

Suojareleiden uusien suojaustoimintojen määräaikaistestaus

Sami Kinnunen

Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisalan opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Insinööri (AMK)
KEMI 2014

ALKUSANAT

Haluan kiittää toimeksiantajaani ABB Medium Voltage Products-yksikköä opinnäytetyön aiheesta. Haluan kiittää esimiestäni Timo Niemeä, jonka ansiosta opinnäytetyö oli mahdollista suorittaa. Kiitokset kuuluvat myös ohjaajilleni Aila Petäjäjärvelle ja Matti Niemelle, joiden ohjeistuksien ansiosta opinnäytetyöni suunnattiin oikeaan suuntaan. Haluan myös kiittää muuta henkilökuntaa heidän ohjeistaan ja neuvoistaan.

Erityiskiitokset kuuluvat Veikko Lehesvuolle ja Mats Cainbergille. Heidän apunsa oli korvaamattoman tärkeitä opinnäytetyön etenemisen kannalta.

Opiskeluajastani haluan kiittää Lapin ammattikorkeakoulua, opettajia ja luokkatovereita näistä mukavista vuosista.

Vaasa 13.11.2014

Sami Kinnunen

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä:	Sami Kinnunen
Opinnäytetyön nimi:	Suojareleiden uusien suojaustoimintojen määräaikaiskoestus
Sivuja (joista liitesivuja):	83 (9)
Päiväys:	13.11.2014
Opinnäytetyön ohjaajat:	Aila Petäjäjärvi, Ins, Lapin AMK Matti Niemi, Tekninen asiantuntija, ABB Oy
<p>Tämän insinöörityön tarkoituksena oli selvittää ABB Medium Voltage Products-yksikölle, kuinka Relion 630 Feeder:n uusia suojausfunktioita koestetaan käyttäen Omicron-koestuslaitetta. Opinnäytetyössä keskityttiin johtolähtösuojausten funktioihin. Työn tavoitteena oli luoda ohjeistus ja dokumentaatio uusien suojaustoimintojen testaamiseen OMICRON Test Universe koestusohjelmalla. Lisäksi tavoitteena oli luoda automatisoidut koestuspohjat, joiden ohjelmointikieli on Visual Basic:iin pohjautuva kevyempi Visual Basic Script.</p> <p>Työssä tutustuttiin useiden suojausfunktioiden toimintoihin ja selvitettiin, kuinka suojaustoiminnot koestetaan. Uusien suojaustoimintojen määrä on kasvanut suojarleiden kehityksen myötä, minkä takia haluttiin selvittää, mitä suojaustoiminnot sisältävät ja millaisia erilaisia toimintoja on olemassa. Lisäksi käytiin läpi perusteet PCM600 asettelutyökaluun, jolla ohjelmoidaan ja asetellaan suojaustoiminnot suojarleisiin.</p> <p>Työn tuloksena luotiin ohjeistus sekä automatisoidut testauspohjat uusien suojausfunktioiden koestukseen. Testauspohjien tarkoituksena on vähentää koestajien työtaakkaa, nopeuttaa koestusprosessia ja pienentää virhemarginaalia.</p>	
Asiasanat: Koestus, Omicron, Test Universe, PCM600, Relion 630 Feeder.	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Industry and Natural Resources

Degree programme:	Electrical Engineering
Author:	Sami Kinnunen
Thesis title:	Testing New Protection for Protection Relay
Pages (of which appendixes):	83 (9)
Date:	13 November 2014
Thesis instructors:	Aila Petäjäjärvi, BSc (Tech), Lapin AMK Matti Niemi, Technical Specialist, ABB Oy
<p>The purpose of the thesis was to solve how to test Relion 630 Feeder's new protection functions using Omicron testing device for ABB Medium Voltage Products unit. The main focus of the thesis was on distribution network feeder protections. The objective of the thesis was to create a testing manual for the testing device program called Omicron Test Universe and automate the testing procedure. The programming language was lighter version of Visual Basic called Visual Basic Script. In addition the basic knowledge of the PCM 600 program was needed. The software is used for programming and setting protection functions into protection relays.</p> <p>A number of protection functions of the protection relay were resolved and the right way to test the functions was figured out. In the past years the development of protection relays has created a number of new protection functions. Because of fast development of the relays ABB wanted to clarify what the new functions included and what kind of operations there are.</p> <p>The outcome of the thesis was a testing manual and automated template for testing new protection functions. The automated template reduces the labor of commissioners, speeds up the testing procedure and lessens the margin of error.</p>	
Asiasanat: Testing, Omicron, Test Universe, PCM600, Relion 630 Feeder.	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tavoitteet.....	8
1.2 ABB.....	8
2 JOHTOLÄHTÖN YLEISIMMÄT VIKATYYPIT	11
2.1 Oikosulut	11
2.2 Maasulku	12
3 OHJELMOITAVIEN SUOJALAITTEIDEN MÄÄRÄAIKAISKOESTUS	15
3.1 Käyttötarkoitus	15
3.2 Suojareleen toimintaperiaate	16
3.3 Nykyaikainen relesuojaus.....	17
4 RELION 630-TUOTEPERHE.....	18
4.1 REF630.....	18
4.1.1 Kolmivaiheinen suuntamaton ylivirtasuojaus	19
4.1.2 Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuojaus	20
4.1.3 Suuntaamaton maasulkusuojaus.....	23
4.1.4 Suunnattu maasulkusuojaus	23
4.1.5 Katkeileva maasulkusuojaus	28
4.1.6 Virran vastakomponenttia mittaava suoja.....	29
4.1.7 Kolmivaiheinen terminen ylikuormasuoja	30
4.1.8 Vaihekatkosuoja	31
4.1.9 Ylijännitteen vastakomponenttia mittaava suoja	32
4.1.10 Maasulkujännite	32
5 PCM600-OHJELMOINTITYÖKALU.....	33
6 OMICRON 256 PLUS-KOESTUSLAITE.....	34
6.1 Jänniteulostulot.....	34
6.2 Virtaulostulot.....	35
6.3 Binääri- ja analogi-sisääntulot.....	36

6.4	Binääriulostulot	37
6.5	Ulkoinen DC- virtalähde	37
7	OMICRON TEST UNIVERSE-KOESTUSOHJELMA	38
7.1	Ramping	39
7.2	Pulse-ramping.....	42
7.3	State Sequencer	43
7.4	Testauspohjien ohjelmointi	44
8	KOESTUKSEN KEHITTÄMINEN.....	46
9	POHDINTA.....	53
	LÄHTEET.....	54
	LIITTEET	55

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ABB	Area Brown Boweri
BIO	Binary input/output
CMC	OMICRON 254 plus -koestuslaite
IEC 61850	Maailmanlaajuinen tietoliikennestandardi sähköverkolle ja sähköasemille
IED	Intelligent Electronic Device / älykäs elektroninen laite
OTU	OMICRON Test Universe
Pu	Per unit / per yksikkö
RCA	Relay Characteristic Angle / ominaiskulma
REF630	Relion 630 Feeder
RIO	Relay Interface by OMICRON
START	Havahtuminen
TRIP	Laukaisu
XRIO	eXtended Relay Interface by OMICRON
XML	Extensible Markup Language

1 JOHDANTO

Viimeisien vuosien aikana uusien suojarleiden vapaasti ohjelmoitavuus on kasvattanut suojausfunktioiden määrän suureksi. Tämän takia suojarleisiin voidaan ohjelmoida vapaasti monenlaisia suojausfunktoja. ABB Medium Voltage Products -yksikkö haluaa selvittää, kuinka uusimmat suojausfunktoet koestetaan. Pelkästään suojausfunktioiden sisäiset asetukset tuovat testaukseen monia huomioitavia asioita, joita tässä opinnäytetyössä käsitellään.

Työ rajattiin johtolähtöjen suojausfunktioiden koestuksen selvittämiseen. Suojausfunktioista rajattiin erikseen erilaiset suojausfunktoet, joita käytetään Suomessa. Monia suojaustoimintoja käytetään vain ulkomailla, joten ne rajattiin työn ulkopuolelle.

Opinnäytetyöstä tehtiin kaksi eri versiota. ABB:n käyttöön suunniteltu versio sisältää laajan ohjeistuksen eri suojausfunktioiden koestamiseen. Julkisesta versiosta löytyy suppea ohjeistus yhden suojaustoiminnon testaamiseen.

1.1 Työn tavoitteet

Työntavoitteena on kehittää ABB Medium Voltage Products -yksikön koestusmenetelmiä luomalla koestukseen ohjeistus ja dokumentaatio suojausfunktojen koestamisesta. Työssä tutustutaan ensiksi riittävässä laajuudessa tärkeimpiin johtolähdön vikatyyppeihin ja REF 630 suojarleiden keskeisimpiin suojaustoimintoihin. Lisäksi tutustutaan OMICRON CMC 256 plus -koestuslaitteeseen ja OTU-ohjelmistoon sekä niiden käyttöön.

Työssä luodut automaattiset testauspohjat pyritään luomaan mahdollisimman monelle suojaustoiminnolle. Työssä käydään lyhyesti läpi peruskoodauksen periaatteet testauspohjan luomiseen. Lisäksi työssä esitellään testauspohjan toimintaperiaate lyhyesti.

1.2 ABB

ABB on markkinoiden johtava sähkövoima- ja automaatioteknologianyhtymä, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. ABB on yksi maailman johtavista laitetuottajista, jonka tuotteita toimitaan teollisuuden ja sähköverkkojen toimijoille. ABB työllis-

tää ympäri maailmaa noin 145 000 henkilöä 100 eri maassa. Suomessa ABB työllistää noin 5400 henkilöä. Suomessa ABB:n toimipisteitä on yli 30 paikkakunnalla, joista suurimmat tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. (ABB Oy 2014b.)

- **Helsinki, Pitäjänmäki:** moottorit, generaattorit, taajuusmuuttajat, energianhallinta-, linjakäyttö-, sähköistys-, ja instrumentointiratkaisut, tehdastietojärjestelmät ja kunnossapitopalvelut
- **Helsinki Vuosaari:** sähköistys- ja automaattioratkaisut meriteollisuuteen, Azipod® -ruoripotkurijärjestelmät
- **Vaasa:** moottorit, erikoismuuntajat, kytkintuotteet, releet, sähkönverkon ohjaus, valvonta ja automaatio, sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmät, energianhallinta-, linjakäyttö-, sähköistys-, ja instrumentointiratkaisut sekä tehdastietojärjestelmät
- **Porvoo:** sähköasennustuotteet. (ABB Oy 2014b.)

ABB on Suomessa yksi suurimmista teollisista työnantajista ja suurin yksikkö sijaitsee pääkaupunkiseudulla. Liikevaihto oli vuonna 2013 noin 2,3 miljardia euroa, josta tuotekehitykseen käytettiin 193 miljoonaa euroa. (ABB Oy 2014b.)

Keskijännitetuotteet on jaettu kolmeen erilaiseen ryhmään: sähkönjakeluautomaatio, keskijännitekojeistot ja keskijännitetuotteiden huoltoyksikkö. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli keskijännitetuotteiden suojareleiden huoltoyksikkö. Huoltoyksikön liikevaihto oli vuonna 2013 11 miljoonaa euroa ja yksikössä työskentelee noin 50 henkilöä. (ABB Oy 2014c.)

ABB Medium Voltage Products Service tarjoaa monia palveluita liittyen releiden kunnossapitoon:

- varaosat
- korjaus ja huolto
- laiteuusinnat
- kunnossapito
- asiantuntijapalvelut
- koulutus
- ennakkohuoltopalvelut

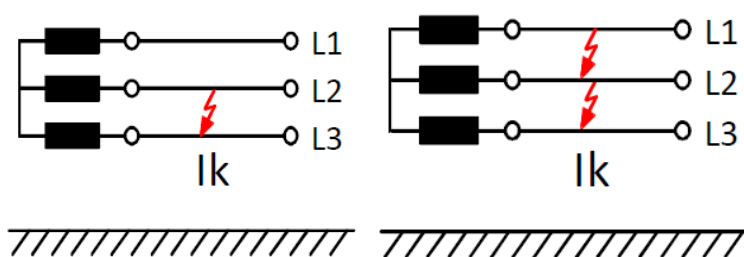
- versiopäivitykset
- suojarlekoestukset
- akustonvaihdot
- takuupalvelut
- kunnostetut laitteet
- varsinaisesta tuotannosta poistuneet laitteet. (ABB Oy 2014c.)

2 JOHTOLÄHTÖN YLEISIMMÄT VIKATYYPIT

Johtolähdöllä tarkoitetaan yleensä jakeluverkon tai teollisuuden sähköverkon 20 kV tai 10 kV verkkoa, jonka tarkoituksena on sähkön siirtäminen kulutuspaikalle. On olemassa myös vanhoja 6 kV ja 45 kV jännitetason sähköjärjestelmiä. Yleisimmät sähköverkon vikatyypit ovat oikosulut ja maasulut. Erilaiset sähköjärjestelmät tuovat suojauksiin erilaisia piirteitä, joiden vaikutukset sähköverkon suojauksessa on otettava huomioon. (Etto 1998, hakupäivä 18.11.2014; Hietalahti 2013, 6.)

2.1 Oikosulut

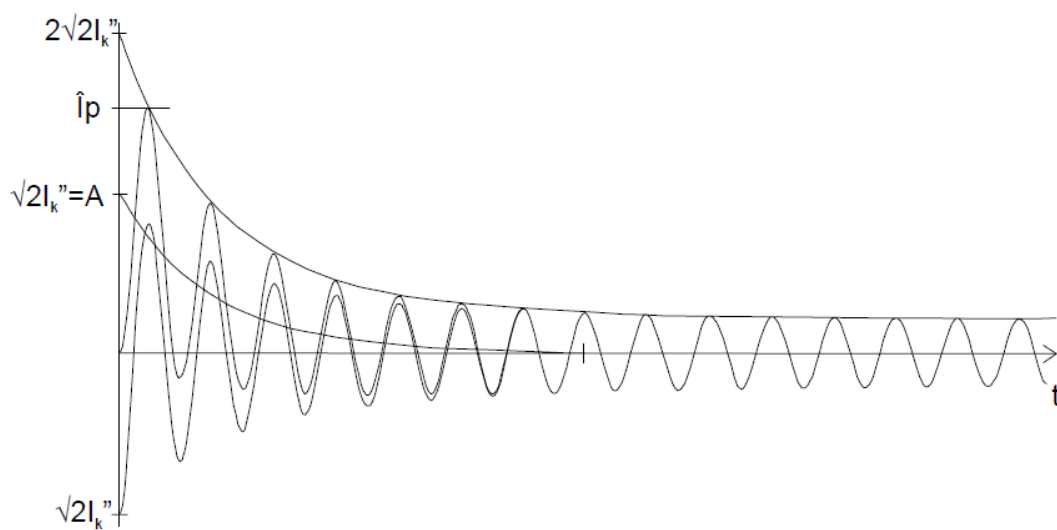
Sähköverkossa tapahtuvat oikosulut ovat jopa 40-kertaisia kuormitusvirtaan nähden. Oikosulun aiheuttajia ovat esimerkiksi ukkonen, eläimet, puut ja työkoneet. Oikosulku tapahtuu esimerkiksi linnun lentäessä kahden vaiheen väliin, jolloin tapahtuu kahden vaiheen välillä oikosulku (kuva 1). Avojohtoverkossa suurin osa näistä vioista poistuu pika- tai aikajälleenkytkennällä. Linnun aiheuttama oikosulku voi aiheuttaa valokaaren kahden vaiheen välille, jolloin ilma vaiheiden välissä ionisoituu ja muuttuu johtavaksi. Jälleenkytkennällä sammutetaan valokaari, jolloin ilma toimii jälleen eristeenä. (Martimo 2014a, 43.)



Kuva 1. Kaksi- ja kolmivaiheinen oikosulku. (ABB Oy 2014c.)

Kolmivaiheinen oikosulku voi aiheutua esimerkiksi kaksivaiheisen vian valokaaren leviämisestä kaikkiin kolmeen vaiheeseen. Eniten sähköverkkoa rasittava vika tilanne on kolmivaiheinen oikosulku, jonka poiskytkeminen on tapahduttava mahdollisimman nopeasti. (Martimo 2012a, 43.)

