkkikoestusarvot, joiden avulla koestuksen voi suorittaa, mikäli käytössä ei ole suunnittelijan antamia koestusarvoja. Liitteessä 1 olevassa käyttöönotto-ohjeessa on otettu kantaa suojausportaiden eri suojausfunktioihin liittyviin sallittuihin rajoihin, joten tässä osiossa ei niitä mainita numeroarvoina.

Ennen kuin varsinaisen suojausportaiden koestaminen voidaan aloittaa, on kaikki johdotukset käytävä kuva kuvalta ja liitin liittimeltä läpi mahdollisten kytkentävirheiden varalta. Olennaista on se, että tarkastetaan virtamuuntajien nimellisarvojen ohella myös niiden oikea kytkentä eli onko virtamuuntajien kytkentä tyyppiä 1 vai tyyppiä 2. Näiden virtamuuntajien kytkentätyyppien merkitys on se, että nähdään virran kulkevan oikeaan suuntaan. Kuvassa 13 on esitetty esimerkki virtamuuntajien oikeanlaisesta kytkennästä VAMP 265 -suojareleeseen, mikäli virtamuuntajien kytkentä on tyyppiä 2. Vastaavasti kuvassa 14 on esitetty oikeanlainen virtamuuntajien kytkentä virtamuuntajien tyyppiä 1 ollessa tyyppiä 1. /18/



Kuva 13. VAMP 265 -suojareleen kytkentä Dyn11-kytkentäisen muuntajan suo-
jaksi, virtamuuntajien kytkentä, tyyppiä 2. /29/



Kuva 14. VAMP 265 -suojareleen kytkentä Dyn11-kytkentäisen muuntajan suo-
jaksi, virtamuuntajien kytkentä, tyyppiä 1. /29/

7.4 Ylivirtasuojausfunktion koestaminen

VAMP 265 -suojarele sisältää suuntaamattoman kolmivaiheisen ylivirtasuojan, joka sisältää neljä aseteltavaa suojausporrasta, joista $3I>$ ja $3I>>$ ovat ensiöpuolen suojausportaavat ja toisiopuolen suojausportaavat ovat $3I'>$ ja $3I'>>$. Ylivirtaportaita voidaan käyttää ja kannattaa käyttää siten, että suojausportaavat $3I>$ ja $3I>>$ laukaisevat yläjännitepuolen katkaisijan ja vastaavasti suojausportaavat $3I'>$ ja $3I'>>$ laukaisevat alajännitepuolen katkaisijan. Koestuksen yhteydessä tulee tarkastaa, että suojausfunktioista tuodaan laukaisu oikealle laukaisukoskettimelle. Eteen voi tulla tilanteita, joissa toisiopuolen momenttiporrasta $3I'>>$ ei oteta käyttöön ollenkaan, jolloin sitä myöskään ei tarvitse koestaa.

Alimmat suojausportaavat on aseteltavissa toimimaan sekä vakioaikahidasteisesti että käänteisaikahidasteisesti. Ylivirtaportaiden, $3I>$, $3I>>$, $3I'>$ ja $3I'>>$ koestuksessa tarkastetaan kaikkien käytössä olevien suojausportaiden havahtumisarvot, toiminta-ajat ja lisäksi koestetaan ylivirtasuojausfunktion päästövirta-arvo, joka kertoo millä koestusvirralla suojausfunktion havahtuneenaolo loppuu.

Päästövirran mittauksen avulla saadaan laskettua ns. päästösuhde, joka on tyypillisesti numeerisilla suojareleillä luokkaa 0,9-0,95. Vastaavasti päästösuhteen puuttua arvoon 0,82 on suojarele vaihdettava, koska se ei välttämättä toimi oikein ja voi näin ollen aiheuttaa virhetoimintoja. Tämä ei ole kuitenkaan enää numeeristen suojareleiden aikana ongelma, mutta vanhoilla sähkömekaanisilla ja staattisilla releillä tätä ns. vanhenemista tapahtui. Numeerisilla suojareleillä mittaus tehdään, jotta voidaan varmistua siitä, että suojarele palautuu vian poistuessa. Mikäli suoja-releessä olisi jokin sisäinen vika esimerkiksi ohjelmoinnissa, se tulisi ilmi tässä mittauksessa.

VAMP 265 -suojareleen yleensä ensiöpuolella käytettävä ylivirtaporras $3I>$ mittaa virtaa virtaliittimistä I_{L1} , I_{L2} ja I_{L3} . Vastaavasti toisiopuolella käytettävä ylivirtaporras $3I'>$ mittaa virtaa virtaliittimistä I'_{L1} , I'_{L2} ja I'_{L3} , jotka näkyvät kuvassa 13. Koestus voidaan tehdä kolmivaiheisesti, jos käytössä on Omicron 265-6 tyyppinen koestuslaite tai yksivaiheisesti esimerkiksi Sverker 650 -koestuslaitteella.

Mikäli käytössä on yksivaiheinen koestuslaite tehdään koestus vaihe kerrallaan syöttämällä suojareleen asetteluiden mukaista virtaa virtoja mittaaviin kanaviin.

Havahtumisarvoa koestettaessa aloitetaan virran syöttäminen nostamalla virtaa hitaasti ylöspäin kohti asetteluarvoa suojareleen havahtumiseen saakka. Suojareleelle voidaan koestaa ns. päästövirta-arvo laskemalla virtaa läheltä havahtumisrajaa alaspäin ja ottaa päästöarvo ylös siten, että koestuslaite pysäytetään laskevalla reunalla. Tämän jälkeen havahtumisarvo ja päästöarvo kirjataan ylös ja tarkastetaan, että saatu tulos on sallituissa rajoissa. Lisäksi lasketaan havahtumisarvon ja päästövirran avulla päästösuhde.

Suojausportaan toiminta-aika koestetaan syöttämällä suojareleeseen asetusarvoon verrattuna kaksi kertaa suurempaa virtaa. Laukaisun tapahduttua kirjataan ylös laukaisuaika ja tarkastetaan, että tulos sallituissa rajoissa. Jos ylivirtasuojausfunktion alemmassa portaassa 3I> on käytössä käänteisaikatoiminto, täytyy suojausportalle laskea kaavan 4 mukainen toiminta-aika. Käänteisaikatoiminto voi olla joko NI, VI, EI tai LTI.

Ylivirran toista porrasta I>> nimitetään yleisesti momenttiportaaksi. Tämä portaan koestaminen tapahtuu samalla tavalla kuin alemmankin portaan koestaminen. Havahtumisarvon, havahtumisajan ja päästöarvon mittaamisen lisäksi voidaan joutua koestamaan I>>- suojausportaan lukitus, jota voidaan käyttää esimerkiksi siten, että 20 kV:n lähtö lukitsee 20 kV:n syöttökentän. Lukituksen koestus toteutetaan siten, että lukitus pakotetaan päälle ja mitataan lukituksen tapahtumiseen menevä aika, joka voi olla tyypillisesti luokkaa 0,9 s. /14/ /22/

$$t = \frac{k \times A}{\left(\frac{I}{I_{Peak}} \right)^B - 1}, \quad (4)$$

jossa t= toiminta-aika

k= käyttäjän kerroin

I= Mitattu virta

I_{Peak} = Virran asetusarvo

A, B= IEC 60255-3 mukaiset vakiot käänteisaikahidastuksen laskentaan

Taulukossa 6 on esitetty IEC 60255-3 -standardin mukaiset vakiot eri käänteisaikatoiminnolle. VAMP 265 -suojareleessä on myös valittavissa neljä muuta käänteisaika karakteristikkaa, jotka ovat IEEE, IEE2, RI ja RXIDG. Näiden karakteristikoiden avulla toteutettavien käänteisaikatoimintakäyrien laskentaan tutustutaan tämän opinnäytetyön liitteenä 2 olevassa varsinaisessa VAMP 265 -suojareleen käyttöönotto-ohjeessa.

Taulukko 6. IEC 60255-3 mukaiset vakiot käänteisaikatoiminnan laskentaan /29/.

Delay type		Parameter	
		A	B
NI	Normal inverse	0,14	0,02
EI	Extremely inverse	80	2
VI	Very inverse	13,5	1
LTI	Long time inverse	120	1

7.5 Differentiaalisuojausfunktion koestaminen

Differentiaallinen ylivirtasuojaja eli erovirtasuojaja koestetaan suojausalueen eri puolilta. Koestuslaitteesta riippuen differentiaallinen ylivirtasuojaja voidaan koestaa joko yksivaiheisesti tai kolmivaiheisesti. Yksivaiheisessa koestuksessa täytyy jokainen vaihe koestaa erikseen. Yhdestä suunnasta koestettuna simuloitavaa häiriötä eli virtaa syötetään vain yhdestä suunnasta, tällöin koestus tehdään ensiksi suojausalueen ensiöpuolen virtaa mittaaville kanaville ja sen jälkeen toisiopuolen virtaa mittaaville kanaville. Kysellä menettelyllä saadaan koestettua kuvassa 8 esitetyn differentiaalisuojajan alkuosa eli ns. perusasettelu.

Mikäli differentiaalisuojaja halutaan koestaa koko ominaiskäyränsä alueelta, täytyy koestajalla olla käytössään joko kolmivaiheinen koestuslaite tai koestuslaite, jossa on kuusi virtakanavaa. Kolmivaiheisella koestuslaitteella koko ominaiskäyrän koestaminen suoritetaan vaihe kerrallaan. Kolmivaiheisella koestuslaitteella koestus on riippuvainen muuntajan kytkentäryhmästä, koska sen perusteella määritellään mihin vaiheisiin koestusvirtaa syötetään. Välttämättä tätä perusteellisempaa koestusta ei pystytä suorittamaan, koska usein koestajalla on matkassaan ainoastaan yksivaiheinen koestuslaite. Lisäksi koestaminen vaatii koestusvirtojen laskeamista, joka on suhteellisen mutkikasta. Näiden koestusvirtojen laskemista varten tässä opinnäytetyössä on tehty apusovellus, jolla voidaan tarvittavat koestusvirrat laskea.

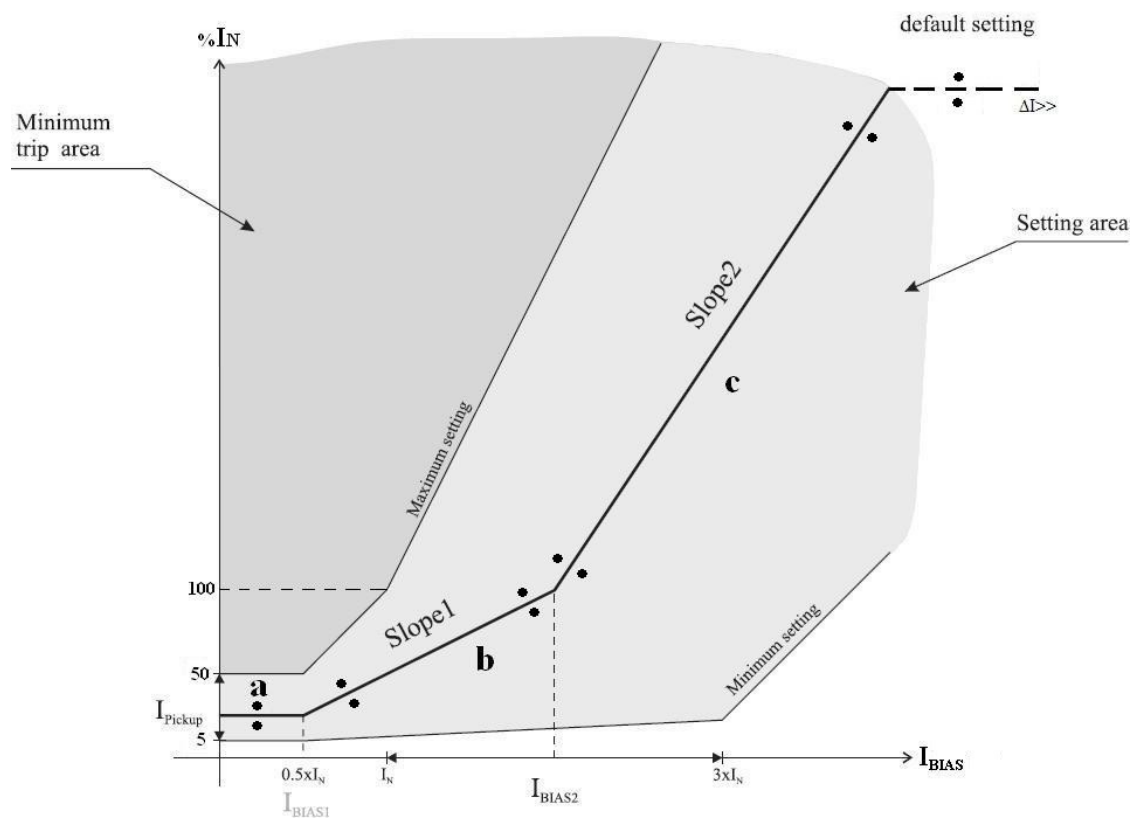
Jos koestus suoritetaan yksivaiheisella koestuslaitteella, koestuksen periaate on samanlainen kuin normaalin ylivirtaportaankin koestuksessa eli virtaa syötetään virtaa mittaavaan kanavaan, nostaen virtaa pienillä pykälillä kohti havahtumisarvoa eli asetteluiden mukaista virtaa. Koestuslaitteesta riippumatta laitetaan koestuslaitteen koestusvirta tallentumaan nousevalta reunalta nostettaessa virtaa. Tätä käytetään silloin kun koestetaan suojausfunktion havahtumisarvoa. Vastaavasti koestettaessa päästöarvoa laitetaan koestusvirta tallentumaan laskevalta reunalta, jolloin myös kello pysähtyy yhtä aikaa. Differentiaalisuojausportaita koestettaessa on muistettava laittaa koestuslaitteeseen riittävästi vaimennusta, jotta saadaan riittävän tarkat mittaustulokset.

Koestettaessa havahtumisaikaa nostetaan virta reilusti yli havahtumisarvon eli vähintään 1,5 -kertaiseksi havahtumisarvoon nähden ja vasta sitten kytketään koestusvirta suojareleelle, jolloin suojareleen laukaisu on mahdollisimman nopea. Differentiaalisuojausfunktioiden koestuksen yhteydessä koestetaan yhdeltä vaiheelta myös aika, jossa on mukana sekä suojareleen havahtumisaika että katkaisijan toiminta-aika. Aika mitataan katkaisijan auki- tilatiedosta. Tästä koestuksesta saadaan otettua todelliset ajat, esimerkiksi verkkotietojärjestelmän käyttöön.

Differentiaalisuojan ylemmän portaan $dI \gg$ koestuksessa riittää yleensä se, että koestus suoritetaan yhdeltä vaiheelta. Tässä koestuksessa on kuitenkin muistettava ottaa alemman portaan koestuksessa vaaditut vaimennukset pois, koska ylemmälle suojausportaalle joudutaan syöttämään suurempaa virtaa alempaan suojausportaan verrattuna. Jos vaimennukset olisivat tässä tilanteessa käytössä, saattaisi koestuslaite kärsiä. Muutoinkin ylemmän differentiaalisuojausportaan koestus poikkeaa alemman portaan koestuksesta hieman siinä käytettävän suuremman virran vuoksi. Suuri koestusvirta voi vaurioittaa suojarelettä, joten koestuksen ajaksi on jätettävä joku toinen suojausfunktio päälle, joka viimeistään katkaisee koestusvirran esimerkiksi yhden sekunnin jälkeen ja näin ollen koestusvirta ei ole liian kauan päällä. Päälle voidaan jättää esimerkiksi ylivirtaporras, jonka toiminta-aika on pidempi kuin differentiaalisuojan ylemmällä suojausportaalla. Itse koestuksessa ei ole järkevää hakea mittaustulokseen viimeisiä kymmenyksiä, koska koestus voi olla todella raskas suojareleelle.

