

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ARTES 600-RELEKOESTUS- LAITTEEN KÄYTTÖÖNOTTO JA SUOJARELEKOESTUS.

TEKIJÄ Niko Turunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Niko Turunen	
Työn nimi ARTES 600-relekoestuslaitteen käyttöönotto ja suojarlekoestus	
Päiväys 21.04.2022	Sivumäärä/Liitteet 51/10
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
Tiivistelmä <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoululle. Tavoitteena työssä, oli toteuttaa käyttöönotto-ohjeistus, sähkötekniikan laboratoriossa olevasta ARTES 600- relekoestuslaitteistosta. Lisäksi ohjeistuksen tuli sisältää ohjeet suojarlekoestuksista ja niiden asetteluista ARTES 5-koestussovelluksen avulla.</p> <p>Opinnäytetyö jakautui kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa käytiin läpi yleistä teoriaa relesuojauksista, erilaisista suojarlekyypeistä sekä teoriaa suojarleisiin liittyvistä koestuksista. Teoriataustaa hankittiin sähkötekniikan kurssien materiaaleista, kirjoista sekä verkkojulkaisuista. Toinen osa koostui perehtymisestä ARTES 600-relekoestuslaitteistoon, sen käyttöön, ominaisuuksiin ja koestusten suorittamiseen. Perehtyminen laitteeseen, ja sillä suoritettaviin koestuksiin tapahtui pääosin laitteen mukana tulevien käyttöohjeiden avulla.</p> <p>Työn lopputuloksena syntyi ohjeistus. Kyseisen ohjeistuksen avulla, saadaan riittävästi tietoa relekoestuslaitteesta ja ominaisuuksista, jotta sen avulla voidaan luoda testausohjelmia laitteistolla. Ohjeistus sisältää koestusohjeet Savonian sähkölaboratoriossa sijaitsevalle Schneider P3U30-suojarleelle, yli- ja maasulkuvirtojen sekä automaattisten jälleenkytkentöjen osalta.</p>	
Avainsanat Suojarle, relekoestus, ARTES	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author(s) Niko Turunen	
Title of Thesis Introduction of ARTES 600 Automatic Relay Test System and Protection Relay Test	
Date 21 April 2022	Pages/Appendices 51/10
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences	
<p>Abstract</p> <p>This thesis was commissioned by Savonia University of Applied Sciences. The aim of the thesis was to create the commissioning instructions for the ARTES 600 relay test equipment in the electrical engineering laboratory. In addition, the instructions included how to do relay tests and their layouts using the ARTES 5 testing application.</p> <p>The thesis was divided into two parts. The first part reviewed the general theory of relay protections, the different types of protection relays, and theory about tests related to protection relays. The theory of relays was studied using materials from courses on electrical engineering, books, and online publications. The second part consisted of an introduction to the ARTES 600 relay test equipment, its use, and characteristics, and the tests to be performed with it. Getting familiar with the device and the testing carried out, was mainly done with the help of the instructions for use that came with the device.</p> <p>The result of the thesis was a set of instructions. These instructions provide sufficient information about the relay tester and its features to enable test programs to be created with the equipment. The instructions include testing information for the Schneider P3U30 protection relay in the Savonia electrical laboratory. Tests include overcurrent, and earth fault currents, as well as automatic reconnections.</p>	
<p>Keywords Protection relay, relay test, ARTES</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	SÄHKÖNJAKELUVERKKOJEN SUOJAUS	8
2.1	Relesuojaus	8
2.2	Suojareletyypit.....	9
3	SUOJARELEKOESTUS	12
4	LAITTEIDEN ESITTELY.....	13
4.1	ARTES 600-relekoestusjärjestelmä	13
4.1.1	Yleistä.....	13
4.1.2	Ominaisuudet	13
4.1.3	Liitännät.....	13
4.2	Schneider P3U30 -johdonsuojarele	15
5	TESTIKOESTUKSET	17
5.1	Yhdistäminen tietokoneeseen	17
5.2	Ylivirtasuojien koestus	18
5.2.1	Kytkenät	18
5.2.2	Testiarvot ja asetukset.....	22
5.2.3	Tulokset.....	25
5.3	Käänteisaika ylivirtasuoja.....	26
5.3.1	Testiarvot ja asetukset.....	27
5.3.2	Tulokset.....	29
5.4	Maasulkusuoja.....	30
5.4.1	Kytkenät	30
5.4.2	Testiarvot ja asetukset.....	31
5.4.3	Tulokset.....	33
5.5	Jälleenkytkennät	34
5.5.1	Kytkenät	35
5.5.2	Testiarvot ja asetukset.....	36
5.5.3	Tulokset.....	37
6	YHTEENVETO JA POHDINTAA.....	39
	LÄHTEET	40
	LIITE 1: TESTIRAPORTTI	42

KUVALUETTELO

KUVA 1. ARTES 600 liitännät (Turunen, 2022)	14
KUVA 2. Johtolähtö J05 (Turunen, 2022)	15
KUVA 3. Schneider P3U30 (Turunen, 2022)	16
KUVA 4. Kosketusnäyttö (User Manual ARTES 5 Testing Software, Julkaisuaika tuntematon)	17
Kuva 5. ARTES yhdistäminen (ARTES 5 Testing Software, 2022)	17
KUVA 6. eSetup Easergy Pro yhdistäminen (eSetup Easergy Pro, 2022)	18
KUVA 7. Käyttäjän valinta (eSetup Easergy Pro, 2022)	18
KUVA 8. Kytkenät ARTES 600 (Turunen, 2022)	19
KUVA 9. Kytkenät riviliittimissä (Turunen, 2022)	19
KUVA 10. Binääritulojen MF 1 ja MF 2 asettelu (ARTES 5 Testing Software, 2022)	20
KUVA 11. Ylivirta matriisi (eSetup Easergy Pro, 2022)	20
KUVA 12. VD Static-monitorointi (ARTES 5 Testing Software, 2022)	21
KUVA 13. Virtamuuntajan muuntosuhde (eSetup Easergy Pro, 2022)	21
KUVA 14. Live-monitorointi (ARTES 5 Testing Software, 2022)	22
Kuva 15. Ylivirta I> asetteluarvot (eSetup Easergy Pro, 2022)	22
KUVA 16. Ylivirta I>> asetteluarvot (eSetup Easergy Pro, 2022)	23
KUVA 17. Suojausfunktiot (ARTES 5 Testing Software, 2022)	23
KUVA 18. Ylivirta-asetukset (ARTES 5 Testing Software, 2022)	24
KUVA 19. Ylivirta I> testiohjelma (ARTES 5 Testing Software, 2022)	24
KUVA 20. Ylivirta I>> testiohjelma (ARTES 5 Testing Software, 2022)	25
KUVA 21. Tulos ylivirta I> (ARTES 5 Testing Software, 2022)	25
KUVA 22. Raportti ylivirta I> (ARTES 5 Testing Software, 2022)	26
KUVA 23. Tulos ylivirta I>> (ARTES 5 Testing Software, 2022)	26
KUVA 24. Toimintakäyrät (ARTES 5 Testing Software, 2022)	27
KUVA 25. Asetteluarvot IEC-käänteisaika (eSetup Easergy Pro, 2022)	27
KUVA 26. Suojausasetukset IEC-käänteisaika (ARTES 5 Testing Software, 2022)	28
KUVA 27. Toinen suojausporras I>> (ARTES 5 Testing Software, 2022)	28
KUVA 28. Testiasetukset käänteisaika ylivirta (ARTES 5 Testing Software, 2022)	29
KUVA 29. Tulos käänteisaika ylivirta (ARTES 5 Testing Software, 2022)	29
KUVA 30. Raportti käänteisaika ylivirta (ARTES 5 Testing Software, 2022)	30
KUVA 31. Maasulkusuoja matriisi (eSetup Easergy Pro, 2022)	31
KUVA 32. Asetteluarvot Io> (eSetup Easergy Pro, 2022)	31

KUVA 33. Asetteluarvot Io>> (eSetup Easergy Pro, 2022)	32
KUVA 34. Testiohjelma maasulku Io> (ARTES 5 Testing Software, 2022)	32
KUVA 35. Testiohjelma maasulku Io>> (ARTES 5 Testing Software, 2022)	33
KUVA 36. Raportti maasulku Io> (ARTES 5 Testing Software, 2022)	33
KUVA 37. Tulos maasulku Io>> (ARTES 5 Testing Software, 2022)	34
KUVA 38. Raportti maasulku Io>> (ARTES 5 Testing Software, 2022)	34
KUVA 39. KytKentä 2 riviliittimet (Turunen, 2022)	35
KUVA 40. KytKentä 2 ARTES (Turunen, 2022)	35
Kuva 41. Jälleenkytkentä matriisi (ARTES 5 Testing Software, 2022)	36
Kuva 42. Binääritulot MF 3 ja MF 4 (ARTES 5 Testing Software, 2022)	36
KUVA 43. Jälleenkytkentöjen toiminta-ajat (ARTES 5 Testing Software, 2022)	37
KUVA 44. Tulos jälleenkytkentä (ARTES 5 Testing Software, 2022)	37
KUVA 45. Raportti jälleenkytkentä (ARTES 5 Testing Software, 2022)	38

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on toteuttaa ohjeistus ARTES 600- relekoestuslaitteiston käyttöönotolle ja kyseisellä laitteistolla suoritettaville suojarahkoestuksille. Työn tilaajana on Savonia-ammattikorkeakoulun sähkötekniikan koulutusala. Relekoestuslaite oli hankittu koululle pari vuotta sitten, ja se oli jäänyt tähän asti lähes käyttämättömäksi. Tarve ohjeistukselle laitteen käytöstä ja sen toiminnoista oli suuri, jotta hankittua laitetta päästään hyödyntämään opetuksessa.

Ensimmäiseksi työssä hankittiin tarvittavaa tietoa, relesuojauksesta ja relekoestuksista. Laitteeseen, sen käyttöön ja ominaisuuksiin perehdyttiin laitteen mukana tulevien käyttöohjeiden avulla. Soveltavassa osuudessa suoritettiin koestukset, ja tästä koestuksesta tehtiin ohjeistus, joka kattaa suojarahkoestukset sähkölaboratoriokontissa sijaitsevalla Schneider P3U30 -johdonsuojareleelle.

Opinnäytetyössä relekoestusosuus rajataan koskemaan vain yhtä sähkötekniikan laboratoriossa sijaitsevaa johdonsuojarelettä. Työn ulkopuolelle rajataan myös laajempi teoriatausta sähkönsäätö- ja jakeluverkkoihin liittyen. Koestukset ja niistä tehtävä ohjeistus rajataan koskemaan vain ylivirtojen ja jälleenyhtymien koestamista.

2 SÄHKÖNJAKELUVERKKOJEN SUOJAUS

Sähkönjakeluverkkojen suojukselle Suomessa on asetettu sähköturvallisuusstandardeissa vaatimuksia. Näiden vaatimusten takia sähkönjakeluverkoille on verkonhaltijoiden asetettava erilaisia suojuksia. Sähköturvallisuuden lisäksi suojuksilla ja niihin liittyvällä automaatiolla, saadaan parannettua sähkön toimitusvarmuutta. (Lakervi & Partanen 2008, 176.)

Keskijänniteverkoissa oikosulkusuojuksilla pyritään estämään, jakeluverkon eri osien, komponenttien ja johtojen vaurioituminen vikatilanteissa. Toinen keskeinen syy oikosulkusuojujen käyttöön on ihmisten, eläinten ja ympäristön turvallisuuden kasvattaminen. Vikatilanteen sattuessa verkon vaurioitunut osa, tulee pystyä irrottamaan syöttävistä verkoista. Oikosulkusuojuksen toimintanopeus tulee olla mitoitettuna oikein, riippuen suojattavasta kohteesta, riittävän nopea tai oikein aikaviivästyttetty. Sen tulee olla myös selektiivinen, jotta vain lähimpänä vikaa oleva suojaus aktivoituu, ja jotta saadaan irrotettua verkosta vain vikaantunut osa. Suojuksen tulee kattaa koko sähkönjakelujärjestelmä, ja sen toiminta on varmistettava kaikissa tilanteissa. (Lakervi & Partanen 2008, 176; Vedenjuoksu 2021, 9.)

Keskijänniteverkoissa käytetään erillisiä maasulkusuojuksia, joita ei voida toteuttaa tavallisia ylivirtasuojia käyttämällä. Maasulkutilanteissa on määritettävä syntyvä maasulkujännite ja –virta, ihmisten ja eläinten turvallisuuden takaamiseksi, sekä estämään tulipalon syntyminen vian sattuessa. Keskijänniteverkot ovat Suomessa joko maasta erotettuja tai sammutettuja verkkoja. Maasulkuvirran suuruus on riippuvainen galvaanisen verkon pituudesta. Maasta erotetussa verkossa verkon jännitteet muuttuvat, ja verkossa esiintyy maakapasitanssien kautta kulkevia virtoja. Maasulkuvirtojen suojuksessa käytetään joko suunnattuja tai suuntaamattomia summavirtamuuntajia, jotka mittavat eri vaiheiden virtoja ja laskevat näitä yhteen. (Lakervi & Partanen 2008, 182-183; Elovaara & Haarla 2011, 340; Vedenjuoksu 2021, 17-19.)

Avojohtojakeluverkoissa maa- ja oikosulkusuojausten yhteydessä käytetään automaattisia jälleenkytkentöjä. PJK eli pikajälleenkytkentä tarkoittaa sitä, että rele tekee automaattisen katkaisijan kiinnikömmön suhteellisen lyhyen (kantaverkossa 0,2 s-0,4 s) jännitteettömän ajan jälkeen. Suurin osa verkkojen vioista poistuvat tällä pikajälleenkytkennällä. Pikajälleenkytkennän jälkeen käytetään aikajälleenkytkentää AJK. Tässä aikajälleenkytkennässä, jännitteetön aika on huomattavasti pidempi (30 s-60 s) kuin pikajälleenkytkennässä, jotta johdot kerkeävät jäähtymään ja katkaisijan jousi palautumaan. (Elovaara & Haarla 2011, 371-373; Vedenjuoksu 2021; 44.)

2.1 Relesuojaus

Sähköverkoissa tapahtuvien vikojen varalta jakeluverkot varustetaan katkaisijoilla, joita varsinkin keskijänniteverkoissa ohjataan suojareleillä. Rele koostuu erilaisista osista, tunnistavasta elimestä, joka havaitsee muutoksia, mittauselimestä, aikaelimestä ja yleensä myös tehon suunnan havaitsevasta suuntaelimestä. Nämä releen rakenteelliset eri osat tarkkailevat sähköisiä suureita mittalaitteen tavoin, joten ne pystyvät havaitsemaan poikkeamat verkon normaaleista käyttötilanteista. Jotta suojarele toimisi sen käyttötarkoituksen mukaisesti, on sille asetettava erilaisia parametreja, toiminta-arvoja ja -aikoja. Vian tapahtuessa releen tulee havahtua, ja suorittaa asettelujen mukaiset

toimenpiteet. Yleisin releen tehtävä on katkaisukäskyn antaminen katkaisijalle sekä indikointi, eli ilmoittaminen käyttäjälle tilanteesta. (Mörsky 1992, 3,19; Elovaara & Laiho 2007, 389-392; Korpinen, 6.)

Relesuojaukselle asetettuja vaatimuksia ovat seuraavat:

- Suojauksen on katettava sähköjärjestelmä kokonaisuudessaan.
- Selektiivisyys, suojauksen on katkaistava jakelu mahdollisimman pienellä osalla verkkoa.
- Suojauksen toiminnot on tapahduttava riittävän nopeasti, jotta vian aiheuttamat vaaratilanteet, verkon häiriöt ja vahingot jäävät kohtuullisiksi.
- Herkkyyden tulee olla määritelty oikein, verkon normaalit käyttötilanteet eivät saa aiheuttaa suojauksen toimimista, kuitenkin viat on havaittava riittävällä tarkkuudella.
- Suojauksen on oltava luotettava, tämä on yksi perusedellytyksistä. Suojan on aina toimitettava sille asetetuissa ja määritellyissä olosuhteissa, tästä johtuen niiden tulee olla rakenteellisesti riittävän yksinkertaisia.
- Vian sattuessa suojan on toimittava itsenäisesti, ilman ihmisen valvontaa, eikä yhteysongelmat saa vaikuttaa releen toimintaan. Sillä on oltava myös itsevalvontajärjestelmä, joka ilmoittaa laitteen sisäisestä viasta.
- Koestukset ja huollot tulee olla toteutettavissa käyttökohteessa ilman jakelun keskeytymistä. (Mörsky 1992, 15-16; Elovaara & Yrjö 2007, 389-391; Studyelectrical, (ei pvm))

2.2 Suojareletyypit

Erilaisia suojareleitä on olemassa kymmenittäin, ja niitä käytetään erilaisissa paikoissa niiden käyttötarkoituksen mukaan. Releet voidaan jakaa ensin karkeasti kahteen ryhmään toimintatapansa perusteella, sähkömekaanisiin ja staattisiin. Sähkömekaaniset releet olivat ensimmäisiä releitä ja niiden toiminta perustuu magneettikentän kasvuun, joka tapahtuu virran noustessa. Mekaanisesti toimivat releet ovat usein suurikokoisia, epätarkkoja ja niitä täytyy huoltaa runsaasti. Kuitenkin ne ovat myös kestäviä ja niiden toiminta on yksinkertaista, joten niillä on vielä tänäkin päivänä paikkansa sähkönjakeluverkon suojauksessa. Staattiset, eli elektroniset releet tulivat käyttöön 60-luvulla ja toisin kuin mekaaniset releet niissä ei ole liikkuvia osia, vaan ne sisältävät puolijohdekomponentteja ja ne operoivat mikropiirien avulla. Staattiset releet ovat tarkempia, palautuvat nopeammin, vaativat vähemmän huoltoa ja ovat kooltaan pienempiä kuin mekaaniset releet. Digitaaliset releet ovat elektronisista releistä seuraava kehitysmuoto ja ne sisältävät mikroprosessoria. Näillä releillä voidaan toteuttaa paljon monipuolisempia suojaustoimintoja kuin aiemmilla releillä, niissä on itsevalvontatoimintoja ja ohjauksia sekä ne toimivat myös tiedonkeruuyksikköinä. Uusimmat releet ovat niin sanottuja numeerisia releitä. Näissä numeerisissa releissä ominaisuuksien laajentumisen lisäksi tärkeimpiä uudistuksia ovat, käyttö tietokoneen avulla, helppokäyttöiset käyttäjäliittymät ja automatisoitujen toimintojen lisääntyminen. Näin ollen ne ovat isossa osassa nykyaikaista pitkälle automatisoitua sähköverkon suojausjärjestelmää. (Mörsky 1992, 21-26; Elovaara & Laiho 2007, 168-170; Elovaara & Haarla 2011, 344-345; Eaton, (ei pvm))

Yleisimpiä suojareleitä jaoteltuna mitattavan suureen mukaan ovat

- Ylivirtareleet

- Jännitereleet
- Taajuusreleet
- Teho- ja suuntareleet
- Vertoreleet
- Impedanssireleet.

Ylivirtareleissa mitattavana suurena on nimensä mukaisesti virta. Rele toimii silloin, kun virta ylittää määritellyn releelle määritetyn arvon. Ylivirtareleita käytetään ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksessa ja ne on kytketty suojattavaan piiriin virtamuuntajien kautta. Mittaus voi tapahtua suoraan valvottavasta virrasta, mutta yleensä se tapahtuu virtamuuntajan toisiopiirin kautta. Erilaisia ylivirtareleitä ovat, hetkellinen-, vakioaika-, käänteisvakioaikaylivirtarele ja lämpörele. Hetkellinen ylivirtarele toimii ilman viivettä, asetetun toiminta-arvon ylittyessä. Hetkellinen ylivirtarele ei havaitse vian suuntaa, joten sitä ei voida käyttää ainakaan yksistään silmukoidun verkon suojauksessa. Silmukoiduissa verkoissa voidaan käyttää ylivirtareleitä, joissa on yhdistetysti kaksi porrasta, vakioaika- ja käänteisvakioaika. Vakioaika-asettelu toimii virran lisäksi määritettyjen aika-arvojen mukaisesti. Rele havahtuu asetteluarvon ylittävään virtaan ja odottaa asetetun ajan laskeeko virta alle havahtumisarvon. Jos virta ei tuona aikana laske alle asetteluarvon, niin rele antaa katkaisijalle laukaisukäskyn. Rele palautuu normaalitilaan, kun virta laskee alle havahtumisarvon. Käänteisaika-asettelussa releen toiminnan hidastus tapahtuu käänteisesti virtaan nähden, eli suuremmat virrat laukaisevat releen nopeammin kuin pienemmät virrat. (Mörsky 1992, 35-41.)

