



Niklas Rasi

ABB REX640 -suojareleen testaus ja konfigurointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

2.4.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Niklas Rasi
Otsikko: ABB REX640 -suojareleen testaus ja konfigurointi
Sivumäärä: 35 sivua
Aika: 2.4.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Lehtori Tuomo Heikkinen
Testausinsinööri Lauri Kauppala

Työn tarkoituksena oli tutustua ABB REX640 -kennotermiinalin ominaisuuksiin ja selvittää sen soveltuvuus erilaisiin sähkönjakelun kohteisiin Auroran verkossa. Lisäksi työssä oli tarkoitus tehdä valmiita relekongfiguraatioita REX640-suojareleelle.

Työssä esitellään REX640-releen ominaisuuksia ja kokoonpanovaihtoehtoja erilaisiin käyttötarkoituksiin ja pohditaan mahdollisuuksia keskijänniteverkon suojauksien kehittymiseen. Lisäksi tarkastellaan REX640-releen etuja verrattuna nykyiseen laitteistoon.

Tämän työn seurauksena REX640 valittiin käyttöön tulevilla projekteilla keski- ja pienjänniteverkon suojaukseen ja kojeistonhallintaan. Lisäksi työssä valmistui tyyppi-kongfiguraatioita, joita on tarkoitus käyttää REX640-suojareleen kongfiguraation pohjana uusissa muuntamoprojekteissa.

Työn aikana ei päästy kokeilemaan kaikkea, mitä oli alun perin tarkoitus. Kongfiguraatioita pitää vielä päivittää katkeilevan maasulkusuojauksen osalta. Kaukokäyttöjärjestelmän testaukset jäivät myös puutteelliseksi ja vaativat lisää selvitystä.

Avainsanat: REX640, REF630, PCM600, suojarele, kennotermiinali

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Niklas Rasi
Title: Testing and Configuration of ABB REX640 Protection Relay
Number of Pages: 35 pages
Date: 2 April 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
Lauri Kauppala, Commissioning Engineer

The purpose of this thesis work was to familiarize with ABB REX640 protection relay and its features, and to find out if it would be suitable for use in different applications in Aurora's electrical grid. Another objective of the work was to create complete relay configurations for the REX640 protection relay, which could be used in forthcoming substation projects.

This thesis presents features of REX640 protection relay and hardware configuration options for various purposes, and considers the possibilities to use REX640 for development of medium voltage grid protection, as well as the advantages of the REX640 relay compared to the current equipment.

As a result of this thesis work, REX640 relay was chosen for use in future projects for low- and medium voltage applications. Additionally, REX640 model configurations which are intended to be used as a basis in the future projects were produced.

During the thesis work, it was impossible to test everything that was originally planned. Relay configurations still need updating regarding the intermittent earth fault protection, and testing of REX640 connection and signals into Aurora's SCADA-system was also unfinished and needs more investigation.

Keywords: REX640, REF630, PCM600, Protection Relay

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön tarkoitus	1
1.2	Aurora Kilpilahti Oy	2
2	Kilpilahden verkon suojaus	2
2.1	Suurjänniteverkko	4
2.2	Keski- ja pienjänniteverkko	5
3	ABB REX640 -suojarele	5
3.1	Esittely	5
3.2	Releen korttivalinnat	7
3.3	Applikaatiopaketit	11
4	REX640-suojareleen käyttö Auroran verkossa	13
4.1	Auroran pienjännitekojeiston hallinta	13
4.2	REX640-releen kokoonpanon valinta	15
4.3	REX640-releen konfiguraatiot	16
5	REX640-suojareleen testaus	21
6	Keskijänniteverkon suojauksien kehitys	23
6.1	Valokaarisuojauksen parantaminen	23
6.2	REX640-suojareleen valokaaritestaus	26
6.2.1	Toiminta-ajat	27
6.2.2	TVOC-2-valokaarisuojan laukaisuaajat	29
6.2.3	Vertailu	29
6.3	Differentiaalisuojauksen käyttö muuntamoiden välisissä syötöissä keskijänniteverkossa	31
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34

Lyhenteet

- ASV: Automaattinen syötönvaihto. Vaihtaa jännitteen kadotessa kojeiston varasyötön perään.
- BIO: *Binary input / output*. Binääritulot ja -lähdöt.
- FBD: *Function block diagram*. Toimilohko-ohjelmointi, graafinen ohjelmointikieli.
- GOOSE: *Generic object oriented substation event*. Kommunikointiprotokolla ala-aseverkossa.
- HMI: *Human machine interface*. Laitteen osa, joka vastaanottaa ihmisen antamat komennot ja välittää ne järjestelmään.
- I/O: *Input / output*. Tulot ja lähdöt.
- KED: *Kilpilahti Electricity Distribution*. Aurora Kilpilahti Oy:n aikaisempi nimi.
- LHMI: *Local human machine interface*. Paikallinen HMI.
- PO: *Power output*. Ohjauslähtö, esimerkiksi katkaisijan kelojen ohjaamiseen.
- PODP: *Double-pole power output*. Kaksinapainen ohjauslähtö.
- POSP: *Single-pole power output*. Yksinäpainen ohjauslähtö.
- RTD: *Resistance temperature detection*. RTD-lämpötila-antureita käytetään lämpötilan mittaamiseen.
- SHMI: *Station human machine interface*. Aseman laajuinen HMI.

SO: *Signal output.* Signaalilähtö.

SPO: *Static power output.* Puolijohdeohjauslähtö.

SSO: *Static signal output.* Puolijohdesignaali­lähtö.

TCS: *Trip circuit supervision.* Laukaisupiirin valvonta, joka antaa hälytyksen piirin ollessa auki.

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tarkoitus

Työn pääasiallisena tarkoituksena on tutustua ABB REX640 -kennotermiinalin ominaisuuksiin ja selvittää, kuinka se toimisi erilaisissa käyttökohteissa Kilpilahden alueen sähköjakelussa. Tarkoituksena on myös suunnitella ja ohjelmoida erilaisia mallirelekonfiguraatiota, joita voidaan käyttää tulevaisuudessa muuntamoprojekteissa pohjana.

Viimeisen kymmenen vuoden ajan alueen pien- ja keskijänniteverkkojen suojaukseen ja kojeistonhallintaan on uudis- ja saneerauskohteissa käytetty pääosin ABB REF630 -kennotermiinalia. REF630-releellä alkaa olla ikää noin 15 vuotta. Laitetoimittaja on ilmoittanut, että REF630-releen tuotekehitys on loppumassa, mutta tuotetuki tulee kuitenkin todennäköisesti jatkumaan vielä pitkään.

Auroralla ryhdyttiin etukäteen miettimään mahdollista seuraavaa suojausvaihtoehtoa, ja REX640 vaikutti lupaavimmalta vaihtoehdolta, joka voisi täyttää kaikki asetetut kriteerit, sillä ABB:n suojausreleet ovat tutuimpia Auroran henkilökunnalle. REX640 konfiguroidaan samalla ABB:n PCM600-ohjelmalla kuin REF630, mikä helpottaisi uuteen releeseen siirtymistä ja tulevaa kunnossapitoa. Lisäksi työssä tutkittiin, olisiko REX640-releellä mahdollista rakentaa nykyisen kaltainen järjestelmä kustannustehokkaammin.

Selvitystä varten Aurora hankki kaksi REX640-suojausrelettä eroavilla kokoonpanoilla. Työtä varten releet kytkettiin toimistolla testilaboratorioon niin, että releiden toimintoja ja konfiguraatioita on mahdollista kokeilla ja hioa kokonaisuus halutunlaiseksi. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, olisiko REX640-releen lisäominaisuuksia mahdollista hyödyntää Auroran keskijänniteverkon suojauksessa. Esimerkiksi releen erovirta- ja valokaarisuojausta voisi käyttää suojauksen selektiivisyyden parantamiseen. REX640-rele on myös tarkoitettu liittämään Auroralla nykyisin käytössä olevaan Netcontrolin kaukokäyttöjärjestelmään ja testata sen toiminnallisuus.

1.2 Aurora Kilpilahti Oy

Aurora Kilpilahti Oy omistaa ja operoi Kilpilahden teollisuusalueen sähköjakeluverkkoa. Jakeluverkkoon kuuluu suur-, keski- ja pienjännitejakelua 110 kV:n tasosta aina 400 V:iin saakka. Aurora myös omistaa noin 100 muuntamorakennusta Nesteen jalostamon alueelta. Aurora Kilpilahdella on suljetun sähköverkon toimilupa, ja Energiavirasto valvoo toimintaa. (1.)

Kilpilahden sähköverkko on alun perin ollut Neste Oyj:n omistuksessa, mutta vuonna 2014 uudistuneen sähkömarkkinalain velvoittamana Neste yhtiöitti omistamansa sähköjakelutoiminnan Kilpilahden Sähkösiirto Oy:ksi. Joulukuussa 2014 Neste päätti myydä sähköjakelutoiminnan sijoitusyhtiö InfraVialle, jolloin syntyi KED Oy (Kilpilahti Electricity Distribution) eli nykyinen Aurora Kilpilahti Oy. (1.)

Aurora Kilpilahti on osa Aurora Infrastructure -konsernia, johon kuuluu tällä hetkellä myös Outokummun terästehtaan sähköverkko Torniossa. Tornion verkkoa operoi Aurora Tornio Oy.

Auroralla työskentelee Kilpilahdessa 11 työntekijää. Yhteensä koko konsernissa työskentelee noin 30 henkilöä.

Aurora Kilpilahden verkon kautta siirrettiin vuonna 2022 1,8 TWh sähköä, joka oli noin 2,2 % Suomen kokonaiskulutuksesta (2). Isoimmat asiakkaat Kilpilahdessa ovat Neste Oyj, Borealis Polymers Oy ja Oy Linde Gas Ab.

2 Kilpilahden verkon suojaus

Auroralla on Kilpilahdessa käytössä lähes tuhat suojaletettä suur-, keski- ja pienjänniteverkon suojauksessa. Suojareleistä 93 % on ABB:n tai ABB:n edeltäjien ASEA:n ja Strömbergin valmistamia. Taulukossa 1 näkyy Auroran suojaletekanta.

Taulukko 1. Auroran käytössä olevat suojarieleet.

Valmistaja	Malli	Tyyppi	Määrä
ABB	RE500 sarja	Kennotermiinaali	283
ABB	Relion (6XX) sarja	Kennotermiinaali	446
ABB	SPACOM sarja	Numeerinen rele	88
Siemens	SIPROTEC 5	Kennotermiinaali	65
Strömberg	SPACOM sarja	Numeerinen rele	25
Strömberg	J sarja	Staattinen rele	41
		Yhteensä	948

Pääosin projekteissa kojeistot rakennetaan käyttäen ABB:n valmistamia releitä. Aurora Kilpilahti Oy:n sisällä on osaamista kyseisiin releisiin niin operointi- kuin koestushenkilöstöllä. ABB:n valmistamien kennotermiinaalien ominaisuudet ja muokattavuus vastaavat Auroran asettamia tarpeita kennotermiinaalien toiminnalle.

