



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

TEEMU SAVOLAINEN

# **Maasulkusuojareleen konfigurointi ja testaus**

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIKAN  
KOULUTUSOHJELMA 2024

Tekijä(t) Savolainen Teemu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 02/2024
	Sivumäärä 37	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Maasulkusuojareleen konfigurointi ja testaus</b>		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma 2024		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoitus on saada toimiva suojareleen koestus ohjelma uudelle suojareleelle. Opinnäytetyö toteutettiin Teollisuuden Voima Oyj:lle (TVO). Työn tavoitteena oli suunnitella suojareleelle oma ohjelmansa (DIGSI), sekä laatia suojareleelle koestusohjelma (OMICRON). Työssä onnistuttiin tavoitteiden mukaan saaden ohjelmat ja koestusohjelma valmiiksi, sekä saatiin testattua tehtyä työtä simuloitusti. Suojareleen asennuksessa tullaan käyttämään työssä tehtyjä ohjelmia. Työstä tulee TVO:lle ohjelmistot sekä suoritusohje.</p>		
<p><a href="#">Asiasanat</a> Suojarele, DIGS, OMICRON, Test Universe, SIPROTEC</p>		

Author(s) Savolainen Teemu	Type of Publication Bachelor's thesis	Date 02/2024
	Number of pages 37	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Configuration and testing of the earth fault protection relay</b>		
Degree program Electrical and Automation Engineering		
Abstract  <p>The purpose of the thesis is to create a functional testing program for a new protective relay. The thesis was conducted for Teollisuuden Voima Oyj (TVO). The aim of the work was to design a dedicated program (DIGSI) for the protective relay and to develop a testing program (OMICRON) for it. The objectives were successfully achieved by completing the programs and testing them in simulation. The programs developed in this work will be used for the installation of the protective relay. The outcome of the work includes software and operational instructions for TVO.</p>		
<u>Key words</u> Protection relay, DIGS, OMICRON, Test Universe, SIPROTEC		

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
1.1 Toimeksiantaja .....	5
1.2 Työn tavoitteet .....	5
2 SÄÄDÖKSET JA TURVALLISUUS .....	6
3 SUOJARELE .....	6
3.1 Suojareleet sähköverkossa .....	6
3.2 Mittamuuntajat .....	8
3.2.1 Virtamuuntaja .....	9
3.2.2 Jännitemuuntaja .....	11
3.3 SIPROTEC 3 päivitys SIPROTEC 4 .....	11
3.4 Kuvaus SJ62 sarjan releestä .....	13
4 OMICRON CMC 356 KOESTUSLAITE .....	15
4.1 KOESTUSLAITE .....	15
4.2 OMICRON Test Universe ohjelma.....	15
5 MAASULKU JA SILTÄ SUOJAUTUMINEN .....	17
5.1 YKSIVAIHEINEN MAASULKU .....	18
5.2 KAKSOISMAASULKU .....	20
5.3 MAASULKUVIRTOJEN RAJOITTAMINEN.....	22
6 MENETELMÄLLINEN TOTEUTUS .....	23
6.1 SUOJARELEEN ASETTELU.....	23
6.2 RELEEN TESTAUS OMICRONILLA .....	26
6.3 ASENNUKSEN MALLINTAMINEN .....	30
7 YHTEENVETO TYÖSTÄ .....	34
LÄHTEET	
LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Toimeksiantaja

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimi Teollisuuden Voima Oyj. Teollisuuden Voima Oyj (TVO) on Eurajoella Olkiluodossa sijaitseva kolmella ydinvoimalaitoksella toimiva energiayhtiö. Kaksi laitostyypeistä on kiehutusvesireaktoreita (OL1 ja OL2) ja yksi laitos on painevesireaktori (OL3). Huhtikuussa 2023 uuden OL3 ydinvoimalaitoksen koekäyttöohjelma saatiin päätökseen. Säännöllinen sähköntuotanto laitoksella on alkanut. OL3 on EPR-tyyppinen painevesilaitos, minkä nettosähköteho on noin 1600 MW. Laitosyksikkö omaa koeteltuun tekniikkaan perustuvaa modernia teknologiaa sekä uusia edistyksellisiä turvallisuusominaisuuksia. Laitoksen rakennuttajana toimi AREVA GmbH, AREVA NP SAS ja turbiinipuolen rakennuttajana SIEMENS AG. (Teollisuuden Voima Oyj:n [www.sivut](http://www.sivut) 2024.)

## 1.2 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on saada varaosamuutossuunnitelma nykyisen paikalla olevan maasulkusuojareleen korvaamisen takia. Suunnitelmaan kuuluu uuden tyyppisen suojareleen konfigurointi, koestusohjelman teko ja suoritusohjeen laadinta. Koestusohjelma pitää sisällään releen käyttöönotto-koestuksen ja määrääaikaiskoestuksen määritetyllä aikavälillä. Työssä perehdytään suojareleisiin ja niiden koestukseen kokonaisuutena.

## 2 SÄÄDÖKSET JA TURVALLISUUS

Koestus ja kaikki siihen liittyvä työ tehdään noudattamalla SFS 6002 sähkötyöturvallisuusstandardia. Ennen kuin aloitetaan mitään sähkökytkentöjä, on arvioitava sähköiset riskit ja nimettävä sähkötyöturvallisuuden valvoja, jonka tehtäviin kuuluu luvan antaminen asennukseen tai mahdollisesti sen keskeyttämiseen. (SFS 6002, 2015, s. 16.)

Työssä on käytettävä oikeanlaisia suojarusteita, sekä noudatetaan asiaankuuluvia säädöksiä, vaatimuksia ja ohjeita. Työalue pitää merkitä ja rajata selkeästi. Kaikille sähkölaitteistossa työskenteleville pitää olla riittävä valaistus, työskentelytila ja kulkureitit. Sähköisten kytkin- tai ohjauslaitteiden käyttöpaikoille tai niistä johtaville kulku- tai poistumisreiteille tai niiden läheisyyteen ei saa sijoittaa kulkua estäviä esineitä tai palavaa materiaalia. (SFS 6002, 2015, s. 17.)

Ydinvoimalaitoksilla tulee noudattaa vaadittua tietoturvallisuutta. Työssä käsitellään ohjelmistoja ja tietokoneita, joiden käyttö on luvanvaraista.

## 3 SUOJARELE

### 3.1 Suojareleet sähköverkossa

Suojareleen tehtävä ja tarkoitus on häiriön sattuessa erottaa vioittunut laitteisto, tai verkon osa muusta sähköverkosta. Tällä tavalla verkko pystyy jatkamaan toimintaansa normaalisti. Suojarele itsestään ei ole suorassa yhteydessä sähköverkkoon, vaan kommunikointi tapahtuu mittamuuntajien ja sensoreiden välityksellä. Sähköverkossa liikkuu suuria virtoja ja jännitteitä, mittamuuntajien tehtävä on muuttaa nämä suojareleen luettavaksi. Suojaukset releillä voidaan jakaa eri osa-alueisiin muun muassa generaattorit, moottorit, johdot ja muuntajat. Selektiivisyyden avulla rele pystyy havaitsemaan vian suoja-alueellaan mutta ei toimi, mikäli vikaa ei ole tai se on

suoja-alueen ulkopuolella. Suoja-alueella tarkoitetaan esimerkiksi vikaantunutta osaa tai komponenttia, eli näin pienennetään vikakeskeytyksen aluetta. Suojauksen mahdollisen vikaantumisen varalta suojausta täydennetään varasuojauksella. Toisarvoiset kohteet voivat jäädä ilman varasuojauksia. (Mörsky 1992, 17.)

Releelle on asetettu mittauksia ja arvoja, joiden mukaan hälytykset ja toiminnot tapahtuvat. Esimerkkinä voidaan käyttää seuraavanlaista tapahtumaketjua, ensimmäiseksi mittauksen jälkeen tapahtuu releen havahtuminen, tämä ei aiheuta toimintoja verkkoon tai katkaisijaan. Havahtumisesta jää tieto releen lokiin ja muihin mahdollisiin aseteltuihin kohteisiin. Seuraava käsky, mikäli arvot pysyvät korkeina tai nousevat, on TRIP laukaisukäsky, tämä aiheuttaa releen asettelujen mukaisen toiminnon, esimerkiksi releen koskettimen sulkeutumisen, josta lähtee katkaisijalle avautumiskäskyn.

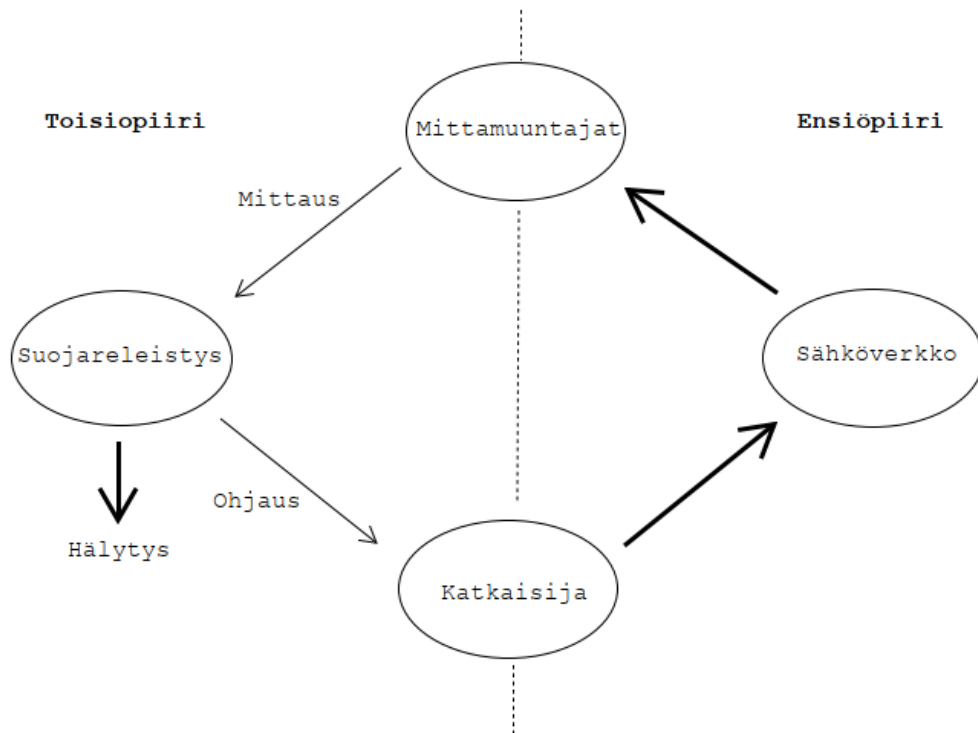
Suojarele ei yksinään pysty suoriutumaan suojauksesta, vaan tarvitsee muitakin komponentteja. Näitä ovat katkaisijat, hälytyskeskus, apuenergiälähteet sekä edellä mainitut mittaus- ja laukaisuyhteydet. Apuenergiälähteenä toimii yleensä tasasuuntaajalla syötetty akusto, joka pystyy takaamaan sähköverkon vikatilanteiden aikana takaamaan tiettyjen laitteiden jännitteet. Apusähköjärjestelmä on tärkeässä osassa releiden kokonaisuutta sähkötarpeen kannalta. (Mörsky 1992, 17.)