Jännitereleet tarkkailevat jännitetasossa tapahtuvia muutoksia. Asetellun jännitetason ylittäviä jännitteitä havainnoivat ylijännitereleet. Ylijännitereleitä käytetään voimalaitoksien tahtigeneraattorien jännitteenousun valvonnassa. Näiden releiden toinen yleinen käyttökohde on toimiminen maasulkusuojien nollajännitereleenä. Asetetun jännitetason allittavia releitä kutsutaan taasen alijännitereleiksi. Näitä käytetään muun muassa 400 kilovoltin sähköasemilla valmiuskytkennöissä sellaisissa tilanteissa, joissa sähköasemalta häviää jännite kokonaan. Tällainen valmiuskytkentä nopeuttaa syötön palauttamista suuren sähköverkon häiriötilanteen jälkeen.

Taajuusreleiden tehtävänä on tarkkailla vaihtojännitteen taajuutta ja siinä tapahtuvia muutoksia. Taajuusreleitä käytetään sähköntuotannon tehonvajaustilanteiden suojauksessa generaattoreiden irrottamiseen verkosta. Teollisuuskäytössä niitä käytetään kuormien automaattiseen erottamiseen ja kytkemiseen tahtimoottoreilta. (Aura & Tonteri 1993, 170-181; Elovaara & Laiho 2007, 392-397.)

Tehoreleeseen vaikuttavat suuret ovat pätö-, lois- ja näennäisteho. Tehorelettä käytetään automaattisiin kytkentöihin, joihin vaikuttavat edellä mainittujen suureiden suuruus ja virtaussuunta. Suuntarele-nimitystä käytetään, kun relettä käytetään vain siirtyvän sähköenergian suunnan selvitykseen. Maasulkusuojauksissa käytetään suuntaamattomia tai suunnattuja maasulkureleitä.

Vertoreleitä käytetään johtojen ja kiskojen suojauksen lisäksi myös generaattoreiden ja muuntajien suojauksessa. Vertoreleet vertailevat verkon eri kohdissa esiintyviä suureita kuten virtoja ja tehoja. Sillä miten mittauspisteet on sijoitettu, voidaan vertoreleet jakaa vielä pitkittäis- ja poikittaisvertosuojiin. Pitkittäisvertosuojan mittauspisteet ovat sijoitettu johdon molempiin päihin suojattavan kohteen ollessa näiden pisteiden välissä. Poikittaisvertosuoja on taasen sijoitettu rinnakkaisille piireille ja

samalle puolelle suojattavaa kohdetta. Yleisin vertorele on differentiaali- eli erovirtarele, jonka toiminta perustuu eri suureiden mittaamiseen ja niiden keskinäiseen vertailuun. Differentiaalireleellä voidaan mitata esimerkiksi virtoja. Silloin kun suojauskohteessa ei ole vikaa, virtojen summa on tällöin nolla. Vikatilanteessa virtojen arvot poikkeavat ja releeseen asetettujen toiminta-arvojen ylittyessä rele suorittaa sille määritetyt toimenpiteet.

Impedanssireleistä yleisin rele on distanssirele. Distanssireleet mittaavat vaihevirtoja ja pääjännitteitä sekä näiden avulla impedanssia. Tämän mitatun impedanssin avulla saadaan määriteltyä vika paikan ja releen sijoituspaikan välinen etäisyys. Distanssireleitä käytetään kantaverkkojen suojauksessa, ne toimivat rengas- ja säteittäisverkkojen johtojen maasulku- sekä oikosulkusuojauksessa. (Elovaara & Haarla 2011, 346-360; Vedenjuoksu 2021, 44-48.)

3 SUOJARELEKOESTUS

Luotettavin tapa suorittaa suojareleen koestus on tehdä se suojattavan piirin ensiöpuolelta, koska se vastaa lähinnä todellista käyttötilannetta. Kuitenkin usein koestukset suoritetaan toisiopiirin kautta, tämän tavan ollessa helpompi. Koestustavan valintaan vaikuttaa myös laite, jolla koestus suoritetaan. Tässä opinnäytetyössä käytettiin suojauksen toisiokoestusta. Koestuslaite kytkettiin toisiopiirin puolelle ja virtamuuntajien ensiöpiiri erotettiin, jotta syötetyt virrat eivät menisi virtamuuntajille asti ollenkaan.

Koestuksia suoritettaessa tulee ottaa huomioon seuraavat sähköturvallisuuden liittyvät seikat:

- Ennen kytkentöjä on varmistettava laitteiden jännitteettömyydestä ja estettävä jännitteen takaisinkytkytyminen.
- Tarvittavat työmaadoitukset tulee olla käytössä, ja koestuslaitteen maadoitus varmistettava.
- Kytkennät täytyy tehdä oikein ja tarkastaa ennen jännitteiden tai virtojen syöttämistä.
- Kytkennät tulee purkaa oikeassa järjestyksessä ja palauttaa järjestelmään tehdyt muutokset takaisin alkuperäiseen tilaan.
- Mittauskaapelit tulee olla mittaukseen hyväksytyjä ja ehjiä.
- Koestajalla täytyy olla riittävä tietämys ja ammattitaito koestuksiin liittyen sekä riittävä koestettavan laitteiston tuntemus.
- ARTES 600- relekoestuslaitetta ei saa koskaan sammuttaa tai irrottaa kytkentöjä koestuksen ollessa käynnissä. (Mörsky 1992, 365-368; Operating Instructions ARTES 600 (ei pvm) 6.)

4 LAITTEIDEN ESITTELY

4.1 ARTES 600-relekoestusjärjestelmä

4.1.1 Yleistä

ARTES 600-relekoestusjärjestelmän valmistaja on KoCoS Technology Group, joka on vuonna 2001 perustettu, maailmanlaajuinen teknologiayritysryhmittymä. Sen päätoimialoja ovat sähkönsyöttöjärjestelmissä olevien laitteiden, mittaus- ja testausjärjestelmien sekä laseroptisten tarkastusjärjestelmien, myynti, kalibrointi, koulutus, huolto ja laadunvalvonta. (KoCoS Messtechnik AG, 2022.)

ARTES 600 on testijärjestelmä, jota voidaan käyttää kaikenlaisien suojarileiden, mutta myös monenlaisten mittareiden ja antureiden koetuksessa. Laitetta voidaan käyttää itsenäisesti, joko laitteeseen integroidun ohjauspaneelin avulla, tai erillisellä laitteen mukana tulevalla Windows-pohjaisella tietokoneohjelmistolla. (Esite ARTES 600, (ei pvm))

4.1.2 Ominaisuudet

Testijärjestelmästä löytyy neljä jännitelähtöä ja kuusi virtalähtöä, joiden avulla laitteella voidaan suorittaa itsenäisesti testauksia suojarileille, kuten virta-, jännite-, taajuusreleille, differentiaali- ja distanssireleille. Testit voidaan suorittaa staattisesti vakioarvoilla, tai dynaamisesti, jolloin vaihekulman, taajuuden, jännitteiden ja virtojen arvoja voidaan muunnella vapaasti. Laitetta voidaan käyttää myös mallintamaan kolmivaiheista generaattoria.

Laitteeseen on integroitu ohjauspainikkeet, joiden avulla yksinkertaisimmat koestukset onnistuvat yksistään tällä laitteella, sen paikallisohjausta hyödyntäen. ARTES-testaussovelluksen avulla, erilaisten testauksien määrää saadaan kasvatettua huomattavasti. (Operating Instructions ARTES 600,(ei pvm); Esite ARTES 600, (ei pvm))

4.1.3 Liitännät

Testauksessa tarvittavat liitännät löytyvät laitteen etupaneelistä (KUVA 1):

1. Monitoimisisääntulot

- Kaksitoista kappaletta sisääntuloja, joita voidaan käyttää joko analogituloina tai binäärituloina. Nämä tulot on jaettu kuuteen galvanisesti erotettuun ryhmään, jotka voi vapaasti määrittellä joko analogisille- tai binäärisignaaleille.
- Binääritulot voidaan määrittellä mittaamaan joko jännitesignaalia (0–300 tasajännitettä), tai toimimaan kontaktista potentiaalivapaana kytkimenä.

2. Analogiset sisääntulot

- Kaksi kappaletta analogista sisääntuloa tasavirran mittaukseen.
- Mittausalue 0–20 milliampeeria.

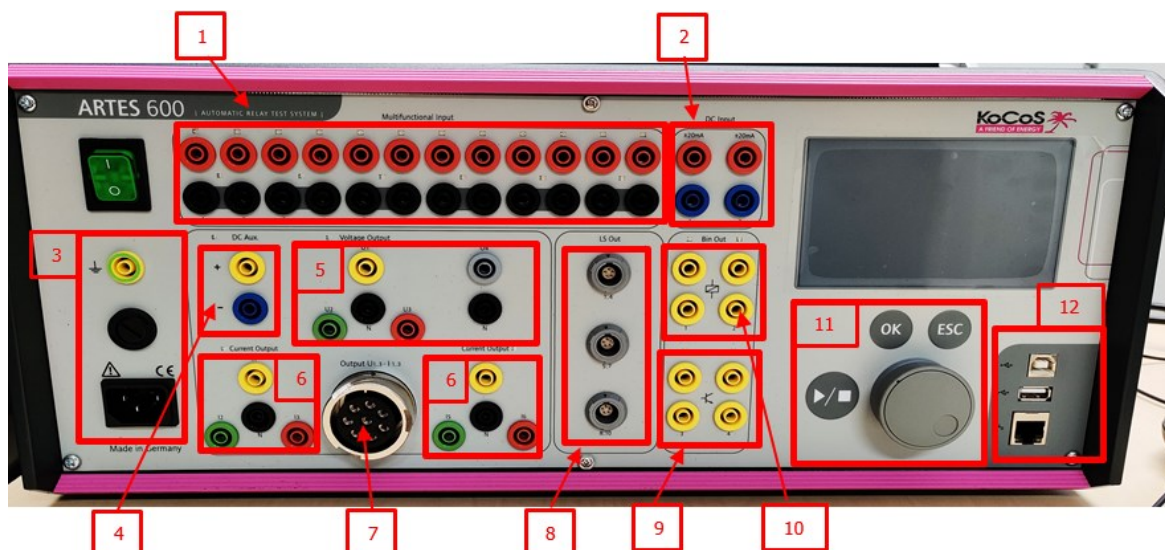
3. Virtalähteen liitäntä, mikrosulake ja erillinen suojamaaliitäntä.

4. Tasajännitelähtö, jännitealue 12–260 volttia, maksimiteho 50 wattia, kahden ampeerin virralla.

5. Jännitelähdöt

- Neljä kappaletta jännitelähtöjä, lähdön U4 vaihekulma, amplitudi ja taajuus on määriteltävänä erillisenä. Lähtöjen U1-U3 vaihekulman, amplitudin ja taajuuden säätö on yhteinen.
6. Virtalähdöt
 - Kuusi kappaletta virtalähtöjä, joiden vaihekulmaa, amplitudia ja taajuutta voidaan säätää vapaasti.
 7. Generaattorilähtö
 - Vaihtoehtoinen yhdistetty generaattoria mallintava virta- ja jännitelähtö.
 8. Signaalilähdöt
 - Suuren tarkkuuden omaavat lähdöt signaalien mittaukseen.
 9. Binäärilähtörele
 - Potentiaalivapaat lähdöt, jotka toimivat releen tavoin.
 10. Binäärilähtötransistori
 - Transistorilähtö, kytkentätaajuus 1 000 hertsiä, kytkentäjännitealue 0–300 volttia tasajännitettä, 50 milliampeeria.
 11. Ohjauspainikkeet paikalliskäyttöä varten
 12. USB- ja Ethernet-liitännät

(Operating Instructions ARTES 600,(ei pvm))



KUVA 1. ARTES 600 liitännät (Turunen, 2022)

ARTES 600-relekoestuslaitteen mukana toimitetaan asennuslevy ARTES-tietokoneohjelmistolle. Ohjelmisto on Windows-pohjainen ja tässä opinnäytetyössä käytetty ohjelmistoversio oli 5 (Beta). Ohjelmalla voidaan luoda yksittäisiä testiohjelmia tai testausarjoja. Sillä on mahdollista luoda topologinen kuvaus testattavasta verkosta ja sen eri osista. Testaukset voidaan käynnistää sovelluksen käyttöliittymän avulla ja testauksien aikana saadaan reaaliaikaisesti informaatiota graafisesti sekä numeerisesti. (User Manual ARTES 5 Testing Software,(ei pvm))

4.2 Schneider P3U30 -johdonsuojarele

Opinnäytetyössä koestettu suojarele Schneider P3U30, toimi johdonsuojareleenä, Savonian sähkölaboratoriokontin katkaisijalla varustetussa johtolähdössä J05 (KUVA 2). Suojarele on soveltuva keski-jänniteverkkoihin ja se sisältää yli 40 suojaustoimintoa. Relettä pystytään ohjaamaan tietokoneen, mutta myös esimerkiksi älypuhelimien avulla (Schneider Electric, 2022). Näyttöpaneelin avulla relettä pystyttiin operoimaan paikalliskäytöllä, ja tietokone yhdistettiin suojareleeseen siinä sijaitsevan USB-B liittimen kautta. Näytön avulla pystyttiin seuraamaan myös virta-arvoja, katkaisijan tilaa sekä kuitaamaan vikatilanteita (KUVA 3).



KUVA 2. Johtolähtö J05 (Turunen, 2022)



KUVA 3. Schneider P3U30 (Turunen, 2022)

Suojareleen yhdistämiseen tietokoneen kanssa käytettiin eSetup Easergy Pro- sovellusta. Sovelluksen avulla oli mahdollista seurata suojareleeseen syötettyjä virtoja reaaliaikaisesti. Sovelluksen kautta, saatiin tehtyä kaikki testauksissa tarvittavat parametrien muutokset suojausasetteluihin.

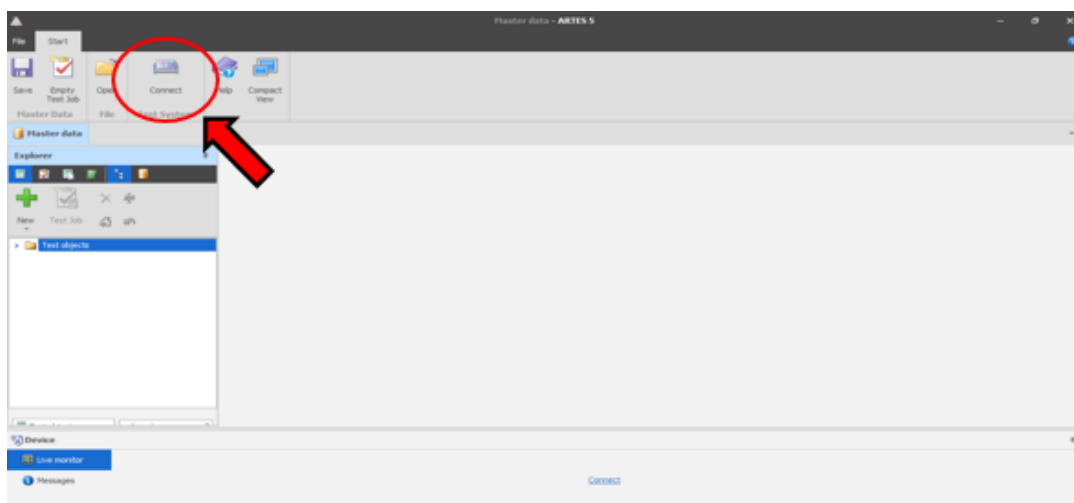
5 TESTIKOESTUKSET

5.1 Yhdistäminen tietokoneeseen

ARTES 600-relekoestuslaitteisto yhdistettiin tietokoneeseen ARTES 5-sovelluksen avulla. Ensiksi etäkäytön yhteyden muodostamisessa käytettiin Ethernet-kaapelia, mutta testauksen edetessä havaittiin, että yhteyden muodostaminen USB-kaapelin avulla aiheutti vähemmän katkoksia yhteydessä (KUVA 4). Yhteys muodostetaan ARTES 5-sovelluksen aloitusnäytön connect-painikkeesta (Kuva 5).



KUVA 4. Kosketusnäyttö (User Manual ARTES 5 Testing Software,(ei pvm))



Kuva 5. ARTES yhdistäminen (ARTES 5 Testing Software, 2022)

Suojareleen yhdistäminen tapahtui eSetup Easergy Pro-sovelluksen avulla, releen etupaneelissa sijaitsevan USB-B-portin kautta. Yhteys muodostetaan sovelluksen aloitusnäytön connection-painikkeesta (KUVA 6). Valittavana on kolme käyttäjävaihtoehtoa (KUVA 7):

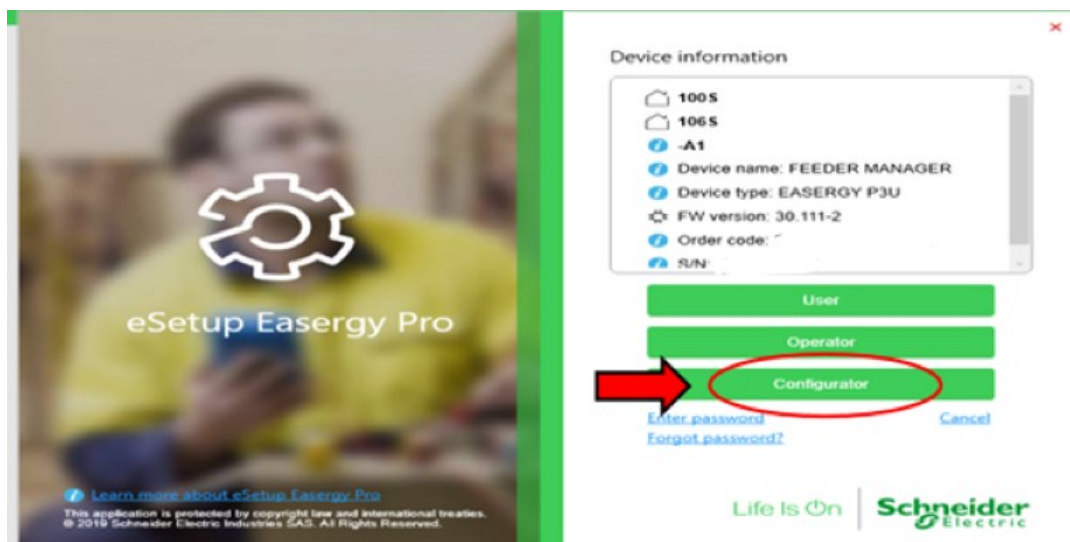
User-käyttäjällä on käytössä vain lukuoikeudet.

Operator-käyttäjällä on rajoitettu parametrien muokkausoikeus.

Configurator-käyttäjällä on käytössä kaikkien parametrien muokkausoikeus. Koestuksessa oli tarvetta suojareleen parametrien muokkaamiseen, joten valittiin tämä käyttäjä. (Käyttöohje P3U30, 2021.)



KUVA 6. eSetup Easergy Pro yhdistäminen (eSetup Easergy Pro, 2022)



KUVA 7. Käyttäjän valinta (eSetup Easergy Pro, 2022)

5.2 Ylivirtasuojien koestus

Tässä koestuksessa koetetaan kaksiporista ylivirtasuojauksa. Ylivirta I> on ylivirtasuojauksen ensimmäisen portaan suojaus. Kyseinen suoja on siis ensimmäinen suoja, jonka tulee toimia vikatilanteen sattuessa. Tämän suojauksen asettelussa on käytössä toiminta-arvoltaan pienin virta-arvo ja pisin toiminta-aika. Ylivirta I>> on suojauksen toinen porras, ja tässä toiminta-arvo on aseteltu korkeammaksi kuin ensimmäisessä suojauksessa, toiminta-aika on taas aseteltu pienemmäksi kuin ensimmäisessä suojauksessa.