Viime vuosien aikana Kilpilahden sähköverkkoa on uusittu paljon Auroran toimesta. Tavoitteena olisikin päästä eroon turvattomista kosketussuojaamattomista kojeistoista. Suojareleitä pyritään myös uusimaan aktiivisesti, jotta suojariekanta pysyy riittävän tuoreena, toimintakuntoisena ja varaosasaatavuus pysyy hyvänä.

Auroran vanhimmat käytössä olevat suojarieleet ovat Strömbergin ja ABB:n valmistamia staattisia suojarieleitä. Staattisten releiden huonoin puoli on itsevalvonnan puuttuminen, mikä mahdollistaa sen, että rele voi olla hajonnut ja asia tulee ilmi vasta määräaikaikoestuksien yhteydessä.

Auroran sähköverkon asiakkaiden kuormat ovat hyvin kriittisiä ja jopa lyhyestä sähkökatkosta voi seurata iso prosessihäiriö ja mahdollinen vaaratilanne. Sähkökatko voi aiheuttaa rahallisesti myös isot tappiot. Lähes aina alueen

sähkönjakelu on rakennettu redundanttiseksi, jolloin tulevat syötöt, muuntajat ja kojeistot on kahdennettu. Keski- ja pienjännitteellä on käytössä syötönvaihtoja, jotka sähkökatkon sattuessa vaihtavat automaattisesti varasyötölle. Syötönvaihtojen ohjauslogiikat on nykyään toteutettu kennoterminaaleilla.

2.1 Suurjänniteverkko

Kilpilahden alueella on seitsemän 110 kV:n kytkinlaitosta, kolme näistä on SF6-kaasueristeisiä sisäkytkinlaitoksia ja neljä ulkokytkinlaitosta. 110 kV:n verkko on kytketty kahdeksi renkaaksi. Kilpilahden alueen verkko liittyy kantaverkkoon kolmen 110 kV:n yhteyden kautta. Alueen tehontarve on keskimäärin 240 MW, ja jokainen yhteyksistä pystyy tarvittaessa yksin syöttämään tämän tehon. Alueella on myös voimalaitoksia, jotka tuottavat osan tarvittavasta sähkötehosta. 110 kV:n verkko syöttää 18 päämuuntajan kautta alueen 10 kV:n verkkoa. Päämuuntajat ovat kooltaan 25–63 MVA. (3, s. 3.)

Kilpilahden verkkoa syöttävissä kantaverkon yhteyksissä on käytössä distanssi-suojaus. Varasuojana käytetään differentiaalireleitä ja ylivirtasuojauksia. Lisäksi johdot on suojattu herkällä suunnatulla maasulkusuojauksella. Kaikilla kolmella johdolla on lisäksi käytössä aikajälleenkytkentä ja tahdissaolovalvonta. (3, s. 4–5.)

Asemat ja asemien väliset johdot on pääosin suojattu käyttäen differentiaalireleitä pää- ja varasuojana. Lisäksi herkkää suunnattua maasulkusuojauksia käytetään asemien välisillä johdoilla. Linjoilla, jotka on toteutettu suurjännitekaapeleilla, on käytössä ylikuormitussuojaus. (3, s. 7.)

Päämuuntajat on suojattu käyttäen differentiaalireleitä, ylivirta- ja maasulkusuojauksia. Lisäksi suojina ovat muuntajien omat mekaaniset suojat, kuten kaasurele, lämpömittarit, ylipaineventtiilit. (3, s. 9.)

2.2 Keski- ja pienjänniteverkko

Alueen keskijännitejakelu tapahtuu pääosin 10 kV:n jännitteellä, mutta myös 3 kV:n jännite on jonkin verran käytössä. Keskijänniteverkko on täysin maakaapeloitu. Keskijänniteverkon muuntajat ja johdot on suojattu ylivirta- ja maasulkusuojilla. Lisäksi keskijännitekojeistoissa on käytössä valokaarisuojaus.

Päämuuntajien tähtipisteet on maadoitettu 120 Ω :in maadoitusvastuksen kautta. Maadoitusvastus rajoittaa maasulkuvirran 50 A:iin. Vastuksen takia maasulkusuojauksessa voidaan käyttää resistiivistä virtaa. Jos maasulkuvika on aktiivinen eikä lähtökentän maasulkusuojaus pysty erottamaan viallista lähtöä tai jos maasulku on kojeiston sisällä, laukaistaan tähtipistekentän katkaisija ja verkko muuttuu maasta erotetuksi. Tässä tapauksessa maasulkuvirta muuttuu resistiivisestä kapasitiiviseksi. (3, s. 10.)

Pienjänniteverkon suojaukset on toteutettu sulakkeilla ja katkaisijoihin integroiduilla suojarelleillä. Pienjännitteellä kojeistoihin rakennetaan lisäksi valokaarisuojaus. Kennoterminaaleja käytetään pienjännitteellä ainoastaan kojeiston ohjaukseen ja valvontaan.

3 ABB REX640 -suojarelle

3.1 Esittely

REX640-suojarelle on ABB:n valmistama modulaarinen ja täysin asiakkaan omien tarpeiden mukaan räätälöitävissä oleva kennoterminaali. Releessä on seitsemän korttipaikkaa A–F, joihin on mahdollista määritellä erilaisia mittaus-, binääri-I/O-, poweri- ja väyläkortteja tarpeen mukaan. Lisäksi releeseen on mahdollista saada kortti valokaarisuojausta varten. Kuvassa 1 näkyy REX640-releen modulaarinen rakenne. Tilattaessa valitaan myös ohjelmistopaketit, joita releeseen halutaan. Paketit sisältävät erilaisia suojausfunktioita sähköverkon ja sen erilaisten laitteiden suojaukseen. Rele sisältää vakiona

perussuojaustoiminnallisuuden lähdön suojaukseen. Suojareleen kokoonpanoa ja ohjelmistoa on mahdollista muokata myös jälkepäin. (4, s. 3–4.)



Kuva 1. REX640-suojarele (4).

Releeseen saa erillisen kosketusnäytön. Näyttövaihtoehtoja on kaksi, toinen on tarkoitettu yhden releen ohjaukseen (LHMI) ja toiseen pystyy liittämään 20 REX640-relettä (SHMI), jolloin on mahdollista ohjata useampaa suojarelettä. Relettä pystyy myös käyttämään ilman näyttöä. (5.)

REX640-suojarele on mahdollista liittää kaukokäyttöjärjestelmiin erilaisilla kommunikointiprotokollilla, kuten IEC 61850, Modbus, DNP3, IEC 103 ja IEC 104. Kommunikointiprotokolla valitaan relettä tilattaessa. (6.)

Rele konfiguroidaan ABB:n PCM600-ohjelmalla. Konfigurointi perustuu toimilohko-ohjelmointiin (FBD), jossa määritellään kaikki releen binääri- ja analogiatulot sekä -lähdet ja releen toimintalogiikat. Lisäksi ohjelmassa on erilliset työkalut esimerkiksi näytön grafiikan, tapahtuma- ja hälytyslistojen, suojaus- ja väyläasetusten muuttamiseen.

3.2 Releen korttivalinnat

Releen kokoonpano voidaan määritellä ABB:n verkkosivuilla olevalla Product configurator -ohjelmalla. Releeseen täytyy valita vähintään yksi jännitelähde-, mittaus-, kommunikointi- ja I/O-kortti. C-, D- ja E-korttipaikat ovat vapaasti täytettävissä joko mittaus- tai I/O-korteilla. (6.)

Releeseen on mahdollista valita lakatut piirilevyt. Lakka estää piirilevyn syöpmistä, mistä on hyötyä vaativissa olosuhteissa, esimerkiksi laivaympäristöissä. (6.)

Suojareleeseen valitaan kommunikointimoduuli kuvassa 2 näkyvistä viidestä vaihtoehdosta.

Communication module

- COM1** COM: RJ45(LHMI) + 3xRJ45 + SFP 100M LC rack
- COM2** COM: RJ45(LHMI) + 2xLC + RJ45 + SFP 100M LC rack
- COM3** COM: RJ45(LHMI) + 3xLC + SFP 100M LC rack
- COM4** COM: RJ45(LHMI) + 2xRJ45 + SFP 100M LC rack + RS485/IRIG-B + St
- COM5** COM: RJ45(LHMI) + 2xLC + SFP 100M LC rack + RS485/IRIG-B + St

Kuva 2. REX640-releen kommunikointikorttivaihtoehdot (6).

Kaikissa kommunikointimoduuleissa on RJ45-portti suojareleeseen kosketusnäyttöä varten. Erona korteissa on eri määrät RJ45-portteja ja LC-kuituportteja. Saatavana on myös kortti, joka mahdollistaa RS-485-sarjaliikenneväylän kytke-
misen releeseen. Jokaisesta kortista löytyy myös paikka SFP LC -kuituporttimoduulille, joka on erikseen tilattava lisävaruste. Kuituporttimoduulin saa tilattua

erilaisilla valokuituliitinvaihtoehdoilla ja joko yksi- tai monimuotokuidulle sopivana. Tähän kuituporttiin kytketään kahden releen välinen suojauskuitu. Kommunikointikorttiin saa myös valinnaisena vaihtoehtona valokaarikortin, joka sisältää neljä kappaletta valokaarianturin paikkoja. (7.)

Releeseen on valittavissa kahta erilaista BIO-moduulia (binary input / output). BIO1-kortilla olevat binäärilähdöt, joita on yhteensä 16 kappaletta, ovat yksinapaisia SO-lähtöjä (signal output). Nämä on tarkoitettu pienikuormaisten laitteiden, kuten apureleiden tai ledien, ohjaamiseen. (7, s. 166.)

BIO2-kortilla on kahdeksan kappaletta SPO-lähtöjä (static power output). Nämä on tarkoitettu isompikuormaisten laitteiden, kuten katkaisijan ohjauskelan tai laukaisureleiden ohjaukseen. SPO-lähdöt ovat noin 5 ms nopeampia kuin fyysisillä koskettimilla varustetut PO-lähdöt (power output). Kaksi kortin lähtöä on varustettu laukaisupiirinvalvonnalla. Laukaisupiirinvalvontalähdöissä on vakiovirtalähde, joka tuottaa pienen virran laukaisupiirin valvontaa varten, ja suojarelvalvoo tätä virtaa koskettimiin rakennetun TCS-tulon kautta. Laukaisupiirinvalvonta nimensä mukaisesti hälyttää, jos katkaisijan laukaisukelalle menevä piiri katkeaa. (7, s. 165.)

Releeseen on saatavilla RTD-kortteja (resistance temperature detection) lämpötilamittauksia varten. Korttiin voi kytkeä RTD-lämpötila-antureita. Korttivaihtoehdot näkyvät kuvassa 3. RTD1-kortissa on 10 RTD-tuloa ja kaksi kanavaa, jotka ovat ohjelmoitavissa joko mittaustuloksi tai -lähdöksi. RTD2-kortti sisältää kolme RTD-tuloa, kuusi mittaustuloa tai -lähtöä ja 12 binäärituloa. (6.)

RTD module Optional

<input type="checkbox"/>	1x RTD1	RTD: 10RTD + 2mA (in or out)
<input type="checkbox"/>	2x RTD1	RTD: 10RTD + 2mA (in or out)
<input type="checkbox"/>	1x RTD2	RTD: 3RTD + 6mA (in or out) + 12 BI
<input type="checkbox"/>	2x RTD2	RTD: 3RTD + 6mA (in or out) + 12 BI

Kuva 3. RTD-moduulin valinta (6).

