



TEKNIikka JA LIIKENNE

Sähkötekniikka

Sähkövoimatekniikka

INSINÖÖRITYÖ

RELEKOESTUSLAITTEISTO FREJA RTS21

**Työn tekijä: Jarkko Kärhä
Työn ohjaaja: TkL Jarno Varteva**

Työ hyväksytty: 21. 5. 2009

**Jarno Varteva
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä insinööri työ tehtiin ammattikorkeakoulu Metropolialle, Tekniikan & liikenteen yksikölle. Haluan kiittää Jukka Leppästä Infratek Finland Oy:stä, joka kertoi yleisesti relekoestuksesta koestuslaboratoriossa sekä sähköasemilla. Haluan myös kiittää Asko Hietarantaa Vantaan Energia Sähköverkot Oy:stä, joka järjesti tutustumiskäynnin Infratek Finland Oy:n koestuslaboratorioon sekä Vantaan Energia Sähköverkot Oy:n Hakkilan ja Rekolan sähköasemille.

Työnohjaajana toimi lehtori, TkL Jarno Varteva Metropolia ammattikorkeakoulusta. Kiitän saamastani ohjauksesta.

Helsingissä 21.5.2009

Jarkko Kärhä

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Jarkko Kärhä	
Työn nimi: Relekoestuslaitteisto Freja RTS21	
Päivämäärä: 21.5.2009	Sivumäärä: 32 s.
Koulutusohjelma: Sähkötekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka
Työn ohjaaja: TkL Jarno Varteva	
<p>Tämä sähkövoimatekniikan insinöörityö tehtiin ammattikorkeakoulu Metropolialle, Tekniikan & liikenteen yksikölle. Työssä tutustuttiin relekoestuslaitteisto Freja RTS21:een ja sen käyttöön. Työssä tehtiin relekoestuksia relekoestuslaitteistoa apuna käyttäen ja tutkittiin kyseisen relekoestuslaitteiston soveltuvuutta relekoestukseen.</p> <p>Aluksi työssä esitellään yleisesti releitä ja relesuojausta. Sen jälkeen työssä perehdytään suojarelelajeihin ja yleisempiin reletyyppeihin. Työssä esitellään myös relekoestusta työelämän kannalta katsottuna.</p> <p>Mittausosiossa esitellään aluksi tarkemmin Freja RTS21 -relekoestuslaitteistoa. Mittauksissa on tarkoituksena tutkia tarkasteltavan releen toimintakunto ja todeta, mikäli tutkittava rele on relesuojaukseen tyydyttävässä kunnossa.</p> <p>Koestustulosten tulkinnessa käytetään apuna kuvia ja taulukoita. Releen tarkkuutta verrataan valmistajan lupaamiin tarkkuusarvoihin vertaamalla tuloksista laskettua virheprosenttia valmistajan lupaamiin virherajoihin. Mittauksissa perehdytään myös lyhyesti siihen, mihin kyseessä olevaa suojaustoimintoa tarvitaan.</p> <p>Lopuksi työssä esitellään johtopäätökset, jotka kertovat, kuinka relekoestuslaitetta voidaan käyttää hyötytarkoituksessa.</p>	
Avainsanat: rele, relesuojaus, relesuojalajit, relekoestus	

ABSTRACT

Name: Jarkko Kärhä	
Title: Relay Test System Freja RTS21	
Date: 21. May. 2009	Number of pages: 32 pp.
Department: Electrical engineering	Study Programme: Power systems
Instructor: Jarno Varteva M.Sc., Lic. Sc.	
<p>This final project was made for Technology and Transport unit of Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The objective of this project was to examine the function and use of relay test system Freja RTS21. Relay tests were made by using the relay test system. The project also examined the system's applicability to relay testing.</p> <p>At first the report describes relays and relay protection in general. After that the types of protection relays and the most common relay types are studied. The objective is also to describe the relay testing from the business viewpoint.</p> <p>In the measuring section the relay test system Freja RTS21 is more accurately examined. The purpose of the measurements was to study the function of the relay and find out whether the relay is in a satisfactory condition for relay protection.</p> <p>Figures and tables are used as a support to interpret the test results. The accuracy of the relay is compared to the readings given by the manufacturer by making a comparison between the percent of errors calculated in the results and the limit of errors reported by the manufacturer. The use of the protection system is also briefly examined.</p> <p>Finally, conclusions are drawn on how the relay test system can be beneficial for business.</p>	
Keywords: relay, relay protection, type of protection relays, relay test	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	YLEISTÄ RELEISTÄ JA RELESUOJAUKSESTA	2
2.1	Yleistä releistä	2
2.2	Relesuojaus	2
2.3	Määräykset	3
3	SUOJARELELAJIT	4
3.1	Sähkömekaaniset releet	4
3.2	Tasasuuntaajareleet	4
3.3	Staattiset releet	4
3.4	Numeeriset releet	5
4	YLEISIMMÄT RELETYYPIT	5
4.1	Virtareleet	5
4.2	Alijännitereleet	6
4.3	Ylijännitereleet	6
4.4	Taajuusreleet	6
4.5	Suunta- ja tehoreleet	6
4.6	Epäsymmetriareleet	7
4.7	Differentiaalireleet	7
4.8	Distanssireleet	7
4.9	Kulkuaaltosuuntareleet	7
4.10	Apureleet	8
4.11	Yhdistelmäsuojarele	8
5	RELEKOESTUKSEN TOTEUTTAMINEN	8
5.1	Fingridin relekoestus	8
5.2	Relekoestus alihankintana	9

6	MITTAUKSET	12
6.1	Laite	12
6.1.1	<i>Mittalaite</i>	12
6.1.2	<i>Kannettava tietokone</i>	13
6.1.3	<i>Muut laitteet</i>	14
6.2	Ylijänniterele	14
6.3	Ylivirta- ja maasulkurele	17
6.3.1	<i>Käänteisaikatoiminto</i>	19
6.3.2	<i>Vinokuormitus</i>	23
6.3.3	<i>Maasulkusuoja</i>	26
6.3.4	<i>Kolmivaiheinen ylivirtasuoja</i>	28
7	PÄÄTELMÄT	31
	VIITELUETTELO	32

1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä perehdytään relesuojaukseen ja suojareleiden relekoestukseen. Relesuojaus on yksi osa sähköverkon kokonaissuojausta. Suojareleiden lisäksi sähköverkon suojauksessa tarvitaan monia muitakin laitteita tai laitteistoja. Näitä muita tarvittavia laitteita ovat muun muassa mittamuuntajat, katkaisijat ja erottimet. Näihin sähköverkon muihin suojalaitteisiin ei oteta kantaa tässä insinööriyössä.

Rele, tyypistä riippuen, mittaa yhtä tai useampaa suuretta ja vertailee sitä releen asetteluarvoihin tai mahdollisesti edelliseen tilaan, joka on tallentunut releen muistiin. Kun releen mittaama suure muuttuu releeseen asetetun asetteluarvon ulkopuolelle, on tila tällöin epänormaali, jolloin rele toteuttaa sille määrätyn toiminnon.

Suojareleet olivat aluksi mekaanisia releitä, jotka olivat teknisesti epätarkkoja ja niiden liikkuvien osien vuoksi ne tarvitsivat paljon huoltoa toimiakseen moitteettomasti.

Puolijohdetekniikan ansiosta suojareleistä on saatu entistä tarkempia elektronikkapiirinsä ansiosta. Nämä staattiset releet ovat huomattavasti tarkempia ja pienikokoisempia kuin mekaaniset releet. Staattisten releiden elektronikkapiiriin voidaan toteuttaa useampia suojaustoimintoja, jolloin yhdestä releestä saadaan yhdistelmäsuojarele. Suojareleiden uusin suojarelelaji on numeeriset releet, joilla on mahdollisuus itsevalvontaan. Itsevalvonnan ansiosta numeeriset releet ovat entistä käyttövarmempia.

Suojareleen toimintakunto on testattava myös käyttöönottotarkastuksen jälkeen tietyin väliajoin. Suojareleen toimintakunto selvitetään relekoestuksella, jossa todetaan, että rele on toimintakuntoinen ja kelpaa suojalaitteeksi.

Tässä insinööriyössä esitellään aluksi yleisesti releitä ja relesuojausta. Insinööriyön lopussa perehdytään relekoestukseen Freja RTS21-relekoestuslaitteiston avulla. Mittausosuuudessa esitellään releen mittaus tuloksia ja arvioidaan releen toimintakuntoa. Lopuksi otetaan kantaa relekoestuslaitteiston mahdolliseen hyötykäyttöön.

2 YLEISTÄ RELEISTÄ JA RELESUOJAUKSESTA

Luvussa kaksi esitellään yleistä asiaa releistä, relesuojauksesta ja siitä, mitkä sähköturvallisuusmääräykset koskevat relesuojausta.

2.1 Yleistä releistä

Releet ovat laitteita, jotka tarkastelevat sähköverkon sähköisiä suureita ja havaitsevat sähköverkossa tapahtuvat muutokset. Releen asetteluarvon ylittäminen tarkoittaa epänormaalia tilaa, jolloin rele antaa ohjauksikäskyn laitteelle, joka suorittaa vian poistamisen sähköverkosta. Tällainen laite voisi olla esimerkiksi katkaisija, joka erottaa vikaantuneen virtapiirin toimivasta sähköverkosta. Vikatilan sattuessa rele suorittaa kytkentöjä automaattisesti, luotettavasti ja nopeasti. [1, s. 13.]

Relesuojauksessa releet tarvitsevat muita komponentteja avukseen, jotta sähköverkon suojaus toimisi. Tällaisia komponentteja ovat muun muassa mittamuuntajat, katkaisijat ja apupiirit. [1, s. 16.]

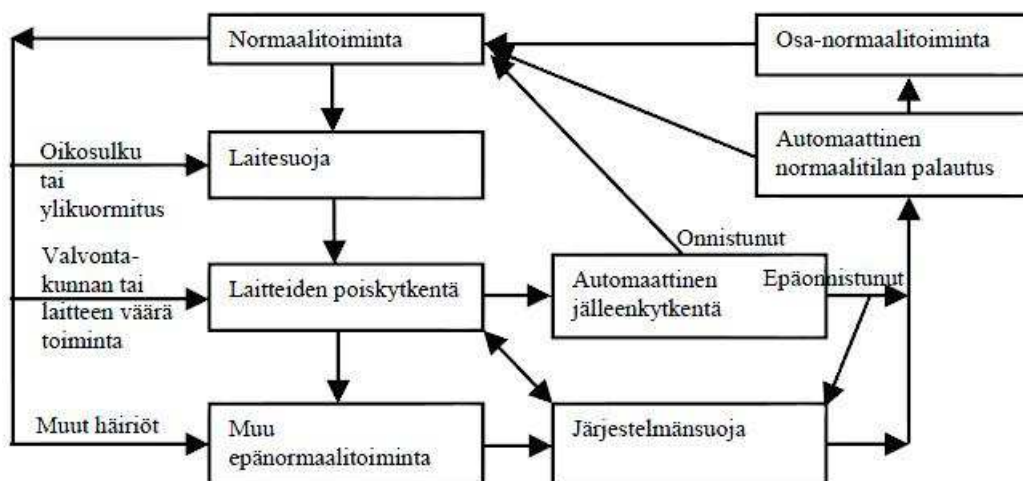
Relesuojauksella pyritään asettelemaan sähköverkon suojaus mahdollisimman selektiiviseksi. Tällöin vian aiheuttaja saadaan kytkettyä pois toimivasta sähköverkosta ja vian aiheuttama käyttökatkos ei ulotu koko sähköverkkoon.

Relesuojaus on tehtävä niin nopeaksi ja aukottomaksi, että koko sähköverkon toimintavarmuus säilyy kaikissa mahdollisissa vikatilanteissa. Relesuojauksesta on suunniteltava mahdollisimman yksinkertainen ja siinä on otettava huomioon käyttövarmuus, käytettävyys, kunnossapito ja taloudelliset tekijät. [1, s. 15.]