5.2.1 Kytkenät

Ennen koestuslaitteen kytkemistä on varmistettava jännitteettömyydestä, ja erotettava suojattava piiri eli virtamuuntajien toisiopuoli. Tässä laitteistoissa on käytössä riviliittimet, joilla erotus tapahtuu siirtämällä yhdyspala 0-asentoon. Vaihevirtoja syötettiin koestuslaitteen virtalähdöistä I1-I3 + IN, binäärituloina käytettiin monitoimintosisäätuloja MF 1 ja MF 2 (KUVA 8). Kuvassa KUVA 9 nähdään seuraavat kytkenät suojareleen riviliittimillä:

I1 = X1:124

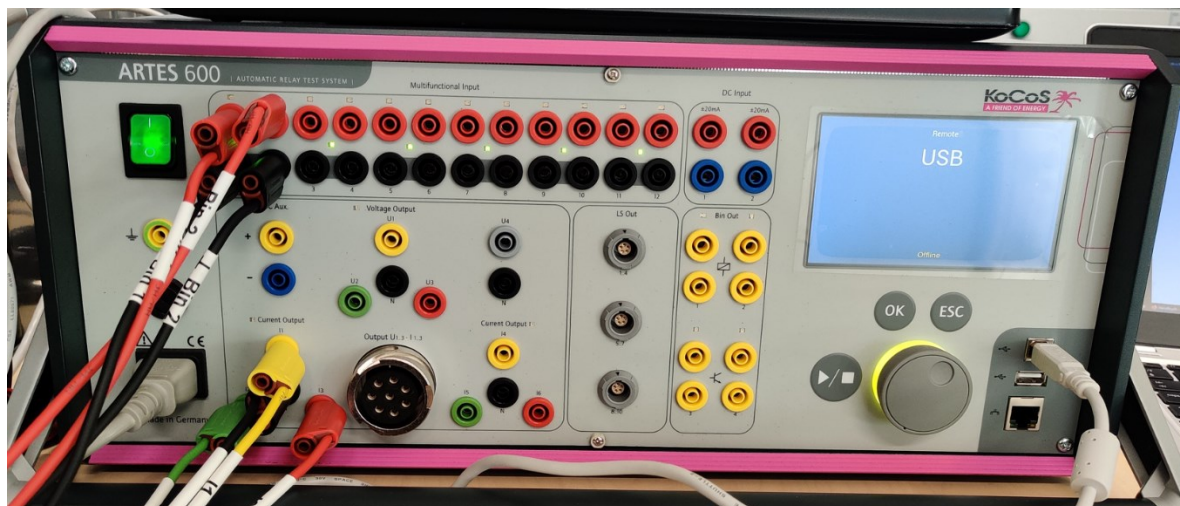
I2 = X1:125

I3 = X1:126

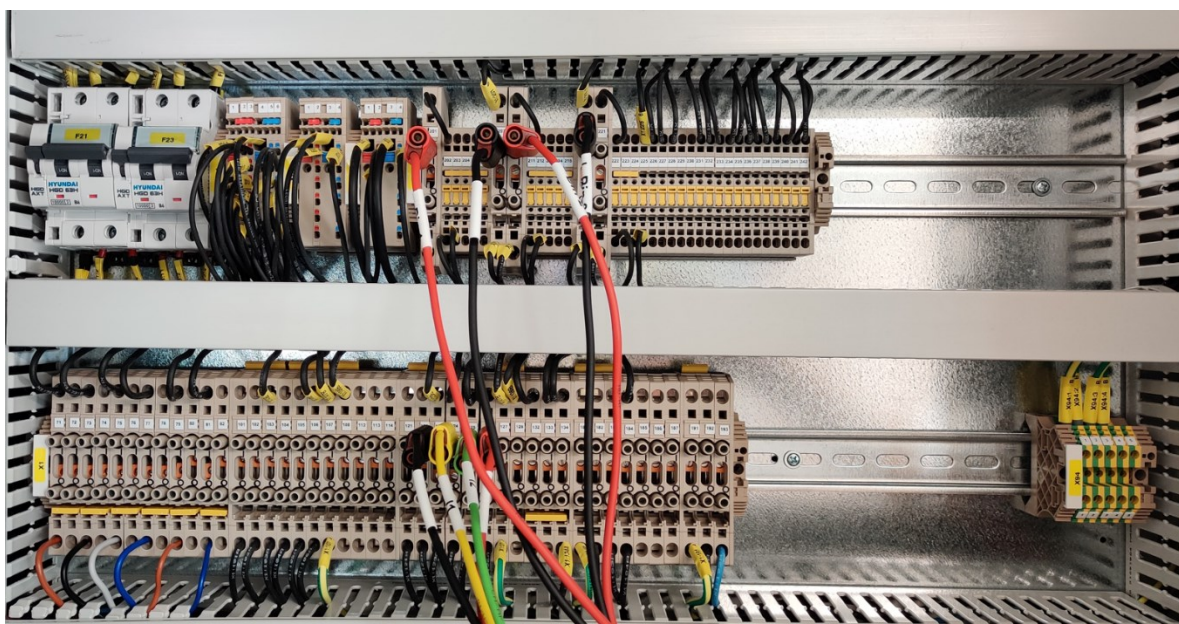
IN = X1:123

Binääritulo 1 = + X1:201 ja – X1:207 (releen laukaisukäsky).

Binääritulo 2 = + X1:210 ja – X1:220 (releen havahtuminen).

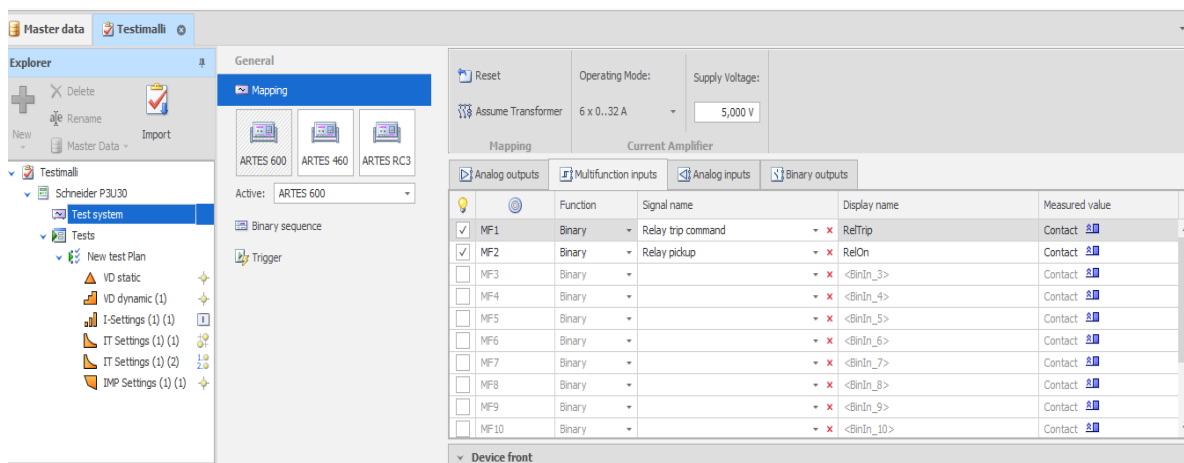


KUVA 8. Kytännät ARTES 600 (Turunen, 2022)



KUVA 9. Kytännät riviliittimissä (Turunen, 2022)

Mittausta varten tarvittiin tiedot, milloin suojarile havahtuu ylivirtaan ja milloin se antaa katkaisijalle toimintakäskyn. Sovellukselle täytyi kertoa sisääntulot, joihin signaalit on kytketty. Valittiin monitoimintosisääntulot 1 (releen laukaisukäsky) ja 2 (releen havahtuminen), sekä määriteltiin signaalien tyyppiä binääri. Mittausarvona toimi kontakti nousevalta reunalta (KUVA 10).



KUVA 10. Binääritulojen MF 1 ja MF 2 asettelu (ARTES 5 Testing Software, 2022)

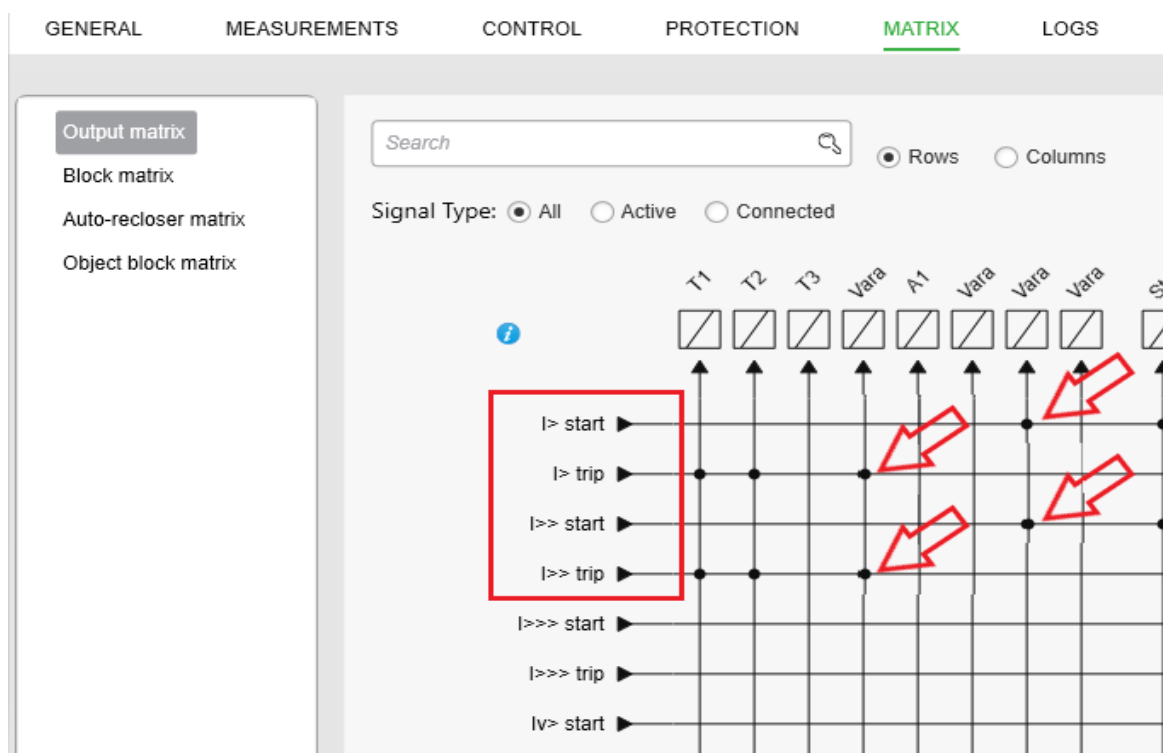
Määriteltiin suojarileen matriiseihin (KUVA 11) kyseiset signaalit aktiivisiksi:

I> start = ensimmäisen suojausportaan havahtuminen

I> trip = ensimmäisen suojausportaan toimintakäsky

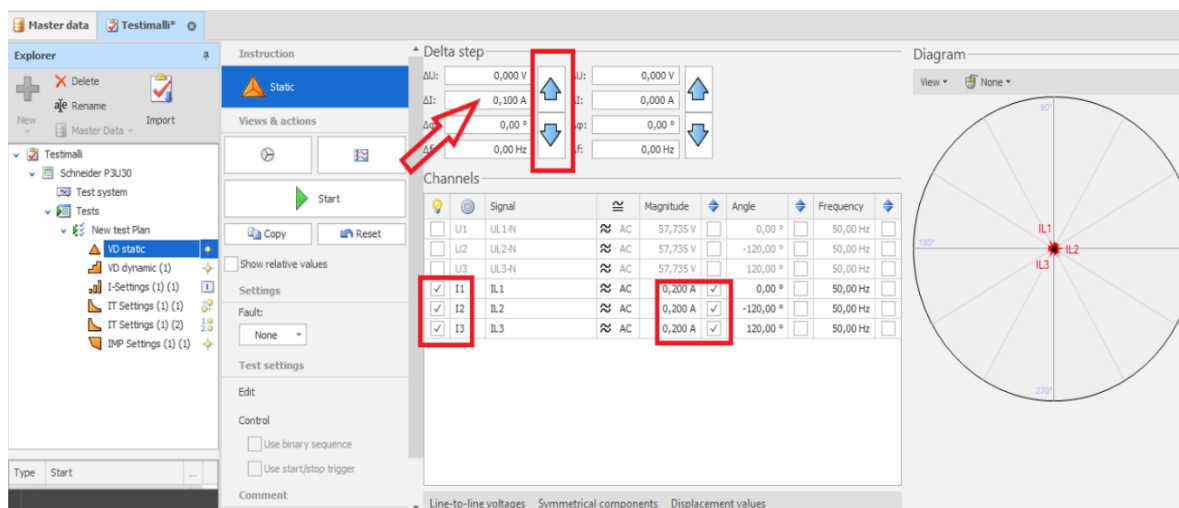
I>> start = toisen suojausportaan havahtuminen

I>> trip = toisen suojausportaan toimintakäsky



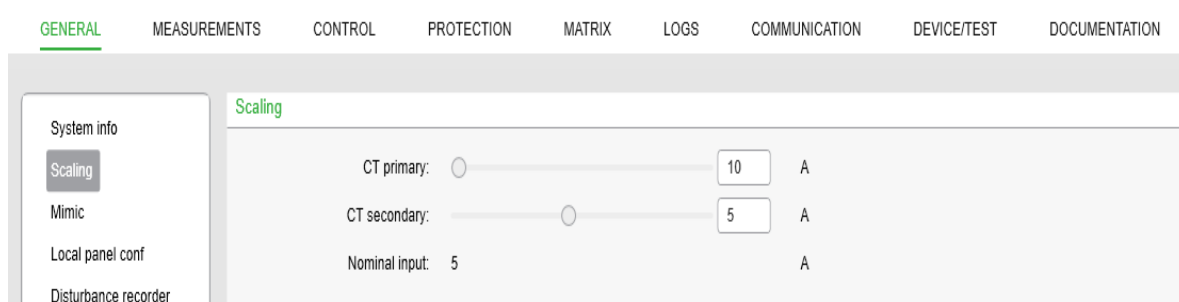
KUVA 11. Ylivirta matriisi (eSetup Easergy Pro, 2022)

KytKentä testattiin käyttämällä VD Static-monitorointia. VD Static-monitoroinnissa, start-painikkeen painamisen jälkeen, laite syöttää valittujen kanavien mukaisia virtoja ja jännitteitä. Näiden jännitteiden ja virtojen suuruutta, kulmaa ja taajuutta voidaan muuttaa pykälittäin. Tämä tapahtuu asettamalla muutosarvo/-arvot halutun suuren tai suureiden kohdalle ja painamalla nuolipainiketta joko ylös- tai alaspäin (KUVA 12).



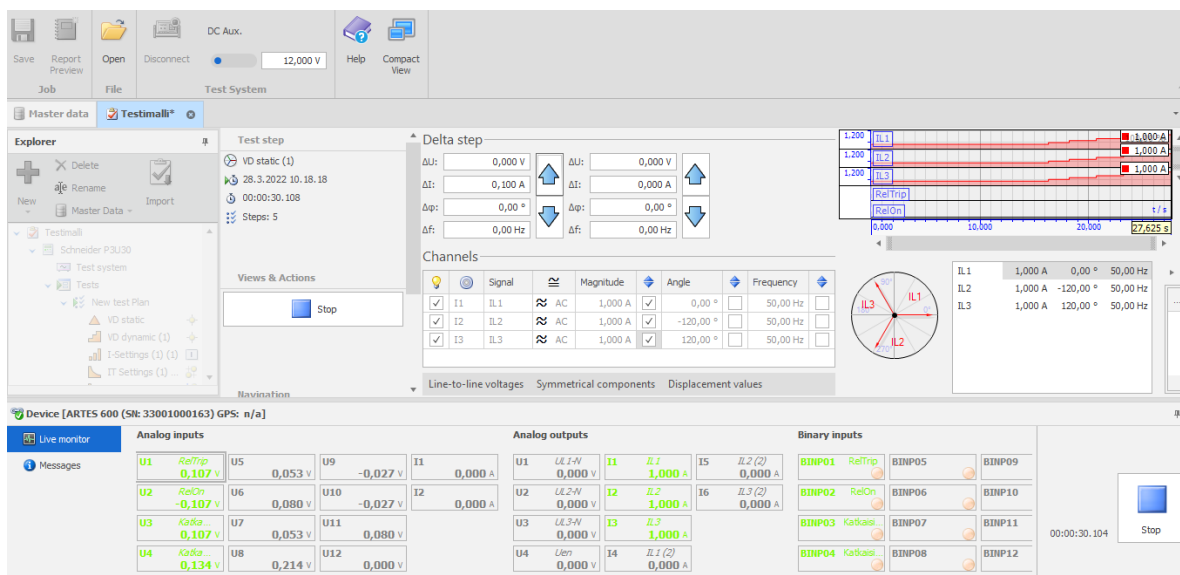
KUVA 12. VD Static-monitorointi (ARTES 5 Testing Software, 2022)

Tässä vaiheessa oli huomioitava virtamuuntajan muuntosuhteet. Suojarele on kytketty virtamuuntajien toisiopuolelle, joiden muuntosuhde on 10 / 5 A (KUVA 13), joten toisiopuolelle syötetyt vaihevirrat näkyvät releellä kaksinkertaisina.



KUVA 13. Virtamuuntajan muuntosuhde (eSetup Easergy Pro, 2022)

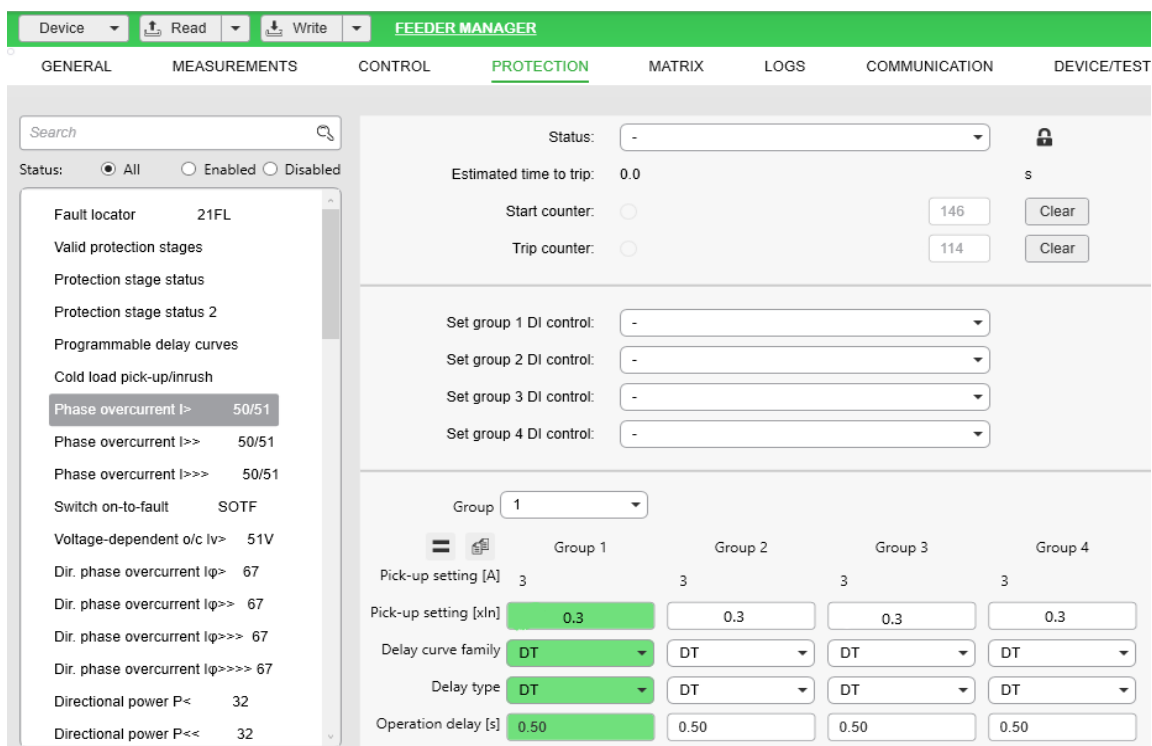
KuvastaKUVA 14 nähdään, kuinka koestuslaite syöttää yhden ampeerin suuruista virtaa kaikille kolmelle vaiheelle. Tässä vaiheessa suojareleen näytössä näkyivät vaihevirtojen arvoina kaksi ampeeria, joten kytkennät ja muuntosuhteet olivat oikein.