Suojareleeseen on saatavilla neljää erilaista analogiakorttia, jotka näkyvät kuvassa 4. AIM1-kortilla on neljä yhden tai viiden A:n toisioille sopivia virtamuuntajatuloloja ja yksi 200 mA:n tai yhden A:n kaapelivirtamuuntajalle tarkoitettu tulo. Lisäksi kortilla on viisi jännitemuuntajatuloloja. AIM2-kortilla on kuusi kappaletta yhden tai viiden A:n virtatuloloja ja neljä jännitetuloloja. (4, s. 7.)

SIM1- tai SIM2-korttiin on kytkettävissä virta- ja jännitesensorit. Korteilla on kolme yhdistettyä combi sensor -tuloloja, jokaiseen saa tuotua yhden jännitteen ja virran. Lisäksi molemmilla korteilla on yksi herkkä 200 mA:n tai yhden A:n virtatulolo kaapelivirtamuuntajaa varten ja yksi jännitetulolo. (4, s. 7.) SIM1- ja SIM2-kortin ero on, että SIM1-kortti tyyppitestataan vanhemman IEC60044-mittamuuntajastandardin mukaisesti ja SIM2-kortti vuonna 2015 käyttöön otetun IEC61869-mittamuuntajastandardin mukaisesti (8).

Analog module		
<input type="checkbox"/>	1x AIM1	AIM: 4CT(1/5A) +1CT(0.2/1A) + 5VT
<input type="checkbox"/>	2x AIM1	AIM: 4CT(1/5A) +1CT(0.2/1A) + 5VT
<input type="checkbox"/>	1x AIM2	AIM: 6CT(1/5A) + 4VT
<input type="checkbox"/>	2x AIM2	AIM: 6CT(1/5A) + 4VT
<input type="checkbox"/>	1x SIM1	SIM: 3combi sensor + 1CT(0.2/1A) +1VT IEC60044
<input type="checkbox"/>	2x SIM1	SIM: 3combi sensor + 1CT(0.2/1A) +1VT IEC60044
<input type="checkbox"/>	1x SIM2	SIM: 3combi sensor + 1CT(0.2/1A) +1VT IEC61869
<input type="checkbox"/>	2x SIM2	SIM: 3combi sensor + 1CT(0.2/1A) +1VT IEC61869

Kuva 4. Analogiamoduulivaihtoehdot (6).

Releeseen löytyy kolme erilaista virtalähdevaihtoehtoa, jotka näkyvät kuvassa 5. Erona virtalähdekorteilla on ainoastaan jännitealue. Kaikki virtalähteet sisältävät yhteensä 10 lähtökosketinta. Niistä kolme on SO-koskettimia, joista kaksi on kaksinapaisia, kaksi SSO-tyyppistä nopeaa signaalikosketinta, kaksi POSP-kosketinta (single-pole power output) ja kolme PODP-kosketinta (double-pole power output). PODP-koskettimissa on mukana vakiovirtalähde ja TCS-tulo, joten näihin saa laukaisupiirinvalvonnan käyttöön. (4, s. 156.)

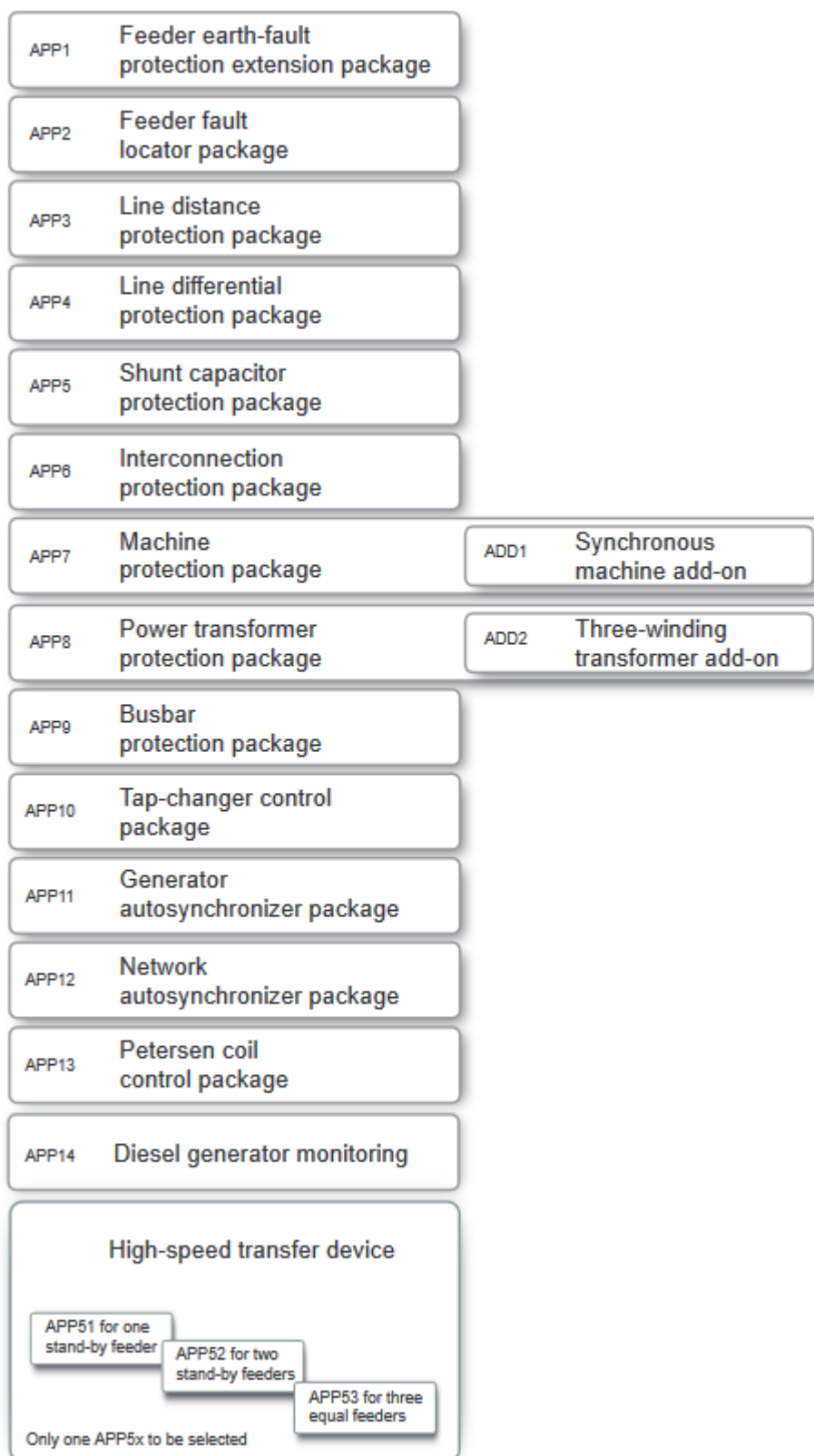
PSM

- PSM1** PSM: 24 - 60VDC + 3SO + 2SSO + 2PO + 3PO with TCS
- PSM2** PSM: 48 - 250VDC and 100 - 240VAC + 3SO + 2SSO + 2PO + 3PO with TCS
- PSM3** PSM: 110-125VDC + 3SO + 2SSO + 2PO + 3PO with TCS

Kuva 5. Virtalähdevaihtoehdot (6).

3.3 Applikaatiopaketit

REX640-suojareleeseen on saatavilla kattava määrä ohjelmistopaketteja, jolloin yhdellä suojareleellä on mahdollista suojata hyvin monia erityyppisiä sähköverkon kohteita. Ohjelmistopaketteja pystytään päivittämään tarpeen mukaan jälkeenpäin. Kuvassa 6 näkyvät saatavilla olevat applikaatiopaketit.



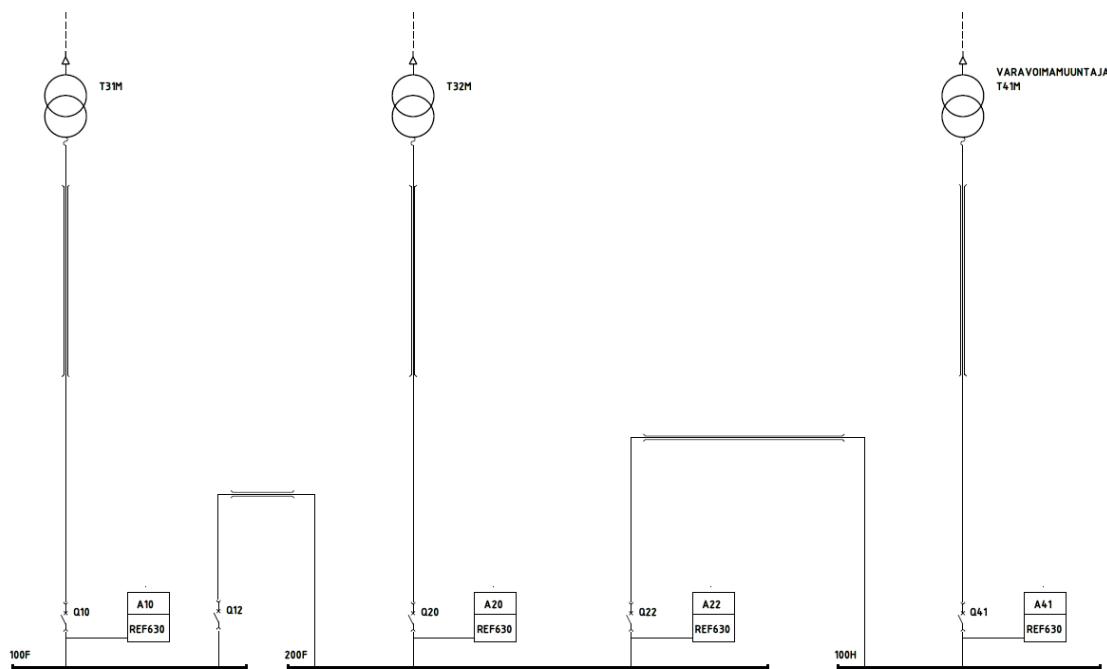
Kuva 6. REX640:n vaihtoehtoiset applikaatiopaketit (4, s. 4).

4 REX640-suojareleen käyttö Auroran verkossa

4.1 Auroran pienjännitekojeiston hallinta

Auroran pienjännitekojeiston toteutustapa on kaksoiskiskojärjestelmä omilla muuntajasyötöillään. Kriittisissä kohteissa on myös varavoimakojeisto, joka saa normaalitilanteessa syöttönsä pienjänniteverkosta, mutta vaihtaa jännitekatkossa automaattisesti varasyötölle, joka tulee generaattorivarmennetusta 10 kV:n varavoimaverkosta. Toteutus näkyy kuvassa 7.

Pienjännitekojeistot ovat yhdistettävissä kiskokatkaisijalla. Tärkeimmät kuormat on kahdennettu. Muuntajat ja kojeistot on mitoitettu niin, että yhdellä muuntajalla pystytään syöttämään tarvittaessa molempia kojeistoja. Kojeistoihin on tehty automaattinen syötönvaihto (ASV). Jännitteen kadotessa toiselta kiskolta avaa ASV jännitteettömän kojeiston syöttökatkaisijan ja kytkee kiskokatkaisijan kiinni palauttaen sähköt. Varavoimakojeistolla on oma ASV-järjestelmänsä.