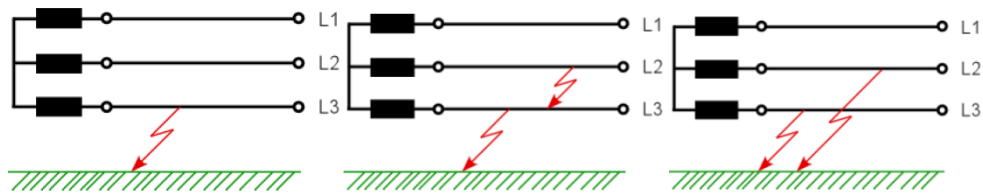
Oikosulut aiheuttavat sähköverkkoon termisiä kuin dynaamisia vaikutuksia. Termiset vaikutukset ovat lämpenemisiä, kuten sähköjohdon lämpeneminen. Esimerkiksi kaapelien eristeen ikääntyminen nopeutuu suurissa lämpötiloissa. Dynaamiset voimat ovat fyysisiä voimia, jotka aiheuttavat esimerkiksi kahden johtimien vetoa puoleensa. Suurissa virroissa ovat läsnä myös suuret magneettikentät, jolloin komponentit vetävät toisia puoleensa. Näin voi vetovoimista johtuen aiheutua esimerkiksi eristevikoja sähköverkkoon tai komponenttien voivat peräti irrota tai hajota. Kuvasta 2 nähdään, kuinka virta on suuri vian alkuvaiheessa, jolloin fyysiset ja termiset vaikutukset ovat oikosulkuvirran alkuvaiheessa suurimmillaan. (Martimo 2012a, 43.)



Kuva 2. Oikosulkuvirran käyrämuoto. (ABB Oy 2014c.)

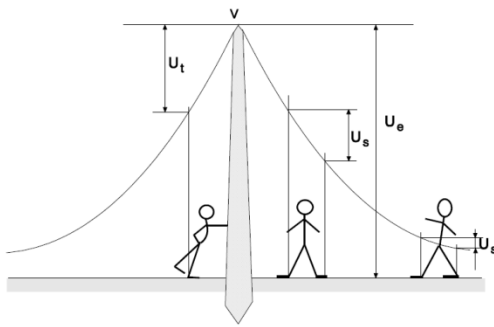
2.2 Maasulku

Maasulku on vaiheen ja maan välinen eristevika. Tyypillinen maasulku on avojohto verkossa puun kaatuminen linjaan tai linjan pylvään kaatuminen, jolloin johtimet koskevat maahan. Kaapeliverkossa yleinen maasulkuvian aiheuttaja on kaapelien eristeen rikkoutuminen esimerkiksi ikääntymisen takia tai kaivinkoneen aiheuttama kaapelien rikkoutuminen. Maasulku voi olla vaiheen ja maan välinen tai oikosulkuvika ja maasulkuvika tai kaksoismaasulkuvika (kuva 3). (Martimo 2012a, 64.)



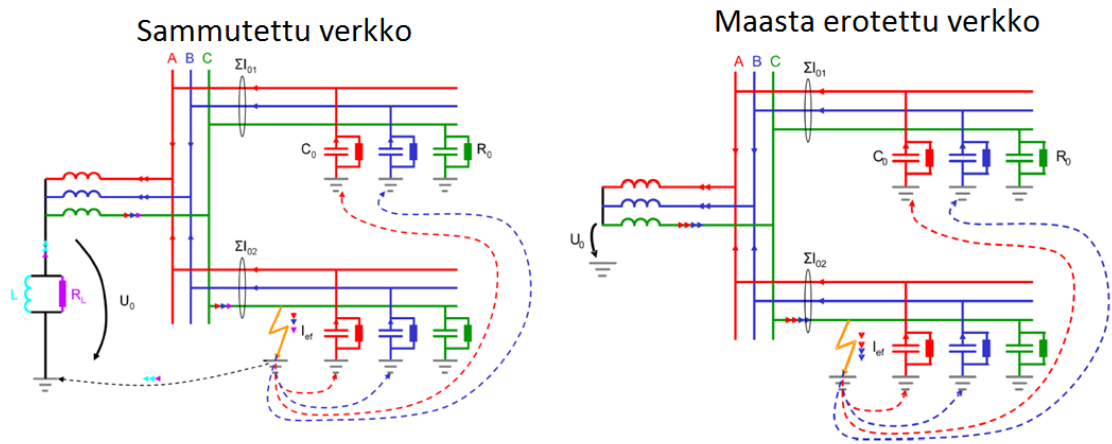
Kuva 3. Maasulkujen vikatyypit. (ABB Oy 2014c.)

Maasulun aikana maassa kulkee sähkövirta, joka aiheuttaa tappavan askeljännitteen maahan (kuva 4). Maasulkuvirta kulkee vaiheen ja maan kautta muuntajan tähtipisteeseen (kuva 5) ja ehjien vaiheiden maakapasitanssien kautta verkkoon. Maasta erotetussa verkossa maasulku kulkeutuu ehjien vaiheiden maakapasitanssien kautta verkkoon. Maasulkuvirta on tästä syystä pieni, koska vain johtimien kapasitanssien kautta kulkee nollavirta. Maasta erotetussa verkossa muuntajan tähtipisteeseen ei ole yhteyttä.



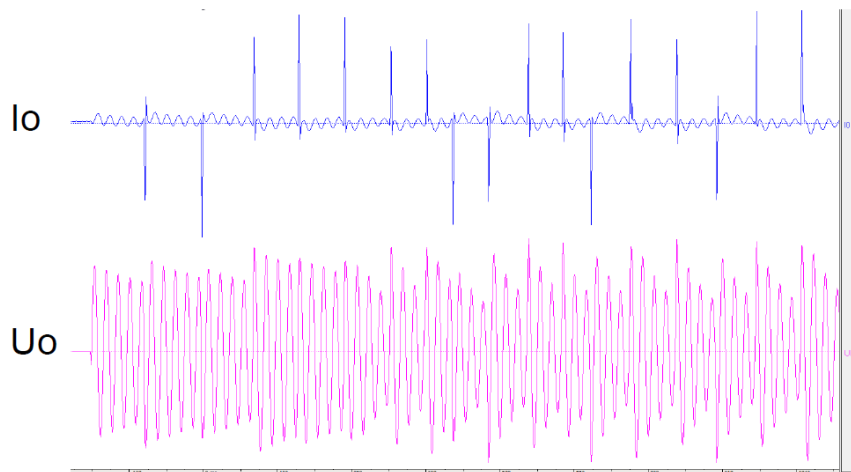
Kuva 4. Askeljännite. (ABB Oy 2014c.)

Sammutetussa verkossa maasulkuvirta pyritään kompensoimaan kompensointikelalla. Maasulun sattuessa maasulkuvirta on kapasitiivista, kompensointikela tuottaa saman verran induktiivista virtaa, jolloin virtojen summa on lähellä nollaa. (ABB Oy 2014e, 379.)



Kuva 5. Sähköverkon eri maadoitus ratkaisuja. (ABB Oy 2014e, 379.)

Katkeilevat maasulkuviat ovat lisääntyneet sähköverkkoyhtiöiden siirryttyä maakaapeloinnin ja sammutetun verkon käyttöön. Katkeileva maasulku havaitaan nollavirran ja nollajännitteen piikeistä.



Kuva 6. Katkeilevan maasulun vikatalenne. (ABB Oy 2014c.)

Kuvasta 6 nähdään virtapiikkien syntyminen. Virtapiikki syntyy nollavirrassa I_0 , jolloin nähdään nollajännitteen U_0 lasku kuvasta. Virtapiikin jälkeen nähdään nollajännitteen nousu, koska maassa kulkeva virta on pieni. (Lehesvuo 12.11.2014, keskustelu.)

3 OHJELMOITAVIEN SUOJALAITTEIDEN MÄÄRÄAIKAISKOESTUS

Vapaasti ohjelmoitavat releet ovat tuoneet haasteita relekoestamiselle. Vapaasti ohjelmoitavien releiden hankaluutena on koestuksen näkökulmasta erilaiset ohjelmointi tavat. Jokainen releen ohjelmoitsija voi vapaasti ohjelmoida releen omalla tavallaan, esimerkiksi havahtumiskoskettimia ei välttämättä ohjelmoida käyttöön, vaan havahtumisviestit viedään tietoliikenteen kautta suoraan eri järjestelmille. (Niemi 2.9.2014, keskustelu.)

3.1 Käyttötarkoitus

Sähköturvallisuuslain mukaan sähkölaitteet ja sähkölaitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä; sekä
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisestä tai sähkömagneettisesti. (Sähköturvallisuuslaki 410/1996 2:5 §.)

Sähköverkon haltijalla on vastuu pitää sähköverkko turvallisena. Yksi tärkeistä huolenpito alueista on releiden toimivuuden testaus eli koestaminen. Tämän takia relevalmistajilla on suositukset, joiden perusteella laitteiden määräaikaiskoestus tulisi suorittaa.

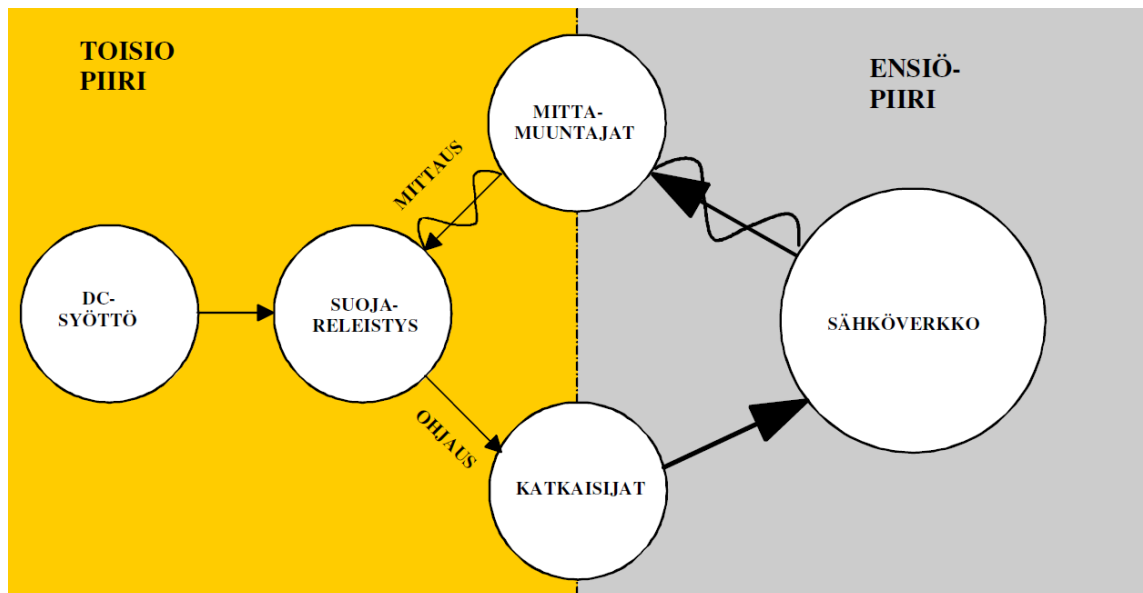
Määräaikaiskoestuksen tarkoituksena on löytää vialliset releet tai parametrit, joiden toimimattomuus tai virhetoiminta vikatilanteessa voi aiheuttaa vaaratilanteen. Koestus suoritetaan kullekin releelle kuuluvalla tavalla. Yleisesti koestus suoritetaan releessä olevilla parametriarvoilla, jotka on asetettu releeseen. Mittaustulokset merkitään pöytäkirjaan. Pöytäkirjaan merkityt asiat voivat olla esimerkiksi seuraavia:

- Testauskohde / osoite
- Sähköasema / teollisuuslaitos / kytkinlaitos
- Rele / reletyyppi / valmistaja / sarjanumero
- Koestettut suojaustoiminnot
- Havahtumisen virta ja aika

- Laukaisuvirta ja aika
- Toiminta-alue
- Toleranssit (Niemi 2.9.2014, keskustelu.)

3.2 Suojareleen toimintaperiaate

Relesuojaus perustuu jonkin tietyn suureen mittaamiseen, kuten esimerkiksi virran, jännitteen, impedanssin tai taajuuden mittaamiseen. Suojareleen tehtävänä on häiriön sattuessa erottaa vioittunut verkko tai laitteisto muusta sähköverkosta. Näin muu verkko pysyy jatkamaan toimintaansa normaalisti. Erottaminen tapahtuu yleisesti keskijänniteverkoissa tietyn katkaisijan avulla, jonka toimintaa suojarele ohjaa. Sähköverkossa tapahtuvat mittasuureet välittyvät suojareleelle mittamuuntajien tai sensorien välityksellä. Näin itse suojarele ei ole suorassa yhteydessä itse sähköverkon kanssa (kuva 7). Mittamuuntajien tehtävänä on muuntaa sähköverkossa olevat suuret virrat ja jännitteet releille sopivaan muotoon, jotta suojareleet pystyisivät käsittelemään mittaustietoja. (Martimo 2013b, 5.)



Kuva 7. Ensio- ja toisiopiiri. (Martimo 2012a, 5.)

Suojareleelle annetaan asetteluarvoja, joiden ylityksen seurauksena tapahtuu havahtuminen (START). Havahtuminen ei aiheuta ohjauksia tai muitakaan toimenpiteitä sähköverkossa. Suojareleen havahtumisesta jää tieto releen toimintalokiin ja rele pystyy

lähettämään tiedon havahtumisesta valvomoon esimerkiksi MICROSCADA:an. Havahduttamisen jälkeen, mikäli asetteluarvo pysyy ylittettynä, tapahtuu toimintaviiveen jälkeen laukaisu (TRIP). Laukaisu aiheuttaa sähköverkossa katkaisijan aukeamisen. TRIP-kosketin sulkeutuu sen välityksellä rele lähettää katkaisijalle avautumiskäskyn. Sähköverkossa olevan vian korjaamisen jälkeen releen kautta annetaan käsky katkaisijalle, jolloin katkaisija menee kiinni. (Niemi 2.9.2014, keskustelu)

3.3 Nykyaikainen relesuojaus

Nykyaikaiset suojareleet ovat paljon enemmän kuin pelkkiä suoja. Niillä pystytään valvomaan ja ohjaamaan sähköverkoja tai laitteita. Valvontaa ja ohjausta pystytään tekemään erilaisilla valvontajärjestelmillä esimerkiksi MICROSCADA:lla, joka on sähköverkon käyttövalvontajärjestelmä. Ohjelmalla saadaan reaaliaikaista tietoa sähköverkon jännitteistä, virroista, taajuuksista ja kytkentätiloista. Uudet ABB:n RELION suojareleet pystyvät kommunikoimaan myös keskenään. Releet pystyvät lukemaan myös toisen releen mittausarvoja Ethernet:n tai väylätekniiikan kautta. Myös merkittävä releiden välisessä kommunikoinnissa on valokaaritapauksessa kulkeva viesti releiden välillä, jonka perusteella esimerkiksi sähköaseman kaikki lähdöt aukeavat vahinkojen minimoimiseksi. (Niemi 18.6.2014, sähköposti)

Vanhat suojareleet ovat nykyisin suojaustoimintoja, mikä tarkoittaa, että itse suojalaite voi olla sama, mutta ohjelmoimalla saadaan vapaasti valita suojaustoimintojen määrä ja toiminnot. Toisin sanoen laitteen rauta on sama, mutta ohjelmalla sovelletaan laitteen suojaustoiminnot esimerkiksi muuntajan, moottorin, generaattorin tai johtolähdön käyttöön soveltuviksi. Jokaisesta laitteesta löytyy samoja suoja, mutta lisäksi ohjauksia ja suojauskohtaisesti, kuten kondensaattorin ohjaus, suojaus ja jännitteen säätömuuntajille. Terminä suojarele voidaankin ajatella vanhana käsitteenä. Laitteet ovat logiikkoja, kommunikointilaitteita ja ohjauslaitteita eli ”älykkäitä elektronisia laitteita” kuten englanninkielinen termi IED kertoo. (Niemi 18.6.2014, sähköposti)

Suojareleiden tavoitteena on vähentää sähköverkossa tapahtuvien vikojen määrää ja vähentää laitteistolle tapahtuvia vaurioita. Releillä pyritään minimoimaan kalliiden laitteistojen kuten generaattorien, suurien moottorien ja tehomuuntajien rikkoontuminen. (Martimo 2012b, 4.)