Koko ominaiskäyrän koestamisen voi suorittaa parhaiten koestuslaitteella, jossa on kuusi virtakanavaa. Lisäksi virran vaihekulman muuttaminen tässä koestuksessa on tarpeellista. Koestus suoritetaan siten, että kaikkiin vaiheisiin sekä ensiöpuolelle, että toisiopuolelle syötetään samansuuruista virtaa. Nostamalla virtojen arvoja saadaan vakavointivirta isommaksi ja näin ollen päästään ominaiskäyrällä eteenpäin. Toisiopuolen virtojen kulmaa muuttamalla saadaan virran koestusarvo osumaan ominaiskäyrälle. Kuvan 15 mukaisesti koestus suoritetaan ominaiskäyrällä siten, että haetaan pisteet, joissa suojarele laukaisee. Lisäksi etsitään samalla vakavointivirran arvolla koestusvirralle piste, jossa suojarele ei laukaise. Tällä menettelyllä saadaan todennettu se, että differentiaalisuojarele pysyy sallituissa

rajoissa. Vaihtoehtoisesti koko ominaiskäyrän koestaminen voidaan suorittaa siten, että toisiovirran avulla tuotetaan kuormitusvirta. Ensiövirtaa nostamalla saadaan sekä vakavointivirta että erovirta nousemaan määriteltyä koestusvirtaa vastaavaksi. Tätä tapaa käytettäessä on käytössä oltava koestuslaite, jossa on kuusi virtakanavaa. Myös kolmivaiheisella koestuslaitteella voidaan koestaa koko ominaiskäyrä tietyllä muuntajan kytkentäryhmillä, esimerkiksi kytkentäryhmillä Yy ja Yd. Tällöin koestaminen on kuitenkin oleellisesti hitaampaa, koska koestus on suoritettava vaihe kerrallaan ja koestuksen tarkkuus ei ole yhtä hyvä kuin käytettäessä koestuslaitetta, jossa on kuusi virtakanavaa. /14/ /22/



Kuva 15. Esimerkki koestuspisteistä differentiaalisuojareleen ominaiskäyrällä

7.5.1 Differentiaalisuojaukseen liittyvät virtamuuntajat

Differentiaalisuojauksessa virtamuuntajien huolellisella valinnalla on erittäin suuri merkitys, koska virtamuuntaja kyllästyessään voi aiheuttaa differentiaalisuojauksportaan turhaa toimimista. Differentiaalisuojauksessa on otettu huomioon omaiskäyrän avulla virtamuuntajien kyllästyminen, mutta kaikissa tapauksissa se ei estä turhia laukaisuja.

Virtamuuntajien oikea mitoitus on avainasemassa differentiaalisuojausta ajatellen, koska liian pieniksi mitoitettut virtamuuntajat kyllästyvät ja aiheuttavat erovirtaa. Virtamuuntajan rautasydämen kyllästymisen aiheuttaa muuntajan kytkentävir-tasäyksessä sekä oikosulkuvirrassa esiintyvän tasakomponentin vaikutus. Pahimmassa tilanteessa virtamuuntajien kyllästyessä suuren ensiövirran vuoksi, voi virtamuuntajan kyllästyminen olla pysyvää. Vamp Oy suosittelee, että differentiaalisuojauksessa käytettäisiin virtamuuntajaa, jonka toisiovirta on 1 A. Yhden ampeerin toisiovirtaa suositellaan siksi, että virtamuuntajien kyllästyminen on epäherkempää yhden ampeerin kuin viiden ampeerin toisiovirralla. Riippuen tilanteesta, yhden ampeerin toisiovirralla toimiva virtamuuntaja voi olla luokka kymmenen kertaa epäherkempi virtamuuntajan kyllästymiselle kuin viiden ampeerin toisiovirralla toimiva virtamuuntaja. Lisäksi yhden ampeerin nimellisvirtaa käyttämällä toisiotaakka pienenee ja samalla paranee myös virtamuuntajan toistokyky. Differentiaalisuojausfunktion pikalaukaisuportaan ansiosta riittää suojausalueella olevissa vioissa, että virtamuuntaja pystyy toistamaan ensimmäisen jakson aikana pikalaukaisuportaan tarvitseman virran. Suojattaessa kriittisiä kohteita, esimerkiksi suuria generaattoreita joudutaan käyttämään lineaarisia virtamuuntajia joskus jopa ilmasydämisiä virtamuuntajia /13/ /24/

7.5.2 Muuntajan kytkentäryhmän toteaminen

Kun muuntajan suojausta koestetaan on syytä tietää muuntajan kytkentäryhmä. Suojauksen suunnittelija on voinut esittää muuntajan kytkentäryhmän suojaukseen liittyvissä piirustuksissa. Kaikesta huolimatta on järkevintä käydä selvittämässä muuntajan kytkentäryhmä muuntajan tyyppikilvestä. Suomessa jakelumuuntajilla yleisesti käytössä oleva kytkentäryhmä on pienillä jakelumuuntajilla Yzd11 ja suurilla jakelumuuntajilla Dyn11. Siirto- ja jakeluverkon välissä käytettävillä suurmuuntajilla yleisesti käytössä oleva kytkentäryhmä on YNyn0 tai YNd11. /9/ /14/

7.6 Vinokuormitussuojausfunktion koestaminen

VAMP 265 -suojareleen vinokuormitussuojan toiminta perustuu virran vastakomponenttiin, jota verrataan virran myötäkomponenttiin ja asetusarvo on näiden kahden tekijän välinen suhde prosentteina. Suojausporrasta voidaan käyttää sekä vakioaikahidasteisena että käänteisaikahidasteisena.

Vinokuormitussuojaa koestettaessa on käytettävä kolmivaiheista koestuslaitetta, koska virran vastakomponentin laskenta perustuu vektorilaskentaan, jossa otetaan luonnollisesti kaikki vaiheet huomioon. Suojaus voidaan koestaan katkaisemalla yksi vaihe pois käytöstä, jolloin suojarele havahtuu heti ja laukaisee. Tällä toiminnalla saadaan todettua ainoastaan suojareleen toiminta-aika. Vastaavasti haluttaessa sekä havahtumisarvo että toiminta-aika selville on koestus toteutettava siten, että yhden vaiheen virtaa lähdetään pienentämään nimellisestä ja pienennetään niin kauan kunnes suojarele havahtuu. Havahtumisesta kirjataan havahtumisarvo ja suojareleen laukaisusta saatava toiminta-aika pöytäkirjaan. Tämän jälkeen tarkastetaan vielä, että havahtuminen ja toiminta-aika pysyvät sallituissa rajoissa. /12/ /29/

7.7 Ylikuormitussuojausfunktion koestaminen

Ylikuormitussuojausfunktio kuvaa suojattavan kohteen lämpötilaa ja lämpenevää matemaattisen mallin avulla, joka on kaavan 5 mukainen.

$$t = \tau * \ln \frac{I^2 - I_P^2}{I^2 - (k * I_N)^2} \quad (5)$$

jossa τ = lämpenemisaikavakio

I = mitattu vaihevirta

I_P = virta ennen ylikuormitusta

k = ylikuormituskerroin

I_N = nimellisvirta

Kaavojen avulla lasketaan ylikuormitussuojausfunktioille toiminta-aika ja aika ha-
vahtumistasoon. Suojausfunktiota koestettaessa syötetään suojareleelle ylivirtaa ja
koestuksesta saatuja aikoja verrataan laskettuihin arvoihin ja näin ollen tarkaste-
taan tuloksien oikeellisuus. Tämä koestus voidaan toteuttaa sekä yksivaiheisena
että kolmivaiheisena. Jotta ylikuormitussuojan koestaminen ei kestäisi kovin pit-
kään, kannattaa lämpenemisaikavakio asetella mahdollisimman lyhyeksi. /12/ /29/

7.8 Maasulkusuojausfunktion koestaminen

VAMP 265 -suojareleessä on maasulkusuojausta varten neljä suuntaamatonta
maasulkuporrasta, $I_0>$, $I_0>>$, $I_0>>>$ ja $I_0>>>>$. Kyseisiä suuntaamattomia maasul-
kuportaita käytetään yleensä maasulkusuojana pieni-impedanssisesti maadoite-
tuissa verkoissa. Jos verkko on suuri-impedanssinen, kompensoitu tai maasta ero-
tettu, käytetään VAMP 265:n suuntaamattomia maasulkuportaita varasuojana.

Koestusperiaate suuntaamattomalle maasulkusuojalle on todella yksinkertainen,
koska siinä syötetään ainoastaan koestuslaitteella virtaa summavirtaa mittaaviin
kanaviin I_{01} ja I_{02} . Summavirtaa mittaavat kanavat koestetaan erikseen, suojaus
voi olla toteutettu siten, että maasulkuvirtaa mittaava kanava I_{01} , toimii ensiöpuo-

len maasulkusuojana ja vastaavasti I_{02} toimii toisiopuolen maasulkusuojana. Näin ollen saadaan tarkastettua maasulkuportaana havahtumisraja, joka lasketaan asetteluun arvonn mukaan maasulun summavirtamuuntajan toisiosta. Lisäksi saadaan mitattua sekä havahtumisaika että katkaisijan toiminta-ajan ja havahtumisajan yhteenlaskettu varsinainen toiminta-aika. /14/

7.9 Valokaarisuojausfunktion koestaminen

VAMP 265 -suojareleessä on valokaarisuoja, jonka toiminta perustuu sekä valokaaresta aiheutuvaan kirkkaaseen valoon että valokaaresta aiheutuvaan virtaan. Valokaarisuoja toimii silloin, kun suojarele saa valotiedon ja vikavirta ylittää asetteluun ylivirtaportaan asetteluun. Vampin suojareleissä oleva valokaarisuojaus toimii sekä oikosuluissa että maasuluissa.

Valokaarisuojan koestaminen tapahtuu siten, että taskulampulla tai salamalaitteella annetaan valotieto suojareleen valoanturiin ja samanaikaisesti syötetään koestuslaitteella asetteluarvoa neljä kertaa suurempaa ylivirtaa tai maasulkuvirtaa. Valokaarisuojaus täytyy muistaa aktivoida Vampset- asetteluohjelmalla sekä suojausportaiden valinnasta että lähtörelematriisista.

Jos koestuksessa käytetään taskulamppua, mitataan suojan toiminta-aika koestuslaitteella. Suojareleelle annetaan ensin valotieto ja välittömästi tämän jälkeen vikavirta kytketään päälle ja mitataan toiminta-aika. Valotietoa annettaessa koestajalla on hyvä olla avustaja paikalla, koska valotieto on aktiivisena ainoastaan 2 sekuntia, jonka jälkeen se nollaantuu. Vastaavasti taas valotiedon ollessa liian kauan päällä, suojareleen itsevalvonta arvioi, että valoanturissa on vika.

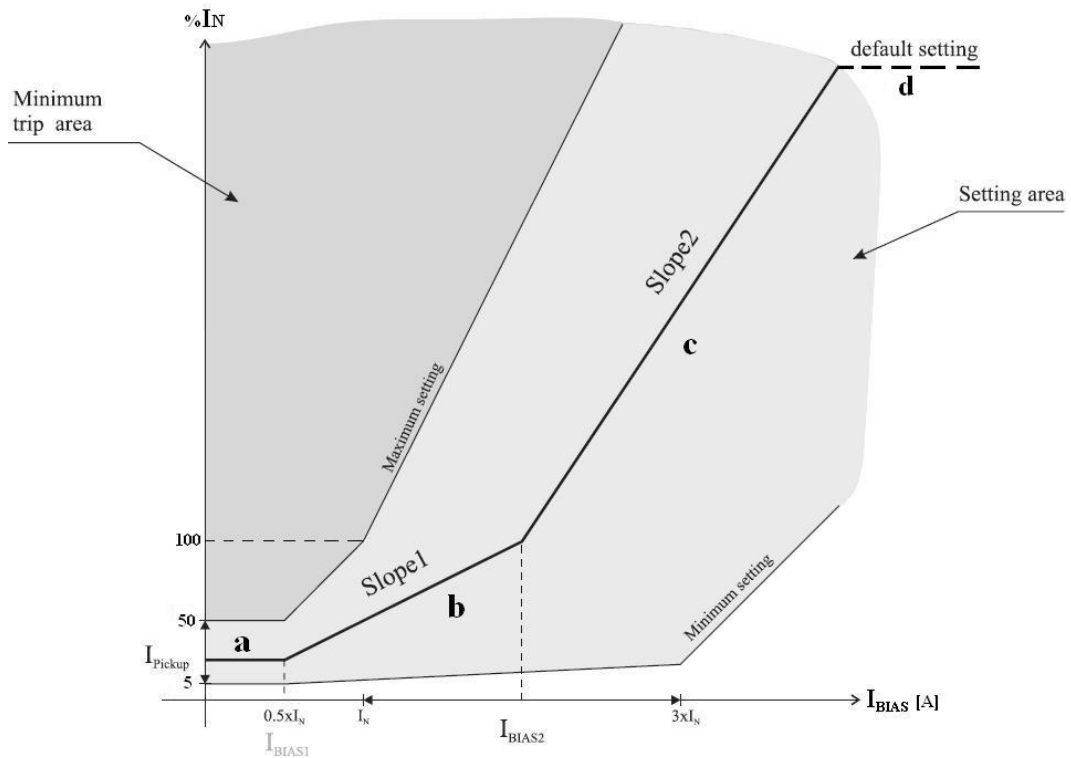
8 KÄYTTÖÖNOTTOKOESTUKSEN APUSOVELLUS

Käyttöönottokoestuksen apusovelluksen tarkoituksena on, että koestaja voi apusovelluksen avulla todeta, että suojaus toimii vaaditulla tavalla. Tämä tarkoittaa apusovelluksen kannalta sitä, että pystytään laskemaan tarvittavat koestusarvot, joiden avulla todetaan suojausfunktioiden toimiminen relevalmistajan määrittämissä rajoissa kunkin suojausfunktion havahtumisarvon ja toiminta-ajan osalta. Lisäksi apusovelluksen tarkoituksena on luoda valmis pöytäkirja, jonka koestaja voi liittää suoraan liitteeksi tekemäänsä käyttöönottokoestusraporttiin.

Käyttöönottokoestuksen apusovelluksen luominen käyttöönottokoestusohjeen yhteyteen on perusteltua, koska apusovelluksen laskennallisen toimivuuden ansiosta käyttöönottokoestusohjeessa ei tarvitse esittää esimerkkejä vaikeimpien laskentaosuuksien laskemiseen.

Apusovellukset ominaisuudet ja käyttö

Jo opinnäytetyön alussa tuli esille, että VAMP 265 -differentiaalisuojareleessä olevan differentiaalifunktion täydellinen koestaminen vaatii koestusvirtojen laskentaa, joka ilman kunnollista apusovellusta on vaikeaa ja hidasta. Tämän pohjalta lähdettiin opinnäytetyöhön kehittämään Excel -pohjaista laskentasovellusta, jonka avulla voidaan differentiaalisuojausfunktion ominaiskäyrä koestaa kokonaan. Tämä täydellinen koestaminen tarkoittaa sitä, että pystytään kuvan 14 mukainen ominaiskäyrä koestamaan kokonaan. Usein ilman koestamisen apusovellusta tapahtuva koestaminen rajoittuu ominaiskäyrän alueisiin a ja d. Myös koestuslaitteiden puutteellinen kapasiteetti eli virtakanavien liian vähäinen määrä voi rajoittaa koestamisen alueisiin a ja d. Käyttöönottokoestuksen apusovelluksen käyttö ei toki rajoitu pelkästään differentiaalisuojausfunktioon, vaan sillä saadaan laskettua koetuksessa vaadittavat virrat myös muille suojausfunktioille. Tämän ominaisuuden toivotaan myös nopeuttavan koestamista ja helpottavan koetuksessa eteen tulleiden ongelmien ratkaisua.