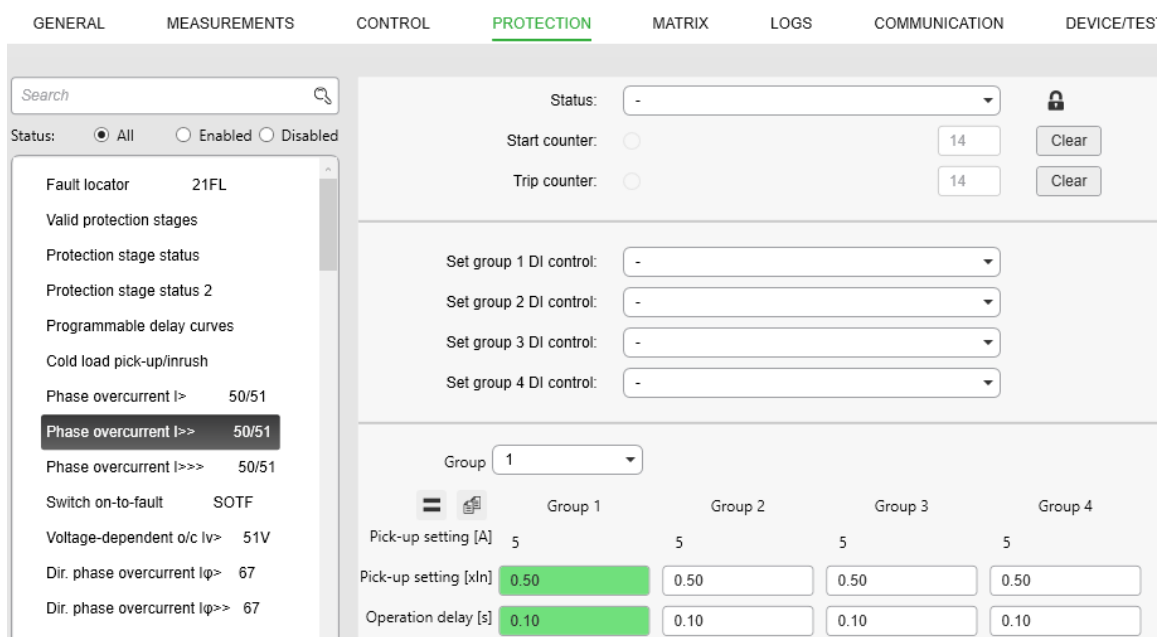
KUVA 14. Live-monitorointi (ARTES 5 Testing Software, 2022)

5.2.2 Testiarvot ja asetukset

Suojauksen testaamista varten tarvitaan suojauksen asetteluarvot, jotka nähdään kuvasta Kuva 15. Ylivirtasuojauksen $I>$, toiminta-arvona käytettiin kolmea ampeeria ja toiminta-aikana puolen sekunnin aikaviivästystä. Toisen suojausportaan $I>>$, vastaavat arvot olivat 5 ampeeria ja 0,1 sekuntia (KUVA 16).

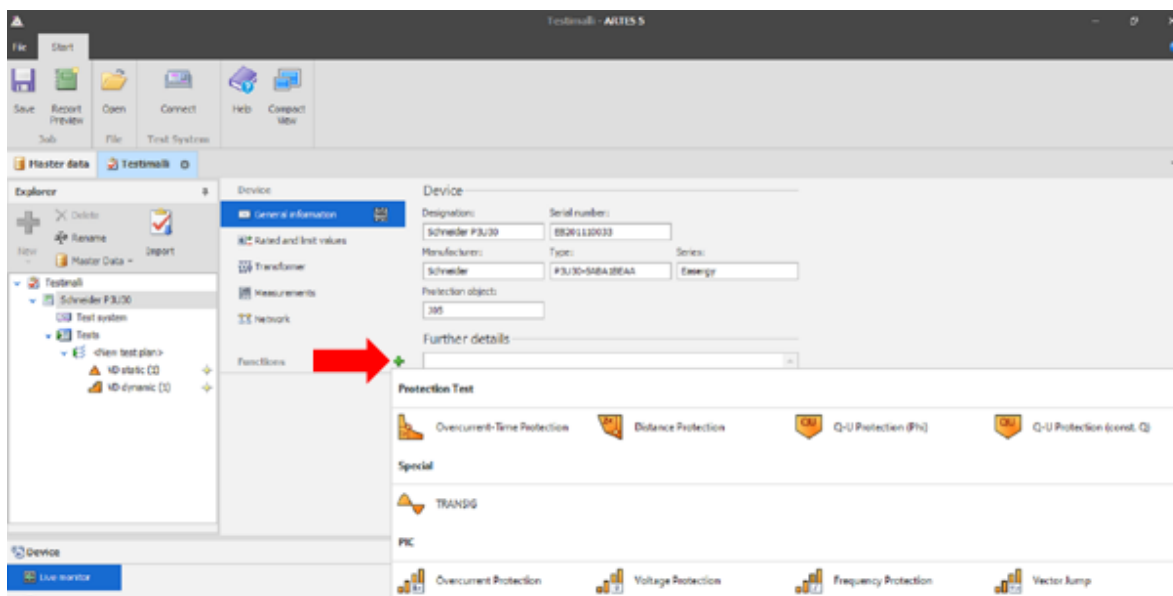


Kuva 15. Ylivirta $I>$ asetteluarvot (eSetup Easergy Pro, 2022)



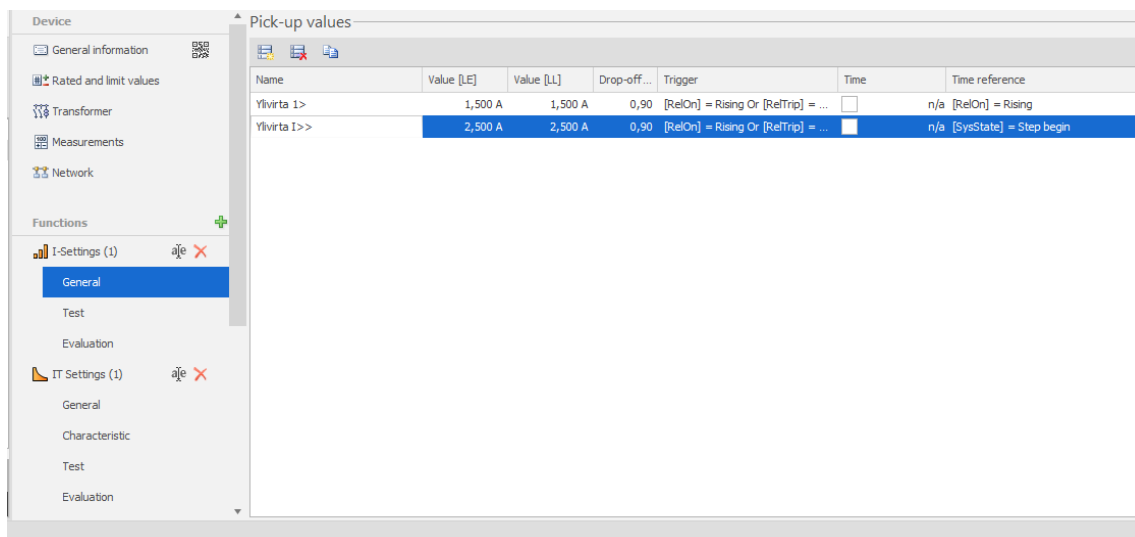
KUVA 16. Ylivirta I>> asetteluarvot (eSetup Easergy Pro, 2022)

Jotta suojaus pystytään testilaitteiston avulla testaamaan, niin ohjelmalle täytyy syöttää suojan tyyppi ja siihen liittyvät parametrit. Vaihtoehtoja on useita erilaisia, kuten yksinkertaiset ylivirta-, jännite- ja taajuussuojat sekä kehittyneemmät aika-virtafunktiot tai distanssisuojaus (KUVA 17).



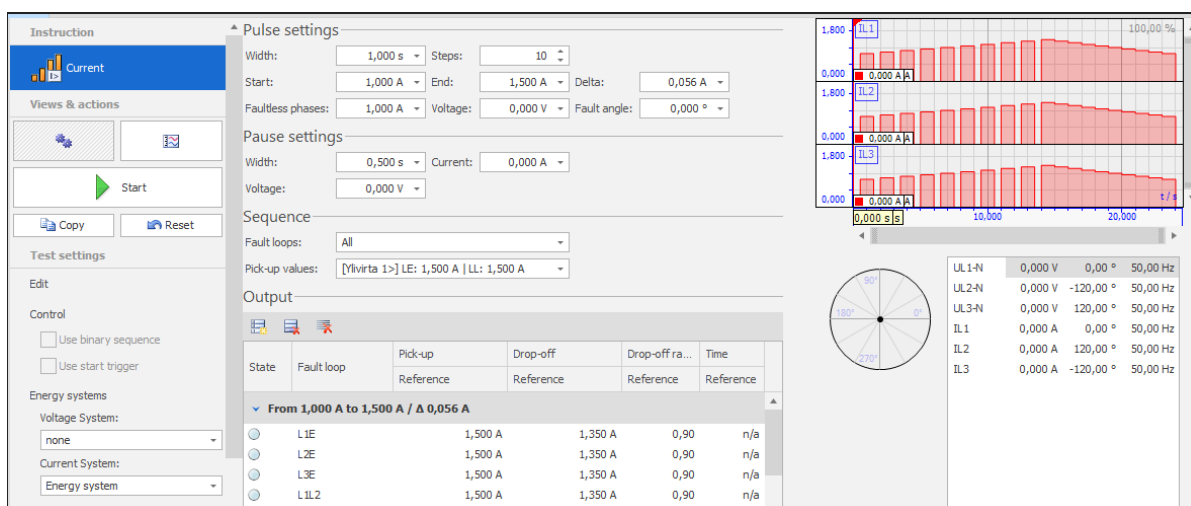
KUVA 17. Suojausfunktiot (ARTES 5 Testing Software, 2022)

Toiminta-arvot aseteltiin ylivirtasuojauksen asetuksiin (KUVA 18) huomioiden muuntosuhteet, $I>$ = 1,5 ampeeria ja $I>>$ = 2,5 ampeeria. Samassa valikossa määriteltiin suojaus päästösuhteen arvoksi 0,9, sekä laukaisusignaalit, havahtuminen (RelOn) ja toimintokäsky (RelTrip).



KUVA 18. Ylivirta-asetukset (ARTES 5 Testing Software, 2022)

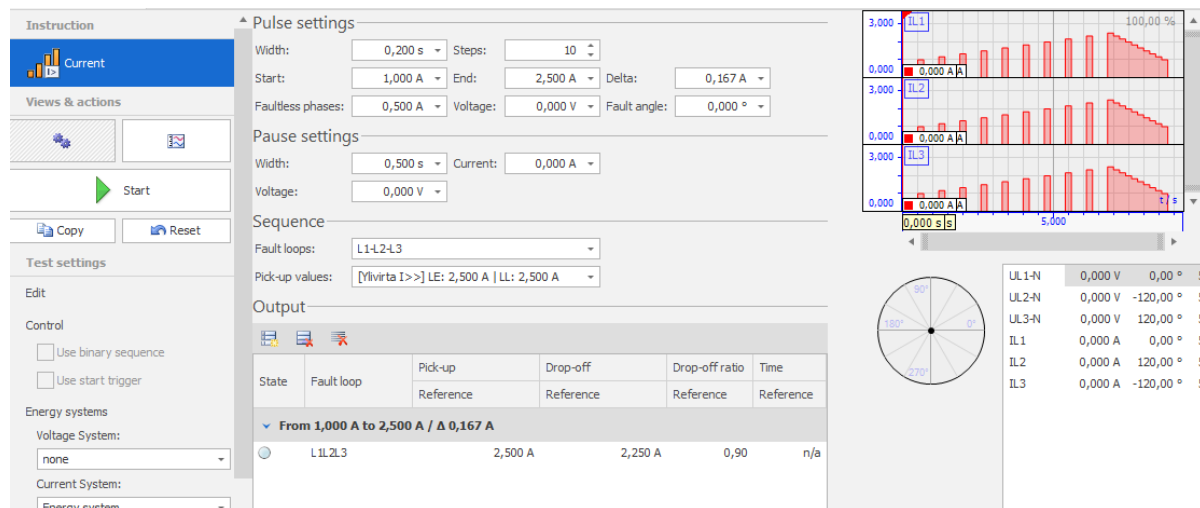
Ylivirtasuojauksen koestus tapahtuu syöttämällä releelle virtapulsseja, joiden asetukset määritellään perusnäkyssä (KUVA 19). Ylivirtasuojan I> koestuksessa käytettiin porrastettua ramppia ja edit-valikosta on lisätty mukaan myös drop-off testi. Ramppi alkaa 1 ampeerista ja nousee portaittain 1,5 ampeeriin. Pulssien välille on asetettu 0,5 sekuntia kestävät tauot, joiden aikana virta laskee nolnaan. Viattomien vaiheiden virta pysyi yhdessä ampeerissa. Pulssien lukumäärä on 10 kappaletta, pulssin kesto 1 sekunti ja jokaisen portaan korkeus 0,056 ampeeria. Vikatyyppeinä käytiin läpi kaikki vikatyypit, eli yksittäisten vaiheiden viat sekä vaiheiden väliset viat. (User Manual ARTES 5 PIC-Monitor,(ei pvm))



KUVA 19. Ylivirta I> testiohjelma (ARTES 5 Testing Software, 2022)

Ylivirtasuojauksen toisen portaan I>> testauksessa käytettiin myös porrastettua ramppia, ja Edit-valikosta on lisätty mukaan myös drop-off testi. Vikatyyppi on L1-L2-L3, joten kaikki vaiheet syöttä-

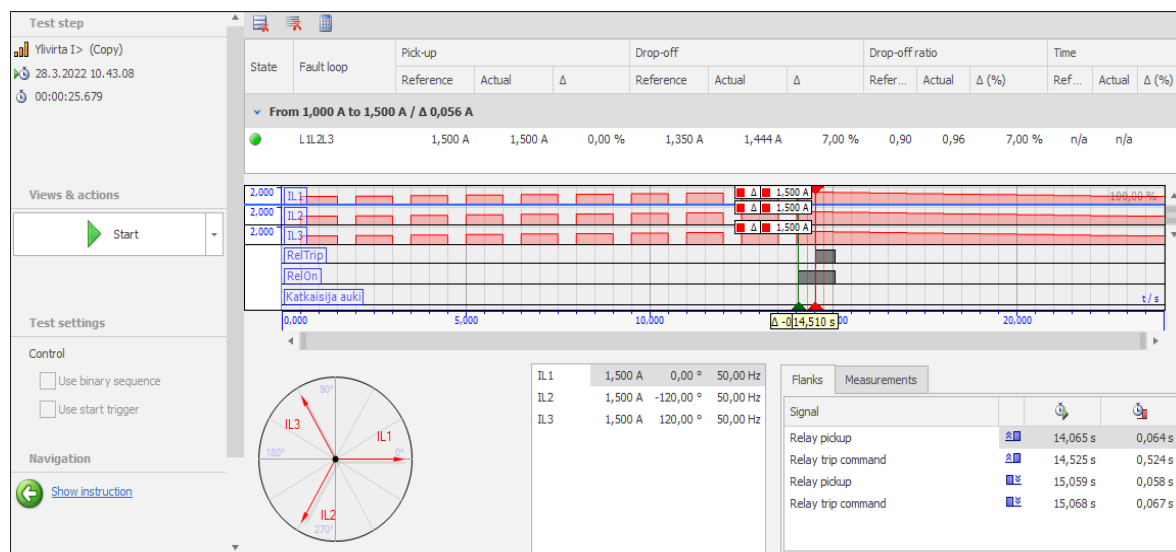
vät samaa virta-arvoa. Ramppi alkaa 1 ampeerista ja nousee portaittain 2,5 ampeeriin, pulssien lukumäärä on 10 kappaletta, pulssin kesto 0,2 sekuntia ja portaan korkeus 0,167 ampeeria pulssien välillä (KUVA 20).



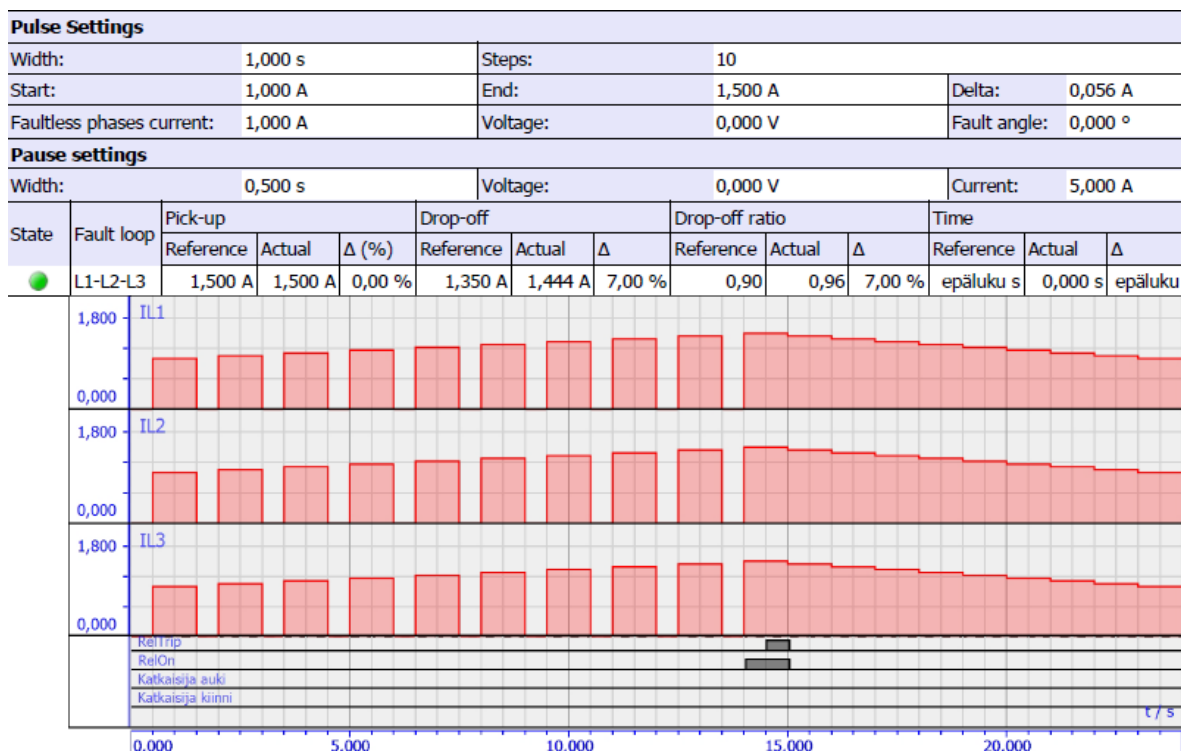
KUVA 20. Ylivirta I>> testiohjelma (ARTES 5 Testing Software, 2022)

5.2.3 Tulokset

Testauksen jälkeen on välittömästi nähtävissä testin tulos, kuvassa KUVA 21 on I> suojauksen vikatilanteen L1-L2-L3 testin tulos, joka on hyväksytty. Rele on havahtunut arvossa 1,5 ampeeria, joka vastaa asetteluarvoa. Rele palautuu normaalitilaan virta-arvossa 1,44 ampeeria eli päästösuhde on hyväksyttävällä tasolla. Aikaviive on noin 0,46 sekuntia (asetusarvo 0,5 sekuntia). Testauksen tulos saadaan tulostettua testausraporttiin (KUVA 22), koko testausraportti löytyy liitteestä 1.