Kuva 7. Tyypillinen pienjännitekojeiston toteutustapa kriittisessä kohteessa (9).

Nykyinen Auroran toteutustapa on käyttää ABB:n REF630-kennoterminaaleja kojeistohallintaan. Jokaisella kojeistolla on oma REF630-releensä. REF630:lle tuodaan kyseisen kojeiston mittaukset, ohjaukset ja tilatiedot. ASV-järjestelmä on toteutettu näiden kennoterminaalien logiikassa. ASV-logiikka on jaettu kojeistoparin kahden eri REF630-releen välille ja näiden välille on langoitettu tarvittavat jännitemittaus ja binääritiedot. Releet on liitetty Auroran kaukokäyttöjärjestelmään.

Yhteen REX640-releeseen on mahdollista saada kaksi mittauskorttia ja riittävä määrä I/O-pisteitä, jotta kahden REF630-releen mittaukset ja I/O:t saadaan yhdistettyä yhteen REX640-releeseen. Tällöin olisi mahdollista korvata kojeistoparin molemmat REF630-releet yhdellä REX640-releellä ja syötönvaihtologiikka saataisiin yhdistettyä yhden suojarleen sisälle ja konfiguraatiosta tulisi hieman yksinkertaisempi.

Auroran käyttämien suojarlekokoospanojen perusteella laskettuna yhden REF630-releen hinta integroidulla näytöllä on hyvin lähellä yhtä REX640-relettä ja LHMI-näyttöä. Toteutettaessa kojeistoparin kojeistohallinta yhdellä REX640-releellä kahden REF630-releen sijaan suojarleiden hankintahinta lähes puolittuu. Pidemmällä tähtäimellä katsottuna yhden suojarleen ennakkohoito ja koestuskulut tulisivat myös halvemmaksi verrattuna kahden erillisen suojarleen toteutukseen.

Nykyisellä toteutustavalla REF630-releillä jokaisen kojeiston ohjaukset, tilatiedot ja mittaukset ovat oma kokonaisuutensa kyseisen kojeiston suojarleessä. Kojeistoparin toisen REF630-releen hajotessa menetetään ASV:n toiminta sekä kyseisen kojeiston hallinta kaukokäytöstä. REX640-suojarleellä kahden kojeiston tiedot yhdistettäisiin samaan releeseen, jolloin mahdollisessa releen hajoisessa menetettäisiin molempien kojeistojen kaukokäytön mittaukset, ohjaukset ja hälytykset sekä ASV:n toiminta. Auroralla on kuitenkin käytössä paikallisia hälytys-, mittaus- ja varaohjausjärjestelmiä tällaisen tilanteen varalle.

4.2 REX640-releen kokoonpanon valinta

REX640-releen kokoonpanoa valittaessa piti aluksi määrittää tarvittavat analogiatulojen ja binääritulojen ja -lähtöjen määrät korttien valintaa varten. Kahdella erillisellä REF630-releellä toteutetussa kojeistoparissa on jouduttu viemään releeltä toiselle langoitettuja signaaleja, joita ei enää tarvita syötönvaihtologiikan ollessa yhdessä suojareleessä, joten tarvittavan I/O:n määrä vähenee.

Tarvittavat liitynnät pienjännitekojeiston releelle:

- 6 kpl virtatuloja, 6 kpl jännitetuloja (molempien kojeistojen syötöt ja jännitteet)
- 37 kpl binäärituloja
- 13 kpl binäärilähtöjä.

Releen I/O-korttien valinnassa täytyy huomioida, että binäärilähtöjä käytetään hälytysten ja indikointien lisäksi myös kolmen katkaisijan auki- ja kiinniohjauksiin. Katkaisijan kelan ohjaukseen pitää käyttää enemmän virtaa kestäviä power output -koskettimia, joten niiden riittävä määrä täytyi varmistaa (7, s. 163).

Tarvittavat liitynnät varavoimakojeiston releelle:

- 6 kpl virtatuloja, 9 kpl jännitetuloja
- 26 kpl binäärituloja
- 11 kpl binäärilähtöjä.

Varavoimakojeiston REX640-releelle tuodaan lisäksi varavoimakojeiston jännitemittaus. Releen ohjattavana on vain kaksi katkaisijaa, mistä aiheutuu hieman pienempi määrä tarvittavia I/O-pisteitä. Molempien kojeistojen suojarelekokoonpanot haluttiin pitää kuitenkin samanlaisina.

Releen kommunikointikortiksi valittiin kahdella LC-kuituportilla ja kahdella RJ45-portilla varustettu COM2-kortti. Toinen RJ45-porteista on varattu LHMI-näytölle. Kahden kuituportin ansiosta asemalla oleva suojareleväylä on mahdollista kytkeä kuidulla renkaaseen, jolloin väylä kiertää releeltä toiselle, eikä yhden

kuituyhteyden katkeaminen vaikuta vielä releen toimintaan. Releeseen valikoitui kaksi kappaletta BIO1-kortteja ja yksi BIO2-kortti, jotta ohjauslähtöjä saadaan riittävästi katkaisijoille. Analogiakortiksi valikoitui kaksi AIM1-korttia eli virta- ja jännitemuuntajille tarkoitetut kortit. Virtalähdekortiksi releelle valittiin PSM2-kortti. Auroran muuntamoilta löytyy 110 V:n ja 220 V:n tasasähköjärjestelmiä, joten PSM2-kortti käy molempiin jännitetasoihin.

Valittu relekokoonpano:

- Main application REX640 Protection and Control Relay without LHMI
- Communication module COM: RJ45(LHMI) + 2xLC + RJ45 + SFP
100M LC rack
- BIO module 2x BIO1: 14BI + 8SO
- BIO module 1x BIO2: 9BI + 6SPO + 2SPO with TCS
- Analog module 2x AIM1: 4CT(1/5A) +1CT(0.2/1A) + 5VT
- Power supply PSM2: 48 - 250VDC and 100 - 240VAC + 3SO + 2SSO
+ 2PO + 3PO with TCS.

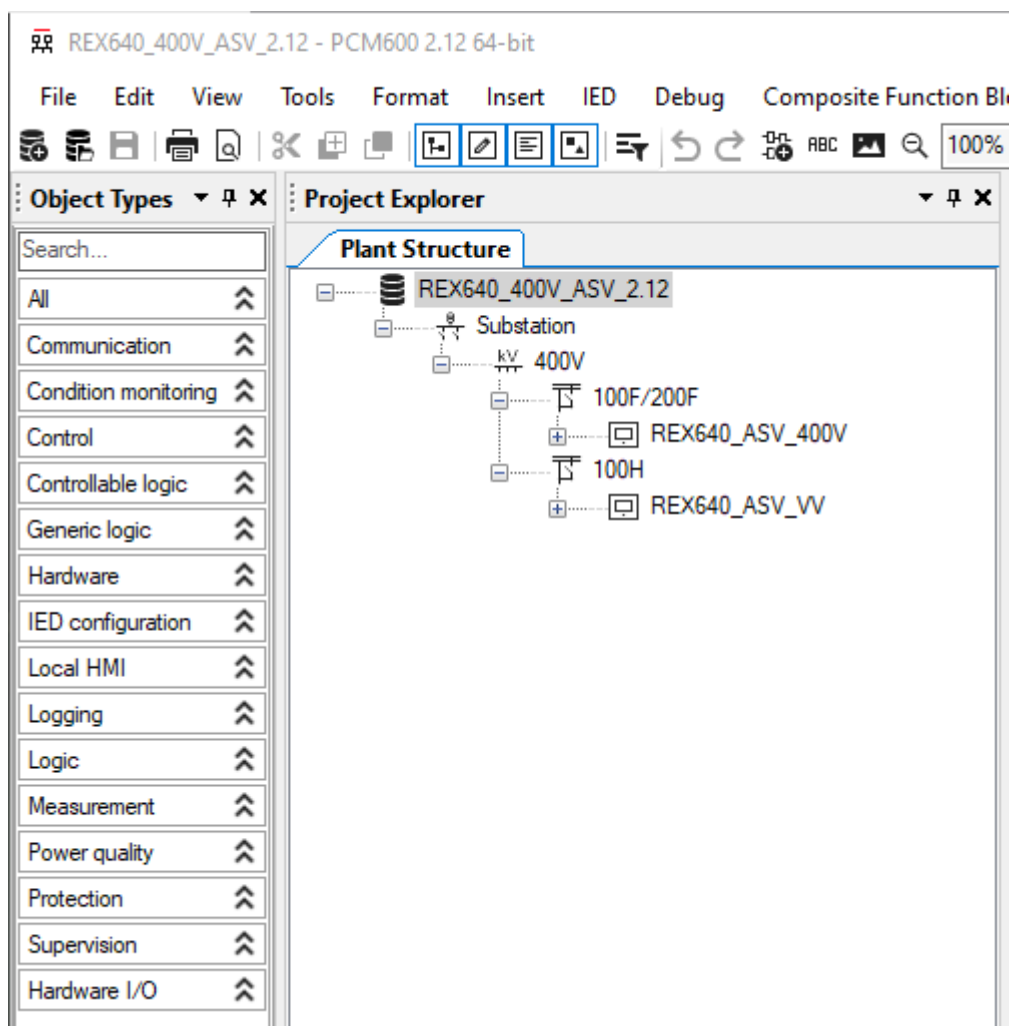
Edellä mainituilla korttivalinnoilla saadaan käyttöön 10 jännitetuloa, 10 virtatuloa, 37 binäärituloa ja 32 binäärilähtöä.

4.3 REX640-releen konfiguraatiot

Kennotermiinaali ohjelmoitiin ABB:n PCM600-ohjelmalla. Mallina käytettiin nykyisin Auroralla käytössä olevia REF630-releen konfiguraatioita, joiden perusteella REX640-releen logiikka rakennettiin. Auroralla ei ollut valmiina yhtään REX640-kennotermiinaalille tehtyä relekonfiguraatiota, joten logiikan rakennus aloitettiin puhtaalta pöydältä.