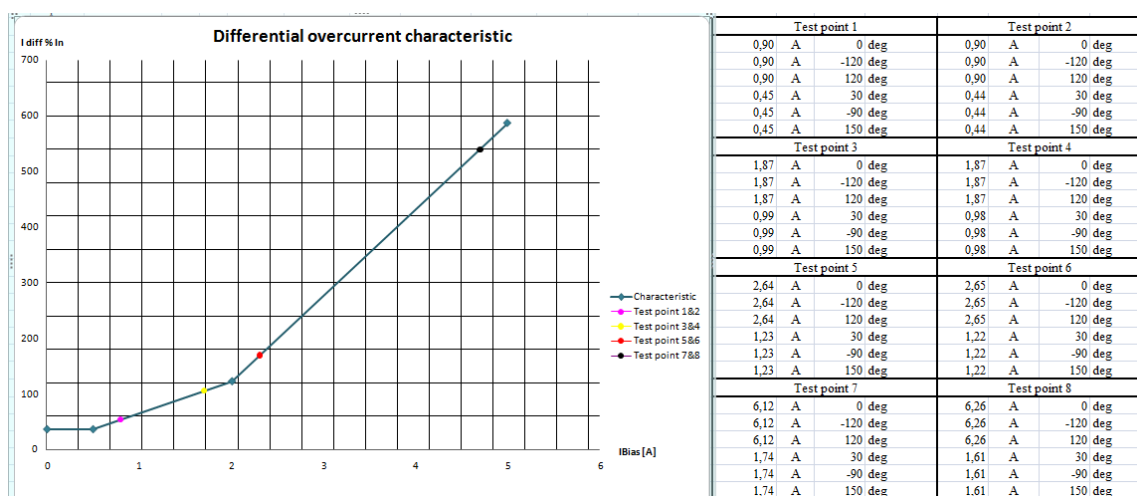


Kuva 14. Differentiaalisuojausfunktion ominaiskäyrän toiminta-alueet

Excel-pohjaisuuden avulla laskennasta saadaan riittävän monipuolinen ja käyttäjäväläinen. Excel-ohjelma on useimmille koestusta suorittaville ja muutenkin sähköalalla toimiville henkilöille tuttu ohjelma ja näin ollen sen käyttäminen ei vaadi uudelleen opettelua kuin ainoastaan tehdyn sovelluksen osalta. Lisäksi Excel löytyy suurimmasta osasta tietokoneita, jolloin ohjelmaa ei tarvitse erikseen asentaa tietokoneeseen, vain ainoastaan avata apusovellustiedosto.

Vamp Oy:n yhtenä lähtökohtana on ollut suojarleiden suunnittelussa niiden käyttöliittymän helppokäyttöisyys, jossa on myös onnistuttu erinomaisesti. Luonnollisesti tämä sama asia oli myös tässä opinnäytetyössä luotavan käyttöönottokestuksen apusovelluksen lähtökohtana. Suojattavan kohteen tietojen syöttämisen lisäksi apusovellus vaatii toimiakseen suojarleeseen aseteltavat asetelut, jotka koestaja yleensä saa suunnittelijalta. Näiden tietojen perusteella apusovelluksella voidaan määrittellä se, millaisia koestusvirtoja koestettava suojausfunktio vaatii, jotta suojausten toimivuus saadaan todettua asian mukaisella tavalla.


Kuvassa 15 on esitetty differentiaalifunktiolle apusovelluksen avulla lasketut koestusvirrat. Pöytäkirja pohjaan annettujen differentiaalifunktion asetusten pohjalta, laskentasovellus piirtää ominaiskäyrän ja laskee siihen kahdeksan koestuspistettä, joiden avulla todetaan differentiaalisuojausfunktion toimivan relevalmistajan sallimissa rajoissa. Apusovellus perustuu symmetristen kolmivaihevirtojen käyttämiseen koestuksessa, jolloin välttyään I0- kompensoinnin laskemiselta. Tämä ei vastaa vikatilanteessa esiintyviä virtoja, mutta sen avulla saadaan todennettua ominaiskäyrän paikkansapitävyys.



Kuva 15. Differentiaalifunktion koestaminen

Vastaavasti apusovellusta voidaan käyttää muidenkin suojausfunktioiden koestusvirtojen laskemiseen. Kuvassa 16 on esitetty ylivirtasuojausfunktion koestusvirtojen laskentaosuus. Apusovellus on toteutettu siten, että differentiaalisuojausfunktion täydellistä koestusta lukuun ottamatta, suojausfunktiot voidaan koestaa sekä yksivaiheisella että kolmivaiheisella koestuslaitteella. Apusovelluksen kannalta tämä tarkoittaa sitä, että koestuslaitteen tyyppi on oltava valittavissa, jotta saadaan koestusvirtojen laskentakaavat vastaamaan joko yksi- tai kolmivaiheista koestusta. Differentiaalisuojausfunktion koestamisessa oletetaan koestuslaitteessa olevan kuusi virtakanavaa. Koestuslaitteessa on oltava kuusivirtakanavaa, jotta differentiaalisuojausfunktion täydellinen koestaminen muuntajan eri kytkentäryhmillä on yli päänsä mahdollista. Kuvassa 17 on esitetty suuntaamattoman maasulkusuojausfunktion koestusvirtojen laskentaosuus.

Laskentasovelluksen toiminnan takaamiseksi sille tehtiin koestus, jossa simuloitiin käyttöönottilannetta. Koestuslaitteena koestuksessa käytettiin Omicron - 256-6 toisiokoestuslaitetta, joka sisältää kuusivirtalähtöä. Omicronin monipuolisuuden ansiosta koestaminen saatiin suoritettua ripeästi ja riittävällä tarkkuudella. Liitteessä 2 on esitetty mittauspöytäkirja koestuksesta.

			
Overcurrent stage I > ANSI 51		(primary side)	
Trip level test			
Setting for stage:	3	x In	
Inverse time coefficient k:	0,5		
Delay time:	2	s	
Inverse type	DT	<input type="button" value="v"/>	
Calculated pick-up value:	2,51	A	
The relay should not pick-up before:	2,43	A	
The relay should pick-up before:	2,58	A	
Operation time test			
Calculated pick-up time:	2,000	s	
The relay should not pick-up before:	1,980	s	
The relay should pick-up before:	2,020	s	

Kuva 16. Ylivirtasuojausfunktion koestaminen

VAMP

Protection Relays

Residual current stage I0> ANSI 51N

Trip level test						
	I01		I02			
Setting for stage:	5	p.u.	5	p.u.		
Inverse time coefficient k:	0,5		0,5			
Delay time:	3	s	3	s		
	I01		I02			
Calculated pick-up value:	25	A	25	A		
The relay should not pick-up before:	24,5	A	24,5	A		
The relay should pick-up before:	25,5	A	25,5	A		
Operation time test						
I01						
	DT	NI	VI	EI	LTI	
Calculated pick-up time:	3 s	5,012 s	6,746 s	13,323 s	59,964 s	
The relay should not pick-up before:	2,97 s	4,762 s	6,409 s	12,657 s	56,966 s	
The relay should pick-up before:	3,03 s	5,263 s	7,083 s	13,989 s	62,962 s	

Kuva 17. Suuntaamattoman maasulnsuojausfunktion koestaminen

9 LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan mielenkiintoinen ja samalla sopivan haastava. Työ vaati tutustumista sekä relesuojaukseen että relekoestuksiin. Erityisesti differentiaalifunktion vaatiman laskentasovelluksen toteuttaminen vaati syvällistä pohdintaa ja opiskelua. Työn aikana tulivat tutuiksi sekä VAMP 265 -suojareleen keskeiset ominaisuudet että Excel- ohjelman ominaisuudet.

Lopputuloksena syntynyt käyttöönottokeustusohje tulee olemaan Vamp Oy:n asiakkaiden käytössä. VAMP 265 -suojareleelle tehty käyttöönottokeustusohje toimii muiden jo olemassa olevien manuaalien lisänä. Käyttöönottokeustusohjeen toivotaan sekä nopeuttavan koestusta että varmentavan koestuksen oikeaa suorittamista. Lisäksi laskentasovelluksen avulla saadaan luotua pöytäkirja koestusraportin liitteeksi. Laskentasovellus tulee olemaan helposti muokattavissa myös muiden Vamp Oy:n valmistamien suojareleiden tarpeisiin.

Työhön toi haastavuutta Excel- ohjelmalla toteutettu laskentasovellus, jossa erityisesti differentiaalifunktion koestusvirtojen laskenta vaati pohdintaa. Toinen asia, joka lisäsi haastavuutta oli testilaitesidonaisuuden välttäminen. Tämä aiheutti sen, että osa suojausfunktioista käsiteltiin ainoastaan yleisellä tasolla. Differentiaalifunktion koestukseen oli kuitenkin annettava testilaitteelle ominaisuudet, jotka sen oli täytettävä, jotta differentiaalifunktion ominaiskäyrän täydellinen koestaminen olisi mahdollista.

Työhön liittyy varmasti paljon jatko kehitettävää esimerkiksi laskentasovelluksen osalta. Paras tilanne olisi se, että yhdellä laskentasovelluksella saataisiin katettua kaikkien Vamp Oy:n tuotteiden käyttöönottokeustus. Laskentasovelluksella saataisiin luotua koestusraporttia varten pöytäkirja, joka täytyisi koestuksen yhteydessä automaattisesti. Laskentasovelluksessa määriteltäisiin koestettavan suojareleen tyyppi, jonka jälkeen sovellus mukautuisi koestuksen tarpeisiin. Lisäksi visuaalisuutta voitaisiin lisätä, mutta se vaatisi ohjelman tekemistä jollakin muulla kuin Excel- ohjelmalla.

LÄHDELUETTELO

- /1/ ABB Oy. Käyttöönotto-ohje. [viitattu 15.3.2010] Saatavilla www-muodossa: URL: <http://www.abb.com/product/db0003db004281/c12573e700330419c125700e00212052.aspx>
- /2/ ABB Oy, 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja.
- /3/ ABB Oy. Tuote-esite. [viitattu 27.1.2010] Saatavilla www-muodossa: URL: <http://www.abb.com/product/us/9AAC720189.aspx>
- /4/ ABB Oy. Tuote-esite. [viitattu 4.2.2010] Saatavilla www-muodossa: URL: <http://www.abb.com/product/us/9AAC30300190.aspx>
- /5/ Areva T&D Oy. Tekninen selostus. [viitattu 11.3.2010] Saatavilla www-muodossa: URL: http://www.arevatd.com/solutions/US_450_MiCOMP63x.html
- /6/ Areva T&D Oy. Tekninen selostus. [viitattu 22.3.2010] Saatavilla www-muodossa: URL: http://www.arevatd.com/solutions/US_1211_US::Solutions::Automation::Legacy+Products+MA+-+MO.html
- /7/ Fimmtekno Oy 2000. Rele suojaukset keskijänniteverkossa. Helsinki. Koulutusmateriaali.
- /8/ Koski, Jari 2009. Sähkönjakeluautomaatio. Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali.
- /9/ Koski, Jari 2008. Sähkölaitostekniikka. Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali.
- /10/ Lakervi Erkki – Partanen, Jarmo 2009. Sähkönjakelutekniikka. Otatieto.

- /11/ Leino Ari. Projektityö. Lappeenranta. Lappeenrannan yliopisto. Teknillinen tiedekunta. [viitattu 2.3.2010] Saatavilla [www-](http://www.butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Ari_Leino_Tehomuuntajan_differentialsuojaus.pdf) muodossa: URL:http://butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Ari_Leino_Tehomuuntajan_differentialsuojaus.pdf
- /12/ Loukonen, Mika 2008. Opinnäytetyö. Suojareleen käyttöönottokeestusuunnitelman laatiminen. Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu. Tekniikka ja liikenne.
- /13/ Lundgren Ville. Projektityö. Tampere. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Tekniikka ja liikenne. [viitattu 22.3.2010] Saatavilla [www-](http://www.ee.lut.fi/stats/estat_logger.php?ID=267)muodossa: URL: http://www.ee.lut.fi/stats/estat_logger.php?ID=267
- /14/ Marttinen, Veikko, koestaja 26.3.2010. Voimatel Oy, Siilinjärvi. Haastattelu
- /15/ Megger Sweden Oy. 2009. Sverker 750 -koestuslaitteen käyttöohje.[viitattu 10.3.2010] Saatavilla [www-](http://www.programma.se/se/relay.php)muodossa: URL: <http://www.programma.se/se/relay.php>
- /16/ Mäkinen, Olavi 2008. Relesuojaus. Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali.
- /17/ Mäkinen, Olavi 2008.. Sähkölaitostekniikka. Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali
- /18/ Mörsky, Jorma 1992. Relesuojaustekniikka. Otatieto.
- /19/ Omicron Oy. Omicron -CMC 365 käyttöohje. 2010. [viitattu 10.3.2010] Saatavilla [www-](http://www.omicron.at/en/products/pro/secondary-testing-calibration/)muodossa: URL:<http://www.omicron.at/en/products/pro/secondary-testing-calibration/>

- /20/ Omicron Oy. Omicron -CMC 265 käyttöohje. 2010. [viitattu 11.3.2010] Saatavilla [www-muodossa: URL:http://www.omicron.at/en/products/pro/secondary-testing-calibration/cmc-256plus/](http://www.muodossa:URL:http://www.omicron.at/en/products/pro/secondary-testing-calibration/cmc-256plus/)
- /21/ Peti Oy. Tuotokuva. 2010. [viitattu 11.3.2010] Saatavilla [www- muodossa:URL: http://www.pefi.fi/tuotteet_relekoestus.html](http://www.muodossa:URL:http://www.pefi.fi/tuotteet_relekoestus.html)
- /22/ Pirskanen, Matti, sähköasemateknikko 26.3.2010. Savon Voima Oyj, Siilinjärvi. Haastattelu.
- /23/ Ruppia Erkki 2009. Opetusmateriaali. Relesuojaus. Pori. Satakunnan ammattikorkeakoulu. [viitattu 29.3.2010] Saatavilla [www-muodossa: URL: http://www.tp.spt.fi/~salabra/er/siirto/relesuojaus.doc](http://www.muodossa:URL:http://www.tp.spt.fi/~salabra/er/siirto/relesuojaus.doc)
- /24/ Sauna-aho, Seppo, R&D Senior application engineer 18.3.2010. Vamp Oy, Vaasa. Haastattelu.
- /25/ SEL Oy. 2009. SEL 587 -suojareleen käyttöohje. [viitattu 11.3.2010] Saatavilla [www-muodossa:URL:http://www.selinc.com/search/SearchPage.aspx?searchtext= Differential%20relay](http://www.muodossa:URL:http://www.selinc.com/search/SearchPage.aspx?searchtext=Differential%20relay)
- /26/ Siemens Oy, 2009. 7TU613x, tekninen selostus
- /27/ Siemens Oy. Tuote-esite. [viitattu 11.3.2010] Saatavilla [www-muodossa:URL:http://www.energy.siemens.com/entry/energy/hq/en/?tab=energy](http://www.muodossa:URL:http://www.energy.siemens.com/entry/energy/hq/en/?tab=energy)
- /28/ Vamp Oy. Asiakaslehti. [Viitattu 21.1.2010] Saatavilla [www-muodossa: URL:http://erez.multiprint.fi/Vamp/334293_vamp-lehti-02-2009.htm](http://www.muodossa:URL:http://erez.multiprint.fi/Vamp/334293_vamp-lehti-02-2009.htm)
- /29/ Vamp Oy, 2009. VAMP 265 -suojarele, tekninen selostus.

VAMP 265

**Transformer, generator and motor
differential protection relay**

Testing manual



Table of Contents

1. General	4
1.1. Safety issues	4
1.2. Testing equipment	5
2. Pre-inspection procedures.....	6
3. Adapting to local frequency and scaling	10
4. Testing of overcurrent protection stages	14
4.1. Overcurrent stage $I > (50/51)$	14
4.1.1. Trip level test	14
4.1.2. Operation time test (definite time)	15
4.1.3. Operation time test (inverse time)	16
5. Testing of differential overcurrent protection stages	21
5.1. Differential overcurrent protection stage $\Delta I > (87)$	21
5.1.1. Detection of connection group.....	21
5.1.2. Current transformer of differential protection....	23
5.2. Trip level test.....	25
5.2.1. Trip level test with single phase testing device ..	27
5.2.2. Trip level test with three phase testing device...	28
5.2.3. Trip level test with six-phase testing device	29
5.3. Operation time test.....	33
6. Earth fault protection stages testing	34
6.1. Earth fault stage $I0 > (50N/51N)$	34
6.1.1. Trip level test	34
6.1.2. Operation time test	35
7. Thermal protection stage $T > (49)$.....	36
7.1. Trip level and operation time test.....	37
8. Current unbalance protection (46)	39
8.1. Trip level test.....	39
8.2. Operation time test.....	40
9. Arc fault protection stage $Arcl > (50ARC)$.....	41
9.1. Operation time test.....	41
10. Reference information	42

Appendices: Measurement record (3pages)

1. General

This guide describes simple procedures to test the protection stages of transformer, generator and motor differential protection relay VAMP 265 with firmware version 6.21.

The test personnel must be familiar with general relay practices and safety precautions to avoid personal injuries or equipment damage.

1.1. Safety issues

Before testing this or any product please read this chapter carefully.