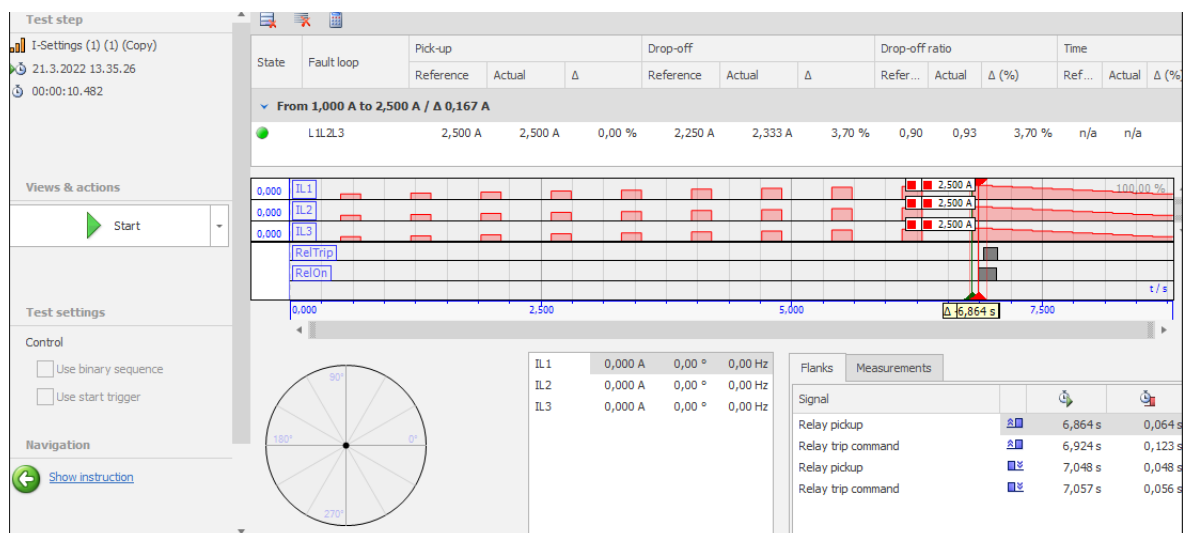


KUVA 21. Tulos ylivirta I> (ARTES 5 Testing Software, 2022)



KUVA 22. Raportti ylivirta I> (ARTES 5 Testing Software, 2022)

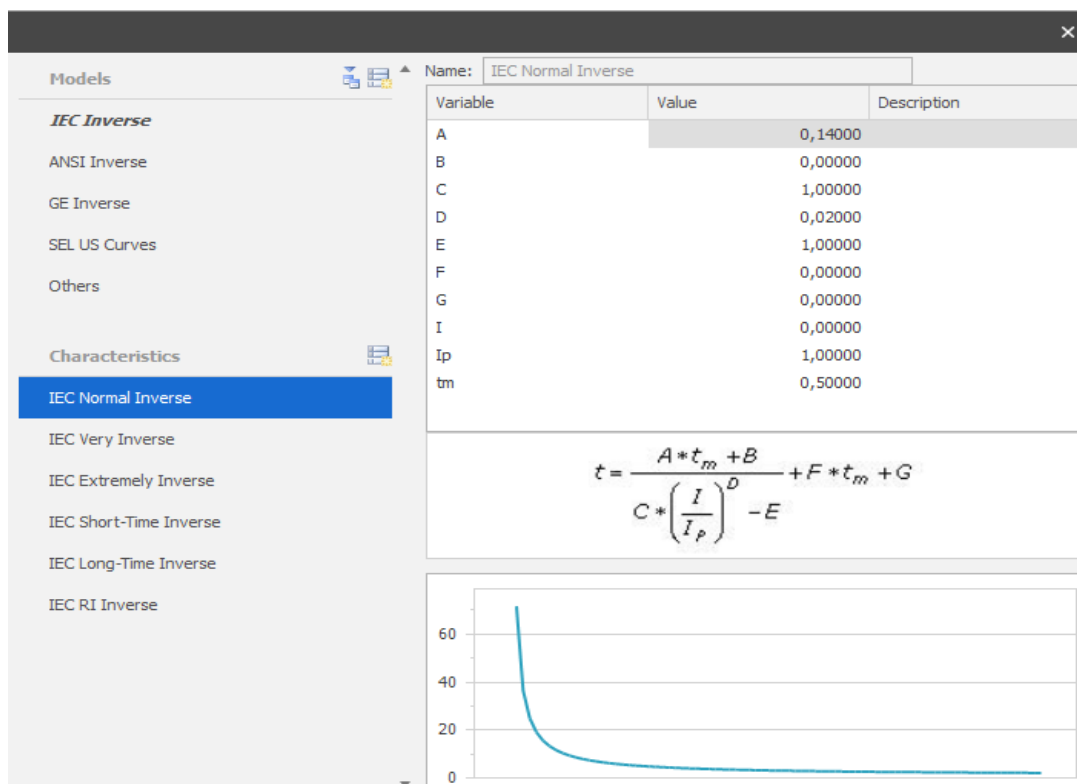
Kuvassa KUVA 23 nähdään ylivirtasuojauksportaan I>> tulokset. Toiminta-arvo vastaa asetteluarvoa eli 2,5 ampeeria, päästösuhde 0,93 on toleranssissa ja toiminta-aika on noin 0,1 sekuntia.



KUVA 23. Tulos ylivirta I>> (ARTES 5 Testing Software, 2022)

5.3 Käänteisaika ylivirtasuojaja

Testausohjelmalla pystytään koestamaan myös vakio- tai käänteisaikasuojauksia. Näissä suojissa vikavirran suuruus vaikuttaa siihen miten nopea on releen toiminta-aika. Valittavana on useita eri standardien käyrämuotoja (KUVA 24).



KUVA 24. Toimintakäyrät (ARTES 5 Testing Software, 2022)

5.3.1 Testiarvot ja asetukset

Suojaus, jolle P3U30 suojausalueella voidaan asettaa toimintaviivekäyriä, on ensimmäisen portaan yli-virtasuojauksen $I >$ (KUVA 25). Havahtumisvirran arvoksi aseteltiin $0,25 \times$ nimellisvirta, toimintaviiveen käyrämuodoksi IEC-standardin käyrätyypillä NI (normal inverse) sekä käyttäjän valitsemaksi kertotmeksiksi $0,1$ (k).

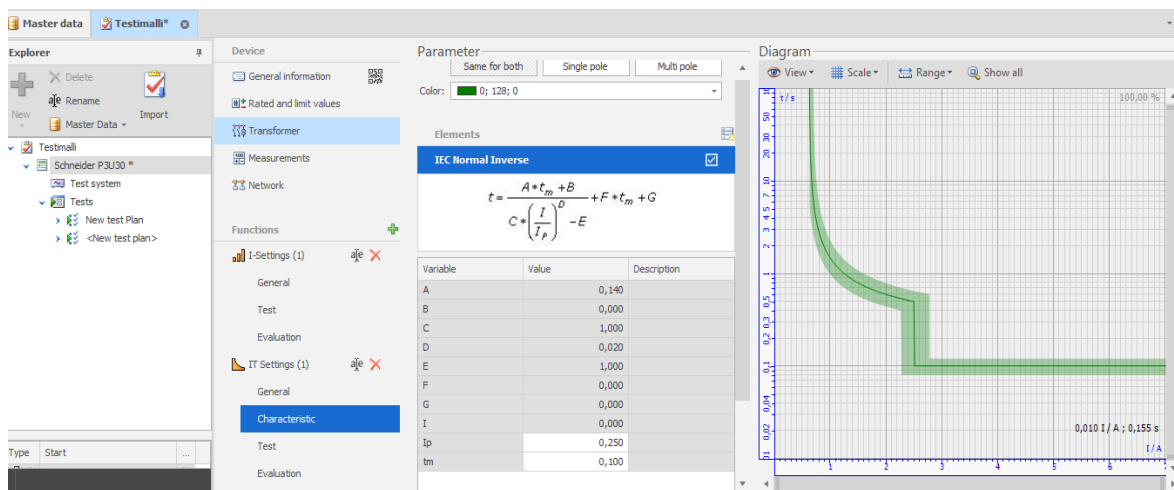
The screenshot shows the 'PROTECTION' configuration screen in eSetup Easergy Pro. The 'GENERAL' tab is selected, and the 'Phase overcurrent I>' setting is highlighted in the left sidebar. The main configuration area shows settings for Group 1:

Group	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Pick-up setting [A]	3	3	3	3
Pick-up setting [xIn]	0.25	0.25	0.25	0.25
Delay curve family	IEC	IEC	IEC	IEC
Delay type	NI	NI	NI	NI
Inv. time coefficient k	0.100	0.100	0.100	0.100
Inverse delay (20x) [s]	0.22	0.22	0.22	0.22
Inverse delay (4x) [s]	0.49	0.49	0.49	0.49
Inverse delay (1x) [s]	71.13	71.13	71.13	71.13

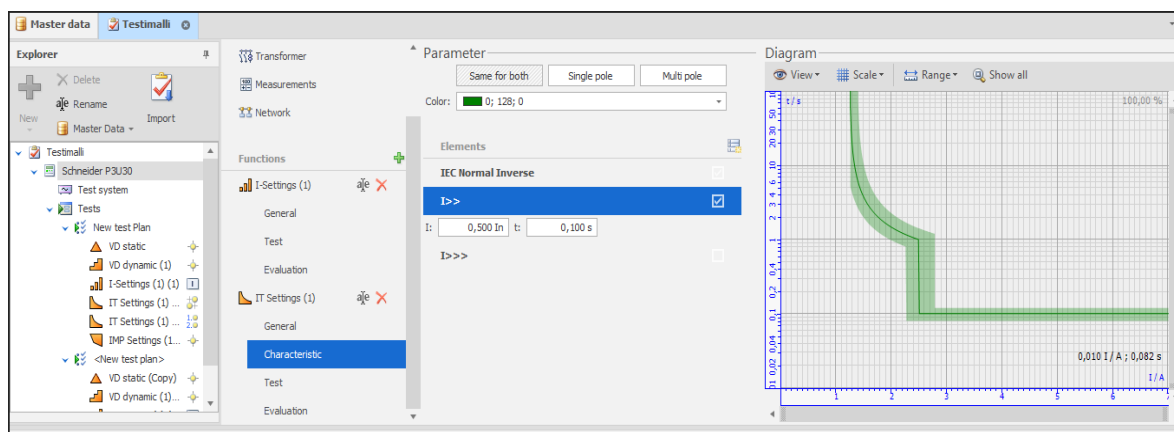
The 'Common settings' section is also visible at the bottom.

KUVA 25. Asetteluarvot IEC-käänteisaika (eSetup Easergy Pro, 2022)

Testiobjektin suojausasetuksiin (KUVA 26) aseteltiin edellisen kohdan arvot. Valittiin suojausajan toimintakäyräksi IEC Normal Inverse. Virran poiminta-arvo $I_p = 0,25$ (suhteellisarvona nimellisvirtaan) ja $t_m = 0,1$ (aikakerroin). Tähän koestukseen lisättiin toisen suojausportaan $I >>$ arvot $I = 0,5$ In (2,5 ampeeria) ja aikaviive 0,1 sekuntia (KUVA 27). (User Manual ARTES 5 IT-Monitor, (ei pvm))

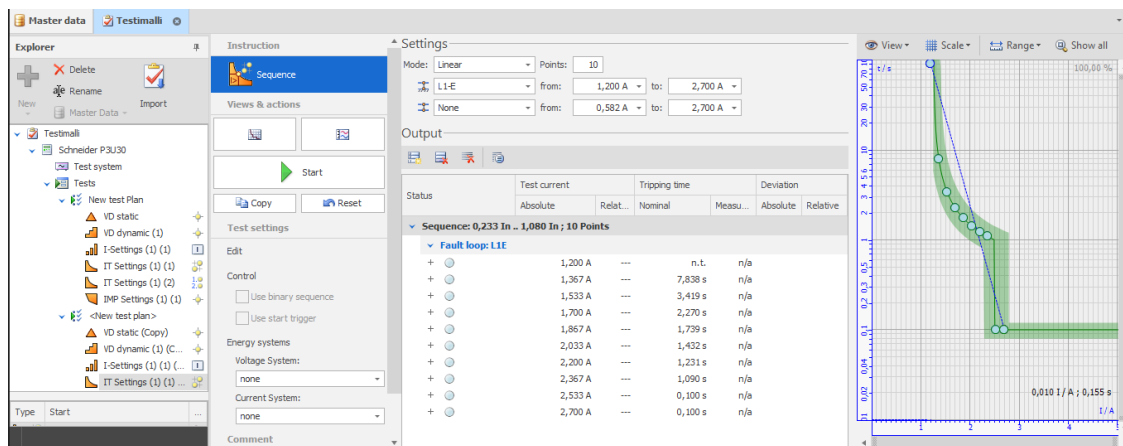


KUVA 26. Suojausasetukset IEC-känteisaika (ARTES 5 Testing Software, 2022)



KUVA 27. Toinen suojausporras $I >>$ (ARTES 5 Testing Software, 2022)

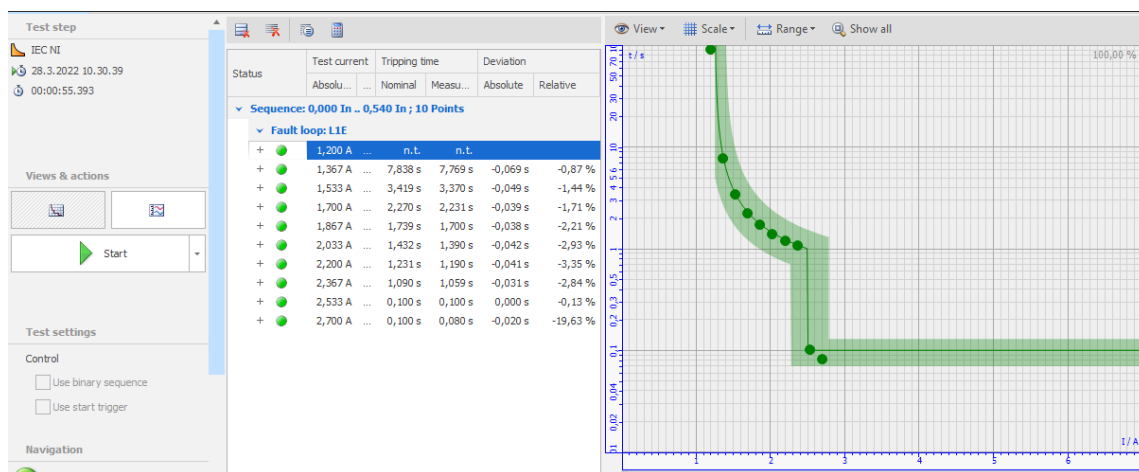
Testausasetuksiin (KUVA 28) valittiin lineaarinen testaus kymmenellä testauspisteellä. Vikatilanteena oli ensimmäisen vaiheen vika, jonka virta-arvo nousi arvosta 1,2 ampeeria arvoon 2,7 ampeeria. Kuvaajasta havaitaan, että virta-arvossa 2,5 ampeeria toinen suojausporras $I >$ tulee aktiiviseksi ja toiminta-aika ei noudata enää toimintakäyrää.



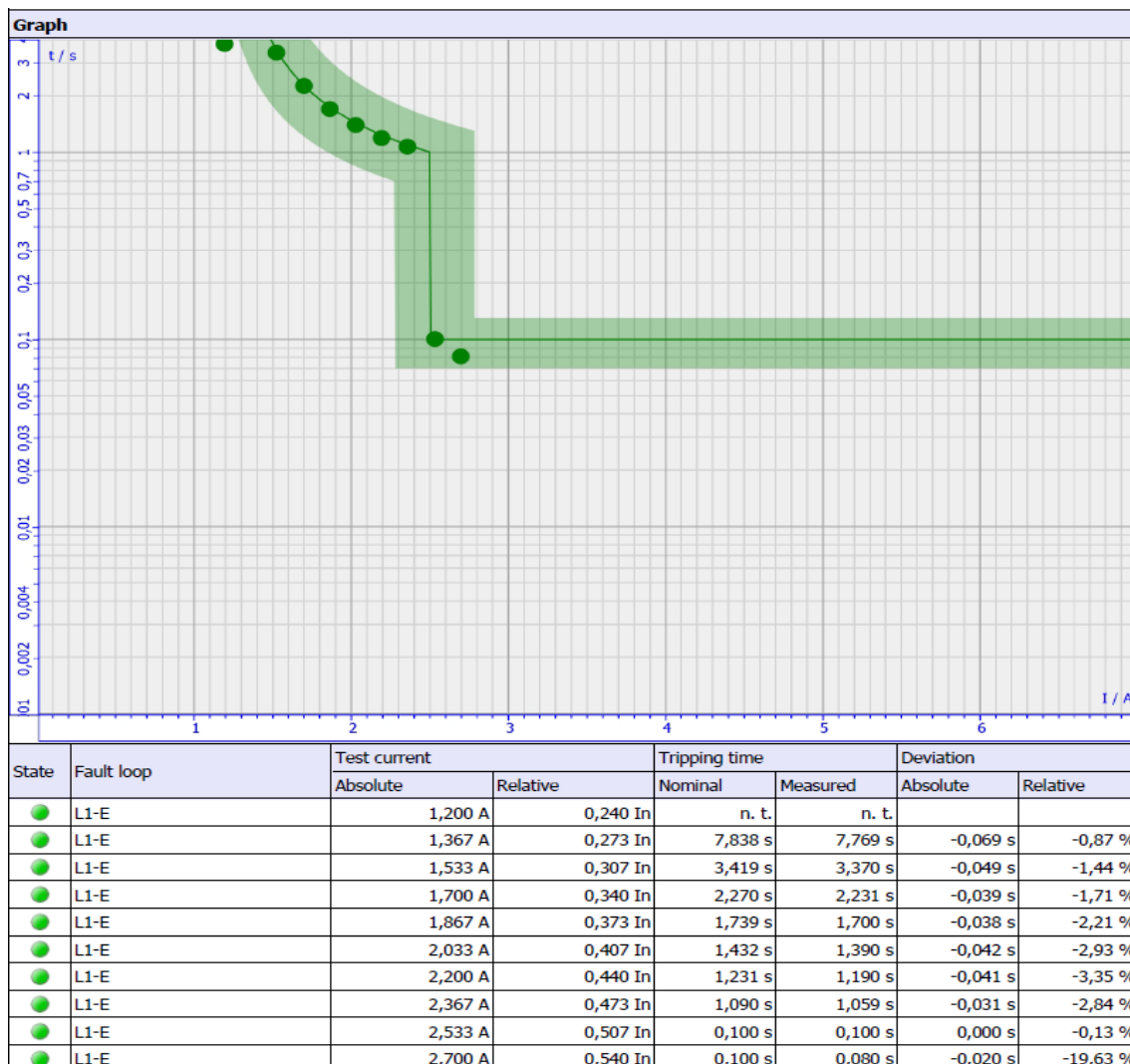
KUVA 28. Testiasetukset kääntheisaika ylivirta (ARTES 5 Testing Software, 2022)

5.3.2 Tulokset

Kuvissa KUVA 29 ja KUVA 30 nähdään testin tulokset. Kaikki testauspisteet ovat määritellyn toleranssin sisällä, joten testaustulos on hyväksytty.



KUVA 29. Tulos kääntheisaika ylivirta (ARTES 5 Testing Software, 2022)



KUVA 30. Raportti käänneisaika ylivirta (ARTES 5 Testing Software, 2022)

5.4 Maasulkusuojaus

Maasulkusuojaus oli simuloitu koestettavassa järjestelmässä erillisen virtamuuntajan takana. Tämän virtamuuntajan muuntosuhde oli 20/1 A, eli syötetyt virrat näkyivät suojaareleella kaksikymmenkertaisina. Koestuksessa testattiin sekä ensimmäinen ($I_{0>}$) että toinen ($I_{0>>}$) suojausporras suuntaamattomista maasulkusuojauksista.

5.4.1 Kytkenät

Koska järjestelmässä maasulkusuojaus oli erillisen virtamuuntajan takana, kytkentään lisättiin seuraava muutos:

Otettiin käyttöön virtalähtö I4, ja kytkettiin se riviliittimeen X1:184.

Aseteltiin tarvittavat signaalit aktiivisiksi suojaareleen matriisivalikosta (KUVA 31).