2.2 Relesuojaus

Sähkövoimajärjestelmän toiminnot muodostuvat normaalista toiminnasta ja vikatoiminnasta. Vikatoimintojen sattuessa sähköverkkoa suojaa relesuojaus. Sähköpiirien viat muodostavat oikosulkuviat ja maasulkuviat (poikittaisviat), johdinkatkokset (pitkittäisviat) sekä niiden yhdistetyt viat. [2, s. 19.]

Laitesuojaus on relesuojauksen perimmäinen syy. Relesuojauksen tarkoitus on suojata suojeltavaa virtapiiriä silloin, kun syntyy esimerkiksi laitteen eristysvika, laitteen ylikuormitus tai laitteen väärä toiminto. [2, s. 19.]



Kuva 1. Relesuojauksen toimintaperiaate [2, s. 20]

Edellisestä kuvasta voidaan havaita relesuojauksen toimintaperiaate ja kuinka relesuojaus toimii, kun eri vikatoiminnot aiheuttavat relesuojauksen toiminnan.

Fingridin siirtoverkossa tapahtuvat johtoviat, ohimenevät viat ja pysyvät viat ovat suhteellisen harvinaisia suurista vaiheväleistä ja johtokatuojen puuvarmuudesta johtuen. [3, s. 21.]

Taulukko 1. Keskimääräinen vikatiheys [3, s. 21]

400 kV	0,3 kpl/100 km, a	n. 4000 km
220 kV	1,2 kpl/100 km, a	n. 2500 km
110 kV	2,2 kpl/100 km, a	n. 8500 km

2.3 Määräykset

Pienjännitesähköasennukset ja sähköturvallisuusstandardi SFS 6000 osa 6 (tarkastukset) ja sen kohta 62 esittää vaatimukset säännöllisin väliajoin tehtäville kunnossapitotarkastuksille, joissa määritetään, onko asennus ja laitteet tyydyttävässä kunnossa. [4, s. 353.]

Koestuksella tulee osoittaa, että kohdan 6000-4-41 mukaiset poiskytkentäajat täyttyvät. Koestukseen kuuluu myös mittauksia, joilla osoitetaan että seuraavat asiat toteutuvat:

- ihmisten ja kotieläinten suojaus sähköiskulta ja palovammoilta
- suojaus asennuksien virheiden aiheuttamalta omaisuuden palo- ja lämpövaaralta
- varmistuminen, ettei asennus ole vioittunut tai liitos löystynyt niin, että se pienentäisi turvallisuutta

- asennuksen sellaisten virheiden ja tässä standardissa poikkeamien tunnistaminen, joista voi aiheutua vaaraa.

Mittaus- ja tarkastuslaitteet sekä menetelmät on valittava EN 61557-standardisarjan asianomaisen osan mukaisesti. [4, s. 362.]

3 SUOJARELELAJIT

Kolmannessa luvussa esitellään yleisimmät suojarelelait ja kuinka nämä poikkeavat toisistaan.

3.1 Sähkömekaaniset releet

Mekaaniset releet ovat tehollisarvoa mittaavia koneistoja, joille ominaista on liikkuvien osien hitaus sekä rajoittunut asettelutarkkuus. Hetkellisarvojen mittaus ei ole tällä releyypillä mahdollista. Virtareleiden, jännitereleiden ja suuntareleiden toteuttaminen mekaanisesti on helppoa. Liikkuvien osien vuoksi sähkömekaaniset releet vaativat runsaasti huoltoa. [1, s. 22.]

3.2 Tasasuuntaajareleet

Tasasuuntaajarele on eräänlainen välimuoto mekaanisten ja staattisten releiden välillä. Tasasuuntaajareleissä mittaavana osana toimii kiertokäämikela. Kiertokäämikela on tasavirtakela, jolloin kiertokäämikelan edessä on oltava tasasuuntaaja. Ennen tasasuuntaajaa on välimuuntaja, joka kyllästyy suurilla virroilla, jolloin välimuuntaja suoja kiertokäämikelaa. Kiertokäämikelalla on saatu releet herkiksi ja nopeiksi. Kiertokäämikelaa on käytetty muun muassa differentiaalireleissä, vinokuormitusreleissä ja distanssireleissä. [1, s. 23.]

3.3 Staattiset releet

Staattiset releet tarvitsevat oman apuenergiansa. Apuenergian vuoksi lähtöreleenä voidaan käyttää apurelettä, jonka koskettimet ovat riittävät laukaisua ja hälytystä varten. Tällöin välireleitä ei tarvita eikä toiminta-aika hidastu.

Staattinen rele liitetään sovitusmuuntajan avulla mittamuuntajan toisiopiiriin. Sovitusmuuntajalla mitattavat suureet muutetaan elektroniikalle sopiviksi, jolloin nimellisvirrat, nimellisjännitteet, ylivirrat ja ylijännitteet eivät vahingoita

elektroniikkapiirin toimintaa. Sovitusmuuntajan galvaaninen erotus mittauspiirin ja elektroniikkapiirin välillä estää häiriön läpipääsyn elektroniikkapiiriin. Staattisten releiden asettelutarkkuus on laaja sekä staattiset releet ovat tarkempia ja nopeampia kuin mekaaniset releet. Staattiset releet ovat fyysiseltä kooltaan huomattavasti pienempiä kuin mekaaniset releet. Staattisiin releisiin saadaan elektroniikkaa soveltamalla useita eri toimintoja, mikä vähentää tilantarvetta. [1, s. 23.]

3.4 Numeeriset releet

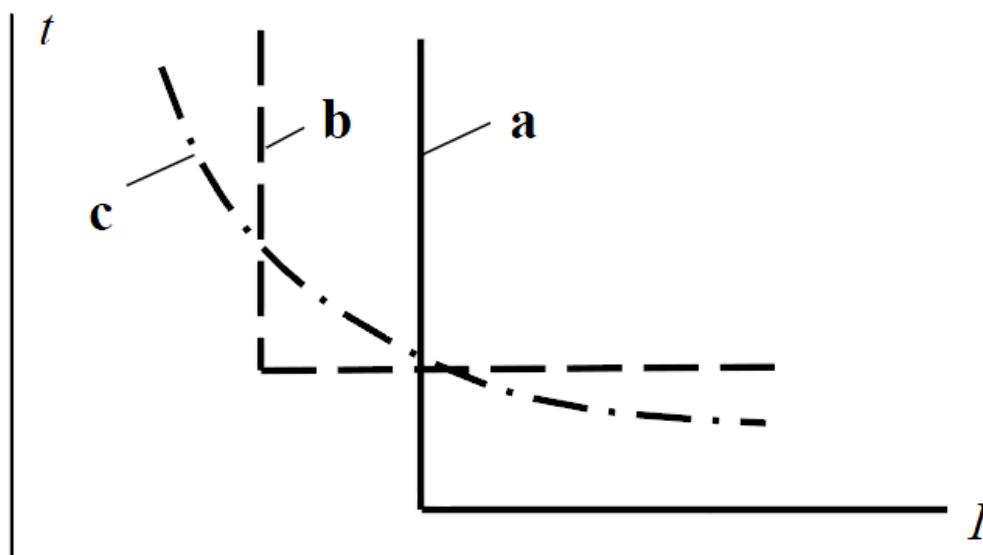
Numeeristen- ja prosessorireleiden tunnusomainen piirre on niiden monitoimisuus sekä niiden kyky itsevalvontaan. Numeeristen releiden tiedonsiirto on kaksisuuntaista: releeltä voidaan siten lukea releen toimintaan liittyviä tietoja, esimerkiksi releen mittaus-, tila- ja asetteluarvoja. Releen monitoimisuuden vuoksi puhutaankin pelkän releen sijaan kennoterminalista, jonka kokonaisuuteen kuuluu eri rakennekerrokset, mm. suojaustoiminnot, käyttötoiminnot, lähtökohtainen automatiikka, rekisteröinti, tiedonsiirto ja itsevalvonta. Rele ei poikkea kovinkaan staattisesta releestä muuten kuin sarjaliikenneliittymän osalta. [1, s. 25.]

4 YLEISIMMÄT RELETYYPIT

Neljännessä luvussa esitellään yleisimmät reletyypit ja kerrotaan mitä suuretta tai suureita ne mittaavat toimiakseen.

4.1 Virtareleet

Virtareleet mittaavat yhtä suuretta ja virtareleet voivat toimia seuraavilla tavoilla: Kuvan 2 ominaiskäyristä voidaan havaita kuinka hetkellinen ylivirtarele (käyrä a) toimii heti, kun virta on kasvanut yli releen asetteluarvon. Vakioaikaylivirtarele (käyrä b) toimii tietyn ajan kuluttua, kun virta on kasvanut yli releen asetteluarvon (kuva 2). Käänteisaikaylivirtarele (käyrä c) toimii sitä nopeammin, mitä suuremmaksi virta on kasvanut suhteessa releen asetteluarvoon (kuva 2). Lämpörele toimii ylikuormitusvirrasta johtuvan lämpötilan kasvun vuoksi. [1, s. 35.]



Kuva 2. ylivirtareleiden ominaiskäyrät [2, s.26]

4.2 Alijännitereleet

Alijänniterele toimii, kun jännite on laskenut pienemmäksi kuin releen asetteluvarvo. Alijännitereleet eivät saa toimia lyhytaikaisissa jännitteen alenemisissä, ja niillä on oltava aikahidastus, jotta tarpeettomat käyttökatkokset saadaan poistettua. Alijännitereleen on kestettävä pikajälleenkytkentä. [1, s. 38.]

4.3 Ylijännitereleet

Ylijänniterele toimii, kun jännite on kasvanut suuremmaksi kuin releen asetteluvarvo. Ylijännitereleitä käytetään vaarallisten jännitteiden nousun varalta. [1, s. 39.]

4.4 Taajuusreleet

Taajuusrele toimii, kun taajuus kasvaa tai laskee ohi releen asetteluvarvon. Alitaajuusreleitä käytetään tehonvajaussuojauksessa. [1, s. 40.]

4.5 Suunta- ja tehoreleet

Suunta- ja tehoreleet toimivat, kun mitatun kohteen jännitteen ja virran hetkellisarvot tai niistä johdettu teho ylittää releen asetteluvarvon. Suuntarele toimii, kun jännitteen ja virran vaihekulma on releen toiminta-alueella. Taka-

tehorele toimii, kun verkosta otettu pätöteho ylittää releen asetteluarvon. [1, s. 40.]

4.6 Epäsymmetriareleet

Epäsymmetriarele toimii, kun kolmivaihejärjestelmän kuormitus muuttuu epäsymmetriseksi. Yleisiä vinokuormitustiloja ilmenee yksi- ja kaksivaiheisten oikosulkujen vuoksi sekä yhden tai kahden vaiheen katkeamisen johdosta. Normaalit kaksivaiheiset kuormitukset aiheuttavat myös merkittävää vinokuormitusta kolmivaiheverkossa. [1, s. 41.]

4.7 Differentiaalireleet

Differentiaalirele toimii, kun suojattavan kohteen virta muuttuu epänormaaliin tilaan. Differentiaalirele toimii myös eristysvikatilanteissa. Laitteen toimiessa oikein on differentiaalireleen läpikulkeva virta nolla, mutta eristysvian sattuessa eristyksestä vuotava virta kulkee differentiaalireleen kautta aiheuttaen releen havahtumisen. Differentiaalireleet ovat nopeita oikosulkusuojia ja niiden toimintavirta on yleensä aseteltavissa. [1, s. 46.]

