



# **SUOJARELEEN AUTOMAATTINEN KOESTUS PROJEKTIKOHTAISILLA ASETUKSILLA**

Jaakko Niemelä

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2015  
Sähkötekniikan koulutusoh-  
jelma  
Automaatiotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka

NIEMELÄ, JAAKKO:

Suojareleen automaattinen koestus projektikohtaisilla asetuksilla

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Joulukuu 2015

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda helppokäyttöinen järjestelmä suojareleiden koestamiseen ennen toimitusta asiakkaalle. Aiemmin suojareleitä ei ole varsinaisesti koestettu vaan suojareleiden toiminta on todettu suurpiirteisellä testillä, joka ilmaisi suojareleen suojausfunktion toimivuuden yleisellä tasolla. Tarkat releen asettelujen mukaiset toimintapisteiden testaukset ovat jääneet loppuasennuksen aikana tehtäväksi. VEO Oy:n käyttöön on jo aikaisemmin hankittu Omicron CMC-356 suojareleiden toisiotestauslaitte, joka on ollut satunnaisessa käytössä ja sitä ei ole varsinaisesti optimoitu VEO Oy:n tarpeisiin. Tämä koestuslaitteen optimointi, eli suojausfunktioiden testaamiseen räätälöidyn ohjelman luominen Omicron CMC-356 -koestuslaitteelle ja projektikohtaisten asetteluarvojen siirto VEO Oy:n projektitietokannasta luotuun relekoestusohjelmaan, oli työn varsinainen päätavoite. Toissijainen tavoite oli saada relekoestuksesta raportti, josta voidaan nähdä tarkasti jokaisen suojausfunktion tarkat toimintapisteet ja joka voidaan luovuttaa asiakkaalle muun dokumentoinnin ohessa.

Työn päätavoitteet täytettiin onnistuneesti ja Omicron CMC-356 relekoestuslaite saatiin suorittamaan VAMP 210 -generaattorin suojareleen tarkat suojausfunktioiden toimintapisteet toisiotestausmenetelmällä. Toissijainen tavoite raportin luonnista testin jälkeen saatiin täytettyä osittain. Raportti tulostuu testin päätteeksi ja siitä nähdään jokaisen suojausfunktion kohdalla tarkasti toimintapisteet, laukaisuajat ja onko testi hyväksytty vai hylätty. Raportointitoiminto toimii, mutta raportin sisältö täytyy käydä läpi kun koko testausprosessi auditoidaan, jotta se saadaan osaksi virallista loppudokumentointia.

Reletestausjärjestelmän kehitys on vasta alkuvaiheessa. Tässä työssä saatiin perusasiat selvitettyä ja seuraavaksi testausprosessi tehdään generaattorin suojareleen osalta niin käyttäjäystävälliseksi, että sähkösuunnittelija voi nappia painamalla luoda valmiin reletestaustiedoston generaattorikohtaisesti ja että tarkastaja tuotannossa saa tuotua testaus-  
toedoston helposti koestuslaitteeseen ja saa ohjeistetun testin käyntiin ilman syvällistä perehtymistä relekoestuslaitteen toimintaan. Tulevaisuudessa järjestelmää kehitetään kattamaan muut generaattoriin liittyvät suojaukset ja tämän jälkeen myös välijännite- ja korkeajännitekenttien relesuojaukset. Tässä vaiheessa testausjärjestelmä voitaneen ottaa käyttöön myös sähkösiirtoverkon suojausten testaamiseen, joten potentiaalia on hyvin paljon.

---

Asiasanat: suojarele, generaattorin suojaus

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Automation Engineering

NIEMELÄ, JAAKKO:

Automatic protection relay test with project specific relay settings

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 3 pages  
December 2015

---

The purpose of this thesis was to create an easy to use system for testing the generator protection relay functions before delivering the system to a customer. Until now the protection relays have not been properly tested by individual protection functions. Instead the general function of the relay has been tested by manually simulating a large fault, which should definitely trip the relay. Testing by using the actual set points programmed into the relay has been done at the system installation location. VEO Oy already owns an Omicron CMC-356 relay test system, which has not been actually optimized for the needs of VEO Oy. The primary aims of this thesis were to create a complete tailored testing program for Omicron CMC-356 and to import the actual relay setting values to the testing program from VEO project database. The secondary aim was to create an automatic detailed test report of the tests performed on the protection relay. This report is planned to be included in the set of documentation given to the customer at the time of delivery.

The primary aims were met successfully and the Omicron CMC-356 relay testing system was programmed to perform a complete set of tests for VAMP 210 generator protection relay by secondary injection method. The secondary aim was met partially. The report was successfully printed after the test cycle, but the actual report data have to be verified by a third party audit so the composition of the report may still change very much.

The creation of complete relay testing system is in its early stages. This thesis solved the basic problems and laid the foundation for future development. Next step is to create user interfaces for an electrical designer and testing personnel in the production facilities so they can create test files and perform the tests without deep knowledge of the actual inner workings of the relay testing equipment. In the future the testing system is developed further to incorporate the other generator protection relays as well and after this support for middle- and high voltage switchgear protection is to be added. At this point the system should be mature enough to be taken into active use in grid protection applications as well. The potential of this project is very high.

---

Key words: protection relay, generator protection

## SISÄLLYS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO .....                               | 7  |
| 1.1   | Työn tavoitteet .....                        | 7  |
| 2     | TEORIA.....                                  | 8  |
| 2.1   | Relesuojaus.....                             | 8  |
| 2.1.1 | Tavoitteet ja periaatteet.....               | 8  |
| 2.2   | Mittamuuntajat.....                          | 10 |
| 2.2.1 | Virtamuuntajat.....                          | 10 |
| 2.3   | Jännitemuuntajat .....                       | 11 |
| 3     | RELEKOESTUS.....                             | 13 |
| 3.1   | Koestusmenetelmät .....                      | 14 |
| 3.2   | Koestuksen suoritus .....                    | 16 |
| 3.3   | Suojausfunktiot .....                        | 17 |
| 3.3.1 | Maasulkusuojaus (59N) .....                  | 19 |
| 3.3.2 | Ylijännitesuojaus (59).....                  | 19 |
| 3.3.3 | Ali-impedanssisuojaus (21).....              | 20 |
| 3.3.4 | Taajuussuojaus (81, 81L & 81R).....          | 20 |
| 3.3.5 | Takatehosuojaus (32).....                    | 21 |
| 3.3.6 | Ylimagnetointisuojaus (24).....              | 21 |
| 3.3.7 | Vinokuormitussuojaus (46).....               | 22 |
| 3.3.8 | Ylikuormitussuojaus (49).....                | 22 |
| 3.4   | Vikojen laukaisu .....                       | 23 |
| 4     | RELEKOESTUSLAITTEISTO.....                   | 24 |
| 4.1   | Omicron CMC-356 relekoestulaite .....        | 24 |
| 4.2   | Omicon Test Universe.....                    | 25 |
| 4.2.1 | Test set association .....                   | 26 |
| 4.2.2 | Testausmoduulit.....                         | 27 |
| 4.2.3 | Quick CMC .....                              | 28 |
| 4.2.4 | Ramping .....                                | 29 |
| 4.2.5 | Pulse ramping .....                          | 30 |
| 4.2.6 | State Sequencer .....                        | 32 |
| 4.2.7 | Muut moduulit .....                          | 33 |
| 4.2.8 | Control Center .....                         | 34 |
| 4.3   | RIO ja XRIO.....                             | 35 |
| 4.3.1 | Link to XRIO.....                            | 36 |
| 5     | RELEASETTELUJEN SIIRTO TESTILAITTEELLE ..... | 38 |
| 5.1   | VEO releasettelutaulukko.....                | 38 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.2   | Visual Basic for Applications .....                                 | 40 |
| 5.3   | XRIO makro .....  | 40 |
| 5.3.1 | Siirtomakron toimintakuvaus .....                                   | 41 |
| 5.4   | Asettelujen siirtotoiminnon rakenne .....                           | 42 |
| 5.5   | XRIO tiedoston linkitys testidokumenttiin ja testien suoritus ..... | 42 |
| 5.6   | Koestuksen raportointi .....  | 43 |
| 6     | AUTOMAATTINEN KOESTUSOHJELMA .....                                  | 45 |
| 7     | TYÖN TARKASTELU .....   | 46 |
| 7.1   | Ensisijaiset tavoitteet .....                                       | 46 |
| 7.2   | Toissijaiset tavoitteet .....                                       | 46 |
| 7.3   | Kehitysmahdollisuudet .....   | 46 |
| 7.4   | Loppupäätelmät .....  | 47 |
|       | LÄHTEET .....   | 48 |
|       | LIITTEET .....  | 49 |
|       | Liite 1. Suunnittelijan tehtävät koestusprosessissa .....           | 49 |
|       | Liite 2. Koestajan tehtävät koestusprosessissa .....                | 50 |
|       | Liite 3. Releasettelujen siirto-ohjelman rakenne .....              | 51 |

## LYHENTEET JA TERMIT

|                      |  |
|----------------------|--|
| RIO                  | Relay Interface by OMICRON   |
| XRIO                 | eXtended Relay Interface by OMICRON  |
| XML                  | eXtensible Markup Language   |
| OCC                  | Omicron Control Center   |
| OTU                  | Omicron Test Universe  |
| VBA                  | Visual Basic for Applications  |
| PLC                  | Programmable Logic Controller  |
| SCADA                | Supervisory Control and Data Acquisition. Tietokoneella toteutettu graafinen käyttöliittymä automaatiojärjestelmiin  |
| .pdf                 | Portable Document Format. Tiedostomuoto, jota käytetään dokumenttien julkaisemiseen sähköisessä muodossa   |
| Disturbance Recorder | Suojareleen ominaisuus, joka nauhoittaa vikatilanteen sekä sitä ennen ja sen jälkeen vallineen tilanteen. Voidaan käyttää myöhemmin vian analysointiin ja simulointiin |
| Syntaksi             | Ohjelmointikielessä käytetty tapa ilmoittaa ohjelmointikieleen varattuja sanoja ja lauseita  |

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin VEO Oy:n toimeksiantamana ja työn tarkoituksena oli saattaa alkuun isompi projekti suoja-areiden käyttöönotto-koestuksen helpottamisessa osittaisella automatisoinnilla. Tämä työ käsittelee VEO Oy:n AD -osastolle hankittua Omicron CMC-356 suoja-areiden toisiotestauslaitetta, sen käyttöä, hallintaohjelmistoa, ohjelmointia ja kehittyneempää testiprojektin automatisointia. Lisäksi perhdyttiin Omicron testilaitteen raportointiominaisuuksiin, jotta suoritetuista testeistä saataisiin kattava, selkeä ja luotettava raportti.

Työn tavoite oli saada suoja-areiden toisiotestaus tehtyä jo tehdaskoestuksessa tuotantovaiheen jälkeen. Nykyään suoja-areiden koestus suoritetaan asennuskohteessa käyttöönoton yhteydessä. Tämä on hyvin aikaavievä prosessi ja vaatii isokokoisten koestuslaitteiden kuljetuksen työmaille, jotka ovat joissain tapauksissa hyvinkin eristyneissä ympäristöissä. Lisäksi erikoistyökalujen kuljettaminen tiettyihin maihin on osoittautunut hyvin hankalaksi paitsi logististen haasteiden myös vallitsevien tulli- ja kulttuuristen käytäntöjen osalta. Suoja-areiden koestusta myydään VEO Oy:n toimesta myös palveluna ja koestusprosessin automatisointi mahdollistaisi palvelun tehostamisen ja paremman kilpailukyvyn kilpailijoihin nähden.

### 1.1 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön ensisijaisena tavoitteena oli saada Omicron CMC-356 suorittamaan VAMP 210 generaattorin suoja-areiden toisiotestauksen mahdollisimman automaattisesti projektikohtaisilla releasetteluilla. Tätä varten täytyi perehtyä suoja-areisiin, suoja-areiden koestuksen suoritukseen ja suoja-areiden koestuslaitteistoon. Vaatimukseen kuului myös ohjelmointia (VBA) sekä suoja-areiden suojausfunktioiden testauksen suunnittelu ja rakentamista.

Toissijaisena tavoitteena työssä oli luoda raportti suoritetusta koestuksesta. Raportin vaatimuksina oli näyttää jokaisen testin osalta asettelu- ja testausarvot sekä suoritettujen testien tulokset selkeästi ja luotettavasti. Raportin muodostuminen tuli olla automaattista ja testin suorituksen jälkeen tulostua automaattisesti tai olla helposti manuaalisesti tulostettavissa pdf-tiedostomuotoon.

## 2 TEORIA

Työn teoriaosuudessa käydään läpi yleisellä tasolla työn tekemiseen liittyvä teoria relesuojauksen, koestuksen ja ohjelmistojen osalta.

### 2.1 Relesuojaus

Sähköenergian siirto ja jakeluverkot on varustettava sopivilla suojausjärjestelmillä. Vikojen ja häiriöiden itsetoimivalla nopealla poistamisella on tärkeä merkitys sähköntoimituksen turvallisuudelle ja luotettavuudelle. (Sähkölaitostekniikan perusteet 2007.)

Laitteita, jotka ohjaavat katkaisijoita kutsutaan suojarieleiksi. Relesuojaustekniikka on osa sähköverkon automaatiota ja edustaa automaation vanhimpia sovelluksia. Releitä on käytetty ja valmistettu 1900-vuosisadan alusta. Releet ovat mittalaitteiden tapaisia laitteita, jotka tarkkailevat sähköverkon suureita ja pystyvät havaitsemaan verkon epänormaalit tilat kuten ylikuormitukset, oikosulut, maasulut, yli- ja alijännitteet ja johdinkatkokset. Suojarele ohjaa vikaa lähimpänä olevan katkaisijan tai katkaisijat auki. Suojareleitä käytetään pääasiassa voimalaitoksissa, sähköasemilla ja kytkinlaitoksissa. (Sähkölaitostekniikan perusteet 2007.)

#### 2.1.1 Tavoitteet ja periaatteet

Suojareleiden suojaustoimintojen päätarkoituksena on pienentää sähköverkon tai sen komponentin vian aiheuttama vahinko mahdollisimman pieneksi. Vikatilanteita varten on oltava suojausmenetelmä, joka toimii aina vian sattuessa varmasti ja riittävän nopeasti. Tämä asettaa tiukat vaatimukset suojaustoimintojen suunnittelulle ja toteutukselle. Kun suoja reagoi asetteluarvojen ylittymiseen, se antaa joko hälytyksen valvomoon tai laukaisukäskyn katkaisijalle, joka erottaa suojattavat komponentit sähköverkosta. Yksittäistä vakiintunutta tapaa tai standardia ei suojaukseen ole, vaan suojauksen toteutus, asetteluarvot sekä suojalaitteiden välinen koordinointi voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla ja tekniikoilla. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)



Ensisijaiset suojalaitteet mittaavat yleensä virtaa, jännitettä, lämpötilaa tai painetta. Ensisijaiset suojalaitteet useimmiten irrottavat suojattavat laitteet verkosta mitattavan arvon ylittäessä asetteluarvot. Osa suojatoiminnoista on seuraussuojausta, jolloin tarkastettavaa arvoa ei mitata reaaliaikaisesti vaan tietyin väliajoin tapahtuvilla tarkastuksilla. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

Vian havaitsemattomuus tai releen aiheeton toiminta voi johtaa sähkön laadun huononemiseen ja vakaviin seuraamuksiin. Suojareleille on määritelty seuraavat yleiset vaatimukset, jotka niiden on täytettävä:

- Toiminnan on oltava selektiivistä, jotta vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä.
- Toiminnan on tapahduttava riittävän nopeasti ja herkästi, jotta vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät kohtuullisiksi, sekä verkon stabiilisuus säilyy kaikissa olosuhteissa.
- Suojauksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä.
- Suojauksen on oltava mahdollisimman yksinkertainen ja käyttövarma.
- Suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla.
- Suojauksen on oltava kohtuullinen hankintakustannuksiltaan.