4 RELION 630-TUOTEPERHE

ABB Relion® suojarleet soveltuvat kaikkien sähköjärjestelmien suojaukseen, ohjaukseen, mittaukseen sekä valvontaan. Suomessa käytettävät laitteet toimivat IEC61850-standardin vaatimusten mukaisesti. ANSI-standardi on yleisesti käytetty Amerikassa. Lisäksi maakohtaisia suojaustoimintoja löytyy näiden lisäksi. IEC61850-standardi varmistaa laitteiden yhteensopivuuden muiden valmistajien kanssa. Tuotepiheeseen kuuluvat releet ovat REF630, RET630, REG630, REM 630 ja PML630. (Niemi 10.10.2014, keskustelu)

4.1 REF630

REF630 (kuva 8) on kattava suojauslaite johtolähtöjen suojaamiseen, ohjaamiseen, mittaamiseen ja valvontaan. Suojalaite soveltuu niin teollisuuden sähköverkkoon, kuin jakeluverkon johtolähtöön. (Niemi 2014b)

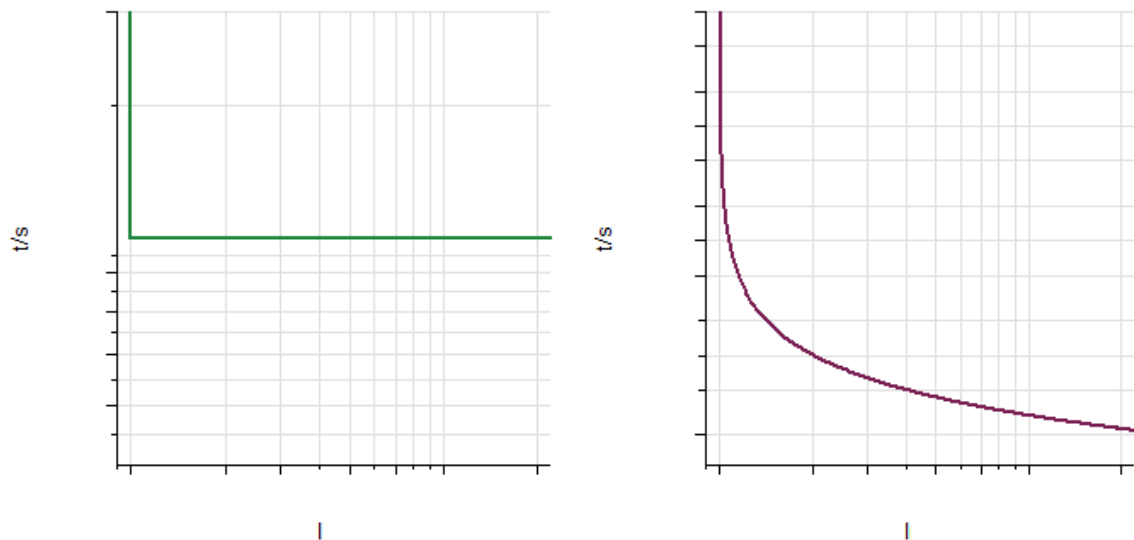


Kuva 8. REF630 Feeder Protection and Control IED. (ABB Oy 2014e, 1.)

REF630 on vapaasti ohjelmoitava suojarle. Periaatteessa mitä tahansa suojaustoimintoja pystytään lisäämään releeseen, mutta käytännössä esimerkiksi johtolähdön suojaukseen ei kannata laittaa generaattorille kuuluvia suoja. Liitteestä 1 nähdään REF 630 suojausfunktiot. Vapaasti ohjelmoitaviin releisiin pystytään lisäämään ja poistamaan suojaustoimintoja jälkikäteen asiakkaan toiveiden mukaan. Näin asiakkaiden ei tarvitse hankkia toista relettä, mikäli he haluavat lisätä suojaustoimintoja. (Niemi 2014b)

4.1.1 Kolmivaiheinen suuntamaton ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojalohkoa käytetään yksi-, kaksi- tai kolmivaiheisessa ylivirta- tai oikosulkusuojauksessa. Suojaustoiminto havahtuu, kun virta-arvo ylittää releen asetteluarvon. Käytettävissä on kolme porrasta: alempi hitaampi porttas (PHLPTOC), ylempi nopeampi (PHHPTOC) porttas ja nopein hetkellisporttas (PHIPTOC). PHLPTOC käytetään lievissä ylikuormituksissa, jossa suojaus ei saa olla nopea. PHHPTOC ja PHIPTOC toimivat nopeasti suurissa virtaylityksissä, kuten oikosuluissa. Alemmalle portaalle ja ylemmälle portaalle pystytään valitsemaan laukaisuaikatyypit. Laukaisuaikatyypit ovat aikavakio ja käänteisaika (kuva 9). (ABB Oy 2014e, 245.)



Kuva 9. Aikavakio ja käänteisaika toimintakäyrät. (ABB Oy 2014c.)

Hetkellisporttaalle ainoa vaihtoehto on vakioaika. Vakioaikatoiminnolla suojaustoiminto toimii ennakkoon määritetyllä ajalla ja palautuu vian kadotessa. Käänteisaikatoiminnolla laukaisuaika riippuu virran suuruudesta. Mitä suurempi virta on, sitä nopeammin tapahtuu laukaisu. (ABB Oy 2014e, 245.)

Suuntaamattomalle ylivirtatoiminnolle on monia sovelluksia sähköjärjestelmissä:

- ylivirta- ja oikosulkusuojaus jakelu- ja siirtoverkoissa
- varasuojaus tehomuuntajissa ja generaattoreissa
- sähköverkkoon liitettyjen laitteiden, kuten kompensointikondensaattoreiden, kuristinkelojen ja moottorien suojaus
- yleinen varasuojaja. (ABB Oy 2014e, 250.)

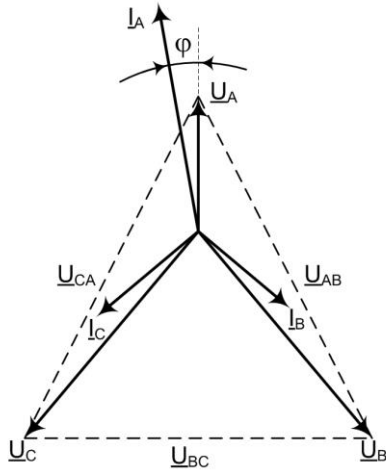
Yleisesti ylivirtasuojaukseen käytetään kaksi- ja kolmivaiheisissa oikosulkuvioissa. Tämän takia käyttäjä pystyy valitsemaan kuinka monen vaiheen virta pitää olla yli asetteluarvon. Asetuksen arvon ollessa 1/3 myös yksivaiheiset viat havaitaan releellä. Mikäli asetus on laitettu 2/3 tai 3/3 ei yksivaiheinen vikaa havaita releellä. 3/3 asetuksella vian täytyy olla kolmivaiheinen, jotta rele havaitsee vian. (ABB Oy 2014e, 251.)

4.1.2 Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuojaus

Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuojaus toimii samalla periaatteella, kuin suuntaamaton ylivirtasuojaus. Suunnatussa ylivirtasuojauksessa verrataan vaihevirtojen ja niitä polarisoivien jännitteiden vaihekulmia. Sopivan polarisointitavan voi valita neljästä vaihtoehdosta:

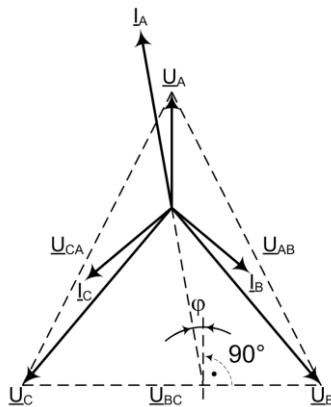
- itsepolarisaatio
- ristipolarisaatio
- jännitteen myötäkomponentti
- jännitteen vastakomponentti. (ABB Oy 2014e, 273.)

Itsepolarisaatiomenetelmässä viallista virrankulmaa verrataan saman vaiheen jännite-osoittimeen. Viallinen vaihevirta on kuvassa $10 I_A$ ja sen vaihekulmaa verrataan saman vaiheen jännitekulmaan U_A . (ABB Oy 2014e, 273.)



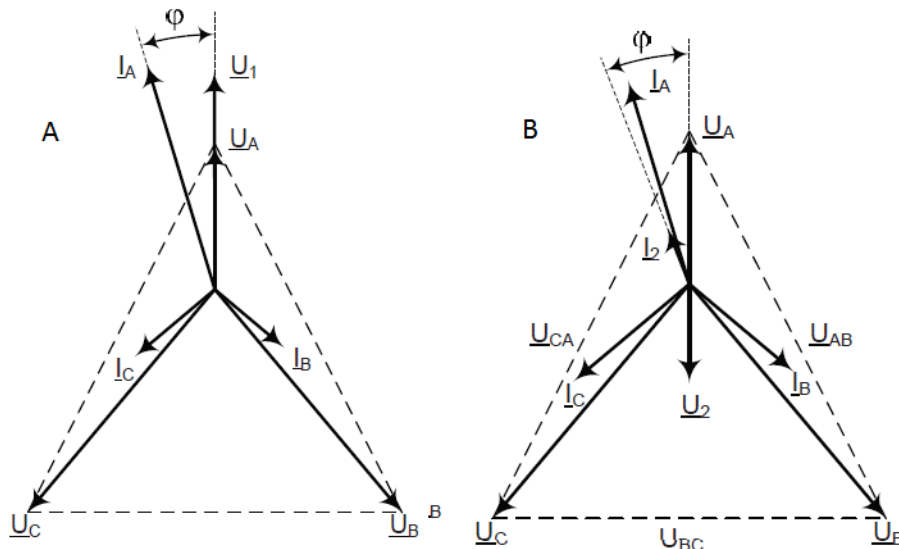
Kuva 10. Itsepolarisaatiomenetelmä. (ABB Oy 2014e, 273.)

Ristipolarisointimenetelmällä verrataan viallisen vaihevirran ja kahden ehjän vaiheen jännitekulmia. Viallinen vaihevirta on kuvassa 11 I_A . I_A -kulmaa verrataan ehjien vaiheiden pääjännitteeseen U_{BC} . U_{BC} -kulmaan lisätään 90 astetta, koska polarisaatiojännitteenä ei käytetä viallisen vaiheen jänniteosoitinta. (ABB Oy 2014e, 275.)



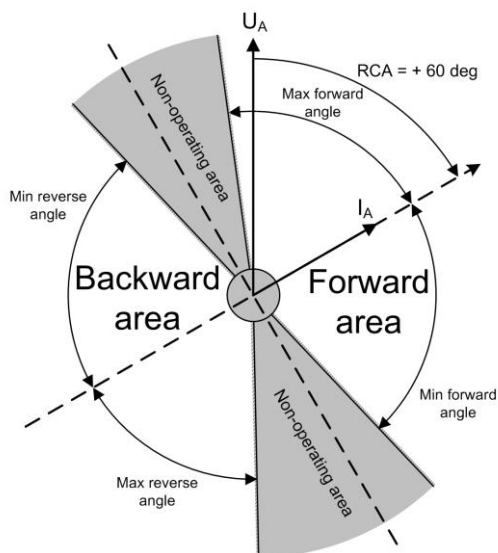
Kuva 11. Ristipolarisointimenetelmä. (ABB Oy 2014e, 275.)

Jännitteen myötäkomponenttimenetelmässä käytetään viallisen virran I_A kulman vertailussa U_1 -komponenttia (kuva 12 A). Vastakomponenttimenetelmässä (kuva 12 B) käytetään U_2 -komponenttia kulman vertailussa. (ABB Oy 2014e, 276.)



Kuva 12. Myötäkomponenttimenetelmä ja vastakomponenttimenetelmä. (ABB Oy 2014e, 277.)

Suojattava suunta-alue voidaan valita suojaamaan eteenpäin tai taaksepäin (kuva 13). Käytännössä tämä tarkoittaa taaksepäin suojauksessa 180 asteen kulmamuuutosta virtojen kulmatietoihin. (ABB Oy 2014e, 271.)



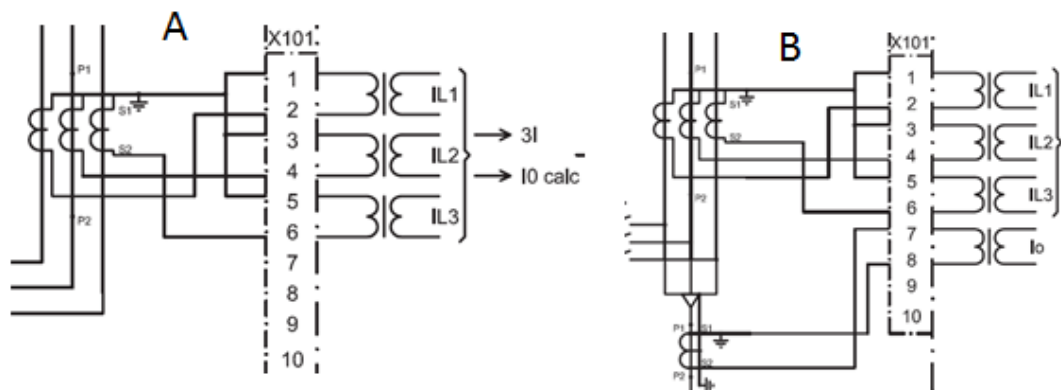
Kuva 13. Suunnatun ylivirtasuojan toimintasektorit. (ABB Oy 2014e, 272.)

Toimintasektori määritetään kulmatiedon minimi- ja maksimiarvon avulla. Toimintasektori määritetään aseteltavalla ominaiskulmalle RCA, josta minimikulma aukaisee sektorin vastapäivään ja maksimikulma myötäpäivään. Ominaiskulma määrää, missä

kulmassa avautuva toimintasektori avautuu. Eteenpäin suojuuksella viat näkyvät vain eteenpäin sektorilla. Vian ilmetessä taaksepäin sektorilla rele ei havaitse sitä, koska suuntakriteeri ei täyty. (ABB Oy 2014e, 277.)

4.1.3 Suuntaamaton maasulkusuojaus

Suuntaamaton maasulkusuojaus toimii periaatteeltaan samalla tavalla, kuin suuntaamaton ylivirtasuojaus. Maasulkusuojuksessa mitattava vikavirta on maasulkuvirta I_o . Maasulkuvirta voidaan mitata releellä monella tavalla. Yksi tapa on laskea vaiheiden L1, L2 ja L3 virroista nollavirta (kuva 14 A).



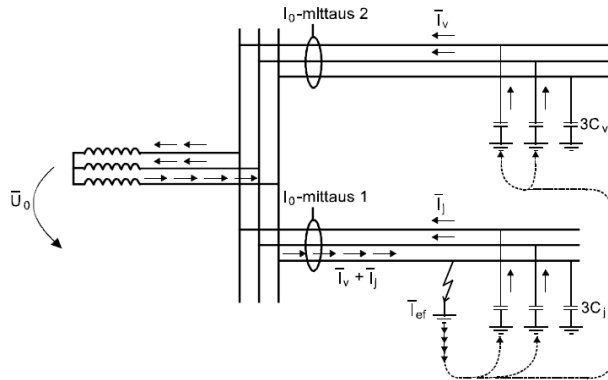
Kuva 14. Laskennallinen kytkentä ja erillismittaus I_o . (ABB Oy 2014c.)

Normaalissa tilanteessa vaihevirtojen summa on nolla. Puun kaatuessa sähkölinjaan, vikavirta menee maahan. Tässä tilanteessa vaihevirtojen summa ei ole nolla. Toinen tapa on liittää nollavirralle omamittaus, kuten kaapelivirtamuuntaja, joka mittaa maasta tulevaa nollavirtaa (kuva 14 B). Kolmas mittaustapa on vaihevirtasensorien käyttö. (ABB Oy 2014d, 12.)

4.1.4 Suunnattu maasulkusuojaus

Suunnattu maasulkusuojaus toimii samalla periaatteella, kuin suunnattu ylivirtasuojaus. Suunnatussa maasulkusuojuksessa käytettävät mittasuureet ovat maasulkuvirta I_o ja nollajännite U_o . Nollajännite muodostuu muuntajan tähtipisteen ja maan välille nollavirran kulkiessa maassa (kuva 15). Tämä jännite on sama, minkä maasulkuvirta aiheut-

taa kulkiessaan maakapasitanssien kautta. Nollajännitteen mittausta voidaan toteuttaa mittaamalla jännitemuuntajan avokolmiokäämityksestä tai verkon tähtipisteen ja maan välillä olevalla jännitemuuntajalla. Lisäksi nollajännite pystytään mittaamaan käyttäen jännitesensorimittausta. (ABB Oy 2014d, 5: ABB Oy 2014d, 13.)



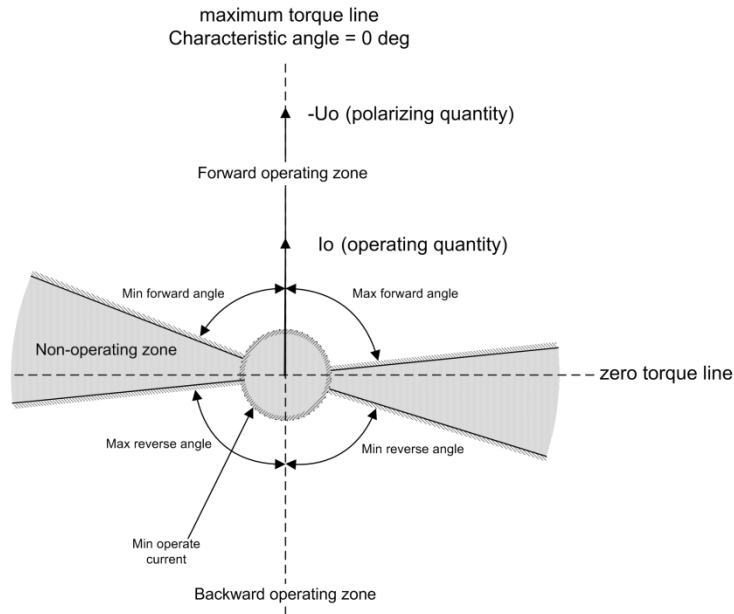
Kuva 15. Maasulku maasta erotettu verkko. (ABB Oy 2014d, 5.)