4.8 Distanssireleet

Distanssirele mittaa oman ja vikapaikan välisen matkan, jolloin vikaa lähinnä oleva katkaisija voidaan laukaista ja näin ollen terveeseen verkkoon ei tule turhaa käyttökatkosta. Distanssirele mittaa impedanssia sijoituspaikassa esiintyvien jännitteiden ja virtojen avulla. Distanssirele soveltuu hyvin johdosuojaksi, mutta kuitenkin yli kymmenen kilometrin johdoilla. [1, s. 57.]

4.9 Kulkuaaltosuuntareleet

Kulkuaaltosuuntarele mittaa vikakohdassa tapahtuvien virta- ja jännitemuutosten suhdetta sekä vian suuntaa verrattuna releen muistissa oleviin aikaisempiin mittaustietoihin. Apuyhteydellä voidaan varmistaa johdon molemminpuolinen suojaus. Mitatun suhteen etumerkistä rele voi päätellä, onko vika johdolla vai releen takana kiskolla. Kulkuaaltorelettä voidaan käyttää distanssireleiden kanssa parantamaan johtosuojausta. [1, s. 79.]

4.10 Apureleet

Apureleitä käytetään, kun varsinaisen releen koskettimet ovat liian heikot tai niitä on liian vähän. Apureleitä voidaan käyttää, kun muodostetaan monimutkaisia suojaustoimintoja. [1, s. 81.]

4.11 Yhdistelmäsuojarele

Yhdistelmäsuojarele on relekokonaisuus, joka sisältää useita suojaustoimintoja suorittavia releitä. Tällainen yhdistelmäsuojarele voisi olla esimerkiksi johdonsuoja joka sisältää:

- ylivirtarele
- maasulkusuoja
- pika- ja aikajälleenkytkentäautomaatiikka. [5, s. 46.]

5 RELEKOESTUKSEN TOTEUTTAMINEN

Viidennessä luvussa esitellään relekoestuksen eri toteuttamistapoja. Luvussa kerrotaan kuinka verkkoyhtiö voi toteuttaa relekoestuksen.

5.1 Fingridin relekoestus

Releiden koestusvälin määrittää laitteen haltija, joka vastaa hoito- ja kunnossapito-ohjelman laatimisesta ja sen noudattamisesta. Releiden koestusvälit riippuvat reletyypistä. Esimerkiksi sähkömekaaniset releet vaativat tiheämpää koestusta niiden mekaanisten liikkuvien osien vuoksi. Uusilla numeerisilla releillä on pidempi koestusväli niiden itsevalvonnan johdosta. Itsevalvonta ei kuitenkaan ole täysin aukotonta. Releiden koestusväli ei saa ylittää relevalmistajien antamia käyttö- ja huolto-ohjeiden vaatimuksia. [6.]

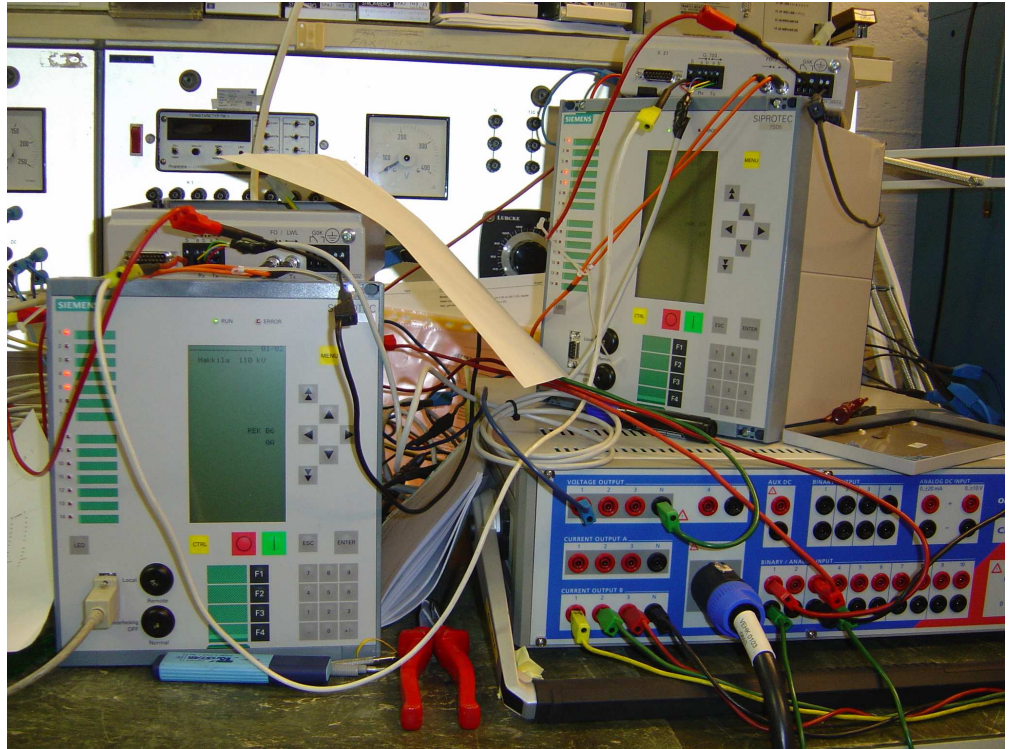
Fingridillä käytössä olevat johtosuojien koestusvälit ovat:

- 110 ja 220 kV sähkömekaaniset ja staattiset releet 3 vuotta
- 110 ja 220 kV digitaaliset releet 5 vuotta
- 400 kV sähkömekaaniset ja staattiset releet 1 vuosi
- 400 kV digitaaliset releet 2 vuotta.

Koestusvälit on määritelty kattavien vikatilastojen pohjalta tehtyjen käyttövarmuuslaskelmien perusteella. [6.]

5.2 Relekoestus alihankintana

Relekoestus voidaan suorittaa verkkoyhtiön omasta toimesta tai kustannusyhtä relekoestus voidaan ostaa yrityksen ulkopuolelta, jos relekoestusta ei katsota yrityksen ydinsaamisalueeksi tai relekoestuksella on vähäinen tarve. Relekoestuspalveluita tarjoavat verkkoyhtiöt tai koestukseen ja kalibrointiin erikoistuneet yritykset.



Kuva 3. Differentiaalirele

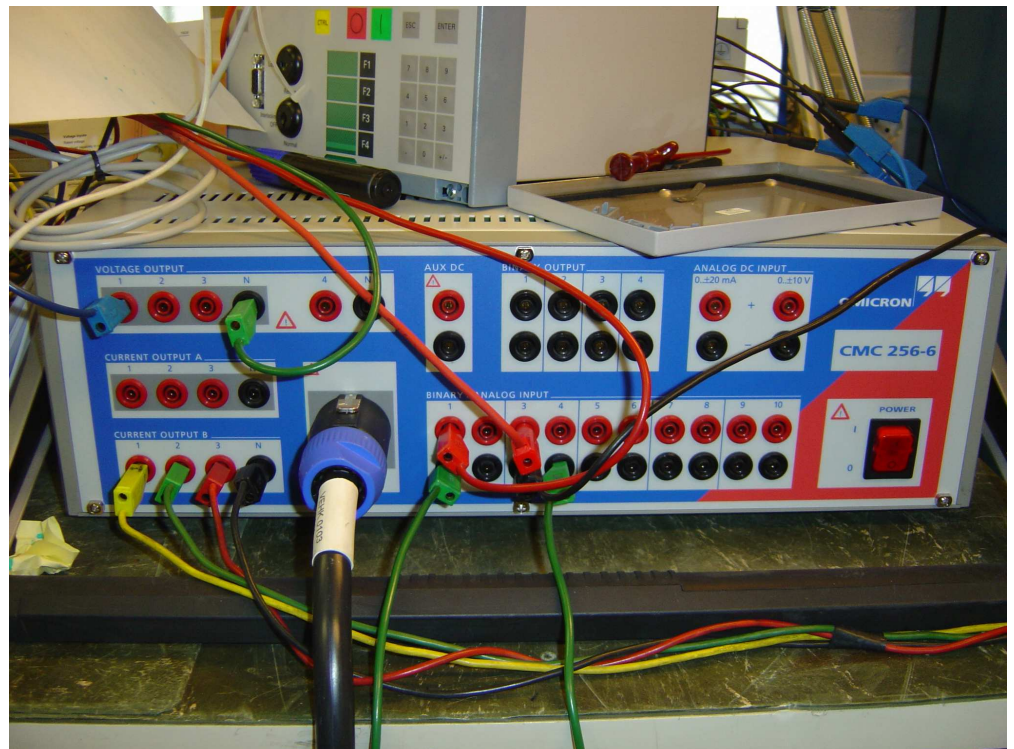
Kuvasta 3 voidaan havaita kahden differentiaalireleen koestustilanne. Virtamuuntaja rikkoutui 110 kV:n Hakkila-Rekola välillä ja aiheutti releen tuhoutumisen. Verkkoyhtiö joutui virtamuuntajan lisäksi hankkimaan uudet differentiaalireleet johdon molempiin päihin sekä releiden optiset väyläliityntämoduulit. [7.]

Releet koestetaan koestuslaboratoriossa niiden ollessa yhteydessä keskenään. Relekoestuksessa varmistetaan, että valmistajan antamat arvot pitävät paikkaansa sekä verkkoyhtiön antamat asetteluarvot toimivat. Esimerkiksi kuvassa 3 olevat differentiaalireleet ovat 5 ampeerin toisireleitä, mutta voimajohdon toisen virtamuuntajan toisiovirta on yksi ampeeri, joten toiseen differentiaalireleen sisäistä kytkentää on muutettava virtamuuntajan yhden ampeerin toisiovirran mukaiseksi. [7.]



Kuva 4. Optinen väyläliityntämoduuli

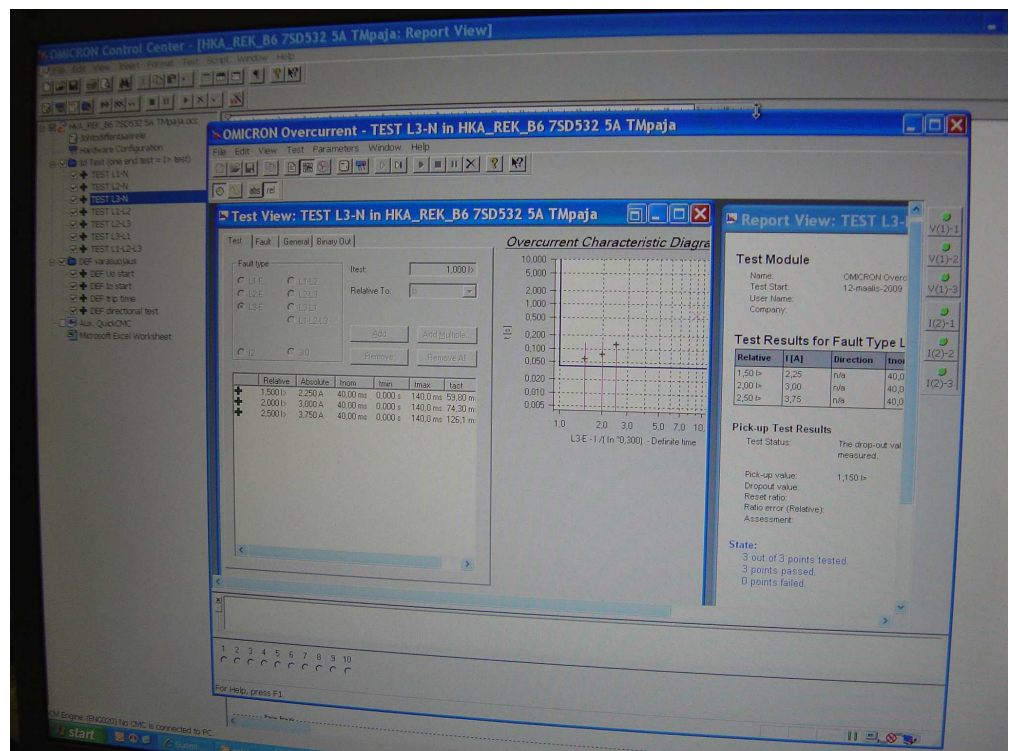
Usein johdonpääreelit vaativat toimiakseen yhteyden toistensa välillä (kuva 4).