Suojareleet ja niiden ohjaamat katkaisijat muodostavat suoja-alueita. Jos suojattavat alueet peittävät toisensa, sanotaan suojausta aukottomaksi. Suoja on absoluuttisesti selektiivinen, kun se toimii vain omalla suoja-alueellaan tapahtuvissa vioissa. Aikaan perustuvaa selektiivisyyttä sanotaan aikaselektiivisyydeksi ja virtaan perustuvaa virtaselektiivisyydeksi. Suoja-alueita voivat olla esimerkiksi johdot, muuntajat, generaattorit ja moottorit. (Relesuojaustekniikka 1992.)

Tärkeille suojauskohteille, kuten kantaverkolle, suurille generaattoreille ja muuntajille on lisäksi järjestettävä käyttövarmuussyistä erillinen varasuojaus. Releitä saatetaan käyttää muihinkin sähköasema-automaatiotehtäviin. Releet eivät yksin pysty suoriutumaan suojaustehtävistä, vaan tarvitsevat avukseen mittamuuntajat, katkaisijat, apuenergiälähteet, hälytys- ja raportointikeskukset sekä mittaus-, laukaisu- ja tiedonsiirtoyhteydet. (Sähkölaitostekniikan perusteet 2007; Relesuojaustekniikka 1992.)

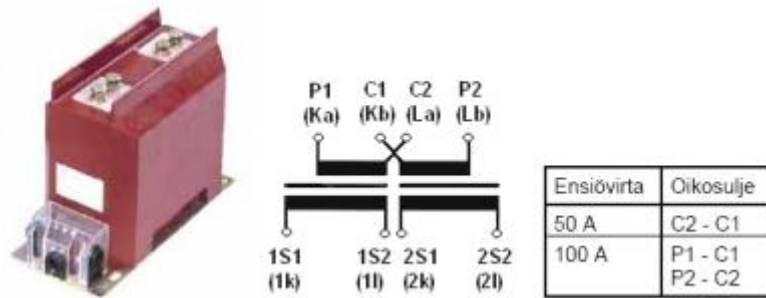
## 2.2 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat ovat virran tai jännitteen mittaukseen tarkoitettuja muuntajia. Niiden tehtävänä on skaalata mittaukset standardoinnin mahdollistamiseksi. Mittamuuntajat erottavat mittauspiirit päävirtapiiristä, suojaavat mittauspiiriä ylikuormitukselta ja mahdollistavat mittalaitteiden sijoittaminen etäälle mittapaikasta. Ideaalimuuntajan nimellismuuntosuhde on ensiötehollisarvo jaettuna toisiotehollisarvolla. Todellisuudessa virtamuuntajissa raudan permeanssista syntyvä magnetointivirta aiheuttaa virtavirhettä. Sen suuruus riippuu mitattavasta virrasta ja virtamuuntajan toisiotaakasta. Jännitemuuntajilla impedanssit aiheuttavat jännitehäviöitä, jotka ovat riippuvaisia kuormitusvirrasta. (Relesuojaustekniikka 1992.)

### 2.2.1 Virtamuuntajat

Verkon vikavirtojen mittaus on haastavaa, koska vikavirrat voivat olla suuruudeltaan kymmeniä tai jopa satoja kertoja suurempia kuin normaalitoiminnan aikaiset virrat. Vikavirrassa esiintyy myös tasavirtakomponentti, joka hankaloittaa virran mittaamista vikatilanteessa entisestään. Virtamuuntajassa on omat toisiopiirit mittaus- ja suojaustoiminnoille, koska näiden vaatimukset ovat erilaisia. Virtamuuntajan ensiö, sijoitustila ja eristys on sekä mittaus- että suojaustoiminnoille samat. Samassa virtamuuntajassa saattaa olla useita suojaussydämiä. Virtamuuntajan ensiön liittimet on merkitty tunnuksilla P1 ja P2. Toisiopuolella mittauskäämityksen merkinnät ovat 1S1 ja 1S2 sekä suojauskäämitykselle 2S1 ja 2S2. (Relesuojaustekniikka 1992.)

Virtamuuntajissa on usein myös vaihtokytkenmahdollisuus, jolloin muuntajan muuntosuhdetta voi muuttaa kytkemällä käämityksiä rinnan ja sarjaan. Lähes aina vaihtokytkeä toteutetaan ensiöpuolella, jolloin kaksi käämitystä kytketään ensiössä rinnakkain ja näiden sarja- tai rinnankytkennällä voidaan muuntosuhdetta vaihtaa. Toisio on muistettava oikosulkea aina suojarelettä koestettaessa tai huollettaessa. Muuten toisoliittimien välinen jännite voi kasvaa erittäin suureksi. (Relesuojaustekniikka 1992.)



Kuva 1. Kahdelle eri virralle ensiöpuolelta kytkettävä virtamuuntaja sen liittimet ja kytkennät

Virtamuuntajille on määritelty IEC 61869-1 standardissa tarkkuusluokat. Tarkkuusluokka määrittää virtamuuntajan mittaustarkkuuden prosentteina nimellisvirrasta. Esimerkiksi luokan 1 virtamuuntajan tarkkuus on 1% sen nimellisvirrasta. Luokat ovat 0.1, 0.2s, 0.2, 0.5, 0.5s, 1 ja 3.

### 2.3 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajien tehtävä on jännitteen syöttö mittaustarkoitukseen mittareille ja suojaustarkoitukseen releille. Jännitteiden mittaustapoja on erilaisia. Käytännössä yleinen on magneettinen jännitemuuntaja ja kapasitiivinen jännitemittaus, mikä on kapasitiivisen jännitteenjakajan ja magneettisen jännitemuuntajan yhdistelmä. Laboratorioissa käytetään myös resistiivisiä jännitteenjakajia. Tehtävät asettavat erilaisia vaatimuksia jännitemuuntajille. Suomessa yleinen mittatarkkuusluokka on 0,2 ja suojaustarkkuusluokka 3P (P = protection). (Relesuojaustekniikka 1992.)

Magneettisia jännitemuuntajia käytetään alle 123 kV:n jännitteillä. Niissä on yleensä yksi rautasydän ja ensiökäämitys. Toisiossa on useimmiten yhteinen mittaus ja suojauskäämi, joka täyttää molempien vaatimukset. Mittarit ja releet kytketään tällöin rinnan muuntajan toisioon. Toision avokolmiokäämitystä käytetään nollajännitteen mittaukseen ja siten maasulkusuojaukseen. Jännitemuuntajan toisiota ei saa koskaan oikosulkea. Ne tulee varustaa ylivirta ja oikosulkusuojaalla, jonka toimimisesta saadaan hälytys. Tämä on hyvä tarkistaa myös koestettaessa. (Relesuojaustekniikka 1992.)

Magneettisen jännitemuuntajan erikoistapaus on ns. kaskadijännitemuuntaja, jossa ensiökäämi on kahden tai useamman sydämen ympärillä. Ratkaisussa on helpompi tehdä

ensiöpuolen eristys ja sitä käytetäänkin 400 kV:lla ja sitä suuremmilla jännitteillä. (Relesuojaustekniikka 1992.)

### 3 RELEKOESTUS

Sähköturvallisuusstandardien SFS6000 ja SFS6001 mukaan on yli 1000 V sähköaseman ylivirta ja maasulkusuojien asettelut, toiminta ja kunto tarkastettava käyttöönoton yhteydessä sekä vähintään kolmen vuoden välein. Tämän lisäksi sähköturvallisuusstandardeissa todetaan, että sähkölaitteet ja laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava siten, että niistä ei aiheudu henkeen, terveyteen tai omaisuuteen kohdistuvaa vaaraa. Sähkölaitteet ja laitteistot eivät saa myöskään aiheuttaa sähköisesti tai muulla tavoin kohtuutonta vaaraa ympäristölleen. (VAMP 265 -suojareleen käyttöönotto-ohje. 2010)

Nimellis- ja koestusarvot muodostavat kojeen tärkeimmät tekniset tiedot. Nimellisarvot määrittellään tavallisesti kojeiden jatkuvan normaalin käyttötilanteen mukaisina. Koestusarvoilla pyritään takaamaan kojeen moitteeton toiminta normaali- ja poikkeustilanteissa. (Sähkölaitostekniikan perusteet. 2007)

Relesuojaukseen kuuluvat suojareleiden lisäksi myös mittamuuntajat, katkaisijat, apusähköyhteydet sekä releiden tarvitsemat apuyhteydet. Koestuksessa on tunnettava kaikki relesuojaukseen kuuluvat kojeet sekä suojausfilosofia, jotta pystytään määrittelemään, toimiiko suojaus oikein. Lähtökohdan koestuksille muodostaa vaatimus, että suojauksen on joka hetki oltava toimintavalmis ja tarkkailtava verkon tilaa, jotta se pystyisi vian sattua erottamaan viallisen osan luotettavasti, nopeasti ja selektiivisesti oikein. (Relesuojaustekniikka. 1992; VAMP 265 -suojareleen käyttöönotto-ohje 2010.)

Suojareleistyksen edustavat kehittyneitä tekniikkaa, jonka liittyminen verkon rakennus ja käyttötekniikkaan asettaa niistä vastaaville ammattilaisille suuret vaatimukset. Työkenttä on laaja ja tehtävät monipuolisia, joten tarkastus- ja koestustyöhön on keskityttävä erikoistumalla. (Relesuojaustekniikka. 1992; VAMP 265 -suojareleen käyttöönotto-ohje 2010.)

Koestusta voidaan helpottaa ottamalla jo suojauksen suunnitteluvaiheessa huomioon koestuksen vaatimukset. Tämä tarkoittaa katkaistavien liittimien asentamista tärkeimpiin piireihin ja muutenkin liittimien harkittua ryhmittelyä. Suojauspiireihin voidaan myös asentaa koestusvaihtokytkimiä helpottamaan ja nopeuttamaan käytönaikaista

koestusta. (Relesuojaustekniikka. 1992; VAMP 265 -suojareleen käyttöönotto-koestusohje 2010.)

Koestuksen voi suorittaa useimmiten yksi henkilö, mutta joissakin testauksissa tarvitaan avuksi toista henkilöä. Koestusparin käyttö nopeuttaa toimintaa, auttaa havaitsemaan inhimillisiä virheitä ja parantaa turvallisuutta. Suuria kohteita koestettaessa saattaa olla tarkoituksen mukaista käyttää useaa koestajaa tai koestajaparia. Käyttöönotto-koestuksilla ei ole vaikutusta sähkön laatuun, mutta määräaika-koestukset saattavat aiheuttaa sähkön toimituksen keskeytymisiä. (Relesuojaustekniikka. 1992; VAMP 265 -suojareleen käyttöönotto-koestusohje 2010.)

### **3.1 Koestusmenetelmät**

Käyttöönotto-koestuksen tavoitteena on kokeilla käytännön toimintoja ja eri laitteiden toimintaa. Käyttöönotto-koestuksessa mitataan suojareleiden ja säätimien suureita ja simuloidaan sekä käyttötilanteita että vikatilanteita. Mittaukset suoritetaan käytön vaatimalla tarkkuudella, jolla varmistetaan laitteiston moitteeton toiminta. Ennen koestuksen aloittamista on tiedettävä kunkin suojalaitteen merkitys järjestelmässä, jotta voidaan todeta järjestelmälle asetetut vaatimukset

Käyttöönotto-koestukseen käytetään seuraavia koestustapoja:

- suojauksen ensiökoestus
- suojauksen toisiokoestus
- suojauksen valehäiriökoestus
- suojareleen koestus.

Koestustavoista kaikkein luotettavin on ensiökoestus, koska se kattaa kaikki laitteet jotka ovat mukana suojauksessa. Käytännössä ensiökoestaminen on niin hankalaa suurten koestusvirtojen ja –jännitteiden vuoksi, että koestukset suoritetaan yleensä toisiokoestuksina. Suojauksen valehäiriökoestuksessa ensiöpuolelle luodaan tarkoituksella vika, jonka avulla voidaan todeta suojan toiminta. Käytettäessä koestustapana suojareleen koestusta, irrotetaan suojarele suojauspiiristään ja kytketään koestuslaitteistoon. Tämä koestustapa soveltuu esimerkiksi siihen, että suojareleen toiminta testataan asetuilla parametreilla ennen sen asentamista kojeistoon. Suojareleen koestuksessa voidaan

vielä helposti säätää suojausasetuksia, mikäli testauksen aikana havaitaan niissä ongelmia. Asennuksen jälkeen suojauslaitteelle tehdään toisiokoestus, jotta saadaan varmuus toiminnasta järjestelmässä.

Toisiokoestamiseen tarvitaan koestuslaite, joka on joko kolmi- tai yksivaiheinen. Monipuolisimmissa koestuslaitteissa on jopa kuusi erikseen asetettavaa virtalähtöä. Kuusi-kanavainen toisiokoestuslaite on erityisen käyttökelpoinen, esimerkiksi differentiaalisojaa koestettaessa. Sähkölaitokset suosivat vähäisen koestustarpeen vuoksi yksivaiheisia koestuslaitteita, koska ne ovat huomattavasti halvempia ja käyttäjäystävällisempiä kuin kolmivaiheiset koestuslaitteet. Kolmivaiheisten koestuslaitteiden etuna on se, että toiminta on nopeampaa ja suorituskyky on parempi kuin yksivaiheisilla koestuslaitteilla. Kolmivaiheisia koestuslaitteita käyttävätkin sekä käyttöönottokoestuksiin erikoistuneet yritykset että suojauslaitteiden valmistajat. (VAMP 265 -suojauslaitteiden käyttöönotto-ohje. 2010)

Riippumatta käytettävästä koestuslaitteesta, ei niistä mikään ole täysin riskitön sähköturvallisuutta ajatellen. Huolellisuudella ja sähköturvallisuusmääräysten noudattamisella voidaan riskiä pienentää huomattavasti.

Koestuksessa on otettava huomioon seuraavat sähköturvallisuusnäkökohdat:

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

Vaikka koestuslaitteiden kytkennät on tehtävä sähköturvallisuusnäkökohtien mukaisesti, voivat virheelliset kytkennät aiheuttaa vaaratilanteita. Myös koestuskytkentöjen purkaminen huolellisesti ja oikeassa järjestyksessä on erittäin tärkeää. Järjestyksessään viimeisenä ennen jännitteiden kytkemistä, puretaan työmaadoitukset. (VAMP 265 -suojauslaitteiden käyttöönotto-ohje 2010.)

### 3.2 Koestuksen suoritus

Koestus aloitetaan varmistamalla, että suojarieleen kytketyt mittauspiirit ovat jännitteettömät. Kun jännitteettömyys on todettu, aloitetaan releeseen kytkettyjen mittauspiirien, lähtörelekytkentöjen ja mahdollisten DI-tulojen irtikytkentä. Mittamuuntajien toisiovirtapiirit on tärkeä muistaa oikosulkea ennen niiden irrottamista. Ennen yhdenkään johtimen irrottamista tulee varmistua johtimen luotettavasta merkkauksesta. Kun johtimet on irrotettu, kytketään releen liittimille koestuslaite ja muut lähtöreleiden indikointiin tarvittavat laitteet. Suojareleen laukaisulähtöreleen koskettimet kytketään koestuslaitteen ajanottolaitteelle. Tarvittaessa voidaan koestuslaitteesta riippuen kytkeä siihen yhtäaikaaisesti myös muita koskettimia. Koestettaessa katkaisijan toimintaa ja todellisia ensiöpiirin laukaisuaikoja mitattaessa otetaan ajanotto katkaisijan apukoskettimilta tai pääkoskettimilta. Toiminnallisesti vähemmän tärkeiden koskettimien indikointiin voidaan käyttää yleismittareita. (Generaattorin suojarieleen käyttöönotto- ja koestuskäsikirja 2004.)