Valvomoita/raportointikeskuksia tarvitaan, jotta pystytään pysymään tilanteen tasalla vikatilanteen sattuessa. Suojareleitä on kohteessa yleensä useita, sijoitettuna eri paikkoihin, tällöin releissä tapahtuneiden toimintojen keskitetty kerääminen ja visualisointi on tärkeässä osassa. Releissä on myös yleensä oma ilmaisimensa mistä voi nähdä onko rele havahtunut tai kytkeytynyt. Jälkikäteen tutkittaessa häiriötilanteita, on hyvä dokumentaatio tapahtumista tärkeässä osassa jälkianalyysia. (Mörsky 1992, 17.)

Relesuojatekniikka on kehittynyt paljon viime vuosikymmenten aikana, edeltävää paria vuosikymmentä voidaan käyttää erityisesti esimerkkinä suurista harppauksista. Henkilöiden, jotka työskentelevät releiden parissa on pysyttävä ajan tasalla päivityksistä ja uuden tekniikan soveltamisesta. Kehittyminen tekniikassa ei tarkoita sitä, että

vanhemman tekniikan ymmärtäminen pitäisi unohtaa. Nykypäivänä asennettuja releitä voi olla käytössä vielä vuosikymmenten päästä. (Mörsky 1992, 17.)

Seuraavassa kuvassa 1 on esillä kuva, jossa on kuvailtu relesuojauksen ensiö- ja toisiopiirit:



Kuva 1. Relesuojauksen ensiö- ja toisiopiirit kuvattuna

### 3.2 Mittamuuntajat

Sähköaseman päävirtapiirissä esiintyy virtoja ja jännitteitä, mittamuuntajien tehtävä on muuntaa nämä suojareleille ja energiamittareille sopivaan arvoon. Mittamuuntajat mahdollistavat myös galvaanisen erotuksen suuritehoisesta päävirtapiiristä, jolloin mittalaitteet ja suojareleet ovat turvassa ja suojattu ylikuormitukselta. Laitteisto on helpompaa sovittaa keskenään toisille sopivaksi, koska mittamuuntajien toisioarvot ovat standardisoituja.



Mittamuuntajia maadoitetaan suurjännitemittauksissa, mutta taas pienjännitemittauksissa maadoitusta ei tehdä. Virtamuuntajissa tämä tapahtuu toisiopiirissä energiatulosuunnassa olevista ensimmäisistä navoista, kun taas jännitemuuntajissa jälkimmäisistä navoista.

Mittamuuntajat mahdollistavat sen, ettei suojarleet ja mittalaitteet ole suoraan päävirtapiirin lähellä. Tämä helpottaa sähköaseman teknistä suunnittelua ja toteutusta.

### 3.2.1 Virtamuuntaja

Virtamuuntajan tehtävänä on muuttaa sähköinen virta suojarleille ja energiamittareille sopivaan arvoon, sekä eristää ensiö- ja toisiopiirit toisistaan. Virran mittaaminen on vaikeampaa kuin jännitteen, sillä virran vaihtelu on paljon suurempaa. Vikavirtojen ja normaalien kuormitusvirtojen suhde saattaa mahdollisesti olla useita kymmeniä tai jopa satoja, kun vian aikaisten jännitteiden ja käyttöjännitteen suhde on yleensä pienempi kuin yksi, sekä maasuluissa vain maasulkukertoimen suuruinen. Vikavirroissa esiintyvä tasakomponentti aiheuttaa myös ongelmia. (Mörsky 1992, 115.)

Käytössä olevan virtamuuntajan toisiopiiriä ei saa avata, sillä tällöin ensiövirta alkaa magnetoida sydäntä, mikä kyllästyy nopeasti. Tästä on seurauksena toisioliittimien välisen jännitteen huippuarvon kasvu todella suureksi, mahdollisesti kymmeniin kilovolteihin. Tämä on vaarallinen jännite sekä ihmisille että laitteille. Mikäli toisiopiiri avataan, on toisioliittimet ensin oikosuljettava. (Mörsky 1992, 115.)

Tehtaalta toimitettava virtamuuntaja saapuu toisioliittimet oikosuljettuna ja sinetöitynä. Mittausvirhettä aiheuttavan remanenssin välttämiseksi saa vain virtamuuntajan asentaja poistaa sinetöinnin sekä suorittaa mittausjohtimien kiinnityksen ja väliaikaisen toisiopuolen oikosulun asentamisen. Remanenssi joka voi mahdollisesti tulla, voidaan poistaa tarvittaessa riittävällä ja oikealla vastamagnetoinnilla. (Mörsky 1992, 115.)

Seuraavaksi on lueteltu standardeihin IEC 60044-1 ja 61869-1 perustuvia teknillisiä käsitteitä ja arvoja: Mitoitusensiövirta  $I_{pn}$ . Standardin mukaan virtamuuntajan ensiön nimellinen virta pitää olla 10–12,5–15–20–25–30–40–50 – 60 – 75A ja näiden kymmenpotenssikerrannaiset. Mahdollista on myös, että virtamuuntajat ovat vaihtokytkettäviä kahdelle ensiövirrälle, merkitään tällöin esimerkiksi 10 – 20A. (Standardit 60044, 61869-1)

Terminen mitoitusvirta  $I_{th}$  tarkoittaa suurinta ensiövirtaa, minkä virtamuuntaja pystyy kestävänsä 1 s aikana vahingoittumatta termisesti. Tässä tilanteessa toisiokäämit ovat oikosuljettuna. Dynaaminen mitoitusvirta  $I_{dyn}$  taas kertoo kuinka suuren ensiöpuolella kulkevan virran muuntaja kestää ilman vahinkoa, tässäkin on toisiokäämit oikosuljettuina. (Standardit 60044, 61869-1)

Mitoitus- ja sisätaakka, mitoitustaakalla tarkoitetaan suurinta kuormitusimpedanssia, millä on mahdollista kuormittaa virtamuuntajaa tietyssä tarkkuusluokassa. Yleensä nimellistaakka ilmoitetaan tehona (VA), ja tämä teho lasketaan kertomalla mitoitustaakka nimellistoisiovirran (A) neliöllä. Standardiarvoja mitoitustaakalla on 2,5-5-10-15-30 VA, tarve määrittää, mikäli on käyttöä suuremman tehon valinnalle. Sisätaakka on toisiokäämin hajaimpedanssi, mikä ilmoitetaan myös tavallisesti tehona (VA). (Standardit 60044, 61869-1)

Sydämiä virtamuuntajassa on yksi tai useampi. Useampia sydämiä omaavassa virtamuuntajassa on yhteinen ensiökäämi sydämille. Jokaisella sydämellä on kuitenkin tässä tapauksessa oma toisiokääminsä. Suojausvirtamuuntajat omaavat kuitenkin tarkkuusvaatimuksiensa takia erilaiset sydämet kuin normaali mittausvirtamuuntaja. (Standardit 60044, 61869-1)

Suojauksiin kuuluvissa mittamuuntajissa voidaan puhua suojausvirtamuuntajista, näitten virtamuuntajien on pystyttävä toistamaan vikavirrat toisiossa. Tämä on erittäin tärkeää sillä, suojareleen on pystyttävä laukaisemaan oikea porras suojauksessa. Esimerkiksi suojareleen  $I >$  havahtumisen ja  $I >>$  laukaisuportaan välillä voi olla suuri ero virroissa. Sydämeen on tämän takia jätetty pienehkö ilmaväli, jonka seurauksena sydän ei kyllästy suurissa ensiövirroissa. Ilman tätä ilmaväliä sydän voisi kyllästyä mikä ei ole haluttua.

### 3.2.2 Jännitemuuntaja

Tehtävänä jännitemuuntajilla on jännitteen syöttö suojarelleille ja mittauksiin. Nämä asettavat erilaisia vaatimuksia jännitemuuntajalle. Magneettiset jännitemuuntajat ovat yleensä tehty yhdellä rautasydämellä, mikä on riittävä suojaus- ja mitoitustarkoitukseen suojaus- ja mittaustarkoituksen. Toision mahdollinen avokolmiokäämitys palvelee vain maasulkusuojausta, tosin yhteisellä rautasydämellä on toisiossa useimmiten yhteinen suojaus- ja mittauskäämi. Tämä täyttää sekä mittaus- että suojausvaatimukset. Releet ja jännitemittarit kytketään rinnan jännitemuuntajan toisioon.

Jännitteen mittaustapana toimii:

- Kapasitiivinen jännitteenjakaja
- Resistiivinen jännitteenjakaja (käytössä vain laboratorioissa)
- Magneettinen jännitemuuntaja.
- Kapasitiivinen jännitemuuntaja (kapasitiivisen jännitteenjakajan ja magneettisen jännitemuuntajan yhdistelmä)

Jännitemuuntajan toisiopiirin yksi piste pitää maadoittaa toisioon siirtyvien vaarallisten ylijännitteiden estämiseksi. Tämä koskee myös kaikkia kosketeltavissa olevia osia. Jännitemuuntajan toisiota ei saa koskaan oikosulkea. Toision vaiheet pitää varustaa oikosulku- ja ylivirtasuojauksella, jonka toiminnasta seuraa hälytys.

Kolmivaiheinen jännitemuuntajaryhmä koostuu nykyaikana aina kolmesta yksivaiheisesta jännitemuuntajasta.

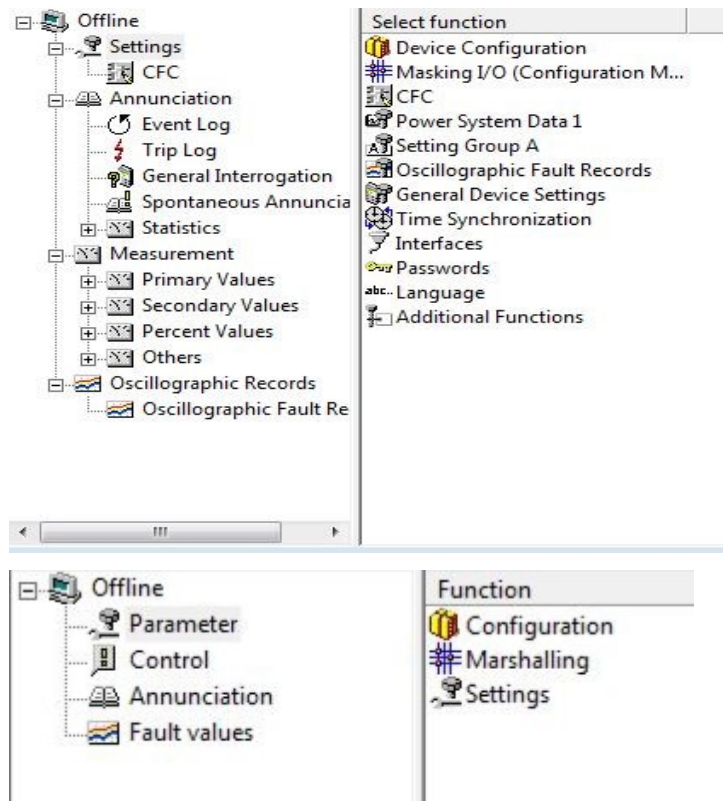
### 3.3 SIPROTEC 3 päivitys SIPROTEC 4

Käytössä oleva maasulkusuojarele, joka sijaitsee kytkinkentällä, on tällä hetkellä 7SJ512, SIPROTEC 3. Korvaava komponentti varaosamuutoksessa on 7SJ6212, SIPROTEC 4. Suurimpana erona nykyiseen releeseen on ohjelmoitavien lähtöjen määrä. 7SJ512:ssä ohjelmoitavia lähtöjä on 16kpl. Uudessa 7SJ6212 releessä näitä on 8kpl. Toteutuksessa on käytössä 13 lähtöä, apureleilla tulee siis monistaa lähtöjen määrä. Releiden konfiguroinnissa on myös suuri ero, syynä tähän on yksinkertaisesti

uudempi malli. Seuraavaksi on kuvassa 2 on SIPROTEC 3 ja SIPROTEC 4:en Etupaneelit ja tämän alapuolella kuvassa 3 DIGSI ohjelmien valikko.