This chapter describes safety precautions recommended when commissioning Vamp protection relays. Before installing and commissioning the product this chapter must be thoroughly read and understood.

▲ DANGER

Indicates an imminently hazardous situation which will result in death or serious injury if you don't follow instructions.

▲ WARNING

Indicates a potentially hazardous situation which could result in death or serious injury if you don't follow instructions.

▲ CAUTION

Indicates a potentially hazardous situation which if not avoided, may result in minor injury or moderate injury if you don't follow instructions.

▲ DANGER

Current transformer (CT) circuit

Never allow the current transformer (CT) secondary circuit to be opened, while the primary system is alive. Opening the CT secondary circuit will cause dangerously high voltage. Current transformer secondary circuit must be short circuited!

▲ CAUTION

Fibre optic

Where fibre optic devices are fitted, these should not be viewed directly. An optical beam when connected could damage the eyes.

Exposed terminals

Do not touch the terminals of this equipment while the power is on, as the high voltage generated is dangerous.

Residual voltage

Hazardous voltage can be present in the DC circuit just after switching off the DC power supply. It is wise to wait 30 seconds for the voltage to discharge.

1.2. Testing equipment

This chapter describes the equipment which is needed to test relay system in a reliable way. The following article shows which equipment is necessary and which equipment is highly recommended.

Necessary equipment:

- Secondary testing device (single phase, three phase or six phase device)
- Digital multimeter (at least one)
- PC (used in relay setting)
- Calculator
- Timer (only when there is no time measurement option in the testing device)
- Bright flashlight (only when Arc-option is used)

Highly recommended equipment:

- Secondary testing device with adjustable phase angle
- Analog multimeter (used in testing of CT polarity)
- Normal 5 volt battery (used in testing of CT polarity)
- Normal switch (used in testing of CT polarity)

It is highly recommended that the secondary testing device have a possibility to change the phase angle. This is necessary in testing of differential stages (87). Relay protection stages testing must be always done in AC-current and voltage.

The secondary testing devices and meters must be accurate to provide reliable results in commissioning tests.

2. Pre-inspection procedures

This chapter describes procedures, which are recommended before starting the protection relay commissioning tests. The following procedures must be done to make sure that the relay is mounted and commissioned correctly.

The first procedure before starting commissioning tests is to write the basic information of relay into the measurement record which can be done in “calculation program”. The calculation program can also download in Vamp’s website. This measurement record may be attached to the commissioning report. Fill up following data:

- Customer name and information of substation and transformer
- Relay type and serial number
- Relay software-version and hardware version
- Information of current transformers

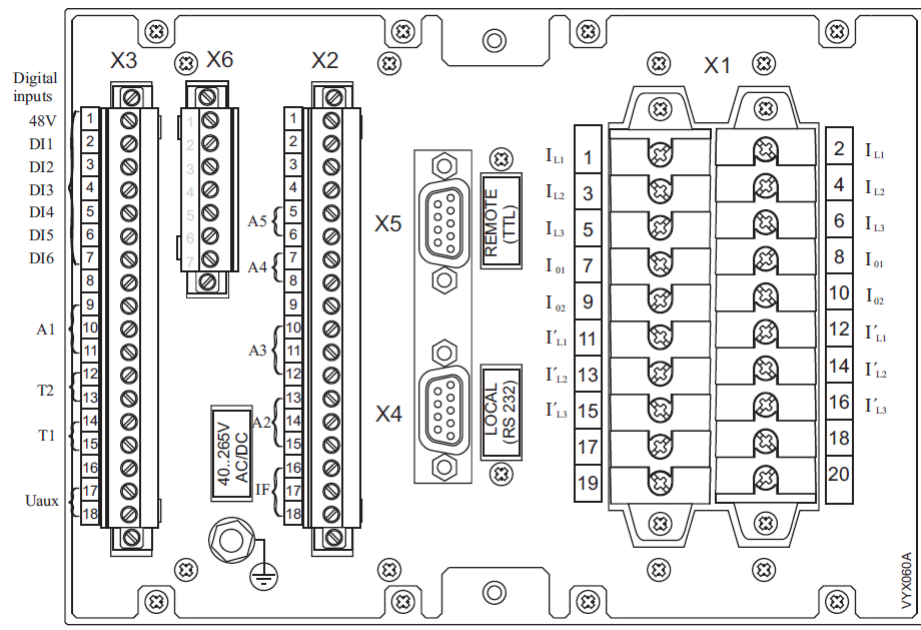
Visual inspection

1. Check the device visually for possible external damage or loose parts inside the device. Check also that device is clean and that device has no marks of damage etc.
2. Check that device is what expectation: The device model is correct and matches to that ordered. Check that serial number of relay is correct and rated values are correct. The rated values can be found from the serial number sticker.
3. Check that the auxiliary voltage of relay is correct. Auxiliary voltage values can be found from the serial number sticker and also in the 200-series rear panel just above the earthing terminal.
4. Check that the rated values of the CT secondaries comply with those in relay. Check also that the load ability of the outputs is adequate.
5. Check that the relay is earthed by connecting an earthing wire to the relays earthing terminal. Minimum cross section of earthing wire is 2,5 mm². Check that the cable shields of shielded signal cables are connected to the earth terminal of relay.

When all 5 sections of visual inspection have been checked and found out O.K, mark the visual inspection OK in the measurement record.

Checking of the wiring

1. Check that the relay is wired to the rest of the process correctly according to the wiring diagrams of the application. This checking must be done very accurately to eliminate possible incorrect wirings, which cause the malfunction of the relay and associated devices!
2. Check all the connections (relay connectors X1, X2, X3 and X6 if Arc-option is used) between the relay and associated devices by using a circuit indicator lamp or digital multimeter buzzer.
3. Check other possible connections by using recognized and reliable working practices. Check all the screw terminals for correct tightness.
4. Check that the electrical connection wires comply with following requirements of maximum dimension:
 - **Measuring circuit:** Maximum wire dimension 4 mm², solid or stranded wire (10-12 AWG)
 - **Aux. voltage, digital inputs, trip contacts, alarm contacts and IF:** Maximum wire dimension 2,5 mm², Phoenix MVSTBW or equivalent (13-14 AWG)



VAMP265rearPanel

Figure 2-1 The rear panel connections of Vamp 265 (including Arc-protection option connector X6)

When all 4 sections of wiring have been checked and found out O.K, mark the wiring inspection OK in the measurement record.



CT inspection

⚠ DANGER

Current transformer secondary circuit must be short circuited!

Current transformer inspection is a very important procedure in the relay commissioning. Most of the relay measurement problems can be avoided by proper CT inspection.

In CT inspection at least the polarity of transformers, earthing, load, star point and preceding safety issues must be checked.

CT polarity can be tested by using following connection. The analog multimeter needle sweeps in the positive direction when the battery is connected and in the negative direction when the battery is disconnected by using switch K.

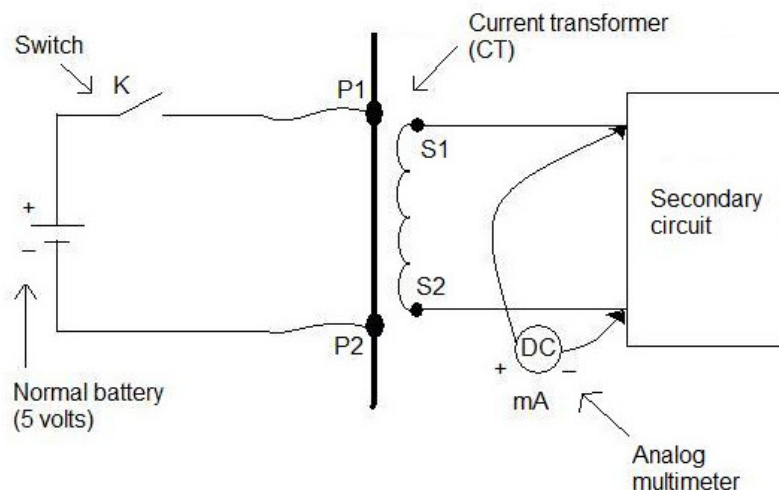


Figure 2-2 Procedure for checking CT polarity.

In the instrument transformer inspection it is important to supply current to the primaries of transformers to see secondary circuit consistency, correctness of transformation ratio, and possible loose contacts.

This same procedure is practical for the inspection of multi-core transformers to see that the measuring core and protection core are connected correctly.

Procedures:

5. Check the CT polarity, earthing, load and star point connections.
6. Check the instrument and multi-core transformers secondary circuit consistency, correctness of transformation ratio, and possible loose contacts.

When these 2 procedures are done in a reliable way and found out O.K. mark the CT inspection OK in the measurement record.

3. Adapting to local frequency and scaling

The VAMP 265 needs to know the local line frequency to be able to use synchronized sampling, where numerical technique is primarily based. The frequency is determined from the signal connected to current input IL1.

Adapting the local frequency is done by connecting a current 0,5-1 A of local line frequency into IL1 input of the relay for the time of one minute.

Next it is sensible to set correct scaling values to the relay. This setting can be done by using the VAMPSET-relay setting tool. Scaling values depend on what kind of current transformers are used. It is important to set correct scaling values because they affect used testing values in almost every protection stage.

DIFFERENTIAL PROTECTION RELAY VAMP 265
TG-3
Krpelany
VET

<p>DEVICE INFO MEASUREMENTS WINDING CURRENTS + HARMONICS... RMS MEASURING MONTH MAX CURRENT MINIMUMS and MAXIMUMS + DEMAND VALUES... + DIGITAL INPUTS... + VIRTUAL INPUTS... + RELAYS... ANALOG OUTPUTS EVENT BUFFER DISTURBANCE R E C O R D E R RUNNING HOUR COUNTER TIMERS VALID PROTECTION STAGES + PRO... + DIFFERENTIAL STAGE... + OVERCURRENT STAGE... + UNEBALANCE STAGE... THERMAL OVERLOAD STAGE T> 49 + EARTH-FAULT STAGE... + PROGRAMMABLE STAGE... CB FAILURE PROTECTION 50BF O B J E C T S CBWEAR + SUPERVISOR... RELEASE OUTPUT MATRIX LATCHES + MATRIX... L O G I C M I M I C + LOCAL... S C A L I N G STAGE EVENT ENABLING EVENT MASKS for OBJECTS DI EVENT TEXTS + EVENT ENABLING... CLOCK SYNC P R O T O C O L C O N F I G U R A T I O N</p>	<p>SCALING</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #ffffcc;">CT settings</th> </tr> <tr><td>CT primary</td><td>75 A</td></tr> <tr><td>CT secondary</td><td>1 A</td></tr> <tr><td>CT' primary</td><td>600 A</td></tr> <tr><td>CT' secondary</td><td>5 A</td></tr> <tr><td>Io1 CT primary</td><td>600 A</td></tr> <tr><td>Io1 CT secondary</td><td>5.0 A</td></tr> <tr><td>Io2 CT primary</td><td>600 A</td></tr> <tr><td>Io2 CT secondary</td><td>5.0 A</td></tr> <tr><td>Nominal input</td><td>1 A</td></tr> <tr><td>Nominal input (I'L side)</td><td>1 A</td></tr> <tr><td>Nominal Io1 input</td><td>1.0 A</td></tr> <tr><td>Nominal Io2 input</td><td>1.0 A</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #ffffcc;">Transformer settings</th> </tr> <tr><td>IL side nominal voltage</td><td>110000 V</td></tr> <tr><td>I'L side nominal voltage</td><td>10500 V</td></tr> <tr><td>Transformer nominal power</td><td>12000 kVA</td></tr> <tr><td>Connection group</td><td>Yd1</td></tr> <tr><td>Io compensation</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>I'o compensation</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Trafo nom current (IL side)</td><td>63.0 A</td></tr> <tr><td>Trafo nom current (I'L side)</td><td>659.8 A</td></tr> </table>	CT settings		CT primary	75 A	CT secondary	1 A	CT' primary	600 A	CT' secondary	5 A	Io1 CT primary	600 A	Io1 CT secondary	5.0 A	Io2 CT primary	600 A	Io2 CT secondary	5.0 A	Nominal input	1 A	Nominal input (I'L side)	1 A	Nominal Io1 input	1.0 A	Nominal Io2 input	1.0 A	Transformer settings		IL side nominal voltage	110000 V	I'L side nominal voltage	10500 V	Transformer nominal power	12000 kVA	Connection group	Yd1	Io compensation	<input checked="" type="checkbox"/>	I'o compensation	<input type="checkbox"/>	Trafo nom current (IL side)	63.0 A	Trafo nom current (I'L side)	659.8 A
CT settings																																													
CT primary	75 A																																												
CT secondary	1 A																																												
CT' primary	600 A																																												
CT' secondary	5 A																																												
Io1 CT primary	600 A																																												
Io1 CT secondary	5.0 A																																												
Io2 CT primary	600 A																																												
Io2 CT secondary	5.0 A																																												
Nominal input	1 A																																												
Nominal input (I'L side)	1 A																																												
Nominal Io1 input	1.0 A																																												
Nominal Io2 input	1.0 A																																												
Transformer settings																																													
IL side nominal voltage	110000 V																																												
I'L side nominal voltage	10500 V																																												
Transformer nominal power	12000 kVA																																												
Connection group	Yd1																																												
Io compensation	<input checked="" type="checkbox"/>																																												
I'o compensation	<input type="checkbox"/>																																												
Trafo nom current (IL side)	63.0 A																																												
Trafo nom current (I'L side)	659.8 A																																												

Figure 3-1 Scaling values setting with VAMPSET



Basic connections for testing device

Secondary testing device connections depend on what kind of secondary testing device is used. Also a different protection functions have a different kind of connections. It is wise to connect the testing device always to the connection strip.

Figure 3-2 shows the basic connection for three-phase secondary testing device.

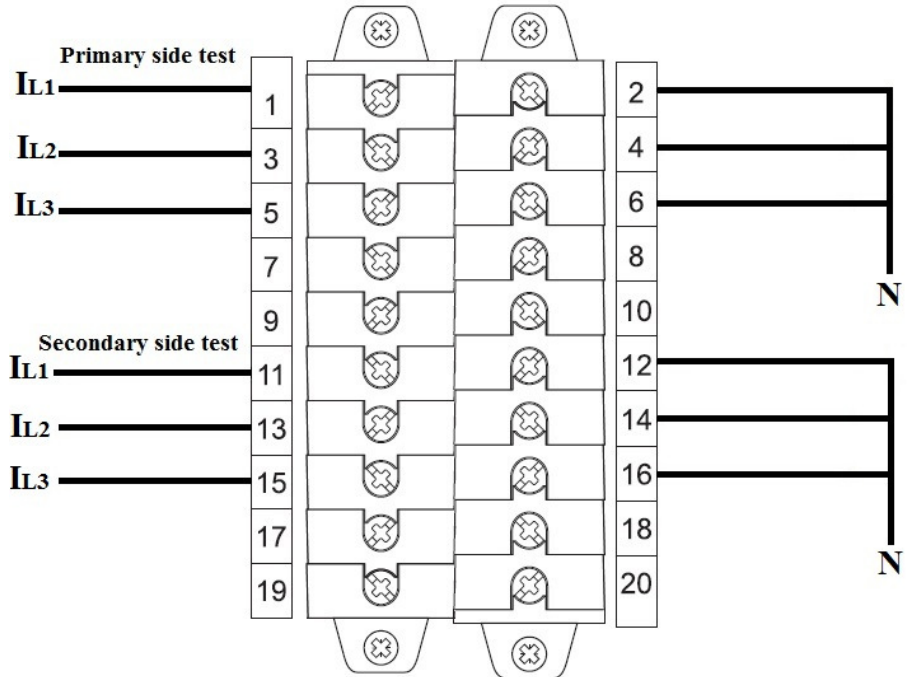


Figure 3-2 Three-phase basic connection for secondary testing device

Figure 3-3 shows the basic connection for six-phase secondary testing device.