Koestus suoritetaan suojausfunktio kerrallaan. Tarvittaessa releen muita suojausfunktioita ja toimintoja voidaan kytkeä koestuksen ajaksi pois käytöstä. Esimerkiksi lähtökenttien jälleenkytkennät joudutaan kytkemään pois käytöstä suojausfunktioita koestettaessa. Yksittäisistä suojausfunktioista koestetaan ensin niiden havahtumistaso. Havahtumistaso koestetaan syöttämällä releen mittauskanavaan normaalitilan virtaa, jännitettä tai taajuutta. Suuretta nostetaan tai lasketaan suojausfunktioista riippuen, kunnes rele havahtuu. Havahtumistason koestuksen yhteydessä on hyvä koestaa myös releen palautumisarvo. Palautumisarvo saadaan koestettua laskemalla koestussuuretta kunnes rele palautuu normaalitilaan. (Generaattorin suojarieleen käyttöönotto- ja koestuskäsikirja 2004.)

Suojakohtaisen koestuksen toinen vaihe on laukaisuajan koestus. Mittauskanavaan syötetään asetteluarvoon nähden selkeästi suurempaa suureen arvoa, jolloin suoja havahtuu heti ja suorittaa laukaisun asetellun toiminta-ajan kuluttua. Vian kytkentähetkestä laukaisuun kuluva toiminta-aika mitataan. Mikäli tulokset ovat asettelujen mukaisia riittäväällä tarkkuudella ja suojat toimivat moitteettomasti, kirjataan tulokset mittauspöytäkirjaan. (Generaattorin suojarieleen käyttöönotto- ja koestuskäsikirja 2004.)



### 3.3 Suojausfunktiot

Suojaustoimintojen tarvittava määrä riippuu toteutettavasta kohteesta ja siitä miten kohde sijoittuu verkkoon ja vaikuttaa muihin suojauksiin. Esimerkiksi generaattorin suojauksessa suojaustoimintojen määrä ja niiden toteutustapa riippuu useasta eri tekijästä. Muun muassa generaattorin koko ja tärkeys sekä monet muut tapauskohtaiset tekijät, kuten suunnittelijoiden kokemukset ja suojausfilosofiat vaikuttavat suojauksen toteuttamiseen. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

Relesuojaukseen liittyviä kojenumeroita on selitetty IEC 60617- ja ANSI/IEEE C37.2-1991 standardeissa, joista työn kannalta oleellimmat on kerätty taulukkoon 1. Seuraavissa luvuissa esitetään myös esimerkkinä muutama generaattorin suojauksessa käytetty suojausfunktio.

**Taulukko 1. IEC 60617- ja ANSI/IEEE C37.2-1991 standardien määrittelemiä suojausfunktioiden kojenumeroja**

| Kojenumero | Selitys  |
|------------|--|
| 2          | Aikarele   |
| 12         | Laite, joka toimii koneen pyörimisnopeuden ylittäessä asetellun arvon  |
| 14         | Laite, joka toimii koneen pyörimisnopeuden alittaessa asetellun arvon  |
| 21         | Distanssirele  |
| 25         | Synkronointi- ja jänniteterkistusrele  |
| 26         | Laite, joka toimii lämpötilan ylittäessä tai alittaessa asetellun rajan  |
| 27         | Alijänniterele   |
| 32         | Tehonsuuntarele  |
| 37         | Alivirta- tai alitehorele  |
| 40         | Koneen alimagnetointisuoja   |
| 46         | Virtoihin perustuva vaihejärjestys- tai epäsymmetriasuoja  |
| 47         | Jännitteiden myötä- tai vastakomponenttia tai vaihejärjestystä mittaava suojarle   |
| 48         | Rele, joka toimii jos laitteen normaali käynnistys, käyttö tai pysäytys ei toimi   |
| 49         | Lämpörele  |
| 50         | Ylivirtasuoja, pikalaukaisutoiminto  |
| 50N        | Nollavirtaa mittaava ylivirtasuoja, pikalaukaisutoiminto   |
| 51         | Ylivirtasuoja, vakioaika- tai käänteisaikatoiminto   |
| 51N        | Nollavirtaa mittaava ylivirtasuoja, vakioaika- tai käänteisaikatoiminto  |
| 52         | Vaihtovirtakatkaisija  |
| 55         | Rele, joka toimii vaihtovirtapiiriin tehokertoimen ylittäessä tai alittaessa asetellun arvon   |
| 59         | Ylijänniterele   |
| 60         | Tasapainorele, joka toimii kahden jännitteen tai virran erotuksen ylittäessä asetellun arvon   |
| 67         | Suunnattu ylivirtarele   |
| 67N        | Suunnattu maasulkurele   |
| 68         | Lukitusrele, joka estää toisen releen laukaisun  |
| 78         | Vaihekulmarele tai tahdistaputoamisrele, joka toimii kahden jännitteen tai kahden virran tai jännitteen ja virran vaihekulman ylittäessä asetellun rajan |
| 79         | Jälleenkytkentärele  |
| 81         | Taajuustele, joka toimii asetellulla taajuuspoikkeamalla tai asetellulla taajuuden muutosnopeudella  |
| 87         | Erovirtarele   |
| 87N        | Nollavirtaa mittaava erovirtarele  |

### 3.3.1 Maasulkusuojaus (59N)

Maasulkusuojauksessa suojataan generaattoria staattorin maasulun varalta ja erotetaan generaattori sähköverkosta, ennen kuin maasulusta johtuvat vikavirrat vahingoittavat staattoria. Se kuinka maasulku havaitaan ja tilanteen varalta suojaudutaan, riippuu generaattorin maadoitusmenetelmästä. Mikäli generaattori on maadoitettu suuren impedanssin kautta on tarkkuus tärkeämpää kuin laukaisunopeus maasulun tapahtuessa, koska vikavirrat pysyvät pieninä. Pienen impedanssin kautta maadoitetun generaattorin suojauksessa vastaavasti pyritään mahdollisimman nopeaan laukaisuun vikatilanteessa. Jos generaattori on maadoitettu jakelumuuntajan avulla, voidaan maasulkutilanne havaita nollajohtimesta. Maasulkusuojaus kytketään rinnan maadoituksessa käytetyn muuntajan toisiopuolelle sijoitetun resistanssin tai reaktanssin kanssa, jolloin se havaitsee staattorikäämin maasulusta aiheutuvan nollajohtimen jännitteen nousun. Suojaus havaitsee sitä suuremman jännitteen, mitä lähempänä generaattorin liittimiä maasulku tapahtuu. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

### 3.3.2 Ylijännitesuojaus (59)

Ylijännitesuojan tarkoituksena on suojata generaattoria ja sen kojeistoja haitallisen suurilta jännitteen nousuilta. Generaattorit suunnitellaan yleensä niin, että ne voivat toimia nimellistaajuudella jännitteen ollessa 105 % nimellijännitteestä. Ylijännitteet voivat aiheuttaa vaurioita eristyksille sekä haitallisen suuren magneettivuon tiheyden, kun jännitteen ja taajuuden välinen suhde kasvaa. Ylijännitteelle voidaan joutua esimerkiksi tilanteissa, joissa suuri kuorma putoaa äkkiä verkosta tai automaattinen jännitteensäätäjä vikaantuu. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

Ylijännitesuoja mittaa kiskoston pääjännitteitä ja vertaa suurinta niistä asetteluarvoon. Koestuksessa jännitettä nostetaan nimellisestä kunnes suoja havahtuu. Suojan toiminta-aika koestetaan syöttämällä releeseen 10 % havahtumisrajaa suurempaa jännitettä. Ylijännitesuojaa koestettaessa on huomioitava releen mittauskanavan suurin sallittu jännite. Liian suurta jännitettä käyttämällä voi rikkoa releen mittauskanavan. (Relekoestuksien suunnittelu Omicron CMC 256-6 -testilaitteistolla 2005.)

### 3.3.3 Ali-impedanssisuojaus (21)

Impedanssisuojaa käytetään estämään generaattoria syöttämästä vikavirtaa vikapaikkaan verkossa tapahtuneen pitkittyneen oikosulun aikana. Suoja irrottaa generaattorin verkosta, jos sähköverkon releet eivät reagoi vikaan ja generaattori tai muuntaja ovat vaarassa vahingoittua. Suoja laskee impedanssin mittaamalla generaattorin nollajohtimen virran generaattorin liittimistä mitatun jännitteen avulla. Se toimii näin generaattorin ja päämuuntajan suojana. Suojattavissa kohteissa tapahtuville oikosuluille on määritettävä pienin mahdollinen aikaviive. Näin se toimii myös differentiaalisuojan nopeana varasuojana. Verkossa tapahtuvien vikojenlaukaisuviiveiden asettelussa on huomioitava verkon muiden samalla toiminta-alueella toimivien releiden asetteluarvot. Suojareleelle voidaan asettaa toimintaviive joka ottaa huomioon verkossa tapahtuvat stabiilit heilahtelut, jotta suoja ei irrota generaattoria turhaan näiden seurauksena. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

### 3.3.4 Taajuussuojaus (81, 81L & 81R)

Verkossa tapahtuvien muutoksien vuoksi, verkon taajuus vaihtelee nimellistaajuudesta. Verkon taajuus nousee mikäli tehon tuotanto ylittää sen hetkisen kulutuksen. Vastaavasti verkon taajuuden lasku nimellisen alapuolelle voi johtua esimerkiksi suuren tuotantoyksikön irtoamisesta verkosta, jolloin energiaa tuotetaan kuormille liian vähän. Tämä voi johtaa verkkoon kytkettyjen generaattorien tehorajojen ylittymiseen. Ylitaajuus on vähemmän haitallinen generaattorille alitaajuuteen nähden. Koska ylitaajuus johtuu liian suuresta tehon tuotosta verkkoon, on se helposti säädettävissä ja näin taajuus saadaan laskettua takaisin halutulle tasolle. Alitaajuutta ei voida korjata samalla tavoin, koska nimellistaajuutta alempi taajuus verkossa johtuu liian suuresta kuormasta suhteessa tehon tuotantoon. Liian suuri kuormitus voi johtaa verkkoon kytkettyjen generaattorien toimintarajojen ylittymiseen. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

Generaattorin toiminta nimellistaajuuden alapuolella olevalla taajuudella on usein ylitaajuutta haitallisempaa. Tämän vuoksi ovat sallitut toiminta-ajat alitaajuudella ylitaajuusalueita lyhyempiä. Taajuussuoja suojaa generaattoria ja voimakonetta erottamalla generaattorin verkosta verkon taajuuden vaihdelta yli sallittujen rajojen. Mikropro-

sensoripohjaisella tekniikalla voi suojaus taltioida aikaisemmat toiminta-ajat, jolloin on toimittu nimellisestä poikkeavalla taajuudella. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

### **3.3.5 Takatehosuojaus (32)**

Takatehosuojan tarkoituksena on estää tilanteet, joissa generaattori alkaa toimia moottorina ja näin pyörittää voimakonetta sähköverkon tahdissa. Tällainen tilanne on mahdollinen, jos voimakoneen pyörittämiseen tarvittava teho menetetään jostain syystä ja generaattori pysyy kytkettynä sähköverkkoon. Tahtigeneraattori voisi toimia pitkään moottorina vahingoittumatta ja ottaa tarvittavan magnetointivirran sähköverkosta. Verkkokaan ei kokisi vakavia häiriöitä menetettyä tuotantoa lukuun ottamatta. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

Takatehosuojan pääasiallisena tarkoituksena on suojata voimakonetta, joka altistuu useille vahingollisille ilmiöille generaattorin pyörittäessä sitä. Voimakoneen tyyppi vaikuttaa siihen, kuinka vahingollinen ilmiö on sille. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

### **3.3.6 Ylimagnetointisuojaus (24)**

Ylimagnetointisuojan tehtävänä on suojata generaattoria ja muuntajaa ylimagnetoitumasta ja samalla toimia ylimagnetointirajoittimen varasuojana magnetointijärjestelmän vikaantuessa. Ylimagnetointia mitataan jännitteen ja taajuuden suhteella. Täydellä kuormalla toimiessa generaattorin ylimagnetoitumisrajana pidetään 105 %. Tämän arvon ylittyessä alkaa magneettisissa rakenteissa esiintyä kyllästymistä magneettivuon tiheyden nousemisen vuoksi. Liian tihestä magneettivuosta syntyvä lisälämpö voi aiheuttaa eristeiden vahingoittumista. Jännitteen ja taajuuden välisen suhteen nouseminen voi myös kasvattaa pyörrevirtoja runkorakenteissa ja kasvattaa suuria jännitteitä näiden välille. Ylimagnetointitilanne voi tapahtua esimerkiksi generaattorin käynnistystilanteissa, jolloin kierrokset voivat olla pienemmät kuin nominaalitalanteissa, ja taajuus laskee. Muita jännitteen ja taajuuden suhdetta suurentavia tilanteita ovat muun muassa

viat magnetointijärjestelmässä ja suuren kuorman tippuminen verkosta. (Voimalaitos-generaattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

### **3.3.7 Vinokuormitussuojaus (46)**

Vinokuormituksesta, eli epätasaisesta kuormittamisesta, aiheutuu useita haittoja tahti-generaattorille, joten sitä tulee välttää. Epätasainen kuormitus johtuu kolmivaihevirtojen keskinäisestä epäsymmetriasta, mikä voi johtua lukuisista generaattorin toiminnasta riippumattomista syistä. Yleisiä epäsymmetrian aiheuttajia ovat avoimet katkaisijat järjestelmässä ja epätasaiset kuormat. Myös generaattorin oman suojalaitteen vika voi aiheuttaa vinokuormitustilanteen. Lisääntynyt lämpö on suurin ongelma epäsymmetrisessä kuormitustilanteessa. Epäsymmetriset virrat aiheuttavat vastakiertokentän, joka indusoi roottorin rakenteisiin virran. Tämä vastakiertokentän indusoima virta on verkon taajuuteen nähden kaksinkertainen ja nostaa nopeasti lämpötilaa roottorissa lisääntyneiden virtahäviöiden vuoksi. Epäsymmetriset viat tuottavatkin symmetrisiä vikoja enemmän lämpöä ja näin johtavat nopeasti roottorirakenteiden vahingoittumiseen. (Voimalaitos-generaattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

### **3.3.8 Ylikuormitussuojaus (49)**

Tahtigeneraattorien ilmoitettu teho on määritetty tietyillä jännitteen arvoilla ja tietyllä taajuudella sekä tehokertoimella. Generaattori on suunniteltu toimimaan tällä teholla jännitteen vaihdellessa muutaman prosentin yli tai alle nimellisjännitteen. Erilaisissa käyttötilanteissa ja vikojen takia voivat virrat nousta käämityksissä niin korkeiksi, että se aiheuttaa vaurioita generaattorille. Myös jäähdytysmenetelmän vaurioituminen tai vika käämityksissä voi johtaa haitallisen suureen lämpötilan nousuun. Generaattorien tulee kuitenkin kestää hetkellisesti nousseita virtoja. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

Generaattorit varustetaan lämpötilan tarkkailua varten usein erillisillä lämpötilantureilla. Yleisesti käytetään muun muassa resistanssiin perustuvaa mittausta, jolloin lämpötila on laskettavissa lämmön aiheuttaman resistanssin arvon muutoksen perusteella. Lämpötila-antureilta saatujen tietojen mukaan suojat hälyttävät tai erottavat generaat-

torin sähköverkosta ja näin suojaavat generaattoria vahingollisilta lämmön noususta johtuvilta ylikuormittumisilta. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