Kuva 2. SIPROTEC 3 ja SIPROTEC 4 etupaneelit, (Siemens Catalog 2024)  
Vasemmalla kuvassa SIPROTEC 3 ja oikealla kuvassa SIPROTEC 4



Kuva 3. DIGSI ohjelmiston alkuvalikot, kuvat otettu DIGSI ohjelmasta  
Ylemmässä kuva SIPROTEC 4 ja alemmassa SIPROTEC 3

Kuten kuvista on huomattavissa niin malleilla on paljon eroa ohjelmoinnissa, SIPROTEC 3:sen parametointi on yksinkertaisempaa ja tarjoaa paljon vähemmän ohjelmitavaa kuin SIPROTEC 4. Ohjelmitava CFC-logiikka, joka on tullut neljännen sukupolven mukana, tarjoaa ohjelmoijalla vapaat kädet releen ohjelmointiin ja täten erilaisiin suojauksiin ja testauksiin.

Releen asennuspaikalla 400kV kentällä on käytössä kaksi rinnakkaista 220VDC apujännitettä, näillä molemmilla on omat akustonsa. Uuden releen asennus toteutetaan, mikäli tämä katsotaan tarpeelliseksi, tällöin tullaan vielä selkeyttämään asennuspaikan apujännitteiden käyttöä releessä. Tämä toteutetaan eriyttämällä releen kaksi laukaisupiiriä toisistaan. Tällöin saadaan yksi laukaisupiiri riippuvaiseksi yhden syötön apusähköstä, tässä kohtaa joko akustosta tai johdonsuojakatkaisijasta.

#### 3.4 Kuvaus SJ62 sarjan releestä

SIPROTEC 7SJ62/63/64 ovat numeerisia suojaus- ja ohjausyksiköitä, jotka on varustettu tehokkailla prosessoreilla. Jokainen releen tapahtuma käsitellään numeerisesti aina mittausarvojen käsittelystä katkaisijan ohjauksiin saakka.

SIPROTEC 4 7SJ62 on monitoimisuoja, joka on kehitetty kokoojakiskon lähtöjen suojaukseen. Suojaa voidaan käyttää erilaisissa sähköverkoissa, jotka voivat olla erilaisesti maadoitettu tai maasta eristettyjä. Suoja soveltuu erilaisiin verkkotopologioihin, kuten säteittäisverkkoihin ja rengasverkkoihin, joita voidaan käyttää avoimina tai suljettuina. Suoja toimii myös sekä yhdestä että molemmista suunnista syötettävien johtojen suojana. Tärkeä alue suojalla on myös moottorien suojaaminen eri kokoisissa epätahtimoottoreissa. (7SJ62 käyttöohje, 20.)

Suojauslaite sisältää myös ohjaus-, valvonta- ja suojaustoiminnot, jotka ovat yleisesti vaadittuja 1- ja 2-kiskokojeiston yhteydessä. Mahdollinen käyttö toimii myös distanssi-, erovirta- ja vertosuojien aikaporrastettuna varasuojana kaikenlaisilla muuntajilla, johdoilla, generaattoreilla, moottoreilla ja kokoojakiskoilla kaikilla jännitetasoilla. (7SJ62 käyttöohje, 23.)

Seuraavaksi kerrotaan muutamasta releen ominaisimmista suojausfunktioista:

Ylivirtasuojaus (50, 50N, 51, 51N) on 7SJ62 releen perustoiminta. Vaihe sekä maasulkuvirroille on käytettävissä kolme toimintaporrasta, Nämä portaat voidaan asetella toimintaan toisistaan riippumattomasti. Suurivirta porras I>> (50-2) sekä ylivirtaporras I> (50-1) toimivat aina vakioaikaisina kolmannen I<sub>p</sub> (51) ylivirtaportaan ollessa käänteinen (7SJ62 käyttöohje, 56.)

Jokainen ylivirtaporras, joka on määritelty käyttöön, pystytään lukitsemaan binääristen tulojen tai jälleen kytkentöjen avulla. Mikäli lukitus poistuu kesken havahtuman, käynnistyy määritellyt aikaviiveet uudelleen. Suunnatussa ylivirtasuojauksessa häiriön suunta saadaan määritettyä vaiheselektiivisesti sekä erikseen maasulkuvioille, vaihevioille ja summavirroille (7SJ62 käyttöohje, 70.)

Suunnatussa ylivirtasuojauksessa (67/67N) on taas kolme suunnattua ylivirtaporrasta vaihe- ja maasulkuvirroille, nämä pystyvät myös toimimaan rinnan suuntaamattomien ylivirtaportaiden kanssa. Suunnatussa ylivirtasuojauksessa häiriön suunta saadaan määritettyä vaiheselektiivisesti, sekä erikseen maasulkuvioille, vaihevioille ja summavirroille. (7SJ62 käyttöohje, 84.)

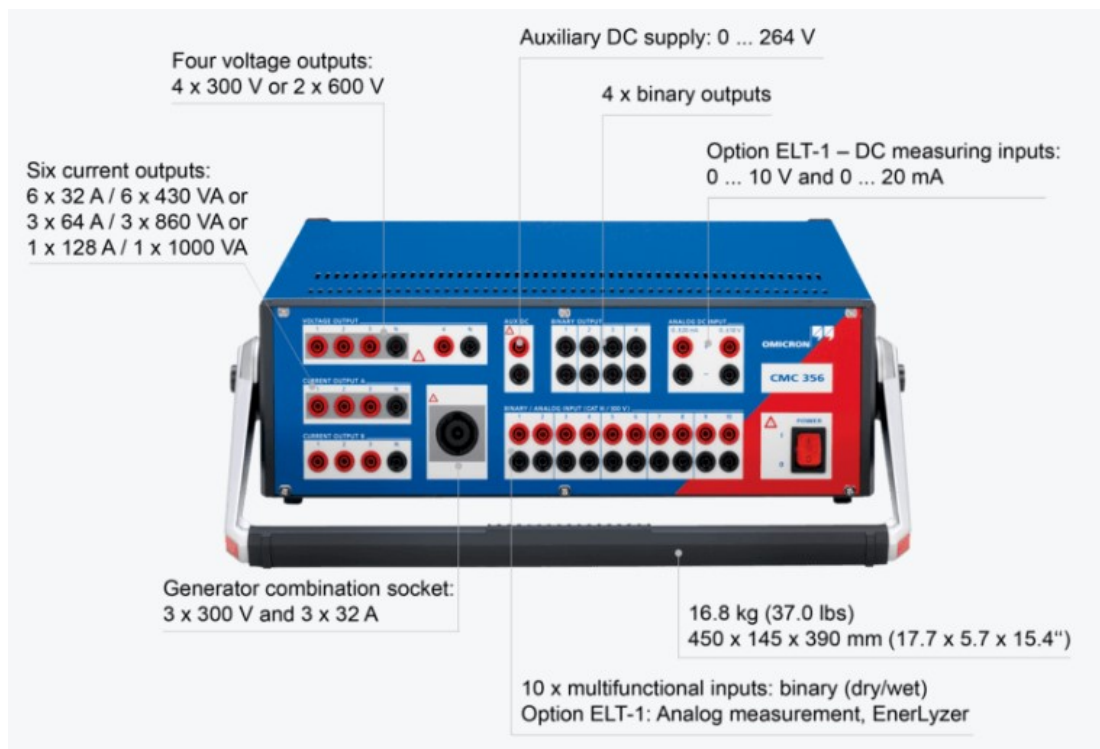
Maasulkusuojassa (50N/51N) on yksi käänteisaikainen ja kaksi vakioaikaista ylivirtaporrasta suuren ohmimäärän omaaville maasuluille maadoitetussa verkossa. Suojalle on myös valittavissa samat toiminnot käänteisaikaportaille, toisen harmonisen yliaallon tunnistukselle ja laukaisulle katkaisija kiinni vikaa vasten, kuin ylivirtasuojauksessa. (7SJ62 käyttöohje, 26.)

Maasulun tunnistuksessa 50N(s), 51N(s), 67N(s), 59N/64 mitataan tai lasketaan nollajännitettä vaihejännitteistä. Lisäksi suoja mahdollistaa erittäin herkän tai laajan virta-alueen maasuluntunnistuksen. Suojassa on kaksiportainen tunnistus maasululle IEE> (50Ns1) ja IEE>> (50Ns2), näillä toiminnoilla pystytään määrittämään maasulku mikä tapahtuu maadoitetussa tai eristetyssä verkossa. Nollajärjestelmän komponentteihin määritetään maasulun suunnanmääritys mikä on tehoon perustuva. Toiminnan tarkkuus tunnistuksessa on erittäin suuri, asteikko on 1 mA portain. (7SJ62 käyttöohje, 27.)

## 4 OMICRON CMC 356 KOESTUSLAITE

### 4.1 KOESTUSLAITE

Työssä käytettävä testilaitte, jolle koestusohjelma laaditaan, on OMICRON CMC 356 jota käytetään tietokoneella ohjattavana. Laitetta voidaan käyttää testattaessa suojareleitä, analysointoreita ja antureita. OMICRONISSA on 10 binääristä sisääntuloa (BI) jotka on lajiteltu viiteen galvaanisesti erotettuun ryhmään, 4 binääristä ulostuloa, 4 jänniteulostuloa, 6 virtaulostuloa, analoginen DC-sisääntulo jännitteelle ja virralle, AUX DC -syöttö tasajännitteelle, 1 ulostulo korkeille jännitteille/virroille. Kuvassa 4 testilaitteen etupaneeli. (Mäkinen 2013, 14).