Kuva 5. Reletestauslaite Omicron CMC 256-6

Tällä tavoin releet voivat toimia yhdessä ja vian sattuessa oikea rele toimii. Jos tietoliikenneyhteys katkeaa releiden välillä, releet eivät toimi enää yhdessä ja releet katkaisevat voimajohdon verkosta tietyn viiveen kuluessa mikäli tietoliikenneyhteys ei palaa releiden välille. Esimerkiksi distanssirele havaitsee maasulkukohdan voimajohtolla, jolloin vikaantunut voimajohto voidaan irrottaa toimivasta verkosta. Tämä toimenpide tarvitsee toimivan tietoliikenneyhteyden distanssireleen ja lähinnä vikaa olevan katkaisijan tai katkaisijoiden välille. [7.]

Reletestauslaittevalmistajia on huomattavasti vähemmän kuin relevalmistajia. Reletestauslaitteita (kuva 5) on erilaisia reletyypin mukaan. Reletestauslaitteet eroavat fyysisen kokonsa, tehonsa sekä kytkentämadollisuuksien mukaan toisistaan. Reletestauslaitteita voidaan ohjata esimerkiksi kannettavan tietokoneen avulla. Toisioreletestauslaitteet ovat nykypäivänä niin pieniä, että ne voidaan vaivatta kuljettaa koestuspaikalle ja takaisin yhden koestajan voimin. [7.]



Kuva 6. Käyttöliittymä

Usein reletestauslaitetta ohjataan tietokoneen avulla. Tietokoneohjelmaan (kuva 6) asetetaan koestusohjelma, johon määritetään koestusarvot, joiden mukaan reletestauslaite koestaa releen.

Releenkoestukseen kulunut aika menee pääasiallisesti kytkennän- ja koestusarvojen asettamiseen. Itse releenkoestus ei kestä kovinkaan kauan. [7.]

6 MITTAUKSET

Kuudennessa luvussa tutkitaan Freja RTS21-relekoestuslaitetta ja koestetaan kaksi suojarahetta.

6.1 Laite

Tutkittava relekoestuslaite on nimeltään Freja RTS21, jäljempänä Freja. Laitteella voidaan mitata kyseessä olevan releen toimintakunto sekä todeta, ovatko releen toiminta-arvot valmistajan lupaamissa rajoissa.

6.1.1 Mittalaite

Freja-relekoestuslaitteen mittalaite syöttää tutkittavaan releeseen haluttua suuretta reletyypistä riippuen. Mittalaitteen etupaneeliin tehdään tarvittavat kytkennät. [8, s. 4.11.]



Kuva 7. Freja-mittalaite

6.1.2 Kannettava tietokone

Kannettava tietokone (kuva 8) sisältää Freja-laitteiston käyttöliittymän. Käyttöliittymä sisältää eri relekoestusohjelmia, joita voidaan käyttää releestä riippuen. Relekoestusohjelmaan asetetaan releen testaussuureet, minkä jälkeen suoritetaan relekoestus.

Suureita aseteltaessa on otettava huomioon releen nimellisarvot, esimerkiksi kuinka paljon on releen terminen virtakestoisuus.

Mittauksissa käytettävät ohjelmat löytyvät Freja-laitteiston käyttöliittymän ”Manuaalinen koestus” -valikosta ”Yleinen ja laajennettu yleinen koestus”.

Käyttöliittymän valikossa ohjelmavalinta suoritetaan F-näppäimillä. Testausohjelmassa liikkuminen tapahtuu nuolinäppäimillä. [8, s.3.4.]

Mittaussuureen pienentäminen tehdään ylärivin plus-näppäimestä. Mittaussuureen suurentaminen tehdään Fn-näppäimestä, ja sinisen plus-merkistä. Koestuslaitteistossa on myös kiertosäädin, jolla voi muuttaa asettua arvoa. Kiertosäätimellä koestussuureen muutos voidaan tehdä myös koestuksen aikana.



Kuva 8. Kannettava tietokone

6.1.3 Muut laitteet

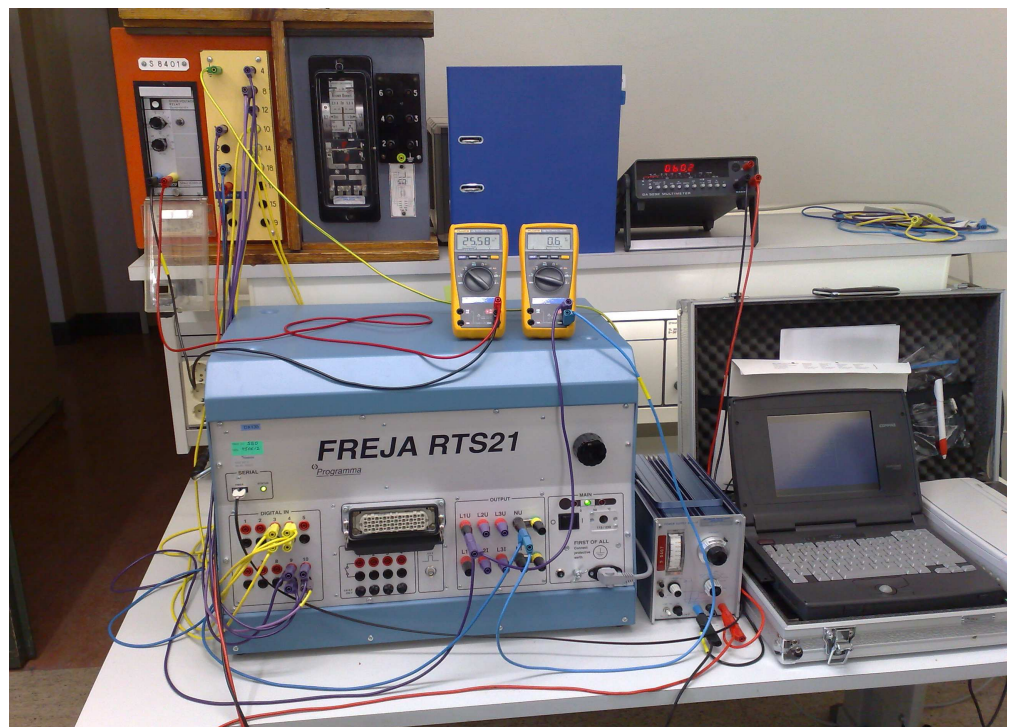
Freja-relekoestuslaitteistoon kuuluu myös muita relekoestuskäyttöön tarvittavia laitteita:

- optinen kaapeli
- optinen kaapelimodeemi
- manuaali
- tulostin
- kuljetuslaatikot.

Relekoestuksessa käytettiin myös Freja-laitteistoon kuulumattomia yleismittareita. Yleismittareita käytettiin havainnollistamaan koestuksen eri vaiheita.

6.2 Ylijänniterele

Ylijänniterelettä käytetään suojaamaan laitteistoa suurilta ylijännitteiltä. Freja-relekoestuslaitteistolla koestettiin yksivaiheinen vakioaikaylijänniterele. Ylijännitereleen nimellisjännite U_n oli kytketty 100 V:n. Releen toiminta-arvoksi voidaan asettaa $[U > \% U_n]$ 20 % - 80 % kertaa nimellisjännite U_n . Rele tarvitsi toimiakseen 60 VDC apujännitettä. Apujännite syötettiin releeseen erillisestä tasasuuntaajasta. Releen mittaama jännitepiiri sekä releen hälytyskoskettimet liitettiin Freja-relekoestuslaitteistoon.



Kuva 9. Kytkentä

Taulukossa 2 LJ on releen laukaisujännite, PJ on releen palautumisjännite, PA on releen palautumisaika ja PA 100 V on releen palautumisaikaa 100 V:n syötöllä.

Taulukko 2. Laukaisumittauksia

[U > % Un]	LJ	PJ	PA	PA 100 V
20 %	20,6 V	19,4 V	13 ms	115 ms
virhe	3,0 %	-3,0 %		
30 %	31,8 V	30,2 V	9 ms	86 ms
virhe	6,0 %	0,7 %		
40 %	42,2 V	39,8 V	10 ms	66 ms
virhe	5,5 %	-0,5 %		
50 %	53,1 V	50,4 V	10 ms	51 ms
virhe	6,2 %	0,8 %		
60 %	63,50 %	60,4 V	9 ms	39 ms
virhe	5,8 %	0,7 %		
70 %	72,9 V	69,2 V	10 ms	29 ms
virhe	4,10 %	-1,1 %		
80 %	82,5 V	78,6 V	10 ms	19 ms
virhe	3,1 %	-1,8 %		

Virhe lasketaan kaavalla 1

$$Virhe = \frac{V_m - V_a}{V_a} 100\% \quad (1)$$

jossa V_m on mitattu jännite ja V_a on asettelujännite.

$$Virhe = \frac{V_m - V_a}{V_a} 100\% = \frac{20,6V - 20V}{20V} 100\% = 3\%$$

Releen asettelutarkkuudeksi valmistaja on luvannut ± 5 %. Mittaustuloksista voidaan havaita, että mitatut tulokset ovat lähellä valmistajan lupaamaa arvoa. Asettelutarkkuus on kuitenkin hieman ryöminyt ajan kuluessa.

Releen palautumisajaksi valmistaja lupaa maksimissaan 60 ms. Palautumisaika pitikin paikkaansa koestusjännitteen ollessa releen asettelualueen lähellä, mutta koestusjännitteen ollessa yli kaksinkertainen asetteluarvoon nähden, releen palautumisaika kasvoi yli valmistajan lupaaman arvon.

Taulukon 3 mitatuista toiminta-ajoista voidaan havaita, että rele toimii sitä nopeammin, mitä suurempi on asettelujännitteen ylitys.

Taulukko 3. Toiminta-aika

AJ	30 V	40 V	50 V	60 V	70 V	80 V	90 V	100 V
20 %	69 ms	56 ms	50 ms	46 ms	43 ms	42 ms	41 ms	39 ms
30 %	x	83 ms	65 ms	57 ms	53 ms	50 ms	47 ms	46 ms
40 %	x	x	89 ms	73 ms	63 ms	57 ms	54 ms	51 ms
50 %	x	x	x	98 ms	77 ms	68 ms	63 ms	57 ms
60 %	x	x	x	x	104 ms	83 ms	72 ms	65 ms
70 %	x	x	x	x	x	105 ms	84 ms	74 ms
80 %	x	x	x	x	x	x	109 ms	88 ms

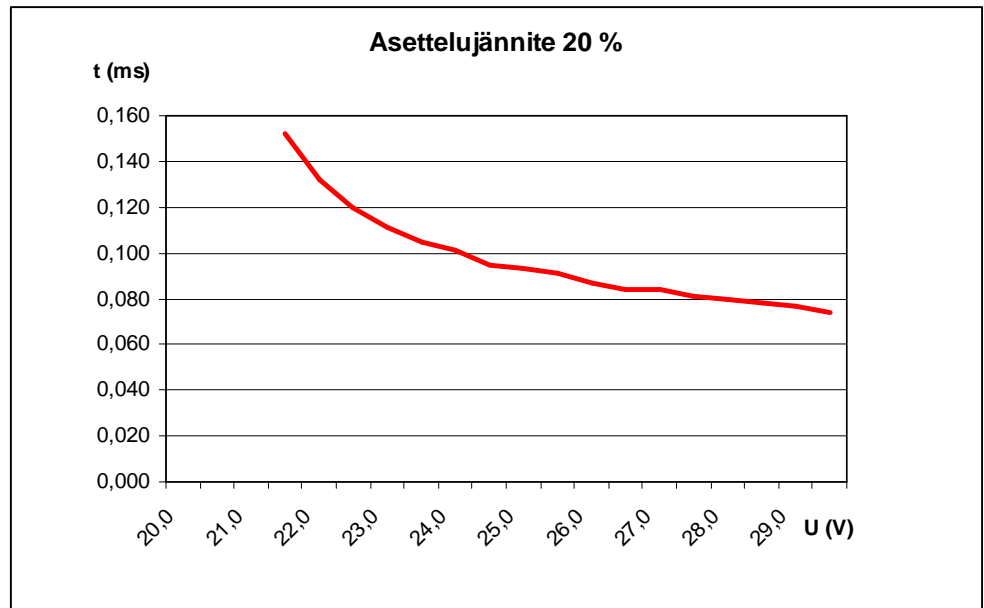
Taulukossa 3 AJ on asettelujännite ja vaakarivillä on koestusjännite.