Polarisaatiomenetelmiä on nollajännite- ja vastajännitemenetelmä. Nollajännitemenetelmässä nollajännitettä käytetään määrittämään nollavirran suunta. Vastajännitemenetelmässä käytetään vastajännitekomponenttia määrittämään nollavirran suunta. (ABB Oy 2014e, 372.)

Suunnatussa maasulkusuojauksessa on käytettävissä viisi toimintatapaa:

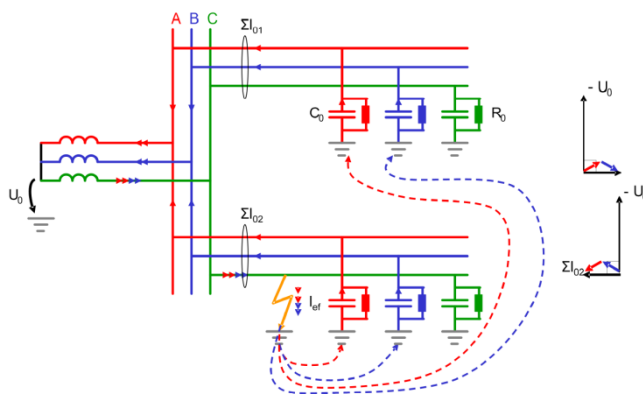
- kulma
- ioSIN
- ioCOS
- vaihekulma 80
- vaihekulma 88.

Kulmatoiminnolla pystytään vapaasti valitsemaan toimintasektorin maksimi, minimi ja ominaiskulman suuruudet. Lisäksi suojauksen suunta voidaan määrittää, eteen tai taaksepäin (kuva 16). Kulmatoiminnossa pystytään käyttämään nollajännite- tai vastajännitemenetelmää määrittämään nollavirran suunta.



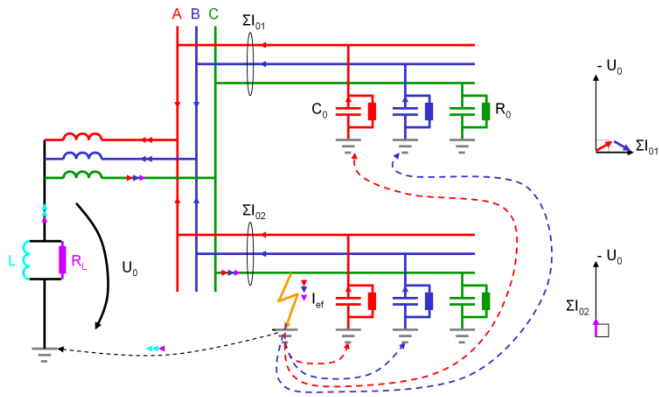
Kuva 16. Vaihekulma toimintasektori. (ABB Oy 2014e, 376.)

Ominaiskulma määräytyy sähköverkon maadoituksen perusteella. Maasta erotetussa verkossa ominaiskulma asetetaan -90 asteeseen. Maasta erotetussa järjestelmässä ei ole yhteyttä verkon tähtipisteeseen. Tästä johtuen maasulkuvirrat ovat yleisesti pieniä. Maasulkuvirta kulkee johtojen kapasitanssien kautta, jolloin maasulkuvirta on pelkästään kapasitiivista (kuva 17). (ABB Oy 2014e, 378.)



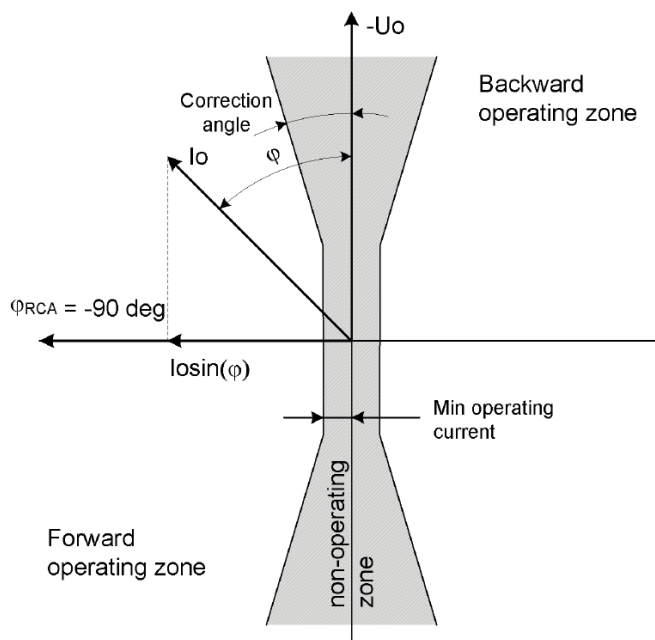
Kuva 17 Maasta erotettu sähköverkko. (ABB Oy 2014e, 279.)

Kompensoidussa verkossa sähköverkko tähtipiste on maadoitettu kompensointikelan kautta maahan (kuva 18). Kompensointikela tuottaa induktiivista virtaa, joka kompensoi maasulkuvirran kapasitiivisen virran. Tästä johtuen maasulku virran kulma on 0 astetta ja myös ominaiskulma on määritetty nolla kulmaan. (ABB Oy 2014e, 379.)



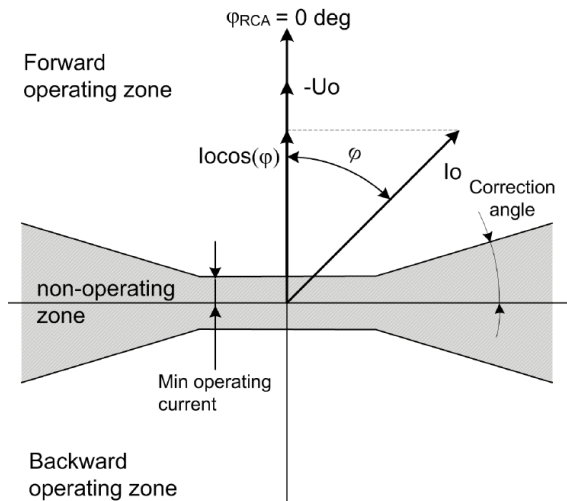
Kuva 18. Sammutettu sähköverkko. (ABB Oy 2014e, 279.)

IoSIN käytetään maasta erotetussa järjestelmässä. IoSIN ominaiskulma on kiinteä -90 astetta ja minimi ja maksimikulmia ei pysty muuttamaan. Toimintasektoria pystytään kaventamaan korjauskulman avulla (kuva 19). Korjauskulmalla saadaan suurempi toimimattomuus sektori, joka auttaa poistamaan virtamuuntajien mittausvirheet pienillä virroilla.



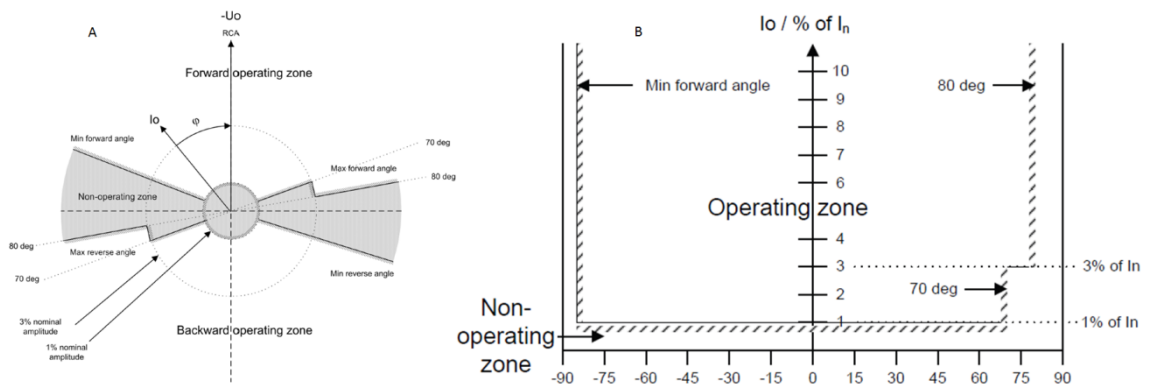
Kuva 19. IoSIN toiminta-alue. (ABB Oy 2014e, 286.)

IoCOS käytetään kompensoidussa verkossa. Toimintaperiaatteeltaan IoCOS on sama kuin IoSIN, vain ominaiskulma on kiinteä 0 astetta (kuva 20). (ABB Oy 2014e, 385.)



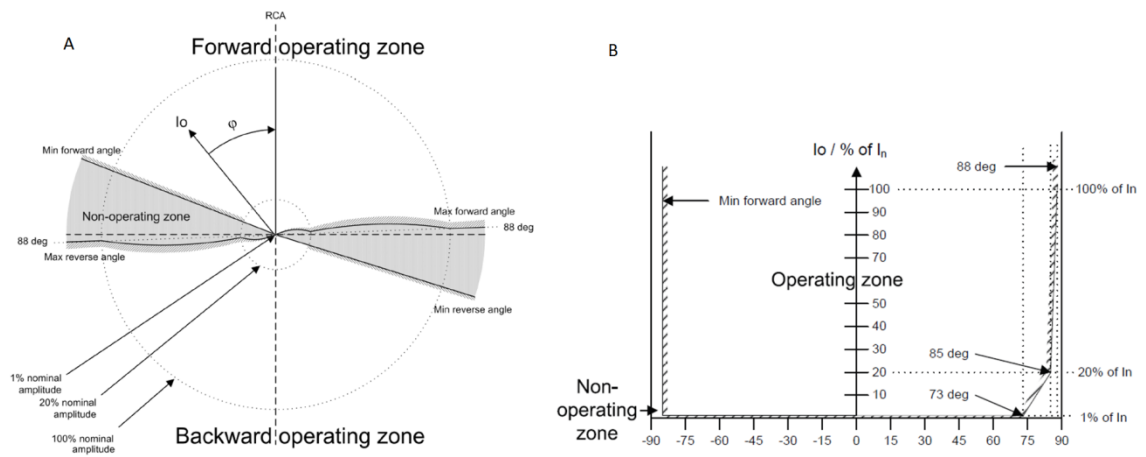
Kuva 20 IoCOS toiminta-alue. (ABB Oy 2014e, 287.)

Vaihekulma 80:n toimintaperiaate on samantyyppinen kuin vaihetoiminnolla seuraavin muutoksin. Maksimikulma on jäädytetty 80 asteeseen ja toimintasektorilla on korjaus-sektori (kuva 21 A). Pienillä virroilla virtamuuntajissa esiintyy mittausvirhettä, jonka takia erillinen korjaussektori on luotu. Nimellisvirran ollessa alle 3 prosenttia, maksimi kulman asteluku on 70 astetta (kuva 21 B). (ABB Oy 2014e, 388.)



Kuva 21. Vaihekulma 80 toimintasektori. (ABB Oy 2014e, 289.)

Vaihekulma 88:n toimintaperiaate perustuu vaihekulma 80 toimintaan seuraavin muu-toksin. Maksimikulma on jäädytetty 88 asteeseen ja toimintasektori on toimimatto-mussektori porrastettu (kuva 22). Nimellisvirran ollessa 1-20 prosenttia maksimikul-man toimimattomuussektorin kulma-arvo on 73 asteesta 85 asteeseen. Nimellisarvon ollessa 20-100 prosenttia toimimattomuussektorin kulma-arvo on 85 asteesta 88 asteeseen (Kuva 16 B). (ABB Oy 2014e, 390.)

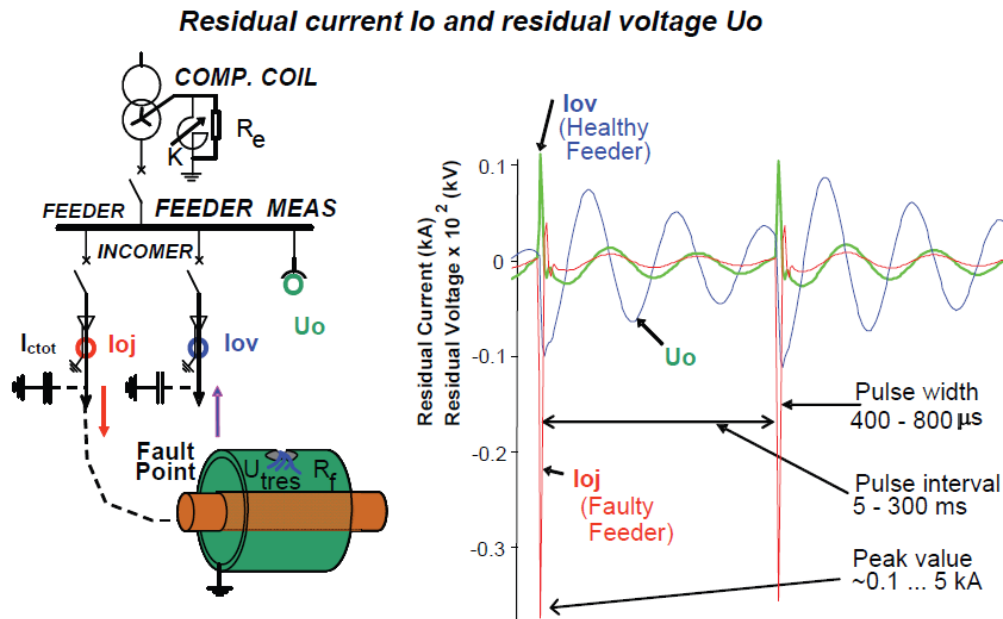


Kuva 22. Vaihekulma 88 toimintasektori. (ABB Oy 2014e, 290.)

4.1.5 Katkeileva maasulkusuojaus

Katkeileva maasulkusuojausta käytetään suojaamaan ja poistamaan pysyvät ja hetkelliset maasulkuvat jakelu- ja siirtoverkoissa. Katkeilevan maasulun havaitsemisessa käytetään nollajännite-, nollavirta-, ja virtapiikkietoa. (ABB Oy 2014e, 401.)

Lohkossa on kaksi toimintaperiaatetta, katkeilevatoiminto ja hetkellistoiminto. Katkeileva havaitsee hetkelliset virtapurkaukset kaapeliverkossa ja hetkellinen havaitsee kaikenlaiset maasulkuvat. Hetkellistoiminnolla toimintakriteerit ovat yksi virtapiikki ja riittävä nollajännite. Näiden kriteerien avulla rele lähettää laukaisukäskyn. Katkeileva toiminto vaatii nollavirta piikkejä asettelun verran ja riittävän nollajännitteen toimiakseen. (ABB Oy 2014e, 401.)



Kuva 23. Katkeilevan maasulku. (ABB Oy 2014e, 405.)

Katkeilevaa maasulkua esiintyy kompensoidussa kaapeliverkossa. Tyypillinen syy katkeilevaan maasulkuun on kaapeliverkossa eristeen vioittuminen. Vesi tai liika läpäisevät kaapelin eristeen, jolloin kaapelin jännitekestoisuus heikkenee. Eristeen jännitekestoisuuden rikkouduttua syntyy lyhyitä jännite- ja virtapiikkejä, jotka sammuvat itsestään ja toistuvat jatkuvasti ilman suojausta (kuva 23). (ABB Oy 2014e, 404.)

4.1.6 Virran vastakomponenttia mittaava suoja

Virran vastakomponenttia mittaava suojaus eli vinokuormasuojaus, käytetään lisäämään suojauksen herkkyyttä yksi- ja kaksivaiheisissa vioissa tai vinokuormatilanteissa, kuten katkenneen johtimen tai epäsymmetrisen jännitteen havaitsemiseen. (ABB Oy 2014e, 557.)

Suojaustoiminto perustuu mittaamaan vastakomponenttivirtaa I_2 vikatilanteissa. Normaalissa käytössä vastakomponenttivirta ei ole verkossa. Tämän takia suojauksen toiminta voidaan asettaa erittäin nopeaksi ja se on paljon herkempi kuin esimerkiksi normaali ylivirtasuoja kaksivaiheisissa vioissa. Vinokuormasuojaus voidaan käyttää myös varasuojana kiinteästi maadoitetussa ja pieniresistanssisissa maadoitetuissa verkoissa. (ABB Oy 2014e, 560.)

4.1.7 Kolmivaiheinen termien ylikuormasuojat

Kasvaneet kuormitusvirrat ovat luoneet tarpeen termiselle ylikuormitussuojalle myös sähköverkoissa. Muut suojat eivät havaitse sähköjohtojen lämpenemistä. Termisen ylikuormitus suojan ansiosta voidaan myös toimia lähempänä termisiä rajoja. (ABB Oy 2014e, 303.)