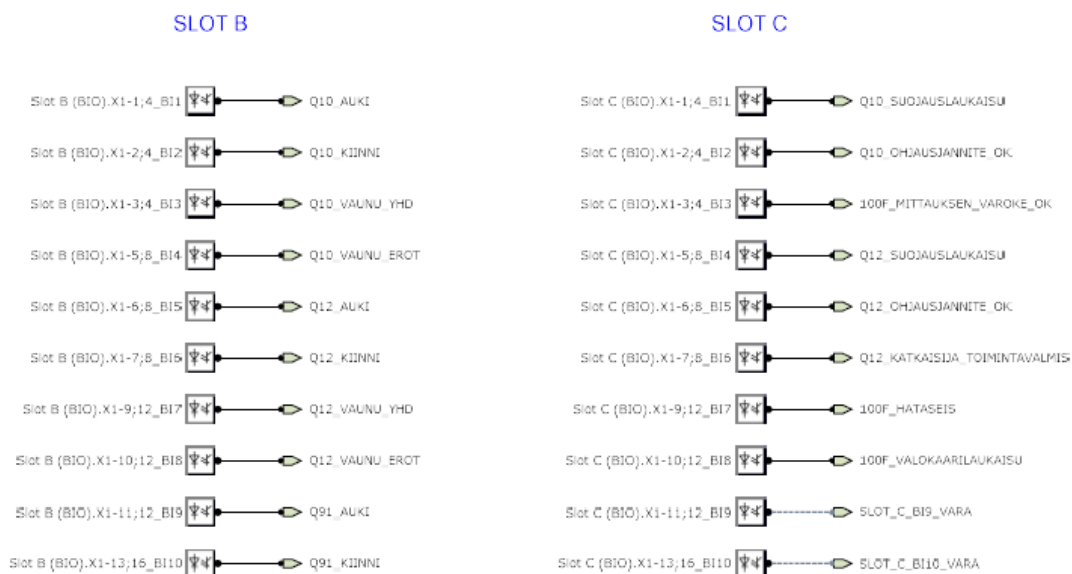
PCM600-ohjelmaan täytyy avata projekti. Projektin alle lisätään sähköasema, jännitetaso ja kojeisto. Tämän alle saa lisättyä uuden releen. Samaan PCM600-projektiin on mahdollista lisätä yhden tai useamman sähköaseman kaikki suoja-releet. Projektipuu näkyy kuvassa 8. Kun projektipuuhun luo uuden releen,

täytyy sen kokoonpano määritellä. Releen kokoonpano on mahdollista syöttää manuaalisesti tai lukea releestä automaattisesti.



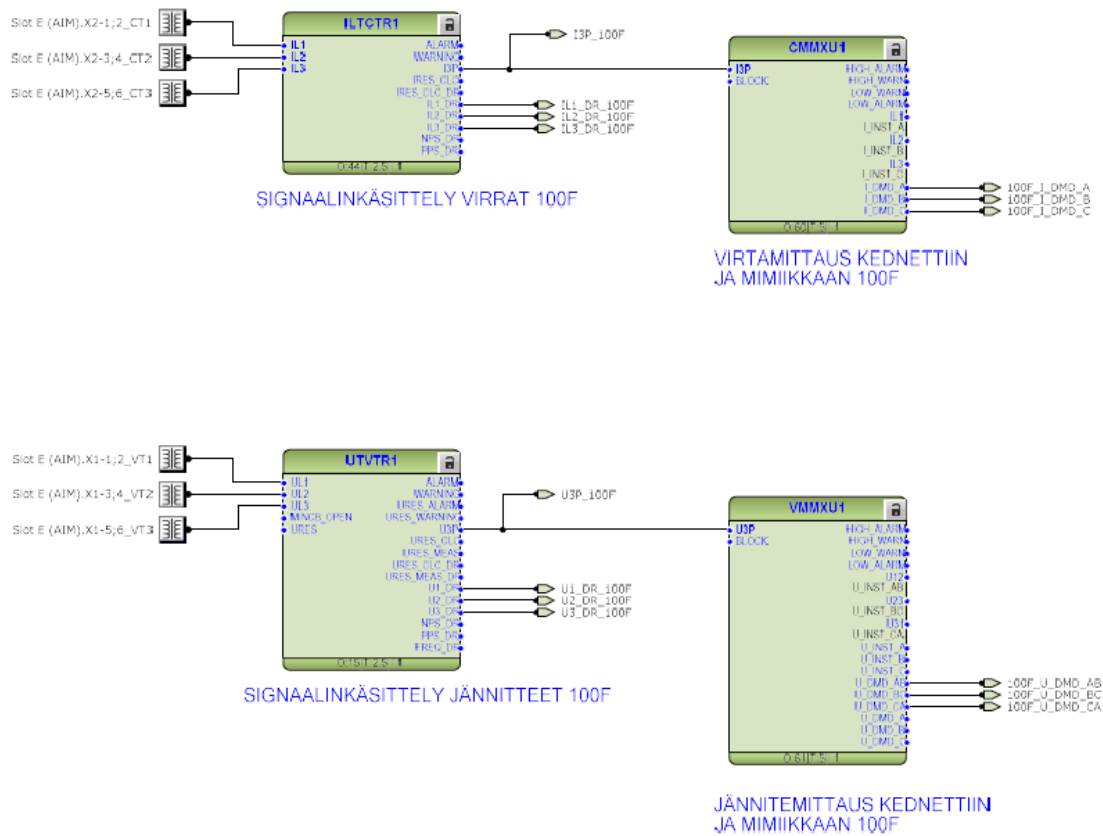
Kuva 8. PCM600-ohjelman projektipuu.

Releen logiikkaan täytyy määritellä käytettävät binääritulot. Logiikkaan on mahdollista luoda signaaleja ja nimetä ne omavalintaisesti, mikä helpottaa ja selkeyttää logiikan tekemistä ja lukemista sekä mahdollistaa logiikan jakamisen eri sivuille. Kuvassa 9 näkyy määritetyt binääritulot ja näille nimetyt releen logiikan käytössä olevat signaalit.



Kuva 9. Määritetyt binääritulot.

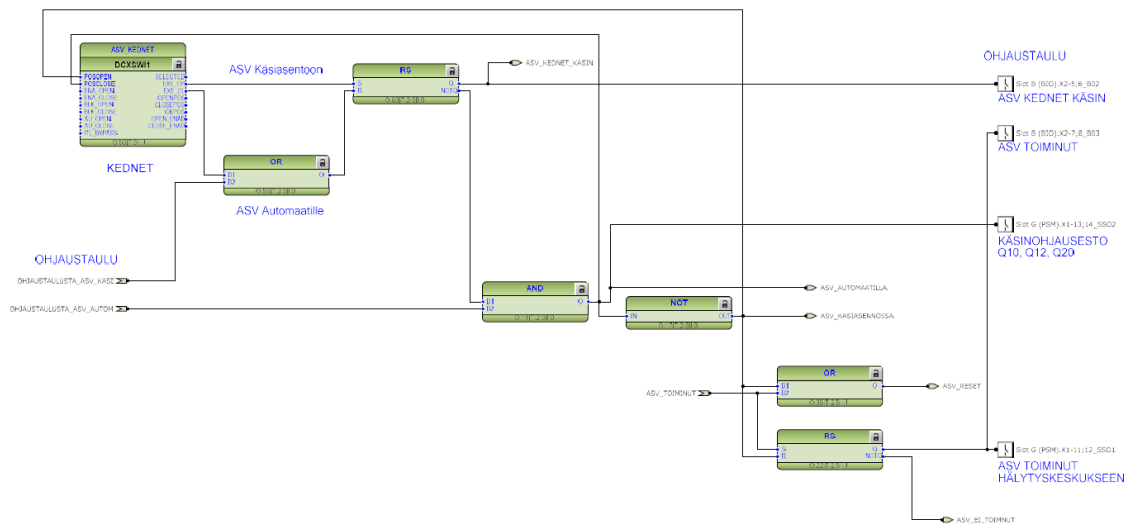
Käytettävät analogiatulot määritellään logiikkaan ja viedään signaalinkäsittelylohkoille, joista ne voidaan edelleen viedä mittaus- tai suojauslohkoille. Analogiatulot näkyvät kuvassa 10.



Kuva 10. Analogiatulot vietynä releen mittauslohkoille.

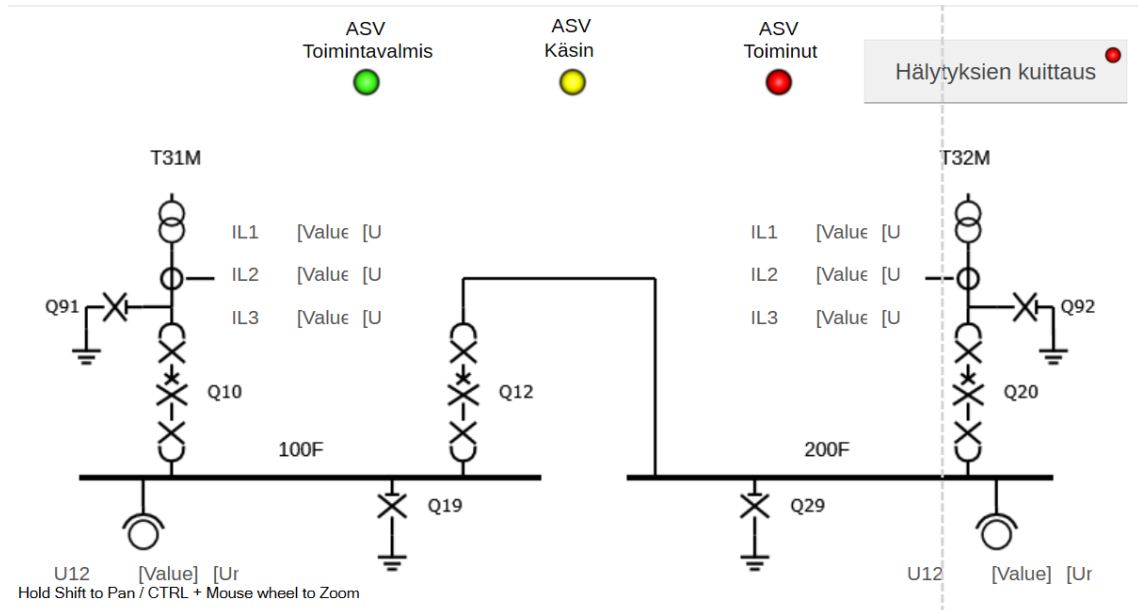
Samalla tavalla releeseen rakennetaan logiikka ja määritellään käytettävät binäärilähtökoskettimet. Osa pienjännitereleen syötönvaihtologiikkaa näkyy kuvassa 11.

ASV:n TOIMINTA:
JÄNNITEKATKOSSA ASV VAIHTAA TOISELLE MUUNTAJALLE,
JONKA JÄLKEEN ASV LUKITTUU, PALAUTUS KÄSIN.



Kuva 11. Releen logiikkaa.

Jokaisessa Auroran käyttöön tulevassa REX640-releessä tulee olemaan oma LHMI-kosketusnäyttönsä. Näyttö on myös konfiguroitavissa vapaasti suojarahleen käyttötarkoituksen mukaan. Näytölle saadaan tuotua kiskokuvioita, kytkinlaitteita, mittaukset ja esimerkiksi virtuaalisia ledejä tai nappuloita. Välilehtiä pystyy tekemään useampia, ja tehdastekoisia välilehtiä on myös saatavilla. REX640-releen LHMI-näyttö konfiguroidaan PCM600-ohjelmalla. Kuvassa 12 näkyy LHMI-näytön grafiikan muokkausnäkymä.



Kuva 12. Suojareleen mimiikkanäkymä.

5 REX640-suojareleen testaus

REX640-releiden testausta varten releet kytkettiin apusähköihin ja niihin ladattiin tehdyt konfiguraatiot. Releiden koestuksiin oli käytössä Omicron CMC356- ja Megger SVERKER 900 -koestuslaitteet.