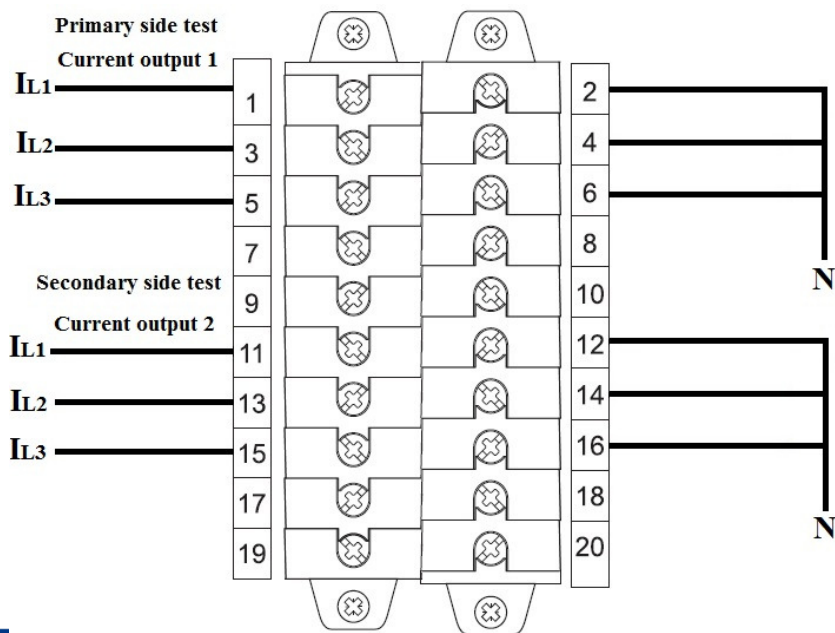


Figure 3-3 Six-phase basic connection for secondary testing device

Figure 3-4 shows the basic connection for single-phase secondary testing device.

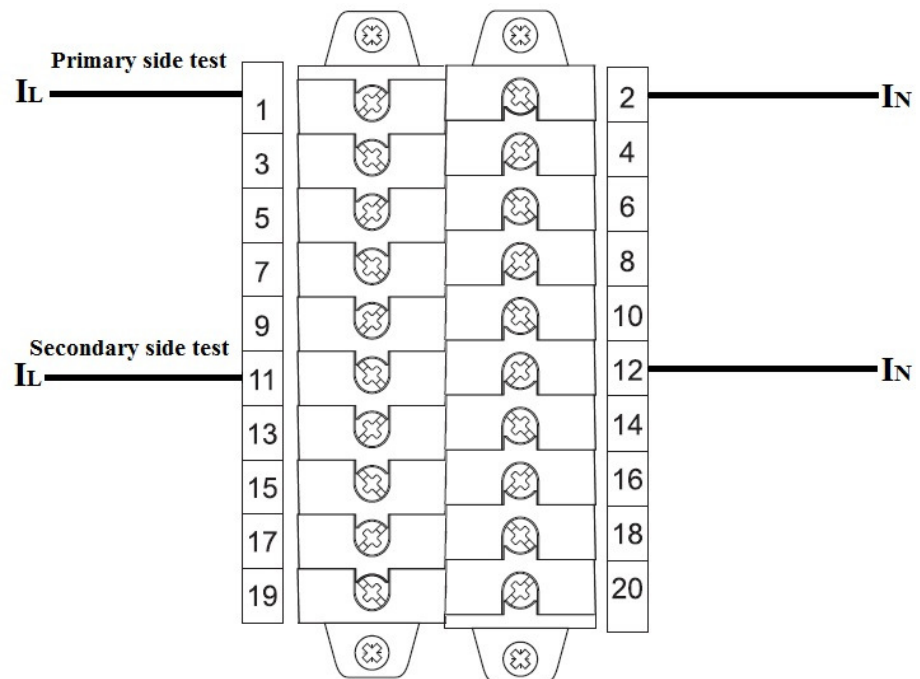


Figure 3-4 Single-phase basic connection for secondary testing device

Operation time is measured from the output relay used. Normally the output relay used is T1, which is in connector X3 inputs 14 and 15. The timer must be connected so that it starts when a fault current is injected and stops when the relay trips.

The testing of protection stages is practical to do one stage at a time. Selecting the active stages is done in the menu “valid protection stages (see Figure 3-5).

DIFFERENTIAL PROTECTION RELAY VAMP 265
TG-3
Kipelany
VET

DEVICE INFO + ENTS... + HARMONICS... RMS MEASURING MONTH MAX CURRENT MINIMUMS and MAXIMUMS + DEMAND VALUES... + DIGITAL INPUTS... + VIRTUAL INPUTS... + RELAYS... ANALOG OUTPUTS EVENT BUFFER DISTURBANCE R E C O R D E R RUNNING HOUR COUNTER TIMERS VALID PROTECTION STAGES + PRO... + DIFFERENTIAL STAGE... + OVERCURRENT STAGE... + UNEBALANCE STAGE... THERMAL OVERLOAD STAGE T> 49 + EARTH-FAULT STAGE... + PROGRAMMABLE STAGE... CB FAILURE PROTECTION 50BF O B J E C T S CBWEAR + SUPERVISOR... RELEASE OUTPUT MATRIX LATCHES + MATRIX... L O G I C M I M I C + LOCAL... S C A L I N G STAGE EVENT ENABLING EVENT MASKS for OBJECTS DI EVENT TEXTS + EVENT ENABLING... CLOCK SYNC P R O T O C O L CONFIGURATION + SPABUS... + CONFIGURATION... + MODBUS... + PROFIBUS... MODBUS & PROFIBUS: SCALINGS + IEC 60870-5-101... + IEC 60870-5-103... DNP3 CONFIGURATION	<p>VALID PROTECTION STAGES</p> <table border="1"> <tr> <td>Enabled stages</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>SetGrp common change</td> <td>1</td> </tr> </table> <p>Current stages</p> <table border="1"> <tr><td>Enable for dl></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for dl>></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for l></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for l>></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for l'></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for l'>></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for l2></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for l'2></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> </table> <p>Earth-fault stages</p> <table border="1"> <tr><td>Enable for lo></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for lo>></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for lo>>></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for lo>>>></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> </table> <p>Other functions</p> <table border="1"> <tr><td>Enable for T></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for CBFP</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for Prg1</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for Prg2</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for Prg3</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for Prg4</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for Prg5</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for Prg6</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for Prg7</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Enable for Prg8</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table>	Enabled stages	17	SetGrp common change	1	Enable for dl>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for dl>>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for l>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for l>>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for l'>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for l'>>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for l2>	<input type="checkbox"/>	Enable for l'2>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for lo>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for lo>>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for lo>>>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for lo>>>>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for T>	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for CBFP	<input type="checkbox"/>	Enable for Prg1	<input type="checkbox"/>	Enable for Prg2	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for Prg3	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for Prg4	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for Prg5	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable for Prg6	<input type="checkbox"/>	Enable for Prg7	<input type="checkbox"/>	Enable for Prg8	<input type="checkbox"/>
Enabled stages	17																																																
SetGrp common change	1																																																
Enable for dl>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for dl>>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for l>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for l>>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for l'>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for l'>>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for l2>	<input type="checkbox"/>																																																
Enable for l'2>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for lo>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for lo>>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for lo>>>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for lo>>>>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for T>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for CBFP	<input type="checkbox"/>																																																
Enable for Prg1	<input type="checkbox"/>																																																
Enable for Prg2	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for Prg3	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for Prg4	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for Prg5	<input checked="" type="checkbox"/>																																																
Enable for Prg6	<input type="checkbox"/>																																																
Enable for Prg7	<input type="checkbox"/>																																																
Enable for Prg8	<input type="checkbox"/>																																																

Figure 3-5 Selection of valid protection stages



4. Testing of overcurrent protection stages

This chapter describes methods of testing the Vamp 265 overcurrent protection stages. There are also some pre-calculated values which can be used in the testing.

4.1. Overcurrent stage I> (50/51)

Overcurrent settings are usually given by the designer of network. The information from the network designers include the trip levels of each stages (I>, I>>, etc.) and also the operation time if definite time function is used.

If network designer information is available it is wise to use these values. But this chapter also includes example values which can be used in the testing.

Setting values for relay testing must be marked in measurement record site, setting values for each overcurrent stage I>, I'>, I>> and I'>>. The results of the test must be marked in the measurement record site, results for each overcurrent I> I'>, I>> and I'>> test.

4.1.1. Trip level test

When the single phased testing device is used, this test must be done in each phase. Connect the testing device to the relay's current inputs I_{L1} , I_{L2} , and I_{L3} . When this test is done, connect the testing device to the relay's current inputs I'_{L1} , I'_{L2} and I'_{L3}

▲WARNING

Remember to close the current supply on the testing device while changing the connection to avoid an electrical shock.

Example values for I> and I'> trip level test:

- relay nominal current $I_N = 1$ A (same as CT secondary current)
- stage I>: pick up level $1x I_N$

Increase the current and write down the pick up current for stage I> and I'> in the measurement record.

The actual pick up current should be within $\pm 3\%$ of setting values.

When example values are used, pick up current should be within 0,97 .. 1,03 A on stages I> and I'>.

This test must be done for each phase (when the single phase testing device is used) and the test must be done in both sides (primary $I>$ and secondary sides $I'>$). The results are marked in the measurement record.

Example values for $I>>$ and $I'>>$ trip level test:

- relay nominal current $I_N = 1$ A (same as CT secondary current)
- stage $I>$: pick up level $6 \times I_N$

Increase the current and write down the pick up current for stage $I>>$ and $I'>>$ in the measurement record.

The actual pick up current should be within $\pm 3\%$ of setting values.

When example values is used, pick up current should be within 5,82 .. 6,18 A on stages $I>>$ and $I'>>$.

This test must be done for each phase (when the single phase testing device is used) and the test must be done on both sides (primary $I>>$ and secondary sides $I'>>$). Results are marked in the measurement record.

4.1.2.

Operation time test (definite time)

Use the network designer values in this testing if possible. If these values are not available, use the following example values or our own example values. Remember to write down the setting values in the measurement record.

Example values for definite operation time test:

- Definite operation time for stage $I>$: 0,3 s

Test stage $I>$ by supplying $1,5 \dots 2 \times I_N$ current to each current inputs and measuring the operation time on the output relay by using a timer.

The operation time including the inertia of the output relay should be within $\pm 0,03$ seconds on setting values.

When example values are used operation time should be on stage $I>$ between 0,270 .. 0,330 seconds.

This test must be done for each phase (when the single phase testing device is used) and the test must be done on both sides (primary $I>, I>>$ and secondary sides $I'>, I'>>$). The results are marked in the measurement record.

4.1.3. Operation time test (inverse time)

When inverse time function is used, the first thing to do is calculate used inverse time, and mark it to the measurement site: setting values, trip time $I >$ or $I' >$.

There are four types of IEC inverse delay time characteristics:

- NI = NORMAL INVERSE
- VI = VERY INVERSE
- EI = EXTREMELY INVERSE
- LTI = LONG TIME INVERSE

Equations for each type are:

Equation 4.1.3-1 NI

$$t_{NI} = \frac{0,14k}{\left(\frac{I_{INJ}}{I_{SetSec}}\right)^{0,02} - 1}$$

Equation 4.1.3-2 VI

$$t_{VI} = \frac{13,5k}{\frac{I_{INJ}}{I_{SetSec}} - 1}$$

Equation 4.1.3-3 EI

$$t_{EI} = \frac{80k}{\left(\frac{I_{INJ}}{I_{SetSec}}\right)^2 - 1}$$

Equation 4.1.3-4 LTI

$$t_{LTI} = \frac{120k}{\frac{I_{INJ}}{I_{SetSec}} - 1}$$

where

I_{INJ} = injected current to the relay

I_{SetSec} = setting value scaled to CT secondary side

k = inverse time multiplier (see chapter 2.3.1 in VAMP 265 technical description)

With the following example values inverse the operation time can be tested. The first example is for normal inverse NI, the second example is for very inverse VI, the third example is for extremely inverse EI and finally the fourth example is for long time inverse LTI.

Example 1 (values for NI):

$$\begin{aligned} I_{INJ} &= 4 \text{ A} \\ I_{SetSec} &= 1 \text{ A} \\ k &= 0,5 \\ A &= 0,14 \\ B &= 0,02 \end{aligned}$$

The operation time t_{NI} according to Equation 4.1.3-1 will be

$$t_{NI} = \frac{0,14 * 0,5}{\left(\frac{4,0}{1,0}\right)^{0,02} - 1} = 2,5 \text{ s}$$

The operation time including the inertia of the output relay should be within $\pm 5\%$: 2,38 .. 2,63 s.

Example 2 (values for VI):

$$\begin{aligned} I_{INJ} &= 8,0 \text{ A (twice the current of example 1)} \\ I_{SetSec} &= 2,0 \text{ A} \\ k &= 0,1 \\ A &= 13,5 \\ B &= 1 \end{aligned}$$

The operation time t_{VI} according to Equation 4.1.3-2 will be

$$t_{VI} = \frac{13,5 * 0,1}{\frac{8,0}{1,0} - 1} = 193 \text{ ms}$$

The operation time including the inertia of the output relay should be within $\pm 5\%$: 183 .. 203 ms.

Example 3 (values for EI):

$$\begin{aligned} I_{INJ} &= 4,0 \text{ A} \\ I_{SetSec} &= 1,0 \text{ A} \\ k &= 0,5 \end{aligned}$$

The operation time t_{NI} according to Equation 4.1.3-3 will be:

$$t_{EI} = \frac{80 * 0,5}{\left(\frac{4,0}{1,0}\right)^2 - 1} = 2,67 \text{ s}$$

The operation time including the inertia of the output relay should be within $\pm 5\%$: 2,54 .. 2,80 s.

Example 4.(values for LTI):

$$\begin{aligned} I_{INJ} &= 8,0 \text{ A (twice the current of example 1)} \\ I_{SetSec} &= 1,0 \text{ A} \\ k &= 0,1 \end{aligned}$$

The operation time t_{VI} according Equation 4.1.3-4 will be

$$t_{LTI} = \frac{120 * 0,5}{\frac{8,0}{1,0} - 1} = 8,57 \text{ s}$$

The operation time including the inertia of the output relay should be within $\pm 5\%$: 8,14 .. 9,00 s.

This test must be done for each phase (when the single phase testing device is used) and the test must be done in both sides (primary I> and secondary side I'>). The results are marked in the measurement record. Compare the result with the calculated value and check that it is inside the margin.

There are also four different kind of inverse delay characteristics, IEEE, IEEE2, RI and RXIDG. Equations for these inverse delay characteristics are the following.

IEEE:

$$t = k \left[\frac{A}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^C - 1} + B \right], \text{ where}$$

- t = operation delay in seconds
- k = User's multiplier
- I = Measured value
- I_{pickup} = User's pick up setting
- A,B,C = Constant parameter according Table 4.1.3-1.

Table 4.1.3-1 Constants for IEEE

Delay type		Parameter		
		A	B	C
LTI	Long time inverse	0.086	0.185	0.02
LTVI	Long time very inverse	28.55	0.712	2
LTEI	Long time extremely inverse	64.07	0.250	2
MI	Moderately inverse	0.0515	0.1140	0.02
VI	Very inverse	19.61	0.491	2
EI	Extremely inverse	28.2	0.1217	2
STI	Short time inverse	0.16758	0.11858	0.02
STEI	Short time extremely inverse	1.281	0.005	2

IEEE2:

$$t = k \left[A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^C - C} + \frac{D}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^2 - C} + \frac{E}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^3 - C} \right], \text{ where}$$

- t = operation delay in seconds
- k = User's multiplier
- I = Measured value
- I_{pickup} = User's pick up setting
- A,B,C,D,E = Constant parameter according Table 1



Table 4.1.3-2 Constants for IEEE2

Delay type		Parameter				
		A	B	C	D	E
MI	Moderately inverse	0.1735	0.6791	0.8	-0.08	0.1271
NI	Normally inverse	0.0274	2.2614	0.3	-1.899	9.1272
VI	Very inverse	0.0615	0.7989	0.34	-0.284	4.0505
EI	Extremely inverse	0.0399	0.2294	0.5	3.0094	0.7222

RI and RXIDG:

$$t_{RI} = \frac{k}{0.339 - \frac{0.236}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)}}$$

$$t_{RXIDG} = 5.8 - 1.35 \ln \frac{I}{kI_{pickup}}, \text{ where}$$

t = operation delay in seconds

k = User's multiplier

I = Measured value

I_{pickup} = User's pick up setting

For more inverse delay characteristics information, see Chapter 2.13 Inverse time operation in the VAMP 265 manual

5. Testing of differential overcurrent protection stages

This chapter describes the methods of testing VAMP 265 differential overcurrent protection stages. These examples are only for the secondary injection testing. There are also some pre-calculated values which can be used in the testing. There is also Excel-program with which the test-points needed in the test can be calculated. This Excel-program is called "calculation program" for the VAMP 265 relay.