### 3.4 Vikojen laukaisu

Verkkoa ja sen komponentteja, kuten generaattoreita ja muuntajia suojataan katkaisijoilla. Katkaisija erottaa vikatilanteessa vioittuneen osan muusta järjestelmästä. Katkaisijaa ohjataan verkon valvomosta käsin tai suojariele antaa avautumiskäskyn katkaisijalle vian sattuessa. Suojariele voi antaa avautumiskäskyn usealle katkaisijalle tai sama katkaisija voi saada avautumiskäskyn usealta eri suojarieleeltä. Suojarieleessä on määritelty laukaisumatriisi, joka määrittää mikä katkaisija avataan missäkin tilanteessa. Suojausmatriisissa vaak-akselille on merkitty katkaisija, tai katkaisijaa ohjaava suojarieleen lähtö, ja pystyakselille suojaustoiminto. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

Useat tekijät vaikuttavat siihen, mitkä katkaisijat avataan. Tähän vaikuttavat muun muassa voimalaitoksen laitteistot ja se kuinka nopeasti generaattori täytyy saada kytkettyä takaisin sähköverkkoon. Katkaisijoiden avaamisen lisäksi myös avaamisjärjestyksellä on merkitystä. Katkaisijat avataan joissain tilanteissa kaikki yhtä aikaa, mutta joissakin tapauksissa se voi johtaa pyörivien osien liialliseen nopeuden kasvuun. Generaattori saadaan nopeasti takaisin verkkoon, jos vian seurauksena voimakone voidaan pitää toiminnassa ja generaattori saadaan erotettua vian ajaksi sähköverkosta (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

Generaattorikatkaisijalla on keskeinen asema generaattorin suojauksessa, sillä se erottaa generaattorin verkosta suojarieleen havahduttua. Valtaosa ilmenevistä vioista vaatii generaattorikatkaisijan avaamista. Jos generaattorikatkaisija ei toimi, ei generaattorilla ole suojaustakaan. Tämän vuoksi generaattorikatkaisijan vikaantumista varten on oltava menetelmä, joka valvoo katkaisijan toimintaa. Generaattorikatkaisijan vikaantumista voidaan esimerkiksi valvoa ajastimella, joka seuraa katkaisijan avautumista vaaditussa ajassa. Jos generaattorikatkaisija ei ole avautunut riittävän nopeasti, annetaan laukaisukäskyt muille katkaisijoille, joiden avaaminen johtaa generaattorin irrottamiseen sähköverkosta. (Voimalaitosgeneraattoreiden suojaus ja magnetointi 2011.)

## 4 RELEKOESTUSLAITTEISTO

Nykyään numeeristen suojureleiden aikakaudella suojurelevalmistajien lukumäärä on kasvanut ja suojureleiden ominaisuudet ovat kehittyneet erittäin monipuolisiksi ja kattaviksi. Lisäksi valmistajat ovat usein erikoistuneet pelkästään valmistamaan suojureleitä eivätkä niiden testauksen mahdollistaviin laitteistoihin. Tämä on luonut markkinasegmentin erillisille testilaitteiden valmistajille. Erikoistuminen on kehittänyt testilaitteita monipuolisiksi ja yhteensopiviksi sekä pienentänyt laitteiden kokoa huomattavasti verrattuna vanhempiin testilaitteistoihin.

Tyypillinen relekoestuslaitteisto koostuu koestuslaitteesta, siihen kytkettävästä tietokoneesta, johon on asennettu koestuslaitteen hallintaohjelmisto sekä kytkentään tarvittavista kaapeleista. Lisäksi relekoestuslaitteistoa voidaan laajentaa erillisillä vahvistimilla tai laajennusyksiköillä, joilla saadaan kasvatettua testausvirtoja ja –jännitteitä tai saadaan lisättyä virta- tai jännitekanavia. Myös aikasynkronointi koestuslaitteistojen välille on saatavilla esimerkiksi distanssikoestusta varten.

### 4.1 Omicron CMC-356 relekoestulaite

Omicron CMC-356 on tietokoneohjattu laite, jolla voidaan testata suojureleitä, antureita, energiamittareita ja energian laadunvalvontaan tarkoitettuja laitteita. Testitoimintojen lisäksi laitteeseen saa optiona myös korkeatarkuuksisen mittaustoiminnon sen sisältämille kymmenelle analogiselle sisääntulolle. CMC-356 on osa Omicronin Test Universe tuoteperhettä johon kuuluu fyysisen laitteen lisäksi ohjelmisto, joka tarvitaan laitteen käyttöön. (CMC 356 Reference Manual. 2014)

Omicron CMC-356 testilaitteen tärkeimmät ominaisuudet:

- 4kpl jänniteulostuloja
- 2kpl galvaanisesti erotettuja 3-vaiheisia virtaulostuloja
- Kyky testata laitteita, jotka käyttävät IEC 61850 protokollaa
- Ulkoisten vahvistinyksiköiden hallinta kahden laajennusportin kautta
- Tasajännitteen syöttömahdollisuus testattavalle laitteelle
- Binäärisignaalien generoitimahdollisuus
- Binäärisignaalien vastaanottomahdollisuus



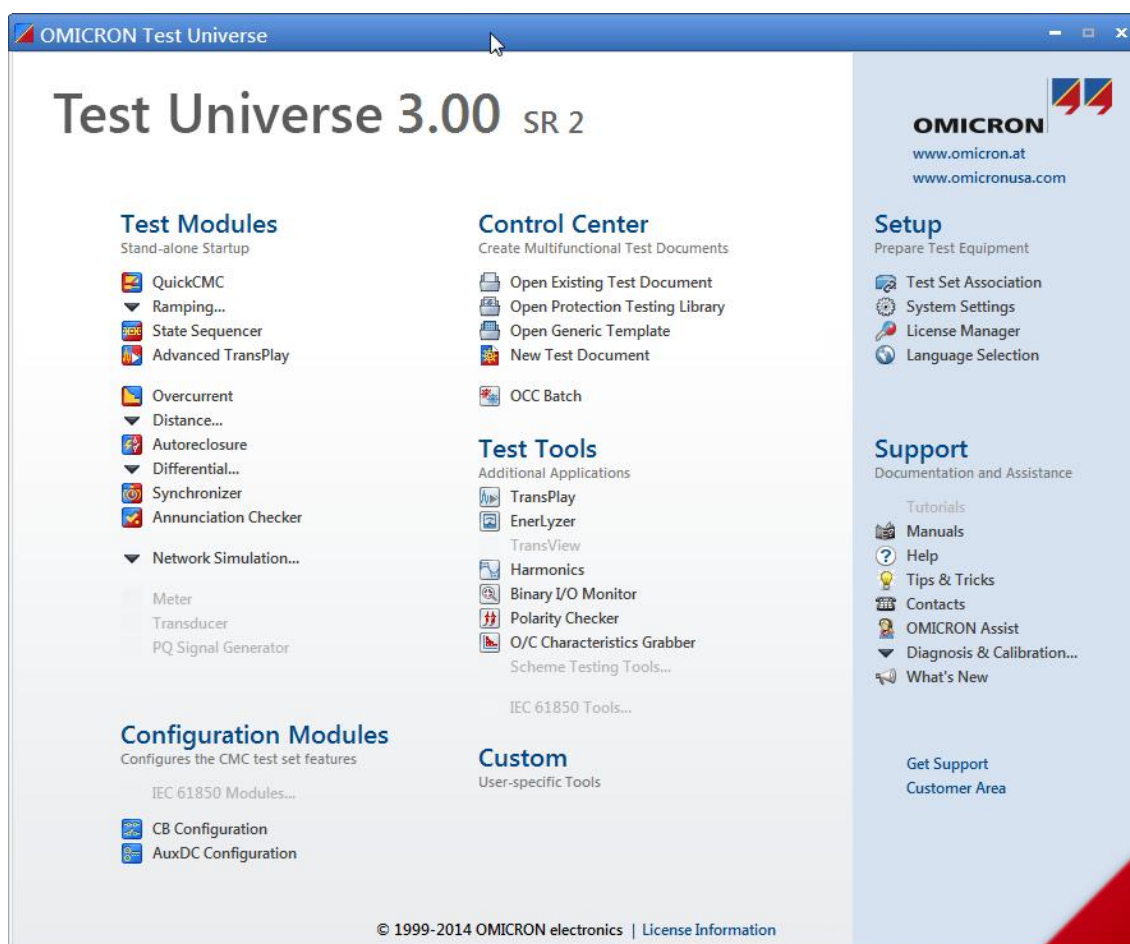


Kuva 2. Omicron CMC-356 relekoestuslaite

#### 4.2 Omicon Test Universe

Omicron Test Universe on ohjelmakokonaisuus, jolla luodaan testiohjelmat ja hallitaan Omicronin testaustyökaluja. Test Universe sisältää kaikki työkalut manuaaliseen ja automaattiseen verkon suojaustoimintojen testaamiseen. Omicronin testaustyökalut ovatkin täysin tietokoneohjattuja ja testilaitteella ei voi suorittaa toimintoja ilman siihen kytkettyä tietokonetta, johon on asennettu Test Universe ohjelmisto ja tarvittavat lisenssit ohjelmiston eri osien käyttämiseksi. (The Concept of Omicron Test Universe 2014.)

Test Universe käynnistetään normaalin ohjelman tapaan Windowsissa ja ohjelma käynnistyy Test Universe aloitusikkunaan. Tässä ikkunassa on näkyvissä kaikki käytössä olevat toiminnot, jotka lisenssillä aktivoidaan. Test Modules –osio on erinäköinen sen mukaan mitä moduuleita on aktivoitu. Aloitusnäytöstä pääsee myös säätämään ohjelman asetuksia ja yhdistämään Test Universe varsinaiseen testuslaitteeseen. Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty Test Universen aloitusnäyttö.

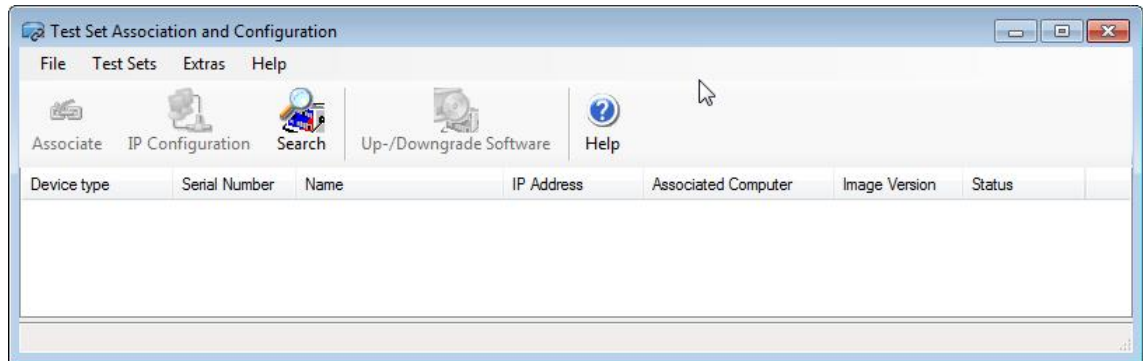


Kuva 3. Omicron Test Universe 3.0 SR2

#### 4.2.1 Test set association

Ensimmäinen askel testauksen aloittamisessa on yhdistää Test Universe ja koestuslaite keskenään. Koska laitteet keskustelevat Ethernet –verkossa TCP/IP protokollan välityksellä voi olla tilanteita, jossa samassa verkossa on useampi testilaite. Tämän vuoksi on erittäin tärkeää yhdistää testausohjelma oikeaan testauslaitteeseen. Väärän testauslaitteen käyttäminen vahingossa voi aiheuttaa onnettomuusvaaran. (The Concept of Omicron Test Universe 2014.)

Testiohjelma ja testilaite yhdistetään Test Set Association –työkalulla, johon päästään Test Universen aloitussivulta. Työkalun yläpalkista voidaan valita hakutoiminto mikäli testilaitetta ei alaosassa olevaan listaan ilmesty jo käynnistysvaiheessa. Myös manuaalinen konfigurointi on mahdollinen IP-configuration napin takaa mikäli tilanne niin vaatii. Test Set Association –työkalulla voidaan myös päivittää testilaitteen firmware sekä uudempaan että vanhempaan versioon. Kuvassa 4 on esitetty Test Set Association –työkalu.



**Kuva 4. Test Universe Test Set Association -ikkuna**

Kun oikea testilaitte on valittu yhdistetään Test Universe oikeaan testilaitteeseen painamalla testilaitteen takaosasta löytyvää fyysistä Associate –nappia ja tämän jälkeen Test Set Association –työkalun Associate –nappia. Näin varmistutaan, että laite-ohjelmapari on varmasti oikea. Omicron CMC-356 takaosasta löytyvä Associate –nappi on esitetty allaolevassa kuvassa 5.



**Kuva 5. Associate -nappi testilaitteen takaosassa**

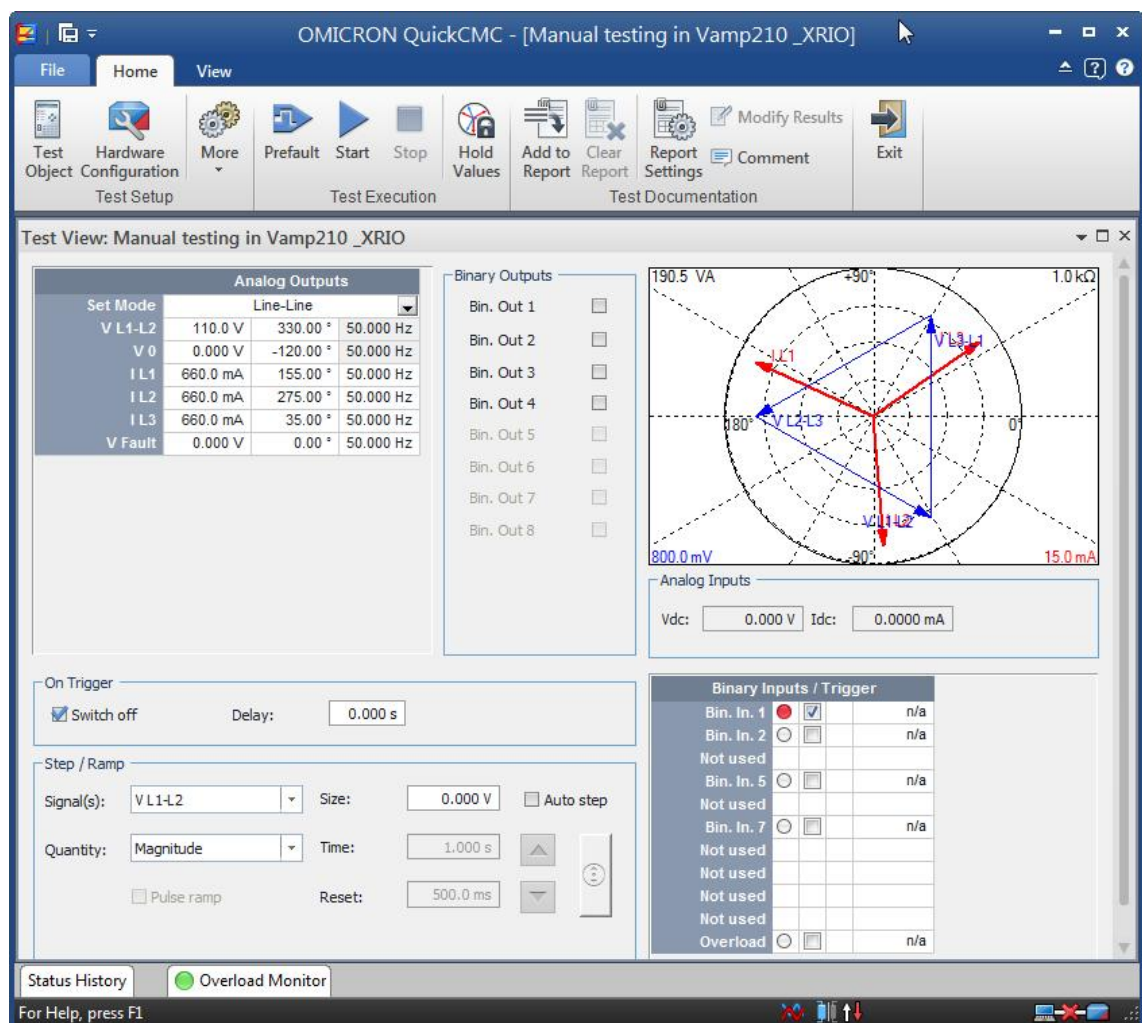
#### **4.2.2 Testausmoduulit**

Testausmoduuleilla suoritetaan varsinaiset koestustoimenpiteet. Testausmoduulit voidaan jakaa kahteen ryhmään sen perusteella ovatko moduulit yleiskäyttöisiä vai tietylle suojaustyyppille tarkoitettuja. Yleiskäyttöisiä testausmoduuleja ovat Quick CMC moduuli, State Sequencer moduuli sekä Ramping- ja Pulse Ramping –moduulit. Muut testausmoduulit ovat suojaustyyppikohtaisia.