Taulukko 4. Toiminta-aika koestusjännitteen ollessa lähellä asetteluarvoa

	20 %		50 %		80 %	
n.	V	t (ms)	V	t (ms)	V	t (ms)
1	20,0		52,0		82,0	
2	20,5		52,5		82,5	0,213
3	21,0		53,0		83,0	0,173
4	21,5	0,152	53,5	0,175	83,5	0,162
5	22,0	0,132	54,0	0,154	84,0	0,152
6	22,5	0,120	54,5	0,135	84,5	0,143
7	23,0	0,111	55,0	0,132	85,0	0,142
8	23,5	0,105	55,5	0,122	85,5	0,134
9	24,0	0,101	56,0	0,122	86,0	0,127
10	24,5	0,095	56,5	0,116	86,5	0,124
11	25,0	0,093	57,0	0,114	87,0	0,122
12	25,5	0,091	57,5	0,112	87,5	0,120
13	26,0	0,087	58,0	0,111	88,0	0,115
14	26,5	0,084	58,5	0,106	88,5	0,113
15	27,0	0,084	59,0	0,104	89,0	0,114
16	27,5	0,081	59,5	0,103	89,5	0,111
17	28,0	0,080	60,0	0,101	90,0	0,111
18	28,5	0,078	60,5	0,099	90,5	0,111
19	29,0	0,077	61,0	0,098	91,0	0,110
20	29,5	0,074	61,5	0,097	91,5	0,106

Taulukko 4 on jatkoa taulukolle 3, mutta rele on koestettu lähellä asettelujännitettä ja koestusjännitettä on nostettu puolen voltin välein.

Koestusohjelmaan määritettiin jänniteväli millä koestus suoritetaan sekä jännite asetettiin käymään nollassa voltissa mittausten välillä.



Kuva 10. Toiminta-aika koestusjännitteen funktiona

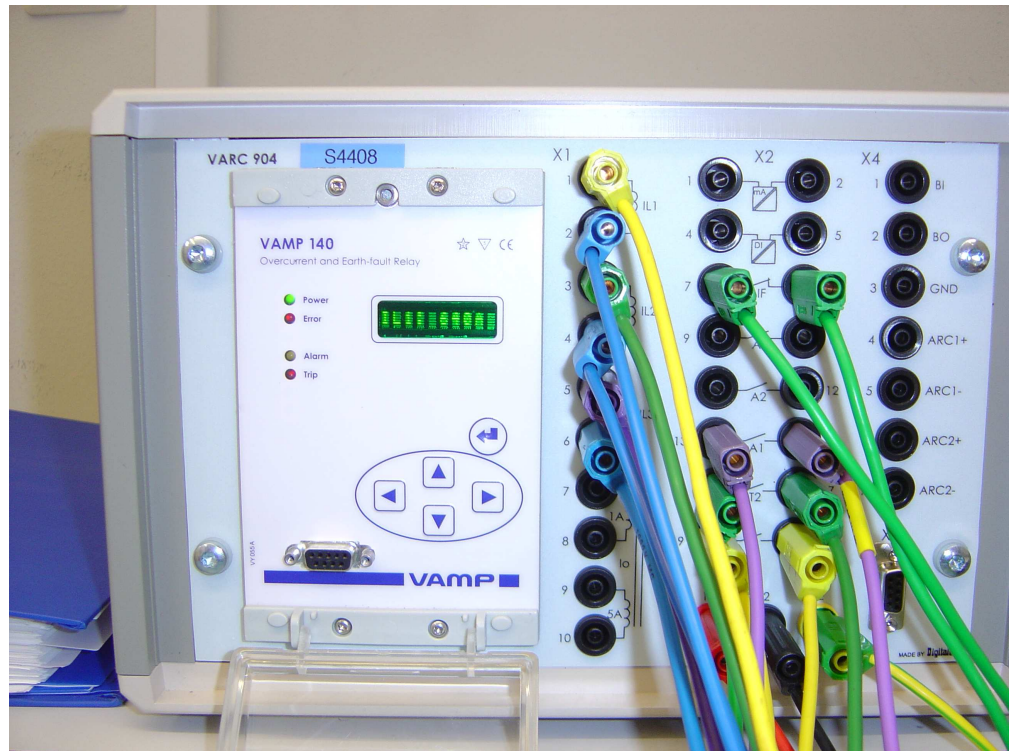
Kuvasta 10 voidaan havaita, kuinka toiminta-aika putoaa jännitteen kasvaessa.

6.3 Ylivirta- ja maasulkurele

Freja-relekoestuslaitteistolla koestettiin seuraavaksi kolmivaiheinen ylivirta- ja maasulkurele VAMP 140. Releellä on monia suojaustoimintoja, ja relettä voidaan soveltaa seuraavissa suojaustoiminnoissa:

- ilmajohtolähdön oikosulku-, maasulku- ja johdinkatkoslukusuojaus
- ilmajohtolähdön oikosulku- ja maasulkusuojaus
- jakelumuuntajalähdön oikosulku-, maasulku- ja valokaarisuojaus
- päämuuntajan suurjännitepuolen oikosulku- ja maasulkusuojaus
- lukitusperusteinen nopea kiskoston oikosulkusuojaus
- katkaisijan vikasuojaus
- laukaisupiirin valvonta
- kondensaattoripariston suojaus
- kolmivaiheinen oikosulkusuojaus kahdella virtamuuntajalla. [9, s.28.]

Kyseinen rele on yhdistelmäsuojarele.



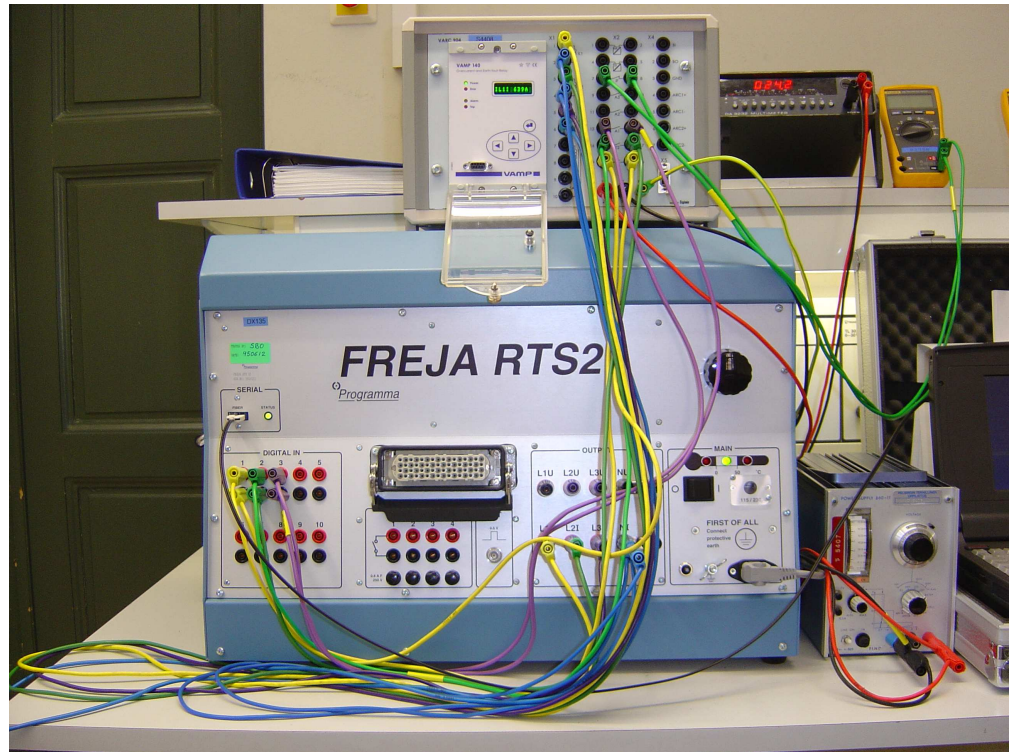
Kuva 11. Ylivirta- ja maasulkurele VAMP 140

Kuvasta 11 voidaan havaita, että koestettava rele on asennettu erilliseen koestuslaatikkoon. Normaalisti releen liittimet ovat releen takaseinässä, mutta tässä opetukseen käytettävässä releessä releen liittimet on tuotu releen etupuolelle.

Rele kytkettiin Freja-relekoestuslaitteistoon, ja releeseen määriteltiin virtamuuntajan ensiö- ja toisiovirrat. Seuraavissa mittauksissa käytettiin vaiheiden virtamuuntajien ensiöarvona 600 ampeeria ja toisioarvona 1 ampeeria.

Maasulkuvirtamuuntajassa käytettiin myös samoja virta-arvoja. Normaalisti kyseiset virta-arvot asetellaan releeseen käytettävissä olevien virtamuuntajien ensiö- ja toisiovirtojen mukaan.

Virtamuuntaja tarkoitus on muuttaa mitta-alaa suojareleelle sopivaksi. Virtamuuntaja erottaa mittauspiirin päävirtapiiristä, suojaa mittauspiiriä ylikuormitukselta ja mahdollistaa mittalaitteiden sijoittamisen etäälle mittapaikasta. [1, s.85.]



Kuva 12. KytKentä

6.3.1 Käänteisaikatoiminto

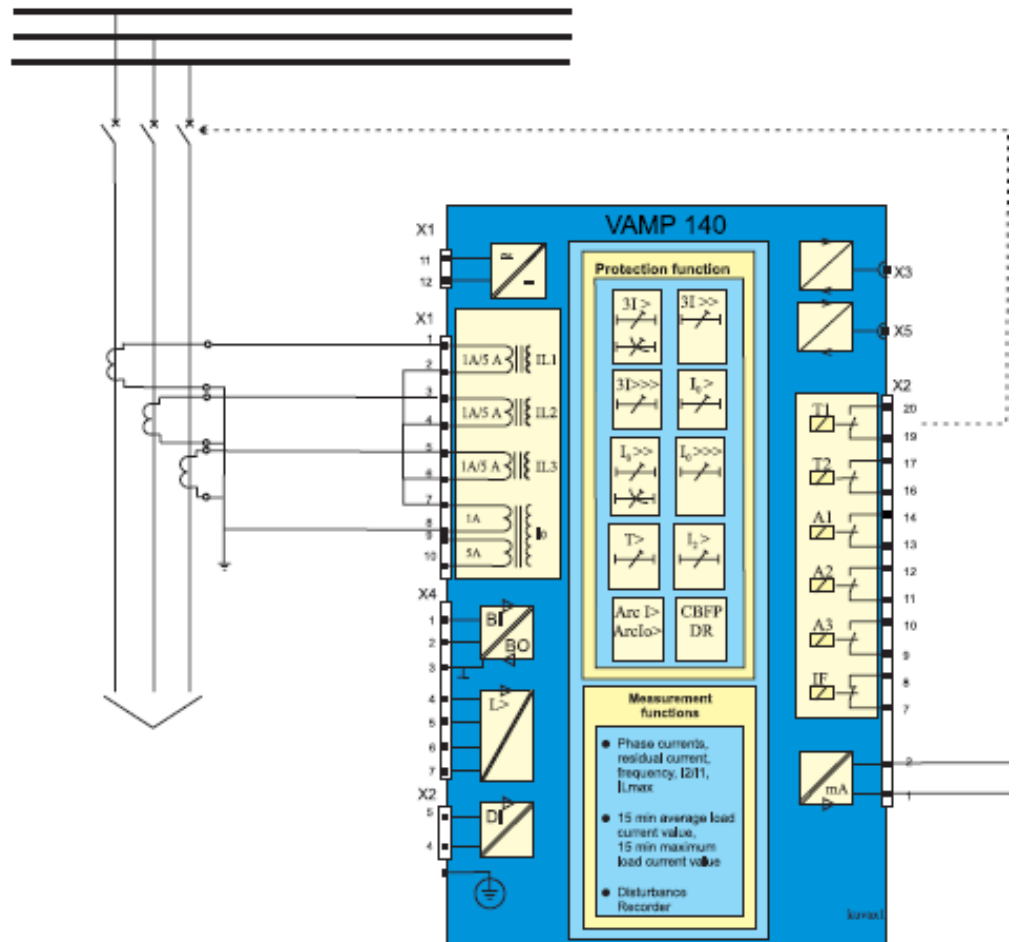
Yksi releen suojaustoiminto on ylivirtasuojaus. Tässä relekoestuksessa releen ylivirtasuojaus koestettiin käänteisaikatoiminnolla. Koestuksen tarkoituksena oli tutkia, kuinka releen toimintakäyrät toimivat ja ovatko toimintakäyrät valmistajan lupaamissa arvoissa.