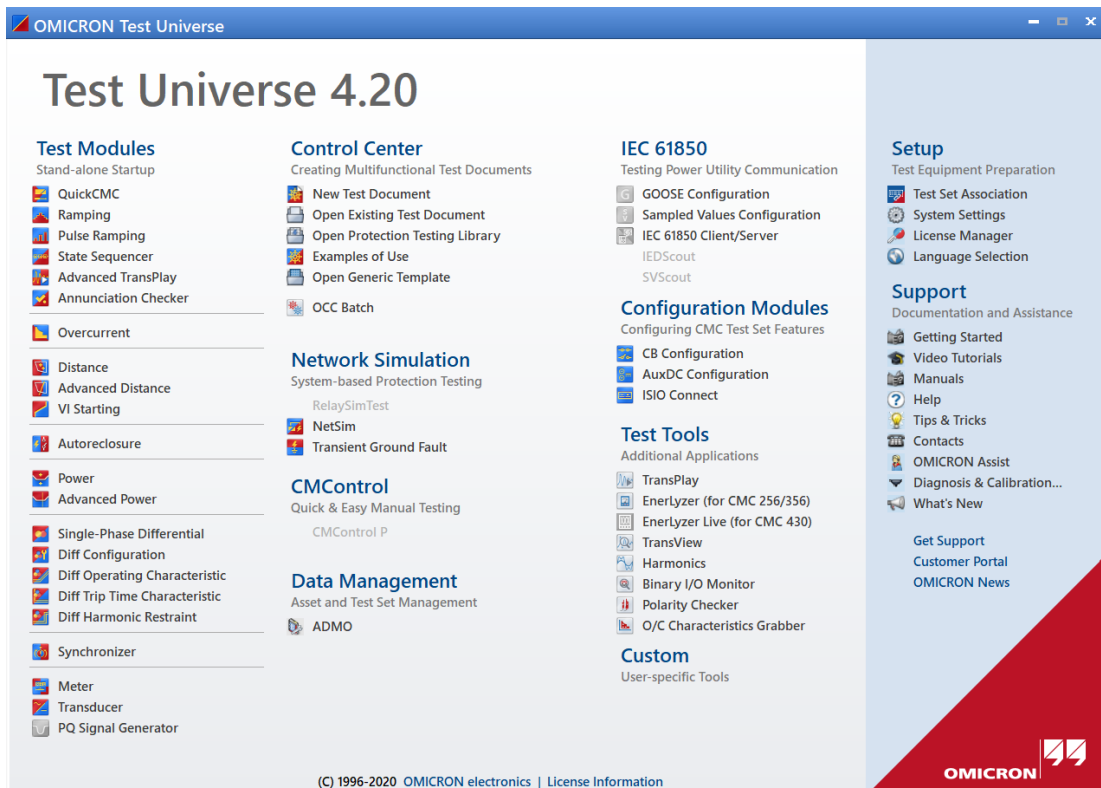


Kuva 4. Omicron testilaitte (Omicronin [www.sivut](http://www.sivut) 2023)

### 4.2 OMICRON Test Universe ohjelma

Test Universe on OMICRONIN mukana tuleva ohjelmisto tietokoneelle millä ohjataan laitteella tehtäviä toimenpiteitä kuten virran- ja jännitteensyöttöä. Binäärituloilla ja analogialähdöillä on mahdollista lähettää ja vastaanottaa signaaleja, kuten

kosketintietoja. Test Universessä on monia erilaisia valmiita moduuleita erilaisiin testeihin kuten alla olevassa kuvassa 5 näkee:

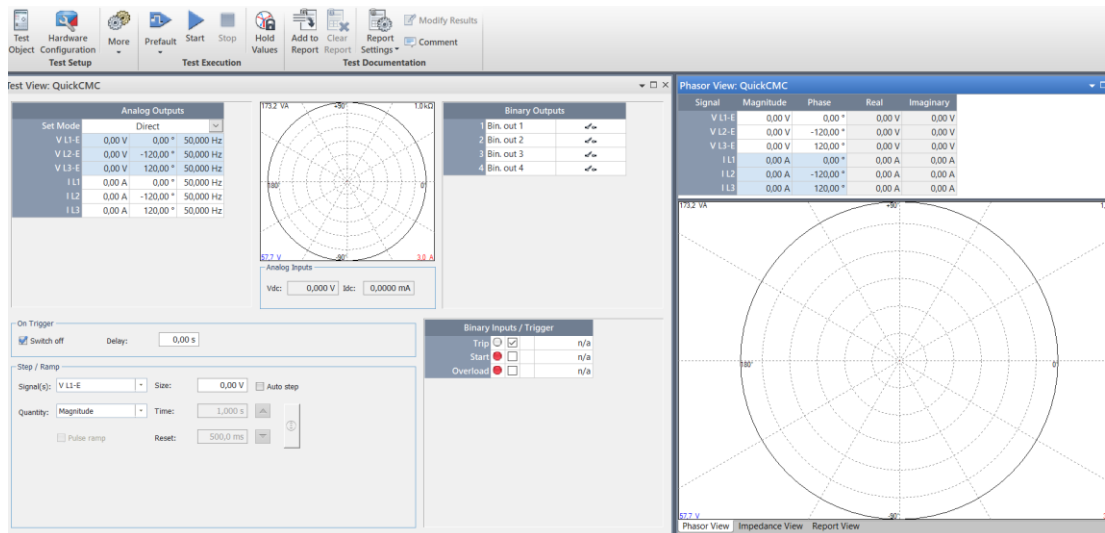


Kuva 5. Omicron Test Universe valikon näkymä

Näillä eri sovelluksilla on mahdollista muuttaa laitteen virtalähteen syöttämää virtaa ja jännitettä esimerkiksi portaittain.

Suojareille tehtäessä ohjelmaa, valitaan ”New Test Document” ja luodaan tiedosto. Tästä tiedostosta käytetään nimeä OCC.File (OMICRON Control Center). Ohjelmaan luodaan ”Test Modules” lehdeltä tarvittavat moduulit releen koestusta varten, kuten Ramping tai State Sequencer. Opinnäytetyössä käytettävä monitoimisuojarele 7SJ62- on mahdollistaa koestaa QuickCMC testimoduulilla, mutta tällöin dokumentoitua tulosta koestuksesta ei ole saatavilla. Kuvassa 6 QuickCMC näkymä:





Kuva 6. OMICRON Test Universe QuickCMC näkymä

## 5 MAASULKU JA SILTÄ SUOJAUTUMINEN

Maasulku tarkoittaa, että vaiheen ja maan välille syntyy johtaja yhteys, maasulku on yleisin suurin vian aiheuttaja sähköverkossa. Nämä yleisimmät viat ovat puun kaatuminen linjojen päälle tai salaman isku. Fingrid ilmoitti 2019 julkaistussa käyttöhäiriöiden vuositilastoissa että 64,7 % häiriöistä johtui maasulusta.

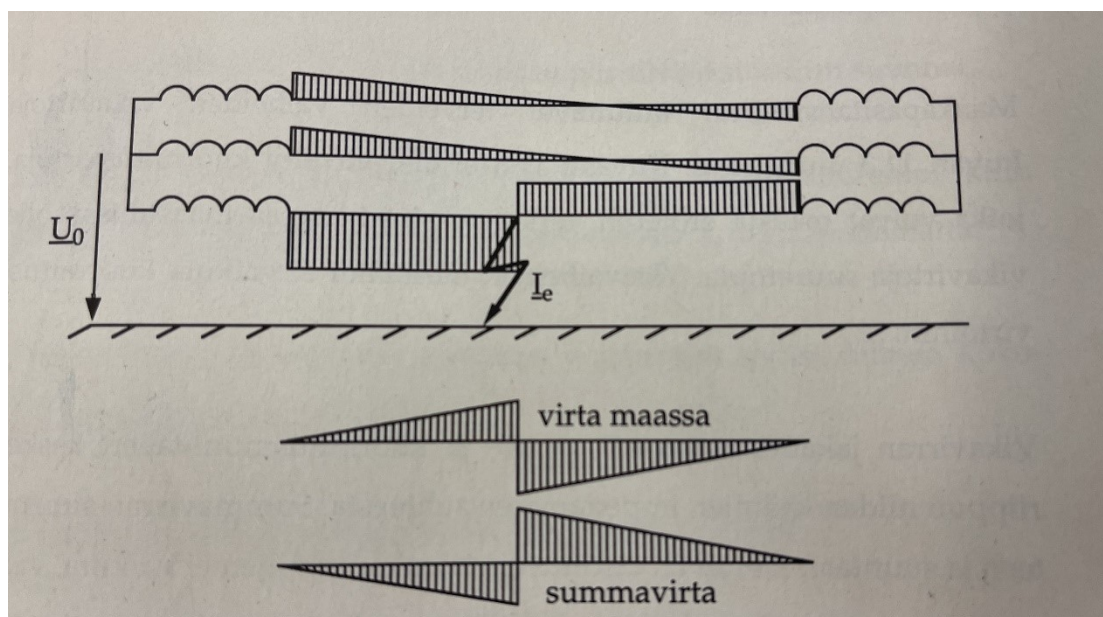
Suomessa 400kV:n ja 220kV:n siirtoverkot ovat tehollisesti maadoitettuja. Näiden 400kV:n ja 220kV:n sähköasemalla on muuntajan tähtipiste maadoitettu suoraan tai 100 ohmin virranrajoituskuristimen kautta. Tällä maadoitustavalla on haluttu pienentää maasulunaikana terveiden vaiheiden jännitteenousua ja samaan aikaan pitää huoli siitä, että maasulkuvirta on sopivan suuruinen.

110kV:n verkko on taas maadoitettu vain tiettyjen muuntajien tähtipisteiden kautta 120 ohmin kuristimien avulla. 110kV:n verkossa maadoituksen valinta perustuu suuriin maasulkuvirtoihin, jotta distanssirele pystyy toimimaan oikosulkujen lisäksi maasuluissa. 20kV:n keskijännitejakeluverkot ovat Suomessa useimmiten maasta erotettuja. Tällä tavalla rakennetussa järjestelmässä yksivaiheinen maasulku ei saa aikaan suurta virtaa. Syynä tähän on että, maasulkuvirtapiiri sulkeutuu vain vaiheiden maakapasitanssin kautta. (Elovaara & Haarla 2011, 338.)

Suuri maasulkuvirta tekisi relesuojauksen toteuttamisesta helpompaa ja suojaustoiminnot olisivat helppo saada nopeiksi. Tietenkin suuri maasulkuvirta, jonka ominaisvastus on myös suuri, aiheuttaa ihmisille vaaraa esimerkiksi kosketusjännitteiden kanssa, jotka häiritsevät muita sähkölaitteistoja.