### 4.2.3 Quick CMC

Quick CMC moduuli on tarkoitettu yleistyökaluksi yksinkertaisiin koestuksiin ja testeihin. Quick CMC:llä voi luoda askel- ja ramppfunktioita kaikkiin Omicron testilaitteen ulostuloihin nopeasti ja yksinkertaisesti. Quick CMC on erityisen hyödyllinen testidokumentin alussa. Tällöin voidaan luoda virta- ja jänniteulostuloihin halutut virta-, jännite- ja taajuusarvot, jotta nähdään nopeasti testilaitteen ja testattavan laitteen välisen kytkennän oikeellisuus. (The Concept of Omicron Test Universe 2014.)

Quick CMC –moduulin muita ominaisuuksia ovat integroidut viantunnistusominaisuudet 2- ja 3-vaiheverkkoihin sekä pulssiramppitoiminto. Quick CMC:llä voidaan myös hallita useita testilaitteita samanaikaisesti, jos koestus tarvitsee enemmän ulostuloja kuin yhdessä koestuslaitteessa on saatavilla. Kuvassa 6 on esitetty Quick CMC –moduulin hallintaikkuna.

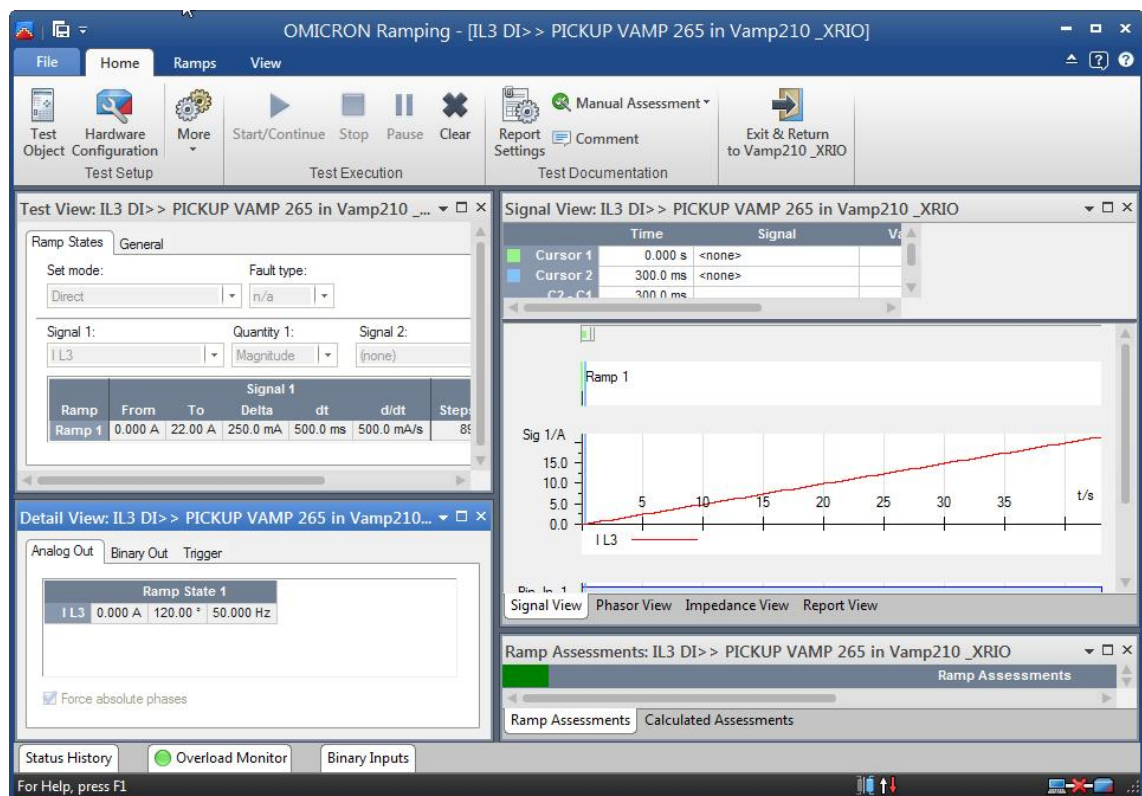


Kuva 6. Quick CMC testausmoduuli

#### 4.2.4 Ramping

Ramping moduulin tehtävä on, kuten nimi kertoo, luoda kasvava ulostulosuure, joka raja-arvon ylittäessä laukaisee testattavan suojarleen suojaustoiminnon. Ulostulo kasvaa määritellysti siihen asti kunnes suojarle havahtuu/laukaisee. Kytkeä releen digitaalisesta ulostulosta, joka on määritelty antamaa havatumis- tai laukaisusignaali, koestuslaitteen digitaaliseen sisääntuloon toimii takaisinkytkentänä, jolla Ramping – moduuli saa tiedon toiminnasta. Toimintapiste ja –aika tallennetaan raporttiin. (The Concept of Omicron Test Universe 2014.)

Määriteltäviä arvoja ovat rampin lähtö- ja loppuarvot, suureen nousuportaiden väliaika, nousun määrä nostossa ja suureen nousun derivaatta. Testi esitetään graafisesti ja rampi sekä takaisinkytkennän tila piirretään kuvaajaan reaaliajassa. Testi tallentuu suorituksen jälkeen raporttiin. Rampeja voidaan suorittaa useita samassa testissä eri ulostuloille. Kuvassa 7 on esitetty tyypillinen Ramping –moduulin hallintaikkuna, jossa näkyy käytetty analoginen ulostulo, digitaalinen sisääntulo takaisinkytkennälle sekä testin graafinen kuvaus.



Kuva 7. Ramping moduuli

#### 4.2.5 Pulse ramping

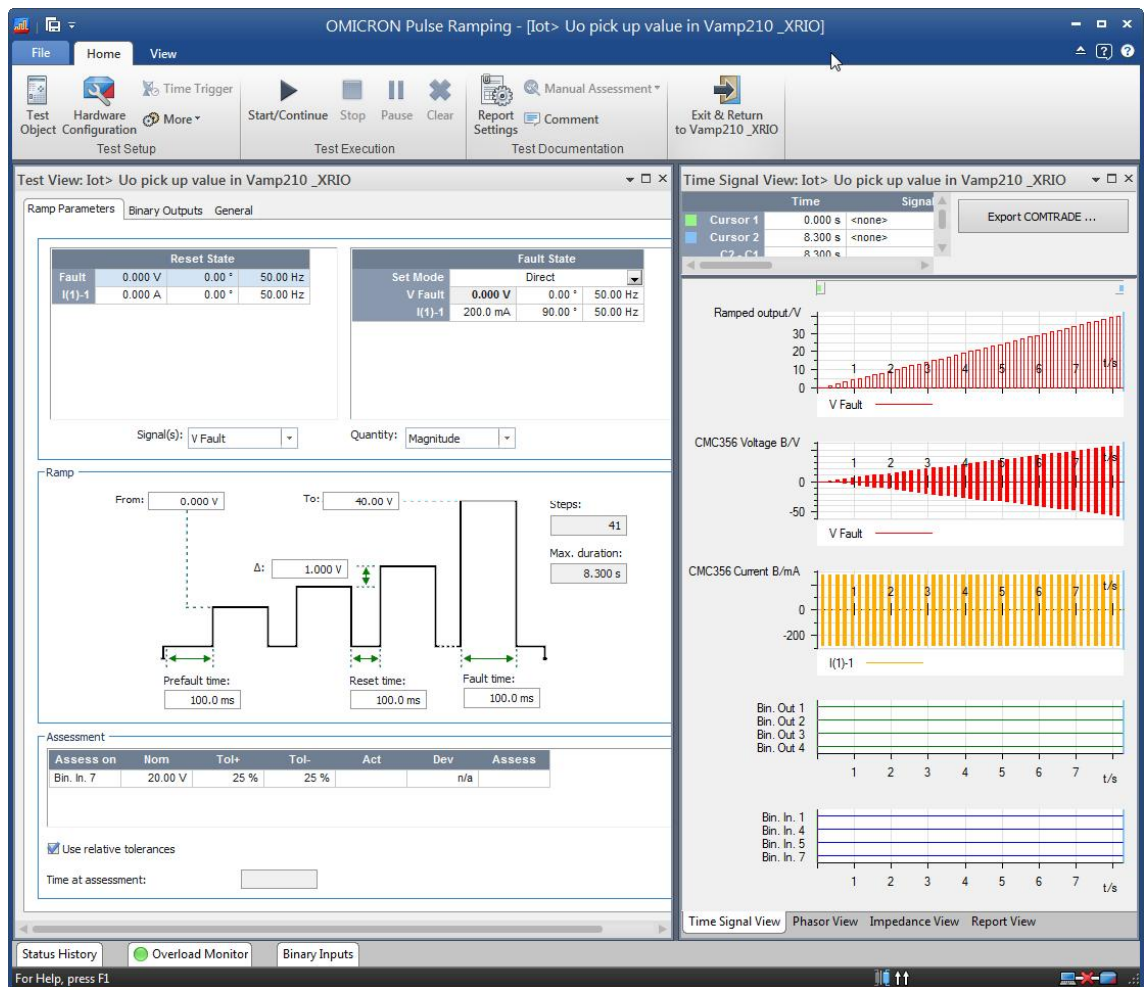
Pulse ramping –moduulilla luodaan kasvava ulostulosuure pulssimuodossa siten, että käydään määritellyssä pulssin yläarvossa ja palataan sitten lähtöarvoon. Jokainen seuraava pulssi on amplitudiltaan suurempi kuin edellinen ja kasvaa määriteltyyn maksimiarvoonsa tai siihen pulssiin, jonka amplitudi ylittää suojausalueen suojaustoiminnon kynnyksen. Kytkeä releen ulostulosta digitaaliseen sisääntuloon toimii takaisinkytkentä, jolla Pulse Ramping –moduuli saa tiedon toiminnasta. Toimintapiste ja –aika tallennetaan raporttiin.

Määriteltäviä arvoja ovat:

- pre-fault time, joka tarkoittaa aikaa testin aloituksesta ensimmäiseen pulssiin
- fault time, joka on pulssin kesto-aika
- reset time, joka on pulssien välinen aika
- from, joka on ensimmäisen pulssin amplitudi
- to, joka määrittää mihin asti pulssin amplitudi voi nousta
- ( $\Delta$ ) delta, joka kuvaa pulssin kasvun muutosta

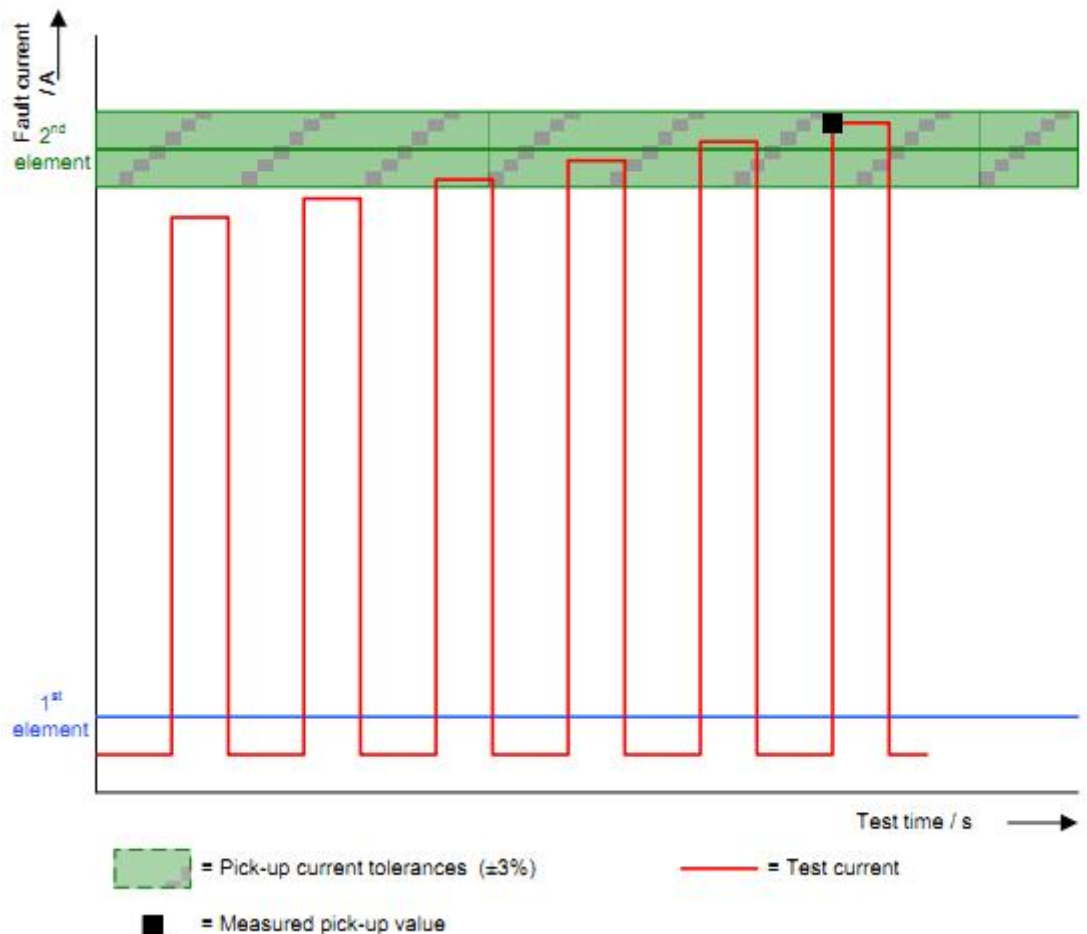
Testi esitetään graafisesti ja ramppi sekä takaisinkytkennän tila piirretään kuvaajaan reaaliajassa. Testi tallentuu suorituksen jälkeen raporttiin. Ramppeja voidaan suorittaa useita samassa testissä eri ulostuloille. Kuvassa 8 on esitetty tyypillinen Pulse Ramping –moduulin hallintaikkuna, jossa näkyy käytetty analoginen ulostulo, digitaalinen sisääntulo takaisinkytkennälle sekä testin graafinen kuvaus. (The Concept of Omicron Test Universe 2014.)





Kuva 8. Pulse Ramping moduuli

Kuvassa 9 on esitetty esimerkki Pulse Ramping –moduulin käytöstä suuntaamattoman ylivirtasuojan havahtumisportaan testauksesta. Suojareleelle syötetään kasvavaa virtapulsseja lähellä havahtumisaluetta ja jatketaan nostamista kunnes suojarele havahtuu ja aktivoi digitaalisen ulostulon, jonka kautta saadaan tieto releen toiminnasta koestuslaitteelle. Testi on hyväksytty mikäli havahtuminen tapahtuu määritellyn havahtumisportaan toleranssin sisällä. (The Concept of Omicron Test Universe 2014.)