Kuvassa 13 esitellään VAMP 140 ylivirta- ja maasulkureleen lohkokaavio.

Liitännät:

- vaihevirrat IL1, IL2 ja IL3 (liittimet X1: 1 - 6)
- maasulkuvirta I_o (liittimet X1: 7 - 10)
- digitaalitulo (liittimet X2: 4- 5)
- apujännite (liittimet X1 11 - 12)
- laukaisureleet T1 ja T2 (liittimet X2: 19 - 20 ja 16 -17)
- hälytysreleet A1 - A3 (liittimet X2: 13 - 14, 11 - 12 ja 9 - 10)
- itsevalvontarele IF (liittimet X: X2: 7 - 8)
- valokaarisuoja (liittimet X4: 1 - 6)
- mittausarvolähetin (liittimet X2: 1 - 2). [9, s.39.]

Mittauksissa huomattiin, että apujännite 24 VDC ei käynnistänyt relettä. Apujännitettä jouduttiin nostamaan hiukan, jotta rele käynnistyisi. Rele toimi kuitenkin käynnistyttyään normaalisti 24 VDC apujännitteellä.



Kuva 13. Oikosulku- ja maasulkusuojaus kytkentä [9, s.28]

Kuvan 13 kytkentää käytettiin kääntesaikatoiminto relekoestuksessa.

Taulukossa 5 $\frac{I}{I >}$ kertoo, kuinka moninkertainen virransynty on nimellisvirrasta. NI (Normal Inverse), VI (Very Inverse), EI (Extremely Inverse) ja LTI (Long Time Inverse) ovat laukaisuaikoja. % on laukaisun virheprosentti.

Taulukko 5. laukaisumittauksia

I/I>	NI	NI	Virhe %	I/I>	VI	VI	Virhe %
1,50	1,719	1,749	1,7	1,50	2,700	2,797	3,6
2,01	0,996	1,006	1,0	2,01	1,337	1,377	3,0
3,01	0,628	0,624	-0,7	3,01	0,672	0,696	3,6
4,00	0,498	0,503	1,0	4,00	0,450	0,435	-3,3
5,00	0,428	0,421	-1,6	5,00	0,338	0,334	-1,0
10,00	0,297	0,281	-5,4	10,00	0,150	0,131	-12,7
I/I>	EI	EI	Virhe %	I/I>	LTI	LTI	Virhe %
1,50	6,400	6,631	3,6	1,50	24,000	24,643	2,7
2,01	2,631	2,709	2,9	2,01	11,881	12,140	2,2
3,01	0,993	1,028	3,6	3,01	5,970	6,099	2,2
4,00	0,533	0,548	2,8	4,00	4,000	4,077	1,9
5,00	0,333	0,347	4,1	5,00	3,000	3,057	1,9
10,00	0,081	0,086	6,4	10,00	1,333	1,356	1,7

Valmistajan lupaamat laukaisuajat voidaan katsoa manuaalin toimintakäyristä tai laskea kaavoilla 2 - 5:

$$t_{VI} = 13,5 \frac{k}{\left(\frac{I}{I>}\right)^{-1}} \quad (2)$$

$$t_{NI} = 0,14 \frac{k}{\left(\frac{I}{i>}\right)^{0,02} - 1} \quad (3)$$

$$t_{EI} = 80 \frac{k}{\left(\frac{I}{I>}\right)^2 - 1} \quad (4)$$

$$t_{LTI} = 120 \frac{k}{\left(\frac{I}{I>}\right)^{-1}} \quad (5)$$

jossa k on aikakerroin, jonka saa toimintakäyrästä. Mittauksissa aikakertoimena käytettiin 0,1 sekuntia.

$$t_{VI} = 13,5 \frac{k}{\left(\frac{I}{I >}\right)^{-1}} = 13,5 \frac{0,1s}{(1,5)^{-1}} = 2,7s$$

$$t_{NI} = 0,14 \frac{k}{\left(\frac{I}{i >}\right)^{0,02} - 1} = 0,14 \frac{0,1s}{(1,5)^{0,02} - 1} = 1,7s$$

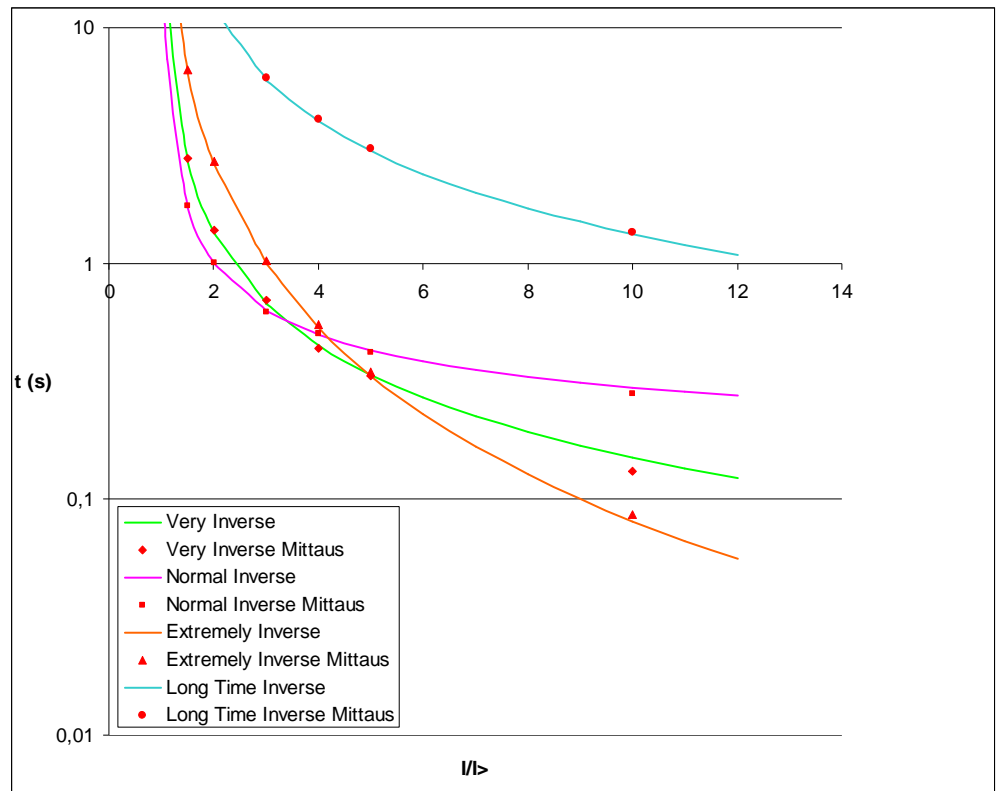
$$t_{EI} = 80 \frac{k}{\left(\frac{I}{I >}\right)^2 - 1} = 80 \frac{0,1s}{(1,5)^2 - 1} = 6,4s$$

$$t_{LII} = 120 \frac{k}{\left(\frac{I}{I >}\right)^{-1}} = 120 \frac{0,1s}{(1,5)^{-1}} = 24s$$

Virheprosentti lasketaan kaavalla 1 niin, että mitatun jännitteen paikalle vaihdetaan mitattu aika, ja asettelujännitteen paikalle vaihdetaan toimintakäyrästä tai kaavoista saatu toiminta-aika.

$$Virhe = \frac{t_m - t_{NI}}{t_{NI}} 100\% = \frac{2,797s - 2,7s}{2,7s} 100\% = 3,6\%$$

Taulukosta 5 voidaan päätellä, että mitatut tulokset ovat lähellä valmistajan lupaamia toiminta-arvoja. Valmistaja lupaa laukaisuajan viiveeksi $\pm 5\%$ toiminta-ajasta. Toiminta-aika suurilla virranylityksillä kasvoi suuremmaksi kuin valmistajan lupaama tarkkuus.



Kuva 14. Laukaisuaika virran kasvun funktiona

Kuvaajat kuvassa 14 ovat valmistajan lupaamia toimintakäyriä aikakertoimella 0,1 sekuntia. Pisteet kuvaajalla kertovat, mihin mitattu laukaisuaika on osunut toimintakäyrällä.

Kuvaajasta voidaan helposti havaita, kuinka käänteisaikatoiminto toimii. Toiminta-aika on sitä nopeampi, mitä suurempi on nimellisvirran ylitys.

Edellisistä mittauksista voidaan todeta, että tutkittava suojarеле on tämän toiminnon osalta vähintäänkin tyydyttävässä kunnossa ja suojaus toimii niin kuin valmistaja ilmoittaa sen toimivan.

6.3.2 Vinokuormitus

Vinokuormitussuojauksen tarkoituksena on tunnistaa verkon epäsymmetrinen kuormitus. Tässä relekoestuksessa oli tarkoituksena koestaa releen vinokuormitussuojaus.

Mittauksissa suojarелеeseen on asetettu vinokuormitusrajaksi 50 % yhden sekunnin vakioajalla ja 25 % viiden sekunnin vakioajalla.

Taulukko 6. Vinokuormitus mittauksia 50 % viive 1 s.

	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)	(ms)	Io (A)	(%)	Io (A)	(°)	(%)
Freja	0,00	0,99	0,99	998,00			594,0	180,0	100,0
VAMP	0,0	596,0	594,0	-0,2 %	594,0	98,8			
Freja	0,30	0,99	0,99	999,00			414,0	180,0	69,7
VAMP	178,0	596,0	594,0	-0,1 %	415,0	69,1			
Freja	0,49	0,99	0,99	1001,00			300,0	180,0	50,5
VAMP	294,0	596,0	594,0	0,1 %	300,0	50,0			
Freja	0,99	0,00	0,99	993,00			594,0	-60,0	100,0
VAMP	593,0	0,0	595,0	-0,7 %	592,5	98,8			
Freja	0,99	0,30	0,99	1009,00			414,0	-60,0	69,7
VAMP	593,0	180,0	595,0	-0,9 %	413,0	68,8			
Freja	0,99	0,49	0,99	1003,00			300,0	-60,0	50,5
VAMP	593,0	295,0	595,0	0,3 %	299,5	50,0			
Freja	0,99	0,99	0,00	1002,00			594,0	60,0	100,0
VAMP	593,0	593,0	0,0	0,2 %	594,0	99,0			
Freja	0,99	0,99	0,30	998,00			414,0	60,0	69,7
VAMP	593,0	593,0	181,0	-0,2 %	414,0	69,9			
Freja	0,99	0,99	0,49	1001,00			300,0	60,0	50,5
VAMP	593,0	593,0	295,0	0,1 %	300,0	50,0			

Taulukon 6 ja 7 mittauksissa oleva laukaisuajan virheprosentti lasketaan kaavalla 1, johon sijoitetaan mitattu aika sekä asettelu aika.