Suojausfunktio vertaa suurinta vaihevirtaa laskeakseen termisen lämpötilan. Termisen lämpeneminen mitataan termisen mallin avulla tai mittaussensorilla, joka on alhaalla. Termisen mallinkuvaaja nähdään kuvasta 24. (ABB Oy 2014e, 304.)

$$\theta_{Final} = \left(\frac{I}{I_{ref}} \right)^2 * T_{ref} \quad (1)$$

I on suurin vaihevirta

I_{ref} referenssiarvo

T_{ref} on jatkuvalle referenssi

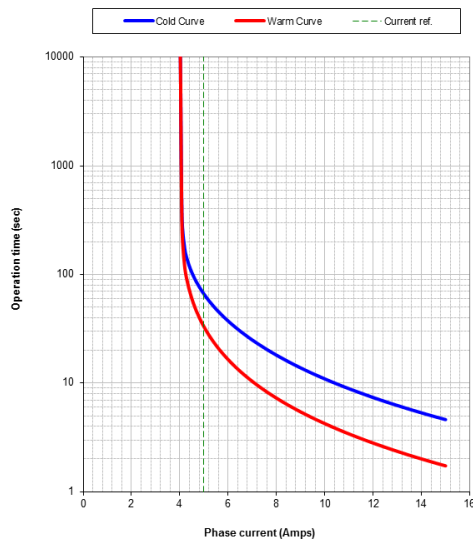
τ on lämpöaikavakio

$$t_{operation} = -\tau + \ln \left(\frac{\theta_{final} - \theta_{operate}}{\theta_{final} - \theta_n} \right) \quad (2)$$

θ_n on laskettu nykyinen lämpötila

θ_{final} on lopullinen lämpötila, toiminta virralla

$t_{operate}$ on aika jolloin laukaisu tapahtuu



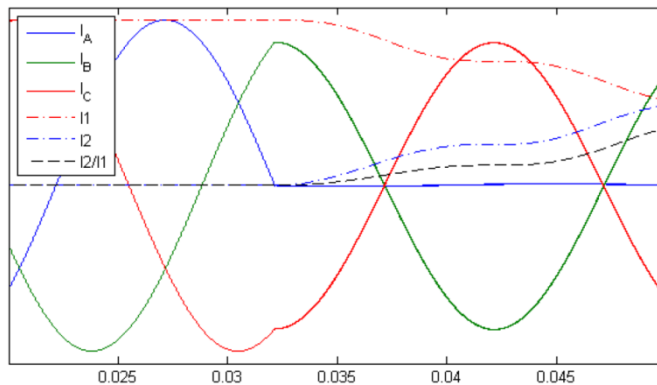
Kuva 24. Termisen mallin kuvaaja. (ABB Oy 2014c.)

4.1.8 Vaihekatkosuoja

Vaihekatkosuojausta käytetään havaitsemaan johtimen katkeaminen ja siitä aiheutuva vinokuorma jakelu- ja siirtoverkoissa. Suojaustoiminto vertaa vasta- ja myötäkomponenttien virtojen suhdetta I_2/I_1 (kaava 3). I_2 on virran vastakomponentti ja I_1 on virran myötäkomponentti. (ABB Oy 2014e, 563.)

$$I_{ratio} = \frac{I_2}{I_1} \quad (3)$$

Suojaustoiminto havahtuminen ja laukaisu tapahtuvat, kun virran myötä- ja vastakomponentin suhde on saavutettu. Väärien laukaisujen estämiseksi ainakin yhden vaiheen jännite täytyy olla yli minimiasetteluarvon, jotta suojaus toimii. (ABB Oy 2014e, 563.)



Kuva 25. Virran käyttäytyminen johtimen katketessa. (ABB Oy 2014e, 566.)

Katkenneen johtimen vaikutus nähdään kuvasta 25 I_A. Katkennut johdin aiheuttaa sähköverkkoon epäsymmetrisen tilan, jolloin sähköverkkoon alkaa kehittyä vastavirtaa. Myötävirta on olemassa verkossa ennen vikaa, joka on merkitty punaisella katkoviivalla. (ABB Oy 2014e, 565.)

4.1.9 Ylijännitteen vastakomponenttia mittaava suoja

Ylijännitesuojausta käytetään estämään jännitteen nousu sähköjärjestelmän eristekynnyksen yli. Suojaus havaitsee sähköverkossa epätavalliset tilat, kuten jännitteen nopeat nousemiset. Jännitteen nopeaan nousemisen voi aiheuttaa esimerkiksi suuren kuorman nopea poiskytkentä sähköverkosta. Suojaustoiminto havahtuminen ja laukaisu tapahtuu asetteluarvon ylityksestä. (ABB Oy 2014e, 603.)

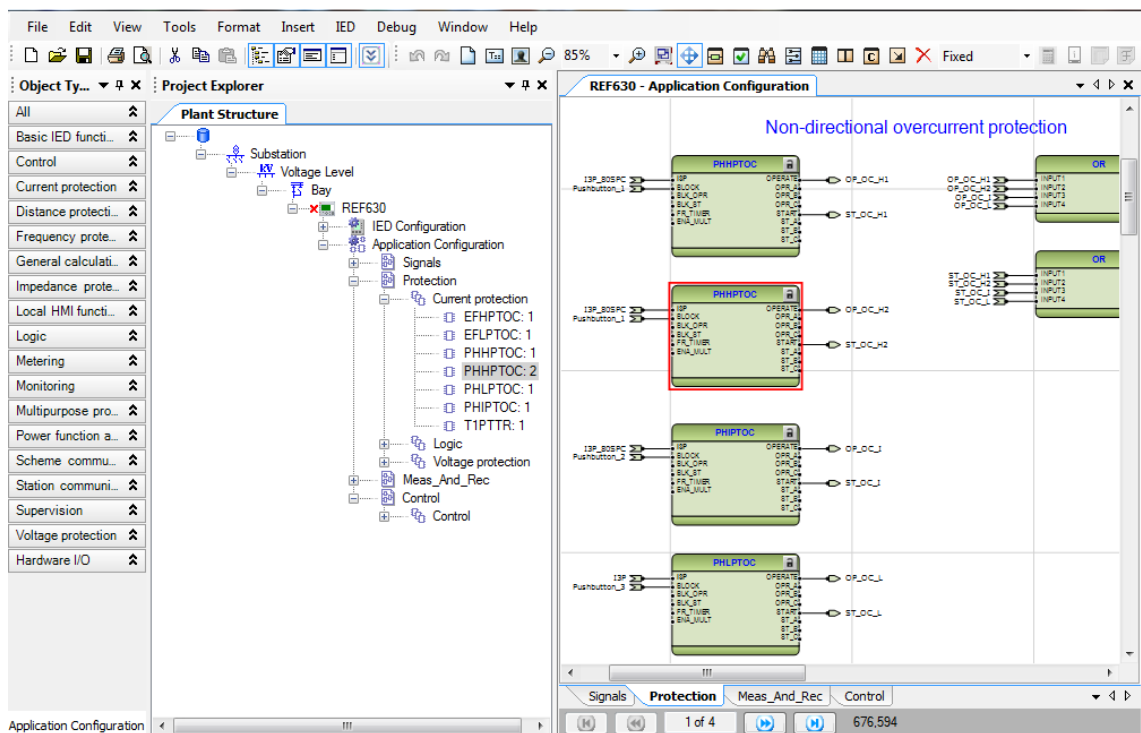
4.1.10 Maasulkujännite

Maasulkujännite suojausta käytetään jakeluverkoissa, joissa maasulkujännite voi nousta liian korkealle. Suojaus on suunniteltu maasta erotettuun verkkoon, tehollisesti maadoitettuun verkkoon ja kompensoituun verkkoon. (ABB Oy 2014e, 597.)

Maasta erotetussa ja kompensoidussa verkossa järjestelmän nollajännite nousee vian ollessa yhteydessä maahan. Jännitteen suuruus riippuu vikatyypistä ja vikaresistanssista. Suurin mahdollinen nollajännite on vaiheen ja nollan välillä eli 20kv verkossa noin 11.55kV. Yleisesti maasulkujännite suojausta käytetään varasuojana maasulkuvioissa. (ABB Oy 2014e, 599.)

5 PCM600-OHJELMOINTITYÖKALU

PCM600-ohjelmalla mahdollistetaan monipuolisen ohjelmoinnin ja reaaliaikaisen reletoiminnan seuraaminen. PCM600-toiminnot perustuvat valmiisiin toimintalohkoihin, joita voi vapaasti lisätä ja poistaa. PCM600:ssa on valmiita signaalitulo-, suojaus-toiminto-, mittaus-, tallennus- ja ohjauslohkoja, joita voidaan vapaasti lisätä sekä niiden parametreja muokata. Kuvassa 26 on PCM600-käyttöliittymä ja siihen lisättyjä ylivirtasuojausten toimintalohkoja.



Kuva 26. PCM600-käyttöliittymä ja suuntaamattoman ylivirtasuojan toimintalohkot

Tässä opinnäytetyössä PCM600-ohjelmaa käytetään parametrien arvojen muuttamiseen sekä suojaustoimintojen poiskytkentään ja lisäämiseen. PCM600-ohjelmaa käytetään myös releen parametrien siirtämiseen koestuslaitteistolle ymmärrettävään XRIO-muotoon. Parametrit saadaan IED:stä liittämällä tietokone releen LAN-porttiin. Parametrit täytyy ladata PCM 600 ohjelmaan, jonka jälkeen parametrit voidaan muuttaa ohjelman avulla XRIO-muotoon, joka on XML koodia.

6 OMICRON 256 PLUS-KOESTUSLAITE

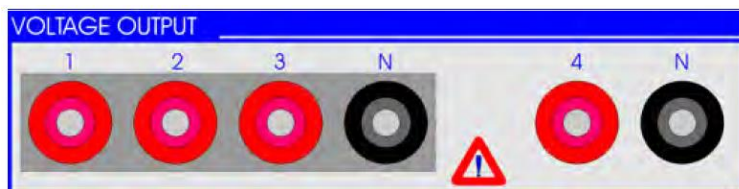
Omicron CMC 256 plus (kuva 11) on suojarleiden testauslaite, jolla pystytään syöttämään erilaisia virtoja ja jännitteitä laitteessa olevista liittimistä. Lisäksi laitteilla pystytään ohjaamaan ja mittaamaan releen toiminta-aikoja binääri-sisääntuloilla ja ulostuloilla. CMC 256-laitetta ohjataan tietokoneen avulla tavallisen RJ-45-verkkokaapelin välityksellä.



Kuva 27. OMICRON CMC 256 plus. (OMICRON 2013e)

6.1 Jänniteulostulot

Laitteessa on neljä jänniteulostuloa (kuva 28), joista jokaisesta lähtevää jännitettä pystytään yksilöllisesti muuttamaan, koska kaikki liittimet ovat galvaanisesti erotettu toisistaan. (OMICRON 2013a, sivu 28.)



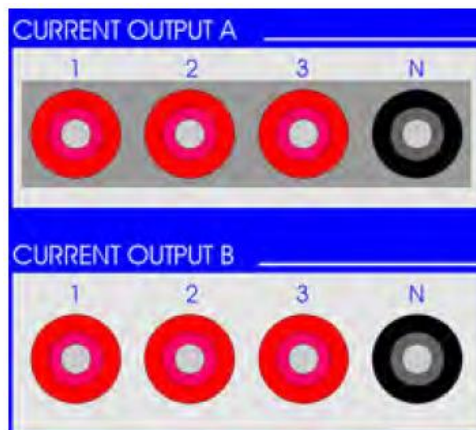
Kuva 28. Jänniteulostulot. (OMICRON 2013a, 23.)

Liittimillä 1, 2 ja 3 on yhteinen nolla ja liittimellä 4 on oma nolla. Yleisesti liittimiä 1-3 käytetään luomaan jännitteet L1, L2 ja L3. Nollajohdinta käytetään, mikäli kytkentä

tehdään tähteen. Liitintä 4 käytetään maasulkujännitteen luomiseen. Ulostulo pystytään säätämään portaattomasti nolasta voltista kolmeensataan volttiin. Kaikki jänniteulostulot on suojattu oikosululta ja ylikuormitukselta. Ylikuormituksen sattuessa laite ilmoittaa ylikuormituksesta ja jonka jälkeen laite sammuttaa itsensä. (OMICRON 2013a, sivu 28.)

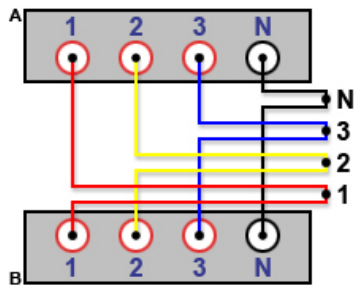
6.2 Virtaulostulot

CMC 256:ssa on kuusi virtaulostuloa (kuva 29), joita pystytään käyttämään yhtäaikaisesti tai rinnan kuva 30. Virtaulostulot on galvaanisesti erotettu toisistaan. Virtaulostulo A:lla on oma nolla ja virtaulostulo B:llä on oma nolla. (OMICRON 2013a, 24)



Kuva 29. Virtaulostulot. (OMICRON 2013a, 24.)

Liittimen A ulostuloja 1-3 käytetään virtojen L1, L2 ja L3 luomiseen ja esimerkiksi liittimen B 1-3 ulostuloja voidaan käyttää syöttämään maasulkuvirtaa. Ulostuloista saatavat virrat pystytään portaattomasti säätämään nolasta ampeerista kahteentoista ja puoleen ampeeriin. Liittimiä pystytään käyttämään myös rinnan (kuva 30), jolloin ulos saatava maksimivirta saadaan nostettua kahteenkymmeneenviiteen ampeeriin.

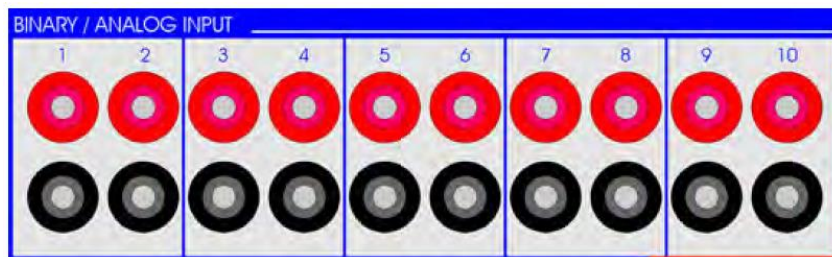


Kuva 30. Virtaliittimien rinnankytkentä

Kaikki virtaolostulot on suojattu oikosululta ja ylikuormitukselta. Ylikuormituksen satuesssa virtaolostulot toimivat samalla tavalla kuin jänniteolostulot. (OMICRON 2013a, 24)

6.3 Binääri- ja analogi-sisääntulot

Binääri-tuloja on kymmenen ja ne on jaettu viiteen ryhmään, jotka ovat galvaanisesti erotettu toisistaan (kuva 31). Kaikki liittimet pystytään yksilöllisesti määrittämään joko binääri- tai analogituloksi. (OMICRON 2013a, 25.)

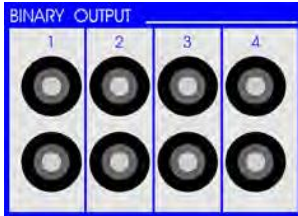


Kuva 31. CMC 256 binääri- ja analogitulot. (OMICRON 2013a, 25.)

Binäärituloja pystytään määrittämään OMICRON Test Universe (OTU) -ohjelmalla. Ohjelmalla pystytään määrittämään jokaisen tulon toiminto erikseen. Koskettimet voidaan määrittellä olevan joko potentiaalivapaita tai potentiaalilin omaavia. Potentiaalilin pystyy itse määrittelemään asetuksista. Yleisesti binäärituloja käytetään releeltä tulevien havahtumis- ja laukaisutietojen viemisessä CMC:n. Näin saadaan laukaisun virta- ja aikatiedot. (OMICRON 2013a, 25.)

6.4 Binääriulostulot

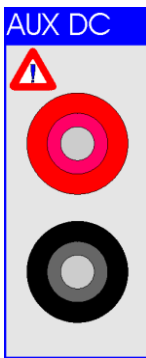
Neljä binääriulostuloa pystytään käyttämään potentiaalivapaina koskettimina (kuva 32). Ulostuloilla pystytään viemään releelle tietoja esimerkiksi kuvitteellisen katkaisijan kiinni- tai auki tieto. (OMICRON 2013a, 27.)



Kuva 32. Binääriulostulot. (OMICRON 2013a, 27.)

6.5 Ulkoinen DC- virtalähde

Suojareleet tarvitsevat tasajännitettä toimiakseen. AUX kykenee syöttämään portaattomasti nollassa voltista kahteensataankuuteenkymmeneen neljään volttiin (kuva 33).