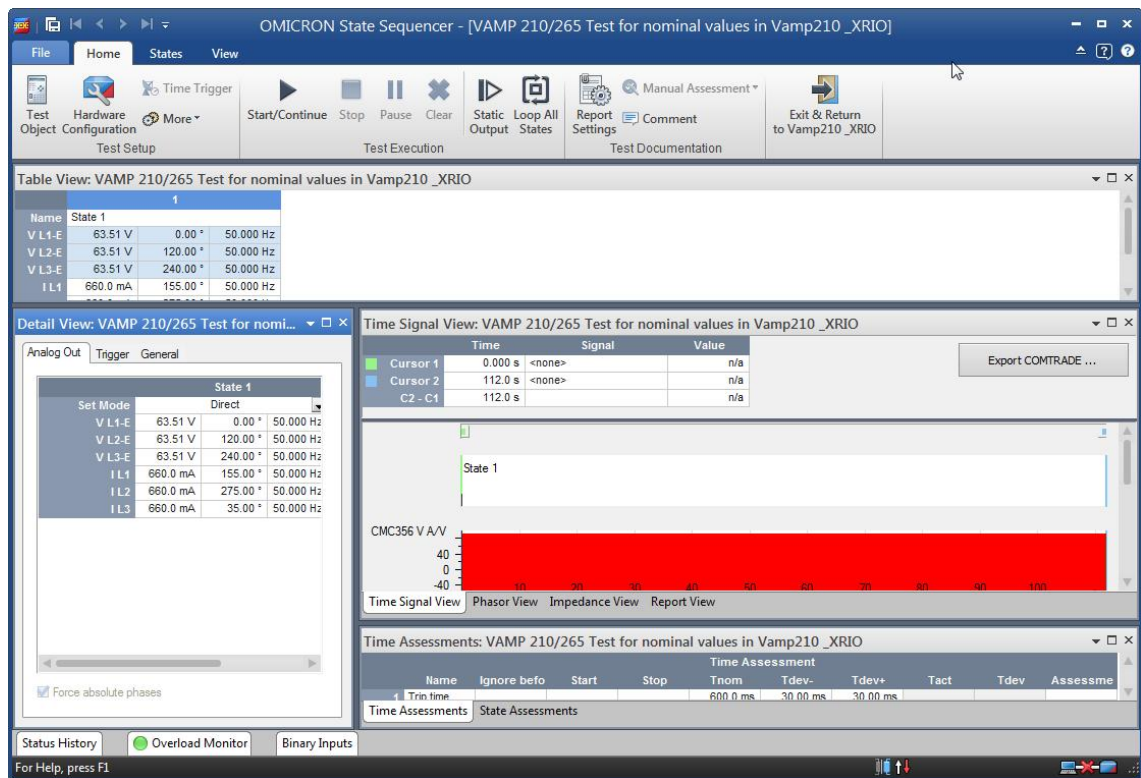
Kuva 9. Suuntaamattoman ylivirtalaukaisun havahtumisarvon selvitys Pulse Ramping -moduulilla

#### 4.2.6 State Sequencer

State Sequencer –moduulilla vaihdetaan koestuslaitteen ulostulojen tiloja testiohjelman määrittelyjen mukaisesti. Tilanvaihdoksia voidaan määrittää haluttu määrä ja jokainen kyseiseen testiin määritelty testilaitteen ulostulo voidaan määrittää erikseen jokaiseen tilaan. Tämä tekee State Sequencer –moduulista todella monipuolisen ja kykenevän monimutkaiseen suojaustoimintojen testaamiseen.

Tilanvaihto voidaan ajastaa vaihtumaan tietyin väliajoin tai tilanvaihto voidaan suorittaa ulkoisen signaalin käynnistämänä. Ajastusta ja ulkoista triggeriä voidaan käyttää myös sekaisin samassa State Sequencer –ohjelmassa tarpeen mukaan. Kuvassa 10 on esitetty State Sequencer –moduulin hallintaikkuna yksinkertaisimmassa muodossaan yhdellä tilanvaihdolla. (The Concept of Omicron Test Universe 2014.)





Kuva 10. State Sequencer moduuli

#### 4.2.7 Muut moduulit

Omicron Test Universe –ohjelmistoon kuuluu lukuisia muita moduuleita, jotka ovat pääasiassa erikoistuneet tietynlaisen suojausten testaamiseen. Näitä moduuleja ovat muun muassa:

- Distance, joka on tarkoitettu distanssiojoausten koestukseen
- Overcurrent, joka on moduuli erityisesti ylivirtasuojausten koestukseen
- Autoreclosure, jolla koestetaan automaattisten jälleenkytkentöjen toimivuus
- Differential, joka on tarkoitettu differentiaalisuojausten koestukseen
- Synchronizer, jolla voidaan testata synkronointilaitteiston toimintaa
- Annunciation Checker, jolla voidaan koestaa verkon sammutustoimintoja
- Advanced TransPlay, ei ole varsinainen testausmoduuli vaan käytetään tuomaan Test Universen käyttöön oikea tai simuloitu vikatilanne, joka on tallennettu esimerkiksi suojausalueen vikalokiin (Disturbance Recorder)

Testausmoduulien lisäksi Test Universe sisältää myös kattavan valikoiman verkon simulointiin tarkoitettuja työkaluja Network Simulation –osiossa sekä testausmoduuleja

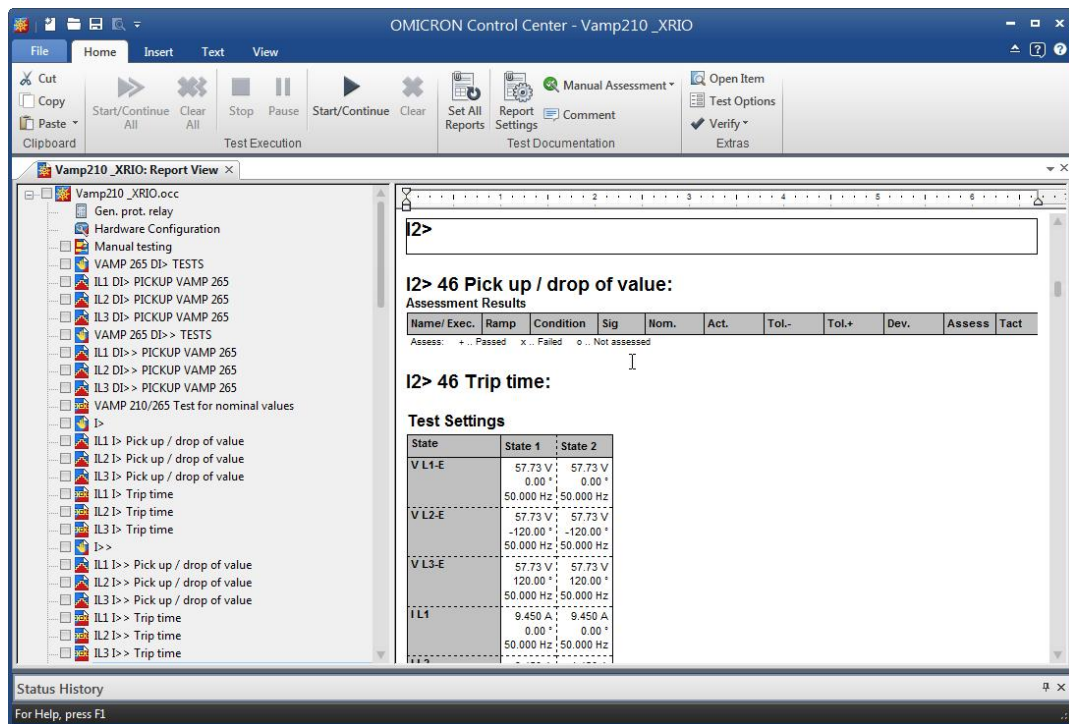
yksinkertaisempia testaustyökaluja, joilla voidaan suorittaa varsinaista koestusta avustavia toimenpiteitä Test Tools –osiossa.

#### **4.2.8 Control Center**

Koestusohjelmien tekeminen perustuu järjestelmässä OMICRON Control Center moduulin testidokumenttiin. Dokumenttiin voidaan liittää ohjelmiston testausmoduuleja halutussa järjestyksessä. Ohjelmistomodueleissa suoritetaan aina tietty suojan toiminnan koestus. Kun moduuleja asetellaan testidokumenttiin tarvittava määrä peräkkäin, muodostuu siitä yksi kokonainen testiohjelma suoja-alueen suojiin koestamiseen. OMICRON Control Center (OCC) käyttää Windows ActiveX teknologiaa, joten siihen voidaan tarvittaessa liittää sen omien ohjelmien lisäksi tekstiä, kuvia ja taulukoita muista samaa teknologiaa käyttävistä ohjelmista. (The Concept of Omicron Test Universe 2014.)

Testidokumentin alkuun määritellään laitteistoasetukset ja testattavan kohteen tiedot. Sen jälkeen dokumenttiin lähdetään lisäämään tarvittavia koestusmoduuleja suojauskohteiden koestamiseksi. Kunkin testausmoduulin asetukset tehdään erikseen kytkennästä ja koestettavasta toiminnosta riippuen. Kuvassa 11 on periaatekuva testidokumentin muodostumisesta ja asetusten vaikutuksesta.

Testidokumenttien alkuun on suositeltavaa liittää aina QuickCMC-moduuli, jonka avulla voidaan todeta laitteiston kytkennän ja laitteistoasettelujen oikeellisuus ennen varsinaiseen koestamiseen ryhtymistä.



Kuva 11. Control Center –moduuli

Kun muodostettu testidokumentti on koestettu, saadut mittaustulokset lukittuvat, jotta niitä ei pääse jälkeempään manipuloimaan. Tarvittaessa tulokset voidaan mitätöidä ja suorittaa testi uudelleen samalla testidokumenttipohjalla. Testidokumentteja voidaan muokata eri tarpeisiin ja tallentaa muistiin myöhempää käyttöä varten.

Mittaustulokset voidaan myös tuoda muokattavaksi ulkoisella editorilla Control Centeriin rakennetulla export –toiminnolla. Mittaustulokset saadaan käsiteltäväksi .xml – tiedostomuodossa, joka voidaan avata muun muassa Microsoft Visual Studiolla ja Microsoft Excel taulukkolaskentaohjelmalla. Ulkoisella ohjelmalla saadaan testitulosten ulkonäköä muokattua huomattavasti vapaammin kuin Control Centerin omalla testidokumenttityökalulla.

### 4.3 RIO ja XRIO

Useiden suojarелеvalmistajien ja eri reletyyppien testausta yhdenmukaistamaan Omicron kehitti RIO:n, jonka perimmäinen tarkoitus on kerätä releen testauksessa tarvittavat parametrit yhdenmukaiseen tietorakenteeseen. Näin ei ole väliä minkä valmistajan rele on kyseessä, koska samoja parametreja käytetään samantyyppisten releiden testauksessa

releen valmistajasta riippumatta. RIO:n yksi erityispiirre on tuki releparametrien tuontiin ulkoisista lähteistä Test Universe –ohjelmistoon.

XRIO on Test Universe –ohjelmiston 2.0 versiossa julkistettu toinen sukupolvi RIO -tiedostoille. XRIO -tiedostomuoto tarkoittaa laajennettua RIO -tiedostoa. Sen avulla testeistä voidaan tehdä linkitykset haluttuihin parametreihin. Näin XRIO -tiedostoon muutettavat parametrit muuttuvat automaattisesti myös koestusohjelmiin. Tämä mahdollistaa automatisoinnin kehittämistä koestamisessa yhä pidemmälle.

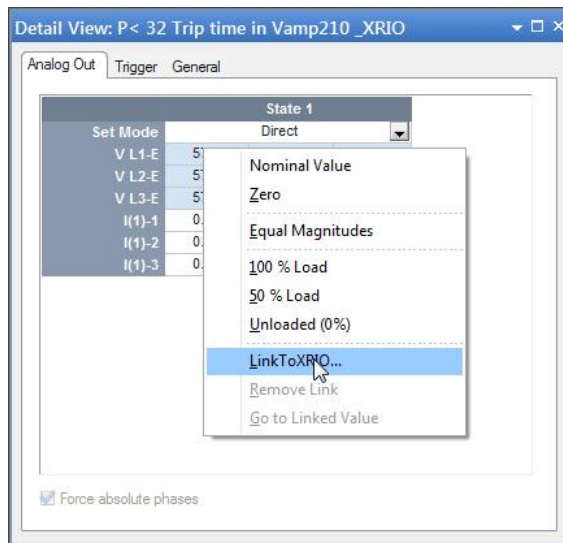
XRIO -tiedostoja on mahdollista tehdä itse ja niihin pystyy ohjelmoimaan erilaisia suodattimia ja kääntäjiä joilla releiden asetteluarvot voidaan siirtää suoraan releestä koestuslaitteeseen. Esimerkiksi Siemensin suojareleissä on sisäänrakennettuna mahdollisuus tallentaa releen asettelut RIO -tiedostoon. XRIO -tiedostoon omien asetteluparametrien tekeminen on melko monimutkaista ja vaatii syvällisempää paneutumista asiaan. OMICRON määrittelee XRIO -tiedostojen tekijät omaksi suunnittelijaryhmäksi, testisuunnittelijoiden ja testaajien rinnalla. (XRIO User manual 2014.)

### **4.3.1 Link to XRIO**

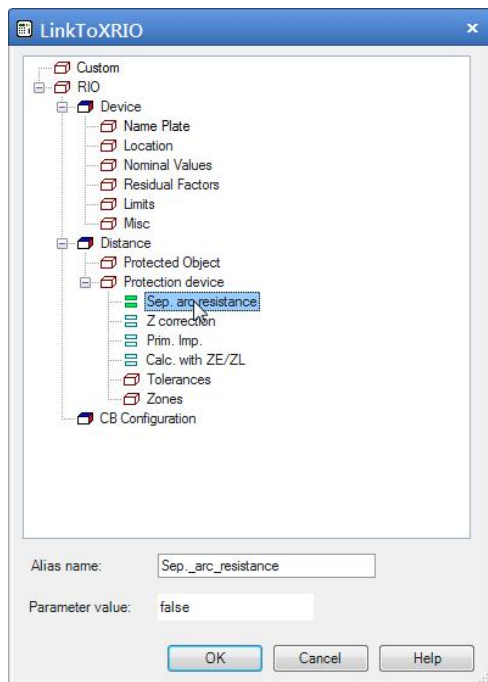
Link to XRIO –toiminnolla liitetään XRIO –tiedostosta haluttu arvo OCC –testidokumenttiin. Kun linkki XRIO –tiedoston arvon ja testidokumentin välillä on muodostettu testidokumentin puolella arvo päivittyy aina kun XRIO –tiedoston arvo päivittyy. Tämän vuoksi XRIO –tiedoston rakenteen ei tarvitse pysyä täysin muuttumattomana, koska osoitus linkitettyyn arvoon on suhteellinen ja perustuu arvon sijaintiin XRIO –tiedoston puurakenteessa.

Käytännössä linkki muodostetaan valitsemalla haluttu testausmoduuli ja testausmoduulin sisällä haluttua arvokenttää klikataan hiiren oikealla painikkeella kuten kuvassa 12 on esitetty. Avautuvasta vetovalikosta valitaan Link To XRIO –toiminto, joka avaa ikkunan, jossa on OCC –testidokumenttiin ladatun XRIO –tiedoston rakenne. Link To XRIO –ikkuna on esitetty kuvassa 13. XRIO –tiedosto tulee ladata uudestaan OCC –testidokumentin käynnistyksen jälkeen mikäli arvot halutaan päivittää.