Mittaus suoritettiin niin, että kahden ensimmäisen mittauksen vinokuormat olivat selvästi sallittua suuremmat. Kolmas mittaus suoritettiin niin, että vino-kuormaa kasvatettiin laukaisuun asti.

Kolmivaiheverkossa epäsymmetrinen kuorma muodostuu nollavirraksi I_0 . Kuorman ollessa täysin symmetrinen on nollavirta nolla ampeeria.

Nollavirta voidaan laskea kaavalla 6:

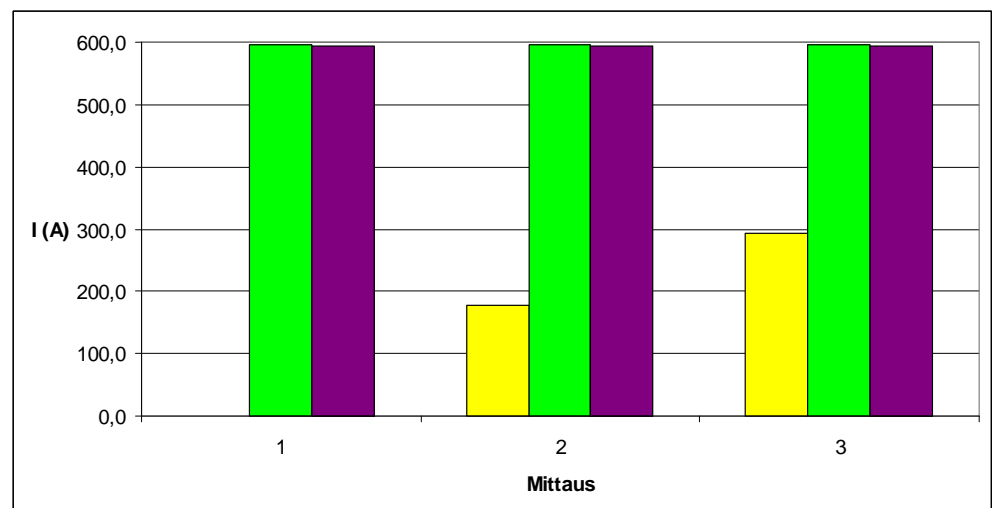
$$I_0 = IL1\angle 0^\circ + IL2\angle 120^\circ + IL3\angle 240^\circ \quad (6)$$

jossa kulma on vaiheen vaihekulma. [10, s.25.]

Taulukko 7. Vinokuormitus mittauksia 25 % viive 5 s.

	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)	(ms)	Io (A)	(%)	Io (A)	(°)	(%)
Freja	0,00	0,99	0,99	4998,00			594,0	180,0	100,0
VAMP	0,0	594,0	594,0	0,0 %	594,0	99,0			
Freja	0,30	0,99	0,99	4996,00			414,0	180,0	69,7
VAMP	178,0	594,0	594,0	-0,1 %	414,0	69,0			
Freja	0,74	0,99	0,99	4999,00			150,0	180,0	25,3
VAMP	443,0	594,0	594,0	0,0 %	150,0	25,0			
Freja	0,99	0,00	0,99	4985,00			594,0	-60,0	100,0
VAMP	593,0	0,0	593,0	-0,3 %	592,0	98,7			
Freja	0,90	0,30	0,99	4983,00			414,0	-60,0	69,7
VAMP	592,0	181,0	594,0	-0,3 %	412,5	68,8			
Freja	0,99	0,74	0,99	4987,00			150,0	-60,0	25,3
VAMP	593,0	443,0	594,0	-0,3 %	149,5	24,9			
Freja	0,99	0,99	0,00	4992,00			594,0	60,0	100,0
VAMP	593,0	595,0	0,0	-0,2 %	594,5	99,0			
Freja	0,99	0,99	0,30	4988,00			414,0	60,0	69,7
VAMP	594,0	595,0	179,0	-0,2 %	414,5	69,1			
Freja	0,99	0,99	0,74	4987,00			150,0	60,0	25,3
VAMP	592,0	595,0	444,0	-0,3 %	149,5	24,9			

Nollavirran suuruusprosentti lasketaan sijoittamalla laskettu nollavirta osoittajaan ja jakamalla tämä virtamuuntajan ensiövirta-arvolla.

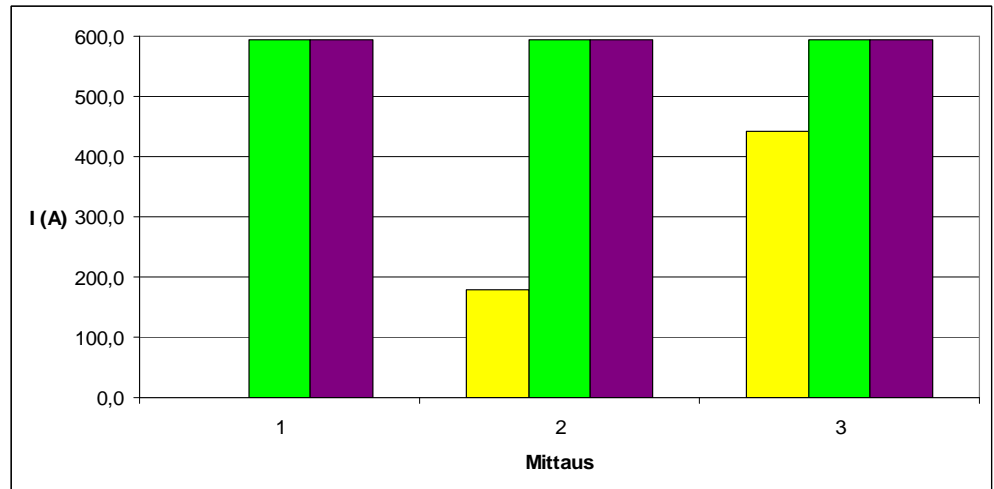


Kuva 15. Vinokuormitus 50 %

Kuvasta 15 voidaan havaita, kuinka vinokuormitus on muodostunut vaiheiden välille. Mittauksissa 1 ja 2 vinokuormitus on selvästi sallittua suurempi. Mittauksessa 3 vinokuormitus on lähellä asetteluarvoa 50 %.

Kuvasta 16 voidaan havaita, kuinka vinokuormituksen asetteluarvon muuttaminen 50 %:sta 25 %:iin muuttaa suurimman salliman vinokuormituksen yhteen neljännekseen.

Releen asetteluväli vinokuormitukselle voisi halutessa olla välillä 5 % - 70 %.



Kuva 16. Vinokuormitus 25 %

Valmistaja lupaa vinokuormituksen havahtumisarvoksi $\pm 3\%$ ja viiveen tarkkuudeksi $\pm 5\%$. Mittaustuloksista voidaan havaita, että valmistajan lupaamat toiminta-arvot pitävät paikkaansa ja näin ollen rele toimii tältä osin täysin moitteettomasti.

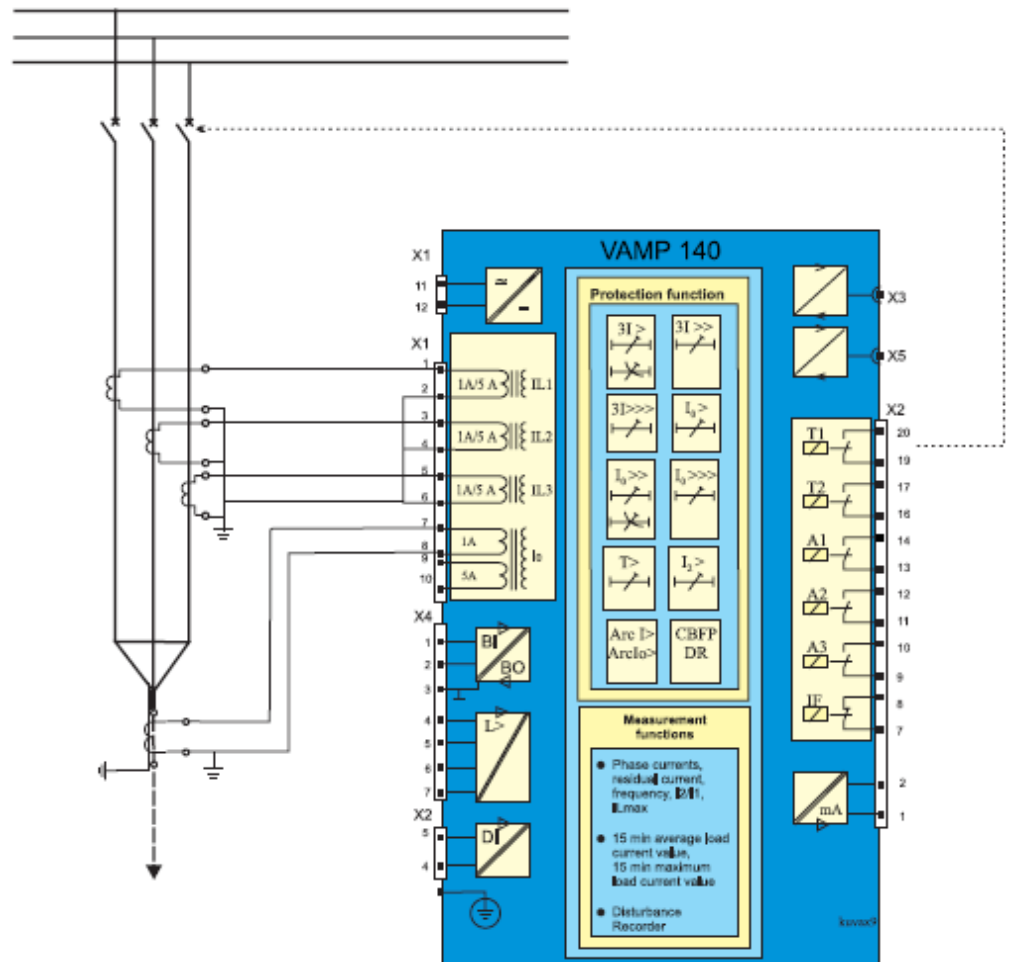
6.3.3 Maasulkusuoja

Maasulkusuojassa rele mittaa perustajajusta komponenttia I_0 , jolloin kolmannen harmonisen yliaallon vaimennus on vähintään 60 dB. Tämä mahdollistaa maasulkusuojan korkea tarkkuuden, joka ei reagoi harmonisiin yliaaltoihin. [9, s. 14.]

Taulukko 8. Maasulku mittaukset

	I_0 (A)	Laukaisu (ms)	Asettelu	
Freja	0,26	4997	5000	ms
Virhe			-0,1	%
VAMP	153	156	150	A
Virhe	2,0			%
Freja	0,51	1008	1000	ms
Virhe			0,8	%
VAMP	300,5	306	300	A
Virhe	1,8			%

Kuvan 17 kytkentää käytettiin maasulkusuojausrelekoestuksessa. Mittalaitteisto kytkettiin releeseen yhden ampeerin maasulkukäämiin.



Kuva 17. Maasulkusuojauskytkentä [9. s.29]

Ensimmäisessä mittauksessa releeseen aseteltiin toiminta-arvoksi 25 %, jolloin rele toimii 150 ampeerin maasulkuvirralla. Vakioaikaviiveeksi aseteltiin 5 sekuntia (taulukko 8).