## 5.1 YKSIVAIHEINEN MAASULKU

Maasta erotettu verkko tarkoittaa nimensä mukaisesti että, johtavaa yhteyttä maahan ei ole ja tämä koskee myös tähtipistettä. Poikkeuksena on jännitemuuntajat. Verkon normaalissa tilassa vaihejohtimien maakapasitanssien kautta kulkevien varausvirtojen summa on nolla. Vaihejohtimen joutuessa suoraan tai vikaimpedanssin kautta maan kanssa yhteyteen tapahtuu yksivaiheinen maasulku, eli viallisen vaiheen varausvirta ja jännite pienenee. Samaan aikaan terveiden vaiheiden jännitteet ja varausvirrat maata vasten kasvavat. Pääjännitteet vaiheiden välillä pysyvät ennallaan, eivätkä kuormitukset häiriinny ennen katkaisijan avautumista. Katkaisijan tehtävänä on poistaa maasulku turvallisuussyistä sähköturvallisuusmääräysten mukaan. Kuvassa 7 yksivaiheinen maasulku. (Mörsky 1992, 298.)



Kuva 7. Yksivaiheinen maasulku. (Mörsky 1992, 298)

Kuvassa on esillä virtojen kulku maasta erotetun verkon maasulussa.  $I_e$  on maasulkuvirta ja  $U_o$  toimii nollajännitteenä. Virran suunta positiivisena oikealta vasemmalla.

Kuvassa on esillä vaihevirratt, virta maan kautta kulkevana ja johdon summavirta yksivaiheisessa maasulussa vikaimpedanssin ollessa nolla. Varausvirta ei kulje viallisen vaiheen maakapasitanssin kautta, sillä sen jännite on nolla. Kunnossa olevien vaiheiden varausvirrat kiertävät muuntajien ja generaattorien käämien kautta vialliseen vaiheeseen ja etenevät sitten vikakohdasta maahan.

Virta lähtee maassa kuormituksen, että syöttävän verkon suuntaan. Maavirta on suurimmillaan vikakohdassa ja pieneen johdon päätyjä päin mentäessä maakapasitanssin kautta kunnossa oleviin vaiheisiin nousevan virran ansiosta. Johdon päässä maavirta on nolla. (Mörsky 1992, 300.)

Vikavirran hajautuminen eri syöttö- ja kuormitusmuuntajien kesken riippuu käämien impedanssien suhteesta. Summavirran suuruuteen, sekä suuntaan kiertävän tasoitusvirran jakautuminen ei vaikuta, vaan on kiinni vain vikakohdasta. Tilanteeseen ei vaikuta ovatko muuntajien vian puolella olevat käämit kolmiossa vai tähdessä, pääasia, että mahdollisia tähtipisteitä ei olla maadoitettu. (Mörsky 1992, 300.)

Maasulkuvirran suuruus verkossa on käytännöllisesti tarkastellen riippumaton siitä, missä kohdassa verkkoa maasulku tapahtuu. Viallisen johdon syöttöpäässä mitattava summavirta  $I_v$  eli releiden havaitsema virta ei pidä sisällään kyseessä olevan johdon maakapasitanssin kautta kulkevaa osaa maasulkuvirrasta. (Mörsky 1992, 300.)

$$I_v = \frac{C_o - C_{oj}}{C_o} I_e \quad (1)$$

Missä  $C_{oj}$  toimii vioittuneen johdon yhden vaiheen maakapasitanssina ja  $C_o$  toimii koko verkon vaihemaakapasitanssina.

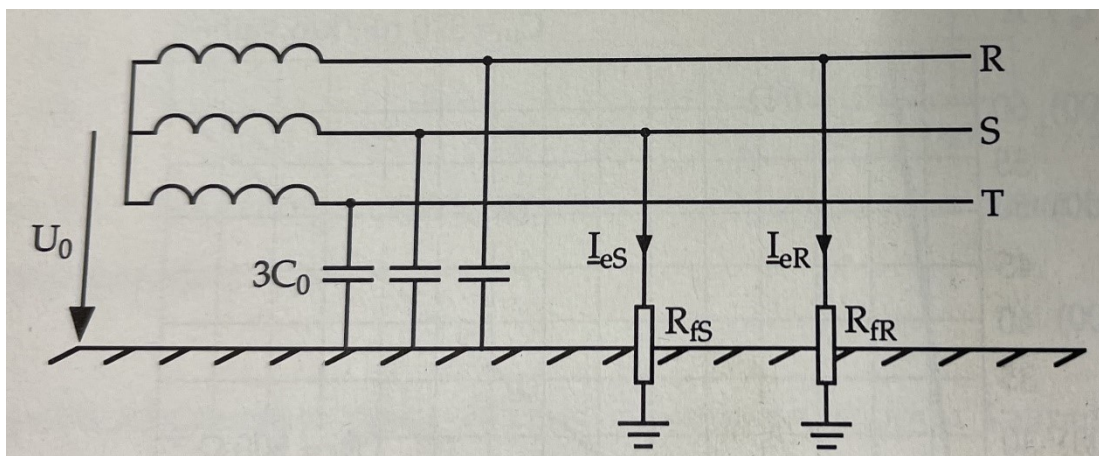
Maasulun tapahtuessa johdon ulkopuolella, niin terveen johdon summavirta  $I_t$  on vain johdon oman maakapasitanssin kautta kulkeva osa maasulkuvirrasta.

$$I_t = -\frac{C_{oi}}{C_o} I_e \quad (2)$$

Missä  $C_{oi}$  toimii tarkasteltavan terveen johtimen yhden vaiheen maakapasitanssina. (Mörsky 1992, 302)

## 5.2 KAKSOISMAASULKU

Kaksoismaasulussa kaksi vaihejohtinta joutuu suoraan tai vikaresistanssien kautta galvaaniseen yhteyteen maan kanssa eri paikoissa verkkoa. Seuraavassa kuvassa 8 kaksoismaasulku.



Kuva 8. Kuvassa kaksoismaasulku. (Mörsky 1992, 306)

Syynä kaksoismaasulkuun toimii usein yksivaiheisen maasulun aiheuttama jännitteen nousu terveissä vaiheissa. Yksivaiheisessa maasulussa alkutransienttien aikana saattaa vaihejännitteen suurin hetkellisarvo olla moninkertainen verrattuna jännitteen suurimpaan arvoon maasulkuun ennen. Jatkuvuustilassakin voi terveen vaiheen jännite maata vasten yksivaiheisessa maasulussa olla pääjännitettä suurempi. (Mörsky 1992, 306)

Kuvan 7. mukaisen maasulun vikavirroiksi  $I_{eR}$  ja  $I_{eS}$  saadaan johdettua kaavojen mukaisesti:

$$I_{er} = \frac{U_R - U_S + j3\omega C_O R_{fS} U_R}{R_{fR} - R_{fS} + j3\omega C_O R_{fR} R_{fS}} \quad (3)$$

$$I_{es} = \frac{U_R - U_S + j3\omega C_O R_{fS} U_R}{R_{fR} - R_{fS} + j3\omega C_O R_{fR} R_{fS}} \quad (4)$$

Kokonaismaasulkuvirta saadaan vikavirtojen summana:

$$I_e = I_{eR} + I_{eS} = j3\omega C_O \cdot \frac{R_{fS} U_R + R_{fR} U_S}{R_{fR} + R_{fS} + j3\omega C_O R_{fR} R_{fS}} \quad (5)$$

Nollajännite on silloin pienimmillään, kun molemmat vikaresistanssit ovat yhtä suuret eli suppeissa verkoissa ja pienillä vikaresistansseilla. Nollajännitteet lähestyvät tässäkin tapauksessa johtopituuden kasvaessa nollajännitettä yksivaiheissa maasulussa.

Vikapaikkojen ollessa eri johdoilla on viallisen johdon alkupään summa yllä mainittujen yhtälöiden 3 tai 4 vikavirta vähennettynä, sillä osalla kokonaismaasulkuvirtaa, joka tarkasteltavana johdon oman maakapasitanssin kautta. Edellä mainitussa tilanteessa nollavirtareiden havaitsema virta on suurempi, koska releen saamassa summavirrassa on vaikuttavana tekijä myös oikosulkuvirtakomponentti. Edellisessä tapauksessa summavirta on samalla vikaresistanssin arvolla ( $R_{fR} = R_{fS} = R_f$ ) jopa pienempi kuin yksivaiheisessa maasulussa. Myös samalla johdolla sattuva kaksoismaasulun aiheuttama nollajännite on pienempi kuin taas yksivaiheisen maasulun yhtä suurella vikaresistanssilla aiheuttama, joten säteettäisen jakeluverkon maasulkusuojaus havaitsee samalla johdolla tapahtuvan kaksoismaasulun yksivaiheista maasulkua huomommin. Vikaresistanssin kasvaessa sekä verkon laajentuessa kaksoismaasulussa ja yksivaiheisessa maasulussa syntyvät maasulkuvirrat ja nollajännitteet lähestyvät toisiaan entistä enemmän. (Mörsky 1992, 307.)

Samalla johdolla tapahtuvassa pieniresistanssisessa kaksoismaasulussa voi oikosulkusuojaus toimia, sillä viallisen johdon alussa vioittuneissa vaiheissa kulkee suuret vastakkaismerkkiset virrat vikapaikkojen välisen kiertävän vikavirran ansiosta, ja tämä havahduttaa viallisten vaiheiden ylivirtareleet. Vikojen sijaitessa eri johdoilla

voi pieniresistanssisissa vioissa oikosulkusuojaus toimia, vaikka maasulkusuojaus on herkempi havahtumaan. Vikojen ollessa eri johdoilla virtamuuntajien on nollajännitteellä ja summavirralla vaihesiirrot erilaiset. Tällä on haittaa toisen johdon suuntareleen toimintaan. Haitta poistuu, kun oikein toimiva rele aukaisee katkaisijansa ja vika palautuu yksivaiheiseksi maasulukseksi ja tällöin toinenkin rele toimii oikein. (Mörsky 1992, 310)