5.1. Differential overcurrent protection stage $\Delta I >$ (87)

Differential overcurrent settings are usually given by the designer of network. The network designer's information include trip levels of each stages ($\Delta I >$ and $\Delta I >>$).

5.1.1. Detection of connection group

The transformer connection group must be known before differential overcurrent protection stages are tested. This is very important to know because zero current compensation is made in these parameters. Zero current compensation can be selected individually for I_L and I'_L side. There is an example for zero compensation for a transformer where the connection group is Yd11. (See table 5.1.1-1) If the protection area is only the generator then the connection group is always Yy0. (See table 5.1.1-2.) As usually, the connection group can be checked by transformer's symbol plate. Selecting of the active zero current compensation stages are done in menu "Scalings" (see Figure 5-1).

Transformer settings	
IL side nominal voltage	110000 V
I'L side nominal voltage	10500 V
Transformer nominal power	12000 kVA
Connection group	Yd1
Io compensation	<input checked="" type="checkbox"/>
I'o compensation	<input type="checkbox"/>
Trafo nom current (IL side) 63.0 A	
Trafo nom current (I'L side) 659.8 A	

Figure 5-1 Transformer settings

Table 5.1.1-1 Zero current compensation settings

ConnGpr	Yd11
I0Comp	ON
I'0Comp	OFF
Un	High voltage side
U'n	Low voltage side

Table 5.1.1-2 Zero current compensation in transformer applications

Transformer Connection group	Relay settings		
	ConnGpr	I ₀ cmps	I' ₀ cmps
YNy0	Yy0	ON	OFF
YNyn0	Yy0	ON	ON
Yy0	Yy0	OFF	OFF
Yyn0	Yy0	OFF	ON
YNy6	Yy6	ON	OFF
YNyn6	Yy6	ON	ON
Yy6	Yy6	OFF	OFF
Yyn6	Yy6	OFF	ON
Yd1	Yd1	OFF	OFF
YNd1	Yd1	ON	OFF
Yd5	Yd5	OFF	OFF
YNd5	Yd5	ON	OFF
Yd7	Yd7	OFF	OFF
YNd7	Yd7	ON	OFF
Yd11	Yd11	OFF	OFF
YNd11	Yd11	ON	OFF
Dy1	Dy1	OFF	OFF
Dyn1	Dy1	OFF	ON
Dy5	Dy5	OFF	OFF
Dyn5	Dy5	OFF	ON
Dy7	Dy7	OFF	OFF
Dyn7	Dy7	OFF	ON
Dy11	Dy11	OFF	OFF
Dyn11	Dy11	OFF	ON
Generator only	Relay settings		
None earthing	Yy0	OFF	OFF

5.1.2. Current transformer of differential protection

Differential current protection stages are very accurate for the current transformers because they can cause undesired tripping. One ampere secondary current of the current transformer is the best choice because it is sufficiently insensitive to saturation. The VAMP 265 differential relay is very accurate for current transformers mistakes. If current transformers are saturated then an undesired tripping can occur.

Current transformers can be connected in two different ways. Figure 5-2 shows the connection of current transformer where primary and secondary current transformers are connected according to subtractive polarity. Correspondingly figure 5-3 shows the connection of transformer where primary and secondary current transformers are connected according to additive polarity. There is also menu "winding currents" where the checking can be made that the phase angles are correct. When the connections of the currents transformers are correct, the windings look like in figure 5-4. If the connections of the currents transformers are wrong then the situation can be as in figure 5.5. There is a mistake in connections of the secondary side wirings so there is a polarity error fault in current transformers. This situation can cause current difference and then an undesired tripping can occur.

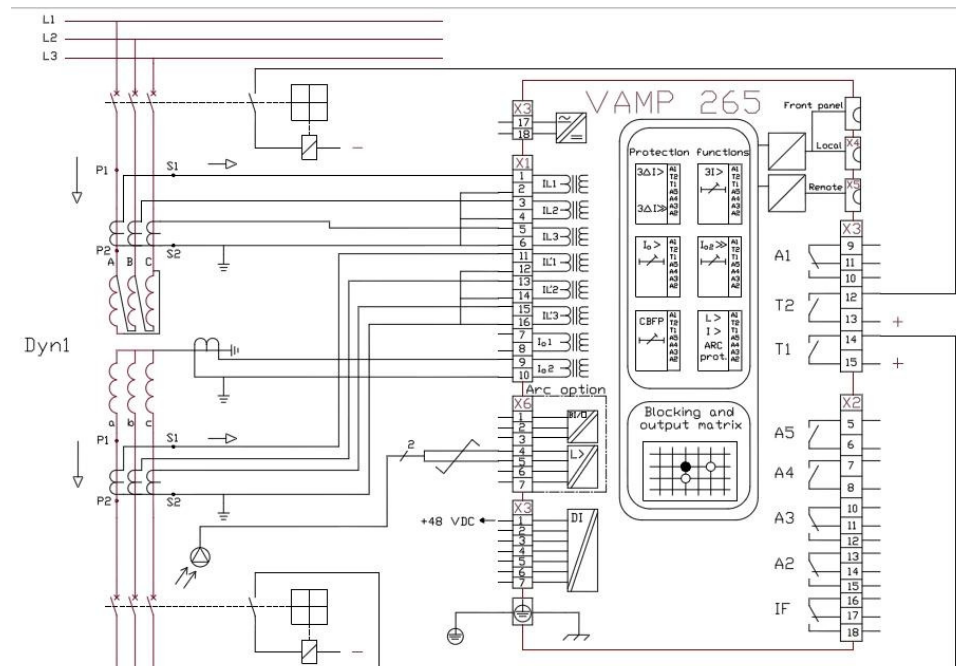


Figure 5-2 Differential protection of a Dyn11 transformer using VAMP 265. Primary and secondary current transformers are connected according to subtractive polarity.

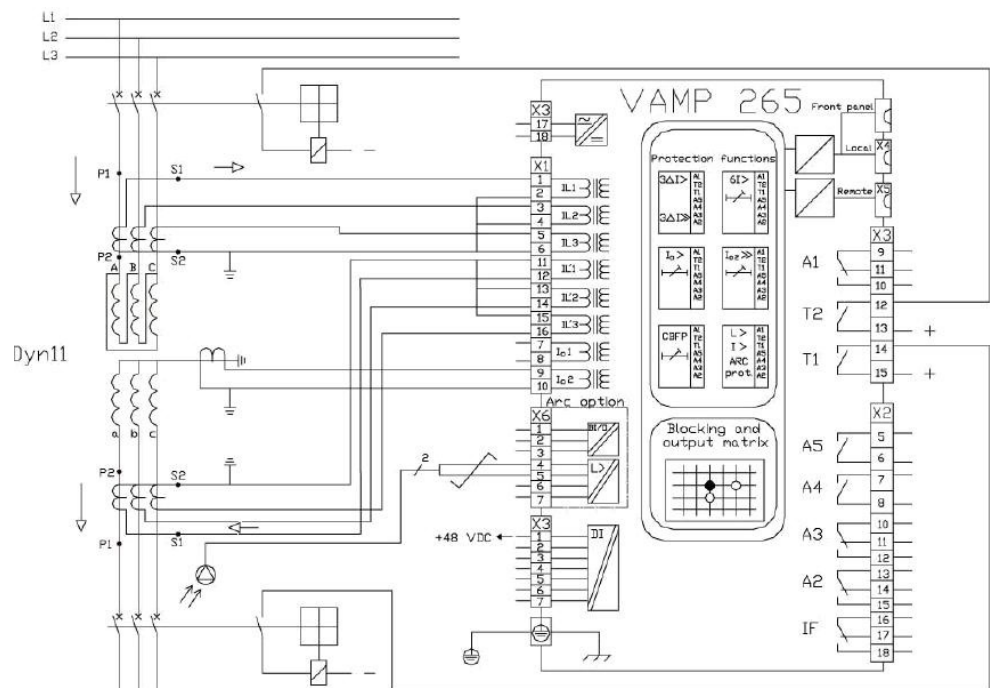


Figure 5-3 Differential protection of a Dyn11 transformer using VAMP 265. Primary and secondary current transformers are connected according to additive polarity.

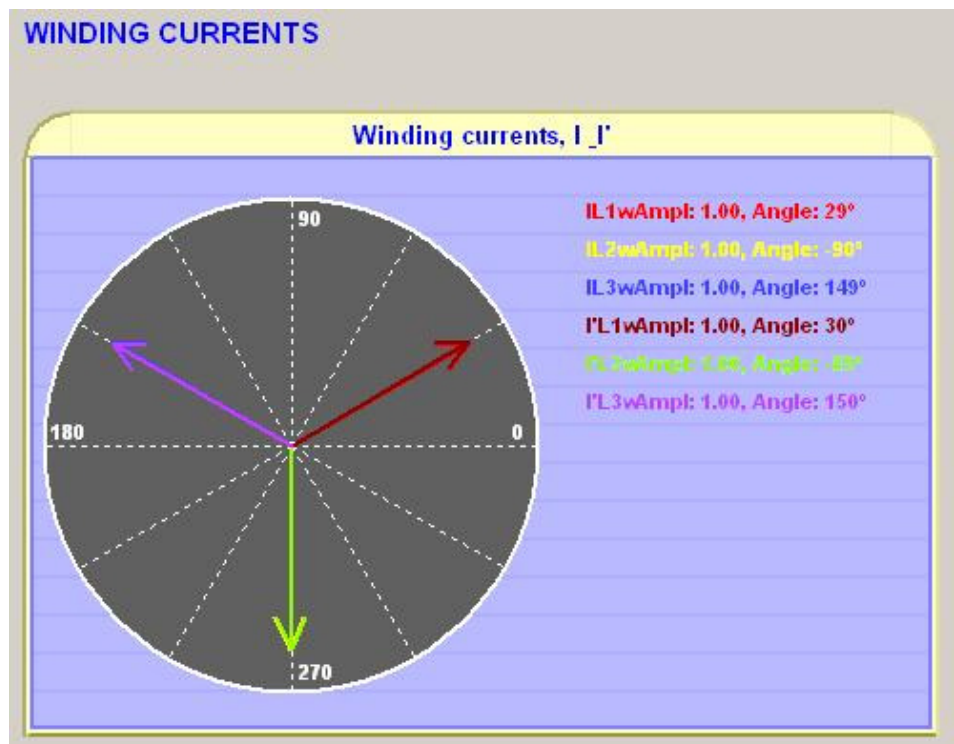


Figure 5-4 The winding currents when all connections are correct. Figure 5-4 shows that there is no current difference because current vectors are on top of each other.



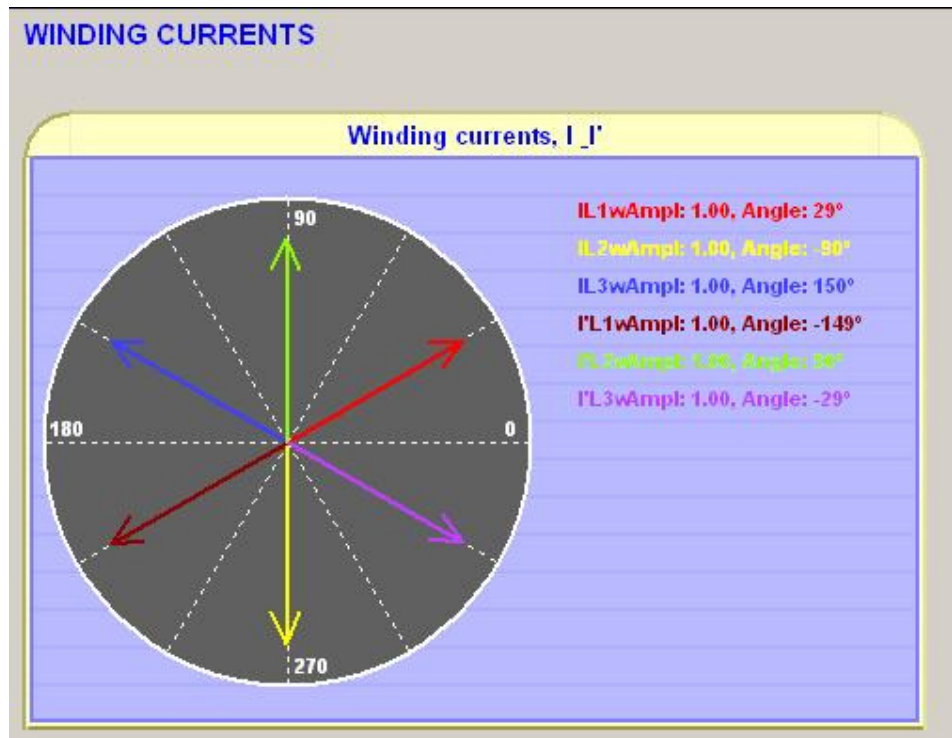


Figure 5-5 The winding current when there is a polarity error fault in the secondary side. Figure 5-5 shows that there is the phase angle difference between primary windings and secondary windings and therefore then there is differential current component.

5.2. Trip level test

The trip level test on differential overcurrent stages are very complicated because total trip level test needs testing devices which has six adjustable channels for current, but some of the transformers can also be tested with a three-phase testing device. This chapter describes the methods of testing with a single-phase testing device and also the methods of total trip level testing (six phase testing device) and testing with a three-phase testing device.

The total trip level test means that the whole differential overcurrent characteristic can be tested. This differential overcurrent characteristic is given in figure 5-4. The Characteristic is divided into the four parts which are marked a, b, c and d.

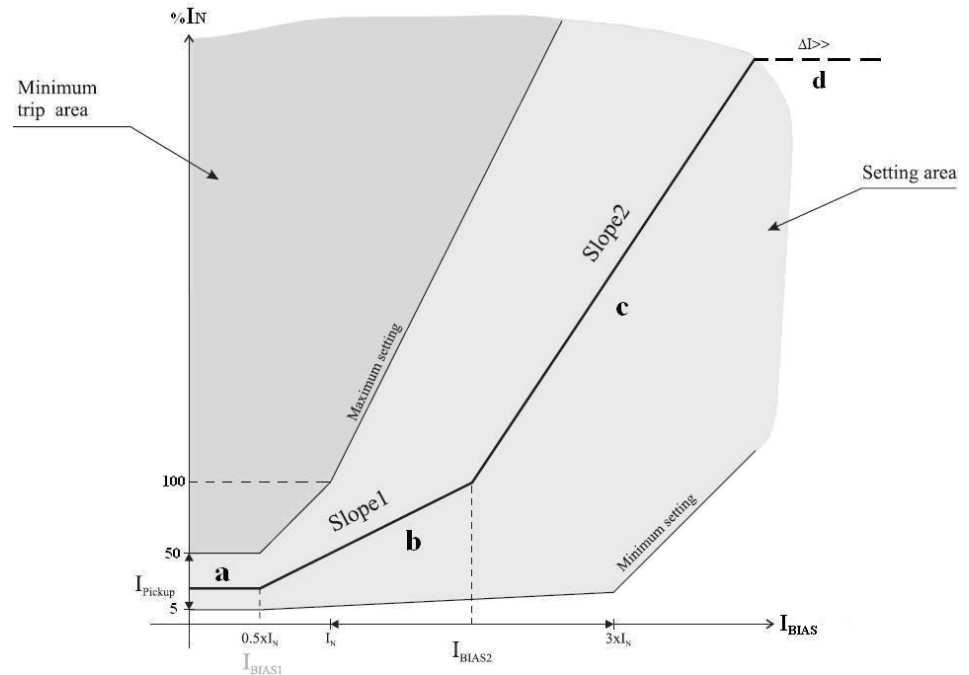


Figure 5-4 Example of differential overcurrent characteristic

The trip level test for differential overcurrent stage will be limited to part **a** and **d** with the single-phase testing device. Part **d** is second protection stage $\Delta I \gg$. If the three-phase testing device is in use then the test will be the same as with the single-phase test but course it is much more accurate than the single-phase test. Another choice is to use calculation program for the VAMP 265 relay. The obtained test point can use with three phase testing device, but more about this will tell in chapter 5.2.2 “Trip level test with the three-phase testing device”.