Toisessa mittauksessa releeseen aseteltiin toiminta-arvoksi 50 %, jolloin rele toimii 300 ampeerin maasulkuvirralla. Vakioaikaviiveeksi aseteltiin 1 sekunti (taulukko 8).

Virheprosentti on laskettu kaavalla 1, johon sijoitetaan mitattu arvo ja asetettu arvo.

Valmistaja lupaa maasulkusuojauksen havahtumisarvoksi $\pm 2 \%$ ja viiveen tarkkuudeksi $\pm 1 \%$. Mittauksista voidaan havaita, että valmistajan lupaamat

toiminta-arvot pitävät paikkaansa ja näin ollen rele toimii tältä osin niin kuin pitääkin.

6.3.4 Kolmivaiheinen ylivirtasuoja

Kolmivaiheinen ylivirtasuoja koostuu kolmesta erikseen aseteltavista ylivirtaportaasta: I>, I>> ja I>>>. Ylivirtasuojan suojaus perustuu korkeimpaan mitattuun vaihevirta-arvoon. [9 s.7.]

Kolmivaiheinen ylivirtasuojamittauksissa koestettiin releen ylivirtaportaat vakioaikatoiminnolla.

Taulukko 9. Ylivirtamittauksia I>

I>	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)	(ms)	Io (A)	(%)	Io (A)	(°)	(%)
Freja	1,3	1,0	1,0	5006,0			192,0	0,0	32,0
VAMP	781,0	595,0	593,0	(0,1 %)	187,5	31,3			
Freja	1,9	1,0	1,0	4994,0			516,0	0,0	86,0
VAMP	1100,0	594,0	592,0		508,0	84,6			
Freja	2,3	1,0	1,0	5003,0			780,0	0,0	130,0
VAMP	1365,0	595,0	593,0		770,5	128,5			
Freja	1,0	1,3	1,0	5037,0			186,0	120,0	31,0
VAMP	592,0	780,0	594,0	(0,0 %)	187,0	31,2			
Freja	1,0	1,9	1,0	5000,0			516,0	120,0	86,0
VAMP	592,0	1105,0	592,0		513,5	85,6			
Freja	1,0	2,3	1,0	4998,0			780,0	120,0	130,0
VAMP	593,0	1370,0	593,0		776,0	129,5			
Freja	1,0	1,0	1,3	5008,0			192,0	-120,0	32,0
VAMP	593,0	595,0	781,0	(0,1 %)	190,0	31,6			
Freja	1,0	1,0	1,9	4986,0			516,0	-120,0	86,0
VAMP	593,0	595,0	1100,0		509,0	84,9			
Freja	1,0	1,0	2,3	5004,0			780,0	-120,0	130,0
VAMP	591,0	596,0	1370,0		773,5	129,6			
Freja	2,3	2,3	1,0	4993,0			780,0	60,0	130,0
VAMP	1365,0	1370,0	593,0		776,0	129,5			
Freja	2,3	1,0	2,3	4998,0			780,0	-60,0	130,0
VAMP	1365,0	596,0	1370,0		772,0	128,5			
Freja	1,0	2,3	2,3	4990,0			780,0	180,0	130,0
VAMP	592,0	1370,0	1370,0		776,0	129,5			
Freja	2,3	2,3	2,3	4990,0			0,0	0,0	0,0
VAMP	1365,0	1370,0	1365,0		4,8	0,8			

Taulukossa 9 laukaisuvirta on merkitty tummennuksella. Laukaisun näyttövirhe on merkitty laukaisusarakkeeseen suluissa.

Ylivirtaportaan I> toiminta-arvoksi aseteltiin 130 %, jolloin rele toimii 780 ampeerin ylivirralla. Vakioaikaviiveeksi aseteltiin 5 sekuntia.

Ylivirtaportaan I>> toiminta-arvoksi aseteltiin 250 %, jolloin rele toimii 1500 ampeerin ylivirralla. Vakioaikaviiveeksi aseteltiin 0,15 sekuntia.

Ylivirtaportaan I>>> toiminta-arvoksi aseteltiin 350 %, jolloin rele toimii 2100 ampeerin ylivirralla. Vakioaikaviiveeksi aseteltiin 0,05 sekuntia.

Näyttövirheprosentti on laskettu kaavalla 1, johon sijoitetaan mitattu arvo ja asetettu arvo.

Nollavirta ja nollavirran suuruusprosentti on laskettu samalla tavalla kuin vinokuormitusmittauksissa.

Toiminta-ajasta ja laukaisuvirrasta voidaan päätellä, että suojaus on toiminut virtaportalla I>, koska vakioaikaviive on noin 5 sekuntia ja laukaisuvirta on $780 \text{ A} \leq I_L \leq 1500 \text{ A}$.

Valmistaja lupaa ylivirtaportaan I> havahtumistarkkuudeksi $\pm 2 \%$ ja viiveen tarkkuudeksi $\pm 1 \%$ tai $\pm 30 \text{ ms}$. Mittauksista voidaan havaita, että valmistajan lupaamat toiminta-arvot pitävät paikkaansa ja näin ollen rele toimii tältä osin täysin moitteettomasti.

Taulukossa 10 on kahden korkeamman ylivirtaportaan ylivirtamittauksia.

Nollavirta ja nollavirran suuruusprosentti on laskettu samalla tavalla kuin vinokuormitusmittauksissa.

Toiminta-ajasta ja laukaisuvirrasta voidaan päätellä, millä ylivirtaportalla suojaus on toiminut. Kun laukaisuvirta on välillä:

- $1500 \text{ A} \leq I_L \leq 2100 \text{ A}$ on ylivirtaporras I>>
- $I_L \geq 2100 \text{ A}$ on ylivirtaporras I>>>

Taulukko 10. Ylivirtamittauksia I>> ja I>>>

I>>	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)	(ms)	Io (A)	(%)	Io (A)	(°)	(%)
Freja	3,2	1,0	1,0	150,0			1320,0	0,0	220,0
VAMP	1895,0	593,0	593,0		1300,0	217,0			
Freja	1,0	3,2	1,0	158,0			1320,0	120,0	220,0
VAMP	593,0	1905,0	592,0		1310,0	218,5			
Freja	1,0	1,0	3,2	147,0			1320,0	-120,0	220,0
VAMP	592,0	596,0	1900,0		1305,0	218,0			
Freja	1,0	3,2	3,2	151,0			1320,0	180,0	220,0
VAMP	593,0	1905,0	1905,0		1310,0	218,5			
Freja	3,2	1,0	3,2	152,0			1320,0	-60,0	220,0
VAMP	1895,0	595,0	1900,0		1305,0	217,5			
Freja	3,2	3,2	1,0	147,0			1320,0	60,0	220,0
VAMP	1900,0	1900,0	593,0		1310,0	218,0			
Freja	3,2	3,2	3,2	154,0			0,0	0,0	0,0
VAMP	1900,0	1900,0	1900,0		3,0	0,4			
I>>>	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)	(ms)	Io (A)	(%)	Io (A)	(°)	(%)
Freja	4,0	1,0	1,0	54,0			1800,0	0,0	300,0
VAMP	2370,0	593,0	594,0		1775,0	296,0			
Freja	1,0	4,0	1,0	61,0			1800,0	120,0	300,0
VAMP	92,0	2380,0	592,0		1785,0	298,0			
Freja	1,0	1,0	4,0	49,0			1800,0	-120,0	300,0
VAMP	590,0	597,0	2375,0		1780,0	296,5			
Freja	4,0	4,0	1,0	52,0			1800,0	60,0	300,0
VAMP	2370,0	2380,0	593,0		1785,0	297,5			
Freja	4,0	1,0	4,0	55,0			1800,0	-60,0	300,0
VAMP	2370,0	594,0	2375,0		1775,0	296,0			
Freja	1,0	4,0	4,0	47,0			1800,0	180,0	300,0
VAMP	591,0	2380,0	2370,0		1785,0	297,0			
Freja	4,0	4,0	4,0	50,0			0,0	0,0	0,0
VAMP	2370,0	2380,0	2375,0		8,7	1,5			

Valmistaja lupaa ylivirtaportaiden I>> ja I>>> havahtumistarkkuudeksi $\pm 2\%$ ja viiveen tarkkuudeksi $\pm 1\%$ tai ± 25 ms. Mittauksista voidaan havaita, että valmistajan lupaamat toiminta-arvot pitävät paikkaansa ja näin ollen rele toimii tältä osin täysin virheettömästi.

7 PÄÄTELMÄT

Tässä insinööriyössä esiteltiin Freja RTS21 -relekoestuslaitteisto, jolla voidaan koestaa suojareleitä. Työssä esiteltiin kahden erillisen suojareleen relekoestus koestustuloksineen ja päätelmineen. Näitä relekoestustilanteita voidaan mallintaa relekoestuksessa.

Työssä oli tavoitteena tutustua Helsingin ammattikorkeakoulu Metropolian Tekniikan ja liikenteen laboratoriossa olevaan relekoestuslaitteistoon ja tutkia, kuinka kyseessä olevaa laitteistoa voidaan käyttää hyötytarkoituksessa.

Relekoestuslaitteisto soveltuu hyvin opetuskäyttöön. Relekoestuslaitteistoa voidaan käyttää esiteltäessä suojareleiden relekoestusta tai relekoestuksesta voidaan tehdä oma laboratoriotyö. Laboratoriotyössä on kuitenkin huomioitava muun muassa suojareleen nimellisärvot sekä suojareleen terminen virtakestoisuus.

Relekoestuslaitteisto kaupallisissa koestuksissa ei todennäköisesti ole kannattavaa relekoestuslaitteiston suuren koon vuoksi. Lisäksi vanhentunut ja rajoittunut mittaustekniikka saattaa rajoittaa uusien monipuolisten yhdistelmäsuojareleiden relekoestusta.

Tulevaisuudessa relekoestuslaitteistoa voidaan kehittää vaihtamalla kannettava tietokone uuteen sekä hankkimalla mittalaitteeseen kuuluva monikaapelijohdin. Tutkittavaa on myös muissa relekoestusohjelmissa, automaattisessa relekoestuksessa sekä itse ohjelmoidussa relekoestusohjelmassa, jota ei saatu toimimaan tietokoneen kaatumisen vuoksi.

VIITELUETTELO

- [1] Mörsky, Jorma, *Relesuojaustekniikka*. Hämeenlinna: Otatieto. 1993.
- [2] Treufeldt, Ülo, *Oikosulkuvirrat ja relesuojauksen mitoitus*. Tallinna: TTY sähkövoimatekniikan laitos 2009.
- [3] Koskinen, Mikko, *Pohjoismaisen verkon suunnittelu* [verkkodokumentti Fingrid Oy, viitattu 17.4.2009].

Saatavissa: https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/s-18.3201/luennot/pohjoismaisen_verkon_suunnittelu.pdf
- [4] Pienjännitesähköasennukset ja sähköturvallisuus. 1. painos 2007-10. Helsinki: SFS
- [5] Monni, Markku. Sähkölaitosasennukset. 5. korjattu painos. Helsinki: Edita. 1996
- [6] Tiesmäki, Ville. Fingrid Oy. *Re: Relekoestus* [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Jarkko Kärhä. Lähetetty 1.4.2009 [viitattu 4.4.2009].
- [7] Koestaja Jukka Leppänen haastateltu 25.3.2009. Infratek Finland Oy.
- [8] Programma Electric AB, *User's Guide*. Täby: 1993
- [9] VAMP Ltd, *Käyttö- ja konfigurointiohje* [verkkodokumentti, viitattu 29.4.2009].

Saatavissa: <http://www.vamp.fi/english/support/documentation/VM140FI.pdf>
- [10] Seppänen, Tiihonen, Kervinen, Korpela, Mustonen, Haavisto, Soininen Varho, *Maol taulukot*. 1.-9. uudistettu painos Keuruu: Otava. 1998.