### 5.3 MAASULKUVIRTOJEN RAJOITTAMINEN

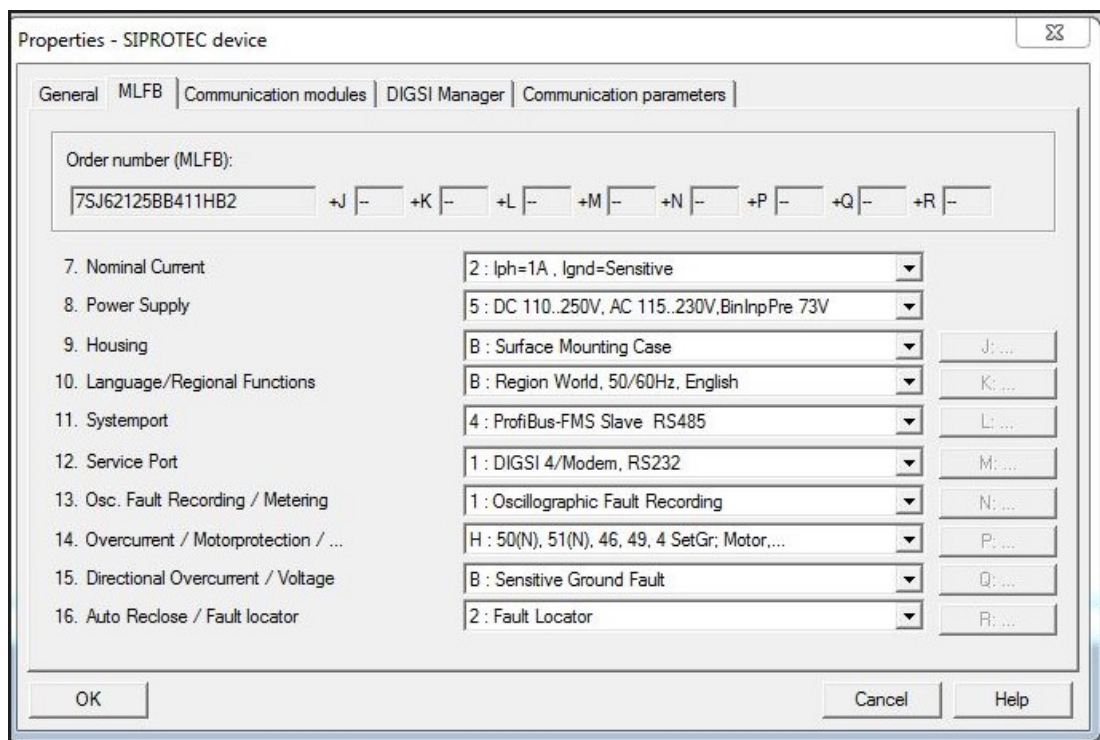
Maasulkuvirta, joka kulkee vikakohdassa vaikuttaa ratkaisevasti maadoitusjännitteen ja vaarajännitteen suuruuteen. Kilometri kaapelia vastaa kymmeniä kilometrejä avojohtoa maasulkuvirran synnyttämiskyvyllään. Kaapeliverkot omaavat luonnolliset sovellusalueensa, milloin on huolehdittava maasulussa syntyvän suureen kapasitiivisen maasulkuvirran rajoittamisesta riittävästi. Tähän asiaan tulee erityisesti kiinnittää huomiota sekaverkossa, milloin suhteellisen lyhytkin kaapeli saattaa suurentaa maasulkuvirtaa huomattavasti. Tämän lisäksi maasulkujen esiintymisen tiheys on avojohtoverkon vuoksi suuri. (Mörsky 1992, 313.)

Maasulkuvirtaa pienentäessä on käytettävissä usein kaksi vaihtoehtoa, jotka ovat verkon jakaminen osiin tai verkon maakapasitanssin kompensointi. Syöttömuuntajan syöttämien verkko-osien galvaanisesti yhteen kytketyn johtopituuden rajoittaminen, eli toisin sanoen verkon jakaminen tarvittaessa osiin toimii tehokkaana keinona maasulkuvirran pitämiseksi pienenä. Kuormitusnäkökohtien lisäksi syöttöpisteiden sijoitusta sekä lukumäärää valittaessa täytyy kiinnittää huomiota myös maadoitusjännitevaatimusten täyttämiskustannuksiin. Liitettäessä uutta sähköasemaa verkkoon siirretään vanhaja suurjännitejohtoja uuden aseman alaisuuteen, ja täten saadaan pienennettyä maasulkuvirtoja vanhojen sähköasemien verkoissa ja voidaan välttää tulossa oleva mahdollinen maadoitusten parantaminen. Verkon maakapasitanssin kompensoinnilla pystytään vikakohdassa kulkeva maasulkuvirta varsin helposti rajoittaa maadoitusjännitteiden kannalta tarpeeksi pieneksi. (Mörsky 1992, 314.)

## 6 MENETELMÄLLINEN TOTEUTUS

### 6.1 SUOJARELEEN ASETTELU

Työ aloitettiin hakemalla nykyisen paikalla olevan releen (SIPROTEC 3) DIGSI-tiedosto. Tämä tapahtui menemällä asemalle, missä suojarele sijaitsee. Releeseen ei itsessään tarvitse koskea muuten kuin yhdistämällä tietokone kaapelilla releen etupaneelissa olevaan liitäntäporttiin. Seuraavaksi tietokoneelta aukaistiin DIGSI-ohjelma ja valittiin valikosta Device -> DIGSI, jolloin saamme ladattua nykyisen releen tiedoston koneelle. Tämä tiedosto tarvitaan, jotta voidaan asettaa vanhan releen arvot uuteen releeseen. Ennen arvojen asettelua uuteen releeseen täytyy luoda uuden releen DIGSI-projekti. Ensimmäinen askel on releen MLFB (Machine-readable Product Designation) -koodin asettelu. Tämä kertoo releen ominaisuuksista ja valituista funktioista. Seuraavassa kuvassa 9 on DIGSI MLFB- valikon näkymä



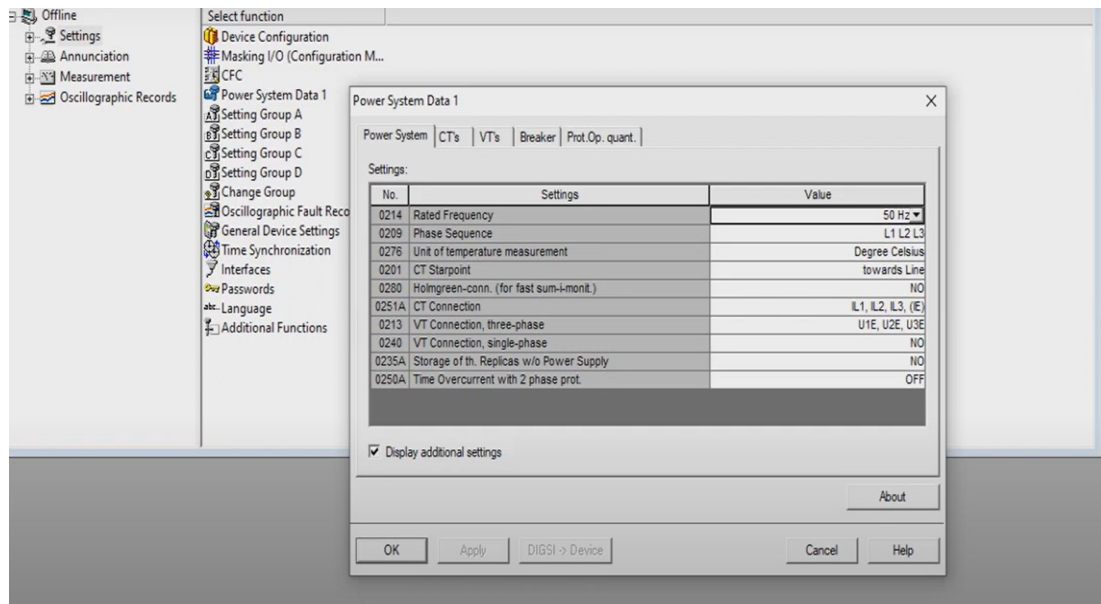
Kuva 9. DIGSI MLFB-koodin asettelu (Kuvan asettelut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

MLFB-koodi muodostuu releen ominaisuuksista, valituista suojauksista ja tilaajan tarpeista. Tältä osin rele on muutettavissa, mikäli suojareleen kohde tai tarvittavat ominaisuudet muuttuisivat.

Sen jälkeen, kun uusi rele oli luotu DIGSI:in, vuorossa on parametrien asettelu. Tämä tapahtui yksikertaisimmillaan vertaamalla releiden asetteluja keskenään. Ongelman tästä teki DIGSI:n vanhan ja uuden sukupolven ero ohjelmistossa (SIPROTEC 3 ja SIPROTEC 4). Toiminnot ja valinnat olivat eri nimillä, joten aikaa kului, että asettelut saatiin yhtenäisiksi.

SIPROTEC 4-releessä on mahdollista käyttää CFC (Continuous Function Chart) -ohjelmointia, mikä on tarkoitettu SIPROTEC-tuoteperheen laitteille. Tätä ominaisuutta ei kuitenkaan ollut vanhassa SIPROTEC 3-releessä, joten sitä ei koettu tarpeelliseksi ottaa käyttöön uudessa releessä. Seuraavaksi kerrotaan muutamasta eri DIGS:n valikosta, joihin asetteluja tehtiin.

Power System Data 1 -lohkossa asetellaan ja määritetään yleisiä tietoja, kuten ensiö- ja toisiopuolen asettelut. Asettelujen tulee vastata suojattavaa verkkoa tai laitetta, sekä kohteella tehtyjä kytkentöjä. Kuvassa 10 Power System Data 1 valikko.

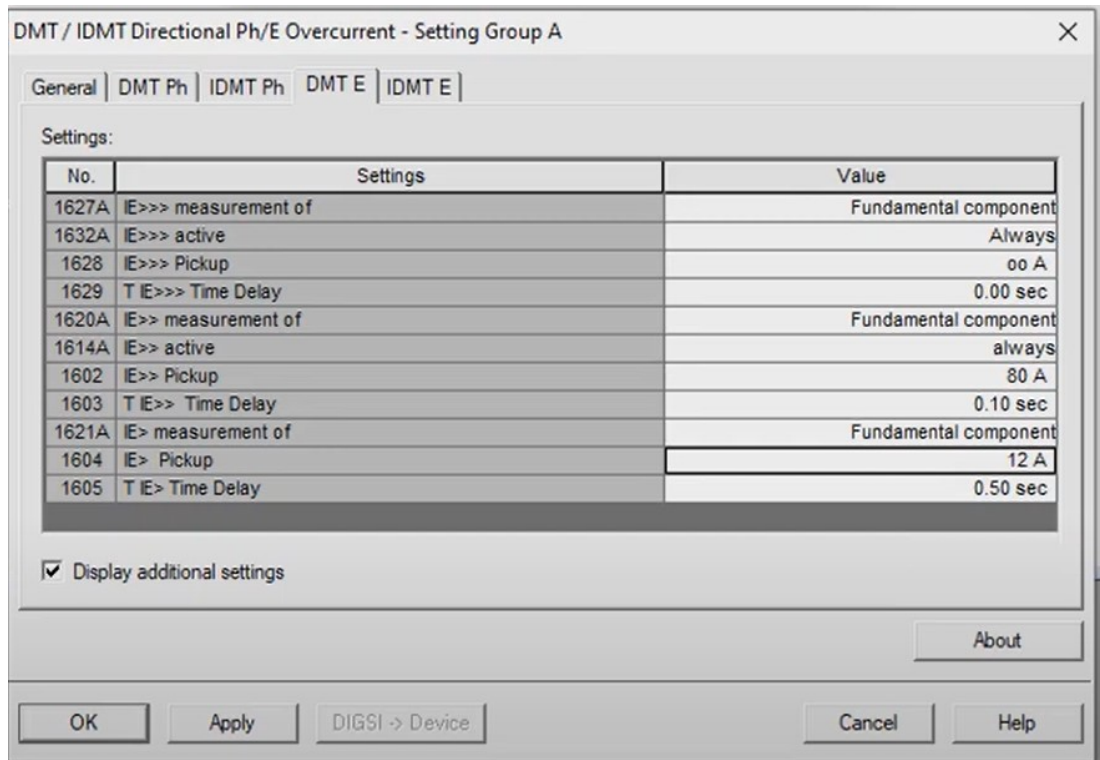


Kuva 10. DIGSI Power System Data 1 (Kuvan asettelut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