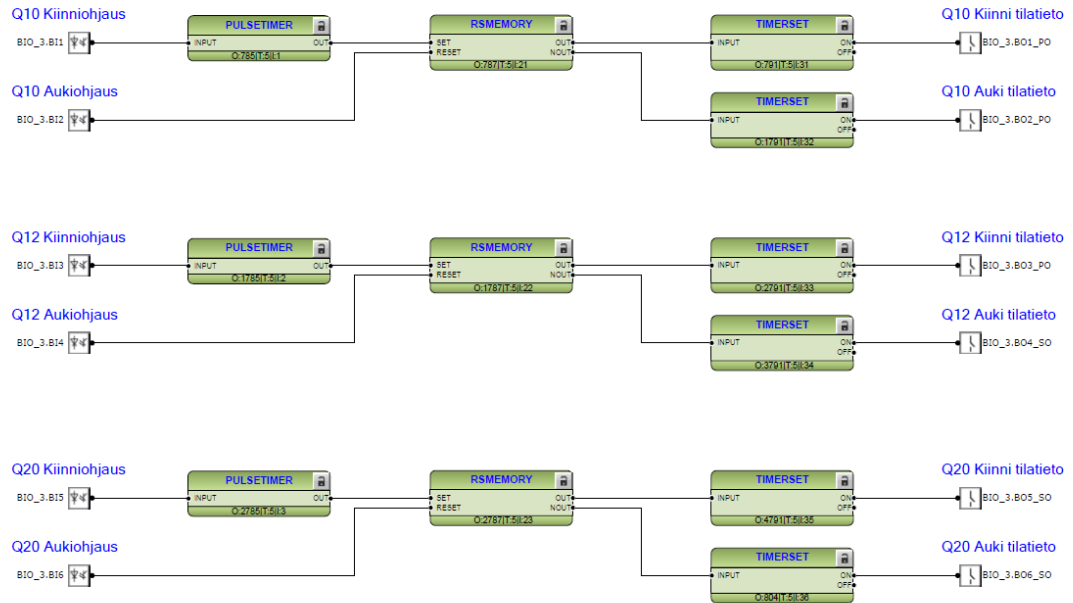
Releeseen syötettiin virrat ja jännitteet käytössä oleville kanaville. Relekonfiguraatioista koestettiin tilatiedot, mittaukset, hälytykset, suojauksien ja syötönvaihtojen toiminta. Lisäksi LHMI-näytöltä testattiin konfiguraatioon ohjelmoidut toiminnot. Releen logiikka on tarkasteltavissa reaaliajassa PCM600-ohjelman online-työkalulla, joka helpotti logiikan testausta ja vianselvitystä.

Syötönvaihtologiikkaa koestettiin käyttäen apuna kahta koestuslaitetta, jolloin molempien kojeistojen mittauskanaviin oli mahdollista ajaa erikseen jännitteitä. Toimiakseen syötönvaihto vaatii varasyötön jännitteen olevan yli 95 % nimellisarvosta. Normaalisyötön jännitteen tippuessa alle 80 %:iin nimellisarvosta yli kahden sekunnin ajaksi avaa logiikka jännitteettömän kojeiston syöttökatkaisijan ja kytkee kiskokatkaisijalla sähkötkä takaisin kojeistoon.

Syötönvaihtologiikkaan on lisätty toimintaehdot, joiden täytyy toteutua, jotta virhetoiminnoilta tai mahdolliselta vikaa vasten kytkemiseltä vältytään. Toimintaehdot testattiin simuloimalla signaaleja releen binäärituloille.

Testeissä käytettiin apuna katkaisijasimulaattoria, jotta oli mahdollista koestaa katkaisijoiden ja automaattisen syötönvaihdon toiminnat ilman oikeita katkaisijoita. Tätä varten REF630-rele ohjelmoitiin toimimaan niin, että sillä voitiin simuloida katkaisijoiden toimintoja. Releen logiikkaan konfiguroitiin R/S-kiikuista katkaisijat ja määritettiin käytetyt tulot ja lähdöt. Logiikka näkyy kuvassa 13. Kiinniohjauksessa on käytetty pulsetimer-lohkoa simuloimaan katkaisijan pumppauksen esto -toimintoa. Pumppauksen esto -toiminto rakennetaan katkaisijoiden sisään, ja sen tarkoituksena on, että yhdellä kiinniohjauspulssilla katkaisija voi mennä vain kerran kiinni. Pulsetimer-lohko antaa vain asetellun pituisen pulssin aina kun lohkon tulo menee ykköseksi, joten kiinniohjaus ei voi jäädä aktiiviseksi.

Releeltä lähteviä tilatietoja on hidastettu timerset-lohkolla, jolloin toiminta-ajat saadaan oikean katkaisijan kaltaiseksi. REX640:ltä lähtevät katkaisijaohjaukset menevät REF630-releen tuloihin ja vaihtavat R/S-kiikun tilaa, mistä lähtee tilatieto takaisin REX640-releelle palauttaen tiedon katkaisijan muuttuneesta tilasta. Tällä tavalla REX640-releen katkaisijanohjauslogiikkaa saatiin helposti testattua.



Kuva 13. REF630-releen katkaisijasimulaattorin konfiguraatio.

6 Keskiänniteverkon suojausten kehitys

6.1 Valokaarisuojauksen parantaminen

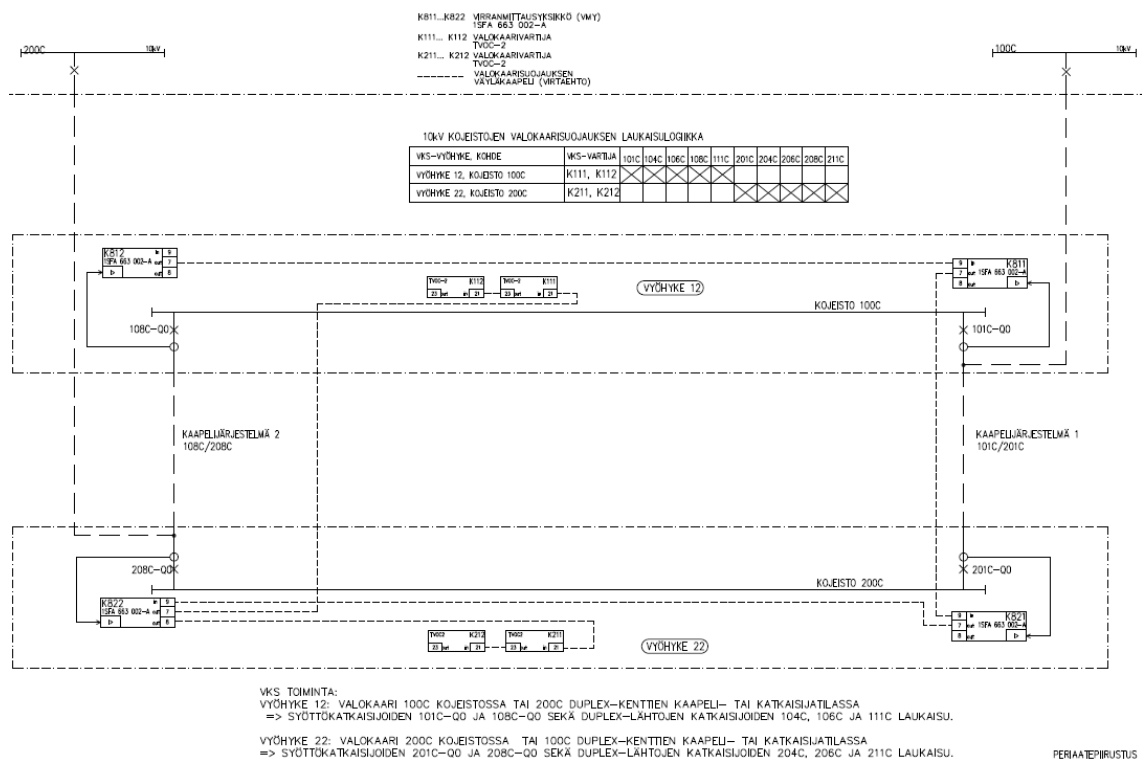
Työssä tutkittiin mahdollisuutta parantaa keskiännitekojeiston valokaarisuojauksen kattavuutta ja selektiivisyyttä käyttämällä REX640-suojareleen valokaarisuojausominaisuutta nykyisen TVOC-2-valokaarisuojareiden rinnalla.

Auroran nykyisessä toteutusmallissa kojeiston syöttökatkaisijan alapuolinen kaapelitila jää suojausalueen ulkopuolelle, sillä laukaisua ei ole viety syöttävän pään katkaisijalle. Työssä tutkittiin myös mahdollisuutta käyttää kojeiston lähtökenttien kaapelitilojen valokaarisuojauksessa kyseisen lähdön REX640-suojarelettä, jolloin riittäisi, että laukaistaan vain vikaantunut lähtö eikä koko kojeistoa.

Auroralla on käytössä pääosin ABB:n valmistamia TVOC-2-valokaarisuojareiteitä. Lisäksi aikaisempaa mallia olevaa TVOC-valokaarisuojajaa löytyy vielä käytöstä paljon. Schneider Electricin valmistamaa VAMP 221 -valokaarisuojarelettä on myös jonkin verran käytössä.

Valokaarilaukaisu vaatii kaksi ehtoa, virranmittausyksikön havahtumisen ja valon. Kun molemmat ehdot täyttyvät samaan aikaan, valokaarisuojaus toimii ja laukaisee kojeiston välittömästi jännitteettömäksi. Valokaarisuojaus on suunniteltu toimimaan erittäin nopeasti minimoiden henkilö- ja materiaalivahingot.

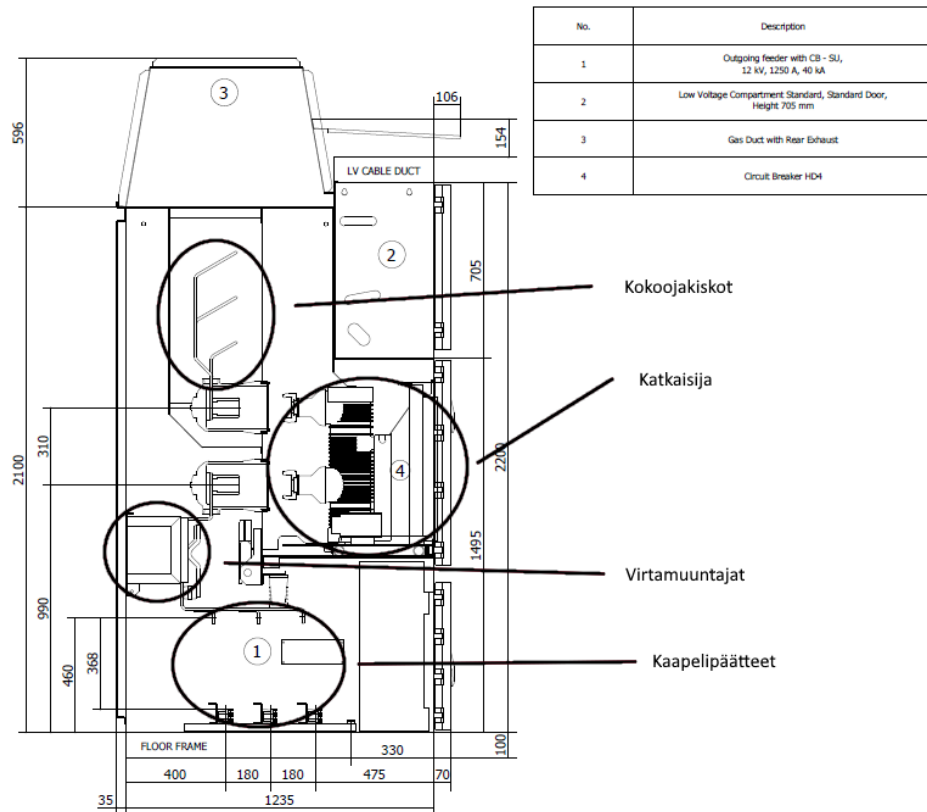
Auroralla käytössä olevan mallin mukaan toteutettu kahdennettu keskijännitekojeisto on suojattu kahdella vyöhykkeellä. Kumpikin vyöhyke suojaa toista puolta kojeistosta. Valokaarianturit on sijoitettu kyseisen kojeiston kokoojakiskoihin, katkaisija- ja kaapelitiloihin. Keskijännitekojeiston valokaarisuojauksen toimintaperiaate näkyy kuvassa 14.