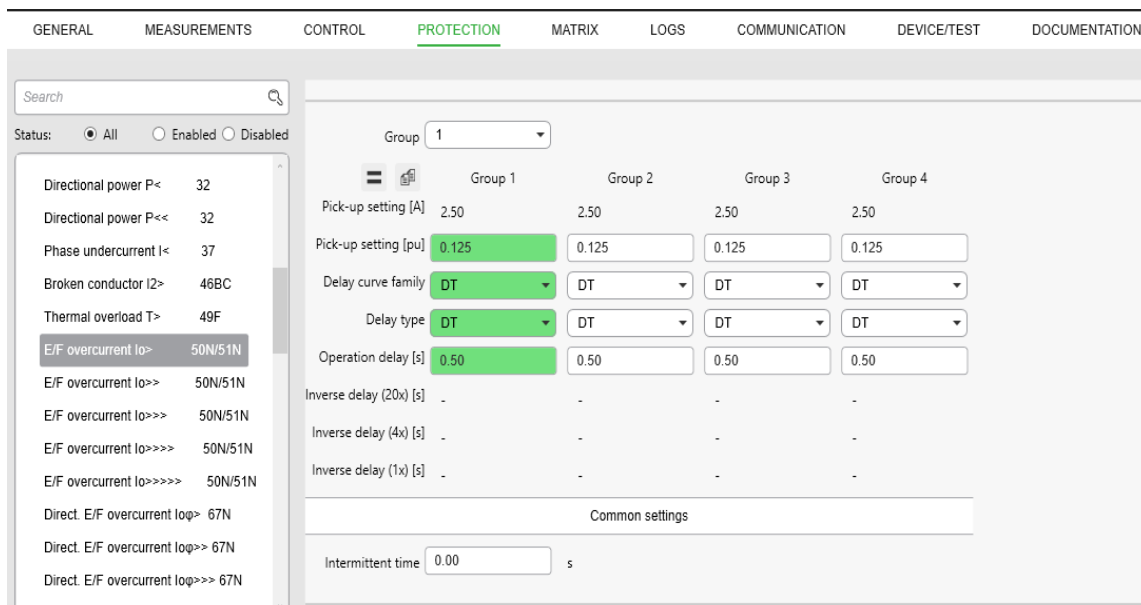
KUVA 31. Maasulkusuoja matriisi (eSetup Easergy Pro, 2022)

5.4.2 Testiarvot ja asetukset

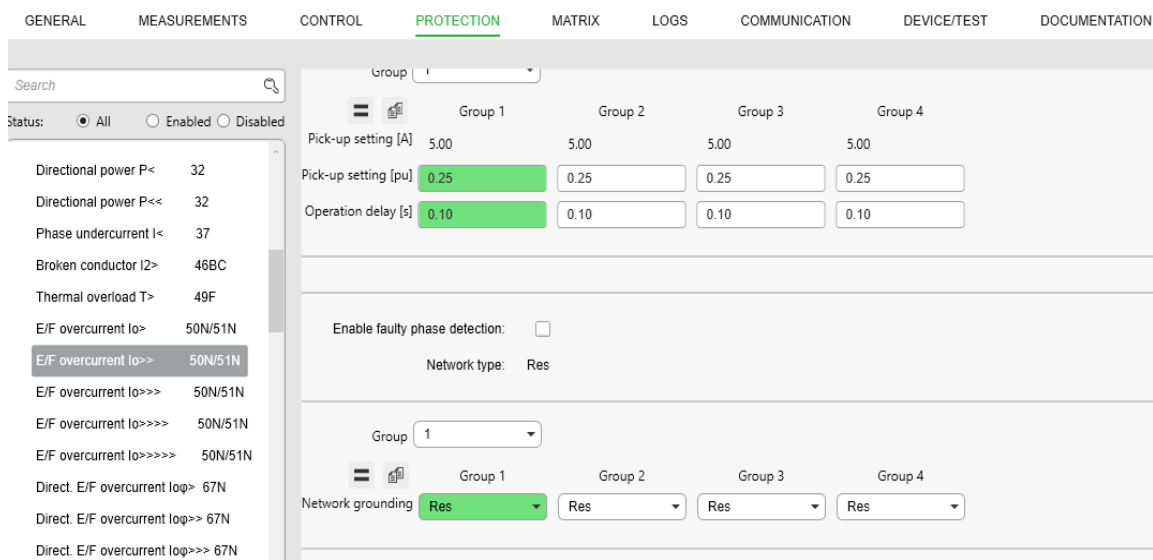
Suojausten testausta varten aseteltiin suojausten asetteluarvot, jotka löytyvät releeltä Protection-välilehdeltä kohdista E/F overcurrent I_{o>} (KUVA 32) ja E/F overcurrent I_{o>>} (KUVA 33):

I_{o>} = 2,5 ampeeria ja 0,5 sekuntia

I_{o>>} = 5 ampeeria ja 0,1 sekuntia

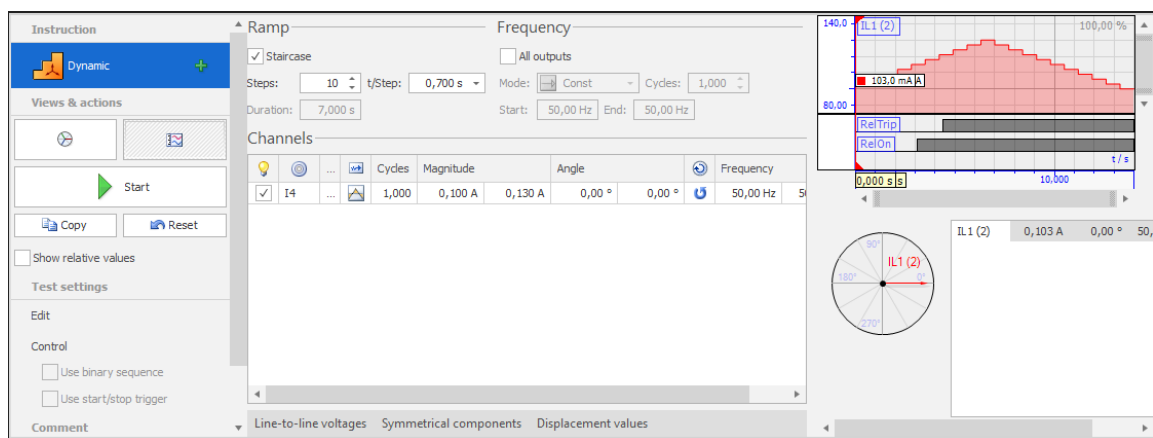


KUVA 32. Asetteluarvot I_{o>} (eSetup Easergy Pro, 2022)



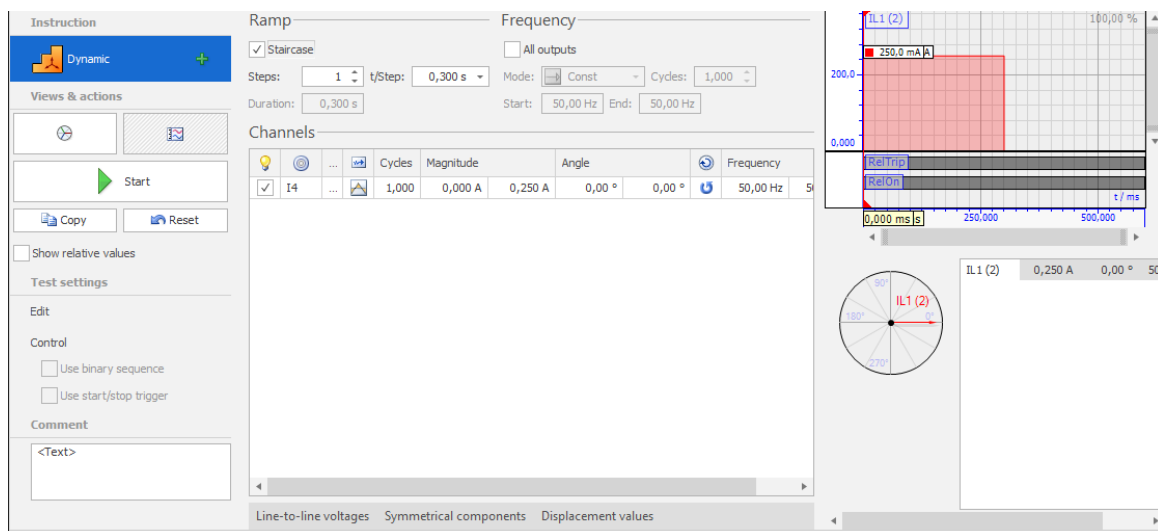
KUVA 33. Asetteluarvot $I_{o>>}$ (eSetup Easergy Pro, 2022)

Maasulkusuojien testaukset suoritettiin VD Dynamic-monitoroinnin avulla. Kuvassa KUVA 34 on nähtävissä $I_{o>}$ suojaus testiasetukset. Valittiin testaukseen portaittainen ramppi kymmenellä portaalla, huomioiden muuntosuhde, arvosta 0,1 ampeeria arvoon 0,13 ampeeria.



KUVA 34. Testiohjelma maasulku $I_{o>}$ (ARTES 5 Testing Software, 2022)

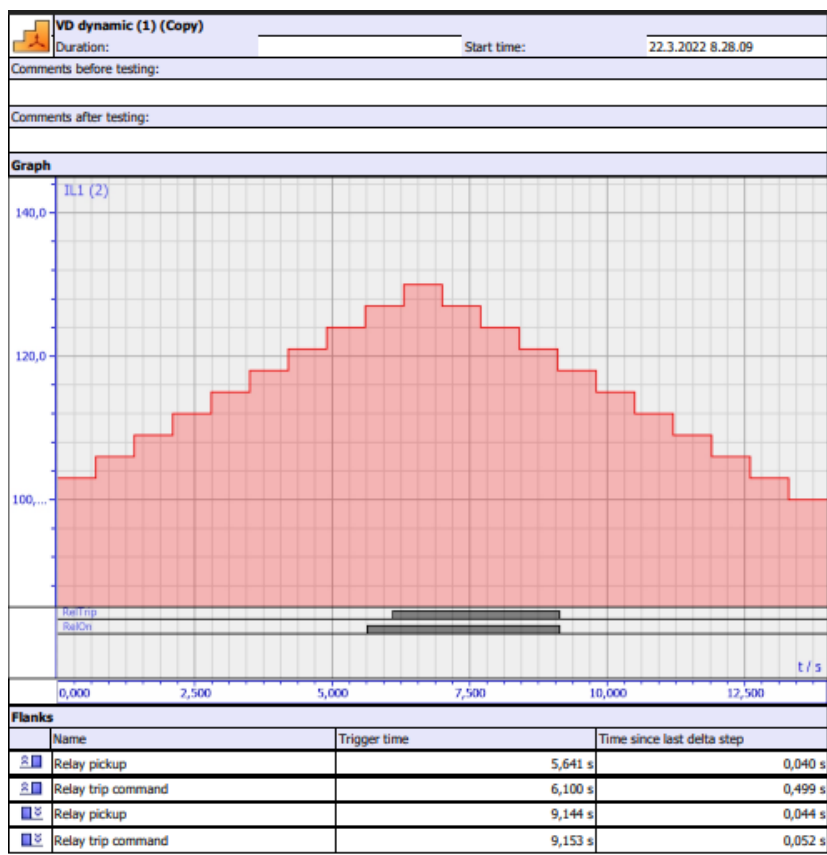
KuvassaKUVA 35 on nähtävissä I0>> suojuksen testiasetukset. Virta nousee yhdellä portaalla arvosta nolla ampeeria, arvoon 0,25 ampeeria, joka on suojuksen toiminta-arvo.



KUVA 35. Testiohjelma maasulku I0>> (ARTES 5 Testing Software, 2022)

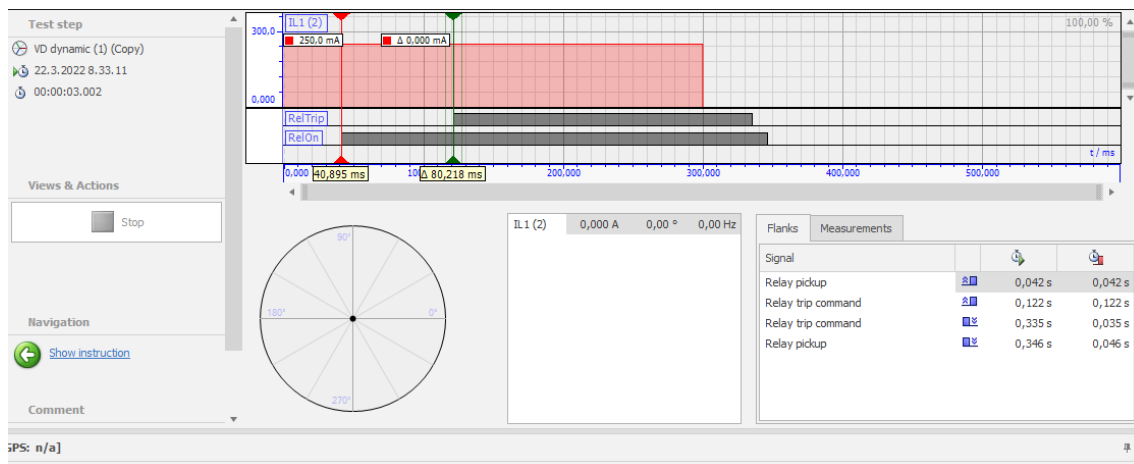
5.4.3 Tulokset

KuvassaKUVA 36 nähdään kuinka maasulkusuoja I0> toimii virta-arvossa 0,125 ampeeria ja toiminta-aika on noin 0,46 sekuntia, eli testaustulos on hyväksytty.

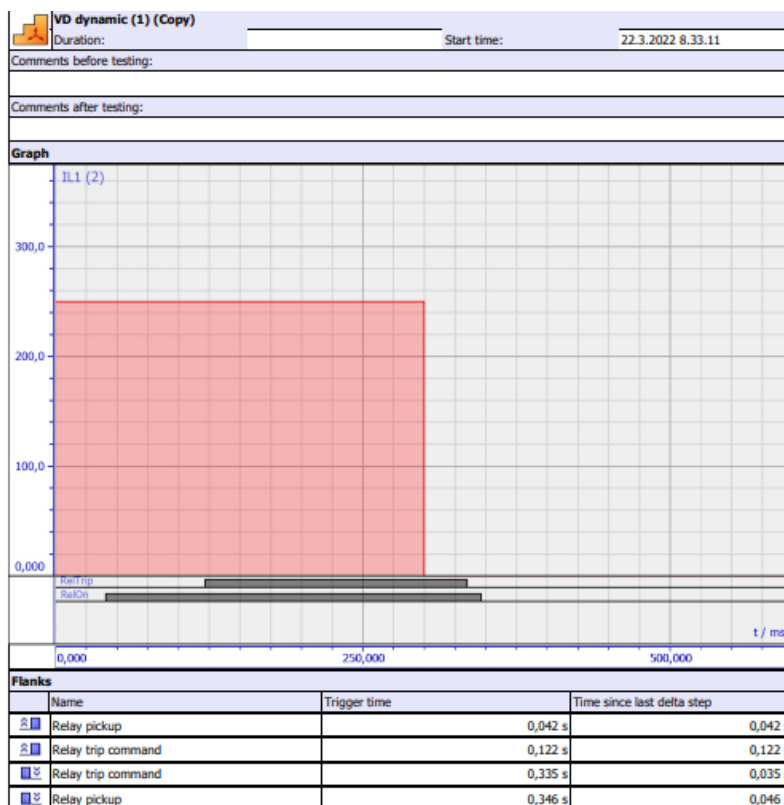


KUVA 36. Raportti maasulku I0> (ARTES 5 Testing Software, 2022)

Kuvissa KUVA 37 ja KUVA 38 nähdään maasulkusuojan $I_{0>>}$ tulokset. Suoja toimii asetusarvon mukaisesti virta-arvolla 0,25 ampeeria ja toiminta-aika on noin 0,08 sekuntia.



KUVA 37. Tulos maasulku $I_{0>>}$ (ARTES 5 Testing Software, 2022)



KUVA 38. Raportti maasulku $I_{0>>}$ (ARTES 5 Testing Software, 2022)

5.5 Jälleenkytkennät

Tässä testauksessa jälleenkytkennät täytyi koestaa VD Static- monitoroinnin avulla. Valmistajan mukaan, ARTES 600 laitteistolla pitäisi olla mahdollista asettaa jälleenkytkennöille parametreja (Esite

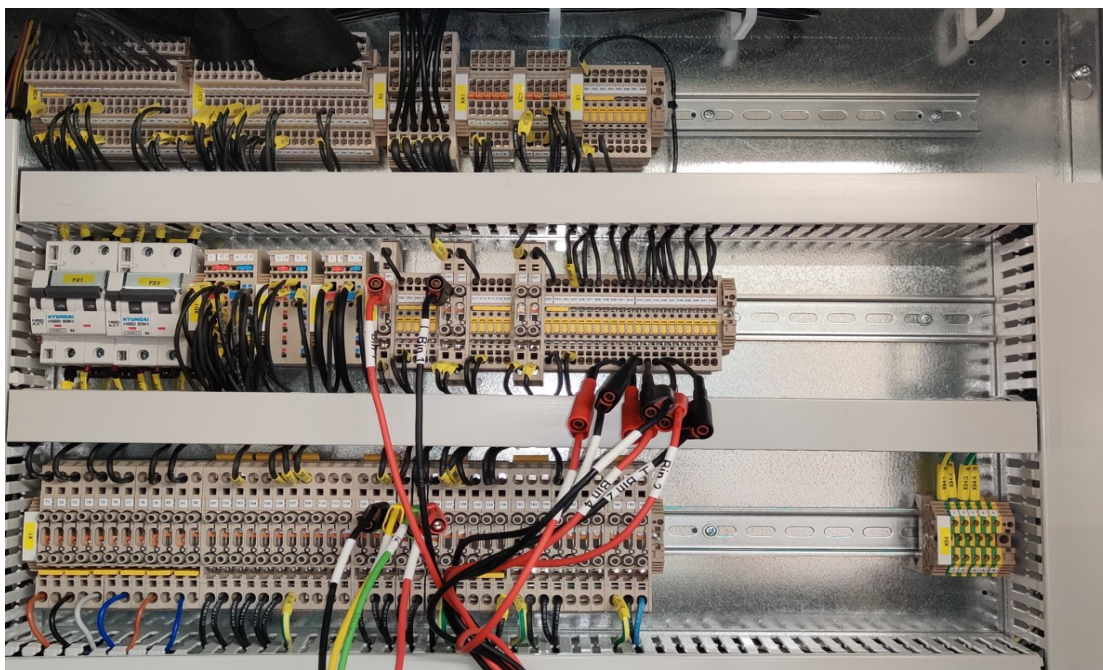
ARTES 460/600, (ei pvm)), mutta näitä asetuksia ei sovelluksesta kuitenkaan löytynyt. Suojareleelle asetettiin pikajälleenkytkentä PJK sekä aikajälleenkytkentä AJK, joiden toimintaa laitteella testattiin. Suojareleen ohjaama katkaisija täytyi asettaa paikallisohjaukseen, jotta saatiin katkaisija toimimaan mekaanisesti jälleenkytkentöjen testauksen aikana.

5.5.1 Kytkenät

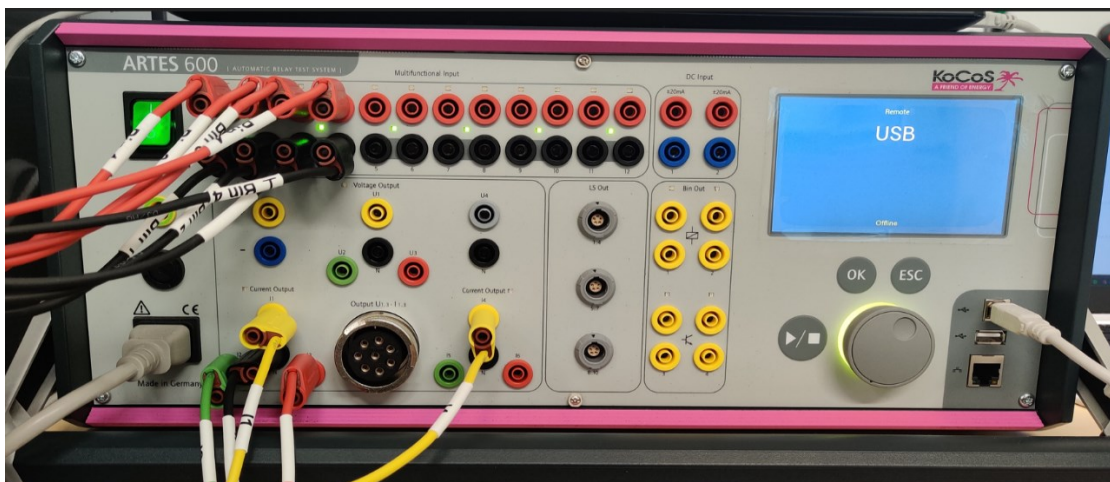
Jälleenkytkentöjen koestusta varten haettiin tiedot, releen katkaisijalle lähettämistä signaaleista. Otettiin kaksi binäärituloa käyttöön lisää ja kytkettiin ne seuraavasti (KUVAT KUVA 39 ja KUVA 40):

Katkaisija auki (Object 1 open) MF 3 = + X1:231 – X1:232

Katkaisija kiinni (Object 1 close) MF 4 = + X1:233 – X1:234

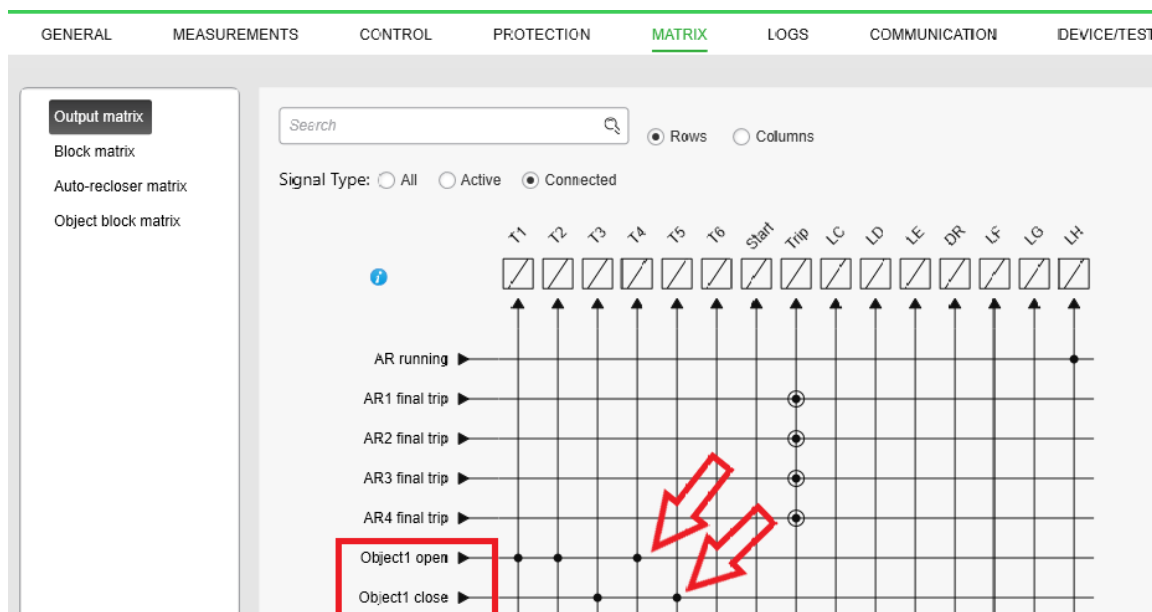


KUVA 39. Kytkenä 2 riviliittimet (Turunen, 2022)

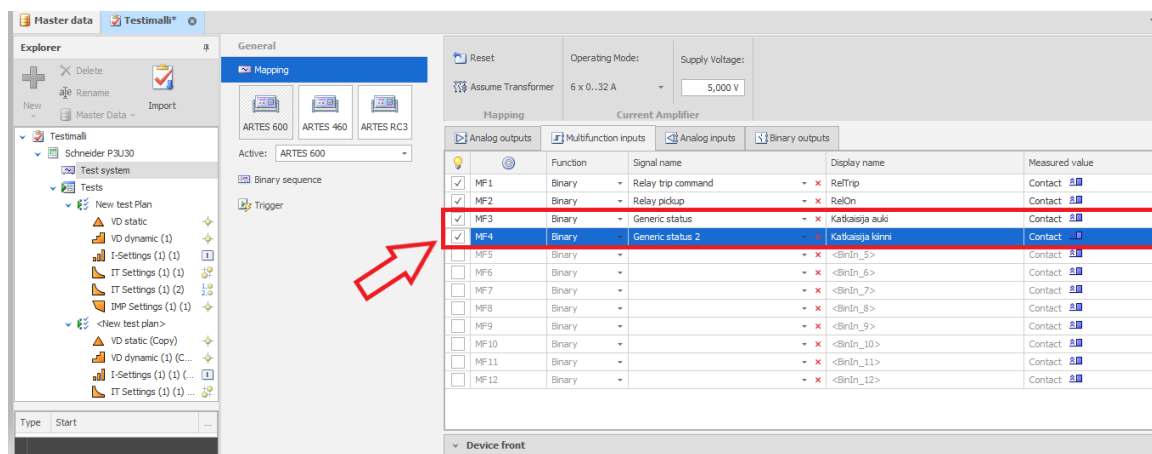


KUVA 40. Kytkenä 2 ARTES (Turunen, 2022)

Aseteltiin kyseiset signaalit aktiivisiksi matriisissa (KUVA 41). Lisättiin myös testilaitteiston asetukseen binääritulot MF3 ja MF4 (KUVA 42).