Setting Group A -lohkossa saadaan aseteltua parametrejä eri suojaustoiminnoille. Kuvassa on maasulkuun liittyviä asetteluja, kuten releen havahtuminen ja



aikamäärittelyt. Opinnäytetyössä parametrit aseteltiin uuteen releeseen katsomalla asettelut vanhasta releestä. Kuvassa 11 Setting Group A näkymä:

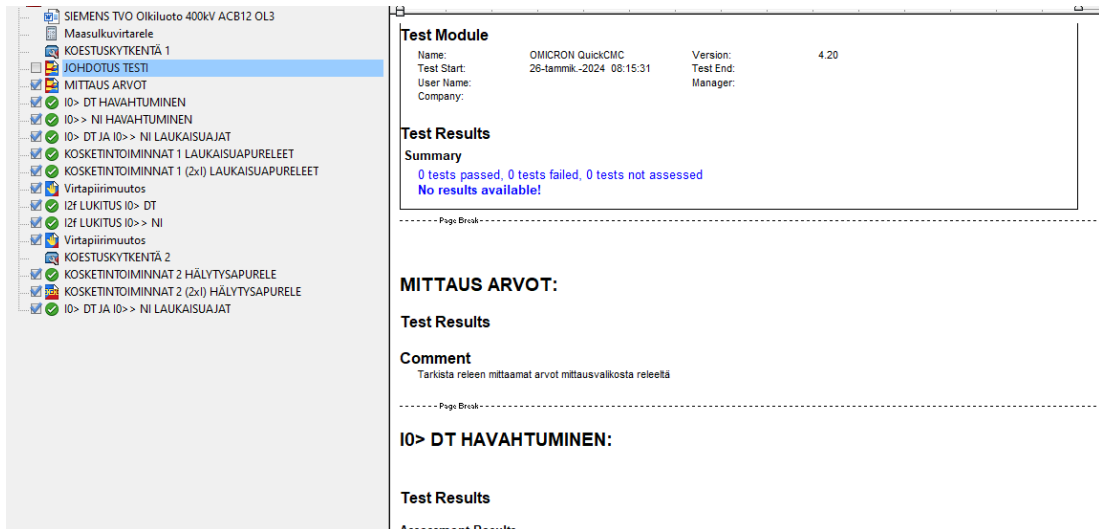


Kuva 11. DIGSI Setting Group A näkymä

(Kuvan asettelut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

Masking I/O (Configuration Matrix) -lohkossa saadaan määriteltäviä valitut laukaisutoiminnot, kuten esimerkiksi ylivirtaporras sekä releen etupaneelin indikaatioledien asettelut releelle. Matriisissa saadaan vietyä ja tuotua logiikalta tietoa. Opinnäytetyössä otettiin asettelut vanhasta releestä ja aseteltiin manuaalisesti uuteen releeseen. Kuvassa 12 on Masking I/O näkymä.





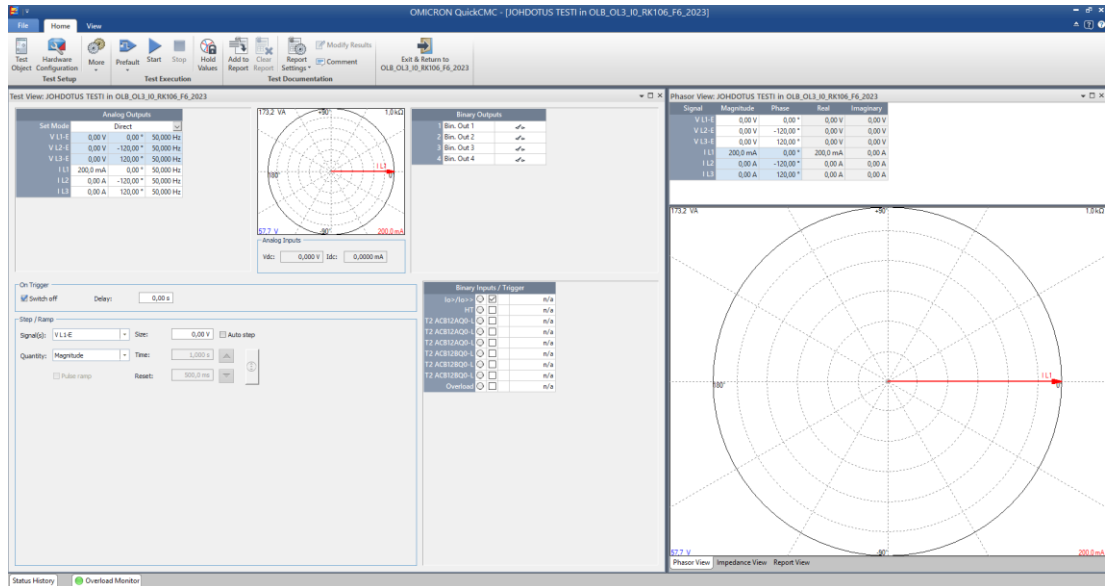
Kuva 13. OMICRON Test Universe näkymä (Kuvan asettelut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

Koestuskytkentä -moduulissa (Global Hardware Configuration) on määritelty tehtävät kytkennät Omicronin jännite- ja virtaulostuloille, sekä Binary input -tiedoille. Seuraavassa kuvassa on Hardware Configuration -valikon Binary / Analog Inputs -näkymä, mihin saadaan määriteltyä kytkentäterminaalit ja otetaanko tiedot potentiaalivapaana vai ei. Potentiaalivapaana Omicron syöttää pienen jännitteen kytkentään, kun taas valinnan poistamalla ohjelmaan voi itse määrittää jännitteen ja kynnysjännitteen, jota Omicron odottaa. Seuraavassa kuvassa 14 on näkymä. Omicron Test Universe Global Hardware Configuration

Global Hardware Configuration		CMC356												Counter										
Function	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	Binary	1	2	N								
Potential Free	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>												
Nominal Range																								
Clamp Ratio																								
Threshold																								
Display Name	Connection Terminal	1+	1-	2+	2-	3+	3-	4+	4-	5+	5-	6+	6-	7+	7-	8+	8-	9+	9-	10+	10-	1	2	N
Bin. in 1		X																						
Bin. in 2				X																				
Bin. in 3						X																		
Bin. in 4								X																
Bin. in 5										X														
Bin. in 6												X												
Bin. in 7														X										
Bin. in 8																X								
Bin. in 9																		X						
Bin. in 10																				X				
Bin. in 11																						X		
Bin. in 12																							X	

Kuva 14. Omicron Test Universe Global Hardware Configuration näkymä (Kuvan asettelut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

Ensimmäinen ohjelman testi on johdotustesti, tällä saadaan tarkastettua, että kytkentä on oikein ja koskettimien tiedot saadaan perille. Tässä johdotustestissä syötetään toisiopuolen virtaa 200mA. Kuvassa johdotustesti, jonka moduulina Omicronissa toimii QuickCMC. Seuraavassa kuvassa 15 on QuickCMC Johdotus testi näkymä:



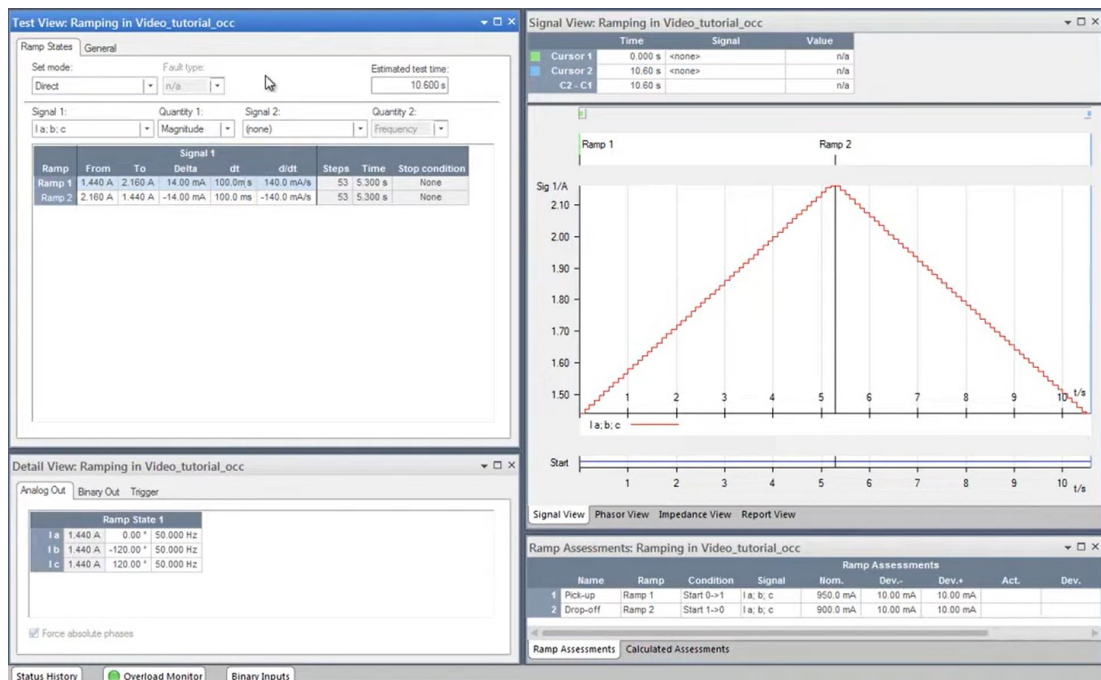
Kuva 15. QuickCMC Johdotus testi näkymä (Kuvan asetellut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

Seuraavassa kuvassa 16 on onnistuneen johdotustestin Binary Input trigger tiedot. Binary Inputia käytetään esimerkiksi pysäyttämään testi, tai arvioimaan releen toimintaa.