5.2.1. Trip level test with single phase testing device

When the single-phase testing device is used, this test must be done for each phases. First connect the testing device to relays current inputs I_{L1} and I'_{L1} . When this is done connect the testing device to current inputs I_{L2} and I'_{L2} . And finally connect the testing device to current inputs I_{L3} and I'_{L3} .

▲WARNING

Remember to close the current supply on the testing device while changing the connection to avoid electrical shock.

Example values for trip level test:

- relay nominal current $I_N = 1$ A (same as CT secondary current)
- stage $\Delta I >$: pick up level $30\% \times P/I_N$
- Protected transformer nominal values:
- $S_N = 25000$ kVA, $U_N = 115000$ V (tap changer position: centre), $U'_N = 21000$ V, $I_N = 125,5$ A, $I'_N = 687,3$ A
- CT for HV-side= 150/1A, CT for LV- side= 1000/1A

Example value for $\Delta I >_{Pickup}$:

$$\Delta I >_{Pickup} = \frac{I_N}{I_{CTHV}} \cdot I_{CTSEC} \cdot \frac{30\%}{100\%} = \frac{125,5A}{150A} \cdot 1A \cdot \frac{30\%}{100\%} = 0,251 \text{ A}$$

When example values are used, the pick up current should be within 0,244.. 0,259 A on stage $\Delta I >$.

Notice that the $\sqrt{3}$ must only be in the numerator only if the single-phase testing device is used and the connection of windings are one of the following: Yd or Yy.

Example value for $\Delta I' >_{Pickup}$:

$$\Delta I' >_{Pickup} = \frac{I'_N}{I_{CTLV}} \cdot I_{CTSEC} \cdot \frac{30\%}{100\%} = \frac{687,3A}{1000A} \cdot 1A \cdot \frac{30\%}{100\%} = 0,206 \text{ A}$$

When example values are used, the pick up current should be within 0,199 .. 0,213 A on stage $\Delta I' >$.

Increase the current and write down the pick up current for stage $\Delta I >$ to the measurement record.

The actual pick up current should be within $\pm 3\%$ of setting values or $\pm 0,5\%$ of rated values.

This test must be done for each phase (when the single phase testing device is used) and the test must be done both primary and secondary side. The results are marked in the measurement record.

Another differential overcurrent stage $\Delta I >>$ can be tested in the preceding way.

▲WARNING

Remember to close the current supply on the testing device while changing the connection to avoid electrical shock.

When differential overcurrent stage $\Delta I >>$ is tested, there must be some another protection function in use. This is very important because large current can break the relay output channel if current duration is too long. A good practice is to press overcurrent stage $I >$ into service. Then overcurrent stage $I >$ will disconnect the current but the operation time of overcurrent stage $I >$ is greater than the operation time of differential overcurrent stage $\Delta I >>$.

Example values for trip level test:

$$\Delta I >_{Pickup} = \frac{I_N \cdot \Delta I >>}{I_{CTHV}} \cdot I_{CTSEC} = \frac{125,5A \cdot 10}{150A} \cdot 1A = 8,37 A$$

When example values are used, the pick up current should be within 8,12.. 8,62 A on stage $\Delta I >$.

Notice that the $\sqrt{3}$ must only be in the numerator only if the single-phase testing device is used and connection of windings are one of the following: Yd or Yy.

Example value for $\Delta I' >_{Pickup}$:

$$\Delta I' >_{Pickup} = \frac{I'_N \cdot \Delta I' >>}{I_{CTLV}} \cdot I_{CTSEC} = \frac{687,3A \cdot 10}{1000A} \cdot 1A = 6,873 A$$

When example values are used, the pick up current should be within 6,667.. 7,08 A on stage $\Delta I >$.

5.2.2.

Trip level test with three phase testing device

When the three phase testing device is in use, the trip level test is done as well as single phase testing device, but now all three current channels can be tested at the same time. First, connect the testing device to the relay's current inputs I_{L1} , I_{L2} , and I_{L3} .

When this test is done, connect the testing device to the relay's current inputs I'_{L1} , I'_{L2} and I'_{L3} . If there is possibility to change

current angle in the testing device then extreme fault situations can also be tested. The total trip level test can also be made for at least the following connection groups: Yy0, Yy6.

▲WARNING

Remember to close the current supply on the testing device while changing the connection to avoid electrical shock.

5.2.3. Trip level test with six-phase testing device

The main idea with the six-phase testing device is the same as with the three phase testing device. The difference is that there is a possibility to test the whole differential current protection characteristic. Three of the current channels (current output 1) are connected in the same way as previously. The rest three current channels (e.g current output 2) are connected to the secondary side. Those three current channels will generate load current for the relay. Total trip level test can not be done without load current.

The total trip level test needs the bias current to be increased. The currents must be of the same size in both sides. Difference between primary and secondary test currents comes from current transformer scaling. The bias current will be increased at the same time when they ring up currents on both sides. The method gives a possibility to move the test point to the horizontal direction in the characteristic.

When this method is used, the test point can be moved on the vertical side for current difference. One way to change the current difference is the possibility to change current angle, because the current on the both sides are almost of the same size. The idea is only to change current angles on the secondary side and increase the current difference in that way. There is also an example of this situation to clarify the situation better.(See table 5.2.3-1 and figure 5.3.2-3.)

Another method to do the total trip level test is to change primary current so that the current difference is increased and then the relay will trip. The accounting application has been made for this test.

First increase currents on both sides so that the currents are of the same value. Then increase the primary current so that the current difference rises and then the relay will trip. The main idea of the test is to establish the following: the relay should trip in test point 1 and the relay should not trip in test point 2.

All the test points can be calculated with the calculation program. There is also an example of this situation to clarify the situation better. (See table 5.2.3-2 and figure 5.3.2-2).

Example for total trip level test:

- relay nominal current $I_N = 1$ A (same as CT secondary current)
- stage $\Delta I >$: pick up level $30\% \times P/I_N$, Slope1= 50 %, I_{BIAS} for start of Slope2= $2 \times I_N$, Slope2= 150%, End of Slope= $5 \times I_N$.

Protected transformer nominal values:

- $S_N = 25000$ kVA, $U_N = 115000$ V (tap changer position: centre), $U'_N = 21000$ V, $I_N = 125,5$ A, $I'_N = 687,3$ A
- CT for HV-side= 150/1A, CT for LV- side= 1000/1A
- Connection group= YNd11, I_0 compensation= YES, I_0' compensation= NO

The settings are used in both methods (method 1 and 2). The total trip level test points are shown in table 5.2.3-1 and 5.2.3-2. The method of this test is to change the current angle on the secondary side. There is also figure 5.2.3-2 which shows calculated test points.

Table 5.2.3-1 Example for trip level test points.(method 1)

Test point 1 (Relay should not trip)					Test point 5 (Relay should not trip)				
IL1	0,84	A	0	deg	IL1	2,09	A	0	deg
IL2	0,84	A	-120	deg	IL2	2,09	A	-120	deg
IL3	0,84	A	120	deg	IL3	2,09	A	120	deg
I'L1	0,69	A	61	deg	I'L1	1,72	A	72	deg
ΓL2	0,69	A	-59	deg	ΓL2	1,72	A	-48	deg
ΓL3	0,69	A	181	deg	ΓL3	1,72	A	192	deg
Test point 2 (Relay should trip)					Test point 6 (Relay should trip)				
IL1	0,84	A	0	deg	IL1	2,09	A	0	deg
IL2	0,84	A	-120	deg	IL2	2,09	A	-120	deg
IL3	0,84	A	120	deg	IL3	2,09	A	120	deg
I'L1	0,69	A	62	deg	I'L1	1,72	A	73	deg
ΓL2	0,69	A	-58	deg	ΓL2	1,72	A	-47	deg
ΓL3	0,69	A	182	deg	ΓL3	1,72	A	193	deg
Test point 3 (Relay should not trip)					Test point 7 (Relay should not trip)				
IL1	1,51	A	0	deg	IL1	3,77	A	0	deg
IL2	1,51	A	-120	deg	IL2	3,77	A	-120	deg
IL3	1,51	A	120	deg	IL3	3,77	A	120	deg
I'L1	1,24	A	60	deg	I'L1	3,09	A	94	deg
ΓL2	1,24	A	-60	deg	ΓL2	3,09	A	-26	deg
ΓL3	1,24	A	180	deg	ΓL3	3,09	A	214	deg
Test point 4 (Relay should trip)					Test point 8 (Relay should trip)				
IL1	1,51	A	0	deg	IL1	3,77	A	0	deg
IL2	1,51	A	-120	deg	IL2	3,77	A	-120	deg
IL3	1,51	A	120	deg	IL3	3,77	A	120	deg
I'L1	1,24	A	61	deg	I'L1	3,09	A	95	deg
ΓL2	1,24	A	-59	deg	ΓL2	3,09	A	-25	deg
ΓL3	1,24	A	181	deg	ΓL3	3,09	A	215	deg

Table 5.2.3-2 Example for trip level test points. (method 2)

Test point 1 (Relay should not trip)					Test point 5 (Relay should not trip)				
IL1	0,84	A	0	deg	IL1	2,09	A	0	deg
IL2	0,84	A	-120	deg	IL2	2,09	A	-120	deg
IL3	0,84	A	120	deg	IL3	2,09	A	120	deg
I'L1	0,38	A	30	deg	I'L1	1,00	A	30	deg
ΓL2	0,38	A	-90	deg	ΓL2	1,00	A	-90	deg
ΓL3	0,38	A	150	deg	ΓL3	1,00	A	150	deg
Test point 2 (Relay should trip)					Test point 6 (Relay should trip)				
IL1	0,84	A	0	deg	IL1	2,09	A	0	deg
IL	0,84	A	-120	deg	IL2	2,09	A	-120	deg
IL3	0,84	A	120	deg	IL3	2,09	A	120	deg
I'L1	0,37	A	30	deg	I'L1	0,99	A	30	deg
ΓL2	0,37	A	-90	deg	ΓL2	0,99	A	-90	deg
ΓL3	0,37	A	150	deg	ΓL3	0,99	A	150	deg
Test point 3 (Relay should not trip)					Test point 7 (Relay should not trip)				
IL1	1,51	A	0	deg	IL1	3,77	A	0	deg
IL2	1,51	A	-120	deg	IL2	3,77	A	-120	deg
IL3	1,51	A	120	deg	IL3	3,77	A	120	deg
I'L1	0,71	A	30	deg	I'L1	1,21	A	30	deg
ΓL2	0,71	A	-90	deg	ΓL2	1,21	A	-90	deg
ΓL3	0,71	A	150	deg	ΓL3	1,21	A	150	deg
Test point 4 (Relay should trip)					Test point 8 (Relay should trip)				
IL1	1,51	A	0	deg	IL1	3,77	A	0	deg
IL2	1,51	A	-120	deg	IL2	3,77	A	-120	deg
IL3	1,51	A	120	deg	IL3	3,77	A	120	deg
I'L1	0,70	A	30	deg	I'L1	1,20	A	30	deg
ΓL2	0,70	A	-90	deg	ΓL2	1,20	A	-90	deg
ΓL3	0,70	A	150	deg	ΓL3	1,20	A	150	deg

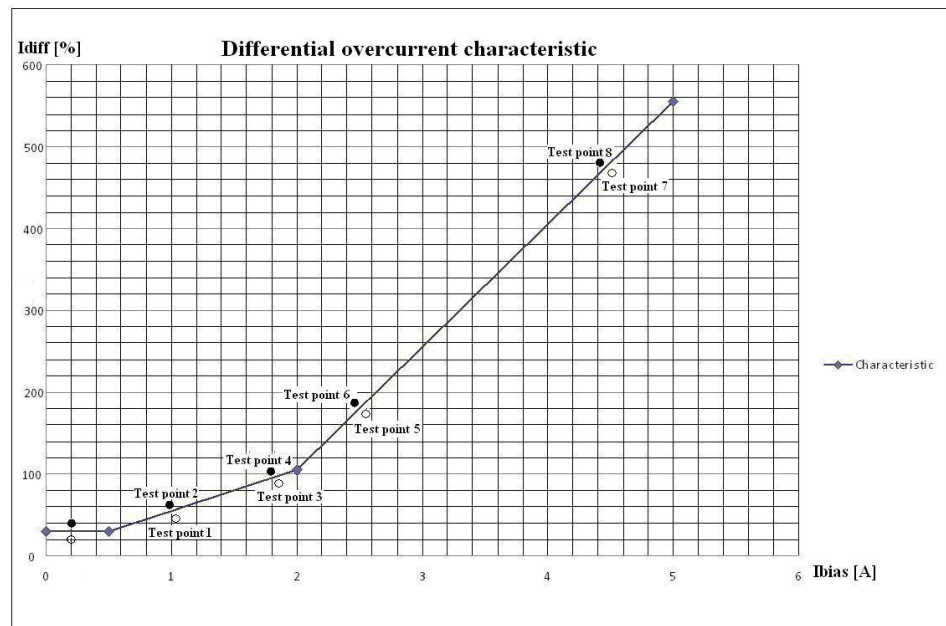


Figure 5.3.2-3 Testing points for total trip level test.

5.3. Operation time test

The methods for the operation time test are the same as in the operation time test of overcurrents stage when single-phase testing device is used. Remember that the operation time is less than the operation time of overcurrent protection stage. Use the network designer values in this testing if possible. If these values are not available, use the following example values or our own example values. Remember to write down the setting values in the measurement record.

Test stage $\Delta I >$ by supplying $1,5 \dots 2 \times I_N$ current to each current input and measuring the operation time on output relay by using a timer. When the six-phase testing device is used, the method is the same in the total trip level test, but the test currents needs to be $3,5 \times$ differential current setting.

Operation time should be on stage $\Delta I >$ and $\Delta I' >$ under 60 ms and the operation time should be on stage $\Delta I >>$ and $\Delta I' >>$ under 40 ms. When the differential current is raised over $3,5 \times I_N$ then the operation time should be under 50 ms.

This test must be done for each phase (when the single-phase testing device is used) and the test must be done on both sides (primary $\Delta I >$, $\Delta I >>$ and secondary sides $\Delta I' >$, $\Delta I' >>$). The results are marked in the measurement record.

6. Earth fault protection stages testing

This chapter describes methods of testing the VAMP 265 earth fault protection stages. There are also some pre-calculated values which can be used in the testing.

6.1. Earth fault stage $I_{0>}$ (50N/51N)

VAMP 265 has four separate adjustable earth fault stages $I_{0>}$, $I_{0>>}$, $I_{0>>>}$ and $I_{0>>>>}$. The first stage can be configured for definite time (DT) and inverse definite minimum time (IDMT). The function of stages $I_{0>}$, $I_{0>>}$, $I_{0>>>}$ and $I_{0>>>>}$ is based on the measured current I_{01} connected to the input 4 (terminal X1:7-8) and the measured current I_{02} connected to the input 5 (terminal X1:9-10).

This stage is measuring primary earth fault current I_{01} and secondary earth fault current I_{02} . The setting value of this stage is a per unit (p.u.) value of the residual CT nominal value.

If the network designer information is available it is wise to use these values. But this chapter also includes example values which can be used in the testing.

6.1.1. Trip level test

Setting values for the relay testing must be marked in the measurement record under, setting values for earth fault stage $I_{0>}$. The results of the test must be marked in the measurement record site, results for earth fault stage $I_{0>}$ test.

Example values for the trip level test:

$$I_{CT0SEC} = 5 \text{ A}$$

$$I_{0SET} = 0,05 \text{ p.u.}$$

The secondary pick up current will be

$$I_{INJ} = I_{CT0SEC} \times I_{0SET} = 5 \text{ A} \times 0,05 = 0,25 \text{ A}$$

The actual pick up current should be within $\pm 5\% = 0,237 \dots 0,263 \text{ A}$. To find out the actual pick up level, start with current $0,220 \text{ A}$. Then increase current in small steps until the relay picks up. Mark the pick up value in the measurement record.

6.1.2. Operation time test

Use the network designer values in this testing if possible. If these values are not available, use the following example values or our own example values. Remember to write down setting values in the measurement record.

The specified operation time accuracy is achieved when the current is >200% of the setting value.

Example values for operation time test:

$$t = 0,5 \text{ s}$$

$$I_{\text{INJ}} = 2,05 \times 0,25 \text{ A} = 0,513 \text{ A}$$

Other settings same as in preceding trip level test

The operation time including the inertia of the output relay should be within ± 30 ms: 0,470 .. 0,530 s.