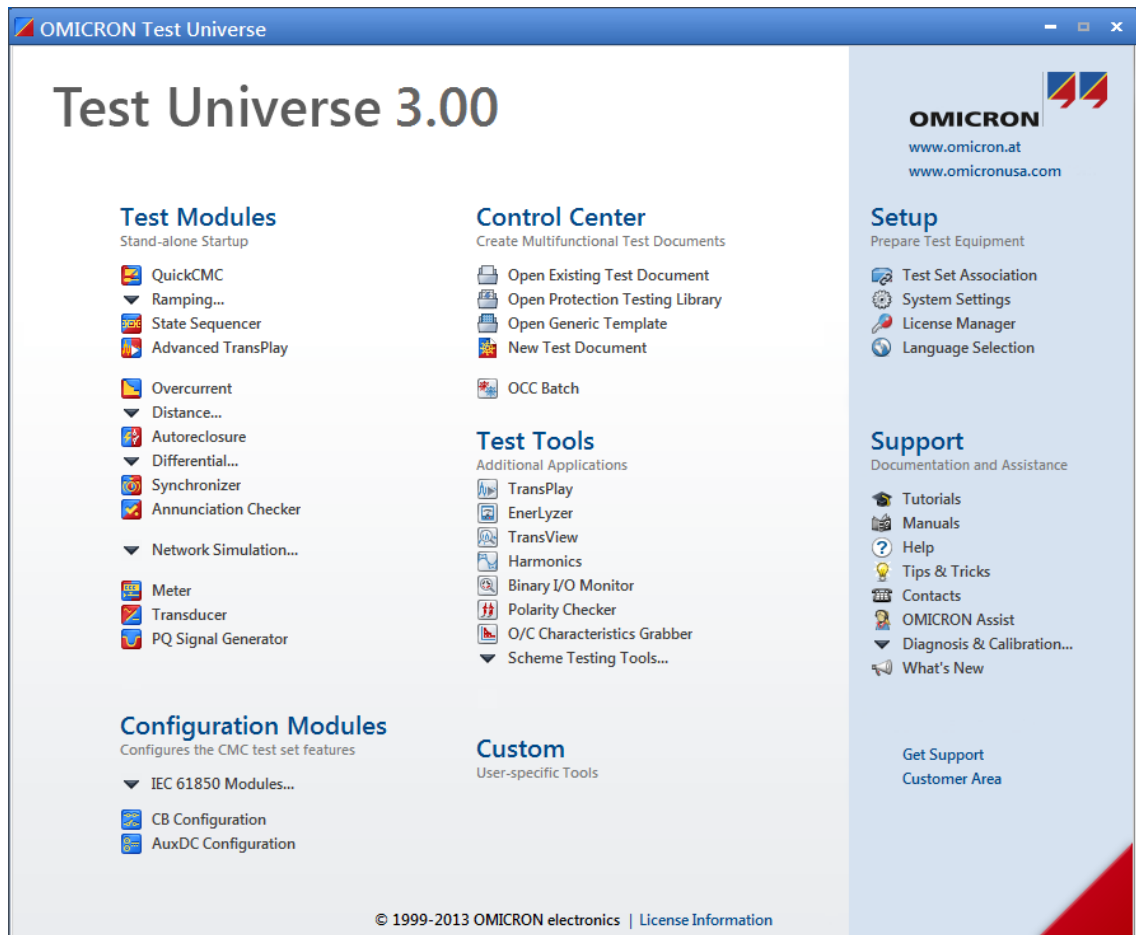


Kuva 33. Tasasähköulostulo. (OMICRON 2013a, 28.)

Tämän ulostulon avulla pystytään antamaan suojareleelle sen tarvitsema jännite. Jännitteen pystyy säätämään portaattomasti käyttämällä OTU-ohjelmaa. (OMICRON 2013a, 28.)

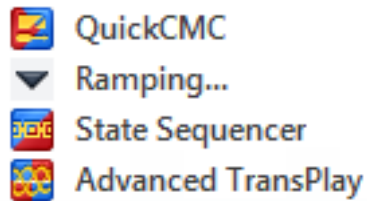
7 OMICRON TEST UNIVERSE-KOESTUSOHJELMA

OMICRON Test Universe (OTU) on ohjelma, jolla ohjataan koestuslaitetta, kuten CMC 256 plus. Ohjelman aloitusnäyttö on kuvan 34 kaltainen, jossa nähdään ohjelman erilaiset testausmoduulit ja toiminnot.



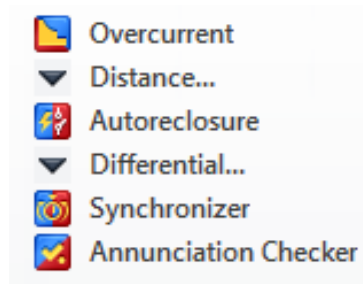
Kuva 34. OTU aloitusnäyttö. (OMICRON 2013b, 8.)

Ohjelmassa on erilaisia testausmoduuleita, joiden avulla suojausalueen suojaustoimintoja pystytään koestamaan. Testausmoduuleja on esimerkiksi quickCMC, ramping, puls-eramping, state sequencer ja advanced transplay (kuva 35). Näitä testausmoduuleja ei ole suunnattu minkään tietyn suojaustoiminnon testaamiseen. Testausmoduuleja soveltamalla pystytään suojaustoiminnot testaamaan. Syy näiden moduulien käyttöön opin- näytetyössä, onkin niiden selkeys ja ymmärrettävyys.



Kuva 35. Yleiset testaus moduulit. (OMICRON 2013b, 9.)

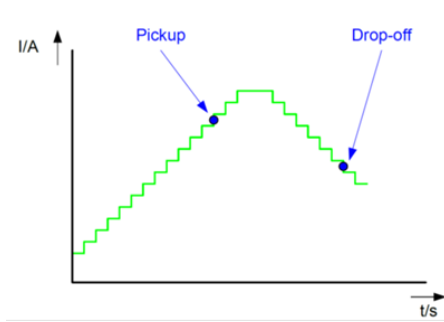
Loput testausmoduulit overcurrent, distance, autoreclosure, differential ,synchronizer ja annunciation checker on suunniteltu tietyn suojaustoiminnon testaamiseen (kuva 36). Moduulit laskevat virrat ja jännitteet automaattisesti testilaitteesta. Näitä testausmoduuleja pyritään välttämään opinnäytetyössä niiden epäselvien testaustuloksien takia. (OMICRON 2013b, 9.)



Kuva 36. Tiettyyn toimintoon suunnatut moduulit. (OMICRON 2013b, 9.)

7.1 Ramping

Ramppi soveltuu monen suojaustoiminnon ensimmäisen portaan testaamiseen. Tällä testauksella saadaan selvitettyä havahtumis-, laukaisu-, palautumisvirrat ja toimintasektorit (kuva 37). Ramppeja pystytään luomaan useampia peräkkäin. Ensimmäisen rampin loputtua seuraava ramppi alkaa ja niin edespäin. Näin pystytään testaamaan ensimmäisen portaan kaikki arvot kerralla.



Kuva 37. Havahtumis-tai laukaisu- ja palautumisvirta. (OMICRON 2013b, 63.)

Rampilla pystytään muuttamaan virran ja jännitteen suuruutta, taajuutta ja kulmia. Sillä pystytään määrittelemään, millä vaiheella muutos halutaan suorittaa. Rampilla pystytään ajamaan kahta ramppia samanaikaisesti, esimerkiksi muuttamaan vaiheen suuruutta ja taajuutta samanaikaisesti tai kasvattamaan kahden eri vaiheen suuruutta eri tahdissa, signaali 1 ja signaali 2 avulla (kuva 38).

Ramp States General

Set mode: Direct Fault type: n/a Estimated test time: 4.200 s

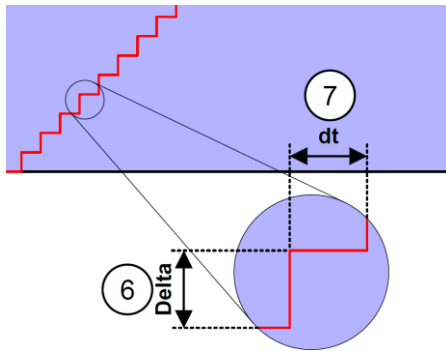
Signal 1: IL1 Quantity 1: Magnitude Signal 2: (none) Quantity 2: Frequency

Ramp	From	To	Delta	dt	d/dt	Steps	Time	Stop condition
Ramp 1	800.0 mA	1.000 A	10.00 mA	100.0 ms	100.0 mA/s	21	2.100 s	Start 0->1
Ramp 2	1.000 A	800.0 mA	-10.00 mA	100.0 ms	-100.0 mA/s	21	2.100 s	Start 1->0

Kuva 38. Ramping

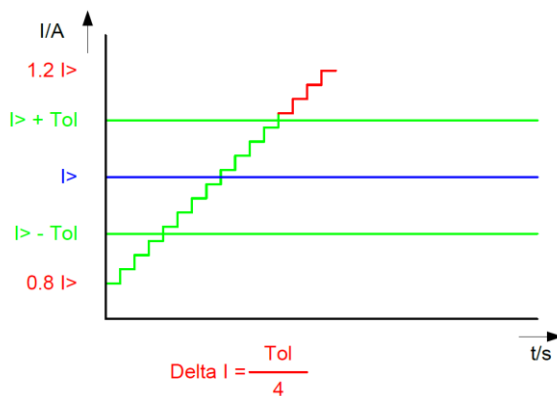
1. Pystytään valitsemaan, minkätyyppistä signaalia halutaan rampilla tehdä
2. Pystytään asettelemaan, mitä arvoja tarkalleen muutetaan ja millä ulostuloilla
3. Mistä arvosta ramppi lähtee ja mihin ramppi loppuu
4. Rampin portaan suuruus (kuva 39)
5. Rampin portaan kesto aika (kuva 39)
6. Rampin ajat ja tiedot.

7. Rampin lopetustieto ja aloitustieto. (OMICRON 2013a ,68: OMICRON 2013b, 8.)



Kuva 39. Delta ja DT. (OMICRON 2013c, 18.)

Rampin aloitus ja lopetusarvot riippuvat releen asetteluarvosta. Suositeltavaa on, että ramppi alkaa 0.8-kertaisena asetteluarvosta ja loppuu 1.2-kertainen asetteluarvosta. Askeleen korkeus (DELTA) määritetään releen toleranssin mukaan. Toleranssilukema suositellaan jakamaan neljällä, jotta testin tuloksesta tulisi riittävän tarkka (kuva 40). (OMICRON 2013c, 18.)

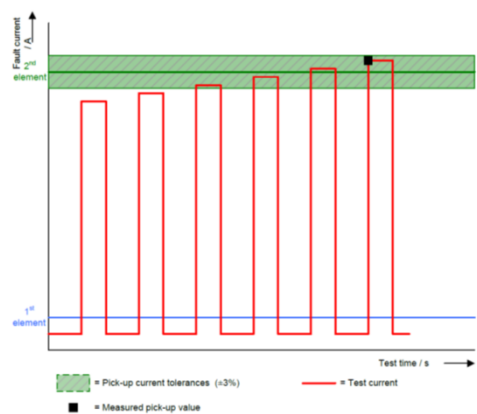


Kuva 40. Rampin arvojen asettelu. (OMICRON 2013b, 69.)

Askeleen kesto-aika (DT) on oltava pitempi, kuin releen laukaisu-aika. Mikäli porraset asetetaan samanmittaiseksi laukaisu-tietoa kanssa, koestuslaite ei välttämättä ehdi saada tietoa releeltä. Tällöin mitattu arvo menee seuraavalle portaalle, mikä voi olla haitallista rajatapauksissa. Opinnäytetyössä käytetään portaan kesto-aikana 10 prosenttia pidempi aika, mikä on releen asettelu-toiminta-aika. Näin releeltä tuleva tieto ehtii tulla releellä ennen seuraavaa askeletta.

7.2 Pulse-ramping

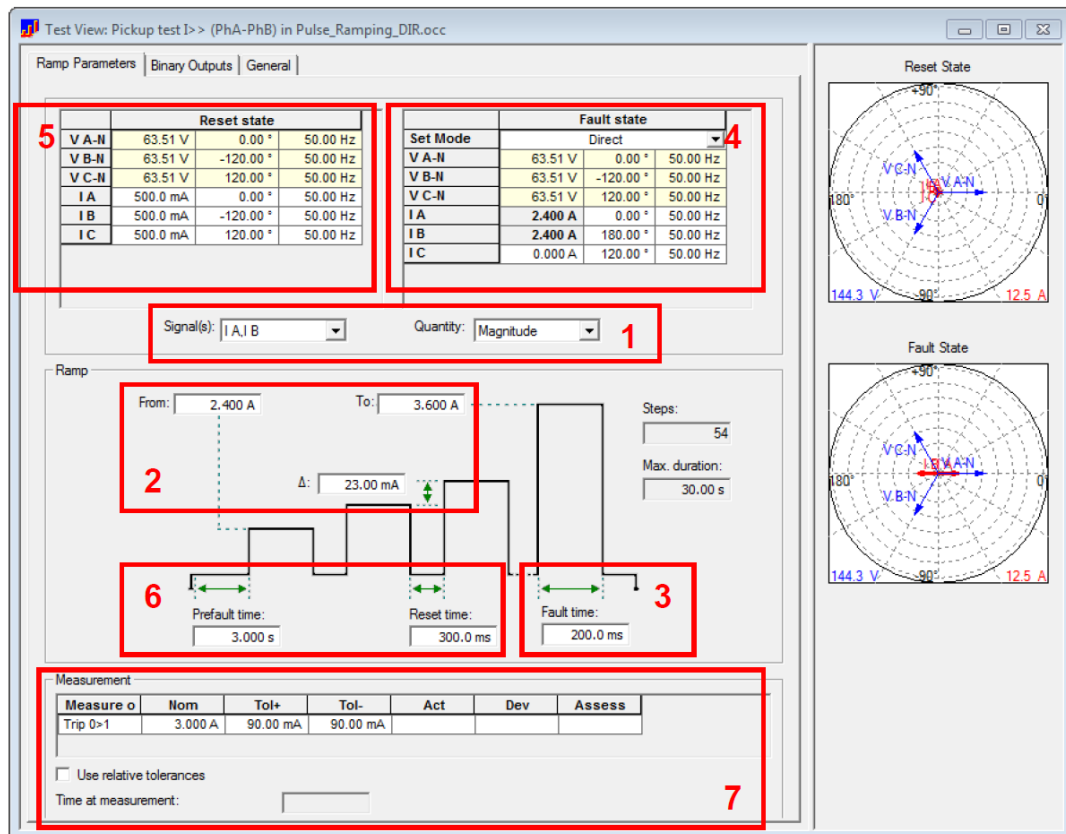
Pulssiramppi soveltuu ylempien portaiden testaamiseen. Ero tavalliseen ramppiin on jokaisen askeleen jälkeinen nollaustila (reset time) (kuva 42). Tällöin kahden askeleen välillä pulssirampin arvo käy nollassa, jolloin alempi suojausporras palautuu.



Kuva 41. Pulssiramppi. (OMICRON 2013c, 7.)

Yleisesti alimman portaan toiminta-aika on pisin, ylemmän portaan toiminta-aika on lyhyempi kuin alimman ja hetkellisportaan toiminta-aika on kaikkein lyhyin. Pulssiramppi käyttää tätä perustana, portaiden testaamiseen. Näin ollen eri portaita ei tarvitse ottaa pois käytöstä releen asetteluista.

Toisin kuin rampilla, pulssirampilla pystytään ajamaan vain yhtä ramppia kerralla. Pulssirampilla joudutaan tekemään useampi testi, jolla saadaan mitattua kaikki halutut arvot. Pulssirampin asetteluarvot toimivat samalla periaatteella kuin rampin asetteluarvojen laitto (kuva 41).



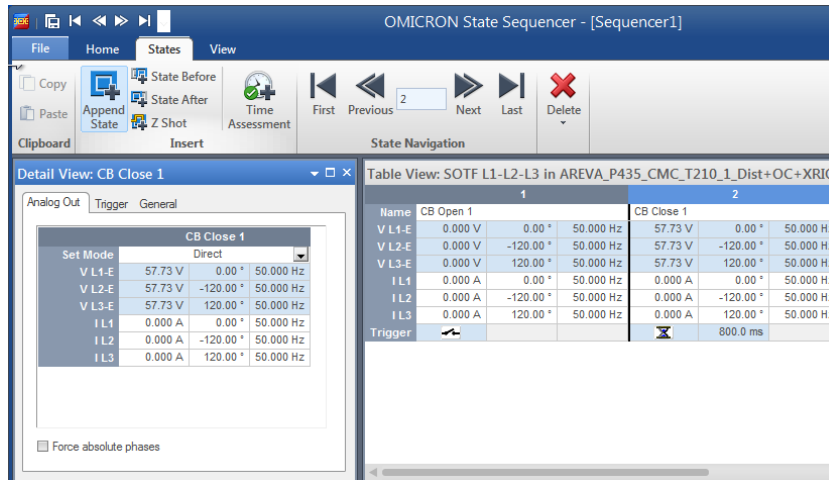
Kuva 42. Pulssiramppi testausmoduuli. (OMICRON 2013c, 8.)

1. Pystytään asettelemaan, mitä arvoja tarkalleen muutetaan ja millä ulostuloilla
2. Mistä arvosta ramppi lähtee, mihin ramppi loppuu ja portaan korkeus
3. Rampin portaan kesto aika
4. Vian jännitteet ja virrat
5. Ennen vian alkua olevat virta ja jännitearvot
6. Ennen vikaa olevaan portaan kesto aika
7. Laukaisuvirta ja toleranssit. (OMICRON 2013c, 8.)