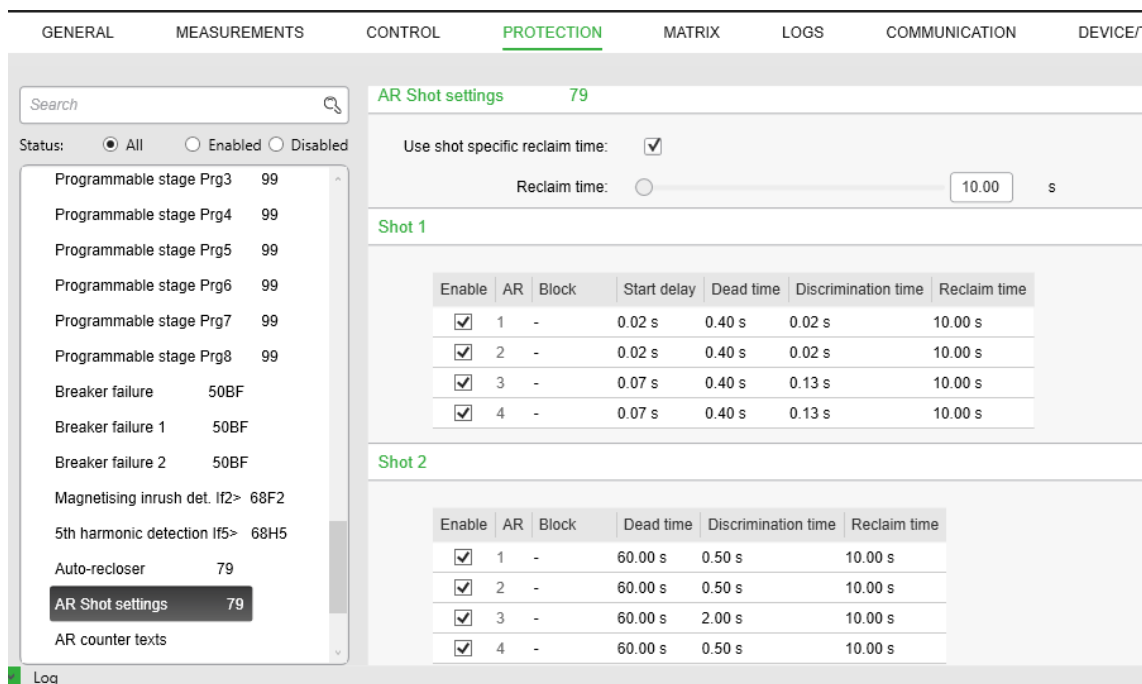
KUVA 41. Jälleenkytkentä matriisi (eSetup Easergy Pro, 2022)



KUVA 42. Binääritulot MF 3 ja MF 4 (ARTES 5 Testing Software, 2022)

5.5.2 Testiarvot ja asetukset

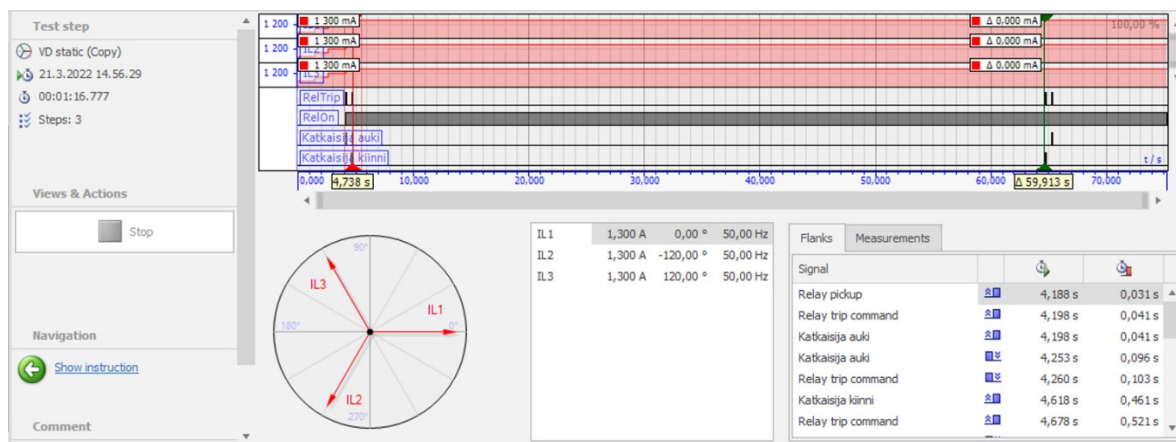
Kuvassa KUVA 43 määritellään suojareleelle jälleenkytkentöjen lukumäärät ja niiden toiminta-ajat. Pikäjälleenkytkentä aseteltiin toimimaan ajassa 0,4 sekuntia ja aikajälleenkytkentä 60 sekuntia. Testaus suoritettiin käyttämällä VD Static-monitoria. Tässä testauksessa aloitettiin syöttämään virtaa kaikilla kolmella vaiheella toiminta-arvoon 1,5 ampeeria asti, testille asetettiin 75 sekunnin aikaraja.



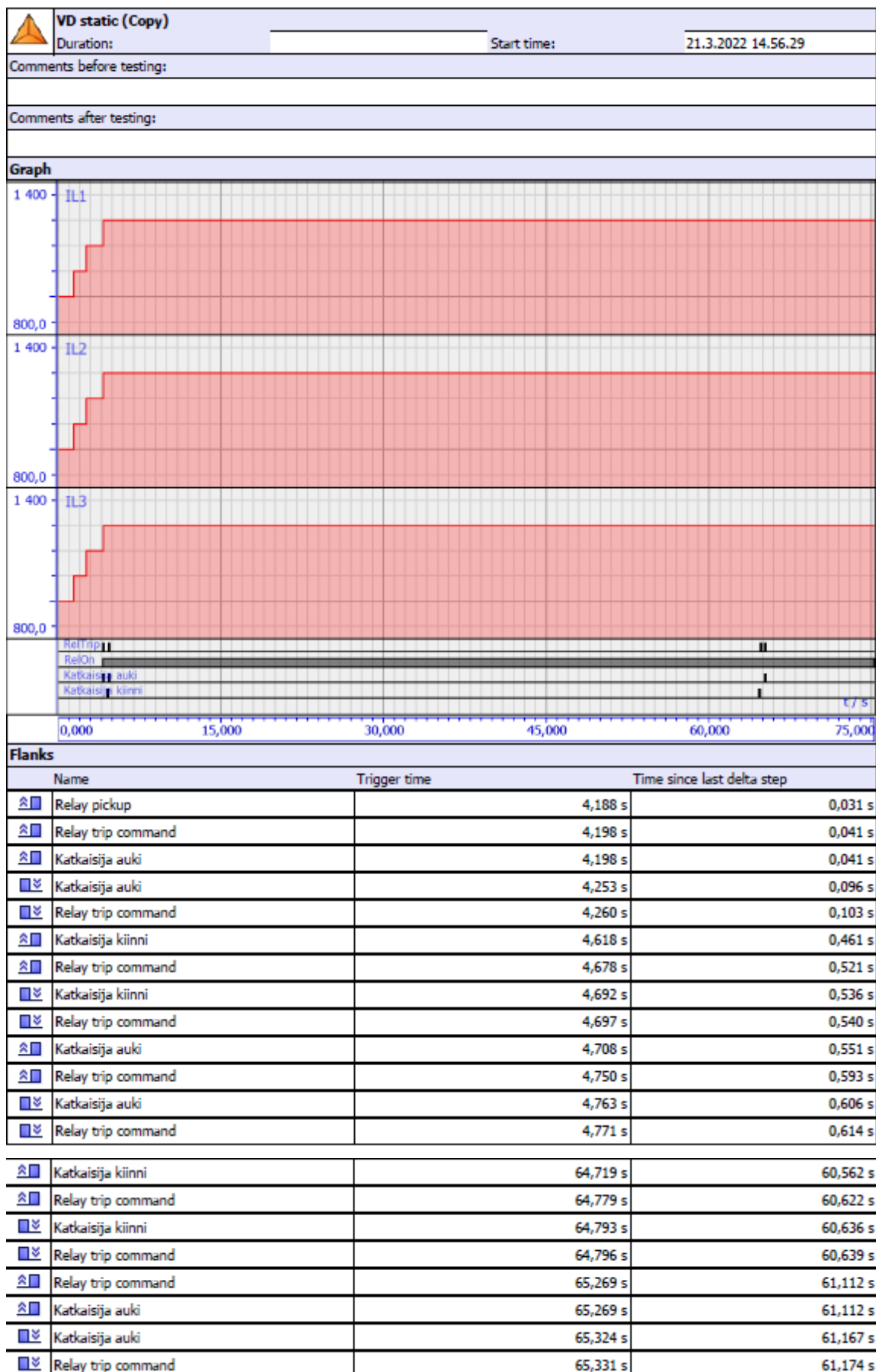
KUVA 43. Jälleenkytkentöjen toiminta-ajat (eSetup Easergy Pro, 2022)

5.5.3 Tulokset

Kuvista KUVA 44 ja KUVA 45 nähdään (katkaisijan kiinnikäskyt), että jälleenkytkennät toimivat asetelujen mukaisesti PJK = 0,42 sekuntia ja AJK = 60,011 sekuntia.



KUVA 44. Tulos jälleenkytkentä (ARTES 5 Testing Software, 2022)



KUVA 45. Raportti jälleenkytkentä (ARTES 5 Testing Software, 2022)

6 YHTEENVETO JA POHDINTAA

Opinnäytetyössä perehdyin ARTES 600 –relekoestuslaitteistoon, sen ominaisuuksiin ja käyttöönnottoon. Työhön sisältyi tutustumista keskijänniteverkoissa käytettyihin suojarелеisiin sekä niiden suojausfunktioihin. Lähtötietoja suojarелеkoestuksista, tai niissä käytetyistä laitteista ei ennakkoon ollut käytännössä ollenkaan. Laitteeseen ja sen toimintaan perehtyminen tapahtui laitteen omien manuaalien pohjalta.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin aikaan ohjeistus ARTES 600-relekoestuslaitteistosta, ja sillä suoritettavista koestuksista. Ohjeistuksen avulla pystytään suorittamaan koestuksia Schneider P3U30-suojarелеelle. Ohjeistus sisältää perustietoja laitteen käytöstä ja sen ominaisuuksista. Koestuksia ohjeen mukaan pystyy suorittamaan eri portaisille ylivirtasuojille, vakio- tai käänteisaikasuojille, maasulkusuojille sekä katkaisijan jälleenkytkennöille.

Tulosten pohjalta on helppo lähteä toteuttamaan myös muidenkin relesuojausten koestuksia, esimerkiksi jännite-, distanssi- tai differentiaalireleille. Periaate näidenkin suojausten testien luomiseen ja asetusten tekemiseen relekoestusohjelmalla, on samanlainen kuin nyt tehdyssä ohjeistuksessa. Syntynyttä ohjeistusta voidaan käyttää myös muihin sähkölaboratoriossa olevien, eri mallisten suojarелеiden koestusten pohjamateriaalina.

LÄHTEET

- Aura, L.;& Tonteri, A. J. (1993). *Sähkölaitostekniikka*. Porvoo: WSOY.
- Eaton. (ei pvm). *Suojareleet*. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta Eaton.com: <https://www.eaton.com/us/en-us/products/electrical-circuit-protection/protective-relays-and-predictive-devices.html>.
- Elovaara, J.;& Haarla, L. (2011). *Sähköverkot 2*. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatiето.
- Elovaara, J.;& Laiho, Y. (2007). *Sähkölaitostekniikan perusteet* (6. p.). Helsinki: Tekijät ja Otatiето / Gaudeamus, Helsinki University Press.
- KoCoS Messtechnik AG. (2022). *kocos.com*. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta <https://www.kocos.com/company/about-us>.
- KoCoS Messtechnik AG. (2022). Kuvaleike. ARTES 5 Testing Software. Haettu 20. 3. 2022
- KoCoS Messtechnik AG. (ei pvm). *Esite ARTES 460/600. Pdf-tiedosto*. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta https://www.kocos.com/fileadmin/download/ARTES/Brochure/ENG/BR_ARTES_460_600_201811_AG_ENG.pdf.
- KoCoS Messtechnik AG. (ei pvm). *Esite ARTES 600. Pdf-tiedosto*. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta https://www.kocos.com/fileadmin/download/ARTES/Brochure/ENG/FL_ARTES600_201806_AG_ENG.pdf.
- KoCoS Messtechnik AG. (ei pvm). Operating Instructions ARTES 600.
- KoCos Messtechnik AG. (ei pvm). User Manual ARTES 5 IT-Monitor.
- KoCos Messtechnik AG. (ei pvm). User Manual ARTES 5 PIC-Monitor.
- KoCoS Messtechnik AG. (ei pvm). User Manual ARTES 5 Testing Software.
- Korpinen, L. (ei pvm). *sähköverkon automaatio ja suojaus*. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta http://leenakorpinen.com/archive/svt_opus/5sahkoverkon_automatio_ja_suojaus.pdf.
- Lakervi, E.;& Partanen, J. (2008). *Sähkönjakelutekniikka*. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press / Otatiето.
- Mörsky, J. (1992). *Relesuojaustekniikka*. Hämeenlinna: Tekijä ja Otatiето Oy.
- Schneider Electric. (2022). Kuvaleike. eSetup Easergy Pro. Haettu 20. 3. 2022
- Schneider Electric. (12. 2021). *Käyttöohje P3U30*. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=P3U_en_M_I006_IEC_web.pdf&p_Doc_Ref=P3U_en_M.
- Schneider Electric. (2022). *P3-suojarele*. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta <https://www.se.com/fi/fi/product-range/64884-easergy-p3-suojarele/>.
- Studelectrical. (ei pvm). *Vaatimuksia suojareleille*. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta [studelectrical.com: https://studelectrical.com/2015/11/fundamental-requirements-functional-characteristics-of-protective-relays.html](https://studelectrical.com/2015/11/fundamental-requirements-functional-characteristics-of-protective-relays.html).
- Turunen, N. (2022). *Opinnäytetyön kuvat*. Kuopio.

- Vedenjuoksu, T. (14. 1. 2014). Johtolähdön suojaus. Opetusmateriaali. Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu ja käyttö. Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta https://moodle.savonia.fi/pluginfile.php/1057325/mod_resource/content/1/johtol%C3%A4hd%C3%B6n%20suojaus.pdf.
- Vedenjuoksu, T. (1. 4. 2016). Sähkönjakelujärjestelmien relesuojaus. Opetusmateriaali. Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu ja käyttö. Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 31. 3. 2022 osoitteesta https://moodle.savonia.fi/pluginfile.php/1057324/mod_resource/content/1/suojaustekniikka%20Timo%20Vedenjuoksu%202016-01-12.pdf.

LIITE 1: TESTIRAPORTTI

Testausraportti Schneider P3U30 J05

Document

Test job:	Testaus		
Tested by:	Niko Turunen	Date:	28.3.2022
Comment:			
Customer:			

Test system

Type:	ARTES 600	Serial number:	
Manufacturer:	KoCoS Messtechnik AG		

Test object

Designation:	Schneider P3U30	Serial number:	
Manufacturer:	Schneider	Type/Series:	P3U30-5ABA1BEAA/Easergy
Protection object:	J05		

Rated values

Un (Δ):	100,000 V	In:	5,000 A	fn:	50,0 Hz
------------------	-----------	-----	---------	-----	---------

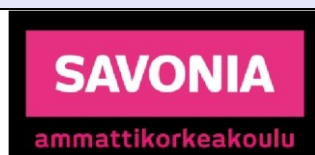
Installation Location

Substation:		Voltage level:	
-------------	--	----------------	--

Bay:

Further details:

Owner:



Savonia-ammattikorkeakoulu
 PL 6, 70201 KUOPIO
 Microkatu 1, 70210 KUOPIO
 044-785 6910
 yrityksille@savonia.fi

Report created: 29.3.2022

Signature:

Environment

Current transformer - Energysystem
 s

Manufacturer/Type:		Transformation ratio:	10 A/5 A
Serial number:		Performance/Accuracy:	
Current transformer - 2ndem Syst			
Manufacturer/Type:		Transformation ratio:	20 A/1 A
Serial number:		Performance/Accuracy:	
Voltage transformer - Energysystems			
Manufacturer/Type:		Transformation ratio:	20 kV/100 V
Serial number:		Performance/Accuracy:	