Ylläoleva toiminto toistetaan jokaisen kentän kohdalla johon linkki halutaan luoda. on myös mahdollista linkittää kokonainen osio XRIO –tiedostosta suoraan testausmoduuliin OCC –testidokumentin hallintaikkunan kautta, jolloin kaikki arvot päivittyvät, mutta tämä vaatii hyvin tarkan yhteensovittamisen sekä testausmoduulin että XRIO –tiedoston osalta, jotta arvot menevät oikeisiin paikkoihin. Lisäksi XRIO –tiedostoon tulee tehdä tarvittavat apumuuttujat, mikäli testausmoduuli niin vaatii ja osoittaa nämäkin oikein. Käytännössä on helpompaa linkittää arvot yksi kerrallaan, jolloin myös nähdään suoraan täytyykö arvoa muokata apumuuttujan avulla.



Kuva 12. Link to XRIO: Testausmoduulin kentän liittäminen XRIO datasettiin



Kuva 13. Link to XRIO: liitettävän arvon valitseminen XRIO tiedostosta

## 5 RELEASETTELUJEN SIIRTO TESTILAITTEELLE

VEO Oy:n AD-osasto käyttää suoja-releiden asetteluiden muodostamiseen apuna excel –dokumenttia, johon on koottu suojauksissa käytetyt asettelu-arvot. Dokumentti on koostettu siten, että mahdollisimman moni asettelu-arvo muodostuu automaattisesti asettelu-dokumenttiin syötettävien lähtöarvojen perusteella. Tästä dokumentista arvot luetaan excel –makron avulla toiselle välilehdelle samassa excel –tiedostossa, jossa sijaitsee Omicronin luoma taulukko VAMP –suojareille. Tästä taulukosta muodostetaan XRIO –tiedosto toisella excel –makrolla. Valmis XRIO –tiedosto ladataan OCC –testidokumenttiin, jossa sijaitseviin testidokumentteihin XRIO –tiedoston arvot on linkitetty.

### 5.1 VEO releasettelutaulukko

VEO:n releasettelutaulukko muodostuu osiosta, johon syötetään lähtöarvot. Lähtöarvot sisältävä osio on esitetty kuvassa 14. Lähtöarvot on linkitetty toisessa osiossa sijaitseviin suojausfunktioiden asettelu-arvot sijaitseviin kenttiin. Asettelu-arvokenttiin muodostetaan oikeat arvot lähtöarvoista valmiiden kaavojen perusteella. Lisäksi suojausfunktio-kentistä löytyy vetovalikko, josta valitaan onko suojaus käytössä vai ei. Esimerkki suojausfunktion asettelu-arvoista on esitetty kuvassa 15.

| VEO                                 |                  | PROTECTION RELAYS SETTING AND TEST REPORT |               |      |                  |
|-------------------------------------|------------------|---|---------------|------|------------------|
| Project Name                        | KD07.0000 EXTEND |   |               |      |                  |
| Document ID                         | KD07.0000.D6001  | Made                                      | Folken        |      |                  |
| Date                                | 08.08.2007       | Checked                                   | -             |      |                  |
| Status                              | WORK             | Approved                                  | -             |      |                  |
| Revision                            | -                | 10.08.2012                                |               |      |                  |
| GENERATOR PROTECTION RELAY VAMP 210 |                  |   |               |      |                  |
| Description                         | Pos.             | Area                                      | Setting value | Unit | CFC0 1           |
| <b>SCALING</b>                      |                  |   |               |      |                  |
| Generator nom power                 | $S_{gn}$         |   | 10040         | kVA  | EngineType W32B2 |
| Generator nom voltage               | $U_{gn}$         |   | 11000         | V    | Cyl 18           |
| Nominal shaft power                 | $P_m$            |   | 0             | kW   | Pcyl 0           |
| Nominal frequency                   | Hz               |   | 54            |      |                  |
| Nominal Current                     | $I_{gn}$         |   | 527           | A    |                  |
| Current transformer                 | $I_{prim}$       |   | 600           | A    |                  |
|                                     | $I_{sec}$        |   | 5             | A    |                  |
| Voltage transformer                 | $U_{prim}$       |   | 11000         | V    |                  |
|                                     | $U_{sec}$        |   | 110           | V    |                  |
| Core-balance current transf. 1      | $I_{1prim}$      |   | 50            | A    |                  |
|                                     | $I_{1sec}$       |   | 5             | A    |                  |
| Core-balance current transf. 2      | $I_{2prim}$      |   | 50            | A    |                  |
|                                     | $I_{2sec}$       |   | 5             | A    |                  |
| <b>UNIT TRANSFORMER</b>             |                  |   |               |      |                  |
| Unit transformer                    | Transf.          |   | OFF           |      |                  |
| Busbar nominal voltage              |                  |   | 11000         | V    |                  |
| Generator side nominal voltage      |                  |   | 11000         | V    |                  |
| Unit transf. connection group       |                  |   | Yd11          |      |                  |

Kuva 14. VEO reletestidokumentin lähtöarvot –osio

| GENERATOR PROTECTION RELAY VAMP 210     |      |                         | LOCATION       | CFC0 1 |               |                 |             |
|---|------|-------------------------|----------------|--------|---------------|-----------------|-------------|
| Description                             | Pos. | Area                    | Primary values | Unit   | Setting value | Setting unit    | Valid Stage |
| <b>OVERCURRENT STAGE I&gt; (51)</b>     |      |                         |                |        |               |                 | OFF         |
| Overcurrent stage I>                    | I>   | 0.5 ... 4.00 * $I_{gn}$ | 632            | A      | 1.2           | I <sub>gn</sub> |             |
| Time multiplier of stage I>             | k    | 0.05 ... 3.2 s          |                |        | 0.2           | s               |             |
| IDMT function                           | Type |                         |                |        | DT            |                 |             |
| <b>OVERCURRENT STAGE I&gt;&gt; (50)</b> |      |                         |                |        |               |                 | ON          |
| Overcurrent stage I>>                   | I>>  | 0.5 ... 20 x $I_{gn}$   | 2635           | A      | 5             | I <sub>gn</sub> |             |
| Operating time of stage I>>             | t>>  | 0.04 ... 300 s          |                |        | 3             | s               |             |

Kuva 15. VEO reletestidokumentin asetteluarvodesimerkki VAMP 210 suojareleelle

## 5.2 Visual Basic for Applications

Suojareleasettelujen siirto toteutettiin excel –makrolla, joka tehtiin Microsoft Excel –taulukkolaskentaohjelman käyttämällä Visual Basic for Applications (VBA) ohjelmointikielellä. VBA perustuu Microsoftin Visual Basic 6 –ohjelmointikieleen.

VBA on tapahtumaohjattu ohjelmointikieli, joka tarkoittaa sitä, että ohjelman toiminta perustuu tapahtumiin, kuten käyttäjän antamaan syötteeseen, sensoridataan tai muiden ohjelmien luomiin viesteihin.

VBA helpottaa toimintojen automatisointia ja on erityisen käytännöllistä toteuttaa VBA makroja esimerkiksi IO-listoista tehtäviin datadumppeihin valvomosovelluksiin, PLC-ohjelmiin ja tiedonsiirtoon ulkoisiin SCADA-järjestelmiin. Huomattavan nopeuslisän lisäksi automatisointi poistaa inhimillisen virheen mahdollisuuden tietojen muunnosprosessissa lähes kokonaan.

## 5.3 XRIO makro

VEO releasettelutaulukon rakenteen vuoksi asetteluarvojen siirto toiseen välilehteen toi omat haasteensa. Koska myös kohdevälilehti oli rakenteeltaan jo ennaltamäärätty ei siirto ollut toisessakaan päässä helppoa. Lisäksi pyrittiin välttämään suoraa linkitystä, koska kaikki arvot eivät ole suoraan kopoitavissa vaan tarvitsevat yksikön tai skaalan muutoksen. Siirtotoimenpiteestä pyrittiin myös tekemään mahdollisimman skaalautuva, jotta makroa voisi käyttää suoraan tai pienin muutoksin myös muunlaisiin projekteihin kuin tiettyjen generaattorin suojareleiden koestukseen. XRIO makrosta muodostuikin loppujen lopuksi suuritöisin ja monimutkaisin osuus koko työssä.

Makron toiminta jaettiin aliohjelmiin, jotka suoritetaan pääohjelman sitä pyytäessä. Näin saatiin pilkottua suuri monimutkainen kokonaisuus pienempiin osiin ja täten helpotettua kokonaisen makron tekemistä. Lisäksi varsinainen siirto-ohjelma toteutettiin siten, että lisää suojauksia on helppo lisätä ja olemassa olevia muokata.



### 5.3.1 Siirtomakron toimintakuvaus

Kaikki lähtee liikkeelle suojausfunktion tunnistamisesta SETTINGS välilehdellä. Suojausfunktiolla on IEC/ANSI standardissa määritetty koodi, joka on merkitty jokaiselle suojausfunktiolle SETTINGS –välilehdelle. IEC/ANSI –koodi on merkitty suojausfunktion asetteluarvot sisältävän osion alkuun, mutta tämä osuus on tekstimuodossa suojausfunktion sanallisen kuvauksen jälkeen sulkumerkkien sisällä. Esimerkiksi ensimmäisen ylivirtaportaan asetellut alkavat seuraavasti: OVERCURRENT STAGE I> (51), jossa ensimmäiseksi on sanallinen kuvaus, sitten suojausfunktion suureen ja suojaustason symboli ja lopuksi IEC/ANSI –koodi sulkumerkkien sisällä. Pääohjelma etsii ensimmäisen rivin, jolta sulkumerkit löytyvät ja erottelee sulkumerkkien sisältävän osuuden. Tämä osuus tallennetaan string –muotoisena muuttujana ja kutsutaan aliohjelmaa, joka antaa IEC/ANSI –koodia vastaavan numeroarvon pääohjelmalle.

Seuraavaksi määritetään suojausfunktion suojaustaso. Tämä selviää > ja < merkkien määrästä. Pääohjelma kutsuu toista aliohjelmaa, joka etsii IEC/ANSI –koodin sisältävästä solusta < tai > -merkit ja palauttaa pääohjelmalle niiden lukumäärän numeroarvona.

Siirron kohteena toimivasta välilehdestä etsitään vastaavalla tavalla sulkumerkit ja < ja > -merkit ja arvot tallennetaan muuttujiin numeroarvoina. Kohdevälilehdellä IEC/ANSI –koodi on jokaisella rivillä, joten tässä tapauksessa etsitään ensimmäinen sulkumerkki, jonka sisältö vastaa lähteenä toimivan välilehden IEC/ANSI –koodin numeroarvoa ja < ja > -merkkien määrää.

Seuraavaksi pääohjelma kutsuu aliohjelmaa, joka lähteenä toimivalta välilehdeltä saadun kahden numeroarvon perusteella valitsee varsinaisen siirtoon käytettävän aliohjelman. Kohteena toimivan välilehden aloitusrivi kerrotaan siirtoaliohjelmalle myös tässä vaiheessa. Aliohjemia on yksi jokaista suojausfunktiota ja suojausfunktion tasoa kohden. Nämä aliohjelmat ovat hyvin lyhyitä ja samankaltaisia. Täten niiden luominen ja muokkaaminen on helppoa uusia suojausfunktioita lisättäessä. Siirron suorittavaan aliohjelmaan on myös upotettu mahdolliset yksikön ja skaalan muutokseen tarvittavat laskentatoiminnot.

Kun yhden suojausfunktion siirtoon tarvittava aliohjelma on suoritettu, annetaan pääohjelmalle käsky jatkaa seuraavaan sulkumerkit sisältävään riviin ja tätä kiertoa toistetaan niin kauan kunnes lähteenä toimivan välilehden viimeinen tietoa sisältävä rivi on käyty läpi.

#### **5.4 Asettelu- ja siirtotoiminnon rakenne**

Kun releasettelun on saatu siirrettyä SETTINGS –välilehdeltä XRIO –välilehdelle onnistuneesti, tarkastetaan silmämääräisesti, että arvot ovat siirtyneet oikein ja täydellisesti. Tämän jälkeen tiedot tallennetaan XRIO –tiedostoon Omicronin luomalla makrolla ja tallennetaan projektin verkkokansioon koestusta varten. Liitteessä 3 on kuvattu vuokaaviona asettelu- ja siirtotoiminnon rakenne VEO:n releasettelutaulukosta valmiiksi XRIO –tiedostoksi.

#### **5.5 XRIO tiedoston linkitys testidokumenttiin ja testien suoritus**

Link to XRIO –toiminnolla linkitettiin kappaleessa 4.3.1 mainitulla tavalla testidokumentissa oleville moduuleille niiden tarvitsevat arvot. Tämä toimenpide oli aikaavievä ja linkitys tuli tarkistaa huolellisesti ettei väärää tai puutteellista arvoa pääsyt testidokumenttiin. Asetusarvojen skaala saattoi olla väärä koestusmoduulille ja XRIO –tiedostoon täytyi luoda apumuuttuja, jolla arvo muutettiin oikeaan muotoon. Testidokumenttiin liitettyyn XRIO –tiedostoon pystyy tekemään tekemään matemaattisia kaavoja, joiden avulla muutostyö toteutuu automaattisesti kun uusi XRIO –tiedosto ladataan testidokumenttiin. Kun linkitys on tehty kerran ja huolellisesti, on toistuvien testien toteutus helppoa vaikka asettelu- ja siirtotoiminnon arvot ja käytettävät suojausfunktiot vaihtelisivatkin.

Testidokumentin avaamisen jälkeen avattuun testidokumenttiin ladataan tarvittavat asetusarvot sisältävä XRIO –tiedosto. Kun tämä toimenpide on suoritettu ja koestuslaite on kytketty suojarleeseen sekä tarvittavat toimenpiteet sähköturvallisuutta silmälläpitäen on suoritettu, on laitteisto koestusvalmis.

Koestus aloitettiin QuickCMC moduulilla, jolla generoitiin virta- ja jännitelähtöihin jokaiseen oma arvo ja varmistettiin, että suojarleeseen näytöllä arvot vastasivat generoituja ja että ne syötettiin oikeaan kanavaan. Tämän jälkeen voitiin aloittaa testaus joko yksi

testi kerrallaan tai testaamalla kaikki. Jos haluttiin suorittaa yksi testi kerrallaan aktivoitiin sinisellä korostettu testimoduuli painamalla Start/Continue –nappia ja kaikki testit järjestyksessä automaattisesti saatiin suoritettua painamalla Start/Continue All –nappia. Napit näkyvät Control Centerin yläpalkissa kuvassa 15.

## 5.6 Koestuksen raportointi

Testiraporttien muokkaaminen omaan tarpeen mukaiseksi ohjelmassa perustuu erilliseen valmiiksi tehtyyn raportin asettelutoimintoon. Asettelutoiminnossa voidaan valita listasta raportissa näkyviksi halutut osiot. Vaikka raporttiin valittaisiinkin näkyväksi vain osa tiedoista pysyvät kaikki testin tiedot muistissa ja ne saa aktivoitua näkyviin myös myöhemmin. Ohjelmiston raporttieditorilla saadaan halutut raporttipohjat nopeasti ja helposti muodostettua, tallennettua ja uudelleen ladattua. Control Center moduulin raporttieditori on normaalin tekstinkäsittelyohjelman tyylinen ja sillä voidaan lisätä raporttiin vapaasti tekstiä, kuvia sekä ylä ja alaviitteet.