7.3 State Sequencer

Tapahtumajonoa käytetään releen toiminta-aikojen mittaamiseen, kuten laukaisu-, ha-vahtumisaikojen, luomalla erilaisia tiloja (state) (kuva 43). Tilalla pystytään luomaan erilaisia virta- ja jännitesysäyksiä, joiden suuruutta, kulmaa, taajuutta ja aikaa pystytään

määrittelemään (kuva 43). Tiloja pystytään määrittämään peräkkäin jonoksi, jonka ansiosta laukaisuvirta-ajat pystytään testaamaan kaikilla kolmella vaiheella peräkkäin.



Kuva 43. Tapahtumajono

7.4 Testauspohjien ohjelmointi

Omicronin testauspohjia pystytään ohjelmoimaan Visual Basic perustuvalla ohjelmointikielellä. Ohjelmoinnin avulla pystytään suorittamaan esimerkiksi laskutoimituksia, joita koestajan muuten tulisi laskea käsin. Ohjelmoimalla pystytään laskemaan peruslaskutoimituksia (kuva 44). Peruslaskutoimitukset ovat erittäin helppo ymmärtää ja niiden käyttö on myös helppoa.

Operation	Operator	Example	Result
Addition	+	2.25 + 2.5	4.75
Subtraction	-	5.5 - 3	2.5
Multiplication	*	3.25 * 2	6.5
Floating point division	/	11 / 4	2.75
Integer division	\	11 \ 4	2
Exponentiation	^	2.5 ^ 2	6.25
		(-5) ^ 3	-125
		3 ^ 3 ^ 3	19683

Kuva 44. Peruslaskutoimituksia. (OMICRON 2013f, 24.)

Hyödyllisiä ohjelmointi toimintoja ovat valintakriteerit, jotka osaavat valita esimerkiksi kahdesta arvosta suuremman arvon. Tätä toimintoa käytetään opinnäytetyössä valitsemaan erityisesti toleranssi arvoista suurempi arvo (kuva 45).

Operator	True if	False if
< (less than)	expression 1 < expression 2	expression 1 >= expression 2
<= (less than or equal to)	expression 1 <= expression 2	expression 1 > expression 2
> (greater than)	expression 1 > expression 2	expression 1 <= expression 2
>= (greater than or equal to)	expression 1 >= expression 2	expression 1 < expression 2
= (equal to)	expression 1 = expression 2	expression 1 <> expression 2
<> (not equal to)	expression 1 <> expression 2	expression 1 = expression 2

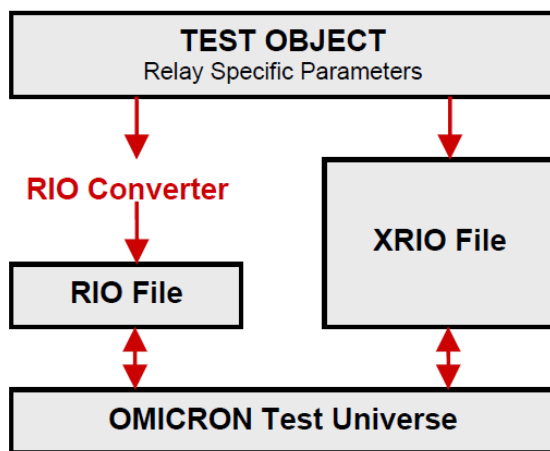
Kuva 45. Erilaisia valintakriteerejä. (OMICRON 2013f, 6.)

Ohjelmassa on lukuisia erilaisia ohjelmointitapoja. Testauspohjien luomisessa pyritään käyttämään mahdollisimman yksinkertaista ohjelmointia. Ohjelmoinnin yksinkertaisena pitäminen mahdollistaa koodien korjaamisen ja muuttamisen helposti.

8 KOESTUKSEN KEHITTÄMINEN

Koestus suoritetaan pääsääntöisesti asiakkaan asetteluarvoilla, joka on oleellisesti vaikeampaa, kuin vakioasettelujen käyttäminen koestusperiaatteena. Automatisoitu testauspohja ottaa huomioon erilaiset asetteluarvot ja osaa automaattisesti mukautua asettelu muutoksiin. Testauspohjan ansiosta kaikki arvot on valmiiksi aseteltuina, kun parametrit siirretään suojareleeltä OTU-ohjelmaan. (Lehesvuo 2014)

Asetteluarvojen siirto voidaan kuvata kuvan 46 tapaisella kaaviolla. Käytännössä prosessi aloitetaan tietokoneen liittämällä suojareleeseen. PCM600-ohjelman avulla saadaan ladattua suojareleen asetteluarvot suoraan XRIO-tiedostoksi. XRIO-tiedosto siirretään OTU-ohjelmassa olevaan testauspohjaan, joka mukautuu automaattisesti asetteluarvoihin ja antaa valmiit arvot suojausmoduuleihin. Näin käyttäjälle jää vain koestuslaitte kytkeminen suojareleeseen. Liitteestä 2 nähdään esimerkki kytkentätapoja koestuslaitteen kytkemiseen suojareleeseen.



Kuva 46. Asetteluarvojen siirto releestä. (OMICRON 2013f, 6.)

Työssä luotiin ohjeistukset seuraaville suojaustoiminnoille:

- kolmivaiheiselle suuntaamattomalle ylivirtalle
- kolmivaiheiselle suunnatulle ylivirrälle
- suuntaamattomalle maasululle
- suunnatulle maasululle

- katkeilevalle maasululle
- virran vastakomponenttia mittaavalle suojalle
- kolmivaiheiselle termiselle ylivirtasuojaukselle
- vaihekatkosuojalle
- ylijännitteen vastakomponenttia mittaavalle suojalle
- maasulkusuojaukselle.

Näistä suojaustoiminnoin ohjeistuksista kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuojaus on esitetty seuraavassa luvussa. Muiden suojaustoimintojen testausperiaatteet on esitetty liitteissä 3-9, jotka ovat salaisia.

Suuntaamattomassa ylivirtasuojauksessa on saavutettava asetteluvirta-arvo, releen laukaisun saavuttamiseksi. Mitattavat suureet ovat laukaisuvirta ja laukaisuaika. Laukaisuvirta saadaan käyttämällä ramppitoimintoa ja laukaisuaika saadaan käyttämällä tapahtumajonoa. On muistettava suorittaa testit jokaiselle vaiheelle erikseen, näin varmistetaan siitä, että jokainen releen tulo mittaa virta-arvot oikein.

Esimerkki I >

Suojan asetteluarvo on 2pu (per unit) ja laukaisuviive on 2 s ja mittaustuloa ei ole skaalattu. Testauslaitteella syötetään releeseen virtaa 2 A suojan laukaisemiseksi. Virtamuuntajan muuntosuhde on 400/1. Testi suoritetaan ramppilla ja tapahtumajonolla.

Ramppilla 1 lähtöarvoksi voidaan asettaa 0.9-kertainen virta ja loppuarvoksi asetetaan 1.1-kertainen arvo (kuva 47).

$$\text{From} = 0.9 * 2A = 1.8A$$

$$\text{To} = 1.1 * 2A = 2.2A.$$

Ramp	Signal 1					Steps	Time	Stop condition
	From	To	Delta	dt	d/dt			
Ramp 1	1,800 A	2,200 A	7,500 mA	2,200 s	3,409 mA/s	55	121,000 s	Trip 0->1
Ramp 2	2,200 A	1,800 A	-7,500 mA	2,200 s	-3,409 mA/s	55	121,000 s	Trip 1->0

Kuva 47. Ramppin asettelut

Delta-arvo saadaan, kun releen toleranssi jaetaan vähintään neljällä.

$$\Delta = 0.03\text{A}/4 = 0.0075\text{A} \text{ eli } 7.5\text{mA}$$

DT-arvo saadaan toimintaviiveestä. DT-arvon on oltava pidempi aika kuin toimintaviiveen, jotta rele kerkeää suorittaa laukaisukäskyn esimerkiksi 10 % pidempi.

$$DT = 2 \text{ s} * 1.1 = 2.2 \text{ s}$$

Releen mittaustarkkuus on 1.5 % asetteluarvosta tai $0.002 * I_n$.

$$\text{Asetteluarvo } 2\text{A} * 0.015 = 0.03\text{A}$$

$$\text{Nimellisvirrasta } 1\text{A} * 0.002 = 0.002\text{A}$$

Asetteluarvo on suurempi, joten valitsemme 0.03A eli 30mA. Aina on valittava suurempi toleranssiarvo (kuva 48).

Nom. arvo on laukaisuarvon asetteluarvo.

Päästöarvo on 0.96 kertaa laukaisuarvo.

$$2\text{A} * 0.96 = 1.92\text{A}$$

Ramp Assessments: I> Toimintavirta L1 in REF630 FEEDER v.5.0 nolajännite VALMIS											
					Ramp Assessments						
	Name	Ramp	Condition	Signal	Nom.	Dev.-	Dev.+	Act.	Dev.	Assessme	Tact
1	Laukaisu L1	Ramp 1	Trip 0->1	I A	2,000 A	30,00 mA	30,00 mA			●	
2	Päästö L1	Ramp 2	Trip 1->0	I A	1,920 A	30,00 mA	30,00 mA			●	

Kuva 48. Toleranssien asettelu

Laukaisuajan mittaus suoritetaan tapahtumajonolla. On huomioitava asetteluarvon ylittävä arvo, joka tulee olla huomattavasti suurempi kuin asetteluarvo esimerkiksi 1.5-kertainen asetteluarvoon nähden (kuva 49).

$$\text{Ylitysarvo} = 2\text{A} * 1.5 = 3\text{A}$$

	1			2			3			4			5		
Name	Trip 1 L1			Waiting1			Trip 1 L2			Waiting2			Trip 1 L3		
I A	3,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,000 A	0,00 °	50,000 Hz
I B	0,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	3,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 °	50,000 Hz
I C	0,000 A	120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	120,00 °	50,000 Hz	3,000 A	120,00 °	50,000 Hz
Trigger	↻	2,400 s		↻	200,0 ms		↻	2,400 s		↻	200,0 ms		↻	2,400 s	

Kuva 49. Virta-asettelut

Aikatoleranssi saadaan 1 % asetteluarvosta tai 20 ms.

Asetteluarvosta $2s \cdot 0.01 = 0.02s$ eli 20 ms (kuva 50). Mikäli aikaviive olisi ollut 3s, olisi aikatoleranssi ollut 30 ms. Aina on valittava suurempi toleranssin arvo.

Time Assessment										
	Name	Ignore befo	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessme
1	Trip 1 Time 1		Trip 1 L1	Trip 0>1	2,000 s	20,00 ms	20,00 ms			
2	Trip 2 Time 1	Waiting1	Trip 1 L2	Trip 0>1	2,000 s	20,00 ms	20,00 ms			
3	Trip 3 Time 1	Waiting2	Trip 1 L3	Trip 0>1	2,000 s	20,00 ms	20,00 ms			

Kuva 50. Laukaisuajat

Sama testit suoritetaan myös vaiheille L2 ja L3.

Esimerkki I >>

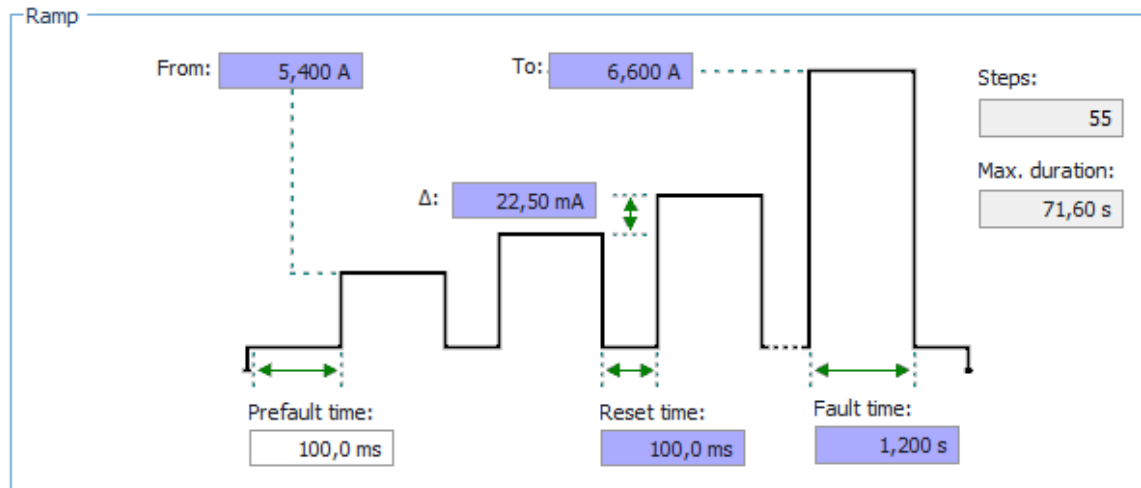
Releen asetteluarvo on 6pu ja laukaisuviive on 1s. Mittaus tuloa ei ole skaalattu. Koe-
stuslaitteella on syötettävä releeseen 6A virta suojan laukaisemiseksi. Virtamuuntajan
muuntosuhde on 400/1. Testaus suoritetaan pulssirampilla ja tapahtumajonolla (kuva
51).

$$I_{from} = 0.9 \cdot 6A = 5.4A$$

$$I_{to} = 1.1 \cdot 6A = 6.6A$$

$$\Delta I = 90mA/4 \text{ eli } 22.5mA$$

$$Fault \text{ time} = 1s \cdot 1.1 = 1.1s$$



Kuva 51. Pulssirampin asetellut

Releen mittaustarkeus on 1.5 % asetteluarvosta tai $0.002 \cdot I_n$

Asetteluarvolla = $6 \text{ A} \cdot 0.015 = 0.09 \text{ A}$ eli 90 mA

Nimellisarvolla = $1 \text{ A} \cdot 0.002 = 0.002 \text{ A}$ eli 2 mA

Valitaan suurempi arvo eli 90 mA (kuva 52)

Assess on	Nom	Tol+	Tol-	Act	Dev	Assess
Trip 0>1	6,000 A	90,00 mA	90,00 mA			

Kuva 52. Toleranssit

Laukaisuaika saadaan tapahtumajonolla samalla periaatteella kuin ensimmäisen portaan aika (kuva 53).

Ylitysarvo = $6 \text{ A} \cdot 1.5 = 9 \text{ A}$

	1			2			3			4			5		
Name	Trip I >> L1			Waiting1			Trip I >> L2			Waiting2			Trip I >> L3		
I A	9,000 A	0,00 *	50,000 Hz	0,000 A	0,00 *	50,000 Hz	0,000 A	0,00 *	50,000 Hz	0,000 A	0,00 *	50,000 Hz	0,000 A	0,00 *	50,000 Hz
I B	0,000 A	-120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 *	50,000 Hz	9,000 A	-120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 *	50,000 Hz
I C	0,000 A	120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	120,00 *	50,000 Hz	9,000 A	120,00 *	50,000 Hz
Trigger	1,200 s			100,0 ms			1,200 s			100,0 ms			1,200 s		

Kuva 53. Virta-asettelut

Aikatoleranssi saadaan 1 % asetteluarvosta tai 20 ms.

Asetteluarvosta $1 \text{ s} \cdot 0.01 = 0.01 \text{ s}$ eli 10 ms.

Valitaan 20 ms koska suurempi kuin 10 ms. Aina on valittava suurempi toleranssiarvo (kuva 54).

		Time Assessment								
	Name	Ignore befo	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessme
1	Trip 1 Time >		Trip I >> L	Trip 0>1	1,000 s	20,00 ms	20,00 ms			
2	Trip 2 Time >	Waiting1	Trip I >> L	Trip 0>1	1,000 s	20,00 ms	20,00 ms			
3	Trip 3 Time >	Waiting2	Trip I >> L	Trip 0>1	1,000 s	20,00 ms	20,00 ms			

Kuva 54. Aikatoleranssit

Sama testit suoritetaan myös vaiheille L2 ja L3.