Test settings

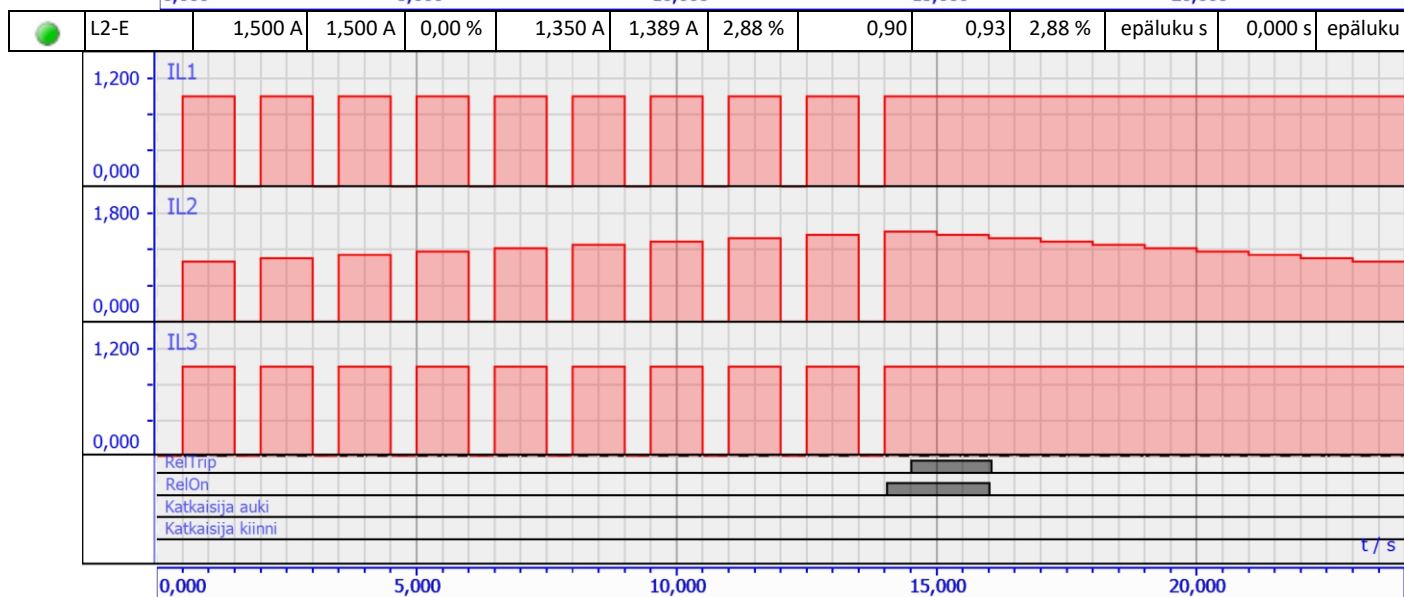
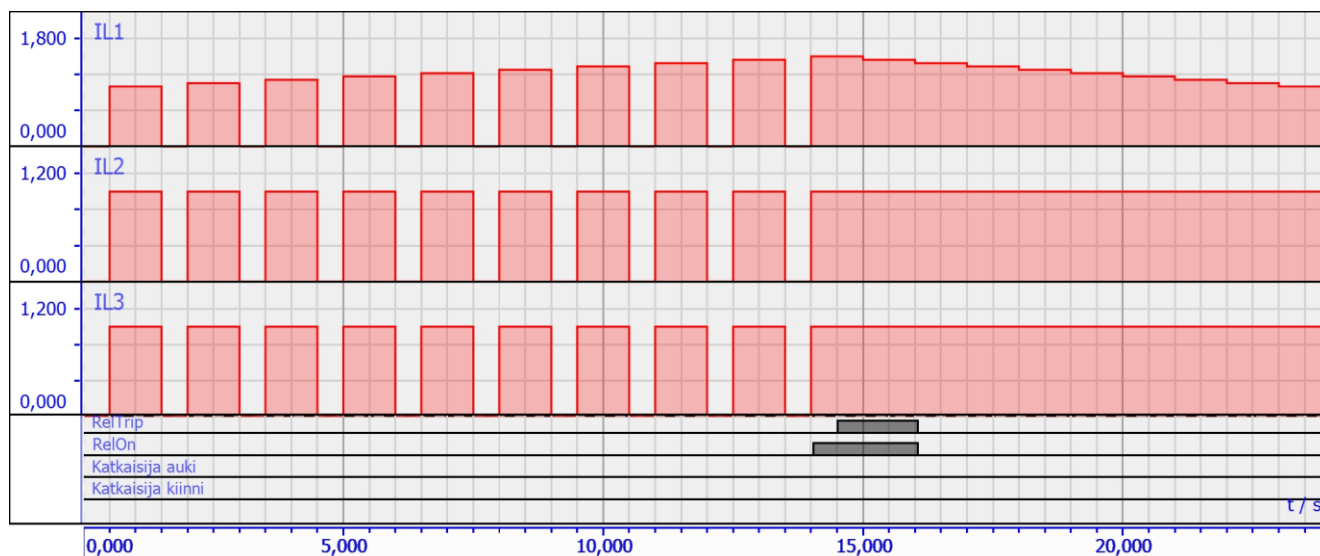
IT Settings (1)

<input checked="" type="checkbox"/> Same parameters for single and multi phase faults			
LE Fault			
Name	Start value	Time	
IEC Normal Inverse	0,250 I _p	0,100 s	
I>>	0,500 I _n	0,100 s	
I>>>	10,000 I _n	0,100 s	
LL Fault			
Name	Start value	Time	
IEC Normal Inverse	0,250 I _p	0,100 s	
I>>	0,500 I _n	0,100 s	
I>>>	10,000 I _n	0,100 s	

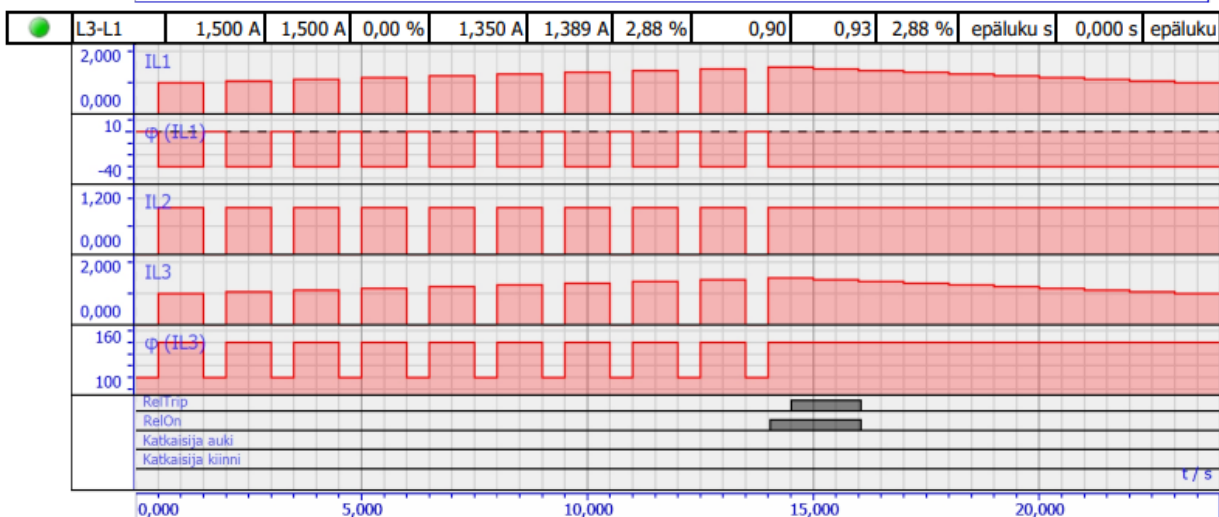
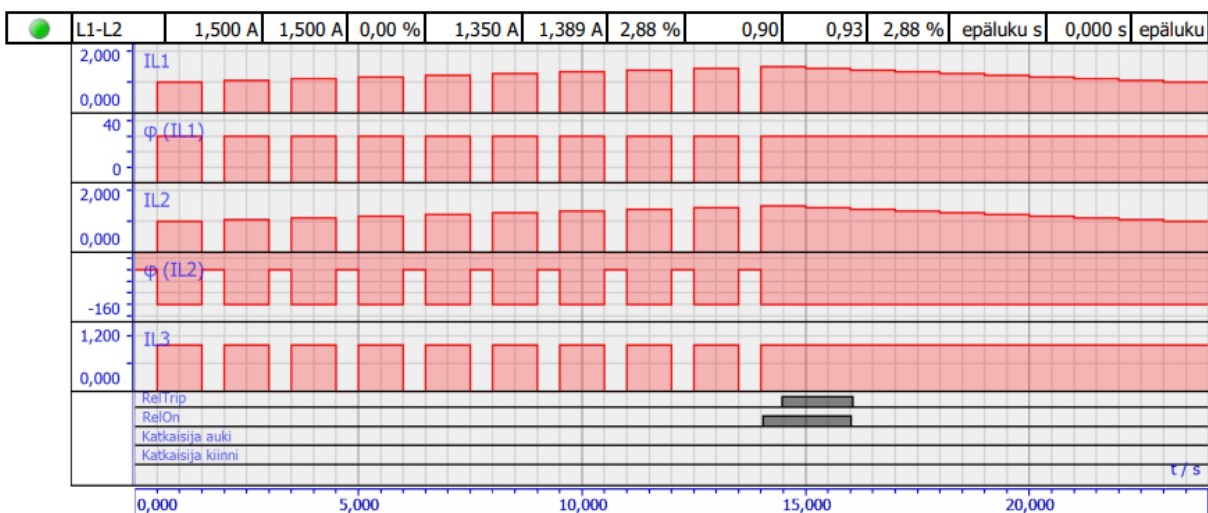
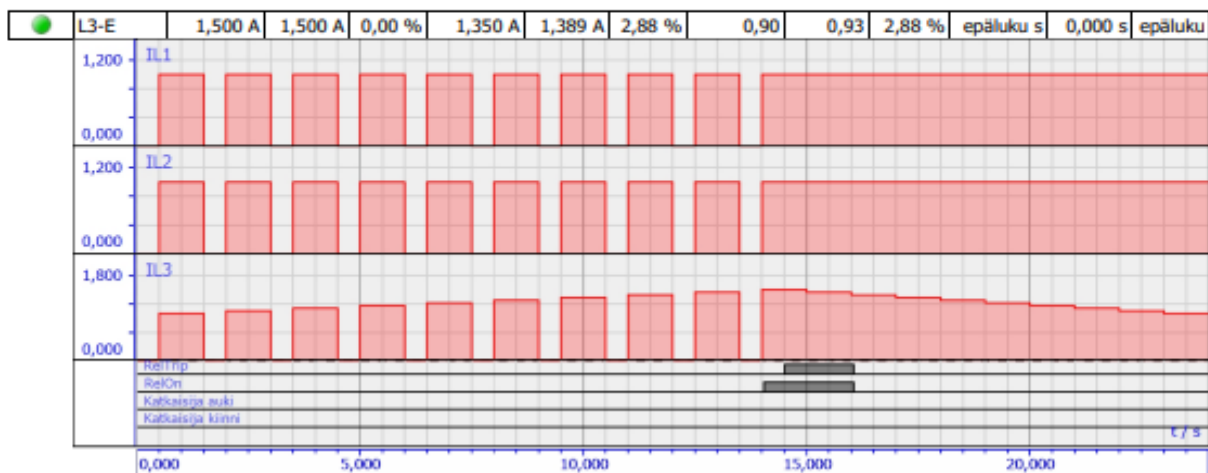
I-Settings (1)

Pick-up Values						
Name	Value [LE]	Value [LL]	Drop-off	Trigger	Time	Time reference
Ylivirta 1>	1,500 A	1,500 A	0,90	[RelOn] = Rising Or [RelTrip] = Rising	n/a	[RelOn] = Rising
Ylivirta I>>	2,500 A	2,500 A	0,90	[RelOn] = Rising Or [RelTrip] = Rising	n/a	[SysState] = Step begin

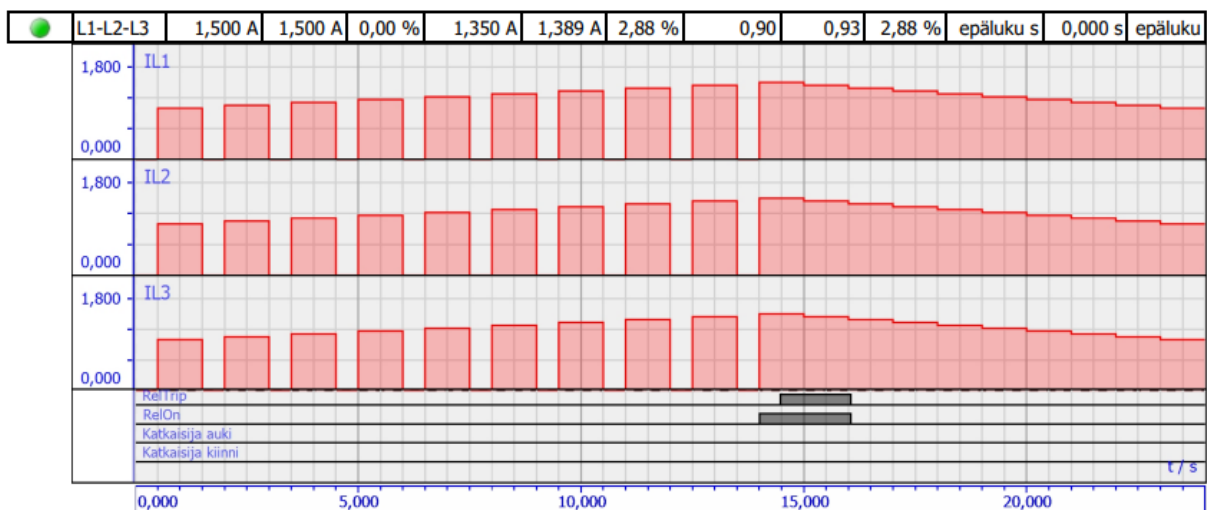
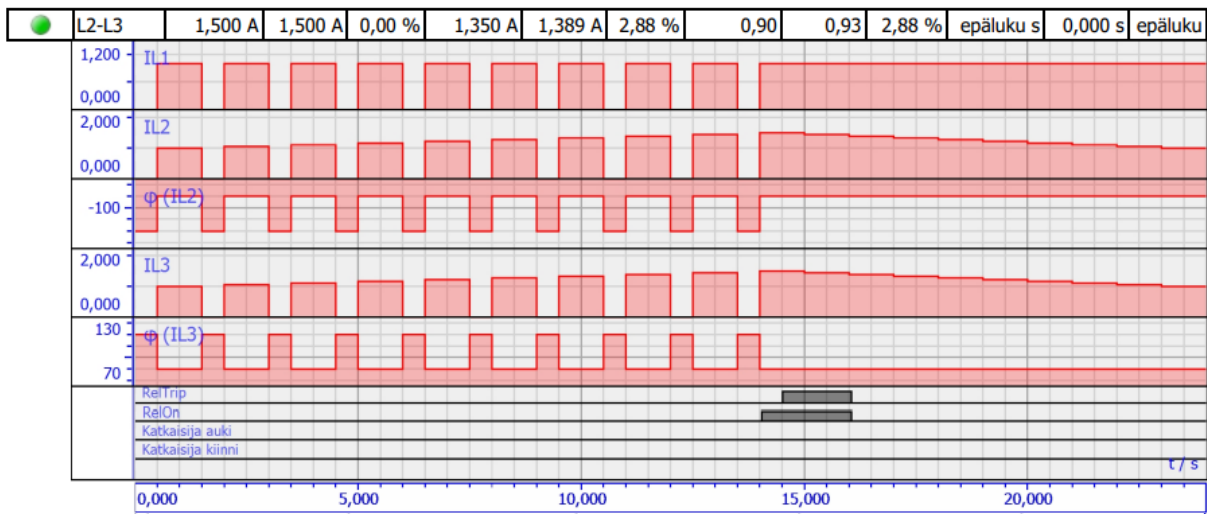
Ylivirta I>													
Duration:		00:02:59.237				Start time:		28.3.2022 10.55.41					
Comments before testing:													
Comments after testing:													
Pulse Settings													
Width:		1,000 s				Steps:		10					
Start:		1,000 A				End:		1,500 A		Delta: 0,056 A			
Faultless phases current:		1,000 A				Voltage:		0,000 V				Fault angle: 0,000 °	
Pause settings													
Width:		0,500 s				Voltage:		0,000 V				Current: 5,000 A	
State	Fault loop	Pick-up			Drop-off			Drop-off ratio			Time		
		Reference	Actual	Δ (%)	Reference	Actual	Δ	Reference	Actual	Δ	Reference	Actual	Δ
●	L1-E	1,500 A	1,500 A	0,00 %	1,350 A	1,389 A	2,88 %	0,90	0,93	2,88 %	epäluku s	0,000 s	epäluku



Test job:	Testaus	Test object:	Schneider P3U30
Date:	28.3.2022	Protection object:	J05
Location:			



Test job:	Testaus	Test object:	Schneider P3U30
Date:	28.3.2022	Protection object:	J05
Location:			



Ylivirta I >>			
Duration:	00:00:10.483	Start time:	28.3.2022 10.49.48
Comments before testing:			
Comments after testing:			

Pulse Settings													
Width:	0,200 s			Steps:	10								
Start:	1,000 A			End:	2,500 A			Delta:	0,167 A				
Faultless phases current:	1,000 A			Voltage:	0,000 V			Fault angle:	0,000 °				
Pause settings													
Width:	0,500 s			Voltage:	0,000 V			Current:	5,000 A				
State	Fault loop	Pick-up			Drop-off			Drop-off ratio			Time		
		Reference	Actual	Δ (%)	Reference	Actual	Δ	Reference	Actual	Δ	Reference	Actual	Δ
●	L1-L2-L3	2,500 A	2,500 A	0,00 %	2,250 A	2,333 A	3,70 %	0,90	0,93	3,70 %	epäluuku s	0,000 s	epäluuku

Legend for the charts:

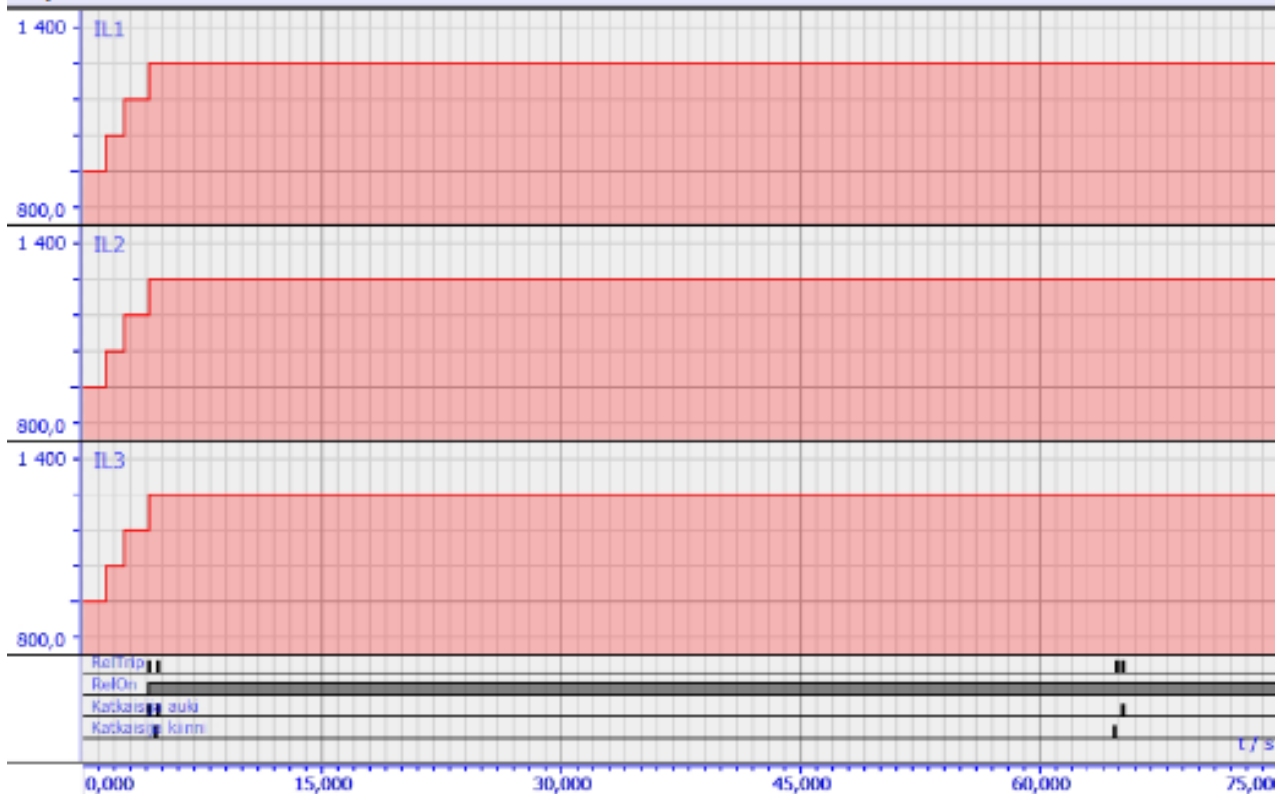
- Rel trip
- RelOn
- Katkaisija auki
- Katkaisija kiinni

Unit: A / s

Jälleenkytkennät	
Duration:	Start time: 21.3.2022 13.02.55

Comments before testing:

Comments after testing:

Graph**Flanks**

	Name	Trigger time	Time since last delta step
	Relay pickup	4,188 s	0,031 s
	Relay trip command	4,198 s	0,041 s
	Katkaisija auki	4,198 s	0,041 s
	Katkaisija auki	4,253 s	0,096 s
	Relay trip command	4,260 s	0,103 s
	Katkaisija kiinni	4,618 s	0,461 s
	Relay trip command	4,678 s	0,521 s
	Katkaisija kiinni	4,692 s	0,536 s
	Relay trip command	4,697 s	0,540 s
	Katkaisija auki	4,708 s	0,551 s
	Relay trip command	4,750 s	0,593 s
	Katkaisija auki	4,763 s	0,606 s
	Relay trip command	4,771 s	0,614 s
	Katkaisija kiinni	64,719 s	60,562 s
	Relay trip command	64,779 s	60,622 s
	Katkaisija kiinni	64,793 s	60,636 s
	Relay trip command	64,796 s	60,639 s
	Relay trip command	65,269 s	61,112 s
	Katkaisija auki	65,269 s	61,112 s
	Katkaisija auki	65,324 s	61,167 s
	Relay trip command	65,331 s	61,174 s