Raportti voidaan tarvittaessa kääntää yleisiin toimistoohjelmien tekstimuotoon kuten txt, rtf, doc, xls tai xlm. Käännettäessä raportin ulkomuoto ei tosin pysy samanlaisena vaan muokkautuu aina tiedostomuodon mukaan. Ohjelma ei pysty kääntämään raporttia automaattisesti pdf –tiedostomuotoon. Pdf –tiedostoksi raportin saa helpoimmin asentamalla käyttöjärjestelmään pdf –tulostimen. Tulostaminen pdf –muotoon kannattaa, sillä se pienentää raportin kokoa huomattavasti ja raportin muotoiluasetukset ja ulkoasu pysyvät muuttumattomina riippumatta millä laitteella se avataan, kunhan laite tukee pdf –tiedostoja. Ilmaisia pdf –lukuohjelmia on saatavissa useita ja lähes kaikille mahdollisille alustoille. Tämä on hyödyllistä arkistoitaessa raportteja digitaaliseen muotoon ja toimittaessa raportteja asiakkaille digitaalisena.

Sisäänrakennettu raporttieditori on hyvin rajottunut. Moduulien valmiiksi määritellyjä raporttiin valittavia osiota ei pysty ohjelmalla muokkaamaan. Nämä valmiit osiot sisältävä paljon tietoa ja tekevät automaattisesta raportista pitkän ja vaikeasti luettavan varsinkin automatisoiduissa OCC –testeissä. Toinen heikkous raporttien muokkauksessa on sen kieli, joka määräytyy ohjelmiston kielen mukaan. Tämä ei testauksessa ole ongelma, koska dokumentaatio toimitetaan oletuksena englanniksi. Raporttieditorin käyttämi-

sen oppimiseen menee jonkin verran aikaa ennen kuin hahmottaa, mitä milläkin valinnalla tarkoitetaan missäkin moduulissa ja mitä mistäkin tapahtuu (Relekoestuksien suunnittelu Omicron CMC 256-6 –testilaitteistolla 2005.)

## 6 AUTOMAATTINEN KOESTUSOHJELMA

Edellä esitettyjen perusteella lähdettiin kehittämään automaattista koestusohjelmaan OCC testidokumenttiin. Sähkösuunnittelijat ovat käyttäneet jo aiemmin luotua pohjaa VAMP suojarieleille. Tämä pohja kattaa generaattorin suojauksessa käytettävät VAMP 201- ja VAMP 265 suojarieleet. Kyseinen testidokumentti oli täysin manuaalinen, joten jokaiseen testiin oli arvot syötettävä käsin. Peruskonfigurointi oli kuitenkin valmis ja koestajan ei ole tarvinut asetella aivan kaikkia arvoja. Kuitenkin tällä menetelmällä koestamiseen menee useita tunteja ja virheen mahdollisuus koestettaessa kasvaa, koska arvoja asetellaan moneen paikkaan käsin.

Testidokumentin rakenne ei myöskään ollut täysin sopiva automaattiseen koestukseen, joten rakennetta oli muutettava joiltakin osin. XRIO –tiedoston linkittäminen testausarvoihin oli kohtuullisen yksinkertaista. Joitain arvoja jouduttiin muuttamaan apumuuttujilla esimerkiksi skaalausten osalta, mutta kaikki arvot saatiin lopulta tuotua testidokumentin eri testausmoduuleihin oikein. Testattavaksi suojarieleeksi tähän työhön valitun VAMP 210 –suojarieleen suojat saatiin testattua lähdetiedostona toimineen suojarieleet sisältäneen excel –tiedoston mukaan. Vain käytössä olleet suojaukset testattiin ja asetelutiedostossa disabloidut suojaukset ohitettiin myös automaattisessa koestustiedostossa.

Varsinainen koestus koostuu sähkösuunnittelijan tekemistä valmistelevista toimenpiteistä sekä varsinaisesta koestuksesta, jonka suorittaa koestaja. Kappaleessa 3 käydyt koestuksen periaatteet ja yllä läpikäytyt toimenpiteet muodostavat yhdessä kokonaisuuden, joka on esitetty vuokaaviona liitteissä 1 ja 2 molempien prosessiin osallistuvien osalta.

## **7 TYÖN TARKASTELU**

### **7.1 Ensisijaiset tavoitteet**

Opinnäytetyön ensisijainen tavoite eli Omicron CMC-356 relekoestuslaitteen saaminen suorittamaan VAMP 210 generaattorin suojausalueen koestuksen toisiotestausmenetelmällä automaattisesti täytyi. Testi saadaan suoritettua projektikohtaisilla arvoilla kohtuullisen vähällä manuaalisella työllä ja huomattavasti nopeammin kuin aiemmin. Työn aikana tehtiin useita huomiota, jotka sujuvoittavat prosessia entisestään.

### **7.2 Toissijaiset tavoitteet**

Toissijainen tavoite raportin luonnista testin jälkeen saatiin täytettyä osittain. Raportti tulostuu testin päätteeksi ja siitä nähdään jokaisen suojausfunktion kohdalla tarkasti toimintapisteet, laukaisuajat ja onko testi hyväksytty vai hylätty. Raportointitoiminto toimii, mutta raportin sisältö täytyy käydä läpi kun koko testausprosessi auditoidaan, jotta se saadaan osaksi virallista loppudokumentointia. Myös testitulosten ulkoasun saattamista luettavampaan ja yksinkertaisempaan muotoon voisi harkita tuomalla testitulokset ulkoiseen ohjelmaan. Tällöin asettelu saataisiin yhteneväiseksi yrityksen dokumentointi- ja materiaaliyhjeiden mukaan.

### **7.3 Kehitysmahdollisuudet**

Automaattinen koestus yhdelle suojauslelyypille oli vasta ensimmäinen askel isossa projektissa. Tulevaisuudessa projektia kehitetään käsittämään useampia suojauslelyyppejä ja –valmistajia. Mahdollisuutta IEC-61850 pohjaisen releasettelujen siirtotekniikan käytöstä on jo pohdittu.

Relekoestusta on viimeaikoina myyty asiakkaille, mutta varsinaisesta tuotteesta ei voida vielä puhua lähimainkaan, vaan koestukset ovat olleet pitkälti erikoistuneita yksittäistilauksia. Koestuksen tuotteistaminen, automatisointi ja standardointi sujuvoittaisi myyntityötä ja tarjoaisi asiakkaalle selkeän kuvan tarjottavan tuotteen ominaisuuksista.

## 7.4 Loppupäätelmät

Opinnäytetyö oli erittäin monipuolinen ja haastava. Työn edetessä jouduin tutustumaan moneen uuteen osa-alueeseen sähkötekniikan, sähköverkkojen ja ohjelmoinnin osalta. Relekoestus on myös aivan oma maailmansa, joka vaatii syvällistä perehtymistä ja sähkötekniikan tuntemusta. Projektin jatkuvasta luonteesta johtuen opinnäytetyön antamat tiedot ja taidot ovat tulevaisuutta ajatellen korvaamattomia.

## LÄHTEET

Ahokas, T. 2011. Voimalaitosgeneraattorien suojaus ja magnetointi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto

Loukonen, M. 2008. Suojareleen käyttöönotto-koestussuunnitelman laatiminen. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu

Kujamäki, M. 2005. Relekoestuksien suunnittelu Omicron CMC 256-6 -testilaitteistolla. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu

Laurila, J. 2010. VAMP 265 -suojareleen käyttöönotto-koestusohje. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu

Aurell, J. 2004. Generaattorin suojareleen käyttöönotto- ja koestuskäsikirja. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu

Elovaara J. 2007. Sähkölaitostekniikan perusteet. 6. painos. Otatiето. Helsinki: Haka-paino Oy

Elovaara J. 2011. Sähköverkot 2. Otatiето. Tallinna: Raamatutr Kikoda

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. 2. korjattu painos. Otatiето

Omicron GmbH. 2014. XRIO User manual. Käyttöohje. Omicron Electronics GmbH. Luettu 10.9.2015. <http://Omicron.at>

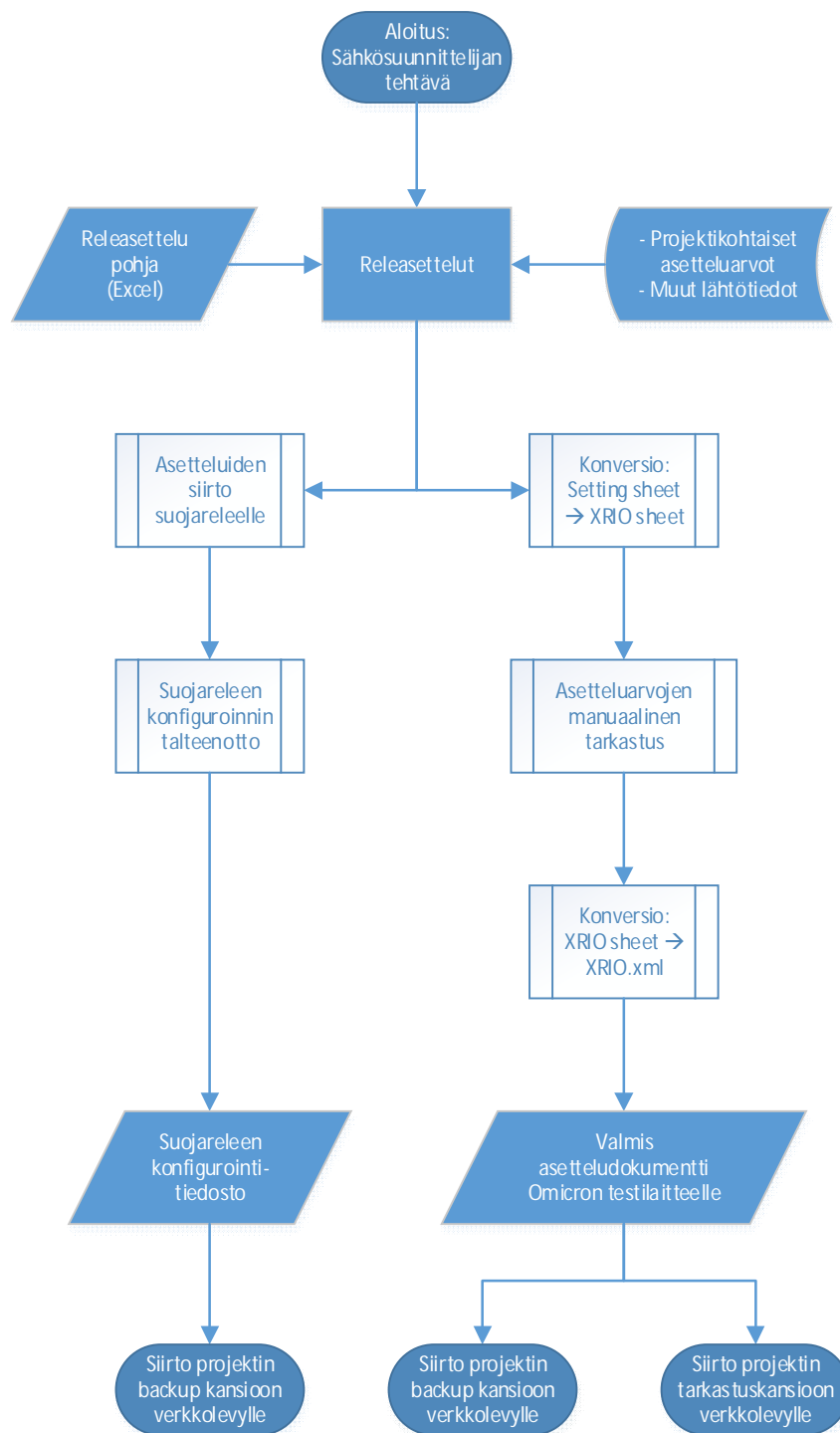
Omicron GmbH. 2014. The Concept of Omicron Test Universe. Käyttöohje. Omicron Electronics GmbH. Luettu 15.9. 2015 <http://Omicron.at>

Omicron GmbH. 2014. CMC 356 Reference Manual. Käyttöohje. Omicron Electronics GmbH. Luettu 15.9. 2015 <http://Omicron.at>

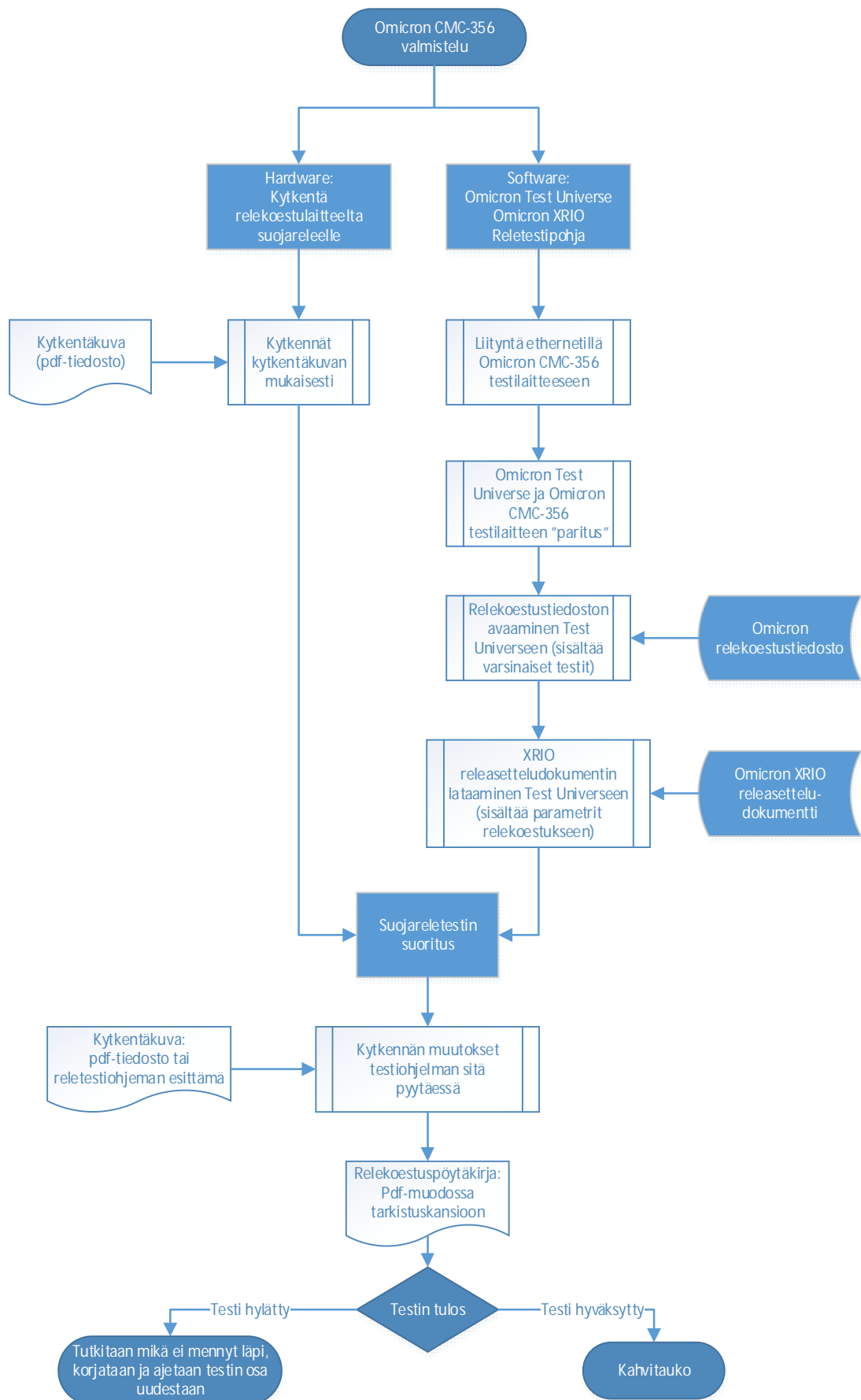


## LIITTEET

### Liite 1. Suunnittelijan tehtävät koestusprosessissa



## Liite 2. Koestajan tehtävät koestusprosessissa



## Liite 3. Releasettelujen siirto-ohjelman rakenne