Esimerkki I >>>

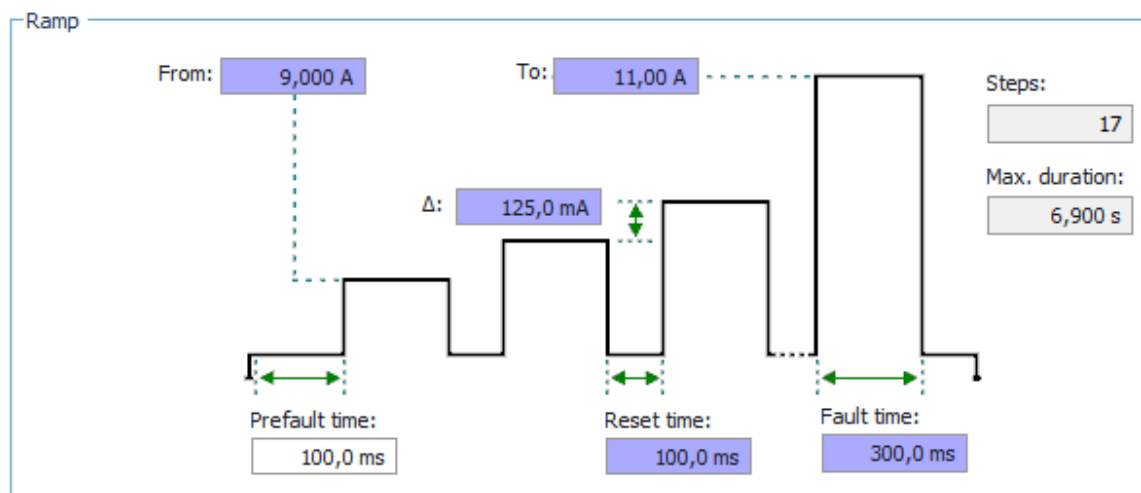
Releen asettelu arvo on 10pu ja laukaisuviive on 0.25 s ja mittaustuloa ei ole skaalattu. Omicronilla on syötettävä releeseen 10 A virta suojan laukaisemiseksi. Virtamuuntajan muuntosuhde on 400/1. Testaus suoritetaan pulssirampilla ja tapahtumajonolla.

$$From = 0.9 * 10 \text{ A} = 9 \text{ A}$$

$$To = 1.1 * 10 \text{ A} = 11 \text{ A}$$

$$\Delta = 500 \text{ mA} / 4 = 125 \text{ mA}$$

$$\text{Fault time} = 1 \text{ s} * 1.1 = 1.1 \text{ s (kuva 55)}$$



Kuva 55. Pulssirampin asettelu

Releen mittaustarkkuus on hetkellisportaalla 5 % asetteluarvosta tai $0.002 * I_n$

Asetteluarvolla = $10 \text{ A} * 0.05 = 0.5 \text{ A}$ eli 500 mA

Nimellisarvolla = $1 \text{ A} * 0.002 = 0.002 \text{ A}$ eli 2 mA

Valitaan suurempi arvo eli 500 mA (kuva 56)

Assess on	Nom	Tol+	Tol-	Act	Dev	Assess
Trip 0>1	10,00 A	500,0 mA	500,0 mA			

Kuva 56. Virtatoleranssi

Laukaisuaika saadaan samalla tavalla kuin edellisissäkin esimerkeissä (kuva 57).

Ylitysarvo = $10 \text{ A} * 1.5 = 15 \text{ A}$

Name	1			2			3			4			5		
I A	15,00 A	0,00 °	50,000 Hz	0,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,000 A	0,00 °	50,000 Hz	0,000 A	0,00 °	50,000 Hz
I B	0,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	15,00 A	-120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 °	50,000 Hz
I C	0,000 A	120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	120,00 °	50,000 Hz	0,000 A	120,00 °	50,000 Hz	15,00 A	120,00 °	50,000 Hz
Trigger	☞			⌚	100,0 ms		☞			⌚	100,0 ms		☞		

Kuva 57. Virta-asettelut

Aikatoleranssi on 1 % asetteluarvosta tai 20 ms.

Asetteluarvosta $0.25 \text{ s} * 0.01 = 0.0025 \text{ s}$ eli 2.5 ms.

Valitaan 20 ms, koska se on suurempana määrävä (kuva 58). Prosenttiarvo on 2,5 ms.

	Name	Ignore befo	Start	Stop	Time Assessment			Tact	Tdev	Assessme
					Tnom	Tdev-	Tdev+			
1	Trip1 Time l>		Trip l>>>	Trip 0>1	250,0 ms	20,00 ms	20,00 ms			
2	Trip2 Time l>	Waiting1	Trip l>>>	Trip 0>1	250,0 ms	20,00 ms	20,00 ms			
3	Trip3 Time l>	Waiting2	Trip l>>>	Trip 0>1	250,0 ms	20,00 ms	20,00 ms			

Kuva 58. Aikatoleranssit

9 POHDINTA

Opinnäytetyön suorittaminen oli erittäin mielenkiintoista, mutta haastavaa. Opinnäytetyön vaikeustasoa nostivat uusien ohjelmien ja ohjelmointikielen opettelu, mitkä vaativat suurimman osan ajasta. Myös erilaiset suojaustoimintojen sisäiset asetukset toivat oman haasteensa opinnäytetyölle, eikä niitä osattu ennakoida opinnäytetyön aikataulutuksen suunnittelussa. Näistä seikoista johtuen opinnäytetyössä ei saatu aivan kaikkia haluttuja suojausfunktioita selvitettyä.

Opinnäytetyö oli erittäin opettavainen kokemus, sillä suurin osa täysin uudesta tiedosta oli sisäistettävä nopeasti. Työssä käytetty lähdemateriaali oli englanniksi, mikä oli mielenkiintoinen haaste opinnäytetyön tiedon keräämiselle. Yksityiskohtaisen tiedon hankkimisessa oli käytettävä asiantuntijoiden apua. Kaikkea tietoa ei saatu kirjallisessa muodossa, vaan osa oli hankittava suullisesti haastattelujen kautta. Opinnäytetyö toi suuren määrän arvokasta tietoa suojausfunktioista ja releiden koestamisesta.

Jatkokehityksenä opinnäytetyölle olisi jatkaa suojaustoimintojen tutkimista, jotta kaikki suojausfunktiot ymmärrettäisiin ja ne osattaisiin koestaa asianmukaisesti. Tärkeimmät suojausfunktiot, joita ei opinnäytetyössä käsitelty, olivat distanssisuojaus ja admittanssipohjainen maasulkusuojaus. Erityisesti admittanssisuojaus on yleistyvä maasulkusuojaustoiminto, jonka toiminta olisi hyvä selvittää, jotta se osataan oikeaoppisesti koestaa.

LÄHTEET

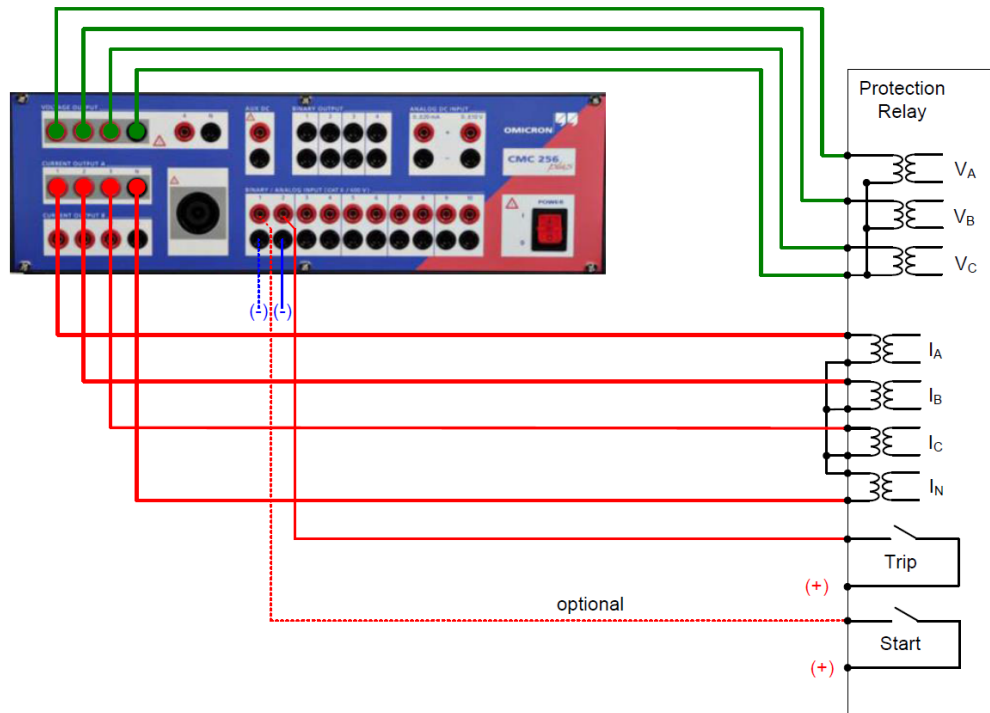
- ABB Oy 2014a, www-sivut 2014. Hakupäivä 8.11.2014.
<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/yhtyma>
- ABB Oy 2014b, www-sivut 2014. Hakupäivä 8.11.2014.
 <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>>
- ABB Oy 2014c. Sisäinen materiaali. Sisäinen Intranet. Hakupäivä 8.11.2014
- ABB Oy 2014d. TTT-Käsikirja. Sisäinen Intranet. Hakupäivä 27.10.2014
- ABB Oy 2014e, 630 series Technical Manual. RE_630_tech_756508_EN.pdf,
 Hakupäivä 1.9.2014
 <<http://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/reliion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref630-iec>>
- Etto, Jaakko 1998. Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 2.
 Hakupäivä 18.11.2014.
 <http://www.momenthits.fi/ESV5230/kunnossapito_2.pdf>
- Hietalahti, Lauri 2013. Teollisuuden Sähkökäytöt. 1. painos. Tampere:Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- Lehesvuo, V. 2014. ABB Oy. Asiantuntija. Keskustelu 12.11.2014
- Martimo, Antero 2012a. Sähkönjakelutekniikka. Luentomateriaali, Lapin ammattikorkeakoulu. Kevät 2012. Saehkoenjaketekniikka_luentoaineisto_v22.pdf
- Martimo, Antero 2011b. Relesuojaustekniikka. Luentomateriaali, Lapin ammattikorkeakoulu. Kevät 2012. Relesuojaus_luento_271011.pdf
- SFS-KÄSIKIRJA 600-2, 2012. 1.painos. Helsinki: SFS
- OMICRON electronics 2014a. Sisäinen materiaali. Reference manual, CMC 256plus.pdf . Hakupäivä 23.9.2014
- OMICRON electronics 2013b. Sisäinen materiaali. OMICRON Academy. Power System Protection Testing with the CMC Test System.pdf. Hakupäivä 23.9.2014
- OMICRON electronics 2011c. Sisäinen materiaali. Practical Example of Use. Testing With the Ramping Test module.pdf. Hakupäivä 23.9.2014
- OMICRON electronics 2011d. Sisäinen materiaali. Practical Example of Use. Testing with the Pulse Ramping Test Module.pdf. Hakupäivä 23.9.2014
- OMICRON electronics. 2014e. www-sivut. Hakupäivä 27.10.2014
 < <https://www.omicron.at/en/products/all/secondary-testing-calibration/cmc-256plus/>>
- OMICRON electronics 2011f. Sisäinen materiaali. XRIO User Manual.pdf. Hakupäivä 23.10.2014
- Niemi, M. 2014. ABB Oy. Tekninen asiantuntija. Keskustelu 10.10.2014
- Niemi, M. 2014. ABB Oy. Tekninen asiantuntija. Keskustelu 2.9.2014
- Niemi, M. 2014. ABB Oy. Tekninen asiantuntija. Opinnäytetyön aloituspalaverin muistio, Sami.Kinnunen@edu.lapinamk.fi 18.6.2014

LIITTEET

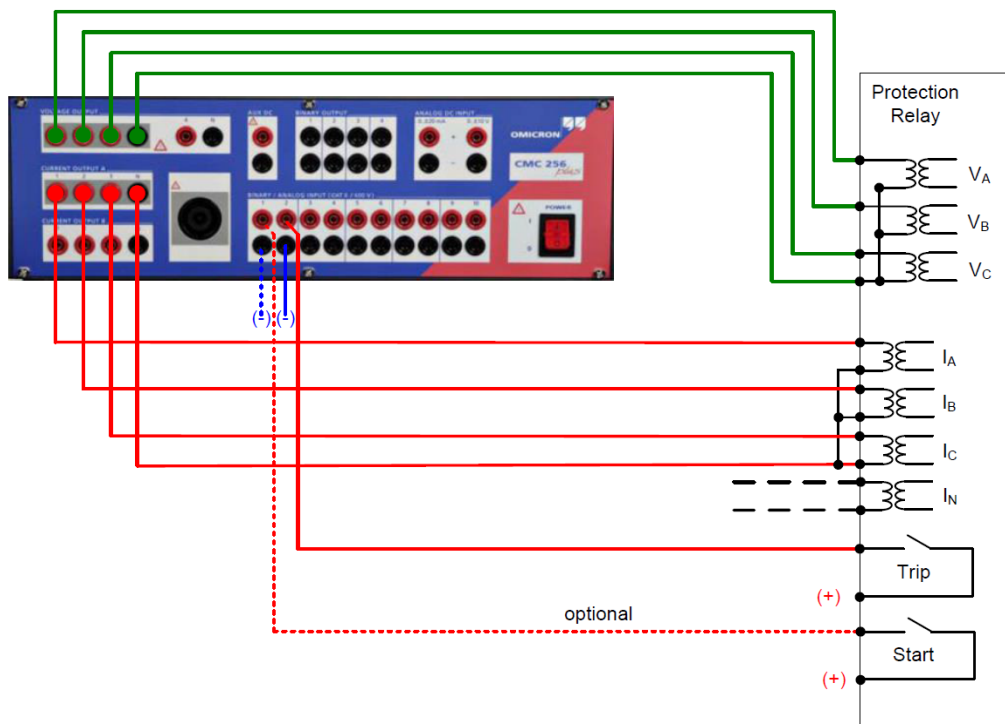
- Liite 1. REF 630 suojaustoiminnot
- Liite 2. CMC kytkentäkuva esimerkit
- Liite 3. Kolmivaiheisen suunnatun ylivirtasuojauksen koestus
- Liite 4. Suuntaamattoman maasulkusuojauksen koestus
- Liite 5. Suunnatun maasulkusuojauksen koestus
- Liite 6. Katkeilevan maasulkusuojauksen koestus
- Liite 7. Termisen ylikuormitus suojauksen koestus
- Liite 8. Vaihekatko suojauksen koestus
- Liite 9. Jännitesuojauksen koestus.

Taulukko 1. REF 630 soveltuvat suojaustoiminnot

SUOJAUSFUNKTIOT	IEC 61850	IEC 60617	ANSI
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuoja, alempi porras	PHLPTOC	3I>	51P-1
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuoja, ylempi porras	PHHPTOC	3I>>	51P-2
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuoja, hetkellis porras	PHIPTOC	3I>>>	50P/51P
Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuoja overcurrent, alempi porras	DPHLPDOC	3I> →	67-1
Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuoja, ylempi porras	DPHHPDOC	3I>> →	67-2
Suuntaamaton maasulkusuoja, alempi porras	EFLPTOC	I0>	51N-1
Suuntaamaton maasulkusuoja, ylempi porras	EFHPTOC	I0>>	51N-2
Suuntaamaton maasulkusuoja, hetkellis porras	EFIPTOC	I0>>>	50N/51N
Suunnattu maasulkusuoja, alempi porras	DEFLPDEF	I0> →	67N-1
Suunnattu maasulkusuoja, ylempi porras	DEFHPDEF	I0>> →	67N-2
Katkeileva maasulku	INTRPTEF	I0> → IEF	67NIEF
Suunnattu maasulkusuojaus, Admittansipohjainen	EFPADM	Y0> →	21YN
Suunnattu maasulkusuojaus, "Wattmetric"-periaate	WPWDE	P0> →	32N
Virran vastakomponenttia mittaava suoja	NSPTOC	I2>	46
Kolmivaiheinen terminen ylikuormasuoja	T1PTTR	3Ith>F	49F
Vaihekatkosuoja	PDNSPTOC	I2/I1>	46PD
Kolmivaiheinen muuntajan kytkentävirtasäyken tunnistin	INRPHAR	3I2f>	68
Kolmivaiheinen Ylijännitesuoja	PHPTOV	3U>	59
Kolmivaiheinen alijännitesuoja	PHPTUV	3U<	27
Ylijännitteen vastakomponenttia mittaava suoja	PSPTOV	U1>	470+
Alijännitteen vastakomponenttia mittaava suoja	PSPTUV	U1<	47U+
Ylikuormitus vastakomponenttia mittaava suoja	NSPTOV	U2>	470-
Maasulkujännite	ROVPTOV	U0>	59G
Reverse power / Directional over power protection	DOPPDPR	P> →	32R/32O
Taajuuden muutosnopeus	DAPFRC	df/dt>	81R
Ylitaajuus	DAPTOF	f>	81O
Alitaajuus	DAPTUF	f<	81U
Kuormien pudotus	LSHDPPFRQ	UFLS/R	81LSH
Vikapaikannus	SCEFRFLO	FLOC	21FL
Katkaisijavikasuoja	CCBRBRF	3I>/I0>BF	51BF/51NBF
Automaattinen jälleenkytkentä	DARREC	O → I	79
Laukaisulogiikka	TRPPTRC	I → O	94
Distanssisuojaus	DSTPDIS	Z<	21, 21P, 21N
Vikaa vasten kiinniohjauksen suoja	CVRSOFF	SOTF	SOTF
Analoginen yleissuojaus	MAPGAPC	MAP	MAP



Kuva 59. Summakytkentäkaavio. (OMICRON 2013c, 15.)



Kuva 60. Erillismittauskaavio. (OMICRON 2013c, 15.)