Write down the results in the measurement record.

7. Thermal protection stage T> (49)

The thermal overload function protects the transformer or protective object against thermal overload. The measuring is based on the RMS (Root Mean Square) value of the phase currents from which the heating of the cable to be protected is calculated. The rms values are calculated using harmonic components up to 15th.

Thermal stress can be supervised by means of a thermal image. The thermal image can be calculated from the standard heating expression according to IEC 60255-8:

Equation 6.1-1

$$t = \tau \cdot \ln \frac{I^2 - I_p^2}{I^2 - (k \cdot k_{\Theta} \cdot I_N \cdot \sqrt{alarm})^2}, \quad \text{where}$$

- t = Operation time
- τ = Thermal time constant tau
- ln natural logarithm
- I = Measured rms phase current
- I_p = preload current
- k = Overload factor
- k_{Θ} = Ambient temperature factor
- I_N = The rated current

Equation 6.1-2

$$t = \tau \cdot \ln \left(\frac{I^2}{I^2 - (k \cdot k_{\Theta} \cdot I_N)^2} \right), \quad \text{where}$$

- t = Operation time
- τ = Thermal time constant tau
- ln natural logarithm
- I = Measured rms phase current
- I_p = preload current
- k = Overload factor
- k_{Θ} = Ambient temperature factor
- I_N = The rated current

The heating time constant (tau [τ]) and the thermal overload current factor (k) corresponding to the maximum thermal load

are settable. The factor k defines the load current value which, when exceeded, results in a thermal trip. The stage is also provided with a settable alarm function, the setting range of which is from 60 to 99% of the thermal trip level.

Connection for the thermal overload test is the same as in the overcurrent protection test. When the single-phase testing device is used, first have to connect the secondary injection to input IL1, IL2 or IL3 and then secondary injection have to connect to input I'L1, I'L2 or I'L3. When three-phased testing device is used connect the secondary injection in all three inputs IL1, IL2, IL3. Accordingly connect the secondary injection in all secondary inputs I'L1, I'L2, I'L3 before primary side test.

If the network designer information is available it is wise to use these values. But this chapter also includes example values which can be used in testing.

7.1. Trip level and operation time test

Setting values for the relay testing must be marked in the measurement record under, setting values for thermal protection stage T>. The results of the test must be marked in the measurement record under, results for thermal protection stage T> test.

First set the injected current to zero amps and force the calculated temperature equal to 0,0%.

Example values for operation time test:

τ	=	30 min
I	=	2,0 A
I_p	=	0 A
k	=	1,03
I_N	=	1,0 A
$k\Theta$	=	1,0
alarm	=	60 %

Time to the 60% alarm at temperature Θ_{alarm} according to Equation 8.3.2 will be:

$$t = 30 \cdot \ln \left(\frac{2^2 - 0^2}{2^2 - (1,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,6})^2} \right) = 5,199 \text{ min} = 311,98 \text{ s}$$

Operation time to 60% alarm should be within $\pm 5\%$: 296,38..
327,58 s.

Operation time to 100% trip according to Equation 8.3.1 will be:

$$t = 30 \cdot \ln\left(\frac{2^2 - 0^2}{2^2 - (1,03 \cdot 1 \cdot 1)^2}\right) = 9,246 \text{ min} = 554,74 \text{ s}$$

Operation time to 100% trip should be within $\pm 5\%$: 527,00 ..
528,48 s.

Mark the calculated alarm time and calculated operation time down to the measurement record. Check that the measured operation time and alarm time is inside the margin.

8. Current unbalance protection (46)

Unbalance protection can be tested only with the three-phase testing device!

The operation of the unbalance protection is based on the negative phase sequence component I_2 related to the positive phase sequence component I_1 . This is calculated from the phase currents using the method of symmetrical components. The function requires that the measuring inputs are connected correctly so that the rotation direction of the currents is correct.

Equation 7.1-1

$$K2 = \frac{I_2}{I_1}, \quad \text{where}$$

$$I_1 = I_{L1} + aI_{L2} + a^2I_{L3}$$

$$I_2 = I_{L1} + a^2 I_{L2} + aI_{L3}$$

$$a = 1\angle 120^\circ = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \text{ a phasor rotating constant}$$

8.1. Trip level test

Example values for trip level test:

$$I_{CTSEC} = 5,00 \text{ A}$$

$$\text{pick up setting } K2 = 10\%$$

$$\text{operation time } t = 1,0 \text{ s}$$

Let's calculate which phase currents for example exceed the pick up setting.

$$I_{L1} = 3,64\angle 0^\circ$$

$$I_{L2} = 5,00\angle -120^\circ$$

$$I_{L3} = 5,00\angle 120^\circ$$

When these phase currents are used, K2 according to Equation 8.2.1 is 20 %.

The actual pick up current I_{L1} should be within $\pm 0,05 \text{ A}$: 3,59 .. 3,69 A. To find out the actual pick up level start with the

current 3,8 A. Then slowly decrease the current until the stage starts.

8.2. Operation time test

Both definite time and inverse time characteristics are available. Only the base frequency components of the phase currents are used to calculate the negative sequence value I_2 .

The inverse delay is based on the following equation.

Equation 8.2-1

$$t = \frac{K_1}{\left(\frac{I_2}{I_N}\right) \cdot K_2^2}, \text{ where}$$

t = operation delay

K_1 = Delay multiplier

I_2 = Measured and calculated negative sequence phase current or fundamental frequency.

I_N = Rated current

K_2 = Pick-up setting I_2 in p.u. The maximum allowed degree of unbalance.

Example values for the operation time test:

K_1 = 15 s

I_2 = 20% = 0.200 x I_N

K_2 = 5% = 0.05 x I_N

$$t = \frac{15}{\left(\frac{0.229}{1}\right)^2 - 0.05^2} = 300,4 \text{ s.}$$

Operation time will be in this example about five minutes.

Setting values same as in the preceding trip level test.

Decrease the phase current I_{L1} fast step for example from 1,0 A to 0,75 A.

Mark the setting value of operation time and measured operation time to the measurement record.

9. Arc fault protection stage ArcI> (50ARC)

The arc fault protection has been implemented with arc sensor inputs and an extremely fast overcurrent function ArcI> or the earth fault functions ArcI0> and ArcI02>.

The arc protection function operates when one of the arc sensors detects an arc fault. The arc protection function operates also when the binary input of the arc option card activates and the fast overcurrent stage ArcI> measures an overcurrent, or the earth fault stage ArcI0> or ArcI02> measures an earth fault at the same time.

The arc option testing is simple, inject the overcurrent or earth fault current to the relay and at same time give the bright light to the arc sensor. The relay should trip then if the arc option is enabled.

Light to the arc sensor must be bright and long enough. A bright flashlight is possibly the best solution for a light source.

9.1. Operation time test

Operation time in Arc-option is very fast 20 ms. One method to test the operation time is to give at first bright light to the Arc-sensor. While light is on, give $4x I_{NOM}$ overcurrent or earth fault current to the relay. Measure the operation time as in the testing of overcurrent stages, from the beginning of injection to the trip.

Notice that if the light to the arc-sensor is on over 10 seconds, the self supervision of the relay thinks that the arc-sensor is faulty. So when the light is switched on as in the preceding method, you have to inject the overcurrent or earth fault current to the relay input in under 10 seconds.

Operation time in arc-option with $4x I_{NOM}$ overcurrent or earth fault current should be under 22 ms.

When the arc option has been tested, mark OK to the measurement record.

10. Reference information

Manufacturer & Service data:

VAMP Ltd

P.O.Box 810

FIN-65101 Vaasa, Finland

Visiting address: Yrittäjänkatu 15

Phone +358 (0)20 753 3200

Fax. +358 (0)20 753 3200

Email: vamp@vamp.fi

URL: <http://www.vamp.fi>

24h support phone:

Tel . +358 (0)20 753 3200

Email: vampsupport@vamp.fi



We reserve the rights to changes without prior notice

VAMP Ltd

Street address: Yrittäjänkatu 15
Post address:
P.O Box 810, FIN 65101 Vaasa,
Finland

Phone: +358 20 753 3220
Fax: +358 20 753 3205
Internet: www.vamp.fi
Email: vamp@vamp.fi

We reserve the rights to changes without prior notice

VAMP Ltd

Street address: Yrittäjätu 15
Post address:
P.O Box 810, FIN 65101 Vaasa,
Finland

Phone: +358 20 753 3220
Fax: +358 20 753 3205
Internet: www.vamp.fi
Email: vamp@vamp.fi

Customer and relay information	Name:	Date:
	Address	Phon number:
	Relay type: VAMP 265	Relay order code
	Serial number:	HW and SW version:

Location	Substation:	Cell:	Apparatus:
-----------------	-------------	-------	------------

Technical data	Relay nominal current: IN>	I ₀₁ >	I ₀₂ >
	Relay nominal voltage:	Auxiliary voltage:	
	Primary current transformer: / /	Secondary current transformer: / /	
	I ₀₁ transformer primary side: / /	I ₀₂ transformer secondary side: / /	

Protected target information	Manufacturer:	Year of manufacture:
	Nominal power [kVA]	Connecting Group:
	Hv side nominal voltage U _n :	Hv side nominal voltage U _n :
	Nominal primary current I _N (calculated):	Nominal secondary current I _N (calculated):
	Tap Changer: level [%]	Centre position of tap changer:

Setting values	$\frac{dI >}{\%}$	$\frac{dI >>}{x I_N}$	$\frac{dI > 2harm}{\%}$	
	Slope1 %	Ibias for start up slope2 x I _n	Slope2 %	End of slope x I _n
	$\frac{I >}{I > / I_N}$	$\frac{Time}{t > s}$	$\frac{I >>}{I >> / I_N}$	$\frac{Time}{t >> s}$
	$\frac{I \prime >}{I \prime > / I_N}$	$\frac{Time}{t \prime > s}$	$\frac{I \prime >>}{I \prime >> / I_N}$	$\frac{Time}{t \prime >> s}$
	$\frac{I_2 >}{I_2 > / I_N}$	$\frac{Time}{t_2 > s}$	$\frac{I \prime_2 >}{I \prime_2 > / I_N}$	$\frac{Time}{t \prime_2 > s}$
	$\frac{T >}{T > / I_N}$	$\frac{Time}{t > s}$		
	$\frac{I_0 >}{I_0 > / I_N}$	$\frac{Time}{t_0 > s}$	$\frac{I_0 >>}{I_0 >> / I_N}$	$\frac{Time}{t_0 >> s}$
	$\frac{I_0 >>>}{I_0 >>> / I_N}$	$\frac{Time}{t_0 >>> s}$	$\frac{I_0 >>>>}{I_0 >>>> / I_N}$	$\frac{Time}{t_0 >>>> s}$
	$\frac{ArcI >}{ArcI > / I_N}$	$\frac{Time}{t ArcI > s}$	$\frac{ArcI \prime >}{ArcI \prime > / I_N}$	$\frac{Time}{t ArcI \prime > s}$
	$\frac{ArcI_{01} >}{ArcI_{01} > / I_N}$	$\frac{Time}{t ArcI_{01} > s}$	$\frac{ArcI_{02} >}{ArcI_{02} > / I_N}$	$\frac{Time}{t ArcI_{02} > s}$

Testing devices	
------------------------	--

Visual inspection Wiring inspection CT inspection

Results

Earth fault stages	Phase	<u>Pick-up</u> I ₀ > A	Release I ₀ > A	Release ratio	Time t ₀ > s	<u>Pick-up</u> I ₀ >> A	Release I ₀ >> A	Release ratio	Time t ₀ >> s
	I ₀₁								
	I ₀₂								
	Phase	<u>Pick-up</u> I ₀ >>> A	Release I ₀ >>> A	Release ratio	Time t ₀ >>> s	<u>Pick-up</u> I ₀ >>>> A	Release I ₀ >>>> A	Release ratio	Time t ₀ >>>> s
	I ₀₁								
	I ₀₂								

Arc protection stage	Phase	<u>Pick-up</u> ArcI> A	Time ArcI> s	<u>Pick-up</u> ArcI> A	Time ArcI> s	
	L1					
	L2					
	L2					
	Phase	<u>Pick-up</u> ArcI ₀₂ > A	Time ArcI ₀₂ > A	Phase	<u>Pick-up</u> ArcI ₀₂ > A	Time ArcI ₀₂ > A
	I ₀₁			I ₀₁		
	I ₀₂			I ₀₂		

Signature	Commissioner:	Customer agent:
	Clarification of signature:	Clarification of signature:

Name:	Jonne Laurila	Pvm:	10.5.2010
Aihe	Laskentasovelluksen toiminnan kokeilu	Ohjema versio:	Versio 10.36
Releen tyyppi:	VAMP 265	Sarja numero:	26553

Käytetty koestuslaite	Koestus suoritettu:		Vamp Oy:n tiloissa
	Käytetty koestuslaite		Omicron 256-6
	Koestuslaitteen sarjanumero:	SH438N	
	Koestamiseen käytetty ohjelma	Omicron Quick-CMC	

Suojattava kohde	Nominal power [kVA]	25000	Connecting Group:	YNd11
	Hv side nominal voltage Un:	115000	Hv side nominal voltage U'n:	21000
	Nominal primary current IN(calculated):	125,5	Nominal secondary current IN(calculated):	687,3
	Primary current transformer:	150 / 1 / 1	Secondary current transformer:	1000 / 1 / 1

Releen asetellut ja mittaus arvot	$\frac{dI \geq}{\%}$	37	$\frac{d'I \geq}{\%}$	15	$\frac{dI \gg}{xIN}$		$\frac{dI \gg}{xIN}$		$\frac{dI \geq 2harm}{\%}$		
	Slope1 %	67	Ibias for start up slope2 x In		2,01	Slope2 %	155	End of slope x In		5	
	Perusasettelu:	Laskennallinen:		Mitattu:		Releen toiminta:					
		0,32A		0,32A		Ei laukaisua					
	Testipiste1:	Laskennallinen:		Mitattu:		Releen toiminta:					
		Ibias	Idiff	Ibias	Idiff	Ei laukaisua					
	Testipiste2:	Laskennallinen:		Mitattu:		Releen toiminta:					
		0,80	0,56	0,80	0,56	Laukaisu					
	Testipiste3:	Laskennallinen:		Mitattu:		Releen toiminta:					
		1,71	1,14	1,71	1,15	Ei laukaisua					
	Testipiste4:	Laskennallinen:		Mitattu:		Releen toiminta:					
		1,71	1,22	1,72	1,21	Laukaisu					
	Testipiste5:	Laskennallinen:		Mitattu:		Releen toiminta:					
		2,31	1,79	2,31	1,79	Ei laukaisua					
	Testipiste6:	Laskennallinen:		Mitattu:		Releen toiminta:					
2,31		1,91	2,31	1,91	Laukaisu						

Mittaus arvot	<u>Testipiste7:</u>	<u>Laskennallinen:</u>		<u>Mitattu:</u>		<u>Releen toiminta:</u>
		Ibias	Idiff	Ibias	Idiff	
		4,70	5,39	4,71	5,39	Ei laukaisua
	<u>Testipiste8:</u>	<u>Laskennallinen:</u>		<u>Mitattu:</u>		<u>Releen toiminta:</u>
Ibias		Idiff	Ibias	Idiff		
	4,70	5,72	4,71	5,71	Laukaisu	

<u>Ylivirtasuojaja I>:</u>	<u>Asettelu:</u>
	5 xIn

<u>Ylivirtasuojaja I>:</u>	<u>Laskennallinen:</u>	<u>Mitattu:</u>	<u>Releen toiminta:</u>
	4,05	4,05	Ei Laukaisua

<u>Ylivirtasuojaja I>:</u>	<u>Laskennallinen:</u>	<u>Mitattu:</u>	<u>Releen toiminta:</u>
	4,30	4,32	Laukaisu

<u>Maasulkusuojaja I0>:</u>	<u>Asettelu:</u>
	2 p.u.

<u>Maasulkusuojaja I0>:</u>	<u>Laskennallinen:</u>	<u>Mitattu:</u>	<u>Releen toiminta:</u>
	1,96	1,96	Ei laukaisu

<u>Maasulkusuojaja I0>:</u>	<u>Laskennallinen:</u>	<u>Mitattu:</u>	<u>Releen toiminta:</u>
	2,04	2,05	Laukaisu