Kuva 14. Valokaarisuojauksen toimintaperiaate Auroran keskijännitekojeistossa (9).

Työssä kartoitettiin mahdollisuutta käyttää REX640-releen valokaarisuojausominaisuutta keskijännitekojeiston syöttökentän kaapelitilan suojaukseen. Syöttökentän kaapelitila ei kuulu kojeiston valokaarisuojauksen suojausalueeseen, sillä valokaarilaukaisua ei ole viety kojeistoa syöttävälle katkaisijalle. Syöttökentän virtamuuntajat sijaitsevat katkaisijan alapuolella. Kyseisten virtamuuntajien

yksi sydän on valokaarisuojauksen virranmittauksen käytössä, jolloin kojeiston valokaarisuojaus ei havaitse syöttökentän kaapelitilassa tapahtuvaa valokaaren vikavirtaa. Kuvassa 15 näkyy Auroralla paljon käytössä olevan ABB Unigear -keskijännitekojeiston leikkauskuva.



Kuva 15. ABB Unigear -kojeiston leikkaus (9).

Tällä hetkellä syöttävän kaapelin kaapelipäätteen valokaarivioissa kojeistoa syöttävä katkaisija aukeaa aikaisimmillaan 0,5 sekunnin kuluessa vian alkamisesta. Tässä ajassa valokaari kerkeää tuhoamaan kojeiston käyttökelpottomaksi ja potentiaalisesti aiheuttamaan hengenvaarallisia henkilövahinkoja.

REX640-suojarele toisi mahdollisuuden sijoittaa valokaarianturi kojeiston syöttökentän kaapelitilaan ja lähettää valotieto suojauskuitua pitkin syöttävän muuntamon virtaa mittaavalle REX640-releelle, joka avaisi johtolähdön katkaisijan, ja valokaarivika saataisiin kytkettyä pois murto-osassa nykyisestä ajasta.

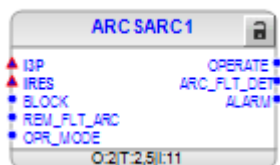
REX640-suojarele toisi myös mahdollisuuden jakaa helposti kojeiston lähtöjä omiksi vyöhykkeikseen. Nykyisellä toteutustavalla valokaarivika laukaisee koko kojeiston jännitteettömäksi. REX640:lle pystyttäisiin tuomaan lähdön kaapelitilasta oma valokaarianturi ja näin ollen minimoimaan valokaaren vahingot pitäen kuitenkin sähköt asiakkaan prosessille kriittisissä paikoissa. Virtatieto kojeiston sisäiselle valokaarisuojaukselle mitattaisiin samasta paikasta eli kojeistoa syöttävästä kentästä.

Nykyisellä toteutustavalla kaikki kojeiston sisäiset tiedot kulkevat langoitettuna. Työssä tutkittiin myös mahdollisuutta käyttää GOOSE-kommunikaatiota releiden väliseen viestintään, esimerkiksi virtatieto voitaisiin välittää eteenpäin releille GOOSE-viestejä käyttäen.

GOOSE-protokolla on IEC 61850 -standardiin perustuva protokolla, jossa kommunikointi hoidetaan yhteydettömästi multicast-viesteinä. Yhteydettömyys tarkoittaa, ettei julkaisija määrittele, kenelle viesti lähetetään, vaan viestit lähetetään multicast-osoitteeseen. Muut laitteet voivat liittyä multicast-osoitteen tilaajiksi ja vastaanottaa viestejä. GOOSE-protokolla on kehitetty vertaisverkkokommunikointiprotokollaksi, jossa ei erikseen kommunikoida ylemmän kerroksen kautta, vaan lähetetään viestit saman fyysisen väylän muille vertaislaitteille. (10, s. 35.)

6.2 REX640-suojareleen valokaaritestausta

Työssä tutustuttiin kuvassa 16 näkyvään REX640-suojareleen ARCSARC-valokaarisuojauslohkon toimintaan, koestettiin lohkon toimintoja ja toiminta-aikoja ja verrattiin niitä käytössä olevaan TVOC-2-järjestelmään.



Kuva 16. REX640:n ARCSARC-valokaarisuojauslohko (7).

Kuvassa näkyviä ARCSARC-lohkon tuloja ja lähtöjä ovat:

- I3P on analogiatulo, johon tuodaan mitattu kolmivaiheinen virta ILTCTR-lohkolta eli vaihevirtojen esikäsitteilylohkolta. Tulo on pakollinen konfiguroida, jos valo + virta -toiminta-asetus on käytössä.
- IRES on analogiatulo, johon tuodaan mitattu nollavirta kaapelivirtamuuntajalta tai laskettu nollavirta ILTCTR-lohkolta. Tulo on pakollinen konfiguroida, jos valo + virta -toiminta-asetus on käytössä.
- BLOCK on binääritulo, jonka ollessa 1 lohkon toiminta on estetty.
- REM_FLT_ARC on binääritulo, johon voi tuoda ulkoisen valosignaalin muualta kuin kyseisen lohkon omalta valokaarianturilta.
- OPR_MODE on binääritulo, joka muuttaa lohkon toimintatilaa releen asettelun "Operation mode: BI controlled" ollessa käytössä. Tulon ollessa 0 lohko vaatii virta- ja valotiedon ja tulon ollessa 1 lohko toimii pelkällä valolla.
- OPERATE on binäärilähtö, joka menee 1:ksi ARCSARC-lohkon toimiessa.
- ARC_FLT_DET on binäärilähtö, joka menee 1:ksi, kun kyseiseen ARCSARC-lohkoon liitetty valokaarianturi havaitsee valoa.
- ALARM on binäärilähtö. Lohko valvoo valokaarianturin toimintaa ja antaa hälytyksen, jos anturissa havaitaan vikaa, esimerkiksi valo jää päälle (7, s. 1085).

6.2.1 Toiminta-ajat

Toiminta-aikatestit suoritettiin mittaamalla lohkon toiminta-aikoja MEGGER Sverker 900 -koestuslaitteella. Mittaukset suoritettiin laittamalla valo valmiiksi valokaarianturille ja käynnistämällä koestuslaite. Valokaarilaukaisulohkon OPERATE-lähtö oli ohjelmallisesti viety nopeaan SSO-binäärilähtöön, josta se oli johdotettu koestuslaitteelle ja ohjelmoitu pysäyttämään laitteen kello.

Ensimmäisessä testissä virta syötettiin REX640-releen analogiatuloon ja valo annettiin releeseen kytketylle valokaarianturille. Toiminta-ajat koestuslaitteen käynnistyksestä siihen, että REX640-suojareleen lähtö veti olivat useamman mittauksen keskiarvolla 7–9 ms.

Seuraavaa testiä varten oli käytössä kaksi REX640-suojarelettä, jotka olivat liitettynä Siemens Ruggedcom RS900 -kytkimeen valokuidulla. Suojareleet oli konfiguroitu lähettämään GOOSE-viestejä keskenään. Suojareleen 1 valokaarianturille laitettiin valo valmiiksi odottamaan. Suojareleelle 2 syötettiin analogiatuloon virtaa. Virtatieto meni PHIPTOC-ylivirtalohkolle, josta havahtuma vietiin GOOSE-viestinä suojareleen 1 valokaarisuojauslohkon OPR_MODE-tuloon, joka muuttaa toimintamoodin valolle, ja valon ollessa päällä laukaisu toimii. Laukaisuaika oli keskiarvollisesti 10–11 ms.

Virran vaikutusta suojareleen toimintanopeuteen kokeiltiin myös. Virran las-kiessa lähemmäs havahtumisrajaa suojauslohkojen havahtumisaika kasvoi ja kokonaisaika valokaarilaukaisun toiminnalle oli 17–19 ms. Virran noustessa kaksinkertaiseksi havahtuminen toimi nopeasti, eikä suurempi virta näyttänyt enää nostavan havahtumisnopeutta.

Lisäksi kokeiltiin valokaarisuojauksen toimintanopeutta johdottamalla suojareleiden välinen yhteys kuparilla suojareleen 2 SSO-lähdöstä suojareleen 1 tuloon, josta havahtuma oli viety valokaarisuojauslohkolle. Suojareleelle 2 syötettiin virtaa, josta havahtuma meni suojareleelle 1, joka suoritti laukaisun. Laukaisuaajat olivat 17–19 ms:in haarukassa. Virran las-kiessa alle kaksinkertaiseksi lohkon asetellusta toimintavirrasta valokaarilaukaisun toiminta-aika hidastui 25–27 ms:in välille.

REX640-releen logiikkaan kokeiltiin lisätä ylimääräisiä lohkoja väliin, jotta nähtiin, vaikuttaako tämä valokaarilaukaisun nopeuteen. Valokaarilohkon laukaisulta signaali kierrätettiin usean loogisen operaattorin kautta. Tämä ei hidastanut laukaisuaikaa, eli peräkkäin ketjutetut 2,5 ms:in nopeudella toimivat lohkot eivät hidasta signaalin kulkua.

6.2.2 TVOC-2-valokaarisuojan laukaisuajat

Vertailuksi kokeiltiin laukaisuajkoja tällä hetkellä Auroralla laajalti käytössä olevalla ABB:n valmistamalla TVOC-2-valokaarisuojajärjestelmällä. TVOC-2-valokaarivartijaan kytkettiin ISFA 663 002-A -virranmittausyksikkö. Virranmittausyksikkö oli kytketty valokuidulla valokaarivartijaan. Virranmittausyksikön havahduessa valo kuidussa sammuu ja valokaarivartija sallii laukaisun valokaarianturilla havaitun valon perusteella.

Testit toteutettiin samanlaisella mittauskonfiguraatiolla vertailukelpoisuuden takia. Mittalaitteena oli käytössä Megger Sverker 900, ja valo pidettiin valmiina anturilla odottamassa. Pysäytys tapahtui TVOC-2-valokaarivartijan havahtumasta. Tulokseksi saatiin 3–4 ms:n aikoja virran ollessa yli kaksinkertainen asetteluarvosta. Virran laskiessa lähemmäs asetteluarvoa laukaisu hidastui jopa 14 ms:iin.