Binary Inputs / Trigger			
Io>/Io>>	<input checked="" type="checkbox"/>		6,457 s
HT	<input type="checkbox"/>		61,90 ms
T2 ACB12AQ0-L	<input type="checkbox"/>		6,471 s
T2 ACB12AQ0-L	<input type="checkbox"/>		6,468 s
T2 ACB12AQ0-L	<input type="checkbox"/>		6,468 s
T2 ACB12BQ0-L1	<input type="checkbox"/>		6,469 s
T2 ACB12BQ0-L	<input type="checkbox"/>		6,470 s
T2 ACB12BQ0-L	<input type="checkbox"/>		6,468 s
Overload	<input type="checkbox"/>		n/a

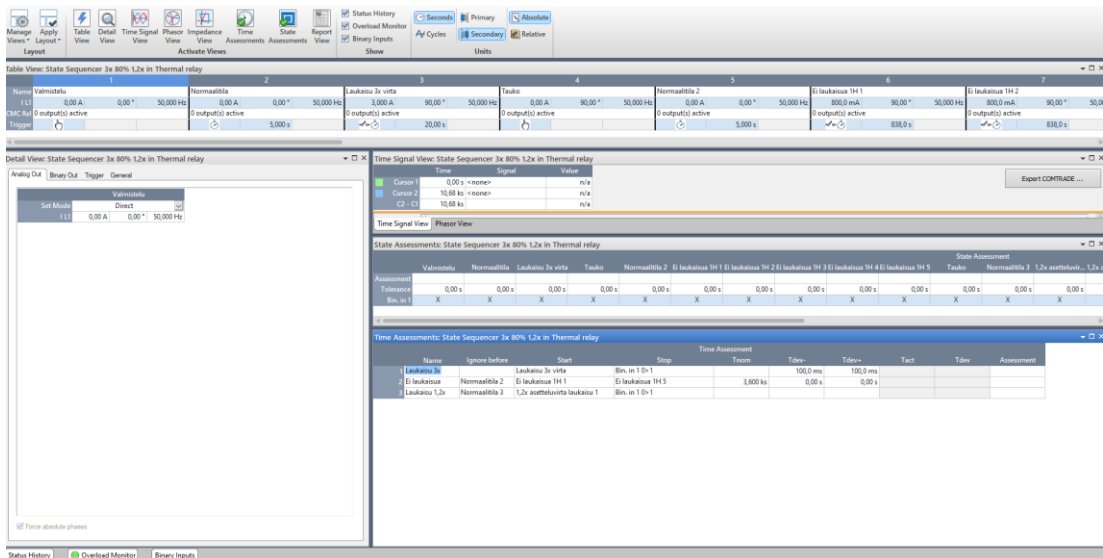
Kuva 16. Test Universe (Kuvan asetellut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

Yksi Omicron-ohjelmassa käytetty testimoduuli on Ramp. Tässä moduulissa ajetaan nimensä mukaisesti asetelusta aseteltuun ramppimaisesti. Ohjelmaan on aseteltu raja-arvot, joiden sisälle releen on päästävä pitääkseen toimintakuntonsa realistisessa vika tilanteessa. Seuraavassa kuvassa on esitetty Ramp moduulin näkymä. Ramp Assessments kohdan Nom. kertoo halutun arvon ja Dev- ja Dev+ tähän sallitun virhemarginaalin.



Kuva 17. Test Universe Ramp-moduuli. (Kuvan asetelut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

Laukaisupureleiden toiminnan testaamisessa käytettiin State Sequencer -testimoduulia. Ohjelma tarjoaa mahdollisuuden hyppiä eri virta- tai jännitetasoja nimensä mukaisesti. Tasoille voidaan asettaa ehtoja, mitä vaaditaan testin jatkumiseen kuten tiettyssä aikamäärässä tapahtunut laukaisutieto tai vaihtoehtoisesti laukaisu ei saa tapahtua 90 % kuormituksella. Seuraavaksi kuvassa 18 on näkymä State Sequencer -testimoduulista:



Kuva 18. Test Universe state Sequencer-moduuli (Kuvan asettelut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

### 6.3 ASENNUKSEN MALLINTAMINEN

Opinnäytetyön asennus mallinnettiin koulutuskäytössä olevaan sähkökaappiin. SIPROTEC 4 -suojarele asennettiin kaapistoon ja kytkettiin vastaamaan tällä hetkellä olevaa vanhaa SIPROTEC 3 -releen asennusta. Erona on, että tässä SIPROTEC 4 päivityksessä otettiin käyttöön apureleet ja hälytysapureleet. Apureleet kytkettiin sarjaan varmistamaan laukaisupiirin toimintavarmuuden mahdollisen apureleen hajoamisen takia. Apureleiden keloille tuotiin jännite Omicronin Aux DC -lähtöterminaalista. Seuraavassa kuvassa apureleet:



Kuva 19. Apureleet

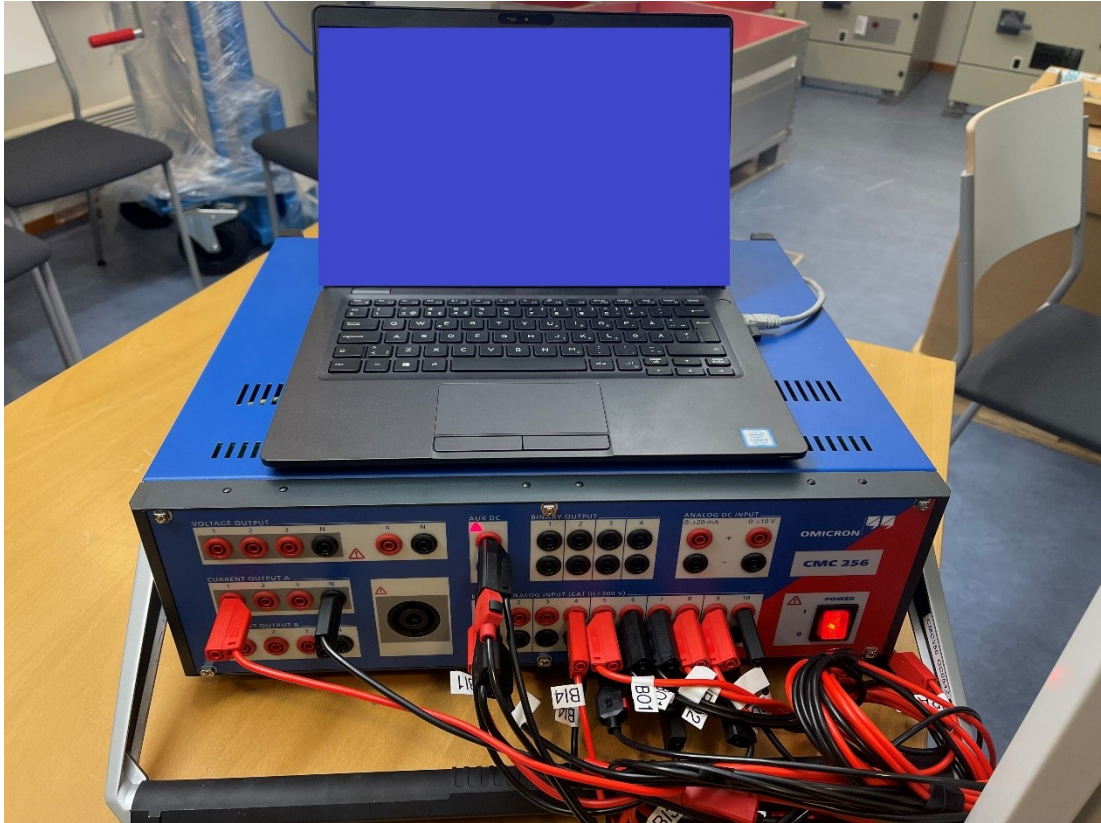


Apureleiltä tuotiin kuusi laukaisua riviliittimille, joihin on kytketty Omicronin Binary Input -kanavasta mittakaapelit. Seuraavassa kuvassa 19 hahmotetaan tilannetta:



Kuva 20. Omicronilla napatut laukaisutiedot riviliittimiltä

Apureleiden asennusten ja suojarleen kytkennän jälkeen kytkettiin Omicron -testilaitteisto ohjelmassa määritettyihin kytkentäterminaaleihin, käynnistettiin Omicron -testilaitte ja avattiin koestusohjelma. Seuraavassa kuvassa on Omicron -testilaitteisto kytkettynä ja testilaitteen päällä tietokone, mikä on yhdistetty Ethernet-kaapelilla testilaitteistoon. Tietokoneella on auki koestusohjelma, jossa on yksi Ramp -testimoduulilla ajettu onnistut koestus.



Kuva 21. Omicron -testilaite käytössä

Seuraavassa kuvassa 21 on suojarleen (SIPROTEC 4) etupaneelistä otettu kuva onnistuneen testin jälkeen, jossa näkyy tiedot havahtumisesta, TRIP -laukaisusta ja niihin kuluneesta ajasta.





Kuva 22. SIPROTEC 4 -suojareleen etupaneeli. (Kuvan asettelut eivät ole yhtenäisiä toteutuksen kanssa)

## 7 YHTEENVETO TYÖSTÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada nykyisen SIPROTEC 3 -suojareleen tilalle varaosa muutossuunnitelma. Opinnäytetyön alussa perehdyttiin teoriaan relesuojauksesta ja koestamisesta. Teorian oppimisen jälkeen aloitettiin tekemään ohjelmistoja DIGSI:llä ja Omicron Test Universella. Ohjelmiston valmistuttua aloitettiin rakentamaan kopiota suojarelekaapista. Kaapin valmistuttua siirryttiin testaamaan uutta suojarelettä sekä tulevaa kytkentää apureleineen. Koestusohjelmat ajettiin Omicron -testilaitteistolla onnistuneesti ja suojarele toimi määritetyllä tavalla. Onnistuneen koestuksen seurauksena pystymme toteamaan opinnäytetyön onnistuneeksi ja mahdollinen varaosamuutos on asennusvalmis tarvittaessa. Työstä laaditaan koestusohje TVO:lle dokumentoitavaksi, jota noudatetaan, varaosamuutosta toteutettaessa.

Opinnäytetyössä opittiin suojareleistyksestä ja Omicron -testilaitteistosta arvokasta tietoa tulevaisuutta varten. Tilaisuus ja ympäristö työlle oli ainutlaatuinen sekä tarjosi mahdollisuuden käyttää opinnäytetyössä opittuja taitoja muihin töihin opinnäytetyön rinnalla.

## LÄHTEET

HV Power. (2015). Customer Newsletter. Haettu 2.12.2023 osoitteesta <https://www.hvpower.co.nz/newsletter/nov14.html>

IEC 60044-1, 61869-1. (n.d). Standardit. <https://online.sfs.fi/>

Mäkinen. M. (2013). Omicron CMC850- ja 356-testilaitteiden käyttöönotto ja simulointi. AMK-opinnäytetyö Vaasan ammattikorkeakoulu. Haettu 10.9.2023 osoitteesta <https://www.theseus.fi/handle/10024/59262>

Mörsky, J. (1992). Relesuojaustekniikka. Otatieto

Omicron. (n.d). Haettu 10.11.2023 osoitteesta <https://www.omicronenergy.com/download/document/7802560C-E761-472E-B21D-17BB49BCAEDC/>

Omicron. (n.d). Haettu 14.11.2023 osoitteesta <https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-356/>

SFS 6002:2015. (2015). Sähkötyöturvallisuus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. <https://online.sfs.fi/>

Siemens Catalog sivut. (n.d). Catalog. Haettu 2.12.2023 osoitteesta <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/nl/Catalog/Products/10251304>

Siemens. (2015). 7SJ62-64 Manual [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743375/7SJ62-64\\_Manual\\_AA\\_V046401\\_us.pdf](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109743375/7SJ62-64_Manual_AA_V046401_us.pdf)

Siemens. (n.d.). Relesuojaus materiaali

Siemens. (n.d.). 7SJ62-63-64 Käyttöohje

Teollisuuden Voima Oyj. (n.d.). Haettu 22.2.2024 osoitteesta

<https://www.tvoy.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol3.html>