6.2.3 Vertailu

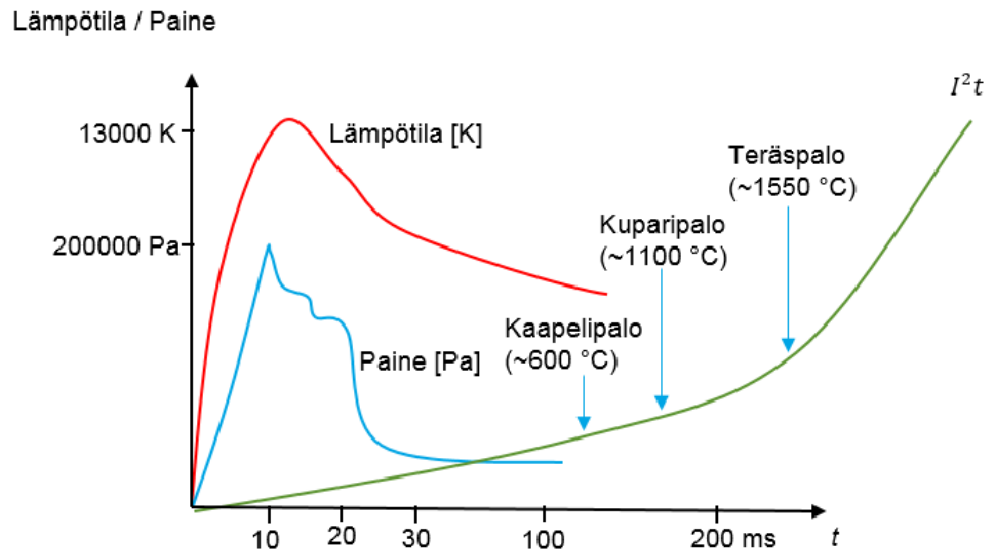
Puhtaasti valokaarisuojaukseen tarkoitettu TVOC-2-järjestelmä pystyi 3–4 ms:n laukaisuihin. REX640-suojarele laukaisi nopeimmillaan 7–9 ms:n ajalla, ja tämä hidastui 10–11 ms:n välille, kun tietoa vietiin valokuidulla toiseen releeseen. Laukaisuajat olivat yllättävän nopeita kennoterminalille.

Katkaisijan toiminta-aika aukisuuntaan alueella paljon käytössä olevilla ABB:n Unigear-katkaisijoilla on noin 40 ms. Katkaisijan toiminta-aika-koestusraportti näkyy kuvassa 17.

Megger	Test report				Date	Page
	Circuit Breaker		ABB	HD4/P 12.12.40		
Breaker ID1	M180		Breaker ID3	M045+104C		
Breaker ID2	208C		Breaker ID4			
Serial no.	Reference					
Rated voltage	12.00	kV	Rated frequency	50.0	Hz	
Rated current	1 250	A	Rated breaking current	40	kA	
Rated supply voltage	V		Rated motor voltage	V		
1.	<i>Mechanical operating test</i>					
		POLE A		POLE B		POLE C
	Close	62.1	ms	62.3	ms	62.8 ms
	Open	41.3	ms	41.4	ms	41.4 ms
	Close-open	n.a.	ms	n.a.	ms	n.a. ms
	Open-close	n.a.	ms	n.a.	ms	n.a. ms
	Opening speed	n.a.	m/s	n.a.	m/s	n.a. m/s
	Closing speed	n.a.	m/s	n.a.	m/s	n.a. m/s
	Contact resistance	μΩ		μΩ		μΩ

Kuva 17. Katkaisijan toiminta-aika-koestusraportti (9).

On kriittistä, että valokaarilaukaisun aika saadaan pidettyä mahdollisimman pienenä. Alle 100 ms:in laukaisuaikoihin on tärkeää päästä materiaalivahinkojen välttämiseksi. Kuvasta 18, nähdään miten valokaaren energia nousee ajan funktiona.



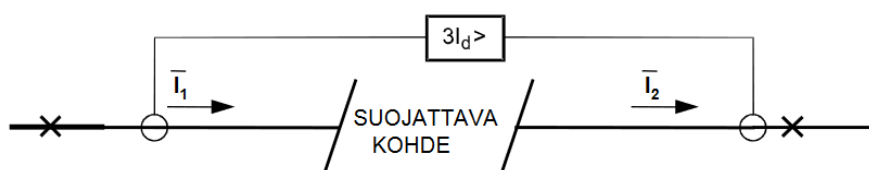
Kuva 18. Valokaaren vaikutus ajan funktiona (11, s. 11).

6.3 Differentiaalisuojauksen käyttö muuntamoiden välisissä syötöissä keskijänniteverkossa

Nykyisellä toteutustavalla keskijännitesyötöt muuntamoiden välillä on Auroralla ainoa kohde, jossa ei ole nopeaa laukaisua käytössä vikatilanteissa. Syöttävässä releessä on selektiivisyyden takia käytössä ylivirtasuojaus ja suunnattu maasulkusuojia hitaalla ajalla. Laukaisuajat vioissa ovat 0,5–1 s:in luokkaa. Mahdollisessa kaapelin tai kaapelipäätteen viassa ehtii tulla mittavat vahingot, ja oikosulkutilanteessa jännitekuopat ovat erittäin syviä. Tämän takia asiakkaan sähkölaitteet eivät välttämättä pysy verkossa, mistä aiheutuu prosessille isot tuotantotappiot.

Differentiaali- eli erovirtasuojauksia voidaan käyttää suojaamaan lähes kaikkia verkon osia. Differentiaalisuoja mittaa suojattavalle kohteelle tulevia ja lähteviä virtoja ja vertaa näitä keskenään. Differentiaalisuojauksen periaate näkyy kuvassa 19. Virtojen poiketessa toisistaan joko vaihekulman, amplitudin tai molempien suhteen enemmän kuin asetteluarvo sallii laukaisee differentiaalisuoja suojausalueen välittömästi jännitteettömäksi. Differentiaalisuoja on

absoluuttisesti selektiivinen, eli se toimii ainoastaan suojausalueella esiintyvissä vioissa. (12.)



Kuva 19. Differentiaalisuojauksen toimintaperiaate (12).

REX640-releeseen täytyy valita APP4 (Line differential protection package), jolla saadaan aktivoitua johtodifferentiaalisuojauslohkot käyttöön.

Differentiaalisuojauksen avulla muuntamoiden välisissä syötöissä olisi mahdollista nopeuttaa laukaisuaikojä vikatilanteissa, jolloin kaapelivioissa saataisiin välitön laukaisu aikaiseksi ja pidettyä verkko stabiilimpana. Linjadifferentiaalisuojaukselta varten tarvitaan valokuituyhteys kahden REX640-suojareleen välille. Linjadifferentiaalikäytössä olisi myös mahdollista käyttää REX640-suojareleen parina edullisempää ABB RED615 -suojarelettä.

7 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli tutustua REX640-releeseen ja selvittää, kuinka se soveltuu Auroran pien- ja keskijänniteverkon suojaukseen ja kojeistonhallintaan. Työssä tutkittiin, olisiko nykyisenkaltaista järjestelmää pienjännitteelle mahdollista tehdä kustannustehokkaammin. Lisäksi työssä selvitettiin, olisiko REX640-releen ominaisuuksilla mahdollista parantaa keskijänniteverkon suojauksien selektiivisyyttä. Työssä oli tarkoitus myös ohjelmoida tyyppirelekonfiguraatioita, joita voidaan tulevaisuudessa projekteissa.

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin ja tämän työn testauksien pohjalta REX640-releitä on valittu käytettäväksi jo useammassa investointiprojektissa. Lisäksi työssä valmistui tyyppikonfiguraatiota pien- ja keskijännitekojeistojen

REX640-releisiin. Projekteissa käyttöönotettavat releet tulevat käyttöön tämän työn aikana valmistuneilla konfiguraatioilla.

Aivan kaikkea mitä olisi haluttu kokeilla, ei ollut aikataulun puitteissa mahdollista toteuttaa. Suojareleen kaukokäyttöpuolen testaukset jäivät puutteellisiksi, testi-rele saatiin liitettyä käytössä olevaan Netcontrolin kaukokäyttöjärjestelmään, mutta laajemmat testit jäivät tekemättä. Työssä oli tarkoitus myös päästä kokeilemaan katkeilevan maasulun suojausta, mutta ABB:ltä ei saatu hankittua ajoissa testireleeseen applikaatiopakettia 1 (Feeder earth fault protection), joka olisi sisältänyt lisätoiminnallisuuksia maasulkusuojaukseen liittyen.

Työ oli todella mielenkiintoinen, ja oli hienoa päästä tutustumaan ja harjoittelemaan uuden laitteen käyttöä ja konfigurointia. Insinööriyö oli onnistunut ja REX640 oli laitteena vakuuttava. Ensimmäisten REX640-releiden käyttöönotot lähestyvät vuoden 2024 keväällä. Odotan innolla pääseväni osallistumaan laitteistojen käyttöönottoihin ja näkemään uudet suojareleet tositoimissa.

Lähteet

- 1 Auroran historia. Verkkoaineisto. Aurora Infrastructure Oy. <<https://auro-rainfrastructure.com/fi/yritys/historia/>>. Luettu 8.12.2023.
- 2 Sähkön tuotanto tuulivoimalla ja ydinvoimalla nousivat vuonna 2022. 2023. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<https://www.stat.fi/julkaisu/cl8mo29omxf8t0duky5aa8i1>>. 2.11.2023. Luettu 10.12.2023.
- 3 Mäkinen, Juha. 2022. Kilpilahden 110kV ja 10kV suojauskien toiminnan kuvaus. Yrityksen sisäinen aineisto. Aurora Kilpilahti Oy.
- 4 Protection and control REX640, Product guide. Rev G. 2023. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS759144&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. 2023. Luettu 5.12.2023.
- 5 REX640 introduces cost-effective switchgear HMI for optimal visibility and operational safety. 2021. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/news/detail/76050/rex640-introduces-cost-effective-switchgear-hmi-for-optimal-visibility-and-operational-safety>>. 25.3.2021. Luettu 15.2.2024.
- 6 Relay configurator. Verkkoaineisto. ABB. <https://relays.protection-control.abb/configurator/product/REX640E_A/rex640configure>. Luettu 2.12.2023.
- 7 Relion protection and control REX640, Technical manual. Rev F. 2023. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1MRS759142&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. 2023. Luettu 1.12.2023.
- 8 Instrument transformers according to new IEC standards available. 2015. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/news/detail/52888/instrument-transformers-according-to-new-iec-standards-available>>. 19.3.2015. Luettu 11.12.2023.
- 9 Tekninen arkisto. Yrityksen sisäinen aineisto. Aurora Kilpilahti Oy.
- 10 Lemmetyinen, Asko. 2015. IEC 61850 -standardin soveltaminen sulautetulla Linux-järjestelmällä. Diplomityö. Vaasan Yliopisto. Osuva-tietokanta.
- 11 Bilund, Juha. 2017. Keskijänniteverkkoon kytketyn invertterin valokaarisuojaus. Diplomityö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. LUTPub-tietokanta.

- 12 Suomalaiset ABB-yhtiöt. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. 9. painos. Vaasa: ABB.